CONSORZIO DELL' OGLIO
- BRESCIA –

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

Relazione annuale
2010 - 2011

"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
Macroinvertebrati	:	Simone Guareschi, Alex Laini
Macrofite	:	Rossano Bolpagni

Fotografia in copertina: vista del f. Oglio a monte della traversa fluviale di Calcio

SOMMARIO

1. STAZIONI DI CAMPIONAMENTO E CAMPAGNE DI MISURA 3
1.1. Monitoraggio CHIMICO-FISICO. 3
1.2. Monitoraggio MACROINVERTEBRATI 4
1.3. Monitoraggio MACROFITE 5
1.4. Monitoraggio DIATOMEE 5
1.5. Monitoraggio ITTIOFAUNA 6
2. MATERIALI E METODI 8
2.1 Azione 2 - Monitoraggio CHIMICO-FISICO 8
2.2. Azione 3 - Monitoraggio MACROINVERTEBRATI 9
2.3. AZIONE 3 - Monitoraggio MACROFITE 9
2.4. Azione 3 - Monitoraggio biologico: DIATOMEE 10
2.5. Azione 3 - Intercalibrazione elementi biologici 12
2.6. Azione 4 - Monitoraggio biologico: ITTIOFAUNA 12
3. RISULTATI 13
3.1. Azione 2 - Monitoraggio chimico-fisico 13
3.2. Azione 3 - Monitoraggio MACROINVERTEBRATI 50
3.3. Azione 3 - Monitoraggio MACROFITE 61
3.4. Azione 3 - Monitoraggio DIATOMEE 71
4. MONITORAGGIO ITTIOFAUNA 89
4.1. Introduzione alle attività 89
4.2. Campagna 05/10 89
4.3. Campagna 08/11 96
4.4. Calcolo indice componente biologica ittiofauna – ISECI 114
4.5. Principale limite applicativo evidenziato 119
5. MONITORAGGIO IDROLOGICO 123
5.1. Andamento generale. 123
5.2. Considerazioni sulle campagne di misura 124
6. CONSIDERAZIONI INTERMEDIE DEL SECONDO ANNO 127
6.1. Valutazioni sul comportamento idraulico del fiume Oglio sub lacuale 127
6.2. Valutazione delle relazioni tra parametri chimico-fisici e portate del fiume 127
6.3. Valutazioni delle relazioni tra biocenosi e regime delle portate del fiume 129
6.4. Considerazioni generali 132

1. STAZIONI DI CAMPIONAMENTO E CAMPAGNE DI MISURA

1.1. Monitoraggio CHIMICO-FISICO.

Il monitoraggio del secondo anno è stata condotta secondo quanto stabilito dal Protocollo per la sperimentazione e in accordo con le attività svolte nel primo anno di sperimentazione.
Le stazioni di campionamento coincidono con quelle stabilite al termine dell'anno precedente e riguardano 12 stazioni fluviali per gli scenari del gruppo B e 80 stazioni, fluviali e in prossimità degli ingressi puntiformi (immissari, scarichi, etc.) per lo scenario di base (gruppo A) e che interessano l'intera asta fluviale.
La tabella 1.1 riassume le date di campionamento delle campagne del secondo anno, definite rispettivamente campagna n° 5/2010 (al termine della stagione irrigua - periodo di massimo stress per il sistema fluviale), n° 6/2010 (il fiume ha riacquistato cospicui volumi d'acqua), n°7/2011 (il fiume risulta acclimatato al rilascio abbondante delle acque dalla diga dovuto al periodo autunnale e invernale) e n°8/2011 (inizio della stagione irrigua).

Tabella 1.1. Date di campionamento delle campagne di misura n° 5/2010, n°6/2010, n°7/2011 e n°8/2011

Campagna di misura	Scenario	Gruppo	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°5 (estate 2010) Periodo irriguo	5%	A	28/07/2010	23
	5%	A	29/07/2010	29
	5%	A	30/07/2010	15
	7.5%	B	20/07/2010	12
	10%	B	04/08/2010	12
	15%	B	11/08/2010	12
n°6 (autunno 2010) Periodo non irriguo	15%	A	29/11/2010	20
	15%	A	30/11/2010	11
	15%	A	01/12/2010	15
	15%	A	02/12/2010	13
n°7 (inverno 2011) Periodo non irriguo	5%	B	23/02/2010	12
	7.5%	B	15/02/2010	12
	10%	B	09/02/2010	12
	15%	A	31/01/2010	25
	15%	A	01/02/2010	29
	15%	A	02/02/2010	16
n°8 (primavera 2011) Periodo irriguo	5%	B	20/04/2010	12
	7.5%	B	27/04/2010	12
	15%	B	12/05/2010	12
	10%	A	02/05/2010	28
	10%	A	03/05/2010	24
	10%	A	04/05/2010	23

Come da protocollo, lo scenario base (gruppo A) è stato effettuato in tutte le 4 campagne; rispetto al primo anno lo scenario applicato al periodo primaverile è stato del 10%. Nella campagna n°6/2010 (autunno) non si sono effettuati i campionamenti per gli scenari del gruppo B a causa del periodo fortemente piovoso che non ha consentito la regolazione dei valori di portata. Per la stagione autunnale comunque le condizioni ambientali del campionamento del 15% (scenario base) sono rappresentative dello stato ecologico del fiume. In questa campagna inoltre si sono campionate 59 stazioni rispetto alle circa 80 delle altre campagne a causa di una forte nevicata che ha caratterizzato il secondo giorno di campionamento.
Il campionamento sull'intera asta fluviale (da Sarnico alla confluenza in Po) e sui principali immissari, per un totale di circa 80 prelievi, è stato effettuato in tre giornate di lavoro, ad eccezione della campagna n°6 che, come per tutte le campagne di misura del primo anno, è stata effettuata in quattro giorni; si è infine utilizzato, per ogni scenario del gruppo B, un giorno di campionamento per le 12 stazioni del tratto settentrionale dove sono presenti le derivazioni idroelettriche.

Nel secondo anno di attività sono stati campionati alcuni immissari solo in presenza di una portata rilevante; i punti di prelievo sono quelli del primo anno (tabella 5.2 Relazione annuale 2009-2010).
Gli scarichi degli impianti di acquacoltura (Rudiano e Torre Pallavicina) non sono stati campionati per assenza di acque di scarico durante il periodo irriguo, campagna di misura estiva (n°6) e primaverile (n°8). È stato inoltre eliminato il prelievo delle acque di scarico dei reflui urbani di Rudiano per lavori di manutenzione allo scarico, lavori che hanno portato l'immissione dei reflui al di sotto del livello delle acque del fiume. Nella campagne di misura n°6 (autunno) e n°7 (inverno) non sono stati effettuati i campionamenti allo scarico dei reflui urbani di Pontoglio per lavori di viabilità stradale che hanno impedito l'accesso alla stazione. Come da protocollo non sono stati effettuati prelievi di acqua nelle stazioni sul fiume Oglio sublacuale a valle delle derivazioni irrigue nel periodo non irriguo (campagne n°6 e n°7).

1.2. Monitoraggio MACROINVERTEBRATI

Nelle quattro stagioni (estiva, autunnale, invernale e primaverile) si sono effettuate rispettivamente 7, 5, 4 e 7 uscite in campo. La tabella 1.2 riassume le date di campionamento delle campagne (n°5/2010, 6/2010, 7/2011 e 8/2011).
Nella campagna estiva (n°5/2010) e primaverile (n°8/2011) si sono caratterizzate rispettivamente 18 e 15 stazioni, con perdite in primavera in 3 stazioni, per atti vandalici, di substrati artificiali. Nelle campagne autunnale e invernale si sono caratterizzate le comunità macrozoobentoniche solamente nelle stazioni in cui solitamente è utilizzata la metodologia dei substrati artificiali, circa 12 stazioni; anche in questo caso nella fase di recupero non si sono ritrovati substrati artificiali in una stazione in autunno (n°6/2010)e due in inverno (n°7/2011). La difficoltà di campionare con retino Surber nelle stagioni in cui defluisce una maggior quantità d'acqua nel fiume ha determinato quindi il mancato campionamento nelle stazioni in cui si utilizza questa metodica (circa 6 stazioni).

Tabella 1.2. Campionamento dei macroinvertebrati: campagne n° 5/2010, n°6/2010, n°7/2011 e n°8/2011. La sigla S.A. indica Substrati Artificiali.

Campagna di misura	Data di campionamento	N° stazioni campionate
n°5 (estate 2010)	19/07/2010	5 (Retino Surber e Deposizione S.A.)
	20/07/2010	5 (Retino Surber e Deposizione S.A.)
	22/07/2010	5 (Retino Surber e Deposizione S.A.)
	23/07/2010	3 (Deposizione S.A.)
	17/08/2010	4 (recupero S.A.)
	18/08/2010	4 (recupero S.A.)
	19/08/2010	4 (recupero S.A.)
n°6 (autunno 2010)	29/11/2010	4 (Deposizione S.A.)
	30/11/2010	4 (Deposizione S.A.)
	01/12/2010	4 (Deposizione S.A.)
	18/01/2011	6 (Recupero S.A.)
	20/01/2011	6 (Recupero S.A.)
n°7 (inverno 2011)	09/02/2011	6 (deposizione S.A.)
	17/02/2011	6 (deposizione S.A.)
	09/03/2011	6 (recupero S.A.)
	16/03/2011	6 (recupero S.A.)
n°8 (primavera 2011)	20/04/2010	4 (Retino Surber)
	21/04/2010	3 (Retino Surber)
	02/05/2010	4 (deposizione S.A.)
	03/05/2010	4 (deposizione S.A.)
	04/05/2010	3 (deposizione S.A.)
	30/05/2010	5 (recupero S.A.)
	31/05/2010	6 (recupero S.A.)

1.3. Monitoraggio MACROFITE

Le campagna di misura per il campionamento delle macrofite sono ripartite 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 di tutto lo studio le macrofite sono state caratterizzate in tre campagne di misura (n°1/2009, n°5/2010 e n°9/2011) eseguendo complessivamente 23 uscite di campo (6 nel primo anno, 9 nel secondo e 8 nel terzo), riassunte in tabella 1.3. Nel complesso, per tutti gli anni è stato possibile rilevare in modo completo tutte le 30 stazioni in analisi.

Tabella 1.3. Date di campionamento delle macrofite nelle 3 campagne effettuate (n° 1/2009, n°5/2010 e n° 9/2011).

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

1.4. Monitoraggio DIATOMEE

Le stazioni di campionamento delle diatomee bentoniche sono 9 e sono state scelte secondo le indicazioni del protocollo APAT "Metodi Biologici per le Acque. Parte 1" (2007), in coincidenza di alcune stazioni in cui vengono campionati i macroinvertebrati. In particolare sono state scelte due coppie di stazioni, una a monte e una a valle dello sbarramento di due centrali idroelettriche e 5 stazioni lungo l'asta fluviale negli stessi punti di monitoraggio ARPA al fine di recuperare le informazioni raccolte negli anni precedenti.

Poiché secondo il protocollo, la maggiore diversità in specie si riscontra nei periodi con alta intensità luminosa e temperatura mite, si sono previsti due periodi di campionamento durante l'anno: maggio-giugno e settembre-ottobre.
Il primo campionamento è avvenuto nella terza settimana di luglio, ovvero dopo circa 4 settimane dall'ultimo evento di piena che ha caratterizzato la campagna di misura n° 4/2010 (maggio-giugno); 4 settimane rappresentano il tempo necessario per consentire la completa ricolonizzazione dei substrati da parte delle diatomee. Il primo campionamento è risultato quindi coincidere con la campagna di misura n°5/2010, mentre il secondo campionamento con la campagna autunnale n°6/2010, il terzo campionamento è avvenuto in estate in corrispondenza della campagna n°9/2011.
La tabella 1.4 riassume le date di campionamento, rientranti quindi in parte anche nel terzo anno del progetto di sperimentazione.

Tabella 1.4. Date di campionamento delle diatomee delle campagne di misura n° 5/2010, n°6/2010 e n°9/2011.

Campagne di misura	Date di campionamento	N° stazioni campionate
n° 5 (estate 2010)	19/07/2010	2
	20/07/2010	2
	22/07/2010	2
	23/07/2010	3
n° 6 (autunno 2010)	29/11/2010	3
	30/11/2010	2
	01/12/2010	3
n° 9 (estate 2011)	20/07/2011	3
	21/07/2011	3
	22/07/2011	3

1.5. Monitoraggio ITTIOFAUNA

Le attività della terza campagna di monitoraggio, (n° 5/2010), si sono svolte in agosto; sono state campionate 23 stazioni sulle 24 previste. Non è infatti stato possibile censire la stazione STF26 poiché l'accesso al fiume era impedito dalle colture di mais poste a ridosso della sponda.
Purtroppo, a causa del periodo climatico non favorevole, il campionamento iniziato il 9 agosto si è dovuto interrompere e riprenderlo soltanto nella seconda metà del mese, quando le condizioni idrologiche hanno consentito di intervenire.
In ultimo va segnalato che nei i primi 3 giorni d'intervento si sono registrate difficoltà nell'impiego dell'apparecchiatura elettrica; si ritiene però che, malgrado le operazioni siano risultate più difficoltose e la cattura abbia fornito un quantitativo inferiore di pesce, i dati rilevati siano da considerarsi esaustivi e descrittivi della comunità ittica.
Le attività della quarta campagna (n° 8/2011) si sono svolte in aprile e maggio 2011; tutte le 37 stazioni sono state campionate come da ridimensionamento proposto e approvato dal Tavolo Tecnico.
La tabella 1.5 riassume le date di campionamento, nel secondo anno del progetto di sperimentazione.

Tabella 1.5. Date di campionamento dell'ittiofauna nelle campagne di misura n° 5/2010 e n°8/2011.

Stazione	**Campagna n° 5/2010 (estate)**	**Campagna n° 8/2011 (primavera)**
	data di campionamento	data di campionamento
FN01	09/08/2010	28/04/2011
STA03	09/08/2010	20/04/2011
FN04A		28/04/2011
FN07A	09/08/2010	28/04/2011
STC08	10/08/2010	28/04/2011
FN11A		06/05/2011
FN15A	10/08/2010	20/04/2011
STE18	20/08/2010	20/04/2011
FN21A	11/08/2010	20/04/2011
FN24A		22/04/2011
STF26		06/05/2011
FN27A	20/08/2010	22/04/2011
FN28A	11/08/2010	22/04/2011
FN30A		22/04/2011
FS31A	27/08/2010	18/04/2011
FS38A		18/04/2011
FS38B	27/08/2010	18/04/2011
FS39A	28/08/2010	18/04/2011
FS39B		19/04/2011
FS40A		19/04/2011
FS42A	25/08/2010	19/04/2011
FS44A		19/04/2011
FS48A	25/08/2010	29/04/2011
FS50A		29/04/2011
FS52C		29/04/2011
FS53A	26/08/2010	
FS53B	26/08/2010	03/05/2011
FS55A	26/08/2010	03/05/2011
FS59A		03/05/2011
FS59B		03/05/2011
FS60		03/05/2011
FS62A	28/08/2010	04/05/2011
FS63A	30/08/2010	04/05/2011
FS64A	30/08/2010	04/05/2011
FS67A	31/08/2010	04/05/2011
FS70A	31/08/2010	05/05/2011
FS78B		05/05/2011
FS80A		05/05/2011

2. MATERIALI E METODI

2.1 Azione 2 - Monitoraggio CHIMICO-FISICO

FASE DI CAMPO e di laboratorio

Per i prelievi d'acqua e le metodiche analitiche si sono seguite le indicazioni di 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 nel 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".

ANALISI DEI DATI

Al termine del secondo anno sono stati ripresi i dati idrochimici raccolti nelle otto campagne di misura per effettuarne la validazione. Ad ogni parametro è stato associato l'errore analitico secondo la tabella 2.1.

Tabella 2.1. Errori analitici associati ai parametri di base e ai parametri aggiuntivi

	Parametri	Errore analitico
Parametri di base	Temperatura	± 0.15 °C
	Ossigeno disciolto (O_2)	± 0.2 mg O_2 l^{-1}
	Ossigeno disciolto (O_2)	± 2%
	Carbonio inorganico disciolto (DIC)	± 0.01 mmol l^{-1}
	pH	± 0.05
	Conducibilità elettrica	± 1 µS cm^{-1}
	Domanda Biochimica di Ossigeno (BOD_5)	± 0.1 mg O_2 l^{-1}
	Domanda Chimica di Ossigeno (COD)	± 0.1 mg O_2 l^{-1}
	Azoto ammoniacale (NH_4^+)	± 0.010 mg N l^{-1}
	Azoto nitrico (NO_3^-)	± 0.010 mg N l^{-1}
	Fosforo totale (TP)	± 0.010 mg P l^{-1}
	Escherichia coli	± 1 UFC/100ml
	Solidi sospesi totali (SST)	± 0.01 mg l^{-1}
Parametri aggiuntivi	Azoto nitroso (NO_2^-)	± 0.005 mg N l^{-1}
	Azoto totale (TN)	± 0.050 mg N l^{-1}
	Fosforo Reattivo Solubile (SRP)	± 5 µg P l^{-1}
	Metano (CH_4)	± 0.001 µmol CH_4 l^{-1}
	Clorofilla-a fitoplanctonica	± 1 µg Chl-a l^{-1}

Nell'Allegato I si propongono numerosi grafici con i valori di ogni parametro raccolti nelle otto campagne. È stato scelto il "grafico a dispersione" perchè risulta il modo migliore di rappresentare i dati raccolti con un campionamento puntuale ed effettuato in giorni differenti supponendo che le condizioni fluviali rimangano costanti. Ad ogni gruppo di punti di ogni parametro è stata associata la media mobile (grafico a linea) al fine di evidenziare possibili tendenze nello spazio e nel tempo. La media mobile è stata calcolata sostituendo a ogni dato misurato la media con il dato precedente e il successivo; non sono considerati quindi i dati misurati della prima e dell'ultima stazione. La perequazione di una serie spaziale di dati mediante la media mobile è meglio adattata alle particolarità dell'andamento reale. La media mobile diminuisce infatti la variabilità casuale dei singoli dati, evidenzia la tendenza di fondo determinata dalle variazioni sistematiche della quantità media, mantenendo la variabilità delle medie di k dati, quindi senza eliminarla totalmente (Soliani, 2004).

I dati idrochimici raccolti nelle quattro campagna del secondo anno sono stati elaborati insieme ai dati raccolti nel primo anno. Partendo dai valori di concentrazione dei diversi parametri misurati si è determinato lo stato di qualità delle acque secondo due indici: LIM "Livello di inquinamento da macrodescrittori" previsto dal D.lgs. 152/1999 "*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento*" (recepimento delle direttive 91/271/CEE e 91/676/CEE) ed LIM_{eco} (Livello di Inquinamento dai Macrodescrittori per lo stato ecologico) utilizzato a sostegno degli elementi biologici per la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici, secondo il D.M. 260/2010. L'utilizzo dei due indici di qualità è dovuto al fatto che il D.lgs. 152/2006 non esplicitava quale indice di riferimento usare per determinare la qualità del sistema fluviale e l'indice LIM_{eco} è stato reso ufficiale, insieme al D.M. 260/2010, con il supplemento ordinario n.31 alla G.U. n.30 del 7 febbraio 2011. Inoltre l'indice LIM non considera solo lo stato trofico del sistema (azoto e fosforo), ma anche la capacità del sistema di metabolizzare il carico organico (COD e BOD_5) e l'aspetto microbiologico (*Escherichia coli*). Si è calcolato l'indice LIM per ogni campagna in modo puntale e non, come previsto, sulla base dei 12 campionamenti con cadenza mensile, di conseguenza rappresenta un valore indicativo dello stato di qualità stagionale e di quello in funzione degli scenari di portata applicati. L'indice LIM_{eco} è stato invece calcolato secondo quanto stabilito dal D.M. citato per rappresentare sia lo stato di qualità stagionale sia quello annuale.
Gli effetti dei diversi scenari di portata sulla capacità metabolica del sistema fluviale sono stati condotti implementando l'analisi delle regressioni lineari tra descrittori chimico-fisici e deflussi in alveo e tra indici di qualità e deflussi in alveo; la significatività dei modelli è stata testata con il software statistico R.

2.2. Azione 3 - Monitoraggio MACROINVERTEBRATI

METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO

Il campionamento dei macroinvertebrati è stato effettuato 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. 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.

ANALISI DEI DATI

Come per le campagne del primo anno, per ogni stazione è stato calcolato l'indice IBE nonostante la metodologia di campionamento per l'applicazione di quest'ultimo sia differente da quella in uso. Il software Macroper per il calcolo dell'indice Star_ICMi, infatti, non risulta ancora disponibile.
Si sono calcolati anche i "biological traits" e gli "ecological traits" (*sensu* Usseglio-Polatera et al., 2000) ovvero si è effettuata un'analisi sulla base della condivisione di caratteristiche comuni dal punto di vista biologico ed ecologico.

2.3. AZIONE 3 - Monitoraggio MACROFITE

Le macrofite come indicatori

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, ad una preliminare trattazione dei risultati ottenuti nel biennio di indagine 8/2009-7/2011 presentando i risultati dell'indicizzazione delle stazioni *sensu* Direttiva 2000/60/CE; ci si riserva di presentare le risultanze delle analisi di approfondimento (metodiche di cluster, ordinamento e IndVal) sulle relazioni esistenti tra struttura e composizione delle comunità, variabili fisiche, chimico-fisiche, biologiche e idrologiche nella relazione di sintesi del progetto.

METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO

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 per i dettagli 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.

2.4. Azione 3 - Monitoraggio biologico: DIATOMEE

METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO

Il campionamento delle diatomee bentoniche, 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), è stato effettuato procedendo lungo un transetto, raccogliendo lungo il percorso 4-5 substrati naturali (ciottoli e rocce) e prelevando, con uno spazzolino a setole dure, lo strato perifitico che ne colonizza la superficie. 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).

ANALISI DEI DATI

Allo scopo di fornire informazioni sullo stato complessivo dell'ecosistema fluviale si sono elaborati indici basati sulla struttura del popolamento diatomico che sintetizzano, in un valore numerico, la struttura di una comunità traducendo in un valore discreto il grado di scostamento dalle condizioni ecologiche ottimali. Gli indici diatomici uniscono le informazioni qualitative relative alla sensibilità ecologica di ciascun taxa con una misura quantitativa della diversità specifica. Gli Indici Diatomici per il controllo della qualità dei corsi d'acqua sono basati sulla formula di Zelinka & Marvan (1961) in cui a ciascuna specie viene attribuito un valore di sensibilità (affinità/tolleranza) all'inquinamento e un valore di affidabilità come indicatore biologico:

$$ID = \frac{\sum_{j=1}^{n} a_j \; i_j \; r_j}{\sum_{j=1}^{n} a_j \; r_j}$$

dove:
a = abbondanza relativa della specie j;
r = affidabilità della specie j;
i = sensibilità della specie j a fattori di inquinamento
I diversi indici, che differiscono per il numero di specie considerate nel calcolo e per i valori di "a" e di "r", possono essere classificati in:

a) indici di qualità generale che integrano le risposte a più fattori di inquinamento (organico, minerale, eutrofizzazione, ecc.);
b) indici saprobici che si basano solo sulla sensibilità delle specie all'inquinamento organico;
c) indici trofici che si basano invece sulla sensibilità delle specie alla sola trofia delle acque.

L'Indice de Polluosensibilité Specifique (IPS; Cemagref, 1982) considera principalmente l'inquinamento saprobico ed è l'indice che prende in considerazione il più elevato numero di specie (quasi la totalità delle specie descritte). Il Biological Diatom Index (IBD; Lenoir & Coste, 1996) è stato principalmente elaborato per valutare l'inquinamento di tipo organico, ma grazie agli ultimi aggiornamenti è in grado di evidenziare anche eventuali contaminazioni da parte di metalli pesanti. Il Trophic Index (TID; Rott et al., 1999) tiene invece conto dell'inquinamento trofico ed è altamente correlato con bassi livelli di trofia e di inquinamento organico; è inoltre sensibile al carico di nutrienti di origine naturale, per questo motivo è particolarmente adatto per i monitoraggi in corsi d'acqua alpini. Il % Pollution Tolerant Valves (%PTV) è stato elaborato da Kelly et al. (1995) a supporto del più complesso indice TDI al fine di valutare all'interno di una comunità, la percentuale di taxa tolleranti l'inquinamento organico.
Il risultato ottenuto dal calcolo degli Indici Diatomici è facilmente convertibile in un giudizio di qualità ambientale confrontabile con quelli normalmente conseguiti per mezzo di altri indici biologici. Si possono infatti definire cinque classi, corrispondenti ciascuna ad un giudizio di qualità (Tabella 2.2-2.3). L'interpretazione dei risultati ottenuti con l'indice %PTV è rappresentata in Tabella 2.4.

Tabella 2.2 - Indici IPS e IBD (espressi in ventesimi) e corrispondenti giudizi e classi di qualità.

CLASSE DI QUALITA' AMBIENTALE	IPS/IBD
I CLASSE (oligotrofico)	20-17
II CLASSE (mesotrofico)	16,9-13
III CLASSE (eutrofico)	12,9-9
IV CLASSE (politrofico)	8,9-5
V CLASSE (ipertrofico)	4,9-0

Tabella 2.3 - Indice TID (espresso in quarti) e corrispondenti giudizi e classi di qualità.

Trophie-Index (TI)	Stato trofico	P totale medio (mg/l)	P totale valori estremi (mg/l)
≤1.0	Ultraoligotrofico	< 0.005	< 0.010
1.1-1.3	Oligotrofico	< 0.010	< 0.020
1.4-1.5	Oligo-mesotrofico	0.010-0.020	< 0.050
1.6-1.8	Mesotrofico	< 0.030	< 0.100
1.9-2.2	Meso-eutrofico	0.030-0.050	< 0.150
2.3-2.6	Eutrofico	0.030-0.100	< 0.250
2.7-3.1	Eu-politrofico	> 0.100	> 0.250
3.2-3.4	Politrofico	0.250-0.650	> 0.650
> 3.4	Poli-ipertrofico	> 0.650	> 0.650

Tabella 2.4 - Indice %PTV (espresso in percentuale) e corrispondenti giudizi e classi di qualità.

% VALVE TOLLERANTI L'INQUINAMENTO ORGANICO	GIUDIZIO DI QUALITA'
<20%	inquinamento organico nullo
21-40	lieve inquinamento organico
41-60	il livello di inquinamento organico contribuisce in modo significativo all'eutrofizzazione del sito
>61%	sito significativamente contaminato da inquinamento organico

L'applicazione di questi indici sui dati raccolti durante le due campagne di misura è scaturita dal fatto che il DM n°260/2010 ha definito l'indice denominato Indice Multimetrico di Intercalibrazione (ICMi) da applicare per la valutazione dello stato ecologico, utilizzando le comunità diatomiche. L'ICMi si basa proprio sull'Indice di Sensibilità agli Inquinanti (IPS) e sull'Indice Trofico (TI). Nonostante il DM n°260/2010 non espliciti la modalità di calcolo dell'ICMi, quest'ultimo è stato calcolato per le tre campagne di misura (n°5, n°6 e n°9) recuperando le formule per i Rapporti di Qualità Ecologica RQE_IPS, RQE_TI e l'ICMi dal Report sul rilascio del D.M.V. nel rio Algone dell'Agenzia provinciale per la protezione dell'ambiente di Trento (2010). Il fiume Oglio sublacuale rientra nel macrotipo fluviale C (tutti i tipi delle idroecoregioni ricadenti nell'area geografica centrale), Idroecoregione 6 (Pianura Padana a Nord del fiume Po).

2.5. Azione 3 - Intercalibrazione elementi biologici

L'operazione di intercalibrazione con l'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente per il campionamento dei macroinvertebrati è avvenuta nelle stazione ARPA di Capriolo (presso il ponte della strada provinciale SP96) il 27/04/2010 e di Marcaria (presso il ponte di barche di Torre d'Oglio) il 29/04/2010.
Per quanto riguarda l'intercalibrazione della metodologia di campionamento delle macrofite, DSA e ARPA Cremona hanno effettuato il campionamento alla stazione ARPA di Castelvisconti il venerdì 23/07/2010. Per maggiori dettagli si rimanda alla "Relazione annuale 2009-2010: Progetto di sperimentazione dei rilasci per il deflusso minimo vitale nel fiume Oglio sublacuale – Consorzio dell'Oglio".
Il 13/05/2011 sono stati ritrasmessi ai Dipartimenti di Brescia e di Mantova i risultati dei campioni dei macroinvertebrati campionati dal DSA al fine di un riscontro per la calibrazione.
Durante la campagna di misura n°9/2011 (estate 2011) si sono invece effettuati campionamenti dei macroinvertebrati e delle diatomee per un'ulteriore operazione di intercalibrazione con il Dipartimento ARPA di Cremona nella stazione ARPA di Castelvisconti (presso il ponte tra Castelvisconti e Acqualunga). Verso fine novembre 2011 saranno trasferiti i risultati ad ARPA Cremona.

2.6. Azione 4 - Monitoraggio biologico: ITTIOFAUNA

METODOLOGIA DI CAMPIONAMENTO
Per il campionamento della fauna ittica, realizzato secondo metodiche e tempi evidenziati nel documento di progetto e metodologie ISPRA (ex APAT), "*Protocollo di campionamento e analisi della fauna ittica dei sistemi lotici ai sensi della Direttiva 2000/60*", (Tancioni & Scardi, 2007) in Metodi biologici per le acque, Parte I, si è utilizzata la tecnica della cosiddetta pesca elettrica, con l'ausilio di un'imbarcazione a motore per le operazioni svolte in tratti di fiume non guadabili.
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.

3. RISULTATI

3.1. Azione 2 - Monitoraggio chimico-fisico

SCENARI DI SPERIMENTAZIONE: **GRUPPO A** (periodo irriguo e periodo non irriguo)
L'evoluzione dei parametri misurati da monte a valle durante i due anni di attività è riportata nelle figure 3.1-3.15. Per un'analisi di dettaglio degli andamenti si rimanda all'allegato I dove i parametri sono resi per ogni campagna di misura, con la media mobile e con i range di qualità stabiliti per il calcolo dell'indice LIM_{eco} e dell'indice LIM.

I tenori di ossigeno disciolto nelle acque del fiume Oglio variano tra il 90 ed il 120% di saturazione ad indicare una buona capacità del sistema fluviale a metabolizzare il carico organico di origine alloctona (ingressi puntiformi) e autoctona in tutte le campagne di misura e quindi in tutte le stagioni (figura 3.1). La variabilità rispetto al 100% di saturazione dal km 110 al km 266 è determinata anche dal fatto che il campionamento delle acque dell'intera asta fluviale è avvenuto in tre giorni e che le stazioni non sono state campionate alla stessa ora del giorno, per ovvi motivi di sforzo di campionamento. Durante la campagna autunnale n°2 sono stati registrati valori di saturazione dell'ossigeno intorno all'80% a causa del periodo estremamente piovoso in cui è avvenuto il campionamento; lo sversamento in alveo di acque nere non trattate dai depuratori per eccesso di carico idraulico ha determinato un aumento del carico organico ossidabile, dell'azoto ammonicale e di Escherichia coli con un evidente peggioramento della qualità delle acque fluviali (figure 3.2, 3.3, 3.4, 3.10, 3.20 e 3.22).

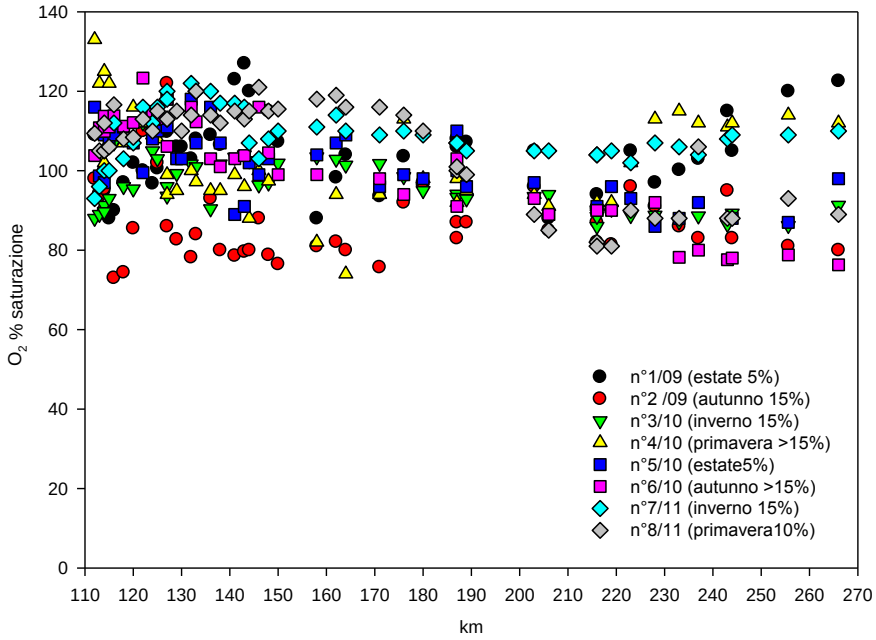

Figura 3.1. Percentuale di saturazione di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

La domanda chimica e quella biologica di ossigeno non evidenziano andamenti in tutte le otto campagne di misura (figure 3.2 e 3.3). Considerando la totalità dei dati il COD varia tra valori prossimi allo zero a ~15 mg O_2 l^{-1} (escludendo alcuni valori della campagna n°3/2010) ed il BOD_5 tra valori prossimi allo zero a ~6 mg O_2 l^{-1}, valori che non hanno generato problemi di anossia lungo tutto il corso del fiume. Per entrambi i parametri si nota come nel periodo estivo (campagne n°1 e n°5), e anche durante la primavera 2011 (n°8), in coincidenza con gli scenari di sperimentazione più bassi, si registrino valori più alti (COD ~2.5 - ~10 mg O_2 l^{-1}, BOD_5 ~1 - ~5 mg O_2 l^{-1}) rispetto ai periodi primavera 2010, autunno 2010 ed inverno 2011(n°4, n°6 e n°7, COD ~1 mg O_2 l^{-1}, BOD_5 ~0.5 mg O_2 l^{-1}) caratterizzati da

un maggiore deflusso in alveo (15% e >15%) e non coincidenti con eventi piovosi. Per la campagna autunnale n°2 ed invernale n°3 il carico organico ossidabile immesso nel sistema a causa di eventi piovosi risulta probabilmente rilevante generando concentrazioni di COD e BOD_5 simili a quelle estive, con valori che nei primi 60 km di fiume giungono anche fino a circa 25 mg O_2 l^{-1} di COD e 13 mg O_2 l^{-1} di BOD_5 in inverno 2010. Solo in queste stagioni i valori sono ricaduti nel livello di qualità scadente e pessimo dell'indice LIM, contro l'ottimo e il buono delle altre campagne di misura (allegato I, figure X e XI).

Anche per le unità formanti colonie di *Escherichia coli* (su 100ml) non si nota un trend stagionale e lungo l'asta fluviale; i valori più alti rientrano nel livello 3 dell'indice LIM (sufficiente) per tutte le campagne di misura, ad eccezione della campagna autunnale n°2 per cui la maggior parte dei valori ricade nel livello 4 o scadente dell'indice LIM ad indicare un inquinamento generato dall'ingresso di acque nere non trattate dei depuratori (allegato I, figura VI).

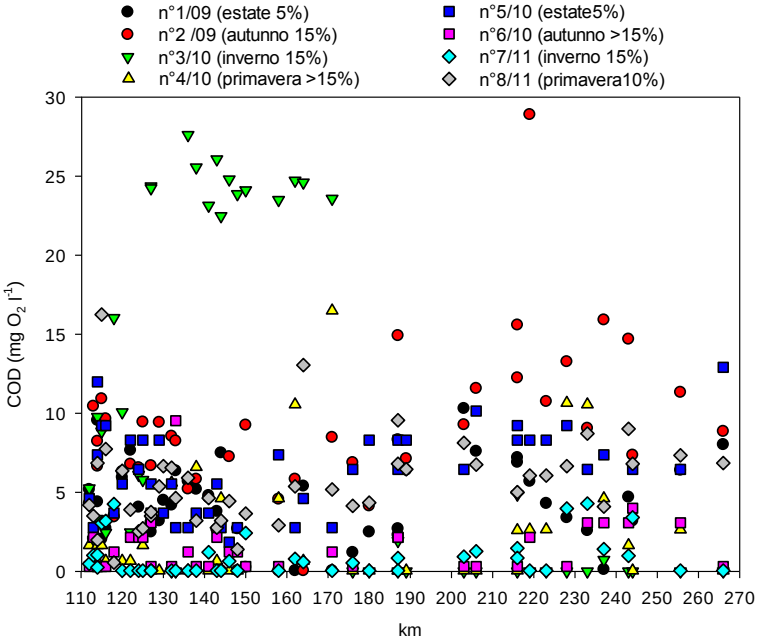

Figura 3.2. Domanda chimica di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

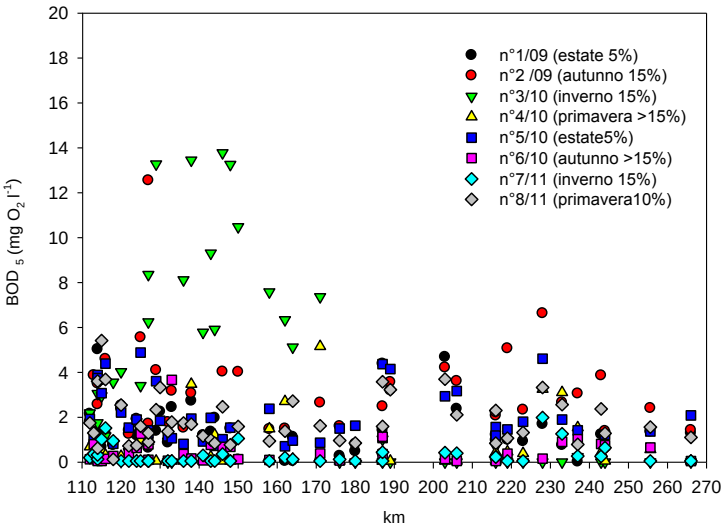

Figura 3.3. Domanda biologica di ossigeno misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

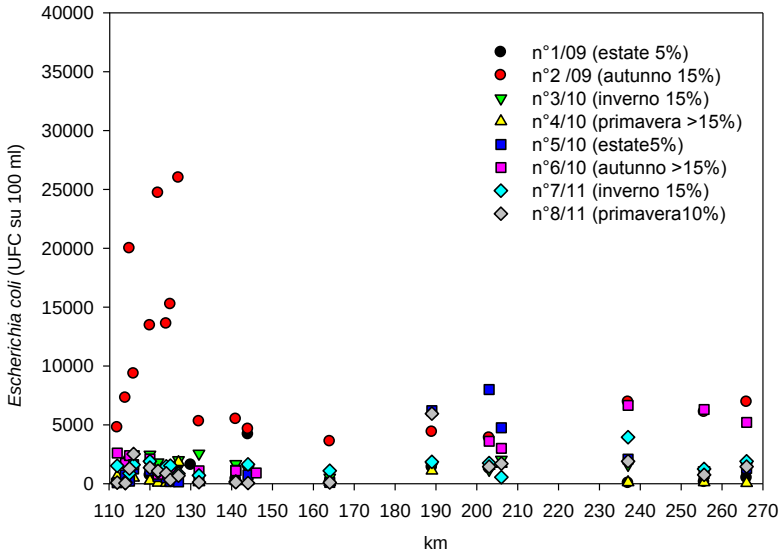

Figura 3.4. Unità formanti colonie di Escherichia coli (su 100ml) misurate nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

Il parametro conducibilità evidenzia un andamento crescente da monte verso valle in tutte le campagne di misura con una variazione dei valori a partire dal km 133 (Cividate al Piano, stazione STF26) e con una pendenza maggiore e valori più alti in entrambe le stagioni estive, da ~200 a ~600 $\mu S\ cm^{-1}$ (figura 3.5). Tale andamento si riscontra anche per le concentrazioni di nitrato (~80% dell'azoto totale) e di carbonio inorganico disciolto DIC (figure 3.6, 3.7 e 3.8). Durante la stagione estiva il lago di Iseo influenza solo in minima parte l'acqua del fiume Oglio poichè nei primi 30 km l'acqua in transito nel fiume viene completamente derivata per scopi irrigui come definito dalle concessioni. Il sistema fluviale non rimane mai a secco grazie all'alimentazione dovuta alle acque di falda sub-superficiale e ai canali di scolo. Gli andamenti di conducibilità, concentrazione di nitrato e DIC sostengono l'ipotesi che in estate gli apporti dalla falda costituiscano una porzione importante o forse dominante della portata complessiva in transito in alveo: le acque di falda presentano, infatti, concentrazioni maggiori di nitrato a causa dell'inquinamento dell'acquifero dovuto all'attività agro-zootecnica, prevalente nel bacino dell'Oglio sublacuale, ma anche conducibilità e DIC più alti rispetto alla acque superficiali. Rafforza tale ipotesi la figura 3.9 che mostra una relazione positiva tra nitrato e DIC in tutte le campagne di misura.

Se fino al km 132 le concentrazioni di nitrato ricadono nei livelli da ottimo a buono dell'indice LIM_{eco}, 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 4 e 5 di scarso e cattivo dell'indice LIM_{eco} (allegato I, figura VIII). Se confrontassimo i valori con i range definiti dall'indice LIM avremmo un miglioramento di un livello di qualità dato che se il valore 5 mg $NO_3^-\ l^{-1}$ definisce la soglia tra il livello 3 e il livello 4 dell'indice LIM, per l'indice LIM_{eco} invece al di sopra del valore 4.8 mg $NO_3^-\ l^{-1}$ si ricade nel livello 5 di cattivo (tabelle 3.1 e 3.2).

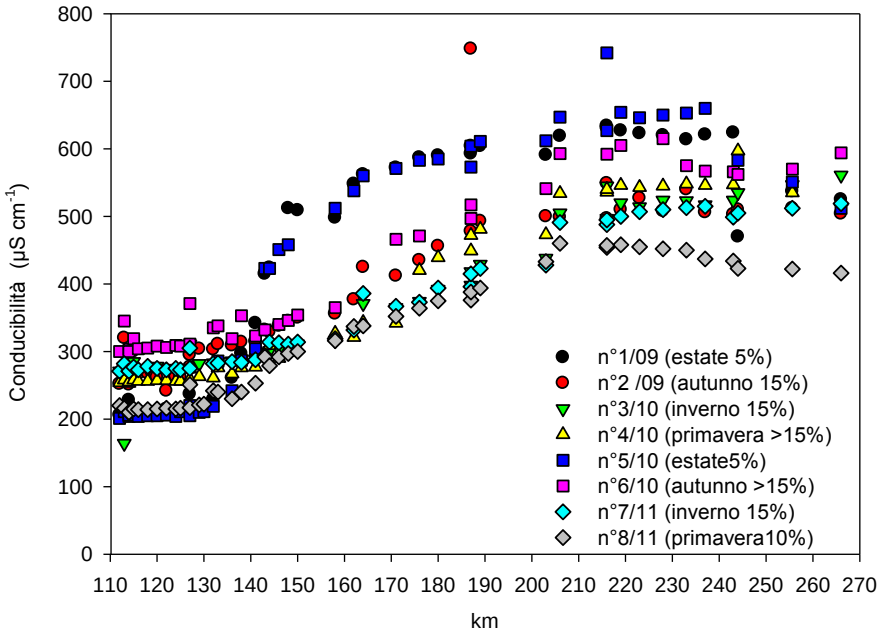

Figura 3.5. Conducibilità (µS cm^{-1}) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

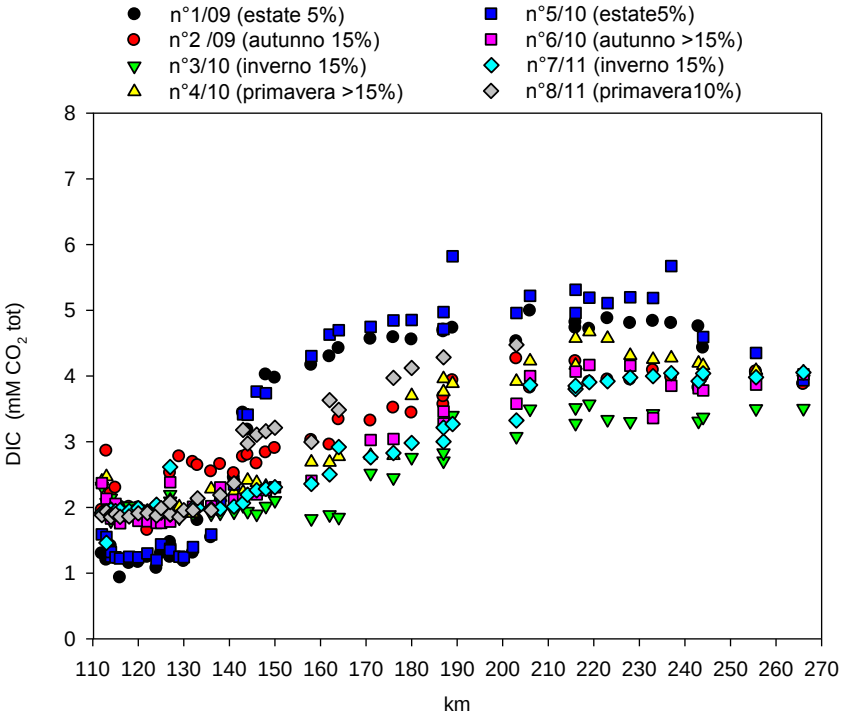

Figura 3.6. Carbonio inorganico disciolto (DIC) misurato nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

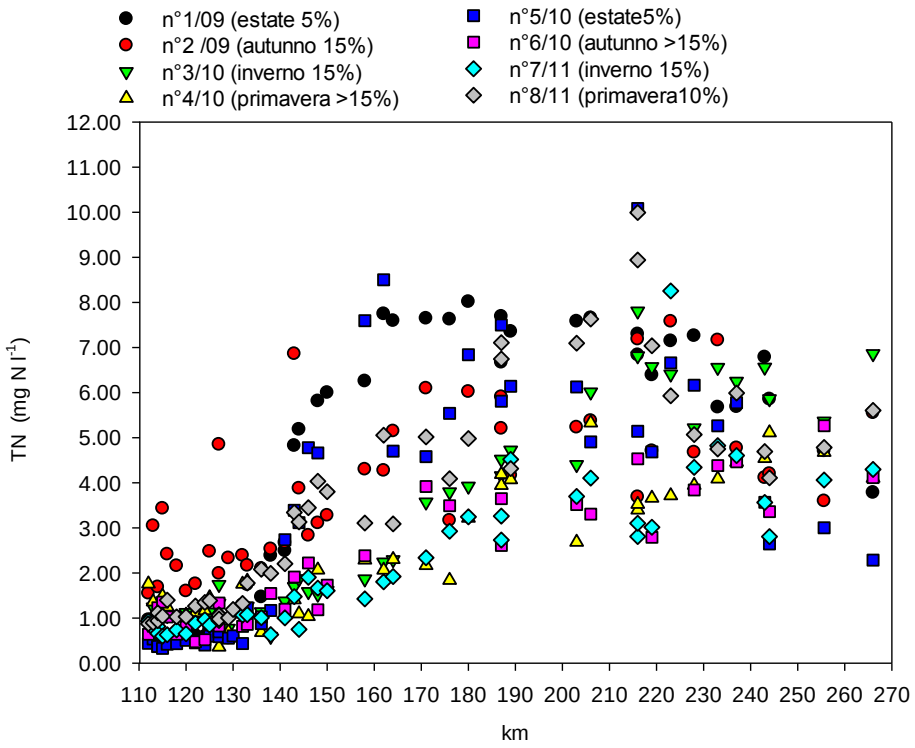

Figura 3.7. Concentrazione di azoto totale (N) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

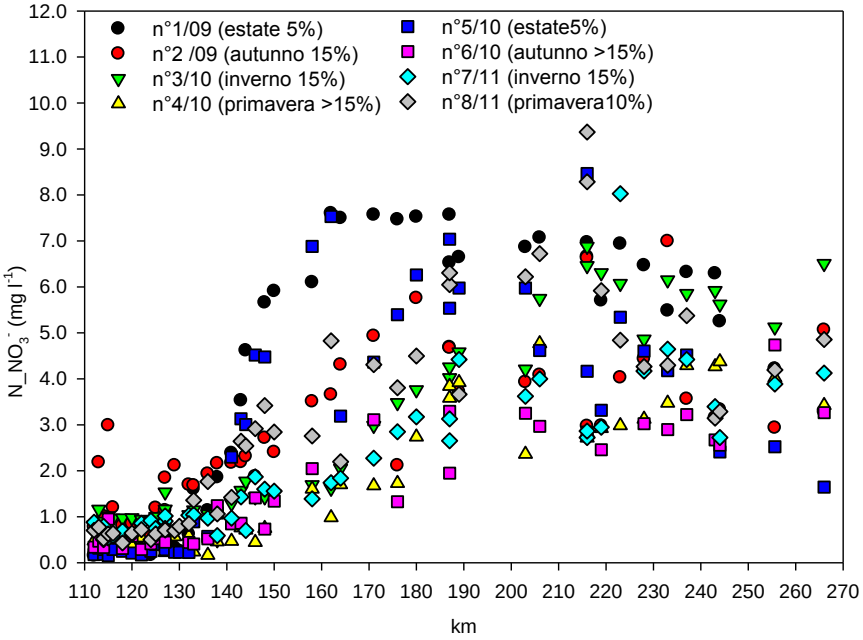

Figura 3.8. Concentrazione di azoto nitrico (N) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

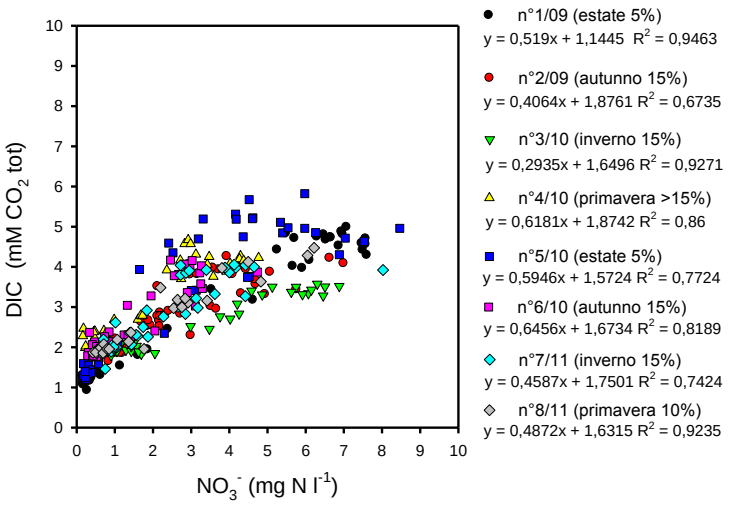

Figura 3.9. Concentrazione di azoto nitrico versus carbonio inorganico disciolto nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km).durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno)

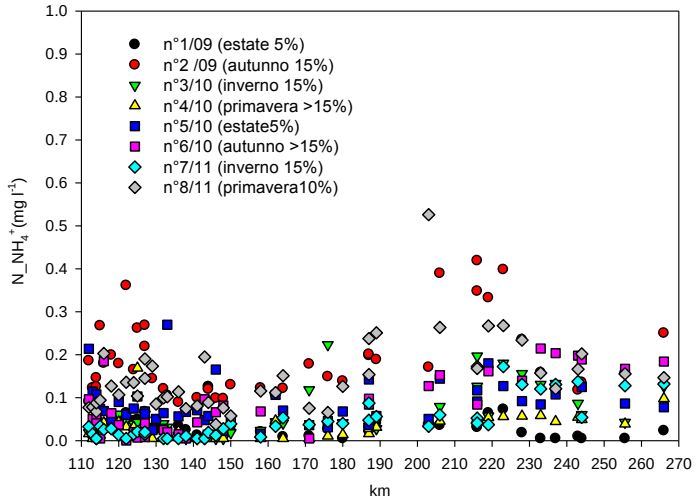

Figura 3.10. Concentrazione di azoto ammoniacale (N) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

Le concentrazioni di ammoniaca risultano pressoché costanti lunga l'asta fluviale e con valori oscillanti tra lo zero e circa 0.2 mg N l^{-1} (figura 3.10). Le campagne estive (n°1 e n°5), la campagna primaverile (n°4) e quella invernale (n°7) presentano valori tra il livello 1 di ottimo ed il 3 di sufficiente secondo l'indice LIM_{eco} mentre le restanti campagne mostrano anche valori ricadente nel livello 5 cattivo, in particolare la campagna autunnale n°2 e la primaverile n°8 (allegato I, figura VII). L'utilizzo dell'indice LIM, avendo soglie di livello meno restrittive, determinerebbe un miglioramento dello stato di qualità facendo rientrare tutti i valori di azoto ammoniacale misurati nelle otto campagne al massimo nel livello 3 di sufficiente (livello I NH_4^+ (mg l^{-1}) ≤0.1; livello 2 NH_4^+ (mg l^{-1}) ≤ 0.3; livello 3 NH_4^+ (mg l^{-1}) ≤ 0.5; livello4 NH_4^+ (mg l^{-1}) ≤ 1.5; livello 5 NH_4^+ (mg l^{-1}) > 1.5) (tabelle 3.1 e 3.2).

Il fosforo totale mostra invece un andamento crescente da monte verso valle in tutte le campagne di misura e comunque una variabilità stagionale anche tra stagioni uguali (figura 3.11). Il fosforo reattivo solubile rappresenta circa il 40% del fosforo totale (figura 3.12) ed in questo caso è meno evidente

la presenza di andamenti monte-valle; la frazione dominante del fosforo totale è il fosforo particellato: confrontando, infatti, le figure precedenti con l'andamento dei solidi sospesi totali riportati in figura 3.13 si nota come siano concordi. Nel tratto finale (a partire dal km 180, Pontevico) del corso del fiume, a livello della bassa pianura, l'apporto di particellato per dilavamento dei campi e dai canali di drenaggio delle campagne determina un aumento di particellato nel sistema fluviale e di conseguenza anche di fosforo totale. Per la maggiore parte delle campagne di misura i valori di fosforo totale appartengono ai livelli 1 e 2 dell'indice LIM_{eco} fino al km 200 per poi ricadere, negli ultimi 70 km, nel livello sufficienti dell'indice LIM_{eco}. Solo in inverno e in primavera 2010 (campagne n°3 e n°4) il sistema ha raggiunto al massimo il livello 2 di buono dell'indice LIM_{eco}. Anche per il parametro fosforo totale, i valori soglia dell'indice LIM sono meno restrittivi, il livello buono si alza alla concentrazione di 150 $\mu g\ l^{-1}$ contro i 100 $\mu g\ l^{-1}$ dell'indice LIM_{eco}, generando uno shift per il fosforo totale dal livello 3 di LIM_{eco} al livello 2 di LIM per la maggiore parte delle stazioni analizzate (tabelle 3.1 e 3.2).

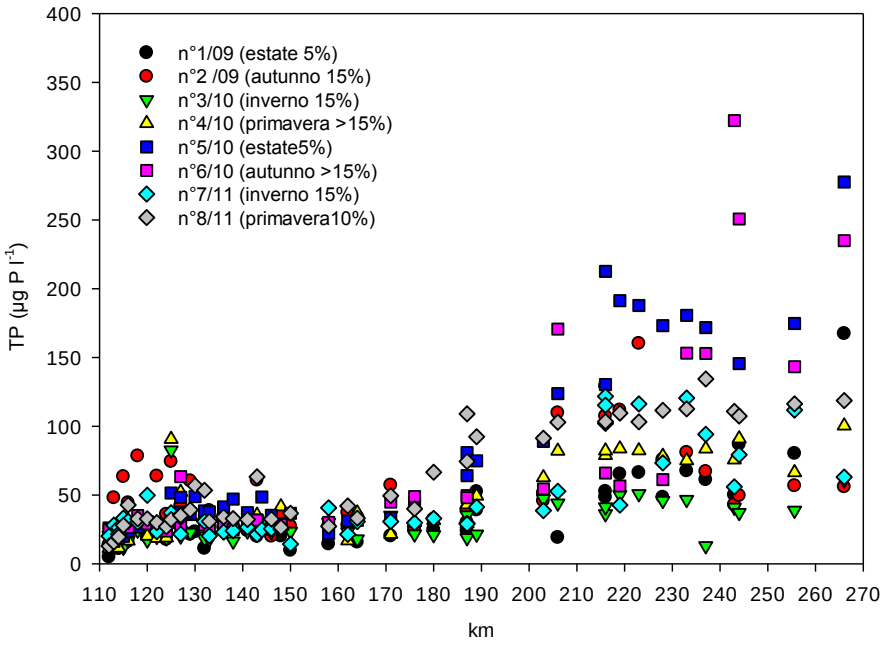

Figura 3.11. Concentrazione di fosforo totale misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

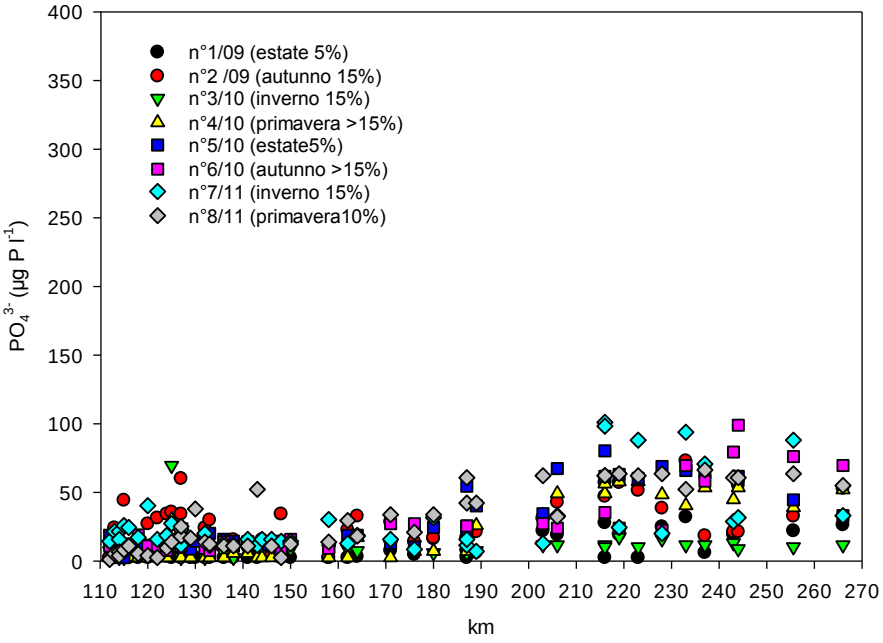

Figura 3.12. Concentrazione di fosforo reattivo solubile (PO_4^{3-}) misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno).

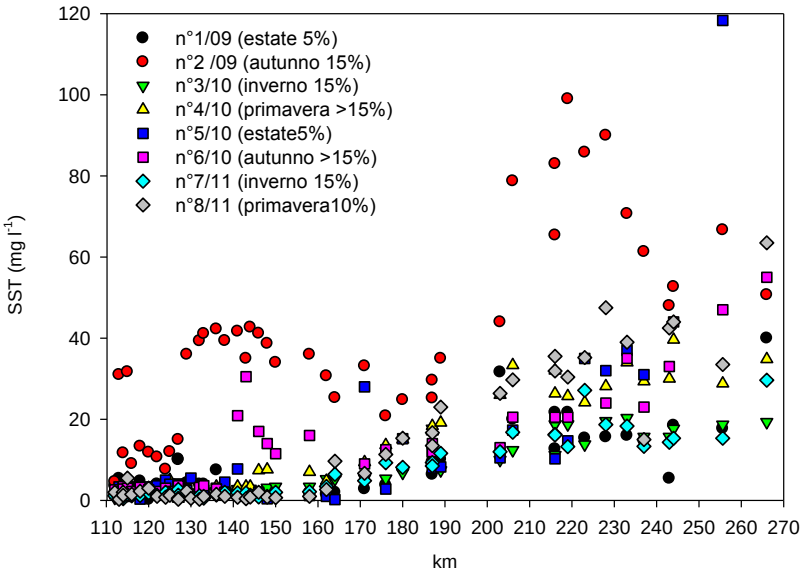

Figura 3.13. Solidi sospesi totali misurati nell'Oglio dalla diga di Sarnico alla confluenza in Po a Torre d'Oglio nelle 8 campagne del progetto (1° e 2° anno). Non si sono riportati alcuni valori fuori scala: campagna autunnale (n°2/2009), stazione FN21A al km 127, concentrazione SST 433.33 mg l^{-1}; campagna estiva (n°5/2010), stazione FS79B km 244 concentrazione SST 118.33 mg l^{-1}, stazione FS80A km 266 concentrazione SST 166.67 mg l^{-1}.

Le concentrazioni di metano disciolto nelle acque del fiume variano tra valori prossimi al limite di rilevabilità e i 5 µM, non mostrano un andamento monte-valle e non evidenziano differenze tra stagione di campionamento (figura 3.14). Anche la concentrazione di Chl-a fitolplanctonica, riportata in figura 3.15, rimane costante lungo il corso del fiume da monte verso valle, ad eccezione di una diminuzione nella campagna autunnale (n°6) probabilmente dovuta all'effetto diluizione generato dall'ingresso di acque di scolo (scongelamento della neve). I valori di Chl-a fi-

toplanctonica sono al di sotto di 10 µg l^{-1}, valore soglia definito da Dodds et al. (1998) per i sistemi fluviali oligo-mesotrofici rispetto ai meso-eutrofici.

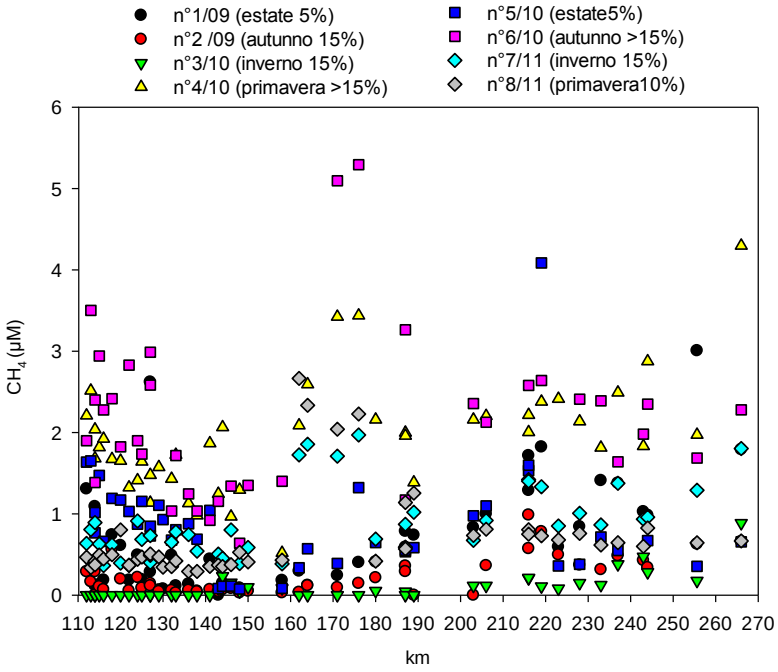

Figura 3.14. Metano disciolto misurato nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) nelle 8 campagne del progetto (1° e 2° anno).

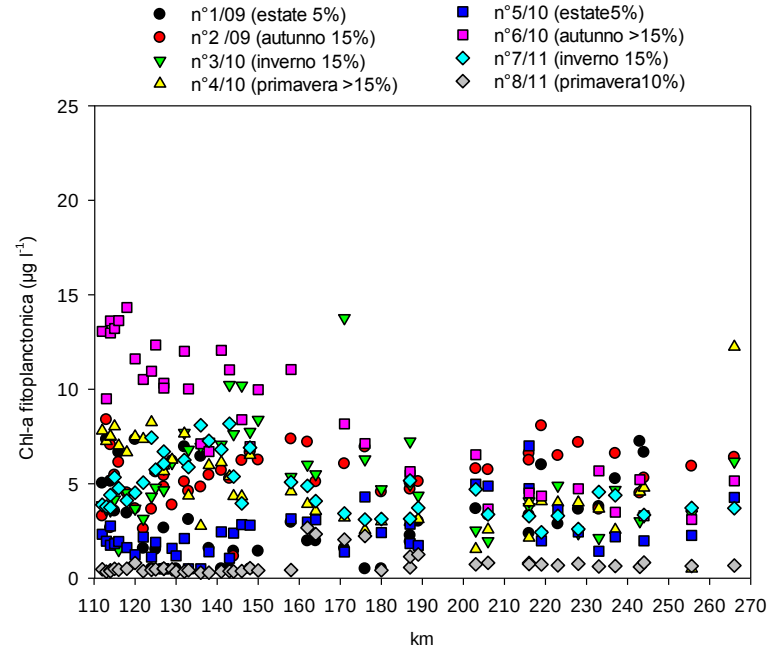

Figura 3.15. Clorofilla-a fitoplanctonica misurata nelle acque del fiume Oglio sublacuale dalla diga di Sarnico (112 km) fino alla confluenza in Po a Torre d'Oglio (266 km) durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (1° e 2° anno). Non sono stati riportati alcuni valori fuori scala: campagna estiva (n°1/2009), valori fuori scala: stazione FS79B km 244 concentrazione Chl_a 26.737 µg l^{-1} e stazione FS80A km 266 concentrazione Chl_a 62.241µg l^{-1}.

In Allegato I ("Scenari di sperimentazione: gruppo A - immissari") sono riportati alcuni grafici relativi alla qualità idrochimica (tenori di azoto e fosforo totali, ripartiti nelle diverse forme, COD, BOD_5 e solidi sospesi totali) degli immissari campionati nelle quattro campagne di misura del secondo anno di attività. I risultati confermano le evidenze discusse precedentemente; i tenori relativi di azoto ammoniacale, fosforo totale, BOD_5 e COD e solidi sospesi tendono, infatti, tutti ad aumentare dall'estate all'inverno e a diminuire in primavera.

Per studiare l'effetto dei due principali immissari, il fiume Mella e il fiume Chiese, sul sistema fluviale, sono state campionate una serie di stazioni fluviali a valle dei loro ingressi nelle quali sono state effettuate misure di ossigeno disciolto, richiesta chimica di ossigeno (COD), richiesta biologica di ossigeno (BOD_5) per indagare il manifestarsi della "curva a sacco dell'ossigeno" nel fiume Oglio ovvero del consumo repentino di ossigeno dovuto all'ingresso del carico organico dei due principali affluenti (Cox, 2003). Durante le campagne di misura n°1/2009 e n°2/2009 le stazioni sul fiume Oglio sublacuale, posizionate alla distanza di 500 metri l'una dall'altra e quindi di 200, 700, 1200 e 1700 dall'ingresso del fiume Mella e dall'ingresso del fiume Chiese, non hanno mostrato alcun andamento decrescente del contenuto di ossigeno disciolto nelle acque del fiume Oglio sublacuale. Dalla campagna di misura n°3/2010 fino alla n°8/2011 le stazioni del fiume sono state campionate a distanze maggiori dai due ingressi, rispettivamente di 3000, 5300 e 9700 metri dall'immissione del fiume Mella e di 1700, 4000 e 6500 metri dall'immissione del fiume Chiese, garantendo in questo modo il completo rimescolamento delle acque dei due affluenti con le acque del fiume Oglio. Nonostante questo spostamento di stazioni, dalla figura 3.16 è evidente come i due principali immissari in tutte le campagne di misura non abbiano generato scompensi di ossigeno disciolto nel fiume Oglio, indicando che il carico organico immesso dagli affluenti viene metabolizzato senza problemi di anossia. Avendo avuto risultati concordi per i due anni di sperimentazione, probabilmente i campionamenti delle acque del fiume Oglio nelle stazioni a valle dei due immissari, scelte per lo studio del fenomeno della "curva a sacco", saranno sospesi.

Infine le figure 3.17, 3.18 e 3.19 mostrano i valori medi di pH, conducibilità, percentuale di saturazione di ossigeno, solidi sospesi totali, COD, BOD_5, *E. coli*, azoto totale, azoto nitrico, azoto ammoniacale, fosforo totale e fosforo reattivo solubile per ogni stazione di campionamento riferiti alle otto campagne di misura dei due anni di sperimentazione e i valori medi degli stessi parametri raccolti mensilmente da ARPA nel periodo 2000-2008 nelle sei stazioni di monitoraggio ARPA (Capriolo 115 km, Castelvisconti 171 km, Ostiano 206 km, Canneto sull'Oglio 219 km, Bozzolo 244 km, Marcaria 266 km). Tali rappresentazioni servono per verificare che i risultati delle analisi e delle campagne di misura sono pienamente confrontabili con i valori ricavati dall'ente atto a controllare lo stato di qualità dell'ambiente (Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente).

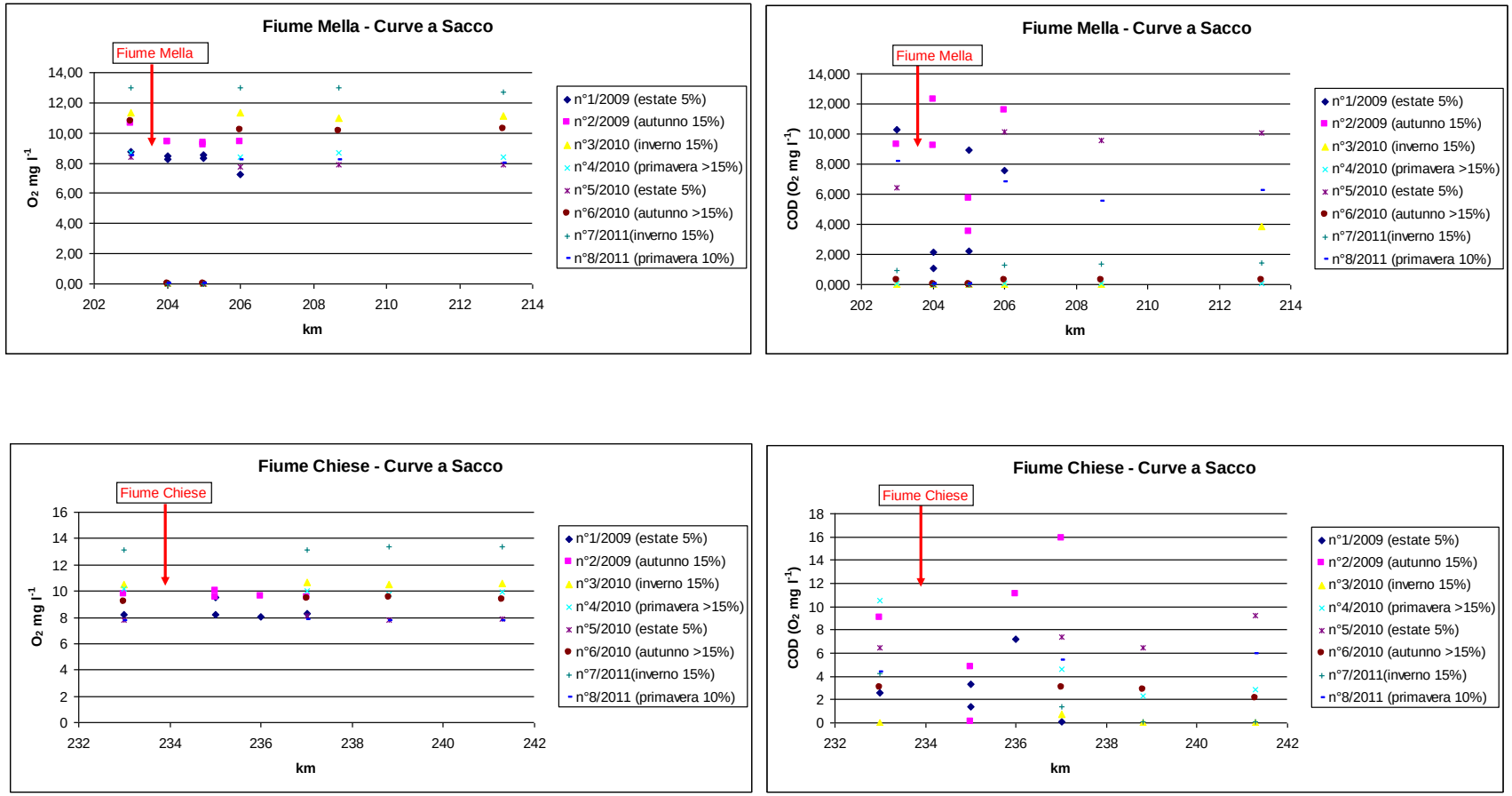

Figura 3.16. Concentrazione di ossigeno disciolto e domanda chimica di ossigeno nella stazione fluviale a monte e in quelle a valle dell'ingresso del fiume Mella (km 203.5, grafici in alto) e del fiume Chiese (km 234, grafici in basso) misurate nelle otto campagne di misura del progetto di sperimentazione (1° e 2° anno).

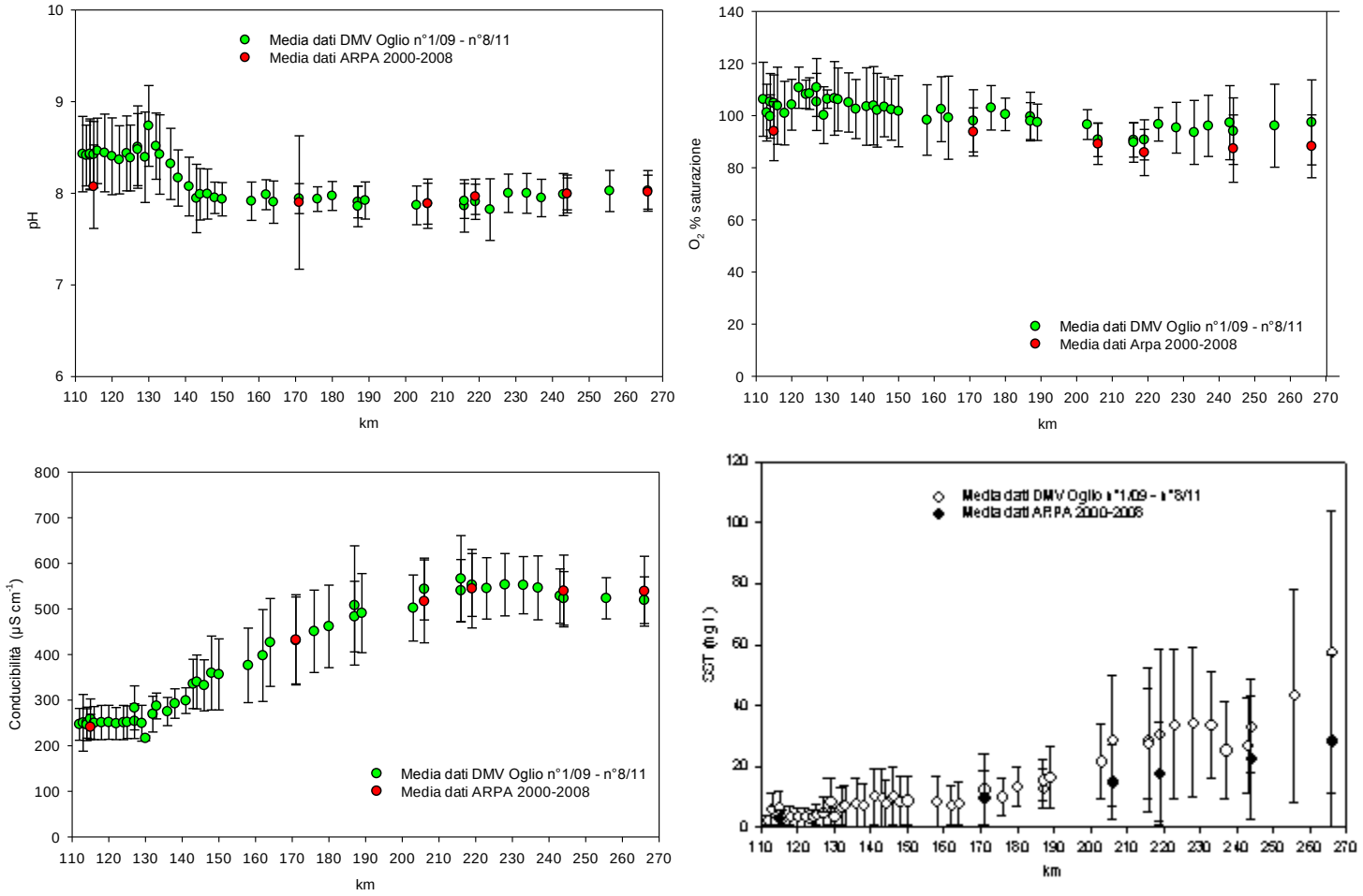

Figura 3.17. Valori medi (± deviazione standard, n=8) di pH, percentuale di saturazione di ossigeno, conducibilità e solidi sospesi totale (SST) di ogni stazione fluviale monitorata durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (punti in verde) e valori medi (± deviazione standard, n=100) dei valori raccolti dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente durante il periodo 2000-2008 nelle sei stazioni di monitoraggio ARPA (punti in rosso: Capriolo 115km , Castelvisconti 171 km , Ostiano 206km, Canneto sull'Oglio 219km, Bozzolo 244km, Marcaria 266km).

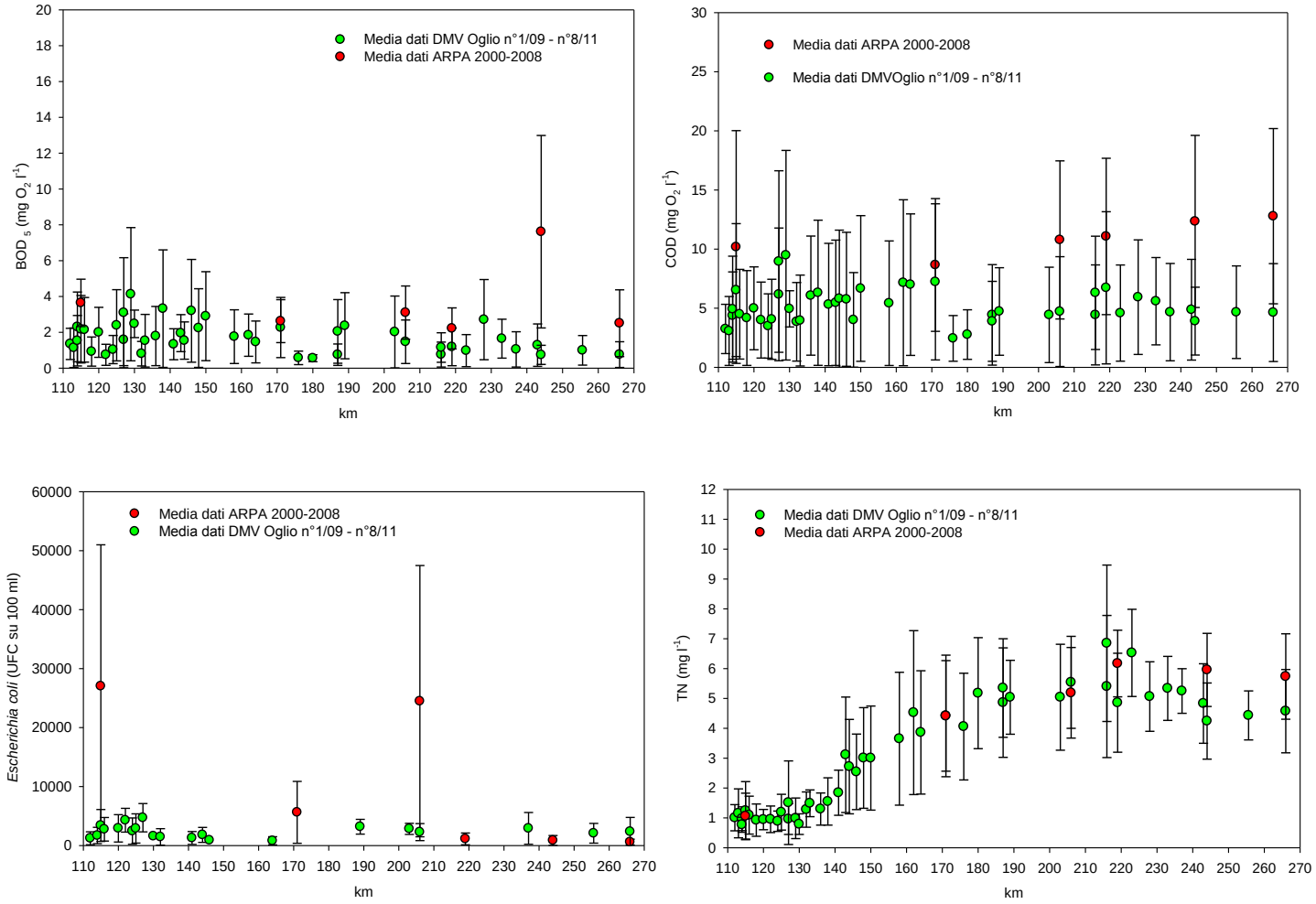

Figura 3.18. Valori medi (± deviazione standard, n=8) di domanda biologica di ossigeno (BOD5), domanda chimica di ossigeno (COD), di Unità formanti colonie di Escherichia coli (su 100ml) e di azoto totale (N) di ogni stazione fluviale monitorata durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (punti in verde) e valori medi (± deviazione standard, n=100) dei valori raccolti dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente durante il periodo 2000-2008 nelle sei stazioni di monitoraggio ARPA (punti in rosso: Capriolo 115km , Castelvisconti 171 km , Ostiano 206km, Canneto sull'Oglio 219km, Bozzolo 244km, Marcaria 266km).

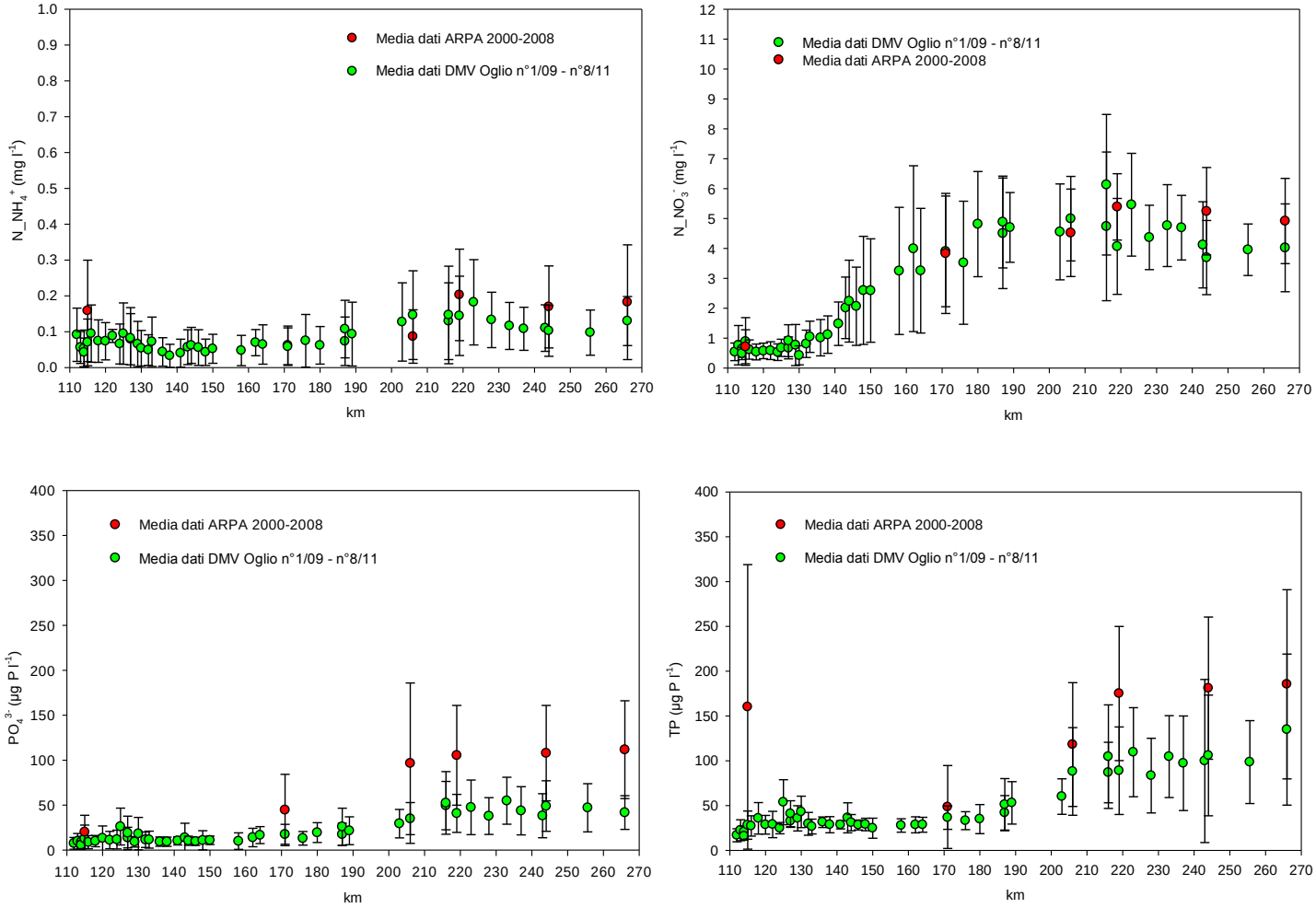

Figura 3.19. Valori medi (± deviazione standard, n=8) di azoto ammoniacale (N), azoto nitrico (N), fosforo reattivo solubile e fosforo totale di ogni stazione fluviale monitorata durante le otto campagne di misura del progetto di sperimentazione sul DMV del fiume Oglio (punti in verde) e valori medi (± deviazione standard, n=100) dei valori raccolti dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente durante il periodo 2000-2008 nelle sei stazioni di monitoraggio ARPA (punti in rosso: Capriolo 115km , Castelvisconti 171 km , Ostiano 206km, Canneto sull'Oglio 219km, Bozzolo 244km, Marcaria 266km).

In figura 3.20 vengono rappresentate con tratti grigi e neri le stazioni di campionamento del fiume Oglio sublacuale stabilite da progetto. Le stazioni sono state rappresentate utilizzando il sistema informativo GIS Arcview 3.2 al fine di associare ad ognuna di queste i relativi punteggi calcolati degli indici LIM e LIM_{eco}.

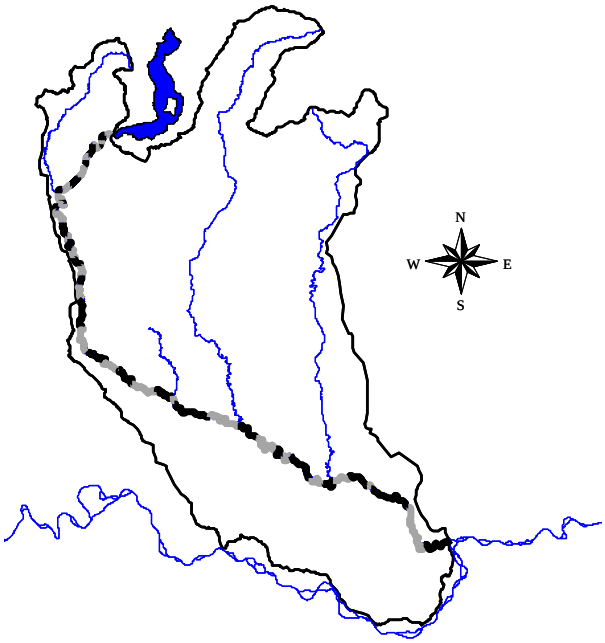

Figura 3.20. Stazioni di campionamento del progetto di sperimentazione sul deflusso minimo vitale del fiume Oglio sublacuale.

I parametri per il calcolo dell'indice LIM sono 7: la saturazione dell'ossigeno disciolto, il numero di unità formanti colonie di *Escherichia coli*, il BOD_5, il COD, il fosforo totale, l'azoto ammoniacale e l'azoto nitrico; non tutte le stazioni di campionamento hanno però previsto l'analisi microbiologica di *Escherichia coli*, di conseguenza nelle figure 3.21 e 3.22 sono riportate, per le otto campagne di misura, le stazioni di campionamento in cui sono stati analizzati i sette parametri richiesti e per le quali è stato possibile calcolare l'indice sintetico LIM.

Osservando le rappresentazioni dell'indice LIM per le quattro stagioni del primo anno di campionamento (figura 3.20 a; b ;c; d) si può trarre un giudizio più che positivo: nel periodo estivo, con uno scenario del 5% e basse portate, i valori del LIM sono sempre "buoni" o "ottimi"; per quanto riguarda la campagna autunnale lo stato di qualità si registra su livelli "buoni", anche se si possono riscontrare valori di qualità "sufficiente" in corrispondenza di tre stazioni di campionamento. Nel periodo invernale, con uno scenario del 15%, permane uno stato di qualità "buono", ed infine in primavera, con regime di portate elevate, lo stato di qualità del fiume Oglio risulta sempre di condizione buona ed in alcuni casi elevata. Considerando l'andamento dello stato di qualità del fiume secondo l'indice LIM nell' arco del primo anno di campionamento, si nota una tendenza ad un peggioramento della qualità complessiva del sistema fluviale dall'estate all'autunno 2009, ed una tendenza al miglioramento dalla stagione autunnale/invernale a quella primaverile 2010.

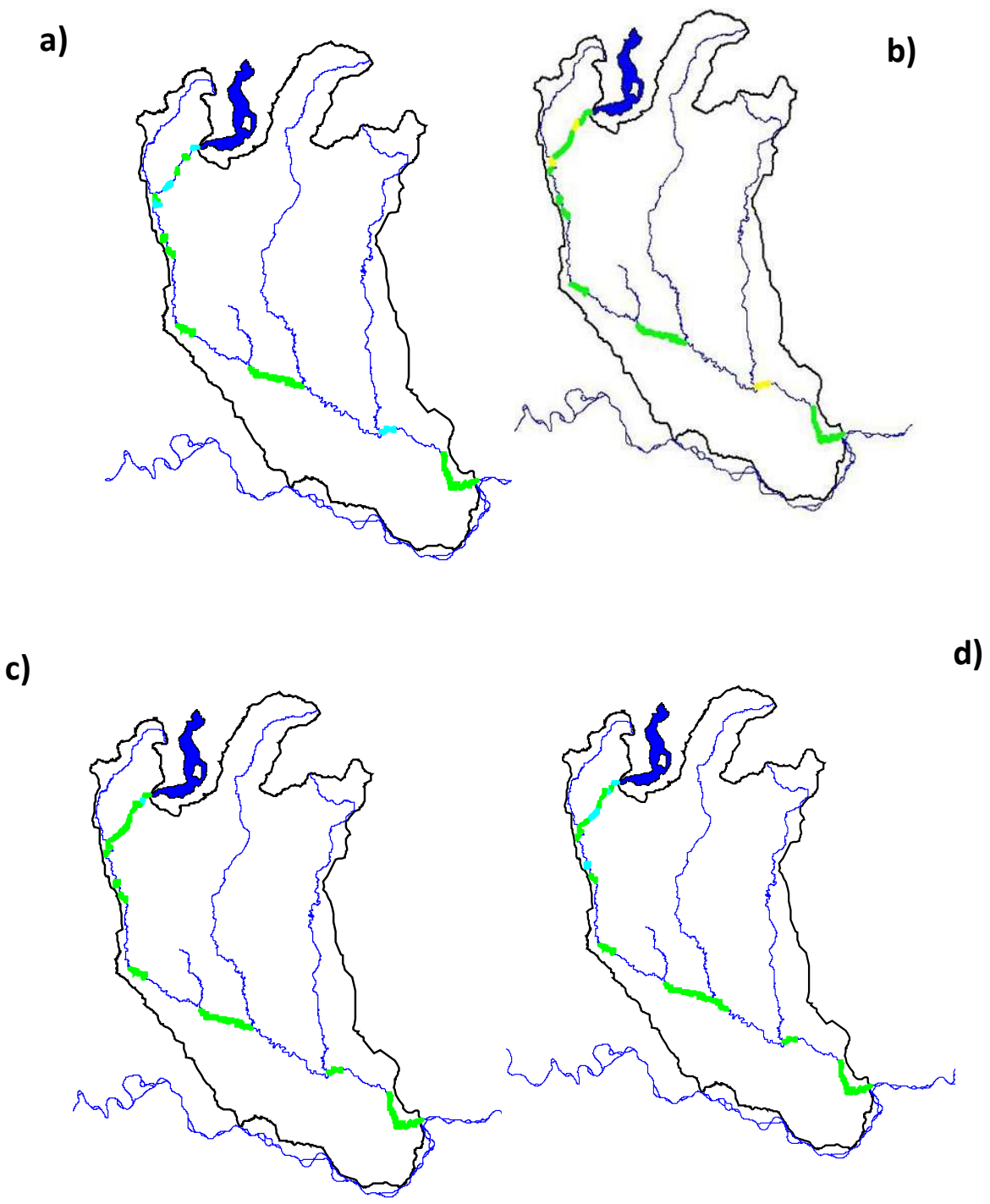

Figura 3.21. Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIM per le campagne di misura del primo anno di sperimentazione: a) n°1/2009 (estate 5%); b) n°2/2009 (autunno 15%); c) n°3/2010 (inverno 15%); d) n°4/2010 (primavera >15%).

La figura 3.22 mostra gli andamenti dello stato di qualità del fiume Oglio nel corso delle quattro stagioni del secondo anno di campionamento. Si osserva una tendenza al miglioramento della qualità del sistema fluviale passando dalla stagione estiva a quella autunnale/invernale, e un lieve peggioramento tra la campagna invernale e quella primaverile 2011.

Si può constatare che anche per il secondo anno di sperimentazione lo stato di qualità del fiume Oglio sublacuale sia caratterizzato da una condizione di qualità "buona" e "ottima".

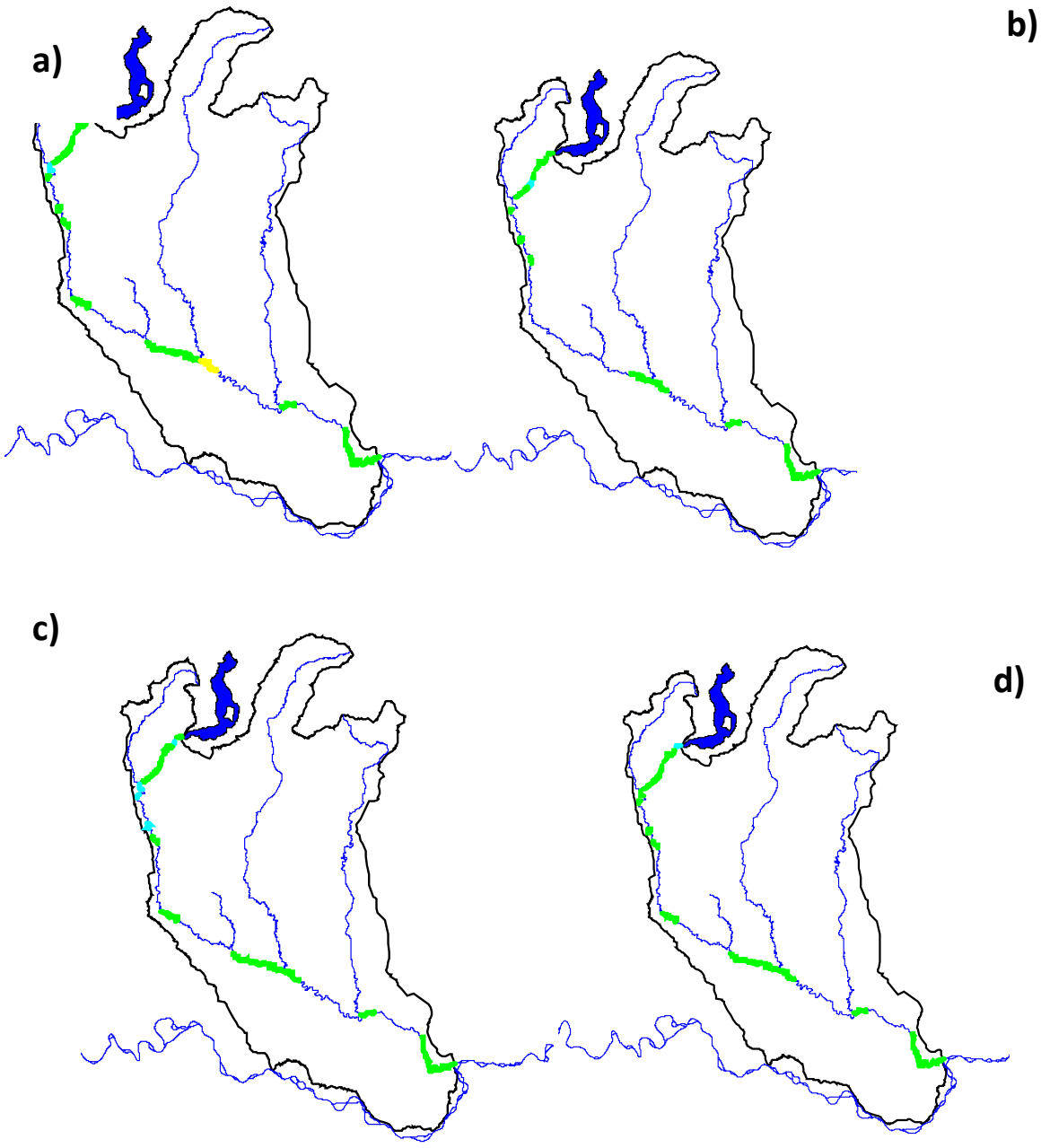

Figura 3.22. Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIM per le campagne di misura del secondo anno di sperimentazione: a) n°5/2010 (estate 5%); b) n°6/2010 (autunno 15%) ; c) n°7/2011 (inverno 15%); d) n°8/2011 (primavera 10%).

In figura 3.23 e 3.24 sono rappresentati i risultati dell'applicazione dell'indice LIM_{eco}. Avendo misurato i parametri richiesti per il calcolo dell'indice (percentuale di saturazione dell'ossigeno, azoto nitrico, azoto ammoniacale e fosforo totale) in tutte le stazioni di campionamento lungo l'asta fluviale, il calcolo del nuovo indice in ognuna di queste ha permesso di riprodurre uno stato di qualità del sistema a maggiore dettaglio; il campionamento stagionale ha inoltre consentito di avere il valore di LIM_{eco} annuale, sia per il primo che per il secondo anno di campionamento.

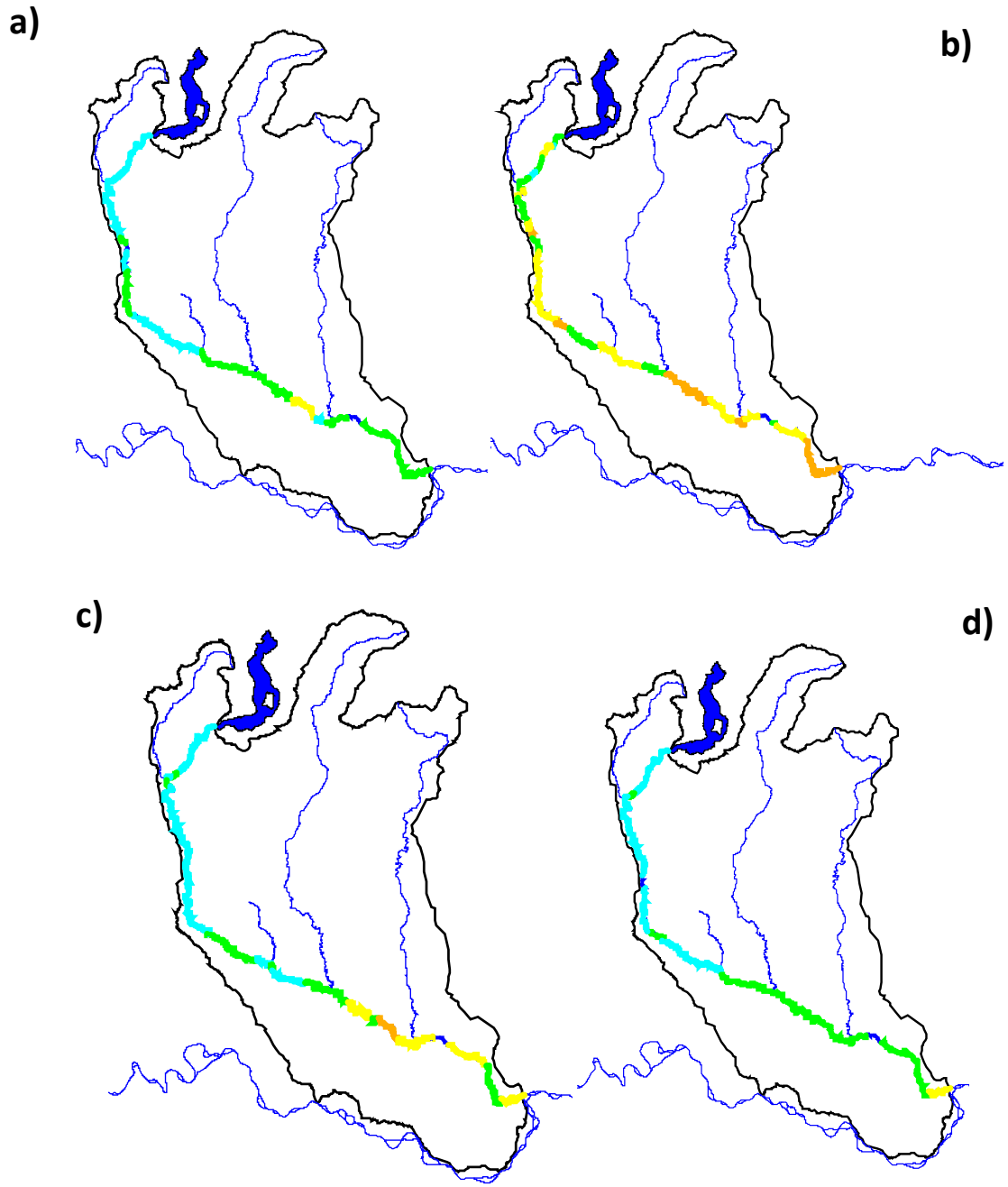

Figura 3.23. Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIMeco per le campagne di misura del primo anno di sperimentazione: a) n°1/2009 (estate 5%); b) n°2/2009 (autunno 15%) ; c) n°3/2010 (inverno 15%); d) n°4/2010 (primavera >15%).

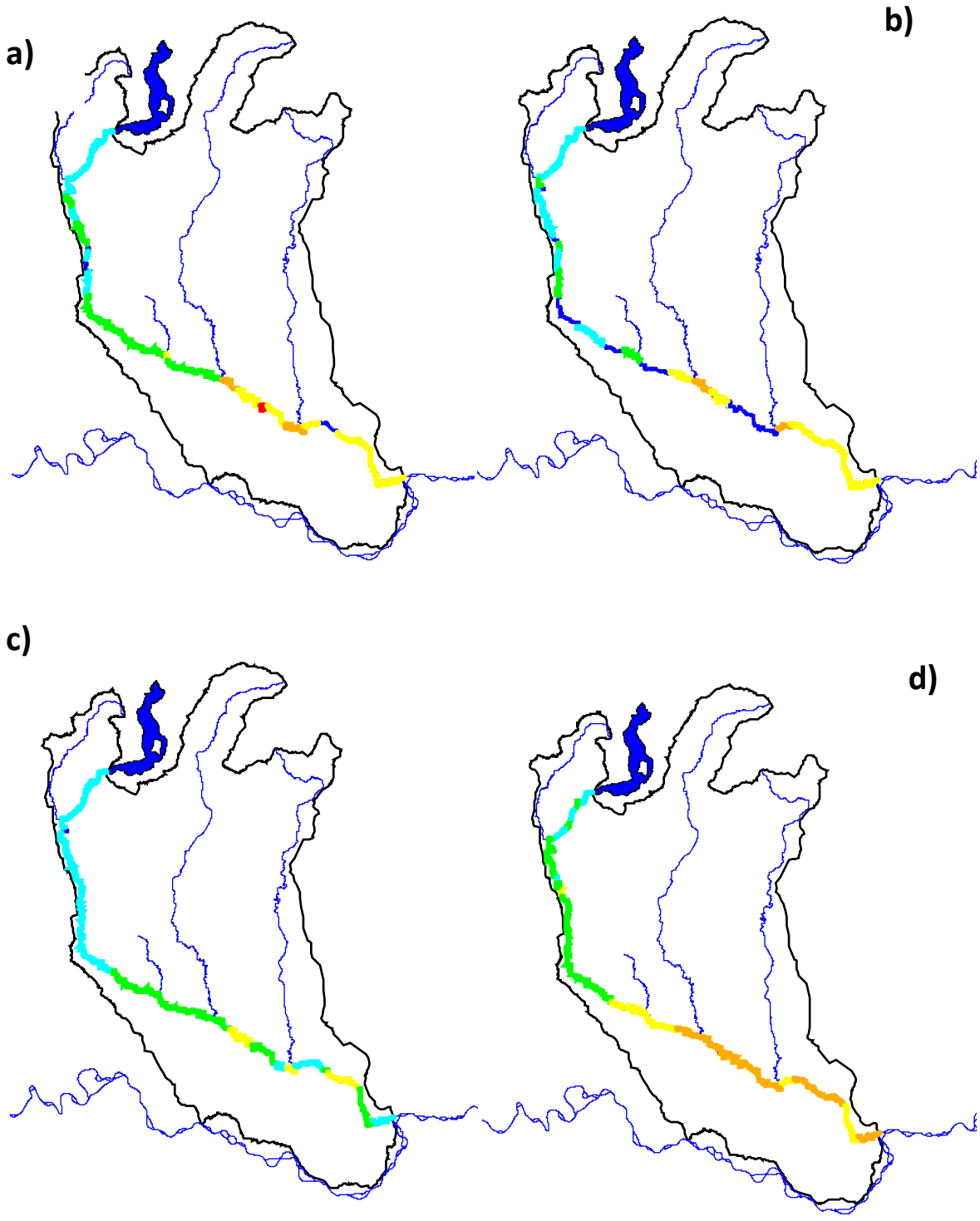

Figura 3.24. Stato di qualità delle acque secondo l'indice LIMeco per le campagne di misura del secondo anno di sperimentazione: a) n°5/2010 (estate 5%); b) n°6/2010 (autunno 15%) ; c) n°7/2011 (inverno 15%); d) n°8/2011 (primavera 10%).

Osservando gli stati di qualità del fiume Oglio secondo gli indici LIM e LIM_{eco}, si nota come quest'ultimo stabilisca stati di qualità peggiori rispetto all'indice LIM confrontando le stesse stazioni e le stesse stagioni. Questo fatto è spiegabile osservando i valori limiti di soglia dei due indici, più restrittivi per quanto riguarda l'indice LIM_{eco} relativo ai parametri di azoto ammoniacale, azoto nitrico e

fosforo totale. Le soglie per l'assegnazione dei punteggi ai singoli parametri per ottenere i valori del LIM e del LIM_{eco} sono riportate nelle tabelle 3.1 e 3.2.

Tabella 3.1. Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori

Parametro	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
100-OD (% sat.) (*)	≤ | 10 |(#)	≤ | 20 |	≤ | 30 |	≤ | 50 |	>| 50 |
BOD_5 (O_2 mg/L)	< 2,5	≤ 4	≤ 8	≤ 15	> 15
COD (O_2 mg/L)	< 5	≤ 10	≤ 15	≤ 25	> 25
NH_4 (N mg/L)	< 0,03	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 1,5	> 1,5
NO_3 (N mg/L)	< 0,30	≤ 1,5	≤ 5	≤ 10	> 10
Fosforo totale (P mg/L)	< 0,07	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,6	> 0,6
Escherichia coli (UFC/100 mL)	< 100	≤1.000	≤ 5.000	≤ 20.000	> 20.000

Tabella 3.2. Soglie per l'assegnazione dei punteggi ai singoli parametri per ottenere il punteggio LIM_{eco}

		Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
	Punteggio*	1	0,5	0,25	0,125	0
Parametro						
100-O_2% sat.	Soglie*	≤ | 10 |	≤ | 20|	≤ | 40 |	≤ | 80 |	> | 80 |
N-NH_4 (mg/l)		< 0,03	≤ 0,06	≤ 0,12	≤ 0,24	>0,24
N-NO_3 (mg/l)		< 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	≤ 4,8	>4,8
Fosforo totale (µg/l)		< 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	>400

Il confronto dello stato di qualità determinato dall'indice LIM e dall'indice LIM_{eco} mette l'attenzione sul numero di parametri, che devono essere presi in considerazione, e la loro relativa importanza al fine di determinare uno stato di qualità "difendibile". Il miglioramento dello stato di qualità nel tratto nord ed il peggioramento dello stato di qualità nel tratto potamale con l'applicazione dell'indice LIM_{eco} è dovuto a più fattori: l'eliminazione di alcuni parametri (*E. coli* e carico organico) che segnalano la presenza di scarichi puntiformi, le soglie più restrittive per i nutrienti azotati ed il fosforo totale che determinano, di conseguenza, un peso rilevante sul risultato e lo sfruttamento del bacino del fiume Oglio, caratterizzato da elevate concentrazioni di azoto ammoniacale e nitrico nel tratto di media-alta e bassa pianura a causa dell'attività agro zootecnica che insiste sul suo bacino.

In figura 3.25 viene mostrato un confronto tra lo stato di qualità del fiume Oglio secondo l'indice LIM_{eco} tra i primi due anni di sperimentazione. In entrambe le rappresentazioni, procedendo da monte verso valle, si osserva un peggioramento dello stato di qualità da "ottimo" a "buono e sufficiente". Se nel primo anno di sperimentazione il passaggio dello stato di qualità avviene tra il livello "ottimo", "buono" e "sufficiente", nel secondo anno di sperimentazione si riscontrano tre stazioni con valori di LIM_{eco} addirittura "scadenti"(stazione FS59A km 206, stazione FS63A km 219, stazione FS68A km 233): ciò è dovuto ad un incremento delle concentrazioni di azoto ammoniacale e nitrico nel tratto fluviale di bassa pianura.

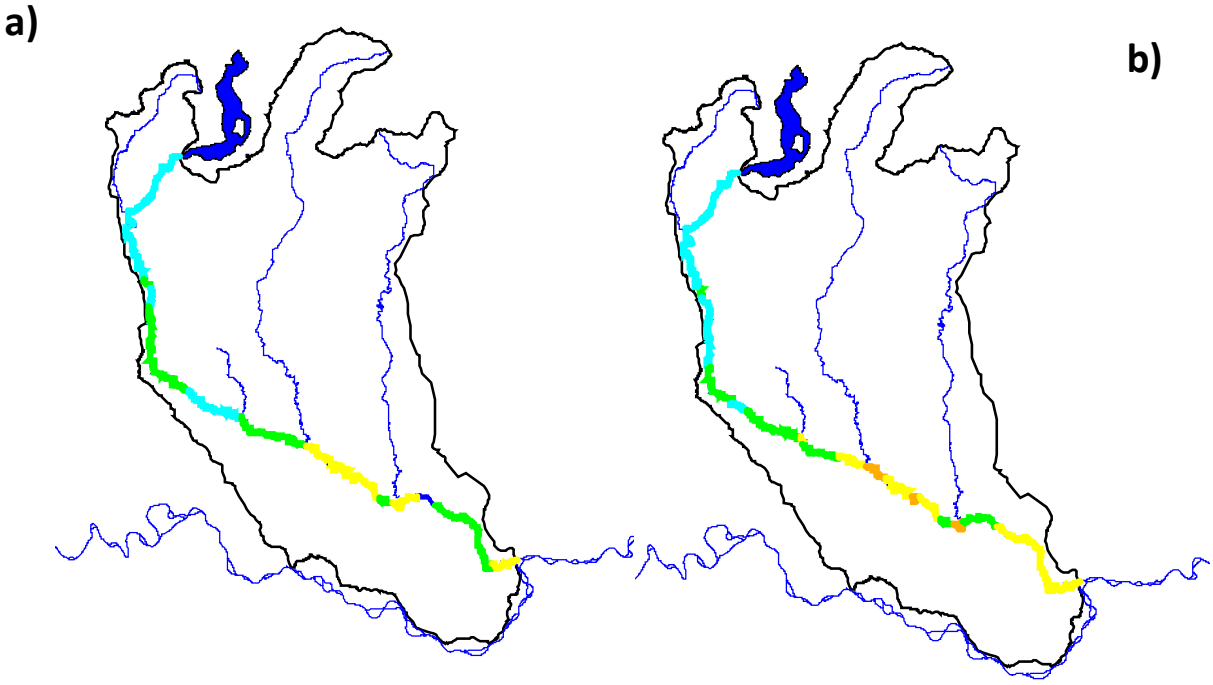

Figura 3.25 Stato di qualità annuale delle acque secondo l'indice LIM_{eco}: a) LIM_{eco} annuale calcolato dalle quattro campagne di misura stagionali del primo anno di sperimentazione; b) LIM_{eco} annuale calcolato dalle quattro campagne di misura stagionali del secondo anno di sperimentazione.

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 LIM_{eco}, in relazione ai valori di portata misurati (figure 3.26- 3.33; saturazione percentuale di ossigeno, azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale, COD, clorofilla-a fitoplantonica, metano disciolto ed infine l'indice LIM_{eco}).

Al variare dei deflussi in alveo, la percentuale di saturazione dell'ossigeno risulta costante e oscilla tra circa 80% e circa 120% ad indicare una totale indipendenza dal parametro misura di portata. Come già spiegato in precedenza le fonti di inquinamento puntiformi e diffuse del bacino dell'Oglio sublacuale non determinano situazioni di criticità per l'ecosistema fluviale, anche con valori di portata bassi, non si assiste a fenomeni di anossia generati dagli apporti di macroinquinanti e di sostanza organica. In ogni modo, i due anni di sperimentazione non sono stati caratterizzati da un periodo con eventi siccitosi prolungati.

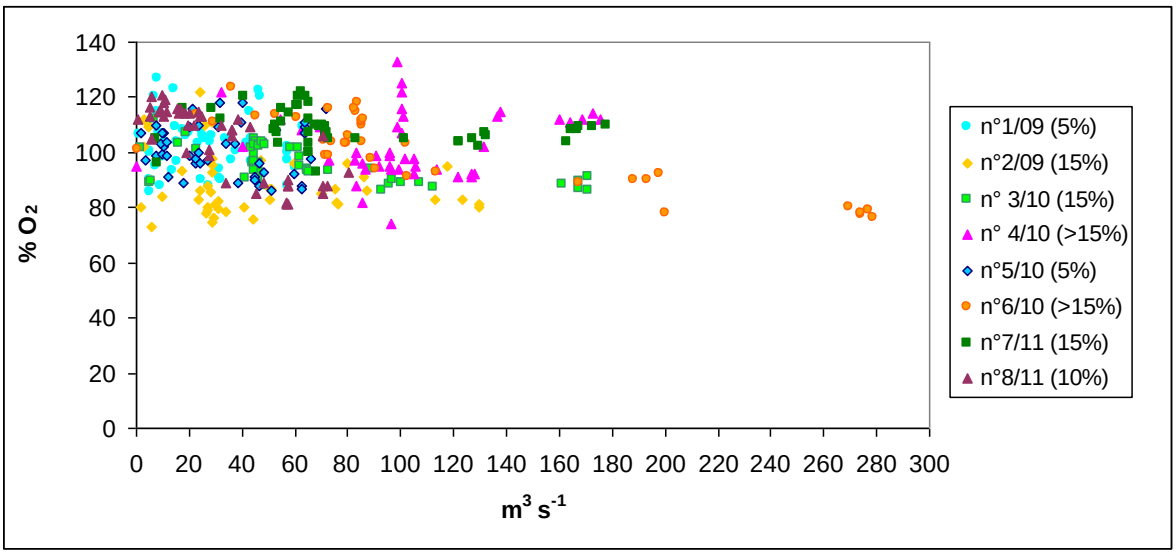

Figura 3.26. Percentuale di saturazione dell'ossigeno VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

Il risultato relativo al COD va letto congiuntamente a quello dell'ossigeno ed indica la mancanza di carichi di sostanza organica fortemente eccedenti la capacità metabolica del fiume Oglio sublacuale anche in mancanza di portate elevate (figura 3.26).

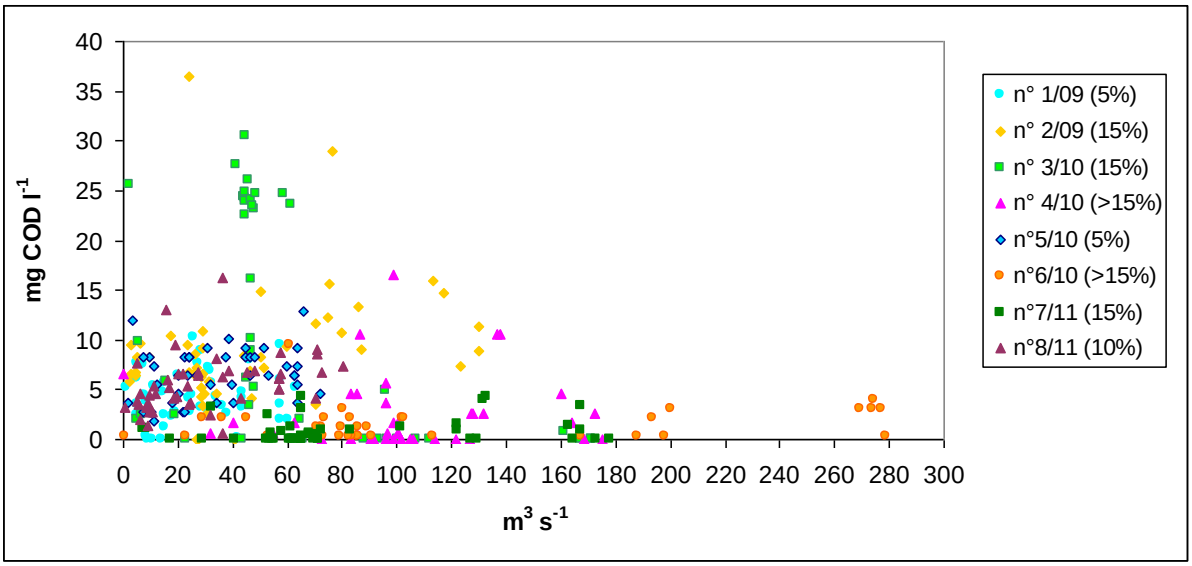

Figura 3.27. Sostanza organica ossidabile, COD (mg l^{-1}), versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

Le concentrazioni di azoto ammoniacale tendono ad aumentare con l'aumento dei valori di portata per le campagne di misura invernali, primaverili e per l'autunno 2010; risultano però significative solo le regressioni delle campagne n°6/2010 (autunno 2010) e n°7/2011 (inverno 2011) con R^2 maggiori di 0.6. Durante le campagne di misura i valori di concentrazione variano essenzialmente tra ~0.005 e ~0.300 mg l^{-1} in un intervallo di valori di portata tra 1 e i 280 m^3 s^{-1}.

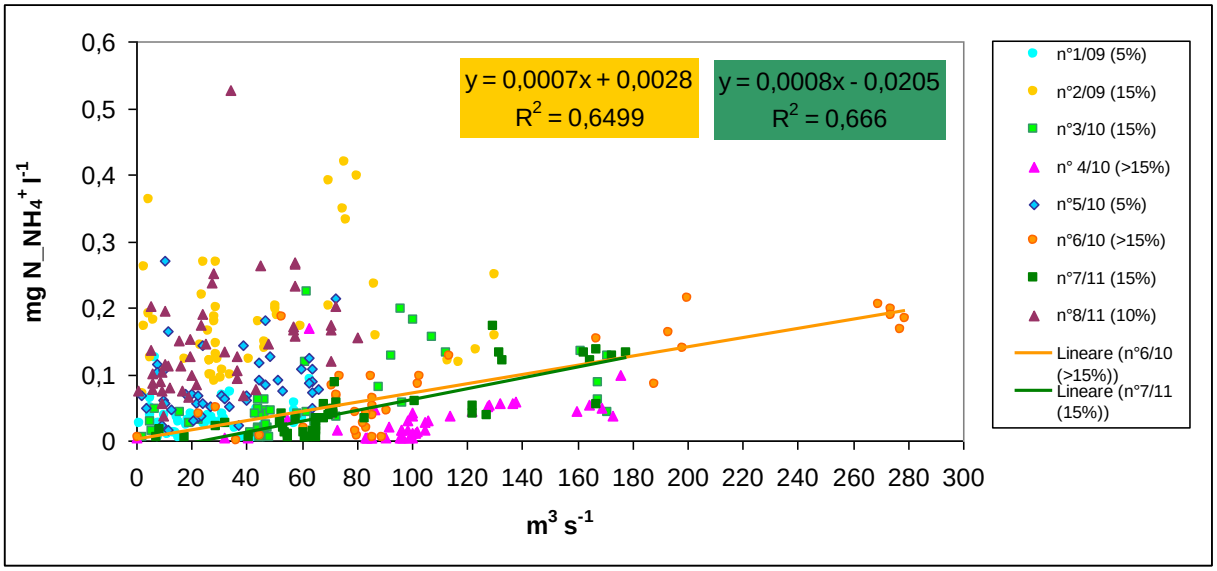

Figura 3.28. Concentrazione di azoto ammoniacale (mg l^{-1}) VS valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

Per le campagne di misura autunnali, invernali e primaverili le concentrazioni di azoto nitrico tendono ad aumentare all'aumentare dei valori di portata (figura 3.29); significativa risulta la relazione lineare per entrambe le campagne invernali, per la primavera 2010 e per l'autunno 2010. Le concentrazioni di azoto nitrico della campagna estiva 2010 sono concordi con quelle misurate nell'estate 2009 e rafforzano l'ipotesi di un'interazione delle acque fluviali con quelle di falda. In tale periodo la falda sub-superficiale influenzerebbe non solo le concentrazioni di azoto nitrico in transito ma anche la quantità di acqua transitante in alveo essendo probabilmente l'approvvigionamento principale delle acque per il fiume: in estate nei tratti fluviali caratterizzati dalle acque di falda sono stati misurati tenori di azoto nitrico tra i 6 e gli 8 mg l^{-1} con valori di portata bassi (20-40 m^3 s^{-1}) rispetto alle altre campagne di misura. Il macroinquinante dominate del bacino del fiume Oglio è proprio l'azoto nitrico (acque superficiali e di falda), l'origine di natura agro-zootecnica spiegherebbe l'aumento di concentrazioni con l'aumentare delle portate nelle stagioni autunnali, invernali e primaverili.

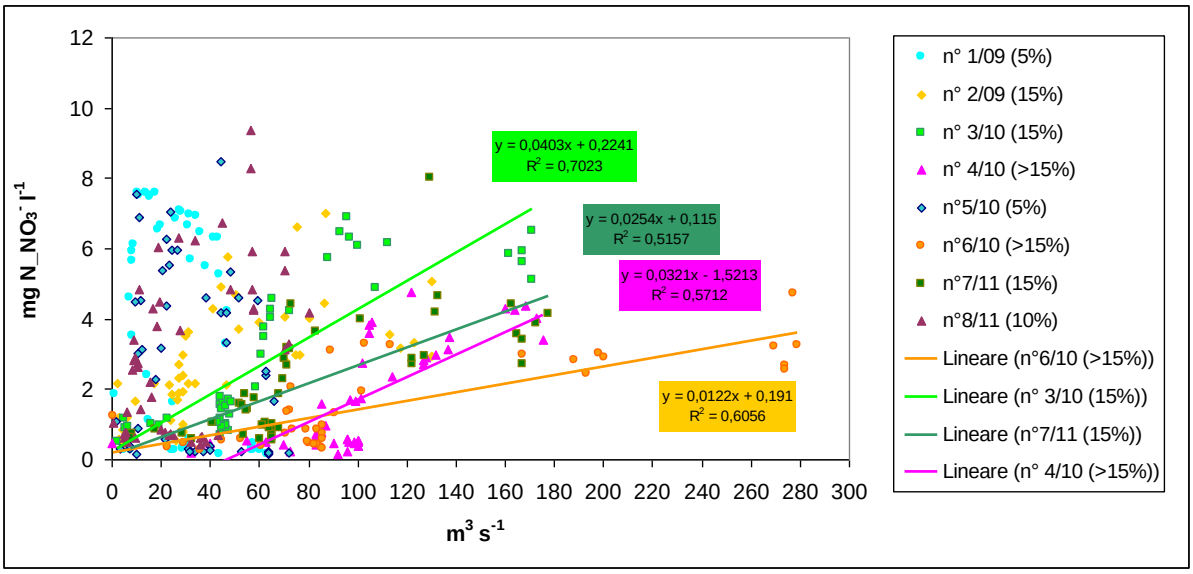

Figura 3.29. Concentrazione di azoto nitrico (mg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

Le concentrazioni di fosforo totale della campagna n°4/10 e delle campagne del secondo anno n° 6, n°7 e n°8 aumentano significativamente e in modo lineare con l'aumento dei valori di portata. Considerate le stagioni di campionamento, è capitato che le campagne di misura siano avvenute dopo una settimana di pioggia che ha determinato un aumento del trasporto solido e quindi di fosforo particellato ad esso adsorbito.

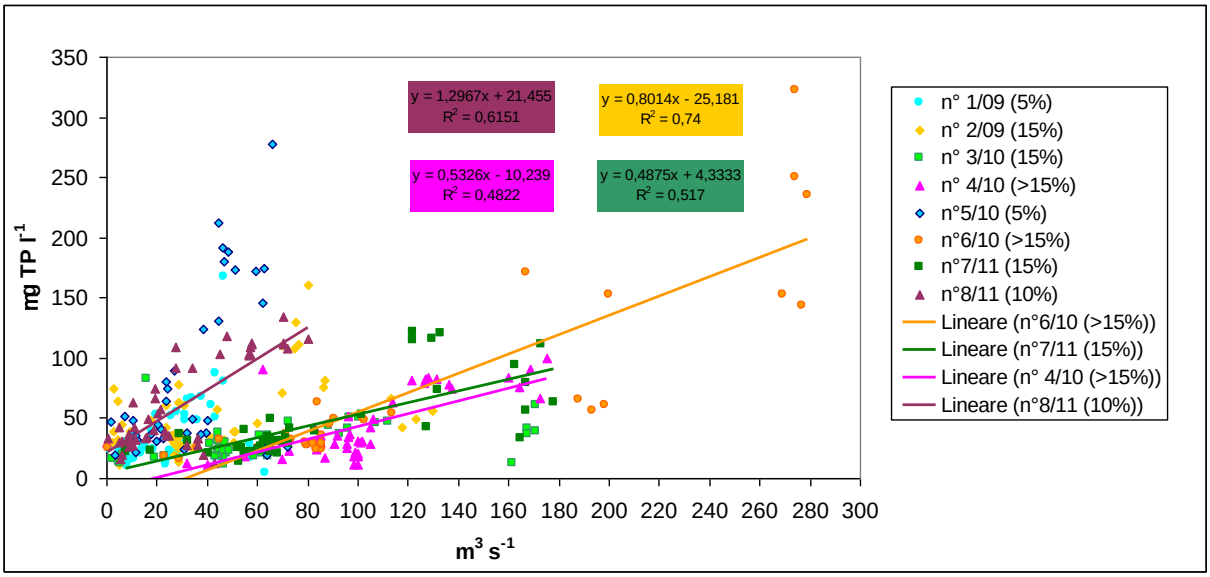

Figura 3.30. Concentrazione di fosforo totale (µg TP l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

I valori di clorofilla-a fitoplantonica sono risultati indipendenti dai valori misurati di portata (figure 3.31) ed oscillano tra 0.05 e 14 µg l^{-1} tra 1 e 80 m^3 s^{-1}, per valori più alti di portata invece il contenuto di clorofilla giunge fino a un massimo di 8 µg l^{-1}. La relazione lineare negativa della campagna di misura autunnale 2010 è stato probabilmente determinata dall'effetto diluizione di un ingresso di acque nel fiume derivanti dallo scongelamento della neve che ha caratterizzato la giornata di campionamento precedente. La non linearità ritrovata per la concentrazione di clorofilla-a fitoplanctonica indica che nella zona potamale del fiume, dove la portata è maggiore, essa viene controllata dalla velocità di corrente e dalla torbidità che limita la penetrazione della luce, mentre nel tratto nord caratterizzato da zone bacinizzate, e quindi minore portata, essa è limitata dalla presenza di macrofite.

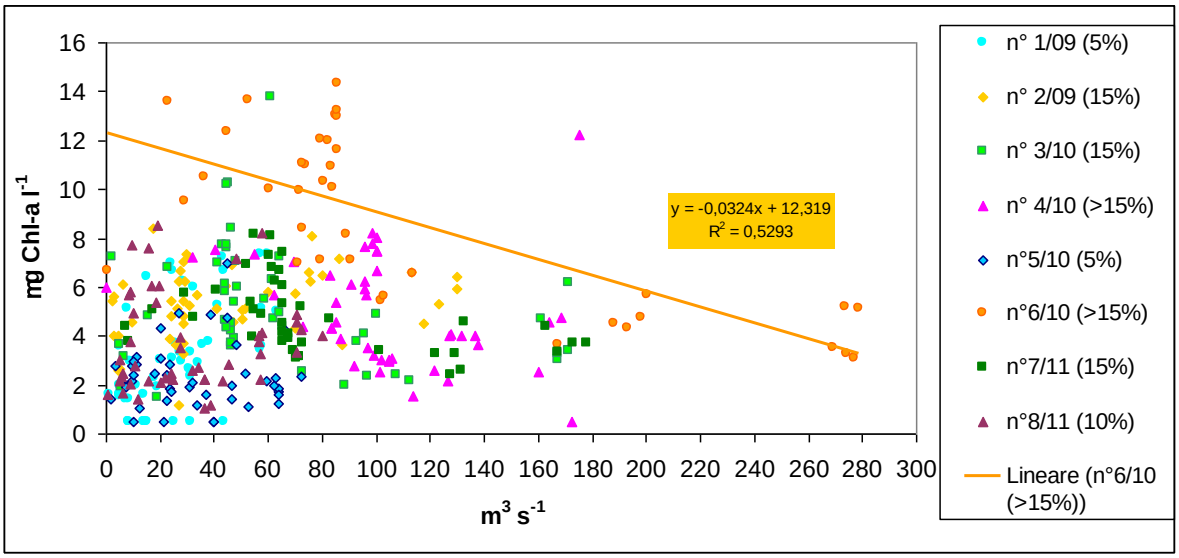

Figura 3.31. Concentrazione di clorofilla-a fitoplantonica (µg l^{-1}) versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%). Le concentrazione di clorofilla-a fitoplantonica misurate nelle stazioni fluviali presso Gazzuolo (km 132) e presso Torre d'Oglio (km 154) durante la campagna di misura estiva (n° 1/09) non sono state riportate: i valori sono rispettivamente di 27 e 62 µg l^{-1} versus valori di portata rispettivamente di 46.8 e 46.5 m^3 s^{-1}.

La figura 3.32 riporta i valori di metano rispetto ai valori di portata. La tendenza al crescere della concentrazione con l'aumentare dei valori di portata è risultata significativa solo per la campagna di misura autunnale n°2 (R^2= 0.49) ed invernale n°3 (R^2= 0.58). Le concentrazioni di metano variano tra il limite di rilevabilità e i 5 µM rispetto a valori di portata tra 1 e 280 m^3 s^{-1}.

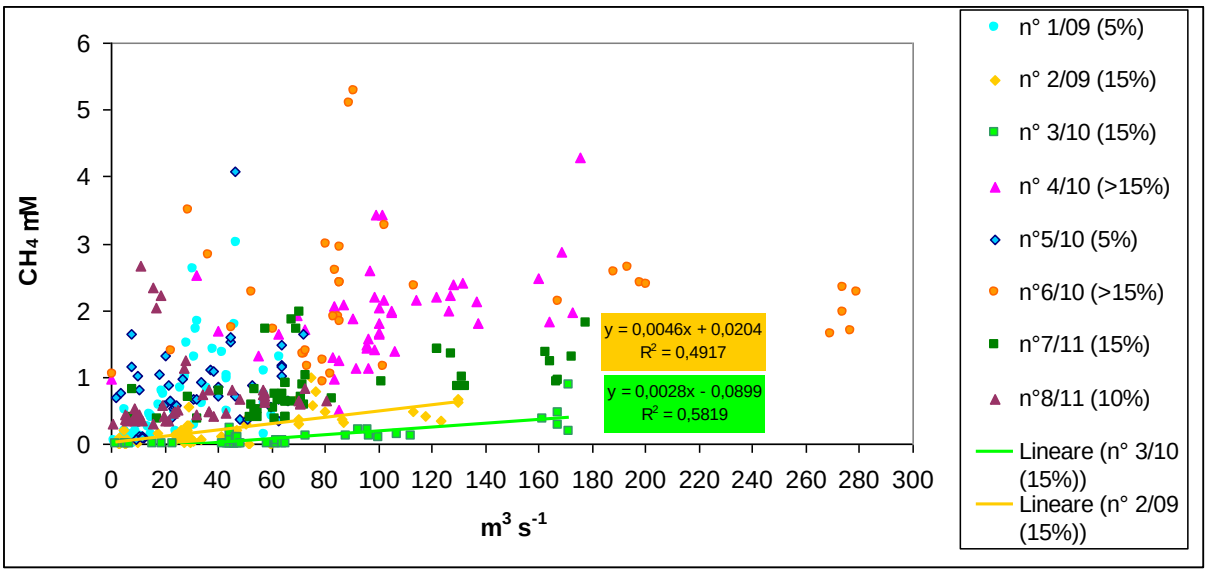

Figura 3.32. Concentrazione di metano (µM) versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%).

Infine in figura 3.33 sono riportati i valori dell'indice LIM_{eco} di tutte le campagne di misura rispetto ai valori di portata misurati nelle corrispettive stazioni fluviali. I risultati del secondo anno di attività non hanno modificato in modo sostanziale quanto trovato nel primo anno: il punteggio LIM_{eco} 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 4 valori ricadenti nello stato ottimo, il punteggio LIM_{eco} si è invece abbassato ed è variato tra 0.2 e 0.65 (stato scarso e buono). Questa tendenza è stata determinata dalle stagioni inverno n°3, autunno n°6 e le due primavere n°4 e n°8 per le quali è risultata significativamente negativa la correlazione tra LIM_{eco} e valore di portata. Al contrario rispetto alle aspettative, maggiori quantità di acqua in transito nel sistema fluviale non determinano un miglioramento dello stato di qualità del fiume; in un bacino sfruttato dall'attività agrozootecnica e caratterizzato da un suolo di media e bassa pianura, l'effetto diluizione viene mascherato dal carico di azoto entrante a livello di bacino. Le campagne di misura, per le quali l'indice LIM_{eco} è risultato correlato negativamente con i valori di portata, sono in effetti avvenute dopo qualche giorno rispetto ad eventi di pioggia; tali eventi hanno da un lato aumentato l'acqua in transito nel fiume, e dall'altro, convogliato nel sistema fluviale maggiori inquinati attraverso sorgenti puntiformi (scarichi di depuratori e immissari) e soprattutto sorgenti diffuse.

L'analisi statistica sulla relazione lineare tra parametri e valori di portata del totale dei dati raccolti nelle otto campagne di misura è riassunta in tabella 3.3. Sia le pendenze che le intercette delle rette che rappresentano la linearità risultano significativamente diverse da zero, ma allo stesso tempo l'R^2, che definisce la significatività dell'applicazione del modello lineare, essendo minore di 0.5, determina l'indipendenza dei parametri e dell'indice LIM_{eco} dai deflussi in alveo.

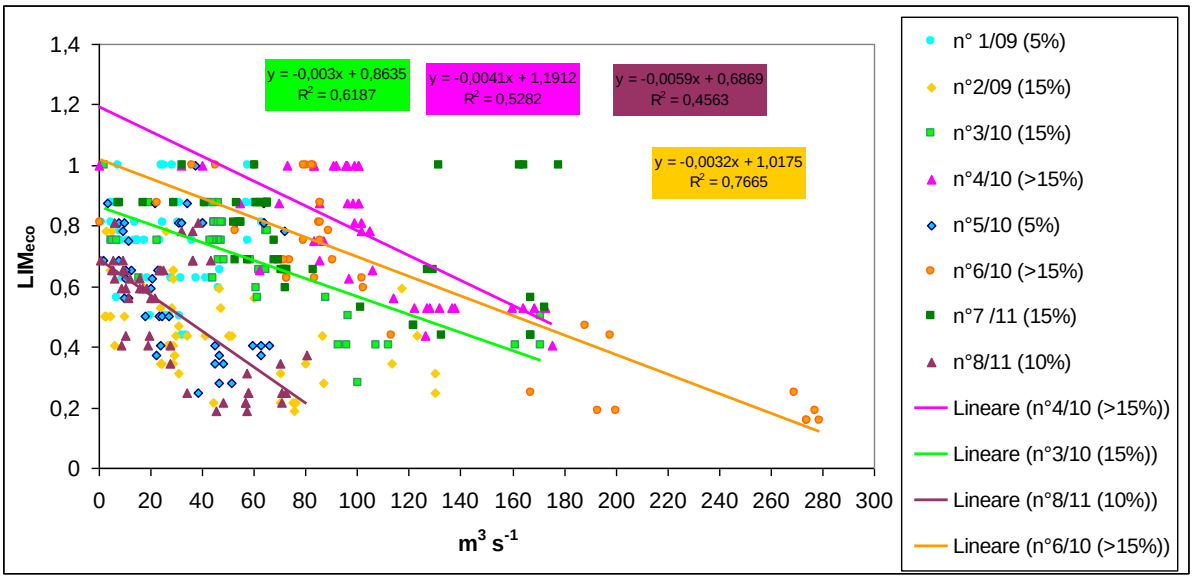

Figura 3.33. Punteggio LIM_{eco} versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%), autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%), invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%). Tra 1 e 0.66, stato elevato; tra 0.65 e 0.50, stato buono; tra 0.49 e 0.33, stato sufficiente; tra 0.32 e 0.17, stato scarso.

Tabella 3.3. Analisi statistica di linearità tra i valori di portata e i principali macrodescrittori misurati durante le campagne di misura del progetto (1° e 2° anno), " * " = p<0.001.**

		O_2	COD	NH_4^+	NO_3^-	TP	CH_4	Chl-a	LIM_{eco}
	modello lineare	%sat	(mg O_2 l^{-1})	(mg N l^{-1})	(mg N l^{-1})	(µg l^{-1})	(µM)	(µg l^{-1})	
valori di portata	pendenza	***	***	***	***	***	***	***	***
	intercetta	***	***	***	***	***	***	*	***
	R^2	0.05	0.03	0.04	0.04	0.25	0.20	0.01	0.12

Le figure 3.34 e 3.35 e la tabella 3.4 illustrano i punteggi del LIM_{eco} e i valori di portata delle stazioni a valle delle principali derivazioni irrigue, distinguendo le campagne di misure estive e primaverili (periodo irriguo), quando effettivamente le derivazioni prelevano acqua dal fiume, dalle campagne autunnali e invernali, quando non si preleva acqua per irrigare. Osservando i valori di portata a valle delle derivazioni irrigue in relazione agli scenari di sperimentazione applicati si nota come quest'ultimi siano sempre rispettati. Lo stato di qualità del sistema nel periodo irriguo risulta nel complesso migliore rispetto a quello del periodo non irriguo, ad eccezione della campagna primaverile del 2011 con stato scarso nelle stazioni caratterizzanti i prelievi del tratto finale del fiume. Nel complesso escludendo la campagna autunnale n°2 (2009) e la campagna primaverile n°8 (2011) e osservando lo stato di qualità di una stazione per le diverse campagne di misura non si notano differenze significative tra periodo irriguo e non irriguo fino alla stazione FS38A (stato ottimo), mentre nelle stazioni del tratto sud lo stato oscilla tra buono e cattivo indipendentemente dal periodo.

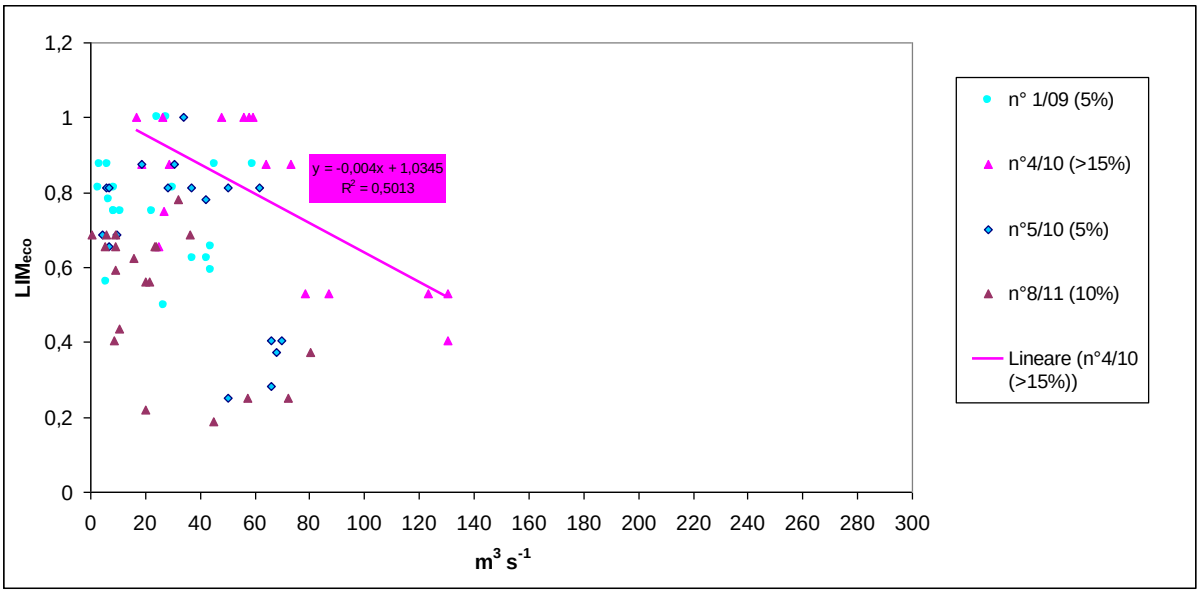

Figura 3.34. Punteggio LIM_{eco} versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali a valle delle principali derivazione irrigue monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura estive n°1/2009 e n°5/2010 (scenario 5%) e primaverili n°4/2010 (scenario >15%) e n°8/2011 (scenario 10%), coincidenti con il periodo irriguo. Tra 1 e 0.66, stato elevato; tra 0.65 e 0.50, stato buono; tra 0.49 e 0.33, stato sufficiente; tra 0.32 e 0.17, stato scarso.

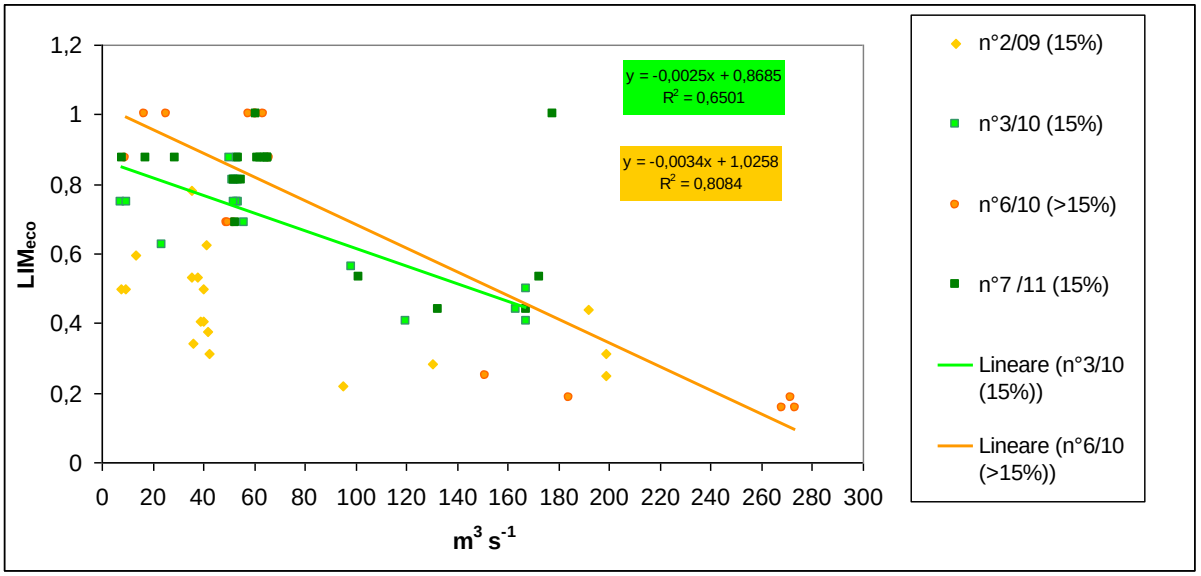

Figura 3.35. Punteggio LIM_{eco} versus valori di portata misurati nelle stazioni fluviali a valle delle principali derivazione irrigue monitorate lungo l'asta del fiume Oglio sublacuale da Sarnico (km 0) alla foce in Po (km 154) durante le campagne di misura autunnali n°2/2009 (scenario 15%) e n°6/2010 (scenario >15%) e invernali n° 3/2010 e n° 7/2011 (scenario 15%), coincidenti con il periodo non irriguo. Tra 1 e 0.66, stato elevato; tra 0.65 e 0.50, stato buono; tra 0.49 e 0.33, stato sufficiente; tra 0.32 e 0.17, stato scarso.

Tabella 3.4. Punteggio LIM_{eco} e valori di portata misurati nelle stazioni fluviali a valle delle principali derivazione irrigue durante campagne di misura del periodo irriguo e del periodo non irriguo dei due anni di sperimentazione.

PERIODO IRRIGUO		Estate 2009, scenario 5%		Estate 2010, scenario 5%		Primavera 2010, scenario >15%		Primavera 2011, scenario 10%	
Derivazione irrigue	codice	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$
Fusia	STA03	0,88	6,40	0,81	5,60	1,00	16,80	0,69	5,60
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	FN11A	0,88	59,30	0,81	61,45	0,88	73,30	0,69	36,28
Vetra	STD14	0,81	3,00	0,81	6,79	0,88	18,40	0,66	5,09
Castrina	FN15A	0,88	45,29	0,81	50,19	0,88	63,90	0,78	31,86
Trenzana e Sale	STE18	0,88	3,30	0,69	4,41	0,66	25,00	0,69	9,23
Baiona	FN19A	0,81	30,00	0,81	36,84	1,00	59,10	0,66	23,81
Rudiana-Vescovada	FN22A	1,00	27,60	1,00	34,10	1,00	57,60	0,66	23,32
Castellana	FN24A	1,00	24,30	0,88	30,48		56,00	0,56	21,62
Donna	FN25A	0,75	22,50	0,81	28,13	1,00	56,00	0,56	20,09
Naviglio di Cremona e Antegnata	FN27A	0,75	11,00	0,88	18,55	1,00	47,60	0,63	15,90
Molina e Calciana	FN28A	0,81	8,48	0,69		1,00		0,69	
Naviglio Grande Pallavicino	FS31A	0,78	6,90	0,66	9,54	0,88	28,70	0,44	10,51
Molinara	FS33A	0,56	5,80		7,59	0,75	26,70	0,41	8,56
Cavo di suppeditazione	FS36A	0,75	8,40	0,78	6,62	1,00	26,30	0,59	8,88
Conta di Barco	FS38A	0,75	8,60		4,21		28,10	0,66	8,93
Consorzio Ostianese Nuova	FS59A	0,50	26,70	0,25	41,87	0,53	87,00	0,19	45,09
Impianto di S.Maria di Calvatone	FS68A	0,63	37,20	0,28	50,19	0,53	78,20	0,25	57,53
Sollevamente di S.Michele in Bosco	FS77A	0,63	42,50	0,38	65,81	0,53	123,40	0,25	72,23
Impianto Maldinaro di Marcaria	FS79A	0,66	44,00	0,41	67,79	0,53	130,20	0,38	80,25
Torre d'Oglio	FS80A	0,59	43,80	0,41	69,59	0,41	130,20	0,22	83,57

PERIODO NON IRRIGUO		Autunno 2009, scenario 15%		Autunno 2010, scenario >15%		Inverno 2010, scenario 15%		Inverno 2011, scenario 15%	
Derivazione	codice	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$	LIM	$m^3 s^{-1}$
Fusia	STA03	0,59	13,50	0,88	9,10	0,75	7,60	0,88	8,25
Franciacorta e Media Pianura Bergamasca	FN11A	0,53	37,90	0,88	66,20	0,69	56,00	0,88	65,45
Vetra	STD14	0,50	9,00	1,00	16,60	0,75	9,90	0,88	17,50
Castrina	FN15A	0,78	35,50	1,00	63,60	0,75	54,00	0,88	65,50
Trenzana e Sale	STE18	0,50	7,50	1,00	25,60	0,63	24,00	0,88	28,96
Baiona	FN19A	0,53	35,50	1,00	61,00	0,75	53,30	0,88	64,22
Rudiana-Vescovada	FN22A	0,34	35,70		61,30	0,88	53,50		64,30
Castellana			37,00		60,80		52,30		62,50
Donna	FN25A	0,41	39,00	1,00	60,80	0,75	52,30	0,88	62,50
Naviglio di Cremona e Antegnata	FN27A	0,63	41,40	1,00	57,90	0,88	50,40	0,88	61,21
Molina e Calciana	FN28A	0,50		0,81		1,00		1,00	60,59
Naviglio Grande Pallavicino	FS31A	0,31	42,10	0,69	52,20	0,81	52,80	0,81	55,10
Molinara	FS33A	0,50	40,10		50,60	0,81	51,80	0,88	53,63
Cavo di suppeditazione	FS36A	0,41	40,00	0,69	49,30	0,81	52,10	0,81	52,25
Conta di Barco	FS38A	0,38	41,80	0,69	50,00	0,81	53,90	0,69	52,94
Consorzio Ostianese Nuova	FS59A	0,22	95,00	0,25	151,10	0,56	98,50	0,53	101,41
Impianto di S.Maria di Calvatone	FS68A	0,28	130,50	0,19	183,90	0,41	119,80	0,44	132,72
Sollevamente di S.Michele in Bosco	FS77A	0,44	191,80	0,16	268,40	0,44	163,50	0,44	167,24
Impianto Maldinaro di Marcaria	FS79A	0,31	198,60	0,19	271,40	0,50	167,30	0,53	172,82
Torre d'Oglio	FS80A	0,25	198,60	0,16	273,20	0,41	167,30	1,00	177,86