CONSORZIO DELL' OGLIO
- BRESCIA –

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

Relazione annuale
2011 - 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

Hanno contribuito alla stesura del testo:

Idrologia	:	Massimo Buizza	Consorzio dell'Oglio - Brescia
		Antonio Dalmiglio	Consulente del Consorzio dell'Oglio
Fauna Ittica	:	Marco Mancini,	Consulente del Consorzio dell'Oglio

Per il Dipartimento di Scienze Ambientali dell'Università degli Studi di Parma -
con il coordinamento del prof. Pierluigi Viaroli

Chimica-fisica delle acque	:	Marco Bartoli, Erica Racchetti, Elisa Soana, Francesco Casana
Macroinvertebrati	:	Alex Laini, Daniele Longhi,
Macrofite	:	Rossano Bolpagni

Fotografia in copertina: F.Oglio a monte del ponte nuovo di Marcaria

SOMMARIO

1. MONITORAGGIO CHIMICO-FISICO 5

1.1 Metodologia di campionamento, analisi, archiviazione dati 5

1.1.1 Stazioni di campionamento e campagne di misura 5
1.1.2 Campionamento e analisi laboratorio 6
1.1.3 Analisi dei dati 6

1.2 RISULTATI 6

1.2.1 Scenari di sperimentazione Gruppo A 6
1.2.2 Scenari di sperimentazione Gruppo B 34

2. MONITORAGGIO BIOLOGICO 42

2.1 Macroinvertebrati 42

2.1.1 Stazioni di campionamento e campagne di misura 42
2.1.2 Campionamento e analisi di laboratorio 43
2.1.3 Analisi dei dati 43

2.2 Macrofite 43

2.2.1 Stazioni di campionamento e campagne di misura 43
2.2.2 Campionamento e analisi di laboratorio 45
2.2.3 Analisi dei dati

2.3 Diatomee 45

2.3.1 Stazioni di campionamento e campagne di misura 45
2.3.2 Campionamento e identificazione in laboratorio 45
2.3.3 Analisi dei dati 46

2.4 Risultati 46

2.4.1 MACROINVERTEBRATI 46
2.4.2 MACROFITE 51
2.4.2.1 Analisi della struttura delle comunità a macrofite 51
2.4.2.2 L'uso delle macrofite come indicatori: IBMR 53
2.4.3 DIATOMEE 55
2.4.3.1 Analisi della comunità diatomica nei tratti a monte e a valle delle centrali elettriche (n.10/11) 55
2.4.3.2 Analisi della comunità diatomica nei tratti a monte e a valle delle centrali elettriche: confronto con le campagne precedenti 59
2.4.3.3 Analisi della comunità diatomica nelle stazioni di campionamento arpa 63
2.4.3.3 Analisi della comunità diatomica nelle stazioni di campionamento ARPA: confronto con le campagne precedenti 63

3. MONITORAGGIO DELL' ITTIOFAUNA 65

3.1 Campagna n. 09/2011 65

3.1.1. Stazioni censite durante la campagna 09/11 65
3.1.2. Calendario attività 66
3.1.3 Stato della comunità ittica 66

3.2 Confronto tra campagne 01/09,05/10 e 09/11 71

3.2.1 Applicazione dell' indice ISECI 78

3.3 Attività sperimentale per una nuova classificazione su base annua 82

3.4 Campagna n. 12/2012 88

3.4.1. Stazioni censite durante la campagna 12/12 88

3.4.2. Calendario attività 89
3.4.3 Stato della comunità ittica 89
3.5 Confronto tra le campagne 04/10,08/11 e 12/12 94
3.5.1 Applicazione dell' indice ISECI 97
3.6 Considerazioni conclusive 100

4. MONITORAGGIO IDROLOGICO 101

4.1 Andamento generale dell' anno idrologico 101
4.2 Interventi sulla rete di monitoraggio 102
4.3 Considerazioni sulle campagne di misura 102

5. DEFINIZIONE DEI TRATTI FLUVIALI E ANALISI STATISTICA 104

5.1 Analisi del f.Oglio per la definizione dei tratti omogenei 104
5.2 Discontinuità pedologica – geomorfologica 108
5.3 Discontinuità longitudinale 110
5.4 Discontinuità laterale 111
5.5 Discontinuità nella granulometria dell' alveo 112
5.6 Importanza relativa dei criteri definiti per la suddivisione del f.Oglio in tratti omogenei finalizzati alla definizione e gestione del D.M.V.112

6. ANALISI STATISTICA DEI DATI CHIMICO-FISICI 117

6.1 Azione chimico- fisica 117
6.2 Azione biologica 126
6.2.1 MACROINVERTEBRATI 126
6.2.2 MACROFITE 129
6.2.2.1 Analisi della complessità strutturale delle comunità di produttori primari del fiume 129
6.2.2.2 Risultati della Cluster Analysis 130
6.2.2.3 Importanza delle caratteristiche idromorfologiche e de fattori chimico-fisici nella strutturazione delle comunità macrofisiche 132
6.2.2.4 Specie indicatrici 133
6.3 Conclusioni 135

BIBLIOGRAFIA 136

1. MONITORAGGIO CHIMICO-FISICO

1.1 METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO, ANALISI E ARCHIVIAZIONE DATI

1.1.1. Stazioni di campionamento e campagne di misura

Il monitoraggio chimico-fisico del terzo anno di sperimentazione è stato svolto in accordo con i due anni precedenti e al "Protocollo per la sperimentazione del rilascio del D.M.V. nel fiume Oglio sublacuale". Il numero di stazioni campionate durante lo scenario di base (gruppo A) e gli scenari del gruppo B così come il numero di giorni di campionamento, il numero di operatori e i criteri di campionamento delle stazioni a valle delle derivazioni irrigue e delle stazioni in prossimità degli scarichi puntiformi rispecchia quanto svolto e definito nella relazione del secondo anno (Relazione annuale 2010-2011). La tabella 1.1 illustra le date di campionamento delle campagne di misura del terzo anno, che sono state definite rispettivamente campagna n°9/2011 (al termine della stagione irrigua - periodo di massimo di stress per il sistema fluviale), n° 10/2011 (il fiume ha riacquistato cospicui volumi d'acqua), n°11/2012 (il fiume risulta acclimatato al rilascio abbondante delle acque dalla diga dovuto al periodo autunnale e invernale) e n°12/2012 (inizio della stagione irrigua).

Tab. 1.1 - Date di campionamento delle campagne di misura n° 9/2011, n° 10/2011, n° 11/2012 e n° 12/2012.

Campagna di misura	Scenario	Gruppo	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°9 (estate 2011) Periodo irriguo	5%	A	27/07/2011	17
	5%	A	28/07/2011	19
	5%	A	29/07/2011	12
	7.5%	B	20/07/2011	12
	10%	B	03/08/2011	12
	15%	B	09/08/2011	12
n°10 (autunno 2011) Periodo non irriguo	15%	A	29/11/2011	11
	15%	A	30/11/2011	21
	15%	A	01/12/2011	15
	5%	B	14/12/2011	12
	7.5%	B	06/12/2011	12
	10%	B	22/11/2011	12
n°11 (inverno 2012) Periodo non irriguo	5%	B	22/02/2012	12
	7.5%	B	14/02/2012	12
	10%	B	08/02/2012	12
	15%	A	31/01/2012	16
	15%	A	02/02/2012	11
	15%	A	03/02/2012	12
n°12 (primavera 2012) Periodo irriguo	7.5%	B	26/04/2012	12
	10%	A	17/04/2012	17
	10%	A	18/04/2012	17
	10%	A	19/04/2012	13

La campagna di misura n°11/2012 è stata caratterizzata da una forte nevicata che ha determinato l'interruzione del campionamento per il secondo giorno di attività. Durante la campagna n°12/2012 le stazioni monitorate modulando gli scenari di sperimentazione del gruppo B sono state campionate solo

per lo scenario 7.5% a causa di eventi di pioggia alla fine del mese di aprile e all'inizio del mese di maggio, periodo nel quale era stata pianificata la sperimentazione.

1.1.2. Campionamento e analisi di laboratorio

Il campionamenti di acqua e le metodiche analitiche utilizzate sono stati effettuati secondo quanto previsto da APAT-CNR-IRSA Metodi analitici per le acque (Manuali e Linee Guida 29/2003). Per i dettagli inerenti la fase di campo e di laboratorio si rimanda alla "Relazione annuale 2009-2010: Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sublacuale – Consorzio dell'Oglio". I descrittori chimico-fisici analizzati corrispondono a quelli monitorati durante il primo anno di sperimentazione (paragrafo 5.3.1.2 della Relazione annuale 2009-2010) e a quelli definiti dalle "Linee Guida per l'avvio di sperimentazioni sul Deflusso minimo vitale in tratti del reticolo idrico naturale regionale".

1.1.3. Analisi dei dati

I dati idrochimici raccolti durante le quattro campagna di misura del terzo anno sono stati elaborati insieme ai dati raccolti durante il primo e il secondo anno di sperimentazione. L'analisi dei dati è stata condotta riproducendo quanto effettuato per il primo e il secondo anno di sperimentazione: determinazione 1) dello stato di qualità delle acque secondo i due indici LIM "Livello di inquinamento da macrodescrittori" (D.lgs. 152/'99 "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento") e LIMeco "Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico" utilizzato a sostegno degli elementi biologici per la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici (D.M. 260/2010) e 2) degli effetti dei diversi scenari di portata sulla capacità metabolica del sistema fluviale tramite l'applicazione dell'analisi delle regressioni lineari tra descrittori chimico-fisici e deflussi in alveo, e, tra indici di qualità e i deflussi in alveo. Per le assunzioni e i dettagli si rimanda alla Relazione annuale 2009-2010 e alla Relazione annuale 2010-2011 del presente progetto. Inoltre gli indici di qualità sono stati usati per investigare l'effetto sul sistema fluviale dei diversi valori di portata misurati nelle stazioni poste a valle delle derivazioni irrigue.

1.2 RISULTATI

1.2.1.- Scenari di sperimentazione del gruppo A: periodo irriguo e periodo non irriguo

L'evoluzione dei parametri misurati da monte a valle durante i tre anni di attività è riportata nelle figure 1.1-1.14. In Allegato I ("Scenari di sperimentazione: gruppo A - immissari") sono riportati alcuni grafi-ci relativi alla qualità idrochimica (tenori di azoto e fosforo totali, ripartiti nelle diverse forme, COD, BOD e solidi sospesi totali) degli immissari campionati nelle quattro campagne di misura del terzo anno di attività.

Le percentuali di ossigeno disciolto misurati nel fiume Oglio durante le quattro campagne del terzo anno di sperimentazione variano tra 85% e 115% e rientrano nell'intervallo dei valori misurati gli anni precedenti (fig. 1.1). I valori estivi della campagna n°9 sono in linea con quelli dell'estate 2010 (campagna n°5); queste ultime due campagne estive hanno valori di ossigeno nettamente inferiori rispetto ai valori dell'estate 2009 (campagna n°1) a partire dal km 220. In generale non sono osservabili degli andamenti specifici delle percentuali di saturazione di ossigeno nei tre anni di sperimentazione così come tra le stagioni del terzo anno; ciò denota una buona capacità di ossidare la materia organica da parte del sistema fluviale, anche nei periodi estivi in cui le portate sono minime (5%).

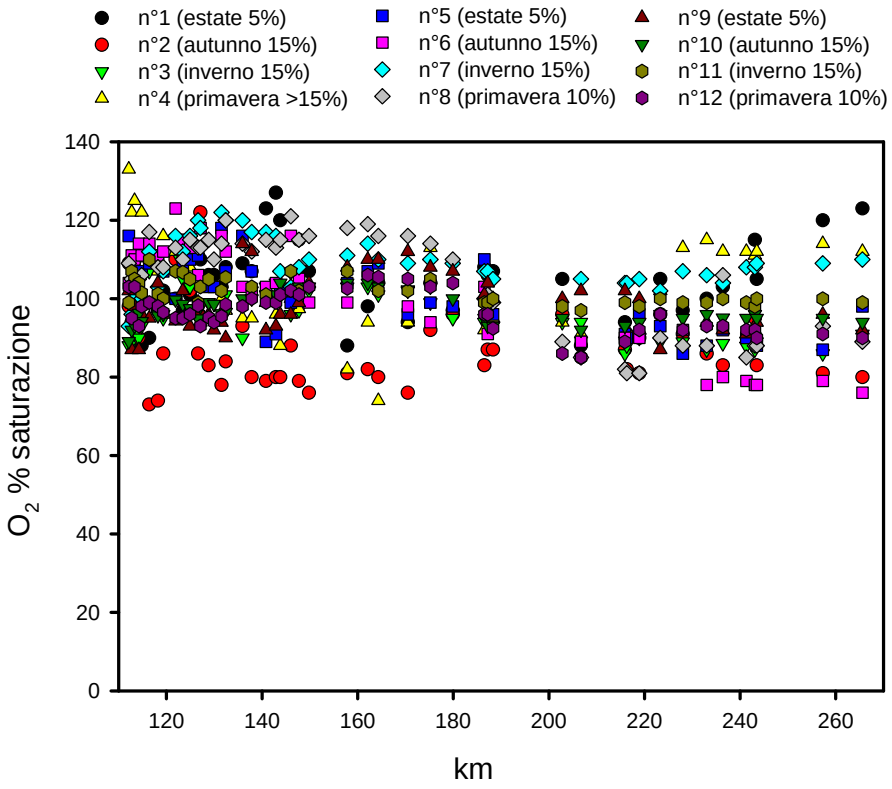


Fig. 1.1 - Percentuale di saturazione di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

I valori di domanda chimica di ossigeno (COD) e di domanda biologica di ossigeno (BOD_5) misurati durante le campagne del terzo anno di sperimentazione rientrano nell'intervallo dei dati raccolti nei primi due anni di sperimentazione, senza quindi mostrare alcun andamento lungo l'asta fluviale (fig. 1.2 e 1.3). In generale, i valori variano tra 0 e ~18 mg O_2 l^{-1} per il COD e tra 0 e a ~6 mg O_2 l^{-1} per il BOD_5, escludendo alcuni valori delle campagne autunnale n° 2 e invernale n° 3, caratterizzate da eventi di pioggia. Dal confronto delle stesse stagioni nei tre anni di sperimentazione è da notare che i valori di COD e BOD_5 della campagna n°12 (primavera 2012, 10%) sono generalmente prossimi allo zero e molto più bassi rispetto alle primavere precedenti; analogamente i valori di entrambi i parametri della campagna n° 9 sono nettamente inferiori rispetto alle concentrazioni misurate nelle precedenti estati a partire dal km 190 fino al km 240. In generale quindi per il terzo anno la domanda chimica e quella biologica di ossigeno non risultano maggiori nelle campagne estiva e primaverile in coincidenza con gli scenari di sperimentazione più bassi (rispettivamente 5% e 10%). Infine, i valori di COD e BOD_5 delle campagne del terzo anno ricadono nel livello di qualità ottimo o buono dell'indice LIM, confermando quanto ritrovato gli anni precedenti.

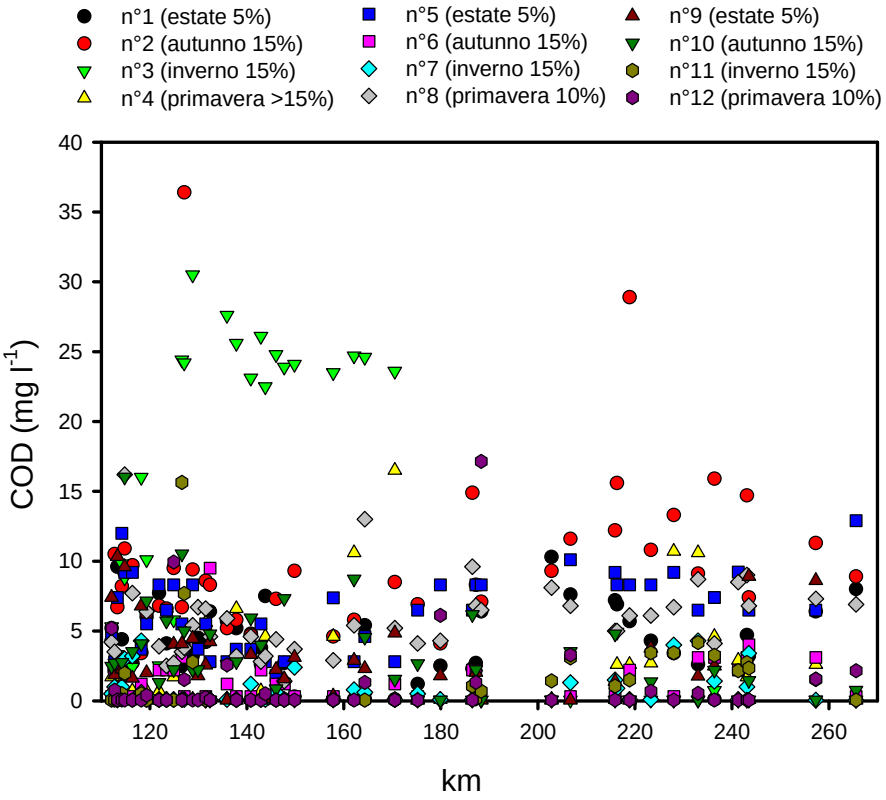


Fig. 1.2 – Domanda chimica di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

Anche per le unità formanti colonie di *Escherichia coli* non si nota un trend stagionale e lungo l'asta fluviale (fig. 1.4); la maggiore parte dei valori del terzo anno rientrano nel livello sufficiente dell'indice LIM, qualche rara eccezione si è verificata nei primi 30 km di fiume caratterizzati da ingressi di acque reflue trattate o di acque nere non trattate, i valori sono ricaduti nel livello scadente.

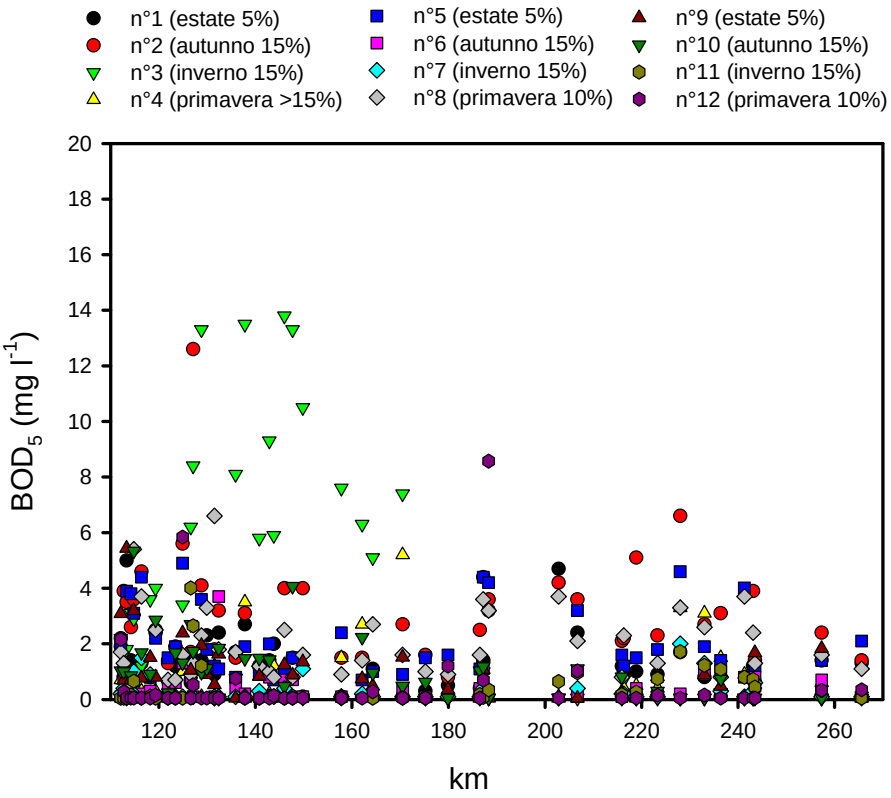


Fig. 1.3 – Domanda biologica di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

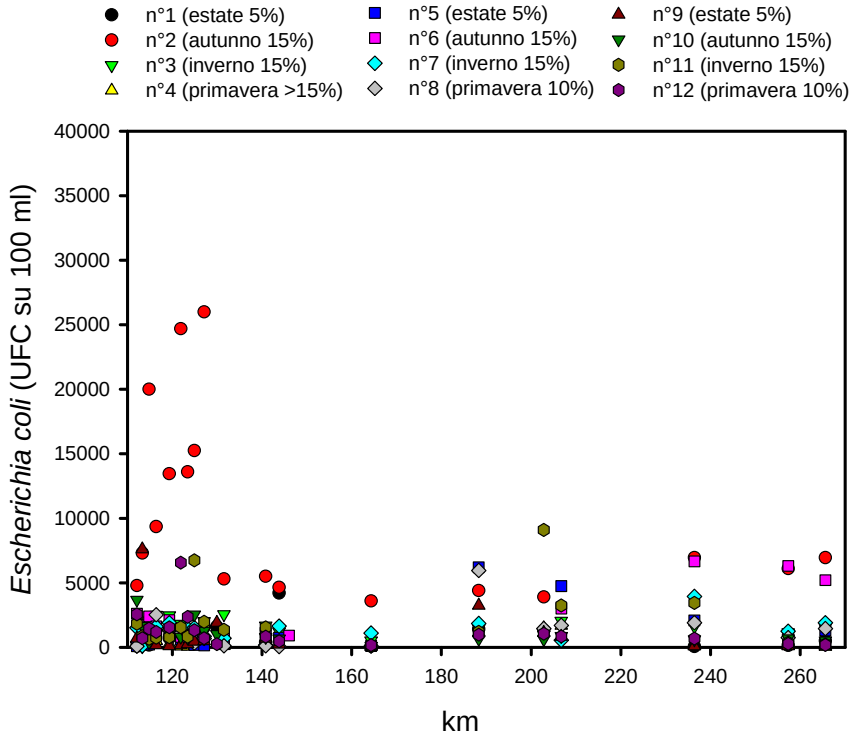


Fig. 1.4 – Unità formanti colonie di Escherichia coli (su 100 ml) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

I valori di conducibilità misurati durante le campagne del terzo anno di sperimentazione confermano un andamento crescente da monte verso valle registrato per tutte le stagioni di campionamento dei primi due anni (fig. 1.5). I dati della campagna estiva n°9 sono più bassi rispetto alle campagne estive n°1 e n°5 e non riproducono un aumento repentino dei valori a partire dal km 133 (Cividate al Piano). Alla stazione fluviale a foce Po i valori estivi 2011 non raggiungono i 650 µS cm^{-1} come quelli delle altre campagne estive, ma si attestano intorno ai 450 µS cm^{-1} risultando molto più simili ai valori misurati per le campagne con scenario di sperimentazione del 10 e 15%. In modo analogo anche la campagna di misura autunnale n°10 (scenario 15%) presenta valori più bassi rispetto alle campagne di misura svolte con lo stesso scenario di sperimentazione raggiungendo ~300 µS cm^{-1} a Torre d'Oglio contro i ~550 µS cm^{-1} misurati nella stessa stazione per le altre campagne autunnali.

Come per la conducibilità i valori di carbonio inorganico disciolto (DIC) del terzo anno di sperimentazione aumentano da monte verso valle e sono in accordo con i valori misurati gli anni precedenti (fig. 1.6). A differenza della conducibilità, i valori della campagna estiva n°9 sono coerenti coi valori delle campagne estive n°1 e n°5, così come quelli delle altre stagioni in confronto con le campagne precedenti.

In modo analogo, gli andamenti delle concentrazioni di azoto totale e di azoto nitrico (circa l'80% dell'azoto totale) risultano essere crescenti e mostrano un aumento repentino sempre dal km 133 (fig. 1.7 e 1.8). Come per la conducibilità, i valori di azoto nitrico della campagna n°9 mostrano valori più bassi dal km 150 al km 180 rispetto alle campagne estive dei primi due anni. Le concentrazioni di nitrato rientrano nei livelli da ottimo a buono dell'indice LIMeco fino al km 132, mentre dal km 140 (Rudiano) per le campagne estive e poi via via sempre verso valle per le restanti campagne (dal km 150, Soncino, e al km 170, Calstevisconti) i valori oscillano tra il livello 3, 4 e 5 di sufficiente, scarso e cattivo dell'indice LIMeco.

I dati di conducibilità, DIC e azoto nitrico misurati il terzo anno di sperimentazione supportano l'ipotesi dell'interazione tra acque di falda e acque superficiali proposta nella Relazione annuale 2010-2011.

Nel periodo estivo le acque di falda, caratterizzate da valori di conducibilità, nitrati e DIC maggiori rispetto alle acque superficiali, alimentano le acque fluviali generando per l'appunto i picchi di concentrazione di conducibilità, nitrati e DIC dal km 140 al km 160. Alla fine dei primi 30 km di fiume le derivazioni irrigue per concessione prelevano gran parte dell'acqua del fiume, ottem perando comunque alla normativa relativa ai rilasci di DMV, ma grazie all'apporto delle acque di falda il sistema fluviale non rimane privo di acqua.

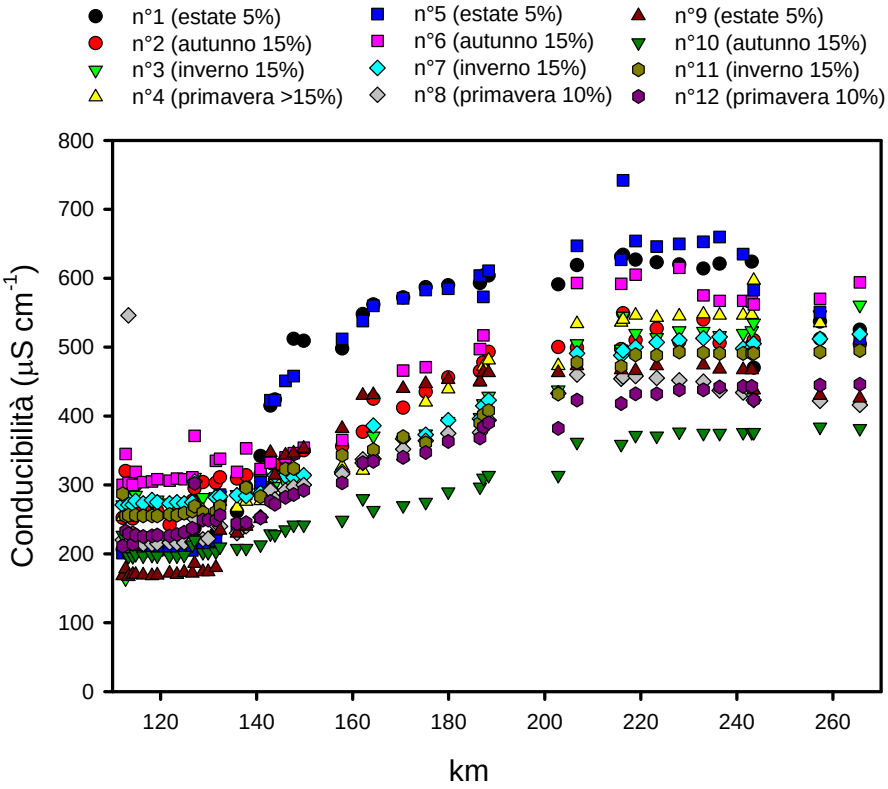


Fig. 1.5 - Conducibilità (µS cm^{-1}) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

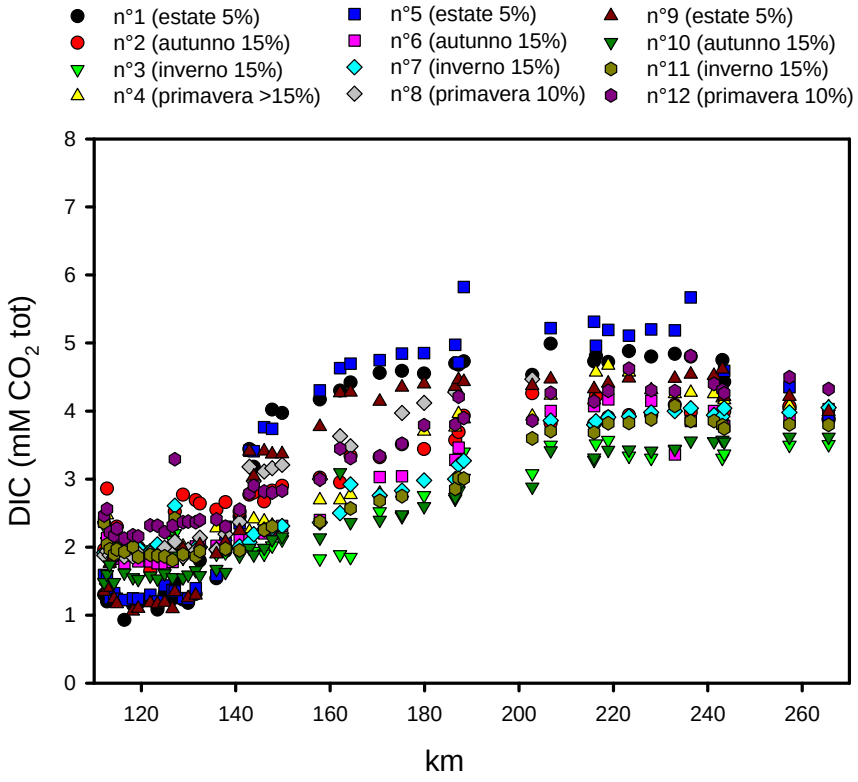


Fig. 1.6 – Carbonio inorganico disciolto (DIC) misurato nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

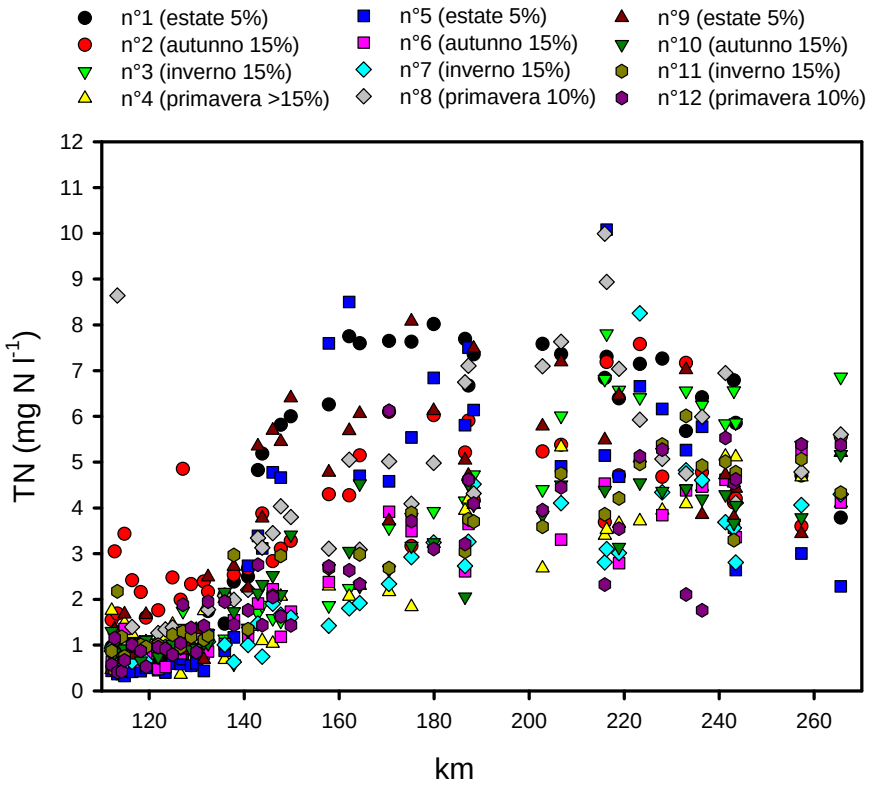


Fig. 1.7 – Concentrazioni di azoto totale (N) misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

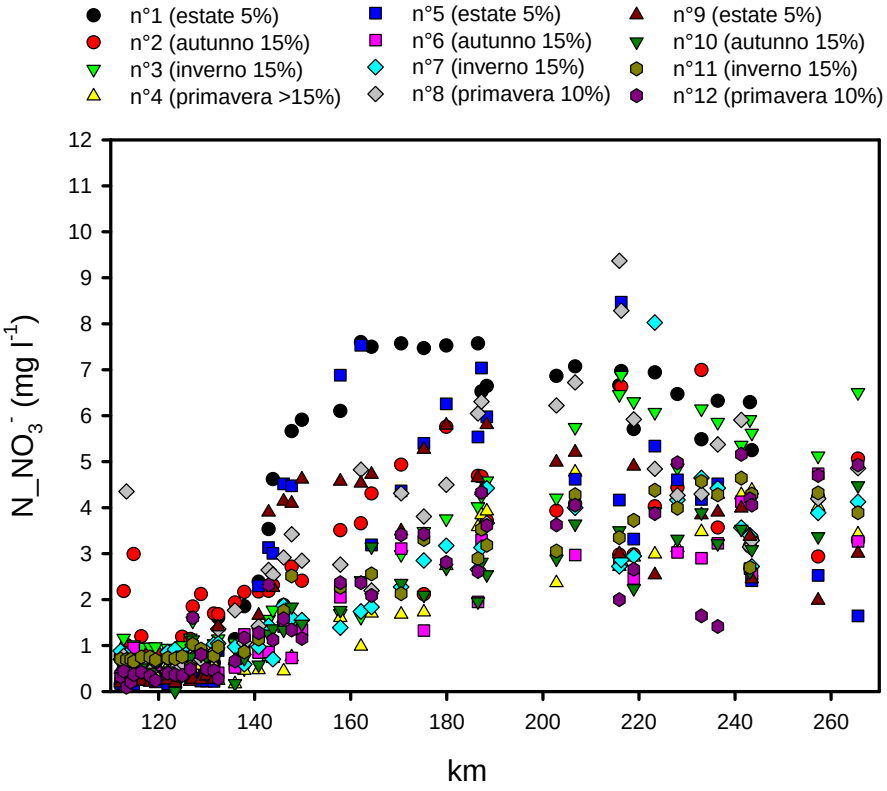


Fig. 1.8 – Concentrazioni di azoto nitrico (N) misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

I valori di azoto ammoniacale ($N_NH_4^+$) sono più o meno costanti lungo tutto il corso del fiume e sono compresi tra 0. e 0,2 mg l^{-1} (fig. 1.9). I valori più bassi sono stati misurati per le campagne estate n°1, primavera n°4 e autunno n°10, mentre la campagna n°9 presenta alcuni picchi di circa 0.8 mg l^{-1} nel tratto di fiume fino al km 130. Per le campagne autunno n°2, primavera n°8 e inverno n°11 sono stati misurati valori superiori alla media tra il km 180 e il km 250. In generale il terzo anno di sperimentazione rimane pressoché similare ai 2 anni precedenti, fatto riscontrabile anche nel confronto tra stagioni estive. Le campagne inverno n°10 e primavera n° 12 presentano valori tra il livello 1 di ottimo ed il 3 di sufficiente secondo l'indice LIMeco, mentre l'estate n°9 e l'inverno n°11 mostrano anche valori ricadenti nel livello 5 cattivo.

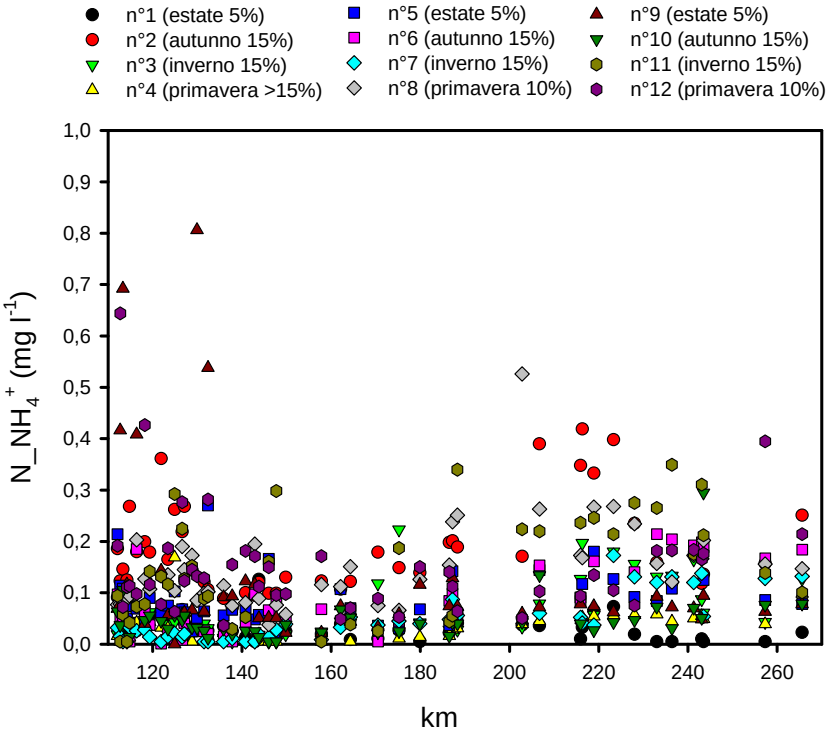


Fig. 1.9 – Concentrazioni di azoto ammoniacale (N) misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

Le concentrazioni di fosforo totale misurate durante le campagne di misura del terzo anno di sperimentazione confermano l'andamento crescente da monte verso valle registrato negli anni precedenti (fig. 1.10). Anche per il fosforo reattivo solubile (SRP) è confermata una debole tendenza ad aumentare procedendo verso valle (fig. 1.11). Per quest'ultimo parametro, sono da evidenziare le concentrazioni maggiori nei primi 20 km per la campagna n°9 e n°12 e negli ultimi 30 km per la campagna n°6. I valori di SRP della campagna estiva n°9 e autunnale n°6 rappresentano una frazione dominante del fosforo totale. Per la maggiore parte delle campagne di misura del terzo anno i valori di fosforo totale appartengono ai livelli elevato e buono dell'indice LIMeco fino al km 200 per poi ricadere, negli ultimi 70 km, nel livello sufficienti dell'indice LIMeco.

Osservando la concentrazione di solidi sospesi totali, anche per le campagne del terzo anno di sperimentazione c'è stato un aumento da valori prossimi allo zero nel tratto nord fino a valori di circa 20 mg l^{-1} nel tratto sud (fig. 1.12). Il confronto tra stagioni uguali nei tre anni di sperimentazione mostra come i valori delle stagioni del terzo anno siano più bassi rispetto alle stagioni dei due anni precedenti a partire dal km 200. I valori elevati della campagna n°2 rispetto ai valori delle altre campagne di misura dei 3 anni illustra come eventi di pioggia possano alterare nel breve termine e in modo significativo i tenori di solidi sospesi nel sistema fluviale (dilavamento dei campi e canali di drenaggio) e au-

mentare in modo considerevole il suo trasporto verso valle. Infine è da notare come l'andamento dei solidi sospesi totali sia molto simile a quello del fosforo totale. Gran parte del fosforo infatti è trasferito a valle in forme co-precipitate o associate al materiale in sospensione.

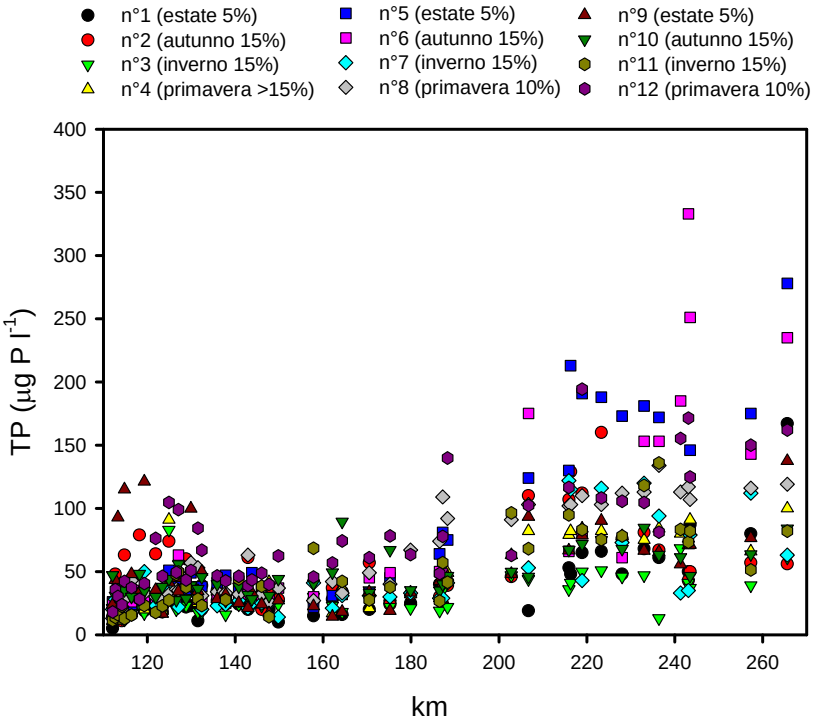


Fig. 1.10 – Concentrazioni di fosforo totale misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

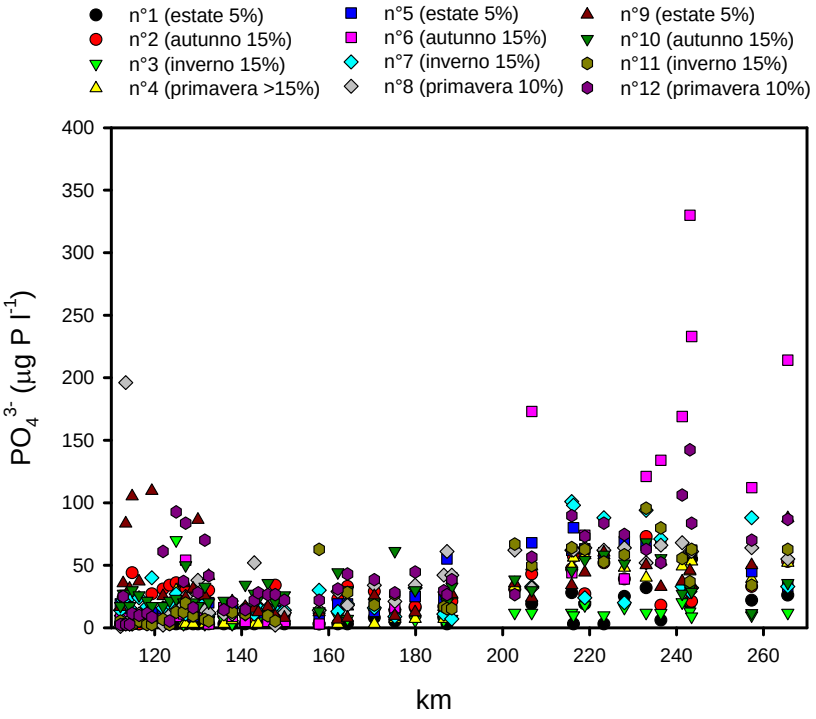


Fig. 1.11 – Concentrazioni di fosforo reattivo solubile (PO43-) misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante

le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

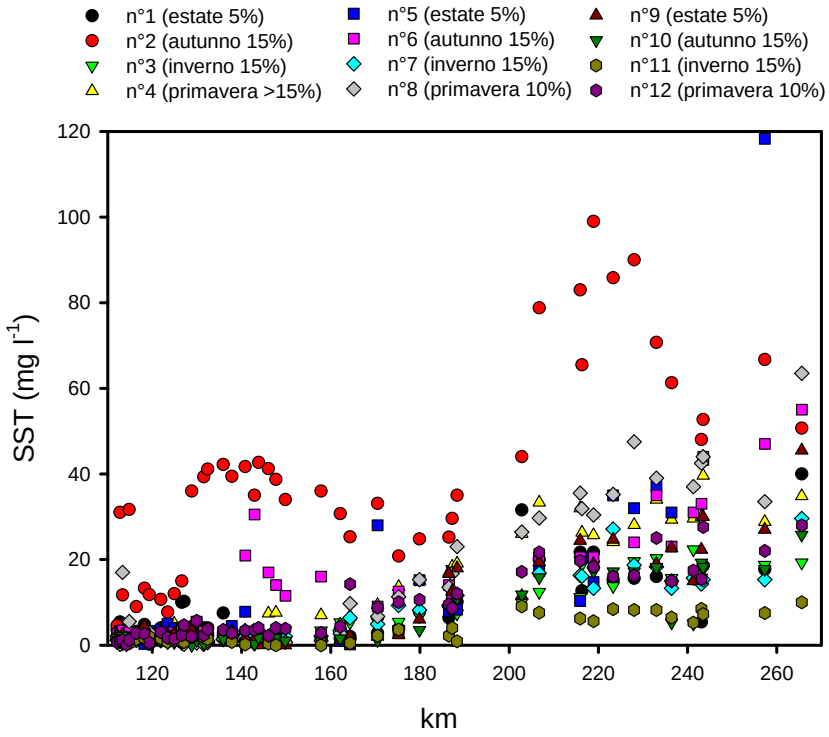


Fig. 1.12 – Solidi sospesi totali (SST) misurati nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

Come per i primi due anni di sperimentazione, le concentrazioni di metano disciolto nelle acque del fiume Oglio misurate l'ultimo anno di sperimentazione oscillano tra valori prossimi al limite di rilevabilità e i 5 µM, non mostrano un andamento monte-valle (fig. 1.13). Le campagne autunnale e invernale n°10 e n°11 mostrano valori prossimi allo zero nei primi 60km, così come la campagna estiva n°9 che risulta avere valori più bassi rispetto alle altre campagne estive. Da notare in ogni modo per la campagne n°9 l'influenza dei tratti bacinizzati e quindi degli ecosistemi caratterizzati da acque lentiche nel generare metano (comunità batteriche): nei primi 20 km ci sono alcuni valori di metano che si discostano dallo zero.

La concentrazione di clorofilla-a fitoplanctonica nel fiume Oglio sublacuale misurata nelle 4 campagne del terzo anno non mostra andamenti da monte verso valle, confermando quanto ritrovato gli anni precedenti, ed in generale le concentrazioni non superano gli 8 µg l^{-1} (fig. 1.14). I valori delle campagne del terzo anno, confrontandole con le stesse stagioni degli anni precedenti, mostrano concentrazioni minori per tutte le stagioni facendo rientrare il sistema nello stato di oligotrofia secondo quanto proposto da Dodds et al. (1998)

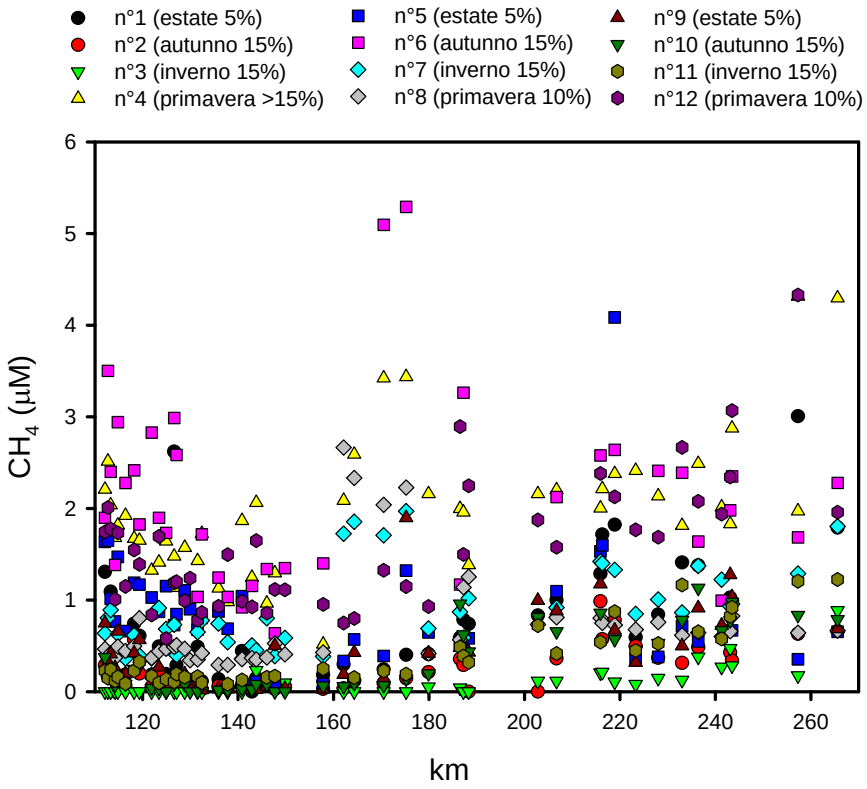


Fig. 1.13 – Tenori di metano disciolto misurati nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

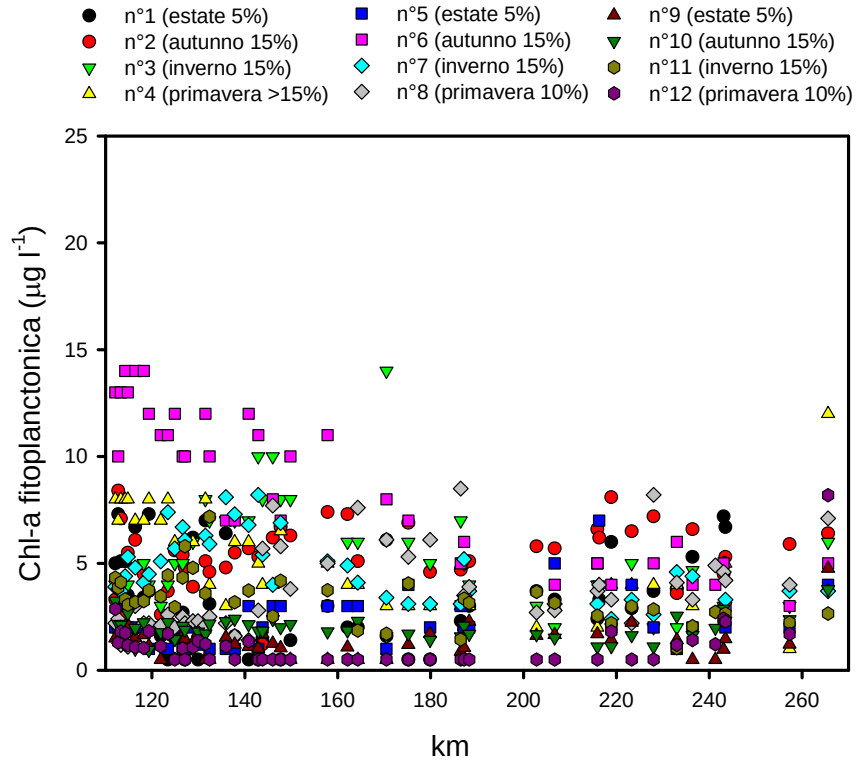


Fig. 1.14 – Clorofilla-a fitoplanctonica misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le dodici campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1°, 2° e 3° anno).

L'intero dataset dei dati raccolti nei tre anni di sperimentazione, indipendentemente dalla stagione di campionamento, è stato analizzato tramite il test di correlazione di Pearson: ogni parametro idrochimico è stato testato contro gli altri parametri misurati compresi i valori di portata (fig. 1.15). È stato ritenuto significativo il test quando il coefficiente r è risultato maggiore di 0.75. La figura 1.15 rappresenta sulla diagonale principale i parametri testati. L'intersezione di due parametri sulla destra della diagonale riporta il coefficiente di correlazione e la dimensione del carattere è proporzionale alla significatività della correlazione. L'intersezione degli stessi parametri sul lato sinistro della diagonale illustra graficamente l'andamento dei dati. **Nessun parametro chimico-fisico è risultato significativamente correlato ai valori di portata**. Correlazioni positive sono state trovate per conducibilità e DIC (r = 0.91), conducibilità e azoto nitrico (r = 0.85), conducibilità e azoto totale (r = 0.84), DIC e azoto nitrico (r = 0.85) e DIC e azoto totale (r = 0.85). Tali correlazioni vanno a sostenere l'ipotesi di interazione tra acque superficiali e acque di falda. Essendo l'azoto nitrico la componente principale dell'azoto totale, è risultata positiva anche la correlazione tra i due parametri (r = 0.97). E' risultata inoltre ovvia la correlazione negativa tra temperatura e concentrazione di ossigeno disciolto (r = -0.80). Infine, la frazione inorganica del fosforo SRP è correlata positivamente con il fosforo totale (r = 0.82).

Le figure 1.16 e 1.17 mostrano lo stato di qualità secondo l'indice LIM e LIMeco delle stazioni fluviali campionate nelle quattro stagioni del terzo anno di sperimentazione rispettando lo scenario di sperimentazione del gruppo A degli anni precedenti: in estate il 5% della portata media naturale, in autunno e in inverno il 15% ed in primavera il 10%; tali percentuali sono state garantite alla traversa del Naviglio Grande Pallavicino, ultimo punto fluviale in cui il Consorzio è in grado di gestire il deflusso in alveo.
Confrontando il livello LIM per le campagne del terzo anno di sperimentazione con quelle dei 2 anni precedenti non si osservano variazioni significative fra un anno e l'altro (Relazione annuale 2010-2011). In generale la qualità del sistema in tutte le stagioni e quindi per tutti gli scenari di sperimentazione si conferma sul livello "buono".
Come per le otto campagne di misura del 1 e del 2 anno di sperimentazione, lo stato di qualità per le campagne di misura del terzo anno definito con l'indice LIMeco è molto diverso rispetto a quello determinato con l'indice LIM e riporta uno stato di qualità migliore nel tratto nord e peggiore nel tratto sud (fig. 1.17). Tale discordanza nella definizione dello stato di qualità è già stata spiegata nella Relazione annuale 2010-2011 come eliminazione nell'indice LIMeco dei parametri *Escherichia coli*, COD e BOD_5 che sono in grado di segnalare gli apporti di natura puntiforme, caratterizzanti il tratto nord del fiume Oglio sublacuale, e come effetto del restringimento dei valori soglia tra un livello o classe ed il successivo per i parametri azoto ammoniacale, azoto nitrico e fosforo totale che caratterizzano il tratto fluviale di media-alta e bassa pianura a causa dell'attività agro-zootecnica che insiste sul suo bacino. Confrontando i risultati dell'indice LIMeco del terzo anno con quelli dei primi due anni si può osservare che le condizioni del fiume tendono a migliorare nel periodo autunnale (DMV sperimentato 15%) a peggiorare nella stagione estiva (DMV sperimentato 5%) dal primo al terzo anno.

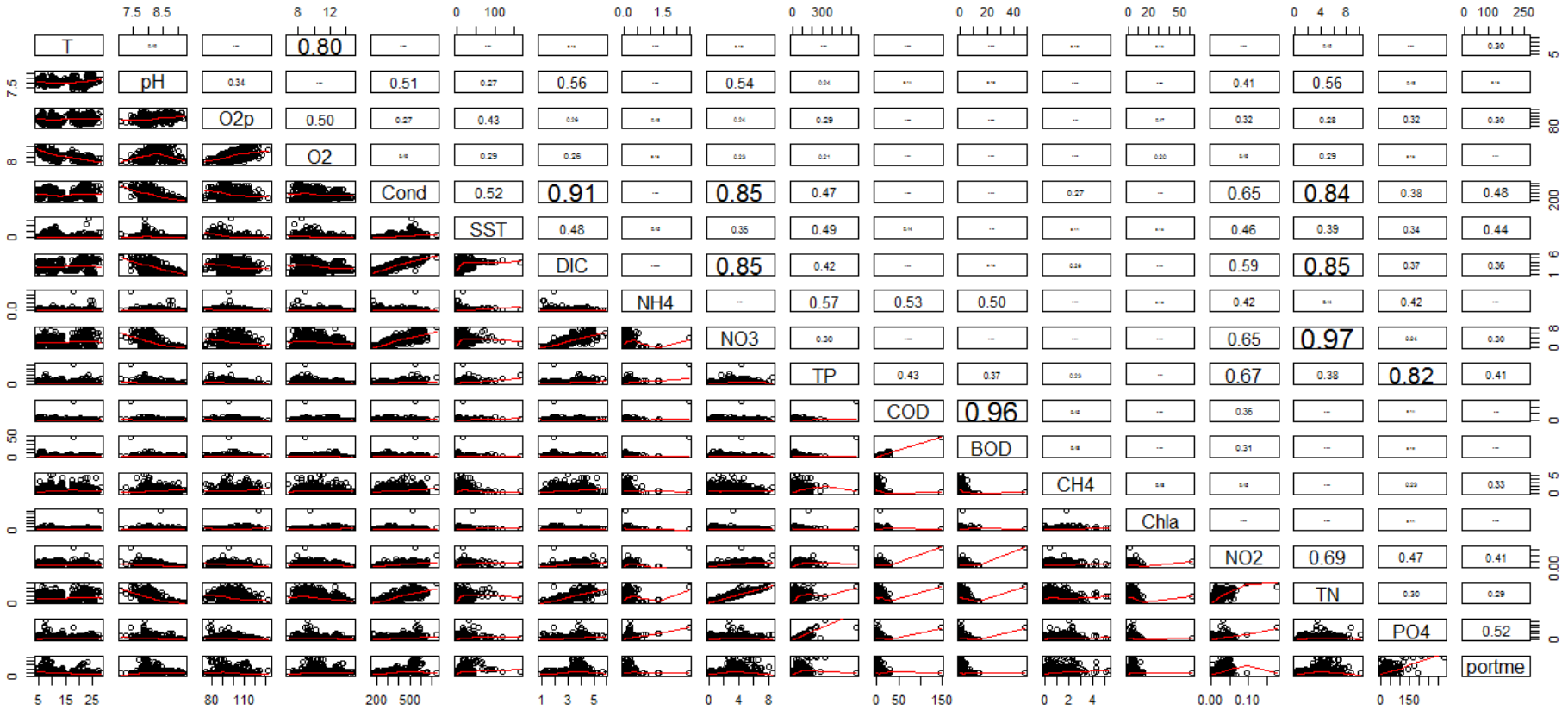


Fig. 1.15 – Coefficienti di correlazione di Pearson sull'intero dataset dei parametri idrochimi e delle misure di portata delle 12 campagne di misura effettuate nel progetto di sperimentazione. Per ogni coppia di dati su cui è stato effettuato il test viene rappresentato l'andamento dei valori, nei riquadri a sinistra, e il valore r di correlazione in quelli di destra. Il test è stato ritenuto significativo per un r di correlazione maggiore di 0.75.

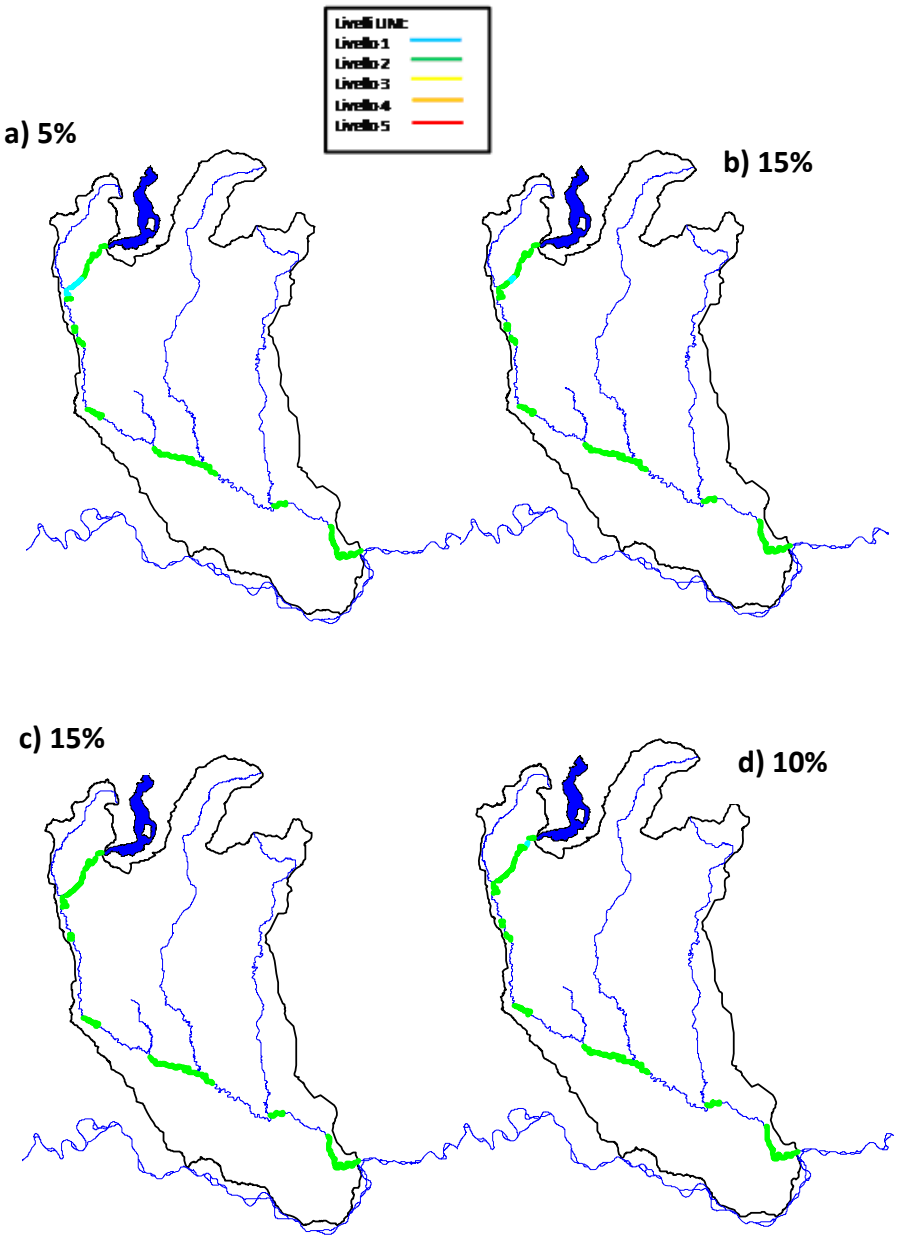


Fig. 1.16 - Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIM per le campagne di misura del terzo anno di sperimentazione: a) n°9/2011 (estate 5%); b) n°10/2011(autunno 15%) ; c) n°11/2012 (inverno 15%); d) n°12/2012 (primavera 10%).

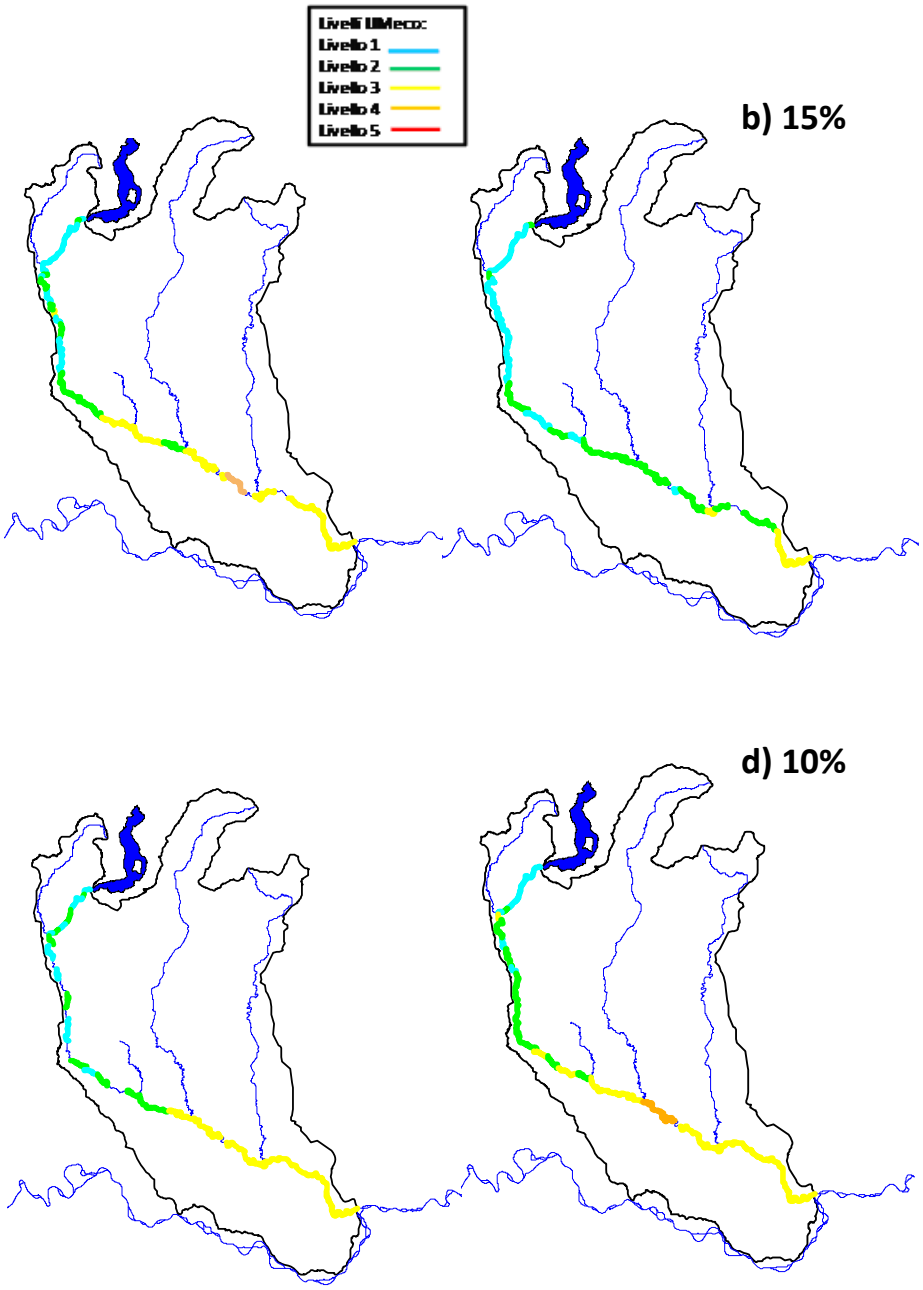


Fig. 1.17 - Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIMeco per le campagne di misura del primo anno di sperimentazione: a) n°9/2011 (estate 5%); b) n°10/2011(autunno 15%) ; c) n°11/2012 (inverno 15%); d) n°12/2012 (primavera 10%).

La figura 1.18 mostra un confronto dello stato di qualità annuale del fiume Oglio secondo l'indice LIMeco per i tre anni di sperimentazione. Il terzo anno conferma un peggioramento dello stato di qualità da monte verso valle da "ottimo" a " buono" e quindi a "sufficiente". Il confine tra lo stato ottimo e lo stato buono oscilla tra Calcio e Genivolta, mentre quello tra lo stato buono e lo stato sufficiente varia tra Seniga e Ostiano.

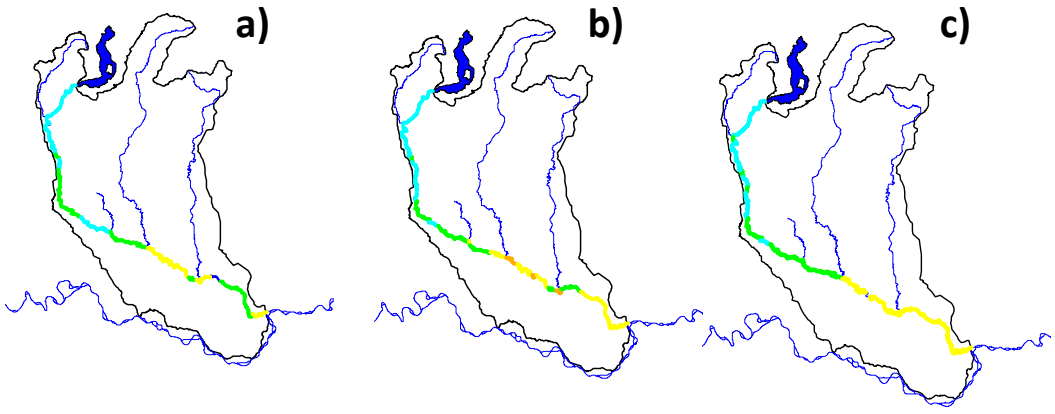


Fig. 1.18 - Stato di qualità annuale delle acque secondo l'indice LIMeco: a) LIMeco annuale calcolato dalle quattro campagne di misura stagionali del primo anno di sperimentazione; b) LIMeco annuale calcolato dalle quattro campagne di misura stagionali del secondo anno di sperimentazione; c) LIMeco annuale calcolato dalle quattro campagne di misura stagionali del terzo anno di sperimentazione.

Come per il primo ed il secondo anno di sperimentazione, anche per il terzo anno l'analisi dell'effetto delle variazioni dei deflussi in alveo sullo stato di qualità e di salute dell'ecosistema fluviale Oglio sublacuale è stata realizzata attraverso una serie di grafici che mostrano gli andamenti dei principali macrodescrittori, e della loro aggregazione con l'indice LIMeco, in relazione ai valori di portata misurati (figure 1.19- 1.26; saturazione percentuale di ossigeno, azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale, COD, clorofilla-a fitoplantonica, metano disciolto ed infine l'indice LIMeco).

I valori della percentuale di saturazione di ossigeno non mostrano andamenti specifici al variare dei deflussi in alveo in tutte le stagioni di campionamento, le relazioni tra ossigeno e portata per le campagne del terzo anno sono concordi con le stagioni degli anni precedenti (fig. 1.19). Risulta significativa la relazione lineare tra saturazione e portata misurate nella campagna n°6 (R^2=0.79). In generale i valori rientrano nell'intervallo tra l'80% e il 120% (a parte alcuni casi di valori inferiori riscontrati in autunno e primavera) indicando una buona capacità di ossidare la sostanza organica in ingresso al fiume anche quando i valori di portata sono bassi.

Anche la domanda chimica di ossigeno COD non mostra alcuna relazione con i valori di portata per tutte le stagioni di campionamento (fig. 1.20). Il confronto sui 3 anni di sperimentazione mostra come i valori stagionali siano abbastanza regolari al variare delle portate. Analogamente alla percentuale di saturazione dell'ossigeno, l'assenza di relazione con i valori di portata suggerisce due cose. La prima è che il sistema fluviale riceve carichi di sostanza organica che è in grado di metabolizzare anche in mancanza di portate elevate. La seconda è che gli apporti puntiformi di sostanza organica (dai depuratori) non incidono in modo consistente sui tenori complessivi di COD e BOD delle acque e quindi in definitiva sono apporti quantitativamente contenuti.

Confrontando le stagioni del terzo anno si nota, come negli anni precedenti, che all'aumentare dei valori di portatea le concentrazioni di azoto ammoniacale non tendono ad aumentare o a diminuire in modo univoco: in generale, i valori si attestano tra un minimo di ~0.01 e un massimo di ~0.4 mg l^{-1} in un intervallo molto più ampio di portate (tra ~3 e ~280 m^3 s^{-1}). L'unica relazione lineare con R^2 =0.64 è stata ancora una volta riscontrata per i valori della campagna autunnale n°6 (fig. 1.21).

Per quel che riguarda la concentrazione di azoto nitrico, il confronto nei tre anni mostra come nelle stagioni autunno, inverno e primavera si denoti un trend di crescita dei valori di concentrazione

all'aumentare dei valori di portata (fig. 1.22). La relazione lineare è confermata per le campagne autunnali n°6 e n°10 (rispettivamente R^2= 0.63, R^2=0.64) e per quelle invernali n°3 e n°11 (rispettivamente R^2= 0.68, R^2=0.79). Al contrario nel periodo estivo questo trend di crescita non è osservabile, anzi i valori sono al quanto variabili con valori minimi prossimi allo 0 e massimi prossimi a 8 mg l^{-1} per lo stesso valore di portata. Come già spiegato per le campagne estive del primo e del secondo anno, valori così elevati di azoto nitrico in corrispondenza di valori bassi di portata mettono ancora una volta in evidenza il contributo non trascurabile delle acque di falda sulle acque fluviali in transito nel periodo estivo rispetto al resto dell'anno.

Il fosforo totale mostra, come l'azoto nitrico, un trend di crescita significativo delle concentrazioni all'aumentare delle portate per la campagna autunnale n°6 (R^2= 0.76) e invernale n°11 (R^2= 0.62), nonostante osservando l'intero dataset di ogni stagione si noti una tendenza generale all' aumento da monte a valle (fig. 1.23).

Per le tutte le campagne di misura delle stagioni autunno, inverno e primavera si nota una tendenza all'aumento delle concentrazioni di metano all'aumentare dei valori di portata (fig. 1.24). Di fatto solo le campagne n°10, n°3 e n°11 mostrano una relazione lineare tra i due parametri. In generale i valori che si sono misurati sembrano abbastanza costanti sui 3 anni di sperimentazione, a parte alcuni casi in cui si sono osservati valori che si discostano dalla media di stagione. Un esempio è il campionamento n°6 della stagione autunnale in cui si hanno valori che non sembrano minimamente in relazione con i valori di portata, e il campionamento n°3 che presenta valori più bassi rispetto a quelli del secondo e terzo anno.

Dai dati misurati nei 3 anni di sperimentazione non si possono osservare particolari relazioni tra le concentrazioni di clorofilla e le misure di portata (fig. 1.25). I valori della clorofilla sono piuttosto lineari in tutte le stagioni all'aumentare delle portate; solo per la campagna n°6 la relazione lineare negativa risulta significativa: ciò è stato probabilmente determinata dall'effetto diluizione di un ingresso di acque particolarmente povere di fitoplancton. In generale i valori del terzo anno sono più bassi rispetto a quelli del primo e del secondo anno, in particolare questa differenza è osservabile nella stagione autunnale in cui vi è notevole variazione tra i valori della campagna n°2 e della campagna n°10.

I valori dell'indice LIMeco di tutte le campagne di misura del terzo anno di sperimentazione rispetto ai valori di portata misurati nelle corrispettive stazioni non hanno modificato in modo sostanziale quanto trovato nel primo e nel secondo anno (fig. 1.26). Confrontando le campagne di misura per stagione sembra esserci una relazione tra portata e indice LIMeco nelle stagioni autunnali, invernali e primaverili, con un tendenziale calo dello stato di qualità all'aumentare dei valori di deflusso in alveo. La relazione lineare significativa è stata in ogni modo riscontrata nella stagione autunnale per la campagna n°6, in quella invernale per la campagna n°10 ed in quella primaverile per la campagna n°12. Durante la stagione estiva non c'è alcuna relazione tra portata e valore del indice LIMeco. In generale quindi il punteggio LIMeco non è dipendente dai valori di portata fino al valore di 100 m^3 s^{-1} oscillando tra lo stato scarso e l'ottimo di qualità. Per valori di portata maggiori di 100 m^3 s^{-1}, ad eccezione di pochi valori ricadenti nello stato ottimo, il punteggio LIMeco si è invece abbassato ed è variato tra 0.15 e 0.65 (stato cattivo e buono). L'analisi dei dati ha confermato che i valori di portate superiori ai 100 m^3 s^{-1} caratterizzano l'ultima parte dell'asta fluviale, circa dall'altezza di Ostiano fino alla foce in Po e le stagioni autunno, inverno e primavera. Il peggioramento dello stato di qualità del sistema fluviale secondo l'indice LIMeco in concomitanza dell'aumento dei deflussi in alveo nelle stagioni autunnali e invernali risulta quindi rispecchiare lo stato di qualità a livello di bacino piuttosto che quello fluviale. Gli eventi di pioggia che caratterizzano le due stagioni convogliano nel sistema fluviale ingenti quantità di acqua ricche di nitrato a causa dello sfruttamento del territorio dall'attività agro-zootecnica: il fiume risulta quindi il recettore del surplus di azoto prodotto a livello di bacino.

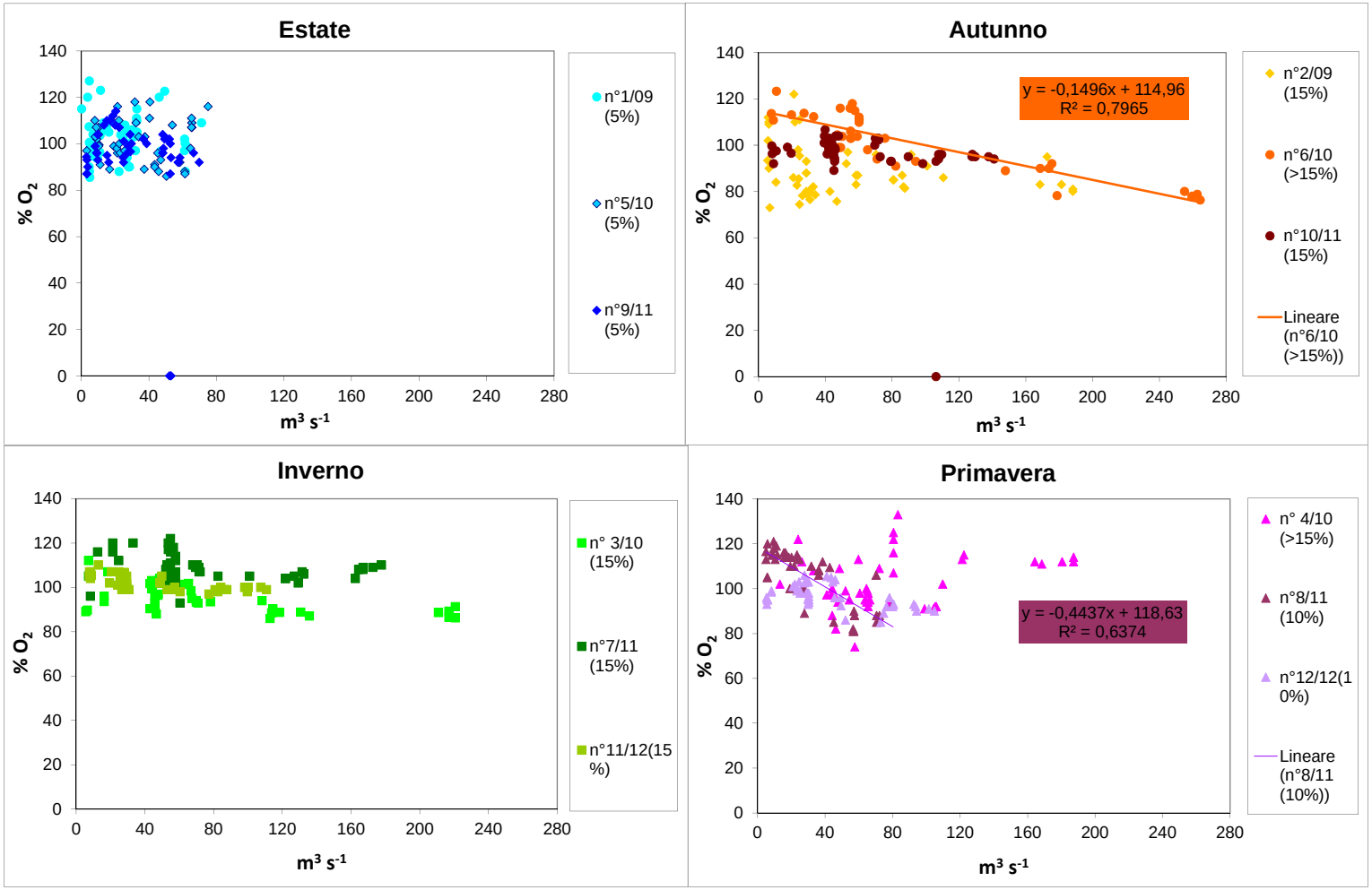


Fig. 1.19 - Valori percentuali di ossigeno disciolto VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

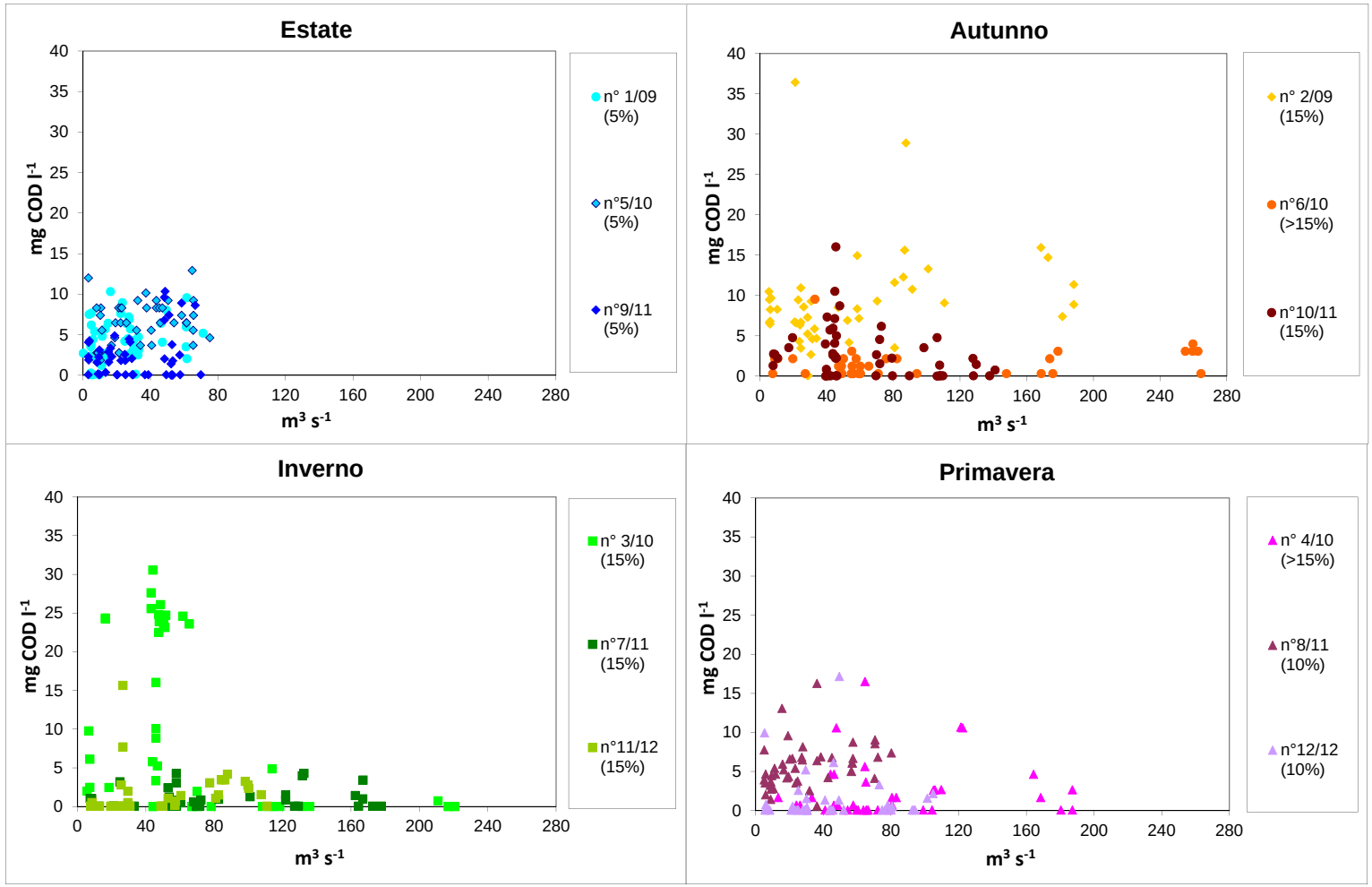


Fig. 1.20 – Sostanza organica ossidabile COD (mg l-1) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

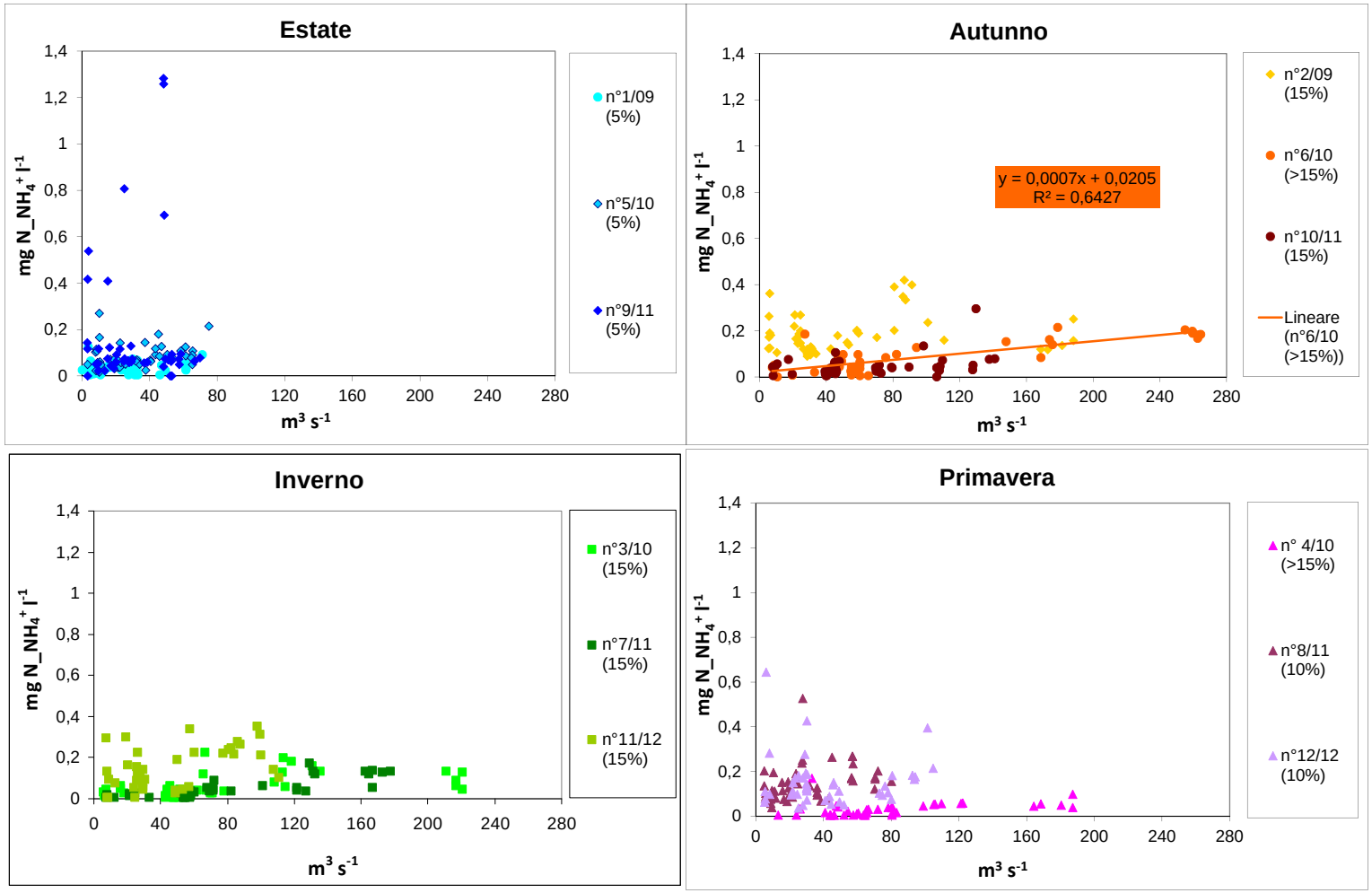


Fig. 1.21 – Concentrazione di azoto ammoniacale (mg N_NH4+ l-1) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

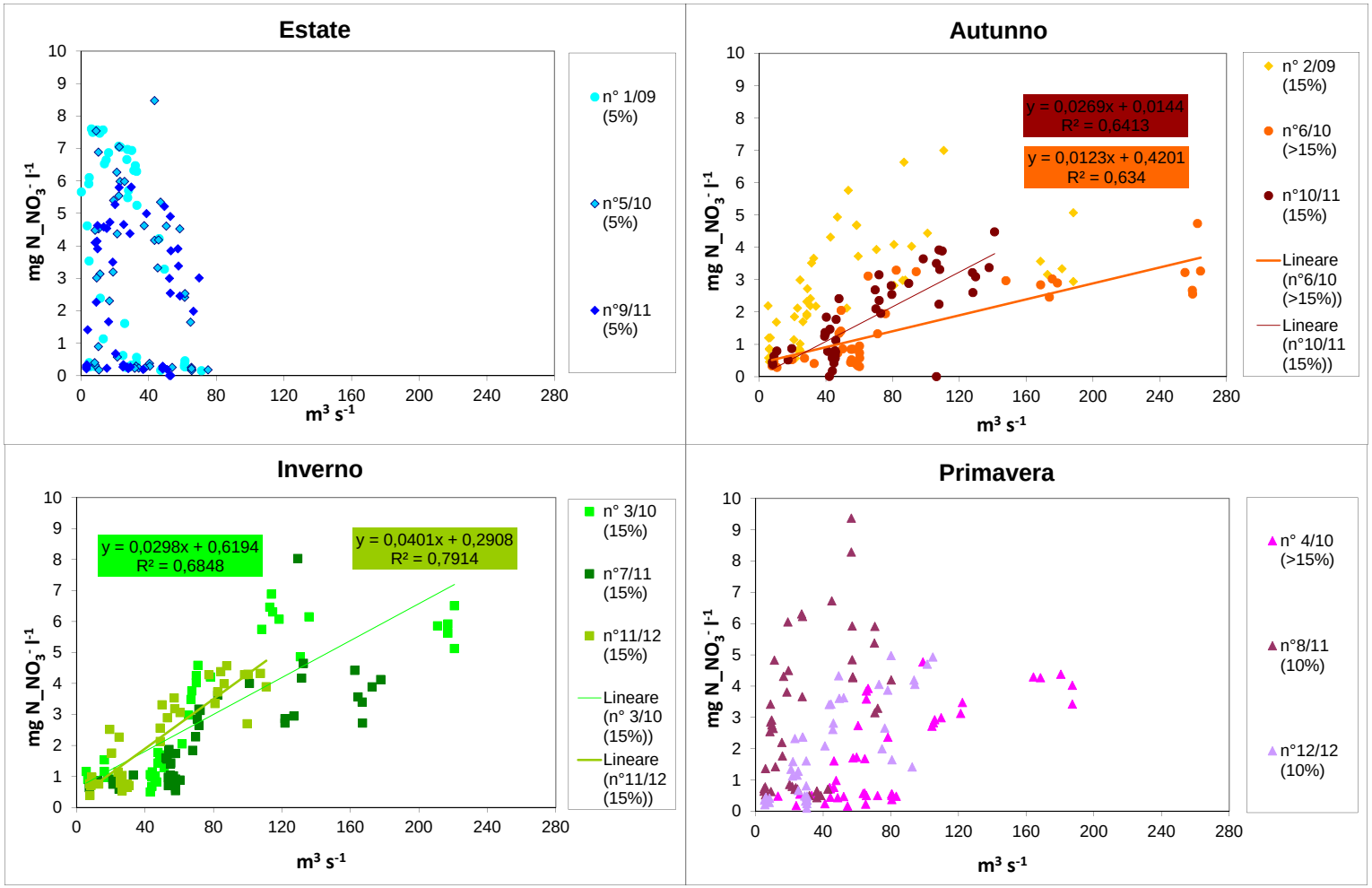


Fig. 1.22 – Concentrazione di azoto nitrico (mg N_NO3- l-1) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

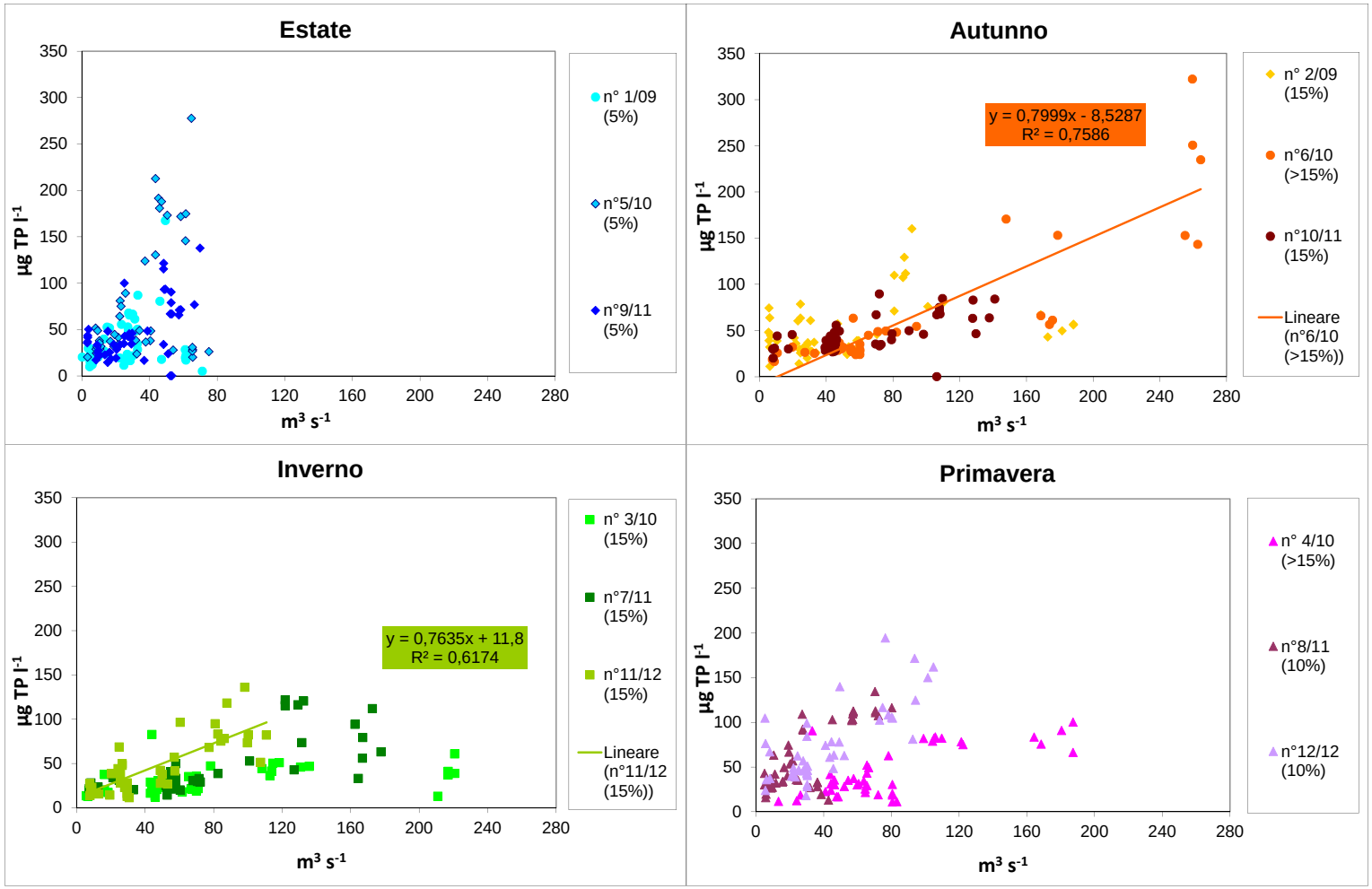


Fig. 1.23 – Concentrazione di fosforo totale (µg TP l-1) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

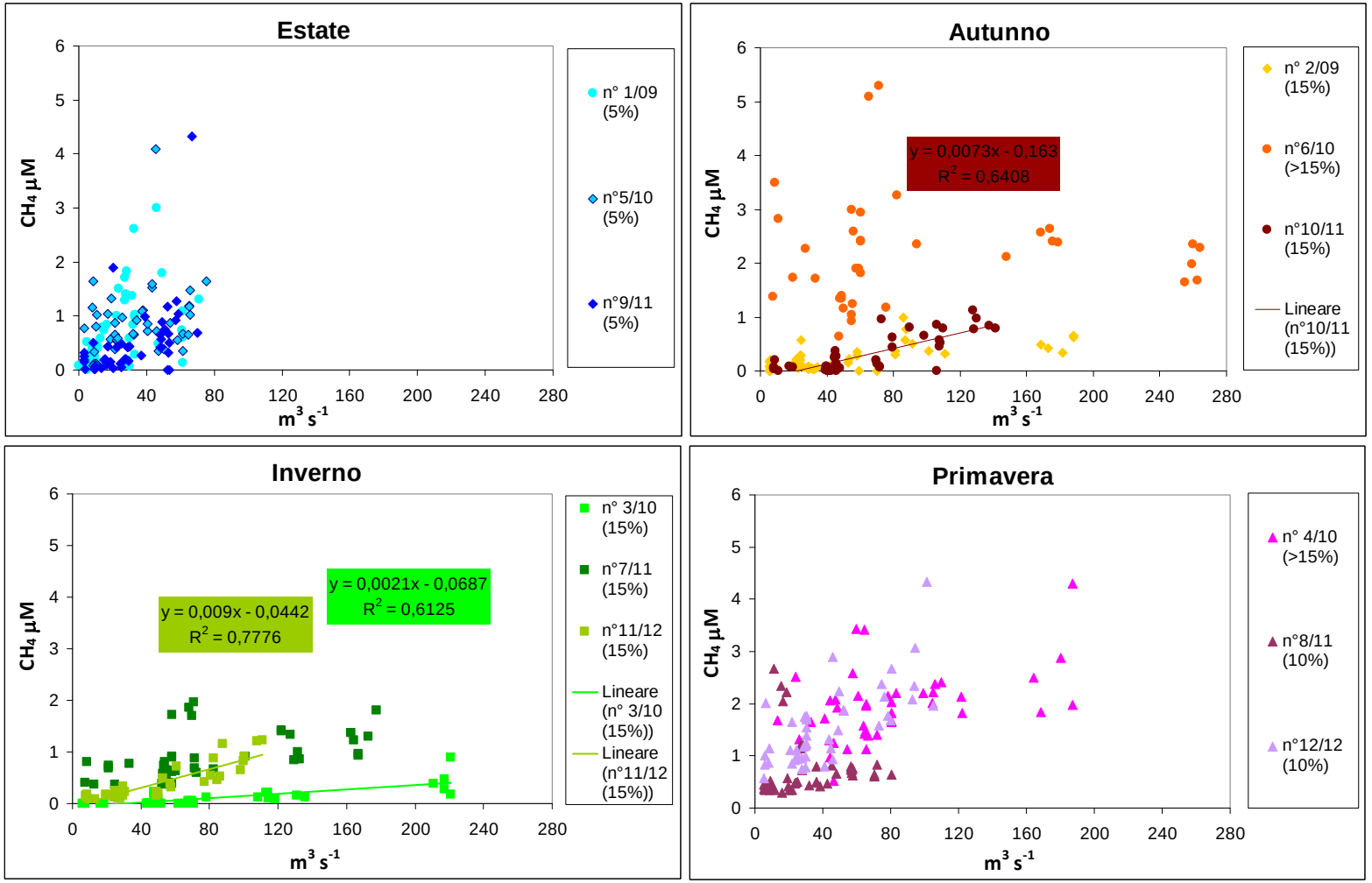


Fig. 1.24 – Concentrazione di metano (µM) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

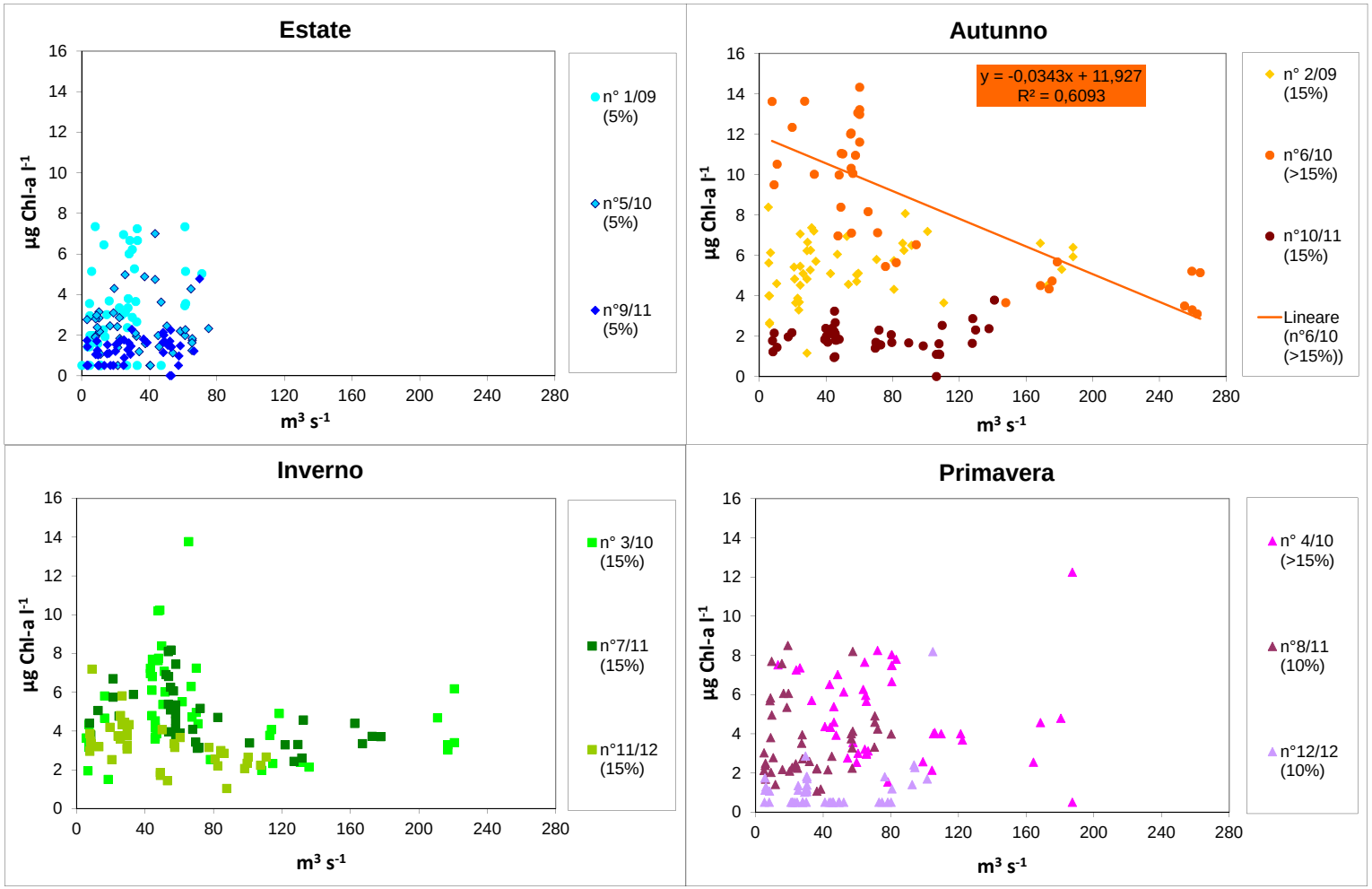


Fig. 1.25 – Concentrazione di clorofilla-a fitoplanctonica (µg l-1) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sub-blacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

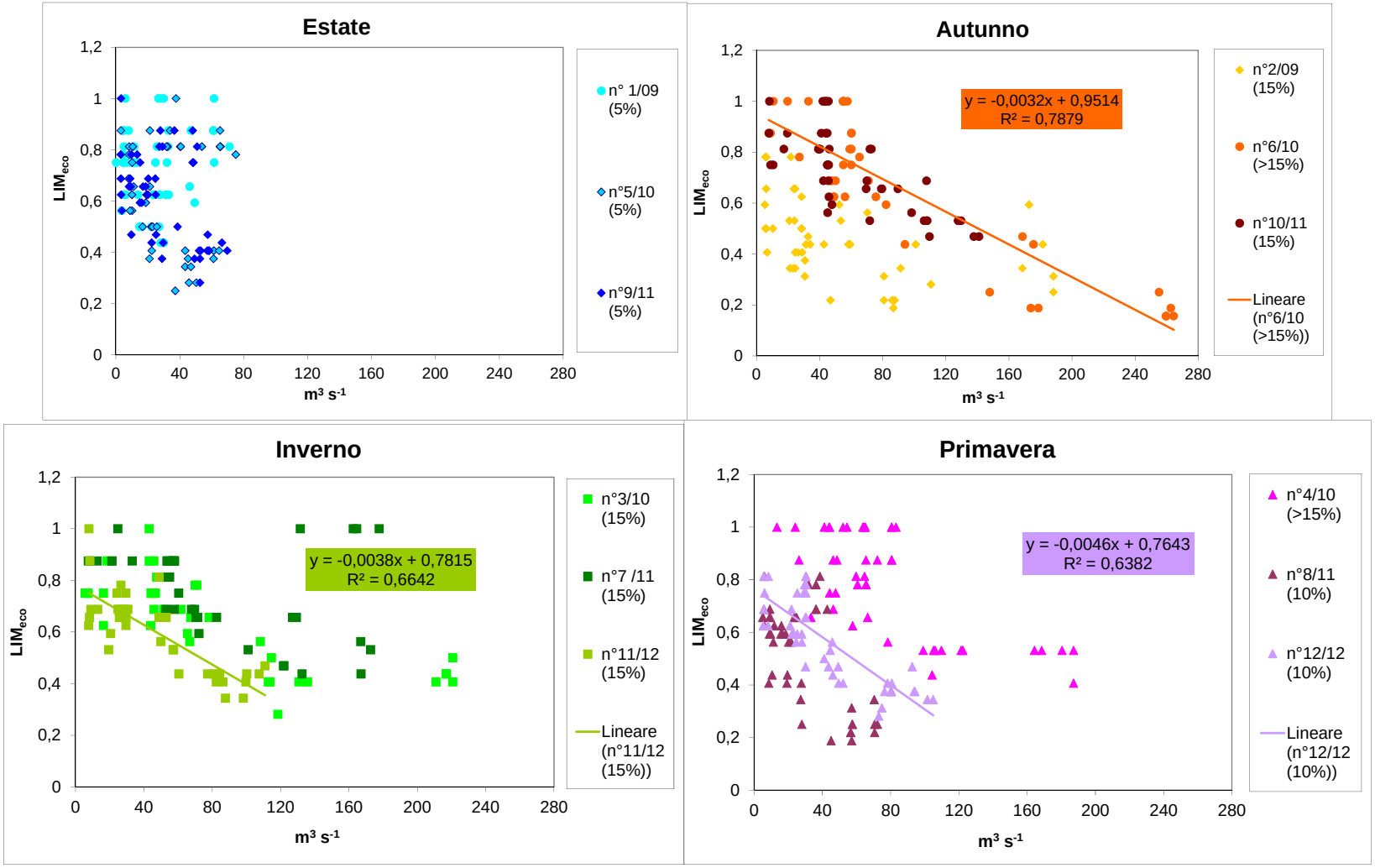


Fig. 1.26 – Punteggio LIMeco VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/09, n°5/10 e n°9/11 (5%), autunnali n°2/09 (15%), n°6/10 (>15%) e n°10/11 (15%), invernali n° 3/10, n° 7/11, n°11/12 (15%), primaverili n°4/10 (>15%), n°8/11 (10%) e n°12/12 (10%).

La tabella 1.2 riassume la presenza o assenza di correlazione lineare tra i parametri e i corrispettivi valori di portata misurati per ogni campagna di misura. In tabella sono riportati solo i valori del coefficiente r di correlazione di Pearson con valore maggiore 0.70. Nelle campagne invernali, autunnali e primaverili con maggiore quantità di acqua in transito nel sistema, all'aumentare dei valori di portata aumentano le concentrazioni di azoto nitrico, fosforo totale e metano, mentre diminuisce il punteggio del LIMeco indicando un abbassamento dello stato di qualità. Per la campagna autunnale n°6/2010, svolta durante un evento di pioggia e neve, quasi tutti i parametri sono risultati correlati ai valori di portata.

Tab. 1.2- Coefficienti di Pearson tra i parametri chimico –fisici e le portate

r di Pearson	n°1/2009	n°2/2009	n°3/2010	n°4/2010	n°5/2010	n°6/2010	n°7/2011	n°8/2011	n°9/2011	n°10/2011	n°11/2012	n°12/2012
	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$	$m^3 s^{-1}$
% O_2	-	-	-	-	-	-0.89	-	-	-	-	-	-
COD (mg l^{-1})	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$N_NO_3^-$ (mg l^{-1})	-	-	0.83	0.73	-	0.80	0.77	-	-	0.80	0.89	0.76
$N_NH_4^+$ (mg l^{-1})	-	-	-	-	-	0.80	-	-	-	-	-	-
TP (µg l^{-1})	-	-	-	0.72	-	0.87	0.72	0.78	-	-	0.79	0.76
CH4 (µM)	-	-	0.78	-	-	-	-	-	-	0.80	0.88	0.71
Chl-a (µg l^{-1})	-	-	-	-	-	-0.78	-	-	-	-	-	-
LIMeco	-	-	-0.76	-	-	-0.89	-	-	-	-0.75	-	-

Le tabelle 1.3 – 1.6 illustrano i punteggi dell'indice LIMeco calcolati per le stazioni fluviali situate a valle delle principali derivazioni irrigue raggruppando le informazioni per stagione e periodo irriguo e non irriguo. Lo stato di qualità del sistema fluviale è posto in relazione alle misure di portata svolte nel periodo di campionamento delle acque fluviali. Nelle tabelle sono quindi riportati il valore medio con deviazione standard delle misure di portata del mese di campionamento; da tali valori e dalla portata media naturale sono state calcolate le percentuali di deflusso minimo vitale corrispondenti. Per le campagne di misura estive (scenario 5%) sono state utilizzate le portate medie naturali proposte dal metodo PTUA (Programma di Tutela e Uso delle Acque) della Regione Lombardia, mentre per le campagne di misura primaverili (scenario 10%) e per le campagne di misura autunnali e invernali (scenario 15%) sono state utilizzate le portate medie naturali fornite dalla serie storica del Consorzio dell'Oglio "metodo del Consorzio" (Specifiche integrative al progetto – Protocollo per la sperimentazione del rilascio del DMV nel fiume Oglio Sublacuale, 30 giugno 2009).
Le derivazioni irrigue sono attive da aprile a settembre, di conseguenza analizzeremo con maggiore attenzione le tabelle 1.3 e 1.4 riferite al periodo irriguo estivo e primaverile.
Nelle tre stagioni estive lo stato di qualità delle stazioni a valle delle derivazioni irrigue fino al km 149,8 risulta elevato nella maggior parte dei casi. Alcune derivazioni irrigue, nello specifico Franciacorta e Media Pianura Bergamasca (stazioni fluviale FN11A), Roggia Castrina (stazioni fluviale FN15A), Roggia Baiona (stazioni fluviale FN19A), Roggia Rudiana-Vescovada (stazioni fluviale FN22A), Roggia Castellana (stazioni fluviale FN24A), Roggia Donna (stazioni fluviale FN25A), Naviglio di Cremona e Roggia Antegnata (stazioni fluviale FN27A), non generano mai situazioni di deflusso in fiume allarmanti, con percentuali di deflusso generalmente maggiori del 20%. Le derivazioni Roggia Fusia (stazioni fluviale STA03), Roggia Vetra (stazioni fluviale STD14), Roggia Trenzana e Sale (stazioni fluviale STE18), Naviglio Grande Pallavicino (stazioni fluviale FS31A), Roggia Molinara (stazioni fluviale FS33A) e il Cavo di suppeditazione (stazioni fluviale FS36A) risultano invece di maggiore interesse. Le prime tre si trovano infatti in concomitanza di prelievi non irrigui per alimentari centrali idroelettriche, in questo caso la percentuale di deflusso in alveo è variata tra il 5 e il 16%, non mostrando in ogni modo scostamenti significativi dallo stato di qualità elevato. Il Naviglio Grande Pallavicino, la Roggia Molinara e il Cavo di suppeditazione risultano avere già a monte minore disponibilità di acqua da prelevare a causa delle derivazioni irrigue precedenti che riducono la quantità di acqua in transito in fiume. Queste derivazioni risultano quindi di interesse nell'analisi dello stato ecologico del sistema fluviale in relazione al deflusso in alveo. Nelle campagne estive lo stato di qualità del fiume a valle di queste derivazioni non è in ogni caso risultato dipendere dalla

portata, all'aumentare della percentuale di DMV non è corrisposto un aumento dello stato di qualità. Le derivazioni irrigue dal km 206 fino alla foce in Po hanno determinato % di deflusso in alveo tra il 20% e il 30% in estate 2009 con stato buono di qualità, mentre in estate 2010 e in estate 2011 lo stato di qualità è risultato sufficiente o scadente nonostante la quantità di acqua in transito fosse maggiore, circa 40%.
In primavera 2010 il campionamento delle acque è stato svolto dopo un periodo di pioggia che ha caratterizzato la stagione primaverile e che ha generato grande disponibilità di acqua. È da notare infatti che a valle delle derivazioni irrigue la percentuale di DMV è risultata sempre maggiore del 30% con stato di qualità elevato per le stazioni fino al km 149,8 e buono per le successive. Per le restanti stagioni primaverili, sia le stazioni a valle dei prelievi della Roggia Fusia che della Roggia Vetra hanno presentato condizione di qualità elevate con un % di DMV tra 10 e 12%. Tutte le stazioni a valle delle derivazioni irrigue hanno invece mostrato un peggioramento dello stato di qualità nella primavera 2011 rispetto alla primavera 2012 in coincidenza con una diminuzione di acqua in transito nel sistema fluviale del 20%. In ogni modo un numero maggiore di prove sperimentali sarebbero opportune per sostenere tale ipotesi, anche alla luce del fatto che in alcune stazioni lo stato di qualità non è cambiato o addirittura è migliorato al diminuire dei valori di portata.
Osservando i valori di portata e di % di DMV durante le campagne del periodo non irriguo con i rispettivi punteggi di LIMeco, è chiaro che nel 90% dei casi il deflusso in alveo a valle delle derivazioni irrigue è nettamente superiore al 10% proprio per l'assenza di prelievi di acqua fluviale (Tab. 1.5 e 1.6). Lo stato di qualità "elevato" risulta pressoché costante fino al km 149,8. A valle delle derivazioni irrigue presenti dal km 206 lo stato di qualità oscilla tra il buono e il cattivo indipendentemente dal % di deflusso; c'è in ogni modo una tendenza a passare a stati di qualità peggiori con l'aumentare dei deflussi in alveo. Tale risultato non dovrebbe stupire considerando la rilevanza dei parametri azotati nel computo complessivo e gli apporti di azoto nitrico e ammoniacale al fiume nella stagione invernale e autunnale a causa del processo di dilavamento di un territorio fortemente sfruttato dall'attività agrozootecnica.

Tab. 1.3 – Stazioni fluviali a valle delle principali derivazioni irrigue: punteggio LIMeco, valori di portata misurati (media±deviazione standard) e relativa percentuale di deflusso minimo vitale sperimentati durante la campagna di misura estiva del periodo irriguo nei 3 anni di sperimentazione.

PERIODO IRRIGUO	km	codice	Estate 2009, scenario 5%					Estate 2010, scenario 5%					Estate 2011, scenario 5%				
			LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV	
Derivazione irrigue			punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st
Fusia	112,7	STA03	0,88	4,10	2,11	7,08	3,64	0,81	7,47	2,27	12,89	3,92	0,63	3,46	0,45	5,96	0,78
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	119,3	FN11A	0,88	56,69	2,66	96,58	4,53	0,81	63,66	3,78	108,46	6,44	0,75	53,34	8,66	90,86	14,76
Vetra	121,9	STD14	0,81	5,02	1,50	8,50	2,53	0,81	9,75	2,68	16,50	4,54	0,78	3,19	0,00	5,40	0,00
Castrina	123,4	FN15A	0,88	42,87	2,47	71,83	4,14	0,81	52,77	2,89	88,42	4,84	0,88	41,69	5,75	69,85	9,63
Trenzana e Sale	125,6	STE18	0,88	5,19	1,51	8,59	2,51	0,69	7,32	2,41	12,13	3,99	1,00	3,39	0,00	5,62	0,00
Baiona	126,6	FN19A	0,81	30,15	1,97	49,74	3,25	0,81	39,81	2,37	65,67	3,91	0,88	31,76	3,40	52,40	5,61
Rudiana-Vescovada	128,7	FN22A	1,00	27,43	1,97	42,91	3,08	1,00	37,12	2,38	58,07	3,72	0,81	31,02	2,77	48,51	4,33
Castellana	129,9	FN24A	1,00	24,17	1,99	37,74	3,10	0,88	33,80	2,40	52,77	3,75	0,63	27,84	2,30	43,46	3,59
Donna	131,5	FN25A	0,75	22,78	1,57	35,42	2,45	0,81	31,82	2,56	49,48	3,99	0,69	26,67	1,84	41,47	2,87
Naviglio di Cremona e Antegnata	135,9	FN27A	0,75	13,67	1,29	21,14	1,99	0,88	21,49	2,55	33,23	3,95	0,69	18,78	1,99	29,05	3,08
Molina e Calciana	137,8	FN28A	0,81	n.d	n.d	n.d	n.d	0,69	n.d	n.d	n.d	n.d	0,69	n.d	n.d	n.d	n.d
Naviglio Grande Pallavicino	142,9	FS31A	0,78	5,66	1,43	8,69	2,20	0,66	12,26	2,55	18,83	3,92	0,47	8,38	2,11	12,87	3,23
Molinara	143,8	FS33A	0,56	4,56	1,43	6,97	2,19	0,66	10,31	2,55	15,76	3,91	0,69	7,52	2,07	11,50	3,17
Cavo di suppeditazione	147,2	FS36A	0,75	4,98	1,60	7,59	2,44	0,78	9,34	2,55	14,23	3,89	0,66	6,86	2,07	10,45	3,16
Conta di Barco	149,8	FS38A	0,75	5,20	1,57	7,88	2,39	n. d.	6,93	2,55	10,51	3,88	0,78	8,29	2,07	12,58	3,15
Consorzio Ostianese Nuova	206,7	FS59A	0,50	24,08	2,56	24,39	2,59	0,25	38,40	2,60	38,90	2,63	0,38	45,90	3,73	46,49	3,78
Impianto di S.Maria di Calvatone	233	FS68A	0,63	28,08	3,14	24,85	2,78	0,28	46,56	2,57	41,22	2,27	0,41	51,62	3,73	45,70	3,30
Sollevamente di S.Michele in Bosco	243,5	FS77A	0,63	33,59	3,06	21,26	1,94	0,38	62,34	3,14	39,46	1,99	0,41	59,20	5,81	37,47	3,67
Impianto Maldinaro di Marcaria	253	FS79B	0,66	45,77	4,97	28,84	3,13	0,41	66,04	3,16	41,60	1,99	0,44	67,22	5,81	42,34	3,66
Torre d'Oglio	265,6	FS80A	0,59	48,91	5,18	30,78	3,26	0,41	65,82	3,24	41,42	2,04	0,41	70,54	5,81	44,38	3,65

Tab. 1.4 – Stazioni fluviali a valle delle principali derivazioni irrigue: punteggio LIMeco, valori di portata misurati (media±deviazione standard) e relativa percentuale di deflusso minimo vitale sperimentati durante la campagna di misura primaverile del periodo irriguo nei 3 anni di sperimentazione

PERIODO IRRIGUO	km	codice	Primavera 2010, scenario >15%					Primavera 2011, scenario 10%					Primavera 2012, scenario 10%				
			LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV	
Derivazione irrigue			punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st
Fusia	112,7	STA03	1,00	19,83	7,65	38,21	14,74	0,69	5,77	0,23	11,12	0,44	0,75	6,22	0,33	11,99	0,64
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	119,3	FN11A	0,88	75,87	8,78	150,05	17,37	0,69	36,32	0,18	71,83	0,36	0,81	27,41	4,41	54,22	8,72
Vetra	121,9	STD14	0,88	22,19	8,25	44,02	16,37	0,66	5,05	0,04	10,03	0,07	0,69	5,69	0,00	11,29	0,00
Castrina	123,4	FN15A	0,88	67,85	10,03	135,91	20,09	0,78	31,91	0,18	63,93	0,36	0,78	27,44	4,41	54,96	8,83
Trenzana e Sale	125,6	STE18	0,66	29,17	9,88	58,23	19,73	0,69	9,24	0,27	18,45	0,54	0,63	5,35	0,10	10,69	0,19
Baiona	126,6	FN19A	1,00	62,85	11,21	126,29	22,53	0,66	24,14	0,58	48,51	1,17	0,75	26,23	4,43	52,70	8,91
Rudiana-Vescovada	128,7	FN22A	1,00	61,85	11,46	114,47	21,22	0,66	23,67	0,54	43,81	1,00	0,66	27,64	5,06	51,16	9,36
Castellana	129,9	FN24A	n.d.	60,44	11,71	111,03	21,51	0,56	21,81	0,28	40,06	0,52	0,66	28,04	5,06	51,51	9,29
Donna	131,5	FN25A	1,00	60,40	11,84	108,42	21,26	0,56	20,27	0,28	36,38	0,50	0,66	27,96	5,03	50,18	9,02
Naviglio di Cremona e Antegnata	135,9	FN27A	1,00	53,38	12,62	92,21	21,79	0,63	16,08	0,28	27,77	0,48	0,75	22,06	5,20	38,10	8,98
Molina e Calciana	137,8	FN28A	1,00	n.d	n.d	n.d	n.d	0,69	n.d	n.d	n.d	n.d	0,66	22,75	4,42	38,69	7,52
Naviglio Grande Pallavicino	142,9	FS31A	0,88	45,66	13,24	74,49	21,60	0,44	10,28	0,58	16,77	0,94	0,59	19,72	5,01	32,17	8,18
Molinara	143,8	FS33A	0,75	43,66	13,24	70,62	21,42	0,41	8,38	0,43	13,56	0,69	0,69	18,24	5,00	29,50	8,09
Cavo di suppeditazione	147,2	FS36A	1,00	43,26	13,24	69,74	21,35	0,59	8,66	0,61	13,96	0,98	0,63	17,38	5,00	28,01	8,06
Conta di Barco	149,8	FS38A	n.d.	45,06	13,24	72,35	21,26	0,66	8,71	0,61	13,99	0,98	0,56	20,96	5,00	33,65	8,03
Consorzio Ostianese Nuova	206,7	FS59A	0,53	103,23	17,81	112,74	19,45	0,19	44,89	0,57	49,02	0,62	0,28	71,30	5,57	77,87	6,08
Impianto di S.Maria di Calvatone	233	FS68A	0,53	126,29	17,78	121,00	17,03	0,25	57,38	0,57	54,97	0,55	0,41	78,98	5,58	75,67	5,35
Sollevamente di S.Michele in Bosco	243,5	FS77A	0,53	194,85	38,12	131,08	25,64	0,25	72,08	0,57	48,49	0,38	0,38	92,75	5,81	62,39	3,91
Impianto Maldinaro di Marcaria	253	FS79B	0,53	201,65	38,12	134,99	25,52	0,38	80,07	0,57	53,60	0,38	0,34	100,05	5,81	66,98	3,89
Torre d'Oglio	265,6	FS80A	0,41	201,65	38,12	134,76	25,47	0,22	83,39	0,57	55,73	0,38	0,34	103,37	5,81	69,08	3,88

Tab. 1.5 – Stazioni fluviali a valle delle principali derivazioni irrigue: punteggio LIMeco, valori di portata misurati (media±deviazione standard) e relativa percentuale di deflusso minimo vitale sperimentati durante la campagna di misura autunnale del periodo non irriguo nei 3 anni di sperimentazione.

PERIODO IRRIGUO	km	codice	Autunno 2009, scenario 15%					Autunno 2010, scenario 15%					Autunno 2011, scenario 15%				
			LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV	
Derivazione irrigue			punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st
Fusia	112,7	STA03	0,59	10,59	8,28	20,40	15,96	0,88	29,14	33,32	56,15	64,21	0,75	8,84	0,24	17,04	0,47
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	119,3	FN11A	0,53	29,81	7,83	58,96	15,48	0,88	85,73	35,69	169,56	70,59	0,75	43,00	8,22	85,05	16,27
Vetra	121,9	STD14	0,50	5,24	2,41	10,40	4,79	1,00	36,25	34,39	71,90	68,23	0,88	7,95	0,00	15,77	0,00
Castrina	123,4	FN15A	0,78	27,55	7,74	55,19	15,51	1,00	83,22	35,78	166,72	71,67	1,00	40,78	7,98	81,69	15,99
Trenzana e Sale	125,6	STE18	0,50	4,75	2,26	9,48	4,51	1,00	45,05	34,39	89,95	68,67	0,75	11,13	2,52	22,23	5,03
Baiona	126,6	FN19A	0,53	26,72	7,84	53,68	15,76	1,00	80,52	35,63	161,79	71,60	0,75	38,87	7,56	78,09	15,20
Rudiana-Vescovada	128,7	FN22A	0,34	26,83	8,13	49,67	15,05	n.d	82,78	39,40	153,20	72,92	0,75	39,63	7,66	73,35	14,17
Castellana	129,9	FN24A	n.d	27,89	8,23	51,22	15,11	n.d	82,24	39,36	151,07	72,31	0,75	40,03	7,66	73,53	14,07
Donna	131,5	FN25A	0,41	29,89	8,23	53,64	14,77	1,00	82,24	39,36	147,62	70,66	0,88	39,71	7,68	71,27	13,79
Naviglio di Cremona e Antegnata	135,9	FN27A	0,63	32,25	8,27	55,70	14,28	1,00	79,32	39,17	137,01	67,67	1,00	36,32	8,28	62,74	14,31
Molina e Calciana	137,8	FN28A	0,50	n.d	n.d	n.d	n.d	0,81	n.d	n.d	n.d	n.d	0,88	41,96	7,71	71,37	13,11
Naviglio Grande Pallavicino	142,9	FS31A	0,31	34,24	8,84	55,86	14,41	0,69	73,66	38,92	120,17	63,50	0,81	31,64	8,40	51,62	13,71
Molinara	143,8	FS33A	0,50	32,24	8,84	52,15	14,29	n.d	72,07	38,92	116,57	62,95	0,81	31,64	8,48	51,18	13,72
Cavo di suppeditazione	147,2	FS36A	0,41	32,50	8,49	52,39	13,69	0,69	70,74	38,92	114,03	62,74	0,81	32,48	8,48	52,36	13,68
Conta di Barco	149,8	FS38A	0,38	34,30	8,49	55,07	13,63	0,69	71,43	38,92	114,68	62,49	0,69	34,61	8,48	55,57	13,62
Consorzio Ostianese Nuova	206,7	FS59A	0,22	84,95	18,82	92,77	20,55	0,25	167,18	38,82	182,58	42,39	0,56	88,29	8,74	96,41	9,55
Impianto di S.Maria di Calvatone	233	FS68A	0,28	105,34	22,39	100,93	21,45	0,19	200,02	38,82	191,65	37,19	0,47	99,68	8,78	95,50	8,41
Sollevamente di S.Michele in Bosco	243,5	FS77A	0,44	157,58	51,96	106,01	34,96	0,16	274,05	38,70	184,36	26,03	0,53	115,93	9,45	77,99	6,35
Impianto Maldinaro di Marcaria	253	FS79B	0,31	164,38	51,96	110,04	34,79	0,19	278,77	38,70	186,62	25,91	0,47	123,94	9,45	82,97	6,33
Torre d'Oglio	265,6	FS80A	0,25	164,38	51,96	109,85	34,73	0,16	278,85	38,70	186,35	25,86	0,47	127,26	9,45	85,05	6,32

Tab. 1.6 – Stazioni fluviali a valle delle principali derivazioni irrigue: punteggio LIMeco, valori di portata misurati (media±deviazione standard) e relativa percentuale di deflusso minimo vitale sperimentati durante la campagna di misura invernale del periodo non irriguo nei 3 anni di sperimentazione.

PERIODO IRRIGUO	km	codice	Inverno 2010, scenario 15%					Inverno 2011, scenario 15%					Inverno 2012, scenario 15%				
			LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV		LIMeco	$m^3 s^{-1}$		% DMV	
Derivazione irrigue			punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st	punteggio	media	dev.st	media	dev.st
Fusia	112,7	STA03	0,75	4,57	2,24	8,80	4,32	0,88	8,27	0,11	15,93	0,21	1,00	7,89	0,00	15,20	0,00
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	119,3	FN11A	0,69	44,77	10,27	88,54	20,31	0,88	61,97	6,15	122,56	12,16	0,66	28,81	5,14	56,99	10,16
Vetra	121,9	STD14	0,75	6,52	2,57	12,93	5,09	0,88	14,86	4,20	29,47	8,34	0,66	8,25	0,00	16,37	0,00
Castrina	123,4	FN15A	0,75	43,34	10,31	86,83	20,66	0,88	62,02	6,15	124,23	12,31	0,69	27,33	5,12	54,75	10,26
Trenzana e Sale	125,6	STE18	0,63	15,11	6,86	30,17	13,70	0,88	25,38	6,14	50,67	12,26	0,63	7,71	0,00	15,39	0,00
Baiona	126,6	FN19A	0,75	42,69	10,31	85,78	20,72	0,88	60,73	6,16	122,02	12,37	0,78	25,84	5,10	51,91	10,25
Rudiana-Vescovada	128,7	FN22A	0,88	42,89	10,31	79,39	19,09	n.d	61,00	6,18	112,91	11,44	0,66	24,92	5,12	46,12	9,47
Castellana	129,9	FN24A	n.d	41,80	10,26	76,78	18,85	n.d	59,21	6,22	108,76	11,43	n.d	25,32	5,12	46,51	9,40
Donna	131,5	FN25A	0,75	41,80	10,26	75,03	18,42	0,88	59,21	6,22	106,28	11,17	0,69	25,05	5,09	44,96	9,15
Naviglio di Cremona e Antegnata	135,9	FN27A	0,88	39,92	10,25	68,95	17,71	0,88	57,93	6,22	100,06	10,74	n.d	20,34	3,96	35,14	6,84
Molina e Calciana	137,8	FN28A	1,00	40,99	10,25	69,70	17,44	1,00	n.d	n.d	n.d	n.d	0,88	21,26	4,29	36,16	7,30
Naviglio Grande Pallavicino	142,9	FS31A	0,81	42,42	10,16	69,20	16,58	0,81	51,94	5,93	84,73	9,68	n.d	16,37	3,85	26,70	6,27
Molinara	143,8	FS33A	0,81	41,42	10,16	66,99	16,44	0,88	50,47	5,93	81,63	9,60	n.d	15,42	3,85	24,93	6,22
Cavo di suppeditazione	147,2	FS36A	0,81	41,71	10,16	67,23	16,38	0,81	49,09	5,93	79,13	9,56	0,53	14,36	3,85	23,14	6,20
Conta di Barco	149,8	FS38A	0,81	43,51	10,16	69,85	16,31	0,69	49,78	5,93	79,92	9,52	n.d	16,49	3,85	26,47	6,17
Consorzio Ostianese Nuova	206,7	FS59A	0,56	80,48	13,64	87,89	14,90	0,53	98,02	6,13	107,04	6,70	0,44	70,55	5,22	77,04	5,70
Impianto di S.Maria di Calvatone	233	FS68A	0,41	101,79	13,64	97,53	13,07	0,44	129,05	6,13	123,65	5,88	0,34	81,10	5,12	77,71	4,91
Sollevamente di S.Michele in Bosco	243,5	FS77A	0,44	142,67	18,88	95,98	12,70	0,44	163,90	5,37	110,26	3,61	0,44	94,17	5,52	63,35	3,72
Impianto Maldinaro di Marcaria	253	FS79B	0,50	146,47	18,88	98,05	12,64	0,53	171,20	5,37	114,61	3,60	0,44	101,46	5,52	67,92	3,70
Torre d'Oglio	265,6	FS80A	0,41	146,47	18,88	97,88	12,62	1,00	174,52	5,37	116,63	3,59	0,47	104,78	5,52	70,02	3,69

1.2.2.- Scenari di sperimentazione: GRUPPO B

Lo stato di qualità secondo l'indice LIMeco delle stazioni fluviali in cui sono stati sperimentati gli scenari del gruppo B durante le campagne di misura del terzo anno di sperimentazione sono illustrati nelle figure 1.27-1.30. Le figure mettono a confronto il punteggio LIMeco dei quattro scenari sperimentati (5, 7.5, 10 e 15%) per ogni campagna di misura e allo stesso tempo il punteggio LIMeco del primo, secondo e terzo anno di sperimentazione per gli stessi scenari. Nell'analizzare i grafici è opportuno ricordare che lo scenario di sperimentazione è stato applicato alle stazioni sottese alle centrali idroelettriche (STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26), mentre le stazioni a monte degli sbarramenti delle centrali sono da ritenersi dei riferimenti per le stazioni sottese (FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A).
Nella stagione estate, indipendentemente dall'anno di misura, lo stato di qualità risulta "elevato" in tutti gli scenari di sperimentazione con rarissime eccezioni per le stazioni STA03, STC08, STF26 a causa di concentrazioni elevate di azoto ammoniacale (fig. 1.27).
La campagna di misura autunnale del terzo anno non evidenzia differenze nello stato di qualità per gli scenari del 5 e 15% rispetto a quelle degli anni precedenti, stato "elevato". Gli scenari di sperimentazione del 7.5% e del 10% mostrano invece un peggioramento dello stato di qualità da elevato a buono o sufficiente sia per le stazioni sottese che per quelle bacinizzate evidenziando quindi la non influenza dei deflussi sullo stato di qualità, ma piuttosto una condizione, caratterizzante i primi 30 km di fiume, di maggiori concentrazioni dei nutrienti azotati (fig. 1.28). L'inverno 2012 (campagna n°11/12) non ha mostrato scostamenti di qualità rispetto alle campagne invernali del primo e secondo anno di sperimentazione: il punteggio LIMeco per le stazioni sottese ricade nel livello 1 o 2 indipendentemente dagli scenari di sperimentazioni applicati (fig. 1.29). Mettendo a confronto le campagne primaverili non si registra una differenza significativa dello stato ecologico di qualità tra i 3 anni e tra gli scenari sperimentati (fig. 1.30).
Infine, confrontando il punteggio LIMeco tra la stazione bacinizzata e la corrispettiva stazione sottesa per lo stesso scenario e campagna di misura, è da notare come il deflusso sperimentato nelle stazioni sottese non abbia modificato lo stato di qualità.

Il valore LIMeco annuale del terzo anno di attività conferma i risultati del primo e del secondo anno di sperimentazione: lo stato di qualità è elevato per tutti gli scenari di portata applicati con rarissime eccezioni (fig. 1.31 e Relazione annuale 2010-2011).

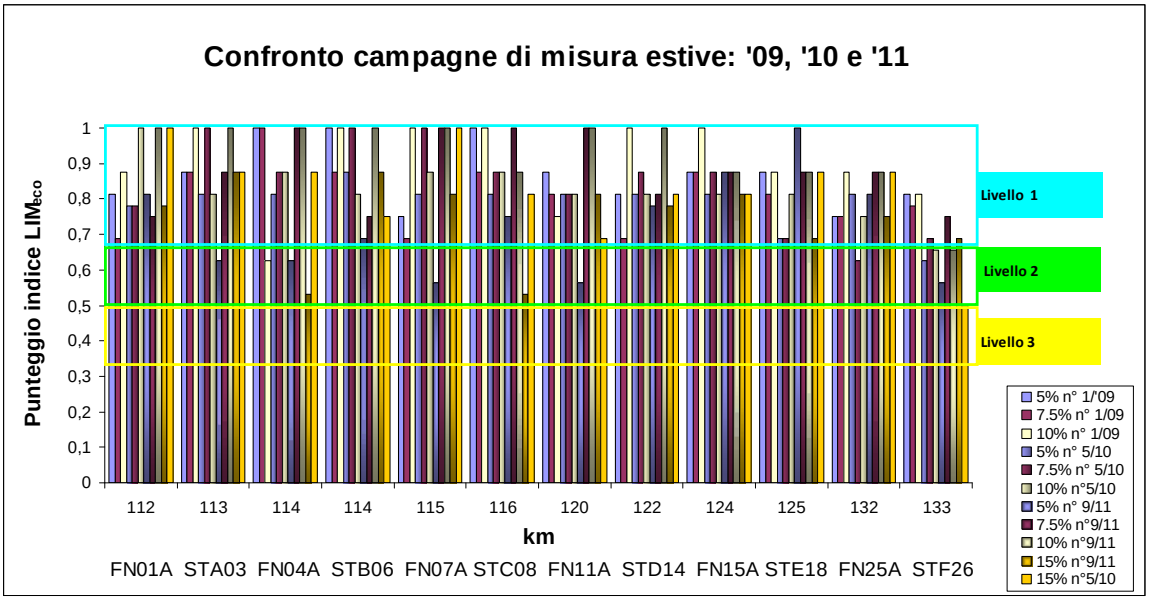


Fig. 1.27 - Punteggio dell'indice LIMeco calcolato per le campagna di misura estiva n° 1/2009, n°5/2010 e n°9/2011 nelle stazioni a monte (tratto bacinizzato: FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A) e a valle (tratto sotteso: STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale.

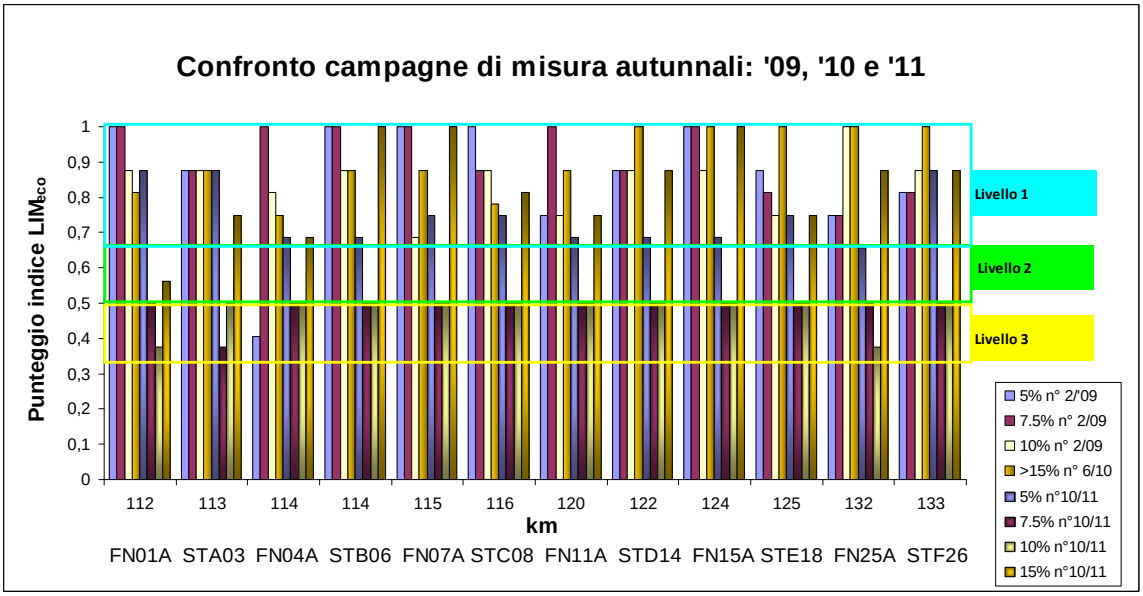


Fig. 1.28 - Punteggio dell'indice LIMeco calcolato per le campagna di misura autunnali n° 2/2009, n°6/2010 e n°10/2011 nelle stazioni a monte (tratto bacinizzato: FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A) e a valle (tratto sotteso: STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10% e >15% rispetto alla portata media naturale.

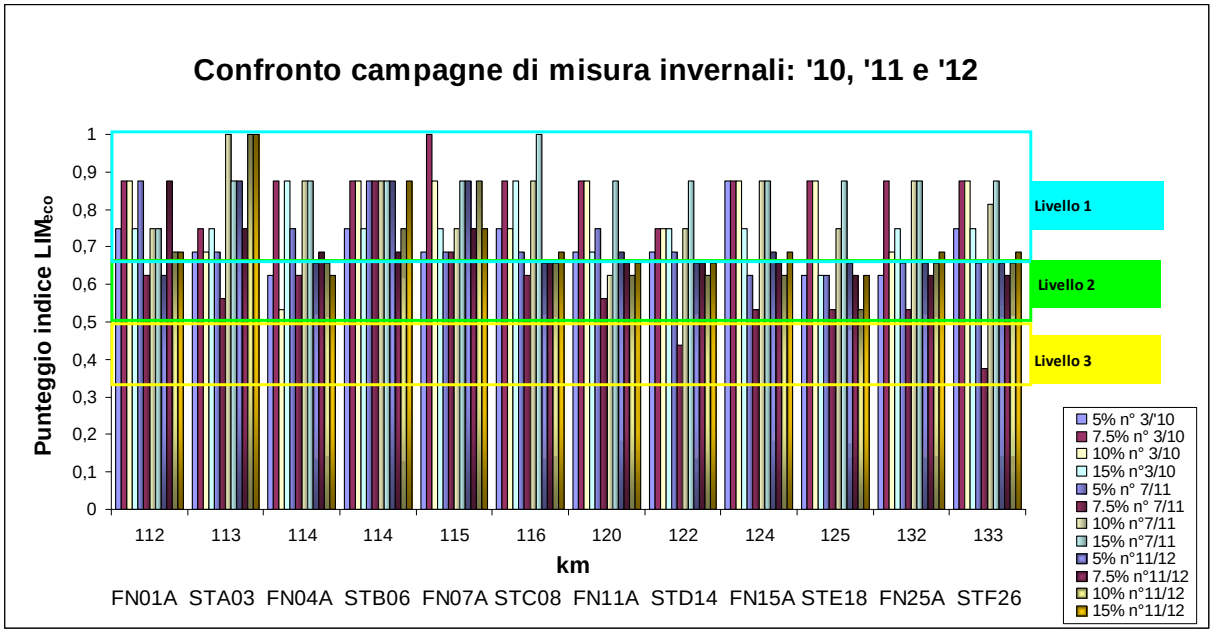


Fig. 1.29 - Punteggio dell'indice LIMeco calcolato per le campagna di misura invernali n° 3/2010, n°7/2011 e n°11/2012 nelle stazioni a monte (tratto bacinizzato: FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A) e a valle (tratto sotteso: STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale.

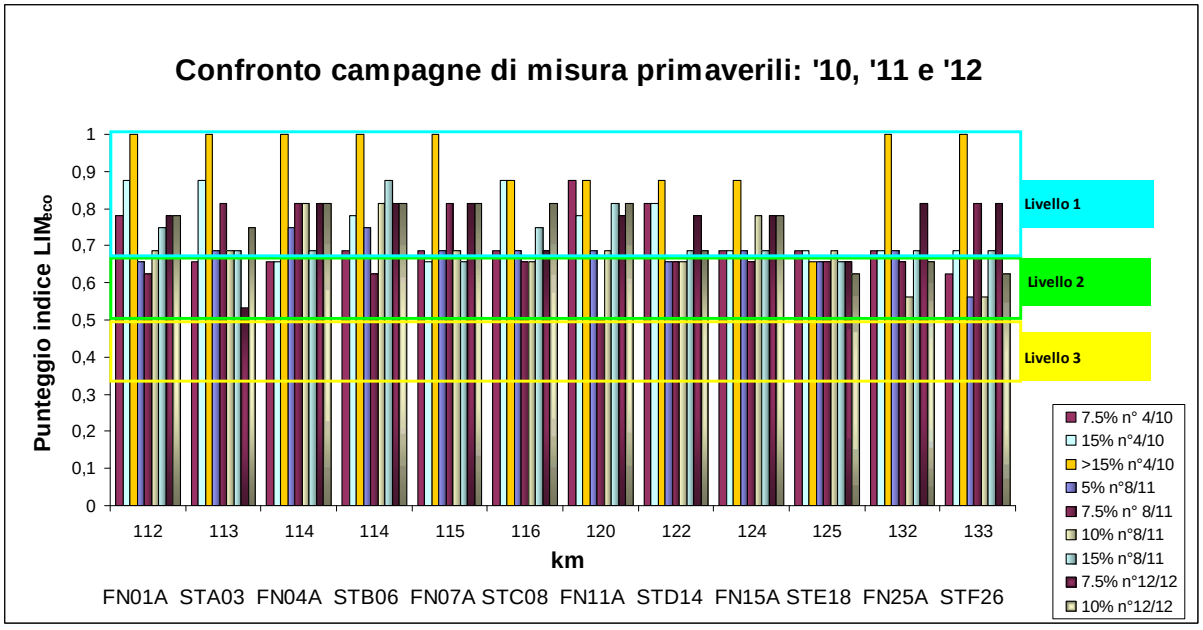


Fig. 1.30 - Punteggio dell'indice calcolato per le campagna di misura primaverili n° 4/2010, n°8/2011 e n°12/2012 nelle stazioni a monte (tratto bacinizzato: FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A) e a valle (tratto sotteso: STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26) di ognuna delle sei centrali, con scenari di portata differente nei tratti sottesi: 5%, 7.5%, 10%, 15% e >15% rispetto alla portata media naturale.

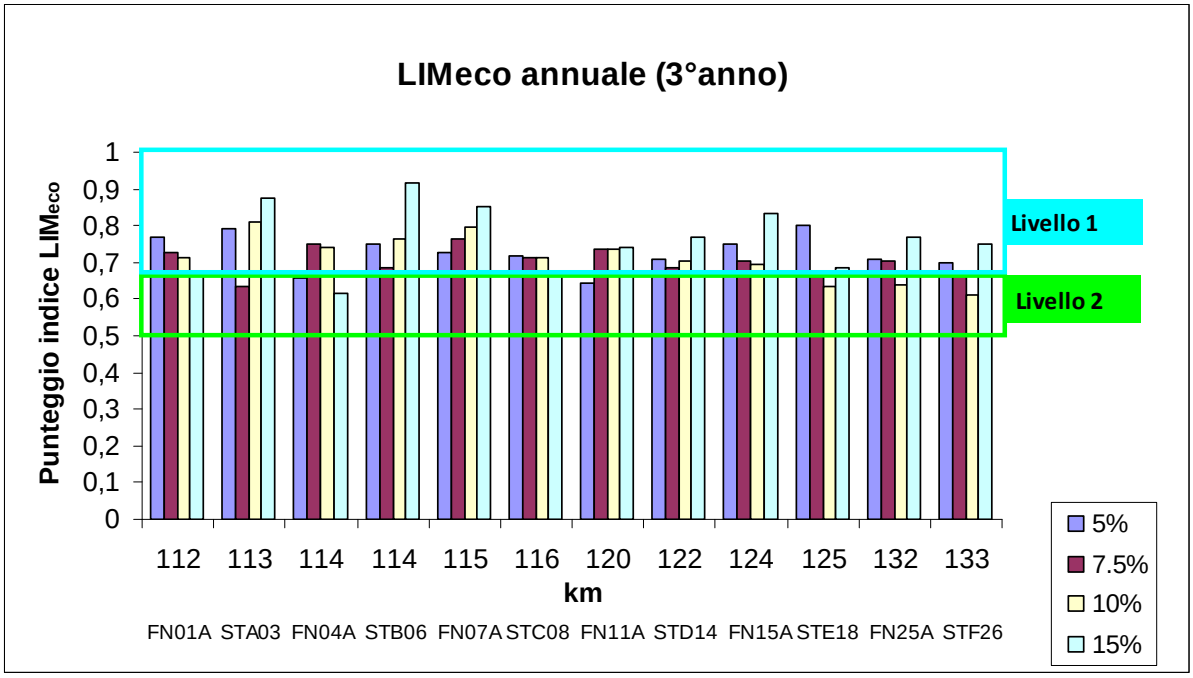


Fig. 1.31 - Punteggio dell'indice LIMeco calcolato per il secondo anno di campionamento come media delle quattro stagioni: estate n°9/2011, autunno n° 10/2011, inverno n° 11/2012 e primavera n° 12/2012, nelle stazioni a monte (tratto bacinizzato: FN01A, FN04A, FN07A, FN11A, FN15A, FN25A) e a valle (tratto sotteso: STA03, STB06, STC08, STD14, STE18, STF26) di ognuna delle sei centrali.

Dalla figura 1.32 alla figura 1.39 sono riportati i dati dei parametri idrochimici (saturazione percentuale di ossigeno, azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale, COD, clorofilla-a fitoplantonica, metano disciolto) e indice LIMeco versus i valori di portata misurati nelle sei stazioni sottese alle centrali idroelettriche, dove sono applicati i diversi scenari di sperimentazione (5%, 7.5%, 10% e 15%) durante i tre anni di progetto. Anche nel terzo anno di attività è capitato che alcune centrali idroelettriche, avendo impianti con bassa capacità di derivazione, non riuscissero a mantenere gli scenari stabiliti nei tratti sottesi e rilasciassero in fiume portate anche maggiori rispetto al 15% (tra ~7.5 e ~8.3 $m^3 s^{-1}$). L'analisi dell'esistenza di relazioni tra i principali macrodescrittori ed i valori di portata misurati, considerando le percentuale sperimentate (5%: tra ~2.5 e ~2.8 $m^3 s^{-1}$, 7.5%: tra ~3.7 e ~4.2 $m^3 s^{-1}$, 10%: tra ~5.0 e ~5.6 $m^3 s^{-1}$, 15%: tra ~7.5 e ~8.3 $m^3 s^{-1}$) non ha evidenziato alcuna correlazione tra parametri idrochimici e valori di portata, così come tra LIMeco e valori di portata. Il confronto tra stazioni nel tratto bacinizzato e stazione nel rispettivo tratto sotteso (dati non riportati) ha evidenziato solamente come il metano disciolto sia in concentrazioni significativamente più elevate nei tratti bacinizzati rispetto a quelle prettamente fluviali. Questo risultato è stato interpretato alla luce di un accumulo di sedimento organico nei tratti a minore velocità dell'acqua.

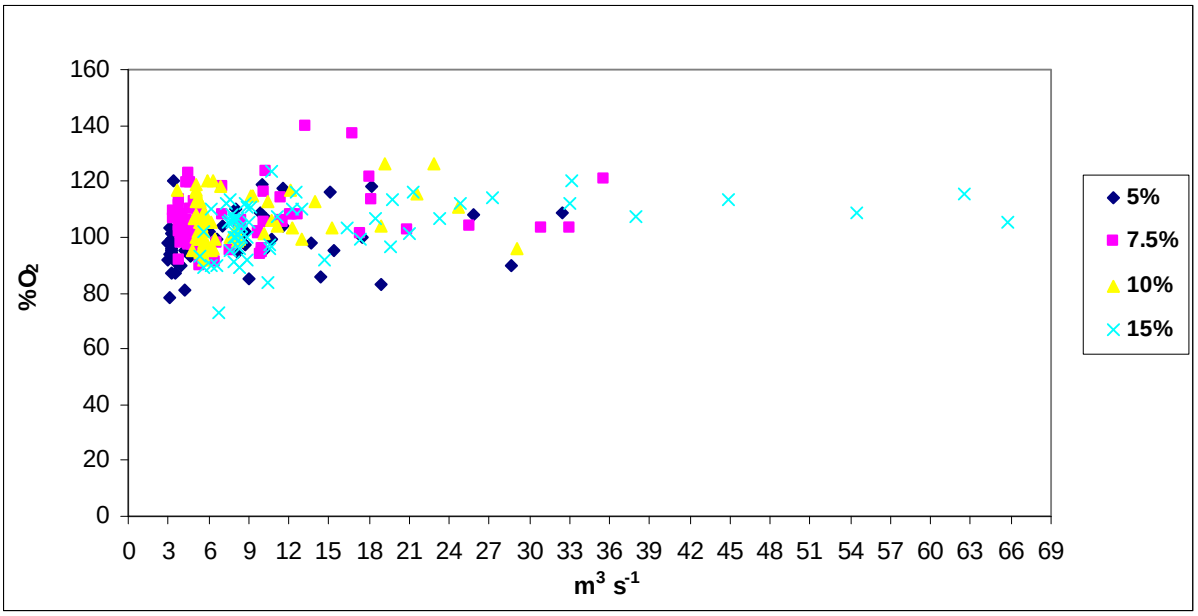


Fig. 1.32 - Percentuali di saturazione dell'ossigeno vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n°1/09, n°2/09, n°3/10, n°4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

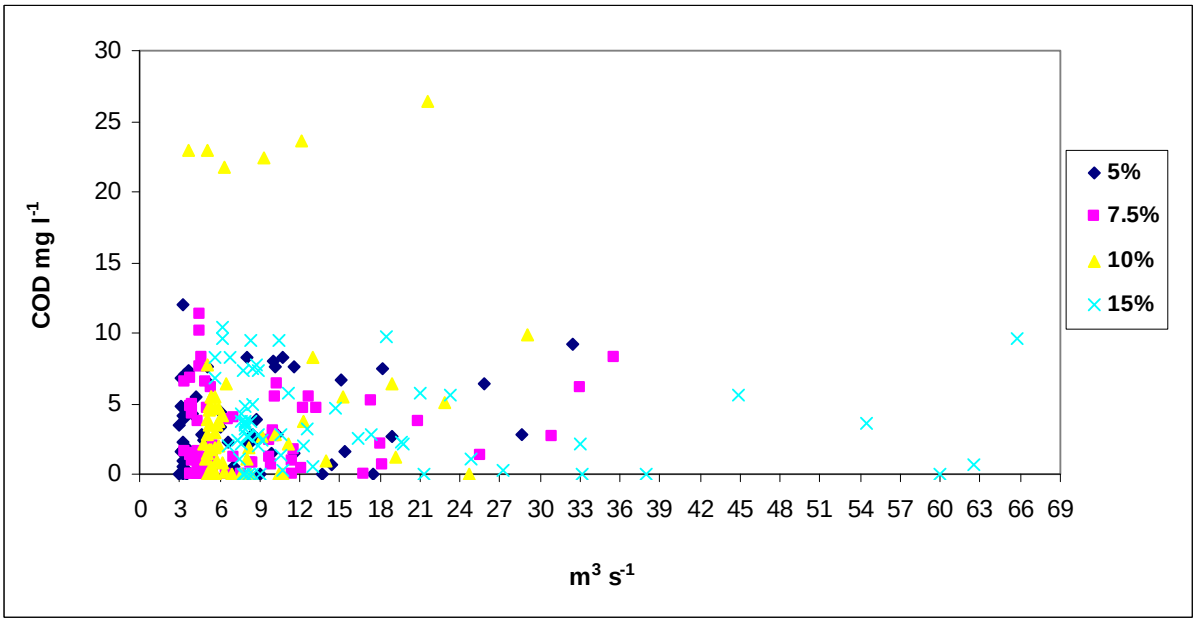


Fig. 1.33 - Valori di COD vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

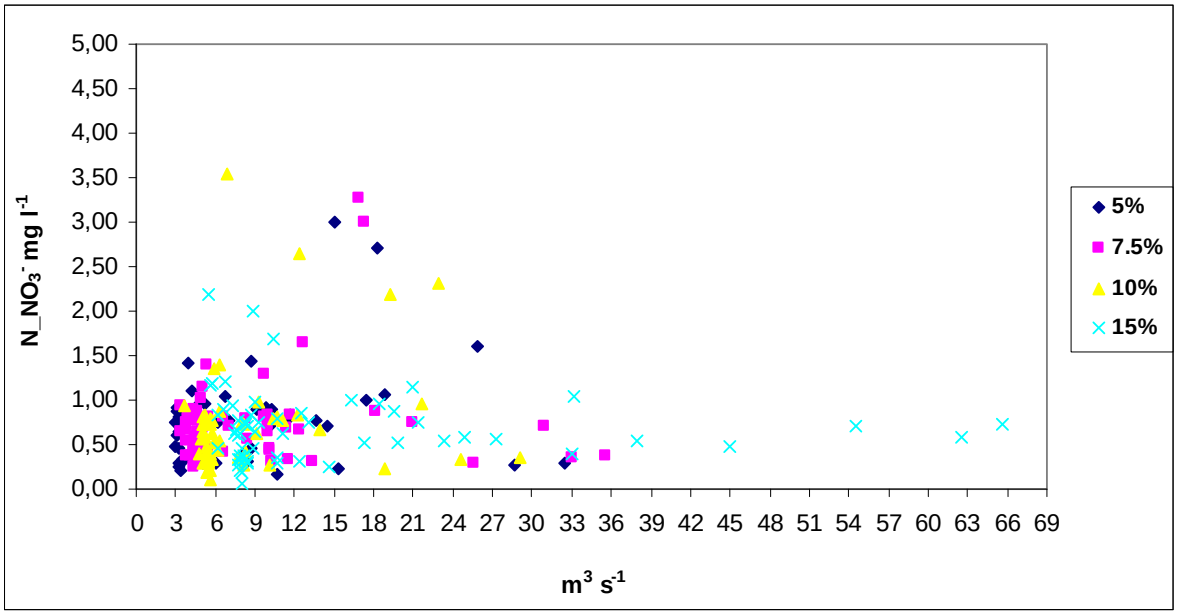


Fig. 1.34 - Concentrazioni di azoto nitrico vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

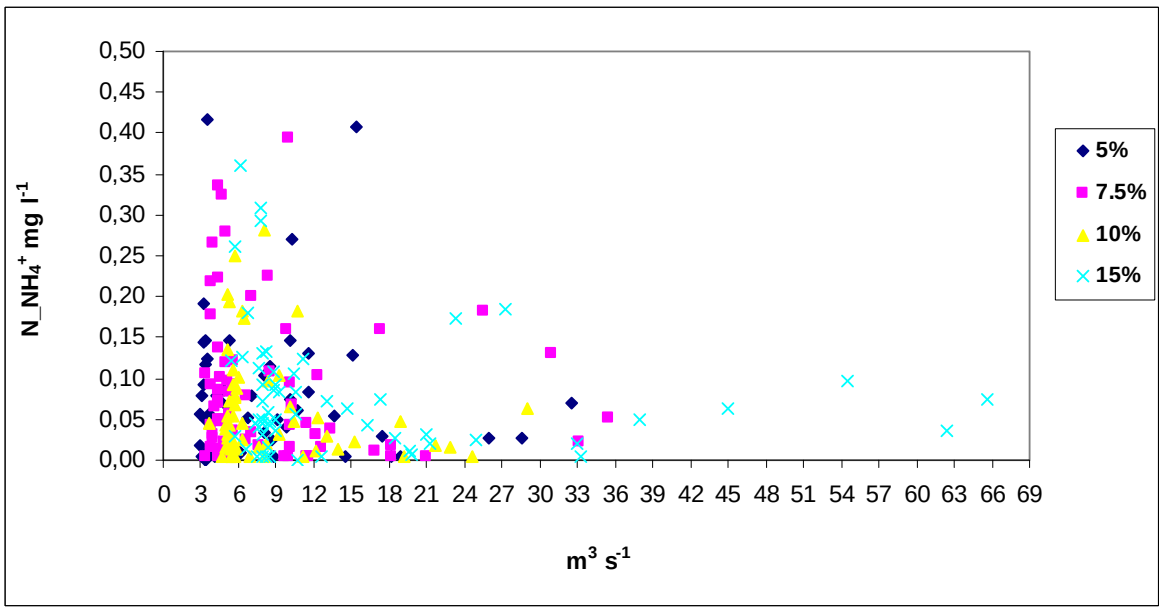


Fig. 1.35 - Concentrazioni di azoto ammoniacale vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

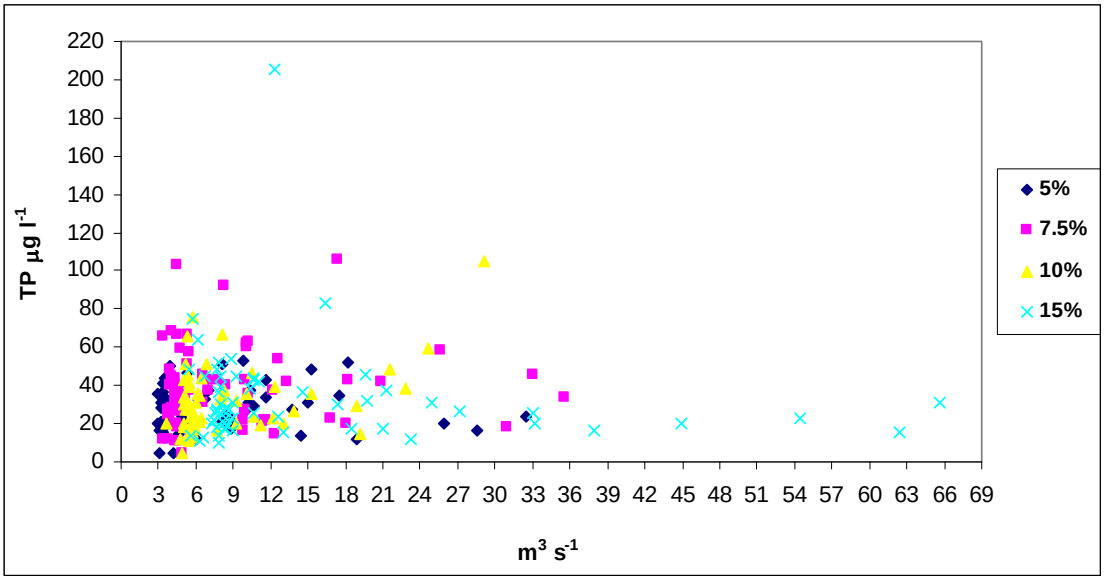


Fig. 1.36 - Concentrazioni di fosforo totale vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

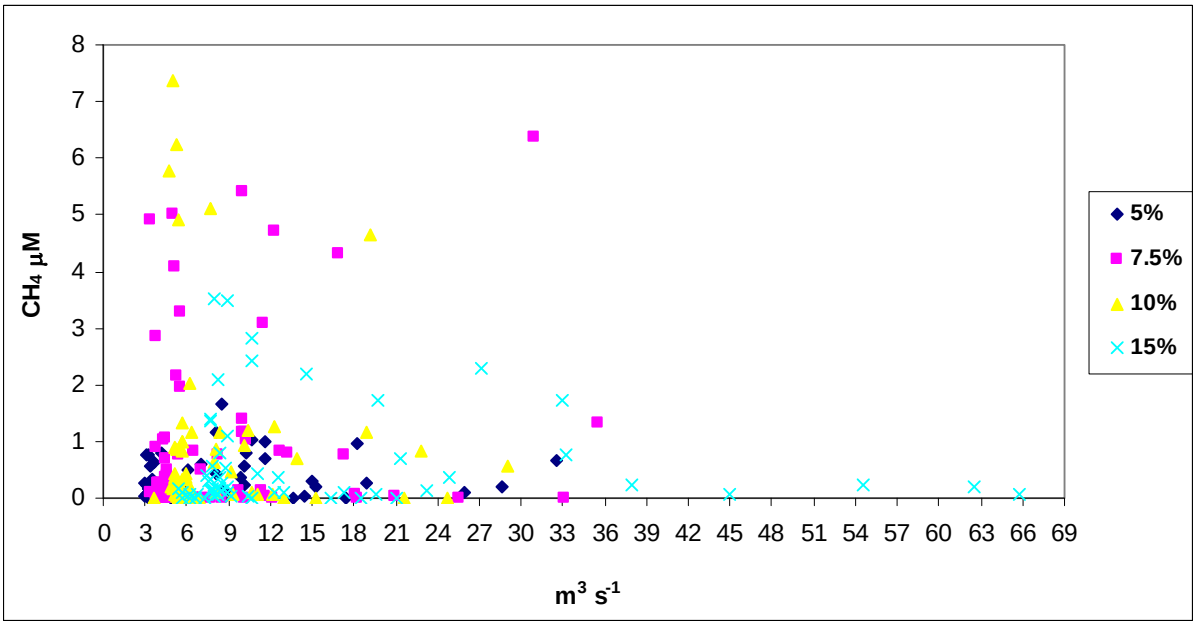


Fig. 1.37 - Concentrazioni di metano vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

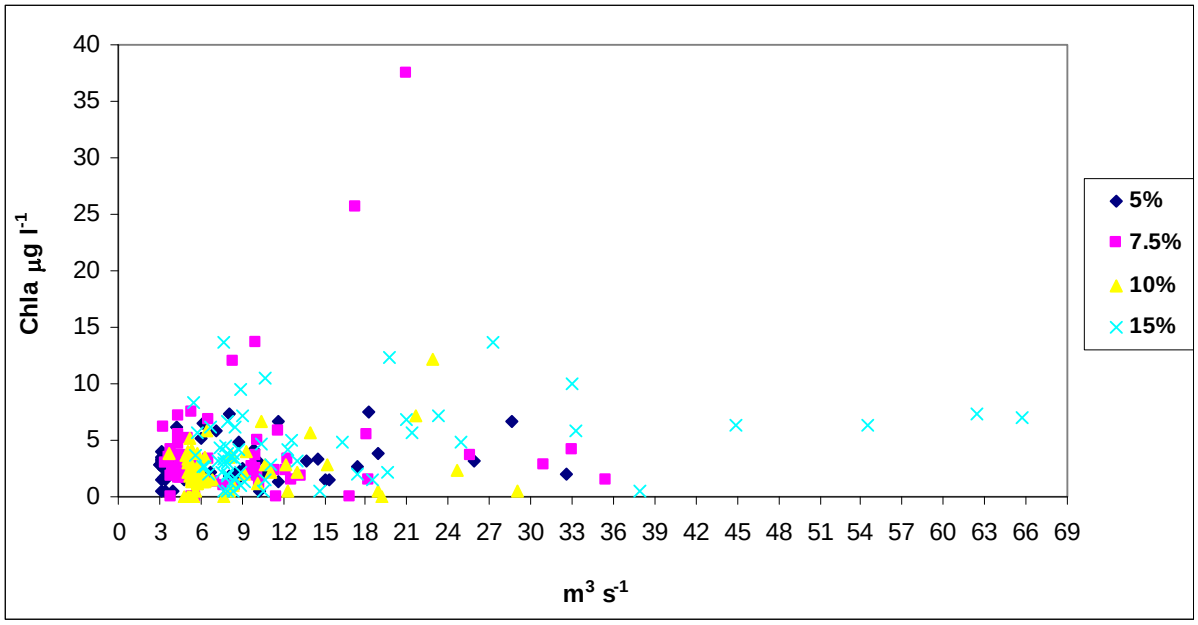


Fig. 1.38 - Concentrazioni di clorofilla-a fitoplanctonica vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12).

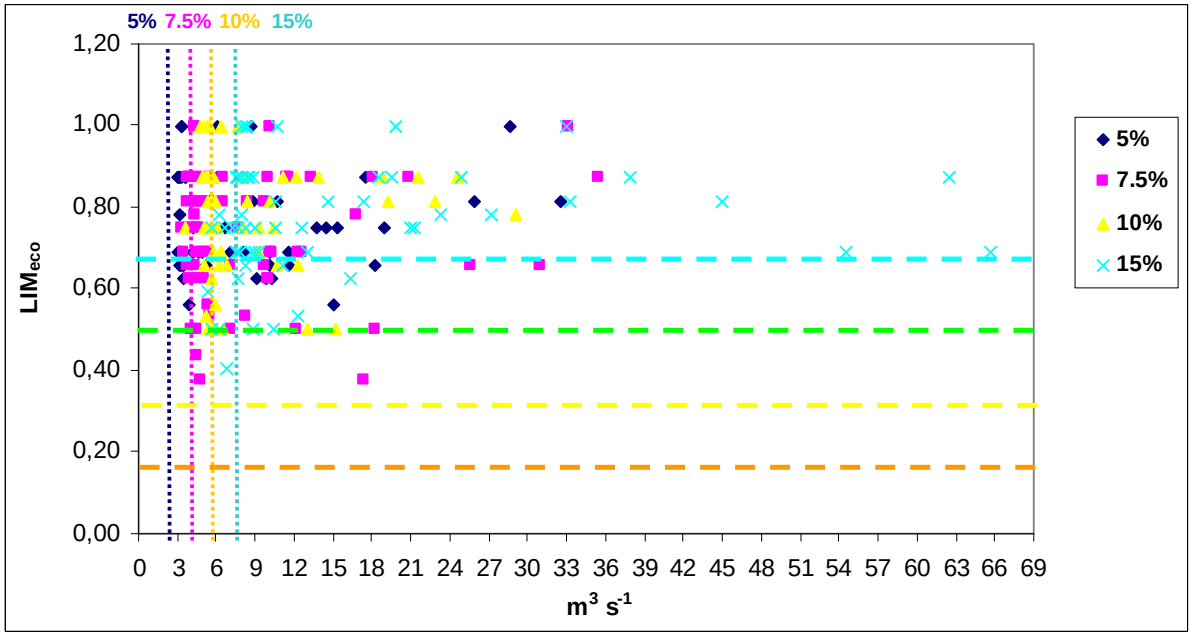


Fig. 1.39 - Punteggio indice LIMeco vs valori di portata misurati nelle sei stazioni a valle delle centrali idroelettriche (tratti sottesi) in cui sono stati applicati gli scenari di portata del 5%, 7.5%, 10% e 15% rispetto alla portata media naturale, i cui valori di portata sono indicati con le rette verticali. I dati sono riportati indipendentemente dalle dodici campagne di misura (n° 1/09, n° 2/09, n° 3/10, n° 4/10, n°5/10, n°6/10, n°7/11, n°8/11, n°10/11, n°11/12 e n°12/12). Le rette orizzontali indicano il limite inferiore tra il salto di un livello e il successivo dell'indice LIMeco (stato elevato ≥0.66, azzurro; stato buono ≥0.50, verde; stato sufficiente ≥0.33, giallo; stato scarso ≥0.17, arancione; stato cattivo <0.17, rosso)

2. MONITORAGGIO BIOLOGICO

2.1.- MACROINVERTEBRATI

2.1.1.- Stazioni di campionamento e campagne di misura

La tabella 2.1 riassume le date di campionamento delle campagne di misura svoltesi nel terzo anno di sperimentazione per la caratterizzazione della comunità dei macroinvertebrati. Le tempistiche del campionamento e il numero di operatori sono conformi agli anni precedenti. Le 17 stazioni previste da progetto sono state campionate durante le campagne di misura estiva (n°9) e autunnale (n°10), mentre in quelle invernale (n°11) e primaverile (n°12), a causa dell'eccessiva quantità di acqua che fluiva in alveo nelle stazioni guadabili e della difficoltà nel campionare con il retino Surber, sono state caratterizzate le comunità macrozoobentoniche solamente nelle stazioni in cui solitamente è utilizzata la metodologia dei substrati artificiali, circa 12 stazioni. In tutte le 4 campagne di misura non è stato possibile recuperare tutti i substrati artificiali a causa di atti vandalici quali troncamento del filo del substrato o deposizione del substrato a riva.

Tab. 2.1 - Date di campionamento dei macroinvertebrati delle campagne di misura

(la sigla S.A. indica Substrati Artificiali)

Campagna di misura	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°9 (estate 2011)	20/07/2011	3 (Retino Surber)
	21/07/2011	2 (Retino Surber)
	16/08/2011	6 (Retino Surber e Deposizione S.A.)
	17/08/2011	6 (Deposizione S.A.)
	19/09/2011	5 (recupero S.A.)
	20/09/2011	6 (recupero S.A.)
n°10 (autunno 2011)	15/11/2011	5 (Retino Surber)
	29/11/2011	5 (Deposizione S.A.)
	30/11/2011	2 (Deposizione S.A.)
	01/12/2011	5 (Deposizione S.A.)
	11/01/2012	8 (Recupero S.A.)
	13/01/2012	4 (Recupero S.A.)
n°11 (inverno 2012)	31/01/2012	4 (deposizione S.A.)
	02/02/2012	2 (deposizione S.A.)
	03/02/2012	6 (deposizione S.A.)
	21/03/2012	6 (recupero S.A.)
	22/03/2012	6 (recupero S.A.)
n°12 (primavera 2012)	17/04/2012	4 (deposizione S.A.)
	18/04/2012	4 (deposizione S.A.)
	19/04/2012	3 (deposizione S.A.)
	22/05/2012	6 (recupero S.A.)
	24/05/2010	5 (recupero S.A.)

2.1.2.- Campionamento e analisi di laboratorio

Nel terzo anno di attività il campionamento dei macroinvertebrati è stato eseguito seguendo il protocollo previsto dal Notiziario dei Metodi analitici – Istituto di Ricerca Sulle Acque – CNR Macroinvertebrati acquatici e Direttiva 2000/60/CE. N. 1, Marzo 2007 (CNR-IRSA, 2007). Si rimanda al "Relazione annuale 2009-2010: Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sublacuale – Consorzio dell'Oglio" per maggiori dettagli e approfondimenti.

2.1.3.- Analisi dei dati

L'analisi dei dati ha previsto il calcolo dell'indice IBE per ogni stazione, nonostante la metodologia di campionamento per l'applicazione di quest'ultimo sia differente da quella in uso.

L'indice multimetrico STAR_ICMi è stato calcolato in accordo con quanto riportato nel notiziario IRSA 2007, non essendo disponibile il software MACROPER. Il calcolo dell'indice STAR_ICMi necessita del calcolo di alcune metriche, riportate in tabella 2.2, che opportunamente pesate e normalizzate consentono di ottenere l'indice finale. Per i campioni raccolti utilizzando il metodo dei substrati artificiali è stato calcolato l'indice ISA, considerato come media ponderata tra STAR e MTS (Mayfly Total Score) con pesi rispettivamente uguali a 0.6 e 0.4. L'Average Score per Taxon (ASPT) è stato calcolato utilizzando i punteggi riportati da Davy-Bowker (2008) ed il calcolo dell'RQE per questa metrica è stato effettuato sottraendo il valore 2 al valore grezzo della metrica stessa e ai valori di ASPT di riferimento. I punteggi da assegnare ai singoli taxa di efemerotteri per il calcolo dell'MTS sono quelli riportati nel lavoro di Buffagni et. al (1997). Il fiume Oglio sublacuale ricade all'interno dell'Idroecoregione Pianura Padana ed è classificato come fiume avente origine da grande lago (Autorità di Bacino del Fiume Po, 2010). Non essendo presenti valori di riferimento specifici per questa tipologia fluviale si è optato per l'utilizzo del valore generico attribuibile al macrotipo C come indicato nel DM 260/2010. Siccome il riconoscimento degli efemerotteri è avvenuto generalmente a livello di genere e non di unità operazionale ai generi *Caenis e Baetis* sono stati attribuiti i punteggi minori (pari a 1) in modo da avere la stima più conservativa possibile.

Tab. 2.2.- Metriche necessarie al calcolo dello STAR-ICMi (da Buffagni et al., 2008).

Tipo di informazione	Tipo di metrica	Metrica	Descrizione e taxa considerati	Peso
Tolleranza	Indice	ASPT	Intera comunità (livello di Famiglia)	0.333
Abbondanza/ Habitat	Abbondanza	Log_{10} (Sel_EPTD +1)	Log_{10} (somma delle abbondanze di Heptageniidae, Ephemeridae, Leptophlebiidae, Brachycentridae, Goeridae, Polycentropodidae, Limnephilidae, Odontoceridae, Dolichopodidae, Stratyomidae, Dixidae, Empididae, Athericidae e Nemouridae +1)	0.266
	Abbondanza	1-GOLD	1 - (abbondanza relativa di Gastropoda, Oligochaeta e Diptera)	0.067
Ricchezza /Diversità	Numero taxa	Numero totale di Famiglie	Somma di tutte le famiglie presenti nel sito	0.167
	Numero taxa	Numero di Famiglie di EPT	Somma delle famiglie di Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera	0.083
	Indice Diversità	Indice di diversità di Shannon-Wiener	$D_{s-w} = -\sum_{i=1}^{s}\left(\frac{n_i}{A}\right)\cdot\ln\left(\frac{n_i}{A}\right)$ (sull'intera comunità)	0.083

2.2.- MACROFITE

2.2.1.- Stazioni di campionamento e campagne di misura

Le campagna di misura per il campionamento delle macrofite è ripartita in 2 fasi successive (così come richiesto dalla metodica nazionale che presuppone per una sua rappresentatività l'acquisizione di dati in 2 momenti susseguenti all'interno di una medesima stagione vegetativa), in modo da caratterizzare in modo esemplificativo le comunità a macrofite del fiume durante il

periodo tardo primaverile-estivo. Nel corso dei tre anni di studio le macrofite sono state caratterizzate in tre campagne di misura (n°1/09, n°5/10 e n°9/11) eseguendo complessivamente 23 uscite di campo (6 nel primo anno, 9 nel secondo e 8 nel terzo), riassunte in tabella 2.3. Nel complesso, per tutti e tre gli anni è stato possibile rilevare in modo completo tutte e trenta le stazioni in analisi.

Tabella 2.3. Date di campionamento delle macrofite nelle tre campagne di misura effettuate (n° 1/09, n°5/10 e n° 9/11).

Campagna di misura	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°1 (estate 2009)	12/08/2009	3
	13/08/2009	4
	21/08/2009	6
	25/09/2009	7
	03/09/2009	5
	09/09/2009	5
n° 5 (estate 2010)	18/07/2010	6
	21/07/2010	6
	23/07/2010	3
	26/07/2010	8
	27/07/2010	7
	17/08/2010	8
	18/08/2010	8
	19/08/2010	8
	22/08/2010	6
n° 9 (estate 2011)	08/07/2011	11
	07/07/2011	8
	11/07/2011	11
	12/08/2011	5
	13/08/2011	6
	18/08/2011	6
	20/08/2011	7
	22/08/2011	6

2.2.2.- Campionamento e analisi di laboratorio

Il campionamento delle macrofite è stato effettuato seguendo la metodica "nazionale" di valutazione, così come delineato nel documento di riferimento: RT/2009/23/ENEA "Metodo per la valutazione e la classificazione dei corsi *d'acqua utilizzando la comunità delle* macrofite acquatiche", che risulta conforme alla normativa CEN (2003) EN 14184 e al protocollo nazionale (APAT, 2007). Si rimanda alla "Relazione annuale 2009-2010: Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sublacuale – Consorzio dell'Oglio" per maggiori dettagli e approfondimenti.

2.2.3.- Analisi dei dati

Nella Relazione annuale 2009-2010 del "Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sublacuale – Consorzio dell'Oglio" si è trattato approfonditamente il tema dell'affidabilità delle risposte delle macrofite alle perturbazioni antropogeniche dei corpi idrici colonizzati, testo cui si rimanda per gli opportuni approfondimenti scientifico-metodologici sul tema. Il presente documento si limita, invece, a una preliminare trattazione dei risultati ottenuti nel triennio di indagine 2009-2011 presentando i risultati dell'indicizzazione delle stazioni sensu Direttiva 2000/60/CE.

2.3.- DIATOMEE

2.3.1.- Stazioni di campionamento e campagne di misura

La campagna di misura estiva n°9/2011 è stata presentata nella Relazione annuale 2010-2011, alla quale si rimanda per le informazioni sulle stazioni campionate e sulle date di campionamento. La tabella 2.4 riporta le date di campionamento della campagna di misura autunnale n°10/2011 per la quale sono state campionate tutte le 9 stazioni oggetto di indagine.

Tab. 2.4 - Date di campionamento delle diatomee della campagna di misura n°11/2011.

Campagna di misura	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°10 (autunno 2011)	29/11/2011	3
	30/11/2011	3
	01/12/2011	3

2.3.2.- Campionamento e identificazione e conteggio in laboratorio

Il campionamento delle diatomee è stato eseguito secondo le indicazioni del "Protocollo di campionamento e analisi delle diatomee bentoniche dei corsi d'acqua", riportato nel manuale APAT "Metodi Biologici per le Acque. Parte 1" (2007).
Il campionamento delle diatomee bentoniche è stato effettuato procedendo lungo un transetto, raccogliendo lungo il percorso 4-5 substrati naturali (ciottoli e rocce) e prelevando lo strato perifitico che ne colonizza la superficie per mezzo di uno spazzolino a setole dure. Successivamente, il campione è stato trattato in laboratorio tramite ossidazione della sostanza organica, utilizzando il metodo con perossido di idrogeno su piastra (Dell'Uomo, 2004). Le fasi successive prevedono la preparazione e l'osservazione al microscopio ottico dei vetrini permanenti al fine di identificare e conteggiare gli organismi raccolti. Per l'applicazione degli indici diatomici, devono essere identificati almeno 400 individui per campione, a livello di specie, come previsto dalla norma standard (UNI EN 14407:2004). Per le determinazioni sono stati utilizzati i seguenti manuali: Krammer and Lange-Bertalot (1986-1991), Lange-Bertalot and Metzeltin (1996), Krammer (1997a,b), Reichardt (1999) Lange-Bertalot (2001), Krammer (2000; 2001; 2002; 2003), Werum and Lange-Bertalot (2004), Metzeltin et al. (2005), Metzeltin & Nakov (2007), Lavoie et al. (2008).

2.3.3.- Analisi dei dati

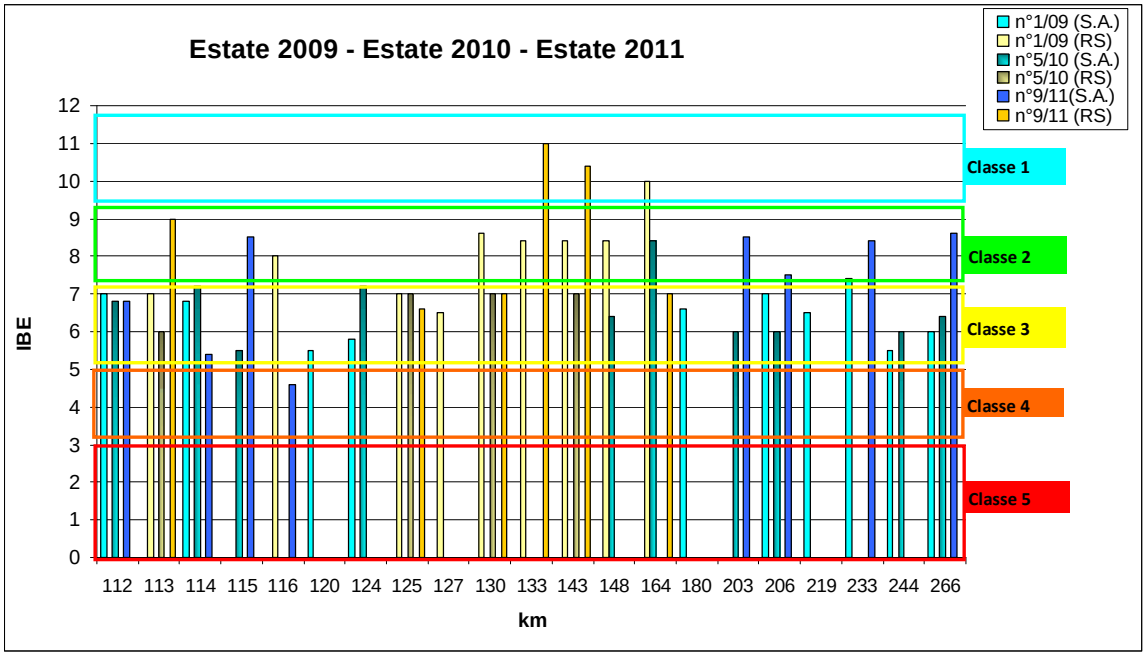
I taxa rinvenuti nelle stazioni di monitoraggio durante la campagna autunnale n°10/2011 sono stati analizzati come quelli delle campagne di misura n°5, n°6 e n°9: sono stati calcolati gli indici diatomici IPS (Indice de Polluosensibilité Specifique), IBD (Biological Diatom Index), TID (Trophic Index) e %PTV (% Pollution Tolerant Valves) che permettono di restituire un giudizio di qualità ambientale del sistema. Dall'indice IPS e TID è stato quindi calcolato l' Indice Multimetrico di Intercalibrazione (ICMi) per la valutazione dello stato ecologico (DM n°260/2010).
Per tutte le campagne di misura, oltre agli indici diatomici, la comunità è stata analizzata in termini di percentuale di individui planctonici (P) o bentonici (B), in termini di ecological guilds (low-profile=L, high-profile=H, motile=M) e in termini di forme di crescita (prostrate=P, erette=E, peduncolate=S, mobili=M, non-ancorate=U). Le diatomee utilizzano diverse strategie per resistere allo stress ambientale (come ad esempio la pressione degli erbivori, le variazioni di portata, i diversi livelli di nutrienti) ed alcune di queste si riflettono nella produzione di diverse forme di crescita (Rimet & Bouchez, 2011). Le forme di crescita, o più in generale le ecological guilds, possono fornire informazioni utili sulla struttura e architettura del biofilm e di conseguenza sul suo grado di maturità. Una perturbazione di tipo fisico, come ad esempio variazioni di portata improvvise o la presenza di materiale fine in sospensione non permette lo sviluppo di una comunità matura, ma piuttosto pioniera ed instabile. Uno dei limiti degli indici diatomici è quello di non rilevare questo tipo di risposta, è necessario pertanto affiancare al loro calcolo, uno studio della comunità in termini di struttura. Per l'assegnazione delle diverse forme di crescita ai diversi generi si è fatto riferimento alla pubblicazione di Passy (2007) e Rimet & Bouchez (2011).

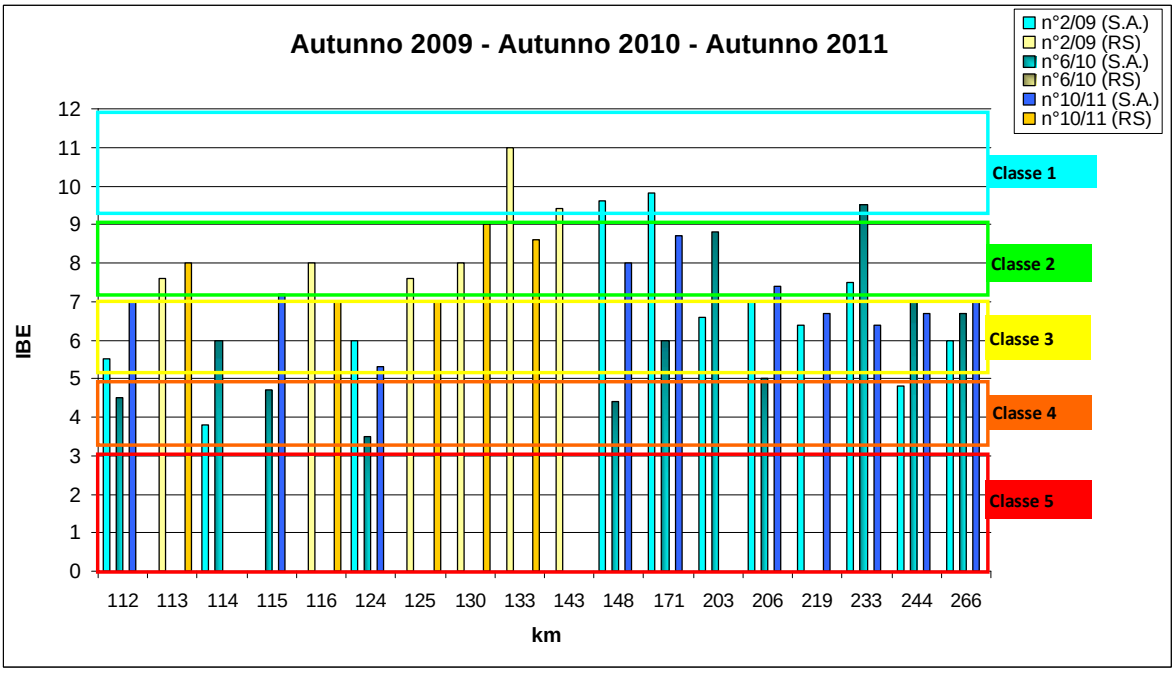
2.4.- RISULTATI

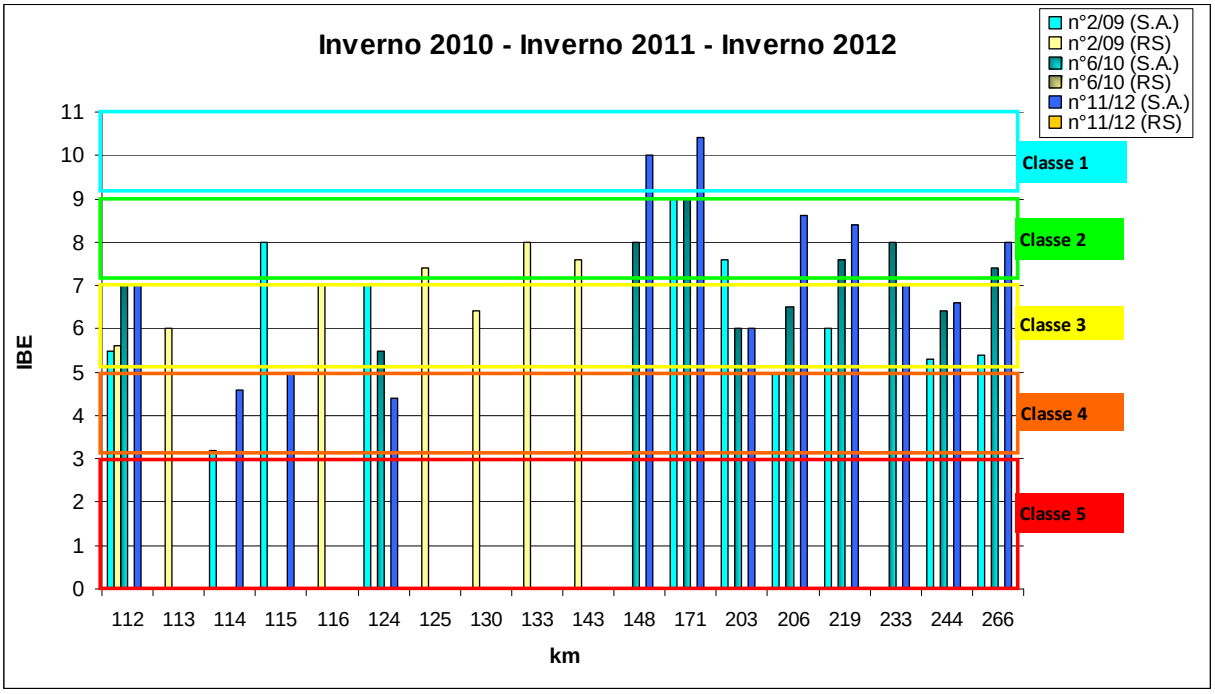
2.4.1.- MACROINVERTEBRATI

L'elenco completo dei taxa delle campagne del terzo anno è riportato nelle tabelle I-V in Allegato II ("Azione 3: monitoraggio biologico, macroinvertebrati").
Seguendo la logica delle relazioni del primo e del secondo anno di attività, i risultati del terzo anno sono stati rielaborati applicando il metodo di calcolo dell'indice IBE al fine di dare delle indicazioni di qualità dei siti campionati attraverso l'elemento biologico dei macroinvertebra-ti. È stato anche calcolato l'indice Star_ICMi.
La figura 2.1 mostra il confronto dei valori IBE stagionali ovvero delle campagne di misura estive n°1/2009-n°5/2010-n°9/2011, autunnali n°2/2009-n°6/2010-n°10/2011, invernali n°3/2010-n°7/2011- n°11/2012 e primaverili n°4/2010-n°8/2011. Le metodiche di campiona-mento sono indicate dai diversi colori delle barre (RS retino surber, S.A. substrati artificiali). I campioni della campagna primaverile 2012 sono ancora in fase di analisi.
Nelle campagne estive le stazioni situate nei primi 15 km presentano uno stato qualitativo di classe 3 (ambiente alterato), ad eccezione della stazione 8 (estate 2009) e delle stazioni 3 e 7 (estate 2011) che rientrano nella classe di qualità 2.
Dal km 130 presso Pontoglio al km 180 presso Pontevico l'indice IBE dei primi due anni di sperimentazione caratterizzava il fiume Oglio come un ambiente con moderati sintomi di alte-razione (primo anno) o alterato (secondo anno). I risultati del terzo anno di sperimentazione consentono di classificare il sistema in classe 1 presso Cividate al Piano e Calcio. Nelle sta-zioni del tratto situato dal km 180 in poi lo stato di qualità rimane invariato per l'estate 2009 e 2010 (classe 3 ambiente alterato) mentre tende ad aumentare per l'estate 2011 passando alla classe 2.
Le campagne autunnali indicano, come quelle estive, un punteggio IBE ricadente in classe 3 e raramente in classe 4 e 2 nel tratto iniziale ed in quello finale del fiume: questo indica un ambiente alterato e quindi con stato di qualità sufficiente da Sarnico fino al km 124 (Palazzolo sull'Oglio), dove sono

numerose le interruzioni longitudinali di origine antropica, e dal km 203 (Binanuova) fino a foce in Po. Il tratto centrale del fiume fino a Ostiano risulta essenzialmente in stato di qualità buona (ambiente con moderati sintomi di alterazione) o ottima (ambiente non inquinato o poco alterato). Questo tratto risulta coincidere con il tratto dove si è ipotizzata l'influenza delle acque di falda su quelle fluviali e dove di fatto sono numerosi i tratti di fiume tutelati con zone SIC e ZPS.
I punteggi IBE delle stagioni invernali ribadiscono come il sistema sia alterato o molto alterato fino al km 124 (Palazzolo sull'Oglio). Purtroppo sono carenti le informazioni raccolte fino a Torre Pallavicina (km 148) a causa della difficoltà nel reperire i campioni tramite retino surber nelle stagioni invernali. In ogni modo il punteggio IBE indica un sistema con moderati sintomi di alterazione fino al km 171. Dal km 148 la qualità del sistema fluviale nell'inverno 2011 ed in quello 2012 risulta migliorata se confrontata con i risultati dell'inverno 2010.







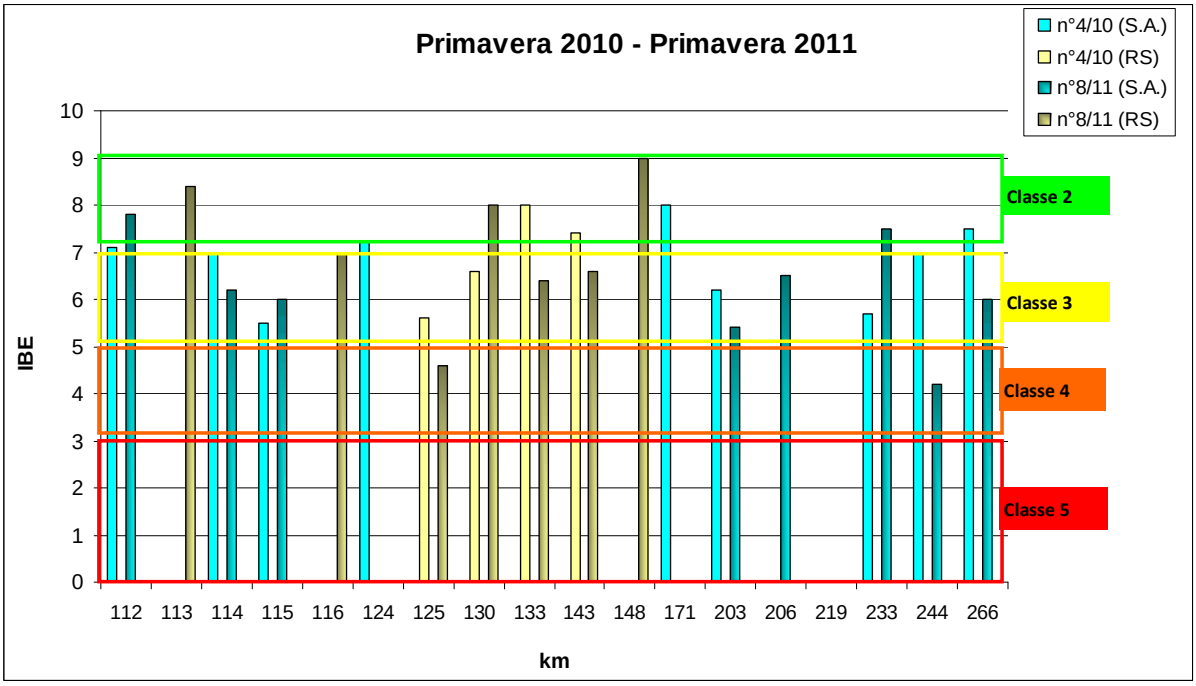


Fig. 2.1 - Indice IBE applicato alle comunità rinvenute mediante campionamento con Surber (RS) e con Substrati Artificiali (SA) nelle campagne di misura del progetto: partendo dall'alto verso il basso, estate 2009- estate 2010-estate 2011 (scenario 5%), autunno 2009 - autunno 2010 – autunno 2011 (scenario 15%), inverno 2010 - inverno 2011 – inverno 2012 (scenario 15%) e primavera 2010 e primavera 2011 (rispettivamente >15% e 10%). Questa rappresentazione ha un valore puramente esplorativo poiché l'applicazione dell'indice IBE non è corretta come già spiegato nel testo.

Nella tabella 2.5 sono riassunti e riportati i valori di IBE ottenuti per ogni sito campionato, per ognuna delle campagne di misura del primo, secondo e terzo anno di attività.

Tab. 2.5 - Valori dell'indice IBE calcolato per ogni stazione di campionamento e riportato per le campagne di misura, indicate come ES 09 (estate 2009), AU 09 (autunno 2009), INV 10 (inverno 2010) e PR 10 (primavera 2010), ES 10 (estate 2010), AU 10 (autunno 2010), INV 11 (inverno 2011) e PR 11 (primavera 2011), ES 11 (estate 2011), AU 11 (autunno 2011), INV 12 (inverno 2012) e PR 12 (primavera 2012). Sono indicati anche le metodologie di campionamento Surber o Substrati Artificiali (S.A.).

		km																	
		112	113	114	115	116	124	125	130	133	143	148	164	203	206	219	233	244	266
STAGIONI	SURBER ES 09		7			8		7	8.6	8.4	8.4	8.4	10						
	SURBER AU 09		7.6			8		7.6	8	11	9.4								
	SURBER INV 10		6			7		7.4	6.4	8	7.6								
	SURBER PR 10							5.6	6.6	8	7.4								
	TRAPS ES 09	7		6.8			5.8								7	6.5	7.4	5.5	6
	TRAPS AU 09	5.5		3.8			6					9.6	9.8	6.6	7	6.4	7.5	4.8	6
	TRAPS INV 10	5.6		3.2	8		7						9	7.6	5	6		5.3	5.4
	TRAPS PR 10	7.1		7	5.5		7.2						8	6.2			5.7	7	7.5

		km																	
		112	113	114	115	116	124	125	130	133	143	148	164	203	206	219	233	244	266
STAGIONI	SURBER ES 10		6					7	7		7	6.4	8.4						
	SURBER AU 10																		
	SURBER INV 11																		
	SURBER PR 11		8.4			7		4.6	8	6.4	6.6	9							
	TRAPS ES 10	6.8		7.2	5.5		7.2							6	6			6	6.4
	TRAPS AU 10	4.5		6	4.7		3.5					4.4	6	8.8	5		9.5	7	6.7
	TRAPS INV 11	7		5			5.5					8	9	6	6.5	7.6	8	6.4	7.4
	TRAPS PR 11	7.8		6.2	7									5.4	6.5		7.5	4.2	6

		km																	
		112	113	114	115	116	124	125	130	133	143	148	164	203	206	219	233	244	266
STAGIONI	SURBER ES 11		9					6.6	7	11	10.4		7						
	SURBER AU 11		8			7		7	9	8.6									
	SURBER INV 12																		
	SURBER PR 12																		
	TRAPS ES 11	6.8		5.4	8.5	4.6	7.2							8.5	7.5		8.4		8.6
	TRAPS AU 11	7			7.2		5.3					8	8.7		7.4	6.7	6.4	6.7	7
	TRAPS INV 12	7		4.6	5		4.4					10	10.4	6	8.6	8.4	7	6.6	8
	TRAPS PR 12																		

Nella Tab. 2.6 sono riassunti e riportati i valori di STAR_ICMi - ISA ottenuti per ogni sito campionato, per ognuna delle campagne di misura del primo, secondo e terzo anno di attività.
Il confronto tra i risultati ottenuti attraverso il calcolo dell'indice multimetrico STAR-ICMi/ISA e quelli ottenuti attraverso il calcolo dell'IBE non è possibile. I due indici, infatti, sono basati su presupposti teorici e metodologici differenti. Il calcolo dell'IBE nelle precedenti relazioni è da intendersi quindi come una semplice indicazione dettata dalla non disponibilità del software di calcolo MacrOper. I valori dell'indice STAR-ICMi/ISA sono risultati maggiori nel terzo anno di sperimentazione rispetto agli anni precedenti, che non presentano differenze tra loro. A livello stagionale non sembrano esserci, in media, differenze significative anche se l'autunno tende ad avere valori lievemente più alti e la primavera più bassi. Questi risultati rappresentano delle tendenze in quanto la variabilità stagionale e interannuale risulta mascherata dalla variabilità nella qualità dei siti campionati. Differenze evidenti le si possono osservare quando si prende in considerazione la suddivisione del fiume Oglio sublacuale in macrotratti. Il tratto corrispondente all'area di influenza delle risorgive presenta in media i valori maggiori seguito dal tratto sud potamale e da quello a nord bacinizzato che presenta i valori minori.

Tab. 2.6 - Valori dell'indice STAR_ICMi - ISA calcolato per ogni stazione di campionamento e riportato per le campagne di misura.

Stazioni	km tratto	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 15%
		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
FN01A	110,9	0,502	0,288	0,273	0,437	0,416	0,263	0,278	0,365	0,351	0,300	0,470	
STA03	112,1	0,592	0,525	0,313		0,443			0,683	0,815	0,781		
STB06	114,0	0,435	0,276	0,282	0,417	0,522	0,282		0,445	0,253	0,172	0,496	
FN07A	114,6			0,531	0,251	0,297	0,181		0,264	0,531	0,437	0,280	
STC08	115,7	0,689	0,742	0,589					0,561	0,207	0,635		
FN15A	122,7	0,347	0,249	0,290	0,486	0,481	0,207	0,478			0,221	0,110	
STE18	125,6	0,654	0,586	0,567	0,248	0,501			0,238	0,507	0,480		
FN24A	129,9	0,780	0,744	0,297	0,588	0,444			0,689	0,474	0,636		
STF26	131,6	0,823	0,895	0,677	0,667				0,460	0,687	0,788		
FS31A	141,3	0,726	0,995	0,526	0,511	0,677			0,440	0,914			
FS36A	147,2	0,731	1,038			0,682	0,281	0,997	0,688	0,724	0,872	1,057	
FS44A	170,5		1,265	1,047	1,000	0,919	0,675	0,935		0,533	1,003	1,428	
FS53C	202,8		0,702	0,882	0,521	0,625	1,068	0,568	0,472	0,953		0,797	
FS59A	206,7	0,577	0,672	0,549		0,563	0,677	0,468	0,508	0,792	0,851	1,092	
FS63A	218,9	0,422	0,372	0,672				0,788			0,770	1,058	
FS68A	233,0	0,820	0,789		0,675		0,990	0,792	0,840	0,930	0,708	0,882	
FS77A	243,5	0,463	0,531	0,363	0,814	0,739	0,768	0,471	0,205		0,733	0,882	
FS80A	265,6	0,735	0,786	0,439	0,702	0,669	0,666	0,706	0,578	0,864	0,832	1,150	

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

Analogamente a quanto evidenziato nelle campagne precedenti il gruppo biologico **e** (organismi di dimensioni medie e piccole, uni- o pluri-voltini, con uova cementate e respirazione acquatica) risulta essere tra i più rappresentati (67%, 34% e 40% rispettivamente nelle campagne n°9/2011, n°10/2011 e n°11/2012). La campagna estiva (n°9) presenta percentuali simili di organismi appartenenti ai gruppi biologici **f** (11%, organismi di media taglia, monovoltini, camminatori e in parte tagliuzzatori), **b** (8%, organismi di dimensioni medio-grandi, generalmente scrapers o shredders, crawlers e spesso ovovivipari), **c** (7%, organismi di dimensioni medie, crawlers, con uova cementate o in grappoli, predatori o shredders) e **h** (organismi principalmente scavatori o interstiziali, monovoltini, principalmente detritivori). La campagna autunnale (n°10) presenta percentuali elevate di organismi appartenenti al gruppo biologico **h** (37%) a causa alle considerevoli abbondanze di oligocheti appartenenti alle famiglie Naididae e, in misura minore, Lumbriculidae. Anche il gruppo b (21%) è ben rappresentato nella campagna autunnale a causa delle elevate abbondanze di crostacei gammaridi. I gruppi b (33%) e h (16%) sono presenti con buone percentuali nella campagna invernale (n°11). I gruppi biologici d (0,5 % del totale - organismi di dimensioni medio-grandi, con lunghi cicli vitali ed immagini caratterizzate da buone capacita di volo) e g (organismi di dimensioni piccole e medie, buoni nuotatori, con respirazione generalmente aerea ed apparato boccale spesso pungente-succhiante) sono presenti solitamente con percentuali inferiori all'1% nelle 3 campagne di campionamento.

I gruppi ecologici dominanti nelle campagne n°9/2011, n°10/2011 e n°11/2012 risultano essere **F** (taxa semi-lentici o comunque assolutamente non-reofili, termofili, legati spesso alle macrofite acquatiche, alfa e beta-mesosaprobici), **C** (taxa planiziali, che popolano diverse tipologie di substrato, oligo e beta-mesosaprobici, con velocità della corrente medie o moderate) e **E** (taxa termofili, mesosaprobi, tipici di habitat lentici o semi-lentici). Nella campagna estiva (n°9) il gruppo maggiormente rappresentato è risultato essere quello **C** (49%), seguito dai gruppi **F** (27%) e **D** (11%, taxa presenti nelle aree laterali e vicino alle sponde fluviali, euritermi). La campagna autunnale (n°10) è caratterizzata da elevate abbondanze degli organismi appartenenti ai gruppi **F** (59%), **E** (21%) e **C** (15%). Nella campa-

gna invernale (n°11) il gruppo maggiormente rappresentato è risultato quello **F** (41%), seguito dai gruppi **E** (32%) e **C** (23%). Nelle tre campagne di campionamento sono generalmente poco rappresentati gli organismi appartenenti ai gruppi ecologici **D** e **G** (organismi francamente lentici, euritermi, che vivono in substrati fini o finissimi, anche organici, e tra le macrofite).

I risultati delle prime tre campagne di campionamento del terzo anno di sperimentazione sono in linea con i risultati ottenuti nei due anni di sperimentazione precedenti. In particolare i biological ed ecological traits hanno consentito di evidenziare come, in generale, la comunità del fiume Oglio sublacuale sia caratterizzata da organismi tolleranti, euritermi, adattati alla vita in ambienti a debole corrente, con un certo apporto organico, granulometria del substrato fine, buona copertura a macrofite ed abitudini alimentari generalmente microfaghe (sospensivori come Hydropsychidae e Bivalvi, e detritivori come Chironomidae e Oligochaeta) oppure shredders, che si nutrono delle macrofite sommerse (come i crostacei Gammaridae).

2.4.2.- **MACROFITE**

2.4.2.1. Analisi della struttura delle comunità a macrofite del fiume Oglio sublacuale

Nel corso del primo triennio di sperimentazione sono state caratterizzate complessivamente 30 stazioni fluviali, secondo le indicazioni riportate nel paragrafo metodologico (agosto-settembre 2009: 1/09; luglio-settembre 2010: 5/10; e agosto-settembre 2011: 9/11) (Tab. 2.7). In Allegato II sono riportati i dati per singola stazione della campagna n°9/2011.
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 *Thorea violoacea*) che rappresentano le prime segnalazioni accertate per il genere e la specie a scala nazionale (si ringrazia la prof.ssa Abdelahad dell'Università La Sapienza per il supporto nelle fasi di determinazione). Si tratta di un'alga rossa (Rhodophyta) filamentosa (che presenta solo un livello di ramificazione secondaria) non comune, distribuita sia nelle regioni temperate che tropicali; la scarsità di dati relativi alla sua distribuzione è dovuta principalmente alla difficoltà di osservarla nello stadio di sviluppo macroscopico (nel quale può raggiungere dimensioni notevoli fino a 1-2 m di lunghezza), nella maggior parte della sua vita, infatti, l'alga si presenta sotto forma di piccoli aggregati cellulari adesi a substrati duri difficilmente riconoscibili (John et al., 1989).
Nel complesso, analizzando la rappresentatività di ciascun gruppo tassonomico identificato (spermatofite, pteridofite, briofite e macroalghe), la gran parte della γ diversità floristica (n = 68) del fiume Oglio sublacuale risulta rappresentata da spermatofite (44 entità pari al 64.7% della diversità complessiva) anche se, considerando le percentuali di copertura, nel complesso, queste specie sono in grado mediamente di colonizzare/coprire meno del 10% dei settori fluviali analizzati (coperture mediamente comprese tra 9.3 e 10.0%; come valori medi). Le specie maggiormente diffuse si sono rilevate *Oscillatoria* sp., (numero medio di stazioni colonizzate 29) *Spirogyra* sp. (numero medio di stazioni colonizzate 26) e *Cladophora glomerata* (numero medio di stazioni colonizzate 24), tre taxa macroalgali caratteristici di ambienti da meso-eutrofici a ipertrofici; considerazioni che confermano i dati riportati nella prima relazione annuale di analisi. Peraltro, amplissima è la letteratura che evidenzia come la diffusione di *C. glomerata* sia strettamente legata al peggioramento qualitativo delle acque e, in particolare all'aumento della disponibilità di fosforo. Tra le spermatofite, la specie maggiormente rappresentata (numero medio di stazioni colonizzate 21) è *Myriophyllum spicatum*, un'entità ad ampia valenza ecolo-

gica considerata indicatrice di ambienti perturbati. In generale, la percentuale di copertura media complessiva della componente macrofitica (± deviazione standard) è pari al 54 ± 11% per i primi due anni e al 43 ± 16%, con minimi e massimi rispettivamente del 10% e del 105%. Il macrotipo maggiormente rappresentato è quello macroalgale (che contribuisce per una quota compresa tra il 72 e l'80% alle percentuali di copertura complessiva) seguita da quello "spermatofitico" compreso tra il 19 e il 42%. Nel complesso, quindi, dominano taxa che possiamo considerare indicatori di ambienti sottoposti a perturbazioni non trascurabili ed elevati carichi di nutrienti.

Escludendo pochissime stazioni (1, 4, 7 e 11), dunque, le macroalghe dominano incontrastate le comunità di produttori primari con percentuali di copertura e abbondanza notevoli, in oltre il 50% dei tratti indagati esse rappresentano (mediamente tra i tre anni analizzati) il 90% e più della copertura macrofitica (fino a rappresentarne il 100% in alcuni di essi).

Tab. 2.7 – Caratteristiche principali delle stazioni di campionamento delle macrofite. Ciascun sito è stato caratterizzato per: coordinate spaziali; quota altimetrica (m s.l.m.); grado di ombreggiamento complessivo (%); ampiezza alveo bagnato (m); ampiezza dell'alveo di morbida (m); n° di facies idrologiche (i dati in tabella si riferiscono alla nona campagna di caratterizzazione del 2011).

Stazione	Coordinate stazione		Quota stazione (m s.l.m.)	grado ombreggiamento	ampiezza alveo bagnato (m)	ampiezza alveo di morbida (m)	N° facies idrologiche	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
1	45°39'53.28"N	9°56'40.02"E	192	5	85.2	87.1	1	75	0	0	15	56	20
3	45°39'46.80"N	9°56'21.81"E	183	10	23.3	25.2	2	0	0	0	20	59	11
4	45°39'21.73"N	9°56'16.84"E	181	5	98.2	101.3	2	30	0	0	10	54	20
6	45°38'53.71"N	9°55'59.76"E	178	25	25.8	26.7	2	5	0	0	15	58	12
7	45°38'48.18"N	9°55'33.74"E	176	20	57.2	59.1	2	30	0	0	15	47	28
8	45°38'49.43"N	9°54'58.24"E	173	25	33.75	37.2	3	0	0	0	10	53	15
11	45°37'10.56"N	9°54'03.45"E	160	5	85.7	88.0	2	20	0	0	10	56	15
14	45°36'15.85"N	9°53'28.17"E	158	20	42.3	44.8	3	0	0	0	10	53	15
15	45°36'15.85"N	9°53'28.17"E	148	5	87.4	87.4	2	15	0	0	15	60	12
16	45°35'15.18"N	9°51'49.49"E	145	5	37.5	46.2	3	0	0	0	15	58	11
21	45°34'32.79"N	9°50'35.38"E	141	5	46.5	47.8	2	0	0	0	45	61	8
24	45°33'39.19"N	9°51'3.05"E	135	15	38.5	40.9	3	5	5	0	50	59	12
25	45°33'12.66"N	9°50'16.05"E	128	0	60.2	60.3	1	14	0	0	15	55	17
26	45°32'40.36"N	9°50'47.70"E	125	5	28.7	33.2	4	5	0	0	50	50	19
27	45°31'37.70"N	9°51'4.68"E	118	1	27.3	32.5	2	0	0	0	60	55	13
31	45°29'1.62"N	9°52'29.76"E	102	10	50.4	53.1	4	0	0	0	80	47	24
32	45°28'49.45"N	9°52'36.06"E	100	15	60.2	61.8	2	35	0	0	15	58	18
35	45°27'24.14"N	9°53'29.65"E	88	25	45.5	48.7	4	5	0	0	80	46	24
36	45°26'57.77"N	9°53'25.90"E	84	10	38.4	40.2	4	0	0	0	95	47	23
39	45°23'57.58"N	9°53'25.17"E	69	5	68.9	75.6	3	0	0	0	95	52	19
42	45°20'17.88"N	9°54'14.73"E	54	10	45.6	48.7	4	10	0	0	90	43	33
47	45°16'43.87"N	10° 2'31.30"E	40	25	36.8	38.9	3	5	0	0	10	63	6
59	45°13'3.78"N	10°14'33.10"E	32	15	45.7	51.3	3	0	0	5	10	61	8
62	45°11'21.16"N	10°18'13.84"E	29	10	68.9	71.3	2	30	0	0	15	60	15
63	45°10'43.82"N	10°18'57.56"E	28	5	80.2	83.7	2	25	5	0	10	59	15
68	45° 8'10.20"N	10°24'47.91"E	24	5	49.2	52.0	3	10	0	0	10	58	12
73	45° 8'41.61"N	10°26'48.03"E	22	5	63.2	89.2	3	0	0	0	25	52	17

Stazione	Coordinate stazione		Quota stazione (m s.l.m.)	grado ombreggiamento	ampiezza alveo bagnato (m)	ampiezza alveo di morbida (m)	N° facies idrologiche	Copertura Spermatofite	Copertura Pteridofite complessiva	Copertura Briofite complessiva	Copertura Algae complessiva	Copertura Macrofite	α diversità
77	45° 7'24.70"N	10°30'38.65"E	21	**5**	77.3	110.2	**3**	5	0	0	15	55	14
78	45° 4'39.48"N	10°35'4.22"E	20	**5**	48.8	113.2	**3**	10	0	0	10	59	11
80	45° 2'34.69"N	10°39'10.00"E	16	**1**	87.6	102.6	**3**	75	0	0	15	56	20
							M	11	0.5	0.2	31	55	16
							SD	16	1.5	0.9	29	5.2	6.2
							ES	3	0.3	0.2	5.4	0.9	1.1
							Max	75	5	5	95	63	33
							Min	0	0	0	10	43	6

2.4.2.2. L'uso della macrofite come indicatori: Indice Biologique Macrophyitique en Rivière (IBMR)

Nel contesto europeo, l'IBMR (Indice Biologique Macrophyitique en Rivière) è tra le poche metodologie pienamente indirizzate alla caratterizzazione delle cenosi macrofitiche in senso ecologico e non esclusivamente, quindi, in ottica di stato trofico. Tale riflessione, corroborata dalle considerazioni avanzate da Minciardi et al. (2010a) che ne hanno dimostrato una buona applicabilità su tutto il territorio nazionale (si veda per esempio: Gerbaz et al, 2005; Minciardi et al., 2005; Morgana et al; 2005; ARPAV, 2008; ARPA Sicilia, 2008; Mezzotero et al., 2009; Minciardi et al., 2010b), ha portato all'adozione del'IBMR (attraverso il DM 260/10) come indice ufficiale per l'Italia nelle acque interne di tipo lotico. La metodologia dell'IBMR si basa sull'analisi della comunità delle macrofite acquatiche utilizzano una lista di taxa indicatori per i quali è stata valutata, in campo, la sensibilità, in primo luogo, nei confronti delle concentrazioni di azoto ammoniacale e ortofosfati. A ciascuna specie corrisponde un valore indicatore (che varia da 0 a 20) di sensibilità vs. lo stato trofico. La raccolta dei dati di campo è del tutto analoga a quanto previsto dal protocollo APAT (2007). I dati di copertura reali vanno, però, tradotti in corrispondenti coefficienti di copertura sensu IBMR mediante una semplice conversione; alle specie sporadiche (copertura-abbondanza = +) si dovrà associare il coefficiente di copertura 1 (per le questioni operazionali del metodo si rimanda alle relazioni intermedie dei primi due anni di analisi).
Nel complesso, l'IBMR raffigura un corso d'acqua profondamente manomesso (livello trofico di classe media: di poco inferiore a 9 per i primi due anni e pari a 7.9 per il 2011 – in altre parole il fiume tende ad essere classificato in un livello trofico "elevato" o "molto elevato") senza evidenziare gradienti significativi di qualità tra stazioni o settori di corso d'acqua. Nel corso dei tre anni si osserva un progressivo peggioramento dell'IBMR e del livello trofico corrispondente, in particolare per quanto riguarda il settore propriamente potamale del fiume (delimitato tra le progressive chilometriche 214 - 256) per il quale, con ogni probabilità, la metodica applicata non è in grado di rilevare adeguatamente il livello di alterazione del sistema fluviale. I valori misurati anche se sono ripartiti in tre distinte classi di valore trofico (molto elevato, elevato e medio – quest'ultima classe non rilevata nella stagione 2011) sono tutti molto prossimi; in particolate i valori peggiori sono di poco inferiori al limite di classe (IBMR = 8), condizione rilevata nelle prime due stagioni vegetative in analisi; nel corso dell'estate 2011, invece, ben 5 stazioni (3, 16, 68, 77 e 80) hanno presentato valori inferiori al 7. Quanto alle migliori perfor-

mance, nel corso dei primi 2 anni si sono registrati valori di poco superiori al valore 10 (stazioni 6, 31, 39 e 59), mentre nel 2011 i valori massimi si sono fermati alla soglia del 9.9 (stazioni 47 e 59). In generale, comunque, l'IBMR riconosce tra i siti a minor qualità (classe con livello trofico molto elevato) i principali tratti bacinizzati del fiume (1, 4, 7 e 14) e il settore propriamente potamale, indicando il ruolo non trascurabile dell'interruzione della continuità idromorfologica nel modulare l'affermazione e lo sviluppo delle cenosi macrofitiche che tendono ad allontanarsi significativamente da quanto atteso in base ai paradigmi dell'ecologia fluviale [dal River Continuum concept (RCC) al flood pulse concept (FPC)]. Quanto alla determinazione dell'EQR (il rapporto tra il valore di IBMR e il valore di riferimento per il fiume Oglio sub-lacuale), nel complesso il sistema si presenta in uno stato "sufficiente" (con numerosi tratti classificati "buoni" o "eccellenti"); nei tre anni si è osservata una progressiva riduzione della rappresentatività delle classi migliori anche se il sistema fluviale non si colloca mai in uno stato inferiore al "sufficiente" (mai al di sotto del 60% del valore di riferimento).

2.4.3.- **DIATOMEE**

2.4.3.1 Analisi della comunità diatomica nei tratti a monte e a valle delle centrali elettriche: campagna di misura autunnale (n°10/2011).

SITI 7- 8

Il numero di generi e di specie è maggiore nel sito a valle rispetto a quello a monte, così come l'indice di biodiversità. I valori dell'indice di Shannon sono comunque molto elevati e denotano una comunità molto ricca, tipica di corsi d'acqua planiziali di buona qualità (tabella 2.8 e figura 2.2).

Tab. 2.8 - Indice di Shannon della comunità diatomica rinvenuta nelle stazioni fluviali 7 e 8, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Enel di Tagliuno durante la campagna autunnale n°10.

	n° generi*	n° specie*	Indice di Shannon	evenness
7	20	45	4,22	0,77
8	25	59	4,9	0,83

*su 400 individui identificati

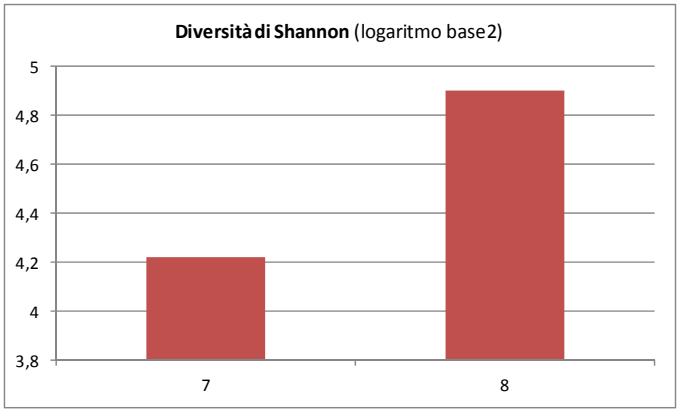


Fig. 2.2 - Indice di Shannon della comunità diatomica rinvenuta nelle stazioni fluviali 7 e 8, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Enel, durante la campagna autunnale n°10.

Amphora pediculus rappresenta una percentuale consistente della comunità e domina il sito a monte della centrale (26.5%) mentre presenta una percentuale inferiore (14.2%) nel sito a valle dove co-domina con *Nitzschia dissipata* (fig. 2.3).

Il sito a monte presenta una più consistente percentuale di taxa pionieri e prostrati (genere Achnanthidium e Cocconeis), questa componente manca completamente nel sito a valle dove al contrario, aumentano i taxa mobili e siltation tolerant appartenenti al genere Nitzschia e Navicula.

Dal punto di vista degli indici di qualità, non si osservano differenze tra monte e valle: anche il TID, che è noto per essere in grado di evidenziare sottili differenze in termini di qualità, presenta giudizi omogenei (fig. 2.4).

Il TID presenta comunque giudizi di qualità più bassi (eutrofico per tutti e 2 i siti) rispetto alla seconda classe (mesotrofico) evidenziata da IPS e IBD. La percentuale di specie tolleranti (%PTV) tra monte e valle è abbastanza confrontabile ed è piuttosto bassa (sotto il 10%) il che denota una buona condizione di qualità.

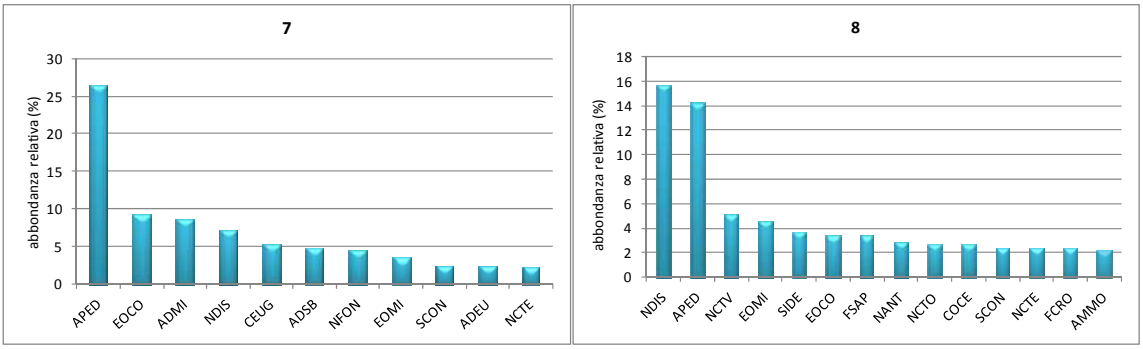


Fig. 2.3 - Percentuali di abbondanza dei taxa rinvenuti nelle stazioni fluviali 7 e 8, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Enel, durante la campagna autunnale n°10.

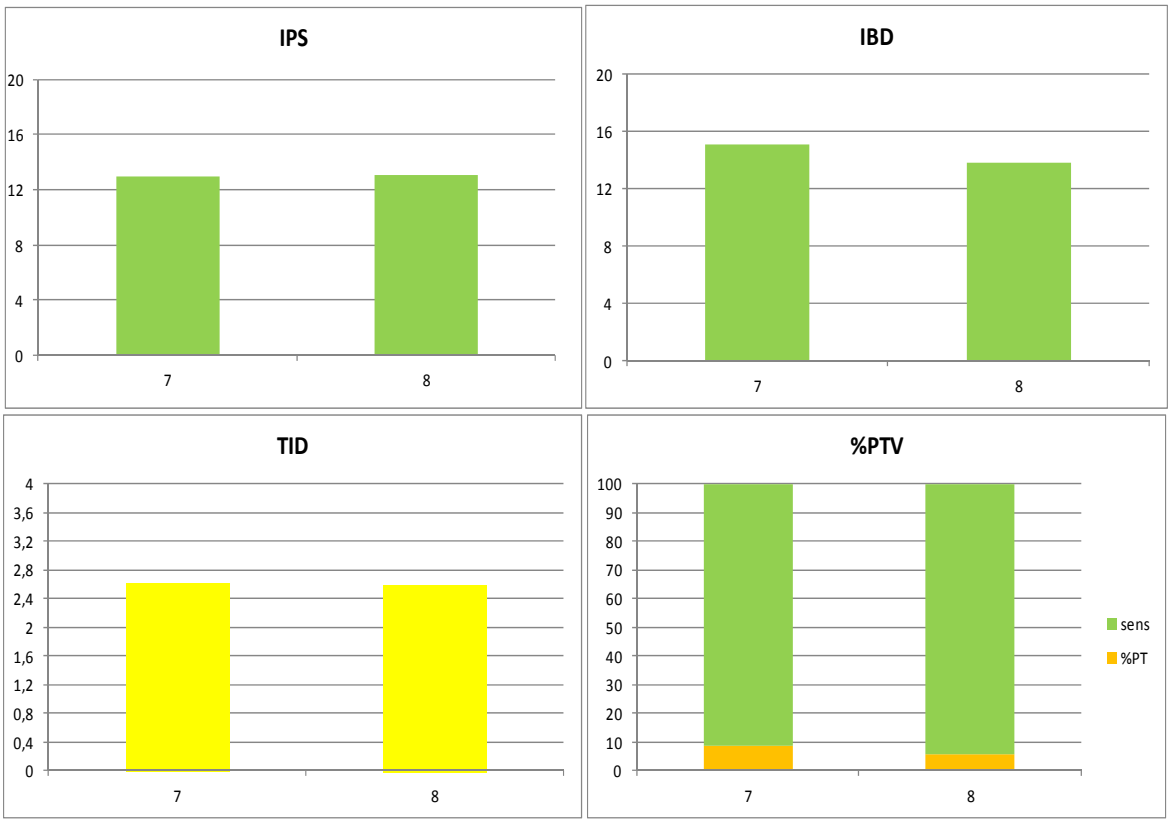


Fig. 2.4 - Indici IPS, IBD, TID e %PTV per le stazioni fluviali 7 e 8, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Enel. Campagna autunnale n°10.

SITI 24-26

Esiste una lieve differenza in termini di biodiversità tra il sito a monte della centrale Elettra 2000 e quello a valle: il valore dell'indice di Shannon e l'evenness sono maggiori nel sito 24 rispetto al 26 (tab. 2.9 e fig. 2.5).

Tab. 2.9 - Indice di Shannon della comunità diatomica rinvenuta nelle stazioni fluviali 24 e 26, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Elettra 2000 di Urago d'Oglio durante la campagna autunnale n°10.

	n° generi*	n° specie*	Indice di Shannon	evenness
24	20	43	4,43	0,82
26	20	42	4,21	0,78

* su 400 individui identificati

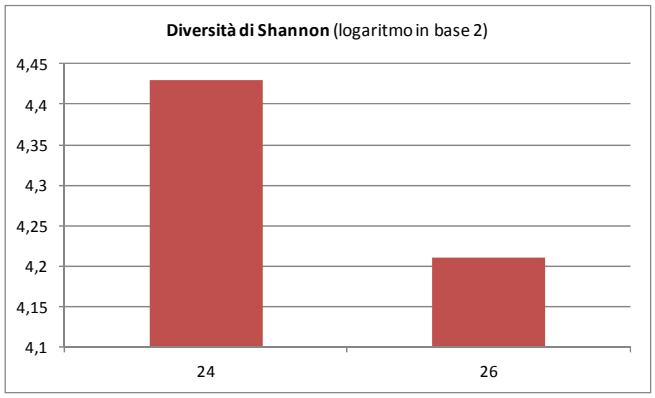


Fig. 2.5 - Indice di Shannon della comunità diatomica rinvenuta nelle stazioni fluviali 24 e 26, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Elettra 2000, durante la campagna autunnale n°10.

Le comunità a monte e a valle sono ben strutturate e mature, composte in buona percentuale sia da taxa prostrati (*Amphora pediculus*), peduncolati (*Gomphonema minutum*) e mobili (*Nitzschia dissipata*). Non si notano differenze in termini di composizione della comunità, a parte nella ripartizione dei taxa: *N. dissipata* domina nel sito a monte, mentre in quello a valle la sua abbondanza è paragonabile a quella di *G. minutum*. Quest'ultimo è anch'esso una specie β-mesosaprobia caratteristica di ambienti mesotrofici (fig. 2.6).

Non esistono differenze in termini di indici di qualità tra i siti a monte e quelli a valle della centrale (fig. 2.7).

Gli indici IPS e IBD reputano i siti in seconda classe di qualità (mesotrofico) mentre il giudizio del TID è un po' più severo (eutrofico). In entrambi i casi la percentuale di taxa tolleranti è piuttosto bassa (ca. 10%).

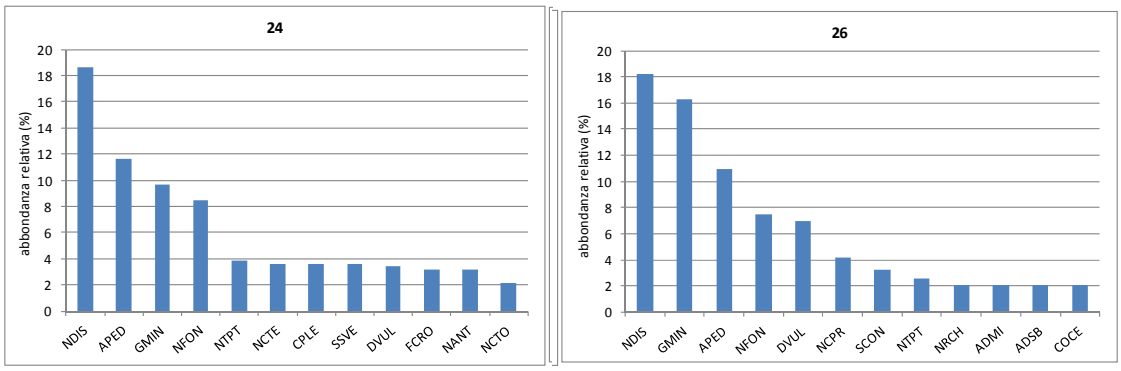


Fig. 2.6 - Percentuali di abbondanza dei taxa rinvenuti nelle stazioni fluviali 24 e 26, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Elettra 2000, durante la campagna autunnale n°10.

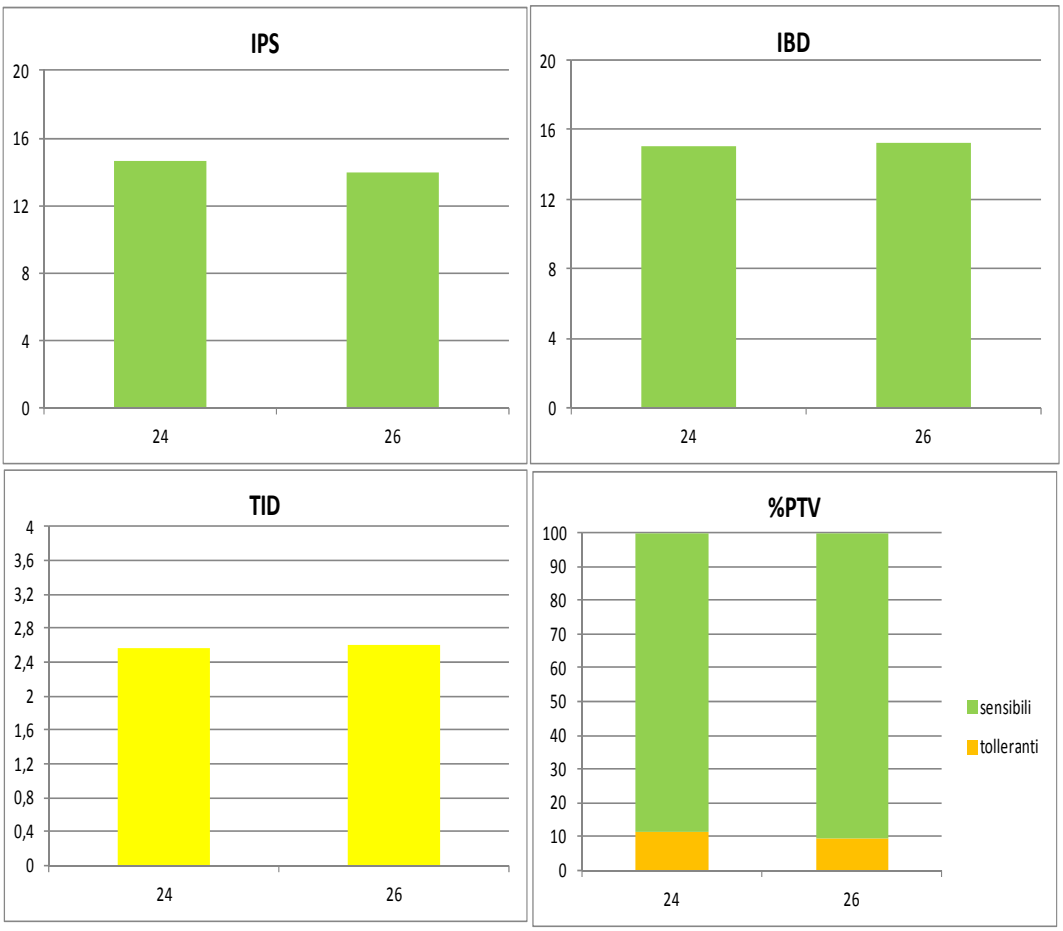


Fig. 2.7 - Indici IPS, IBD, TID e %PTV per le stazioni fluviali 24 e 26, rispettivamente a monte (tratto bacinizzato) e a valle (tratto sotteso) dello sbarramento della Centrale Elettra 2000. Campagna autunnale n°10.

2.4.3.2.- Analisi della comunita' diatomica nei tratti a monte e a valle delle centrali elettriche: confronto con le campagne precedenti

SITI 7 e 8

In generale le comunità analizzate sono mature e stabili in tutte le stagioni di campionamento. Si nota una percentuale leggermente più alta di taxa pionieri nel sito a monte della centrale rispetto a quello a valle, in cui aumenta la percentuale di taxa mobili (fig. 2.8).

La componente planctonica che spesso era presente nei primi campionamenti e che rappresentava una componente dominante durante i campionamenti estivi del 2011, è molto ridotta nella campagna autunnale del 2011.

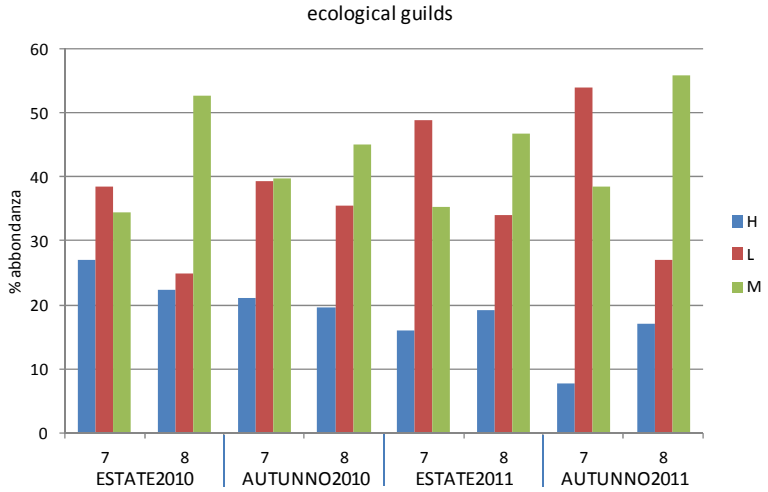


Fig. 2.8 - Percentuale di individui planctonici o bentonici in termini di ecological guilds (low-profile=L, high-profile=H, motile=M), calcolata per i campioni dei siti 7 e 8 nelle quattro campagne di misura n°5/10 (estate), n°6/10 (autunno), n°9/11(estate) e n°10/11 (autunno).

In tutte le campagne una delle specie più dominanti è *Amphora pediculus* una diatomea alcalofila (principalmente rinvenuta in corsi d'acqua con pH>7), potenzialmente aerofila, perciò in grado di tollerare brevi periodi di siccità. In generale è una specie mediamente tollerante, caratteristica di ambienti mesotrofici; il suo valore di affidabilità ecologica, in termini di bioindicatore ambientale, è solo sufficiente a causa della sua ampia distribuzione. Nel sito a valle (8) compaiono con abbondanze relative consistenti specie appartenenti al genere Nitzschia (in particolare *N. dissipata* e *N. fonticola*) che, quando presenti, sono in percentuale decisamente più bassa a monte dello sbarramento. *Nitzschia dissipata* è una specie in grado di tollerare moderati carichi di nutrienti e in grado di resistere anche a contaminazione da parte di erbicidi o metalli pesanti. Anche *Nitzschia fonticola* è piuttosto tollerante l'inquinamento organico ed è descritta come β-mesosaprobia. L'aumento di questi due taxa potrebbe indicare un lieve aumento di nutrienti nel sito a valle.

Per la prima volta compare nel sito 7 *Eolimna comperei*: rinvenuta inizialmente nel sito 8 durante l'autunno 2010 con una bassa percentuale (ca. 0.5%), viene identificata anche nel sito 7 nell'estate 2011 (anche in questo caso in bassa percentuale ca. 0.2%). In autunno la sua abbondanza cresce considerevolmente raggiungendo il 9% nel sito a monte e il 3.4% in quello a valle. *E. comperei* è stata descritta recentemente come specie alloctona a carattere invasivo. Ad oggi, in Italia, è stata rinvenuta solo in Piemonte e in Lombardia, dove sembra particolarmente diffusa. Numerose sono le segna-

lazioni di questa specie nel fiume Mincio, dove *E. comperei* presenta un'abbondanza relativa spesso elevata, indipendentemente dalla stagione di campionamento. Per quanto riguarda la sua diffusione in Europa, si segnala la sua presenza in Spagna e in Francia, dove presenta proliferazioni massive fino al 40-50% dell'intero campione.

Gli indici di diversità si mantengono perlopiù costanti in tutte le stagioni di campionamento e non mettono in luce nessuna differenza di qualità tra il sito a monte della centrale e quello a valle. In tutti i casi IPS e IBD li collocano in seconda classe di qualità, mentre il TID li giudica generalmente eutrofici. Si nota un giudizio di qualità inferiore (eu-politrofico) solo nel sito 7 durante l'estate 2010 e durante la campagna autunnale del 2010.

SITI 24-26

Nel sito a monte (24) dominano quasi sempre taxa appartenenti al genere Nitzschia e Navicula (componente mobile). Nei campioni estivi, nel sito a valle (26) domina la componente prostrata: genere Achnanthidium e Cocconeis, che potrebbero indicare un lieve disturbo di tipo fisico (es. variazioni di portata) e la presenza di macrofite in alveo (essendo *Cocconeis euglypta* un taxon epifitico) (fig. 2.9).

In estate, si segnala la presenza di una maggiore percentuale di taxa planctonici nel sito a monte dello sbarramento dove inoltre si registra una maggiore percentuale di taxa mobili e siltation. Tutto ciò potrebbe indicare un regime più lentico nel sito 24 e la presenza di una maggior quantità di materiale fine in sospensione.

Come anche per i siti a monte e a valle della Centrale Enel di Tagliuno (7-8), i giudizi di qualità per le stazioni 24 e 26 a monte e a valle della Centrale Elettra 2000 di Urago d'Oglio si mantengono perlopiù costanti nel corso delle stagioni, senza evidenziare differenza tra monte e valle. In particolare, IPS e IBD giudicano entrambi i siti in seconda classe di qualità, con l'eccezione del sito 26 nell'estate 2011, in corrispondenza del valore più elevato di SRP e azoto ammoniacale. Il TID, più severo, ricade costantemente in classe VI classe (eutrofico) con l'eccezione della campagna autunnale del 2010 in cui sia il sito 24 che 26 ricadono in VII classe (eu-politrofico).

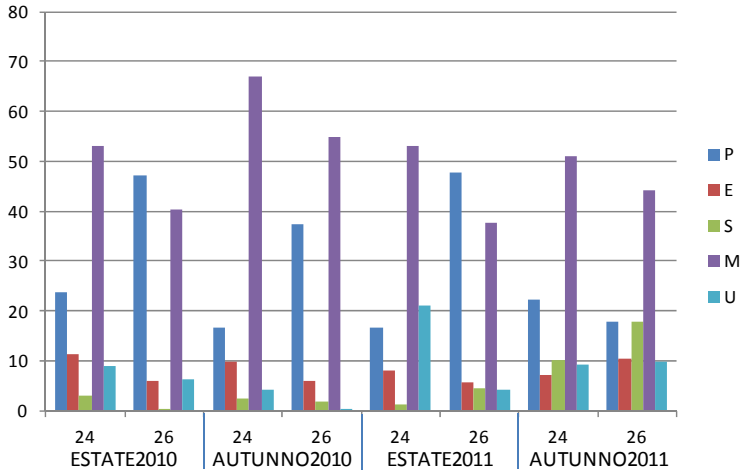


Fig. 2.9 - Percentuale di individui planctonici o bentonici in termini di forme di crescita (prostrate=P, erette=E, peduncolate=S, mobili=M, non-ancorate=U), calcolata per i campioni dei siti 24 e 26 nelle quattro campagne di misura n°5/10 (estate), n°6/10 (autunno), n°9/11(estate) e n°10/11 (autunno).

2.4.3.3.- Analisi della comunità diatomica nelle stazioni di campionamento ARPA: campagna di misura autunnale (n°10/2011)

STAZIONI ARPA (44,53,59,63,80)

La biodiversità e il numero di specie identificate nel sito 44 sono nettamente inferiori ai siti più a valle (tab. 2.10 e fig. 2.10).

Anche la comunità è piuttosto diversa in 44 rispetto agli altri siti. Si nota un aumento dei taxa mobili e siltation tolarant procedendo verso valle e si osserva un picco di questa categoria in 63 dove ca. l'80% della comunità è composta da specie appartenenti al genere Navicula e Nitzschia. I taxa non-ancorati al substrato (coloniali o planctonici) presentano un andamento complementare e raggiungono il loro picco massimo in 44 che sembra essere caratterizzato da un regime piuttosto lentico (fig. 2.11).

Tab. 2.10 - Indice di Shannon per le stazioni fluviali 44, 53, 59, 63, 80 rispettivamente coincidenti con le stazioni ARPA di Castelvisconti, Seniga, Ostiano, Canneto sull'Oglio e Marcaria (campagna autunnale n°10).

	n° generi*	n°specie *	Indice di Shannon	evenness
44	18	38	3,91	0,75
53	27	59	4,96	0,84
59	23	56	4,91	0,85
63	23	46	4,4	0,8
80	31	64	5,2	0,87
*su 400 individui identificati				

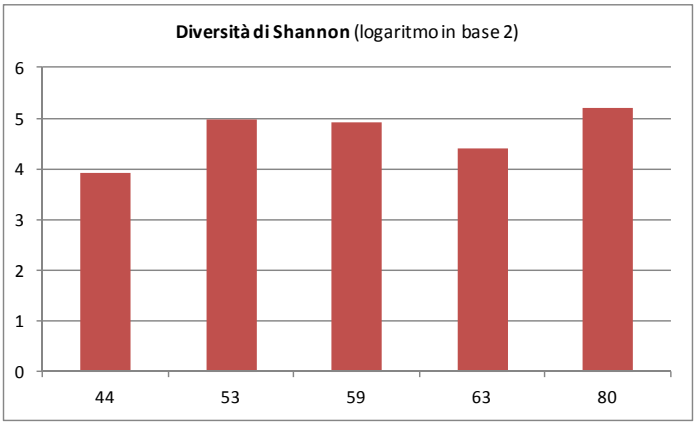


Fig. 2.10 - Indice di Shannon per le stazioni fluviali 44, 53, 59, 63, 80 rispettivamente coincidenti con le stazioni ARPA di Castelvisconti, Seniga, Ostiano, Canneto sull'Oglio e Marcaria (campagna autunnale n°10).

Le specie appartenenti al genere Achnanthidium presentano una percentuale considerevole solo nel sito 44, mentre la loro abbondanza diminuisce nettamente nei siti più a valle dove prevalgono generi colonizzatori secondari.

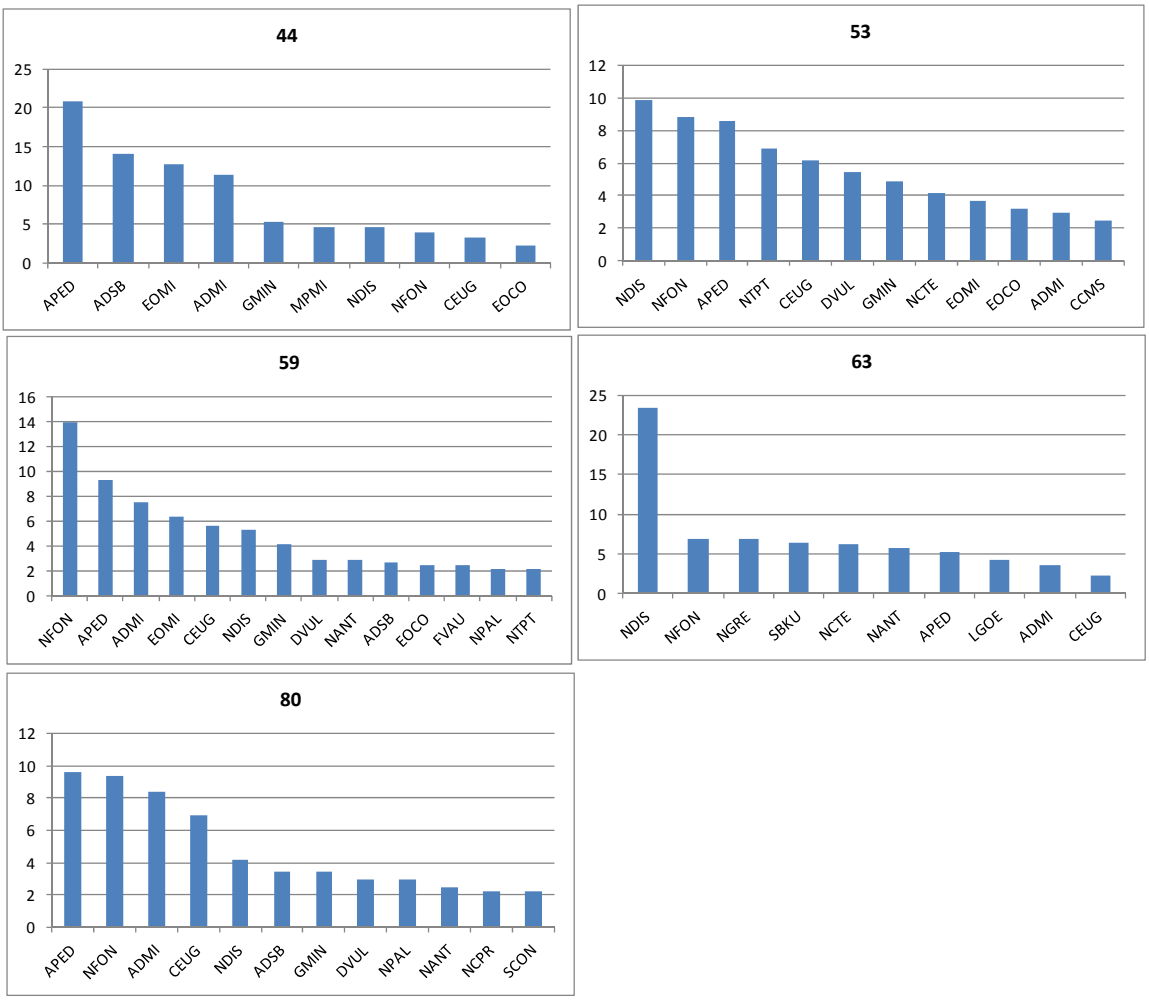


Fig. 2.11 - Percentuali di abbondanza dei taxa rinvenuti nelle stazioni fluviali 44, 53, 59, 63, 80 rispettivamente coincidenti con le stazioni ARPA di Castelvisconti, Seniga, Ostiano, Canneto sull'Oglio e Marcaria (campagna autunnale n°10).

La qualità dei siti esaminati è costante, anche le lievi differenze in termini di classe di qualità rilevate dall'IPS sono formali (i valori nei siti 44 e 59 sono appena inferiori al limite della seconda classe) (fig. 2.12).

I siti sono giudicati mesotrofici da IPS e IBD, mentre il giudizio espresso dal TID ricade, per poco, in VII classe (eu-politrofico; con un valore di P totale medio maggiore di 0.1 mg/l e valori estremi maggiori di 0.25 mg/l).

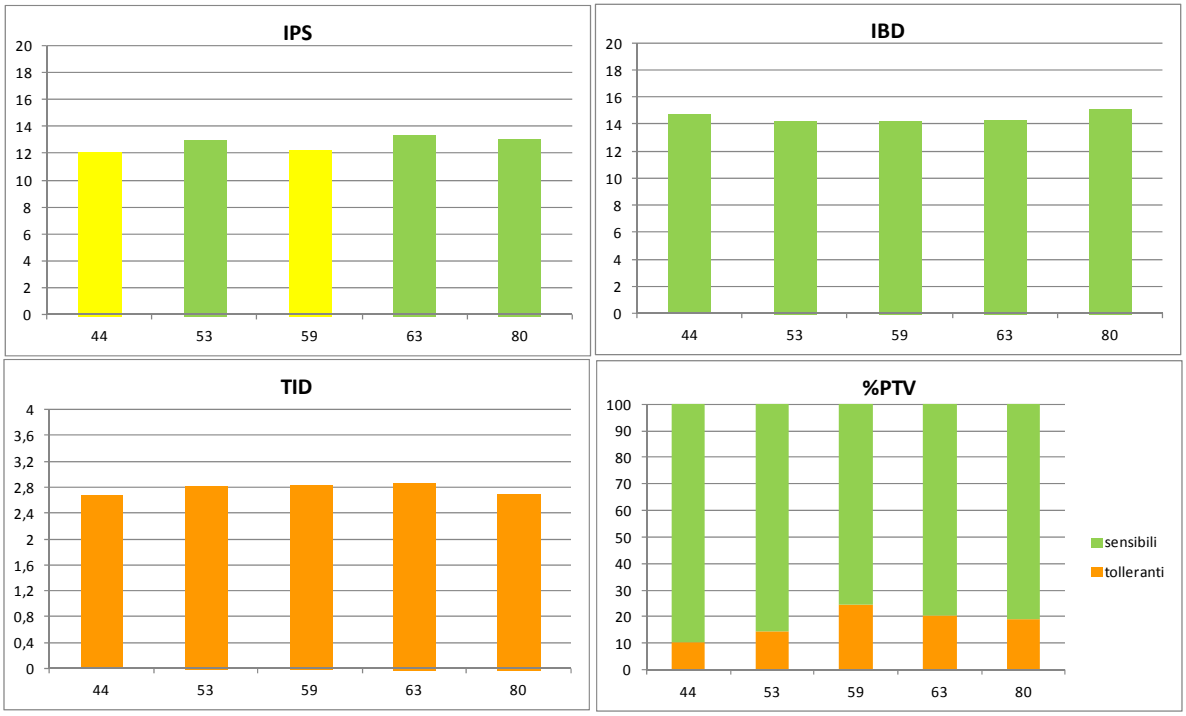


Fig. 2.12 - Indici IPS, IBD, TID e %PTV per le stazioni fluviali 44, 53, 59, 63, 80 rispettivamente coincidenti con le stazioni ARPA di Castelvisconti, Seniga, Ostiano, Canneto sull'Oglio e Marcaria (campagna autunnale n°10).

2.4.3.4.- Analisi della comunità diatomica nelle stazioni di campionamento arpa: confronto con le campagne precedenti

La biodiversità è sempre più bassa nella stazione a monte (44) rispetto a tutti gli altri siti, indipendentemente dalla stagione di campionamento. Anche l'evenness si presenta sempre più bassa nel sito 44, il che denota una minor equiripartizione delle abbondanze relative delle diverse specie e la dominanza (anche se non assoluta) di un unico taxa. Nel caso del campione estivo del 2010 la specie dominante è *Achnanthidium minutissimum*, una specie pioniera, colonizzatrice primaria, in grado di tollerare stress ambientali di tipo fisico (come variazioni della portata, banalizzazione del substrato fluviale e opere in alveo in generale). *A. minutissimum* è considerata una specie cosmopolita ed è ampiamente diffusa in qualsiasi tipo ambiente, dall'oligo al mesotrofico, non è però in grado di tollerare elevati livelli di eutrofizzazione (eu, poli e ipertrofico), per questo motivo la maggior parte degli indici diatomici la considerano una specie sensibile, seppur con un grado di affidabilità ecologica (in termini di bioindicatore ambientale) solo sufficiente, data la sua ampia diffusione. Durante l'estate 2011 la specie dominante è invece *N. fonticola*: piuttosto tollerante l'inquinamento organico e descritta come β-mesosaprobia, potrebbe indicare un lieve aumento di nutrienti. Durante l'ultimo campionamento la specie dominante è nuovamente un taxa prostrato, *Amphora pediculus*.

Nelle stazioni a valle del sito 44, la comunità presenta quasi sempre una percentuale inferiore di taxa prostrati. In generale, specialmente nella stagione estiva (2010 e 2011) la comunità è dominata da taxa β-mesosaprobi (es. *Nitzschia sociabilis*, *N. fonticola*, *Amphora pediculus*) e α-meso-polisaprobi (*Eolimna minima*) che indicano una qualità del corso d'acqua medio-bassa. I campioni prelevati durante l'autunno 2010 presentano una composizione in specie diversa. In molti siti domina Diatoma tenue, una specie α-mesosaprobia, spesso coloniale che potrebbe indicare un flusso di corrente lentico.

Da segnalare la presenza di *Eolimna comperei*, completamente assente nei campioni estivi del 2010 Questa specie compare con percentuali basse in autunno 2010 ed estate 2011; mentre inizia a presentare un'abbondanza e diffusione maggiore nell'autunno 2011.

Per quanto riguarda la qualità: il sito 44 presenta sempre una condizione ecologica migliore rispetto ai siti più a valle ed, in generale, una minore percentuale di specie considerate tolleranti. Procedendo verso valle la condizione peggiora. Partendo dal giudizio espresso dall'IPS, notiamo che la condizione peggiore si ha nell'estate 2010 in cui c'è un netto peggiormento da una condizione di mesotrofia (II classe in 44) a una condizione di eutrofia (IV classe) nei siti 59, 63 e 80. Nelle restanti campagne la condizione sembra essere migliore, e gli indici oscillano tra la II e la III classe di qualità. Il giudizio espresso dal TID è sempre più severo rispetto all'IPS ed è piuttosto omogeneo in tutte le stagioni: in quasi tutti i campioni il livello di trofia è alto e l'indice ricade in VII classe di qualità (eu-politorfico).

In tabella 2.11 sono riportati i risultati del calcolo dell'indice ICMi suggerito da un report dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente di Trento. Come evidenziato dall'applicazione degli altri indici, anche l'ICMi evidenzia un maggiore stato di qualità nelle stazioni a nord e in generale nella stagione autunnale 2010, estiva 2011 e autunnale 2011. Anche l'indice ICMi non evidenzia differenze dello stato di qualità del sistema in relazione ai deflussi in alveo, considerando che durante le campagne estive lo scenario di sperimentazione è stato il 5%, mentre durante la stagione autunnale è risultato maggiore del 15%.

Tab. 2.11 - Calcolo dell'indice ICMi secondo il Report dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente di Trento (2010): "Rilascio del DMV nel rio Algone: monitoraggio componenti biotiche e studio ecosistema fluviale." per le tre campagne di misura n°5 (estate 2010), n°6 (autunno 2010), n°9 (estate 2011) e n°10 (autunno 2011). (RQE_IPS= valore osservato / valore atteso ; RQE_TI= (4-valore osservato) / (4-valore atteso); ICMi= (RQE_IPS+RQE_TI)/2).

Stazioni	ICMi Estate 2010	Stato Estate 2010	ICMi Autunno 2010	Stato Autunno 2010	ICMi Estate 2011	Stato Estate 2011	ICMi Autunno 2011	Stato Autunno 2011
Tagliuno	0,82	Buono	0,80	Buono	0,88	Elevato	0,83	Buono
Capriolo	0,92	Elevato	0,86	Elevato	0,92	Elevato	0,84	Elevato
Pontoglio	0,87	Elevato	0,92	Elevato	0,86	Elevato	0,88	Elevato
Cividate al Piano	0,88	Elevato	0,88	Elevato	0,83	Buono	0,85	Elevato
Castelvisconti	1,13	Elevato	-	-	0,89	Elevato	0,77	Buono
Seniga	0,69	Buono	0,80	Buono	0,73	Buono	0,76	Buono
Ostiano	0,54	Scarso	0,84	Elevato	0,79	Buono	0,74	Buono
Isola Dovarese	0,55	Sufficiente	0,73	Buono	0,67	Buono	0,76	Buono
Torre d'Oglio	0,59	Sufficiente	0,90	Elevato	0,65	Buono	0,80	Buono