

**Eutrofizzazione: considerazioni relative alle relazioni di causa-effetto tra condizioni idrologiche, carichi e stechiometria ecologica (N, P, Si) e risposte in ecosistemi di acque interne, di transizione e marine-costiere nel bacino del Po – Alto Adriatico.**

Viaroli P. & Nizzoli D.

Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Università di Parma

CRM, Cesenatico, 14/11/2019

## DEFINIZIONI TRADIZIONALI

- arricchimento dei nutrienti nell'acqua che stimola una serie di cambiamenti, tra cui un aumento della produzione algale e macrofitica, considerati indesiderabili e che interferiscono con l'uso della risorsa (OECD 1982)
- aumento del tasso di arricchimento della sostanza organica in un ecosistema (Nixon, 1995)
- cambiamento da una bassa ad una elevata produttività causato da un aumento nell'input di nutrienti inorganici (Hilton et al., 2006)
- aumento di un fattore nutritivo che determina un aumento del metabolismo eterotrofo o autotrofo a livello di intero sistema (Dodds 2006, 2007)

## LETTERATURA SCIENTIFICA – REVISIONE CRITICA DEI PARADIGMI

### **Cloern 2001, MEPS, 210: 223-253**

Fase 1 - carichi dei nutrienti e risposte del fitoplancton

Fase 2 - risposte sito-specifiche

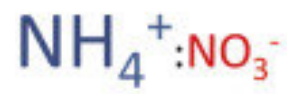
- successione/shift dei produttori primari

Fase 3 - come i fattori locali modulano i carichi di nutrienti

- interazioni multiple e ritardo delle risposte
- impatto delle pressioni antropiche
- possibilità di restoration/rehabilitation

### **Glibert 2017, MPB, 124 :591-606**

- Metriche tradizionali della fase 1: descrittive, non rilevano cambiamenti di biodiversità
- Come stimare i carichi
- Approccio multielemento
- Effetti di tipo sinergico con altri fattori di disturbo
- Rilevanza della speciazione vs stechiometria



Ratio of  
nitrogen forms

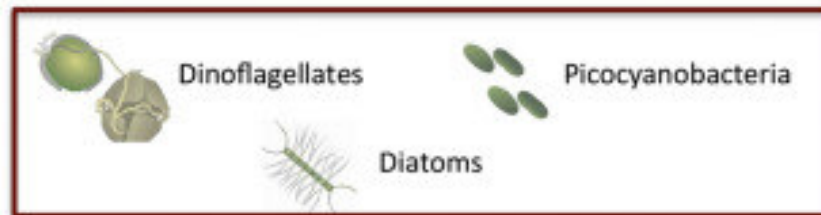


Redfield Ratio

**N:P**

Ratio of inorganic  
nitrogen:phosphorus

**N:P**



## **Direttive Europee**

### **direttiva trattamento delle acque reflue urbane (91/271/EEC)**

- “.....l'arricchimento delle acque in nutrienti, in particolar modo composti dell'azoto e/o del fosforo, che provoca una proliferazione di alghe e di forme superiori di vita vegetale, producendo una indesiderata perturbazione dell'equilibrio degli organismi presenti nell'acqua e della qualità delle acque interessate.”

### **direttiva nitrati (91/676/EEC)**

- “.....l'arricchimento dell'acqua con composti azotati il quale causa una crescita rapida delle alghe e di forme di vita vegetale più elevate, con conseguente indesiderabile rottura dell'equilibrio degli organismi presenti in tali acque e deterioramento della qualità delle acque in questione.”

### **direttiva quadro sulle acque (2000/60/CE)**

- “....la valutazione dell'eutrofizzazione dovrebbe considerare lo scostamento rispetto alla condizione caratteristica di quel corpo idrico, in questo senso l'eutrofizzazione include un cambiamento ecologico sfavorevole (un disturbo indesiderato), e può essere applicato ad ambienti acquatici che si trovano in qualsiasi punto dello spettro trofico....”

## **Problemi aperti**

### **Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi**

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

Affluenti critici (Lambro, Oglio)

Laghi meromittici

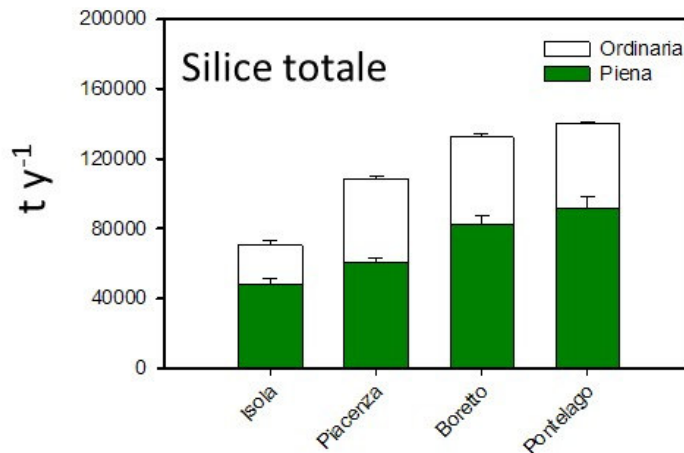
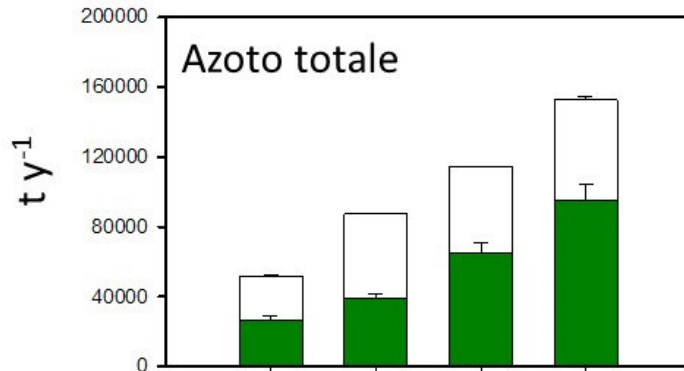
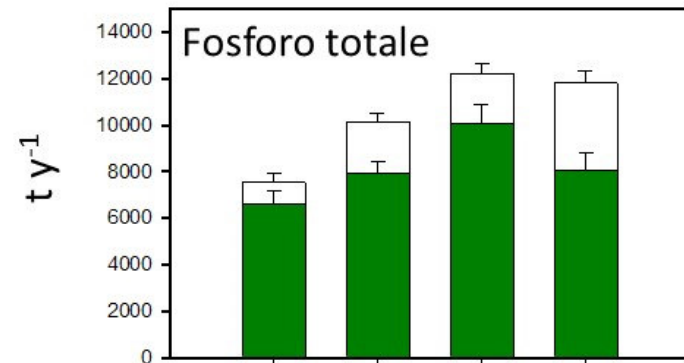
Canali terminali delle bonifiche

Piccoli fiumi e canali della costa

Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidepuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati

## CARICHI IN TRANSITO NELLE STAZIONI NEL PO – relazione tra piene e portate ordinarie (Novembre 2014-ottobre 2015)



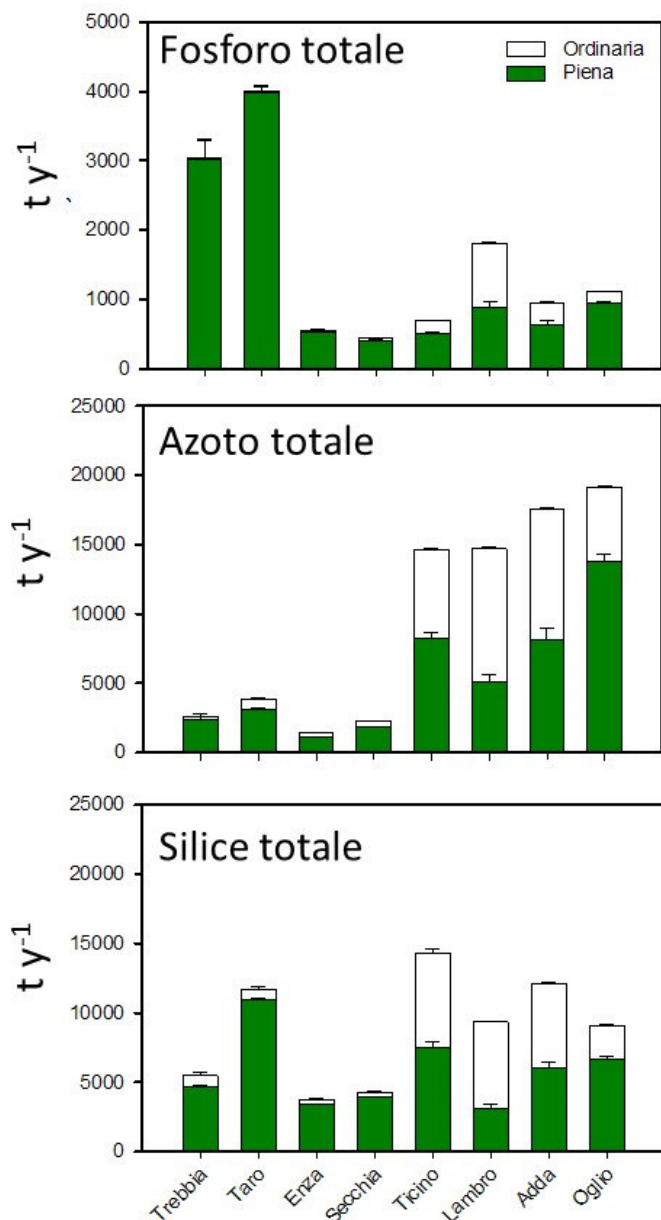
### Accumulo monte valle (t y<sup>-1</sup>)

<b>P</b>	4200
<b>N</b>	100000
<b>Si</b>	70000

### Contributo piene alla formazione del carico (%)

<b>P</b>	68
<b>N</b>	62
<b>Si</b>	66
<b>Piena (n° gg)</b>	147 (40%)

# CARICHI IN TRANSITO NEI DIVERSI SOTTOBACINI – relazione tra piene e portate ordinarie (Novembre 2014-ottobre 2015)



Carico esportato (t y<sup>-1</sup>)

	Appenninico	Alpino
<b>P</b>	8000	4500
<b>N</b>	12100	66000
<b>Si</b>	25100	44800

Contributo piene alla formazione del carico (%)

	Appenninico	Alpino
<b>P</b>	99	65
<b>N</b>	85	53
<b>Si</b>	91	52
<b>Piena (n° gg)</b>	50-108 (13-30%)	90-160 (25-43%)



## **Problemi aperti**

Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

Affluenti critici (Lambro, Oglio)

Laghi meromittici

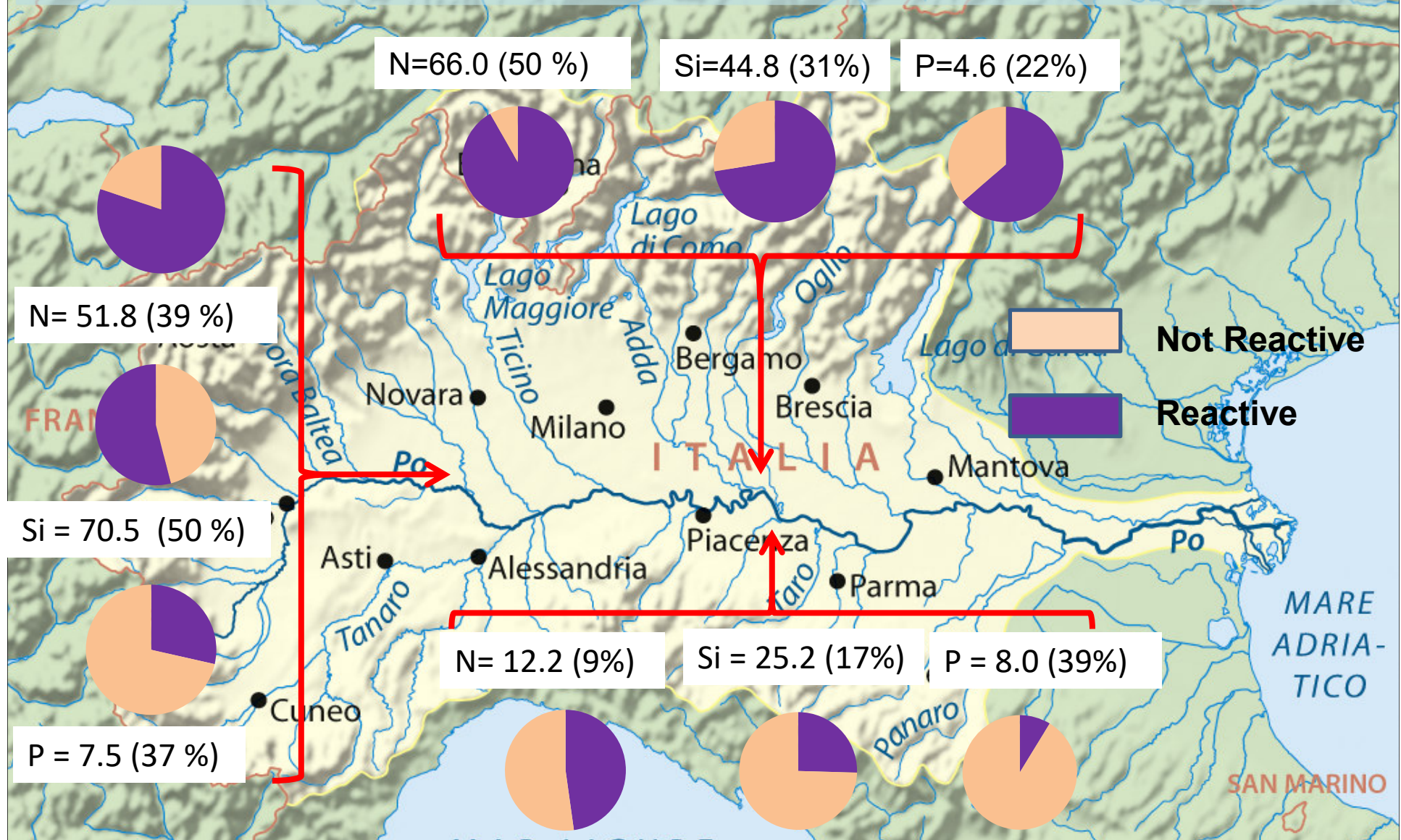
Canali terminali delle bonifiche

Piccoli fiumi e canali della costa

Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidpuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati

# Spatial distribution of nutrient inputs (kt yr<sup>-1</sup>) to the Po river from Nov. 2014 to Oct. 2015 (% contribution to total loading in brackets)



Final report of the project : Monitoring of nutrient loadings delivered by Po river to Adriatic Sea. A collaborative project among UNIPR, UNIFE, Lombardy Region, AdBDPo, and ARPAE Emilia-Romagna

Le concentrazioni e i carichi di azoto e fosforo seguono un andamento temporale che è controllato dal regime idrologico, in particolare dalle piene.

- I bacini lombardi sono regolati dai laghi
- I bacini piemontesi e emiliani dipendono direttamente dalle deposizioni umide.

.

I contributi sono così ripartiti

Azoto totale e reattivo: **LOMBARDIA**>PIEMONTE>>EMILIA

Fosforo totale: **EMILIA=PIEMONTE**>>LOMBARDIA

Fosforo reattivo: **LOMBARDIA**>PIEMONTE>>EMILIA

Silice totale: **PIEMONTE**>LOMBARDIA>EMILIA

Silice reattiva: **PIEMONTE=LOMBARDIA**>>EMILIA

**Stechiometria ecologica alla scala dell'intero bacino padano dipendente dall'eccesso di azoto reattivo:**

- deficit potenziale da P rispetto a N e Si
- possibile deficit da Si rispetto a N

Fattori causali principali eccesso di N da sorgenti antropiche e regolazione biogeochimica del ciclo di P e Si

## **Problemi aperti**

Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

**Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)**

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

Affluenti critici (Lambro, Oglio)

Laghi meromittici

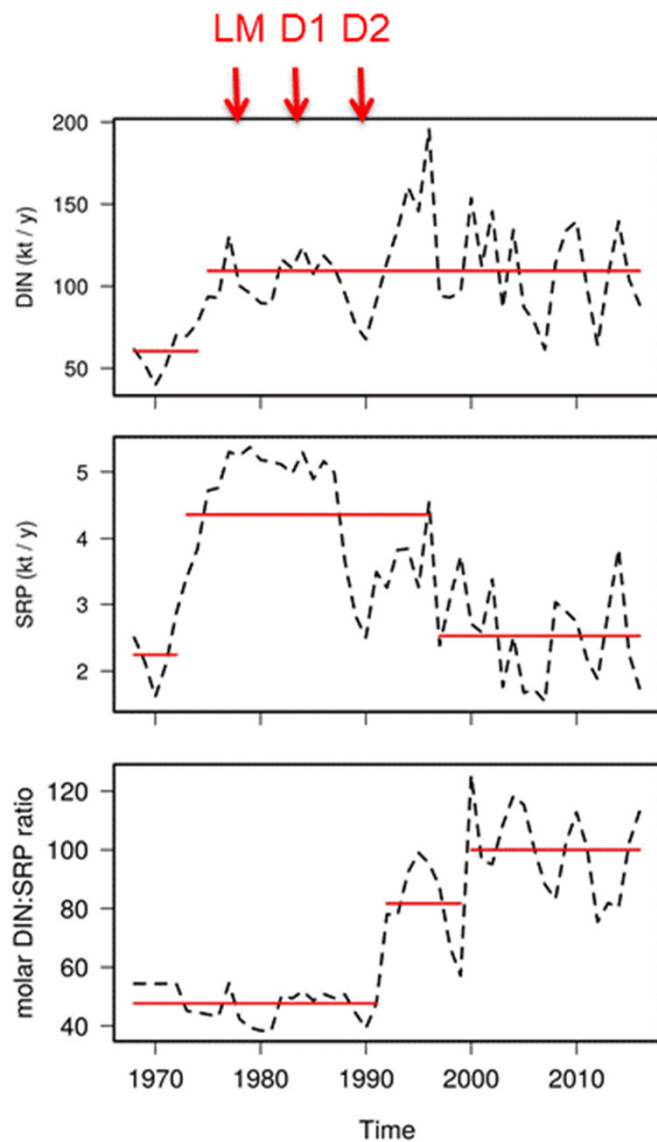
Canali terminali delle bonifiche

Piccoli fiumi e canali della costa

Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidpuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati

**Time evolution of DIN e SRP loadings in Po river at Pontelagoscuro detected with Change Point Analysis. Detection of successful policies LM: Merli law. D1 and D2: ministry decrees in 1982 and 1988 for reducing P in detergents**

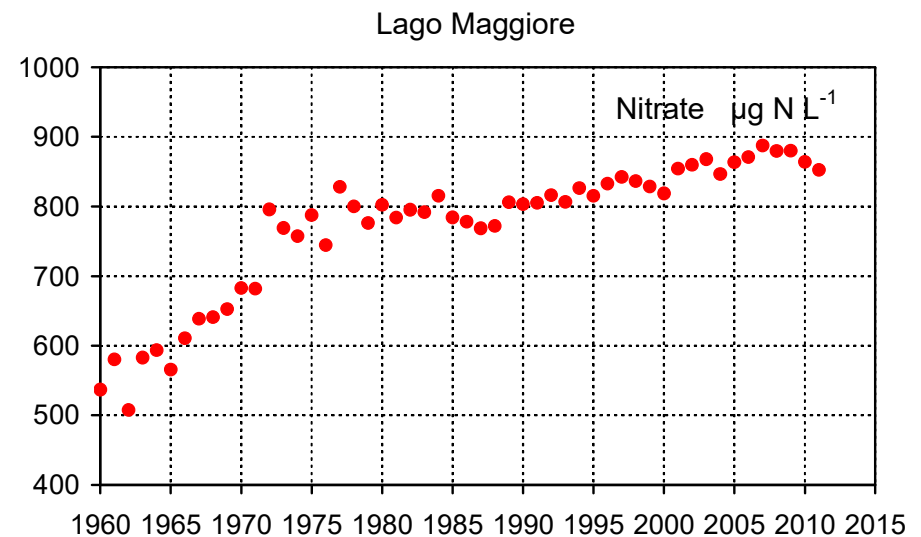
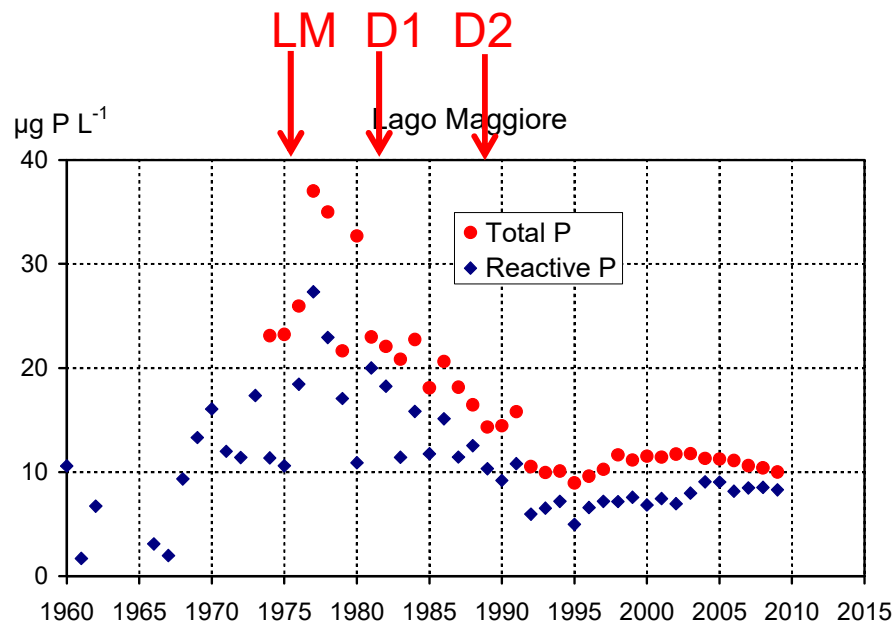


period	DIN (kt yr <sup>-1</sup> )
1968-1974	60.4±13.3
1975-2016	<b>109.4±27.8</b>

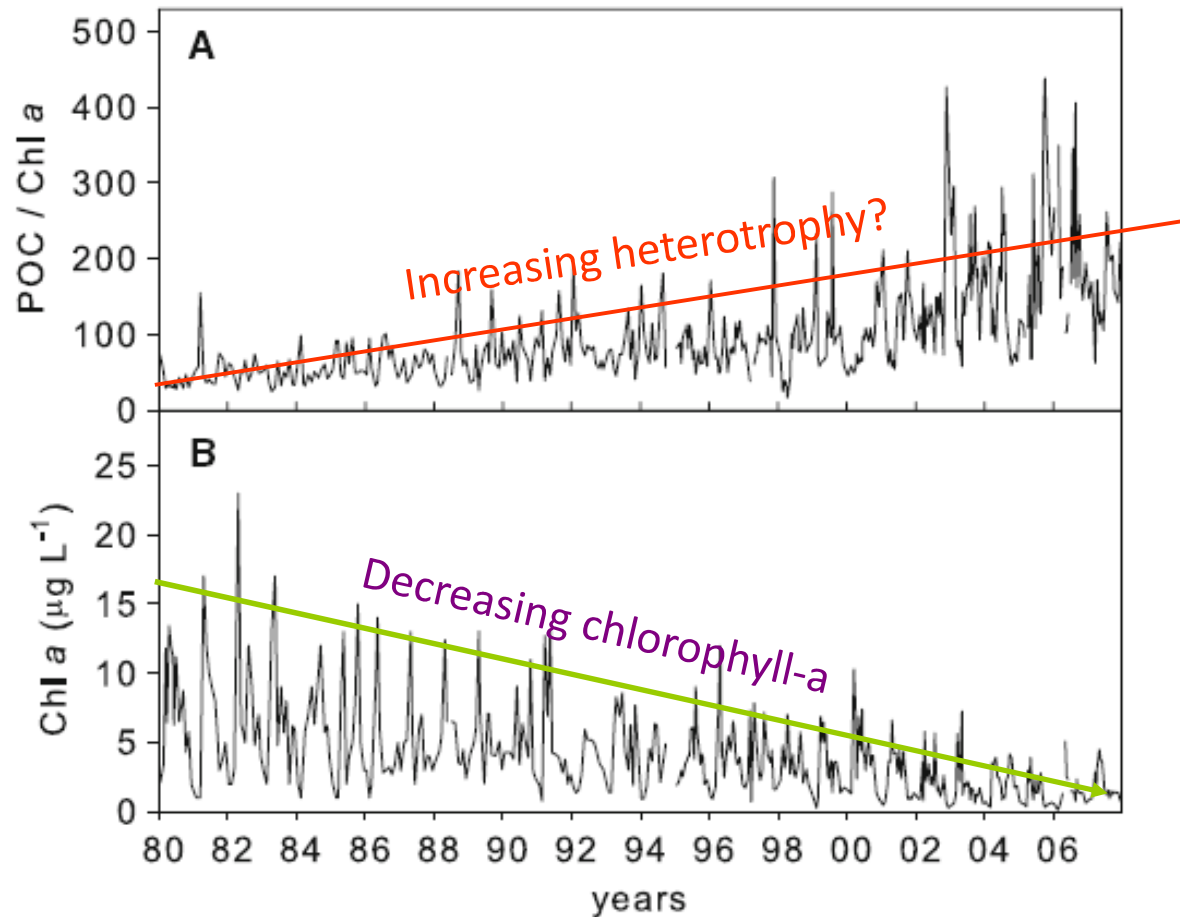
periodo	SRP (kt yr <sup>-1</sup> )
1968-1972	2.2±0.5
1973-1996	<b>4.4±0.9</b>
1997-2016	2.5±0.7

periodo	DIN:SRP
1968-1991	47.1±5.6
1992-1999	81.7±14.6
2000-2016	100.0±14.6

SRP and DIN trends similar to those in Po river can be found also in Lake Maggiore, where long term data series are available. Policies are effective for P removal, not for nitrate control. **LM**: Merli law, **D1** and **D2**: ministry decrees in 1982 and 1988 for reducing P in detergents



Rogora M. et al., 2013, in *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012*. Ed. R. Bertoni, pp. 119-130.



Lake Maggiore - P removal was followed by a significant decrease of phytoplankton chlorophyll-a concentrations, but the phytoplankton community did not respond accordingly, with likely effects on ecosystem metabolism (Bertoni et al, 2010. *Hydrobiologia* 664: 279-287).

## **Problemi aperti**

Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

**Affluenti critici (Lambro, Oglio)**

Laghi meromittici

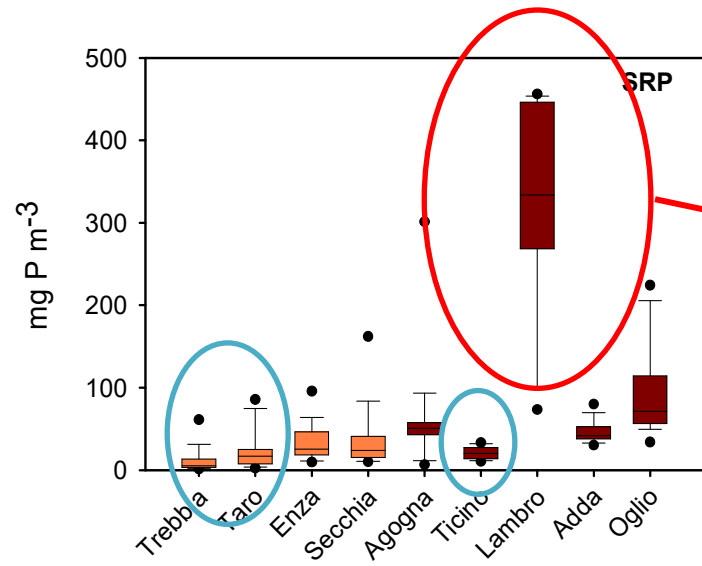
Canali terminali delle bonifiche

Piccoli fiumi e canali della costa

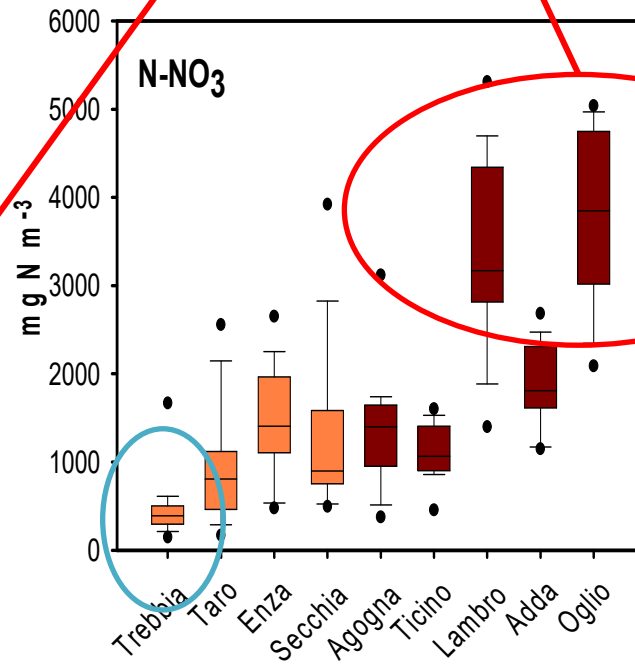
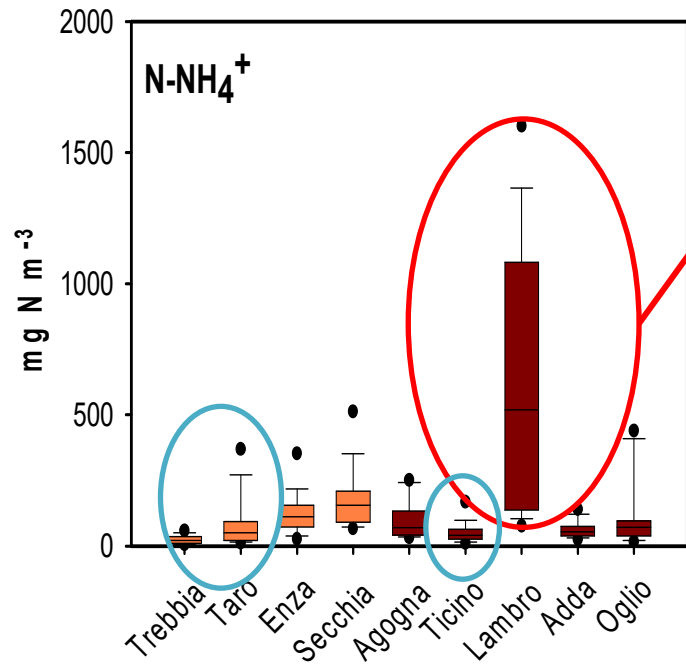
Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidepuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati





**criticità elevata**



sono stati identificati bacini a diversa valenza/criticità  
(riferimento chiusura bacino)

	<b>Portata bassa intermittente</b>	<b>Portata elevata costante</b>
<b>Qualità chimica elevata</b>	Trebbia > Taro	Ticino >> Adda
<b>Qualità chimica bassa</b>	Secchia > Enza	Lambro > Oglio

	<b>Portata bassa intermittente</b>	<b>Portata elevata Regolato da lago</b>
<b>Carico</b>	particellato a bassa reattività – impatti bassi	disciolto medio-alto capacità diluizione
<b>Carico</b>	basso - impatti locali	disciolto elevato impatto a livello di bacino

## **Problemi aperti**

Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

Affluenti critici (Lambro, Oglio)

**Laghi meromittici**

Canali terminali delle bonifiche

Piccoli fiumi e canali della costa

Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidpuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati



**Lake Iseo: mean nutrient mass balance (2016-18)**

	TSi	DSi	TN	DIN	TP	SRP
<b>INPUT</b> t yr <sup>-1</sup>	3044	1899	2117	1126	126	18
<b>OUTPUT</b> t yr <sup>-1</sup>	641	462	1197	567	26	4
<b>retention</b> %	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>43</b>	<b>49</b>	<b>79</b>	<b>67</b>

**Deep Alpine lakes are filters for P and Si, not for N**

Filtering is influenced by

- oligomixis and meromixis
- climate change

Nizzoli et al., 2018, Biogeochemistry 137: 143-161

Salmaso et al., 2018, Hydrobiologia 824: 1-32

ISEO: Improving the lake Status from Eutrophy towards Oligotrophy (Fondazione Cariplo Rif. 2015-0241)

Comparison of the annual average budgets of dissolved oxygen (O<sub>2</sub>), nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), total phosphorus (TP), reactive sulphide (RS) and reducing power (RPw) in 1969-73 and 2010-14 in the upper oxic layer (0-20 m) and in the deeper anoxic water mass (60-120 m). Data are the mean±standard deviation of the annual average budgets of the considered period (Viaroli et al., 2018, Hydrobiologia)

	Period	Whole lake	0-20 m	60-120 m
O <sub>2</sub> (t)	1969-1973	4157±846	2018±323	273±128
	2010-2014	3051±761	2050±303	51±63
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (t N)	1969-1973	180±43	48±17	38±25
	2010-2014	276±64	117±26	27±18
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (t N)	1969-1973	41.3±34	2.7±6.9	34.5±27.9
	2010-2014	337±89.6	2.5±1.7	259.7±65.8
TP (t P)	1969-1973	12.1±7.7	1.3±1.2	8.5±4.5
	2010-2014	94.4±16.5	2.3±0.8	65.6±9.9
RS (t S y <sup>-1</sup> )	2010-2014	1038±274	0.0	806±198
RPw (t O <sub>2</sub> )	2010-2014	5435±1021	17±11	4724±803

## **Problemi aperti**

Campionamento e condizioni idrologiche: ruolo delle piene nella formazione dei carichi

Identificazione degli elementi limitanti. Approccio multielemento e stechiometria ecologica

Valutazione dei singoli elementi e della loro biodisponibilità (speciazione)

Limiti delle misure del P totale (vedasi speciazione del P)

Importanza della silice

Eredità di fosforo e azoto (ritardo dei benefici delle azioni intraprese)

## **Situazioni critiche da porre sotto attenzione**

Affluenti critici (Lambro, Oglio)

Laghi meromittici

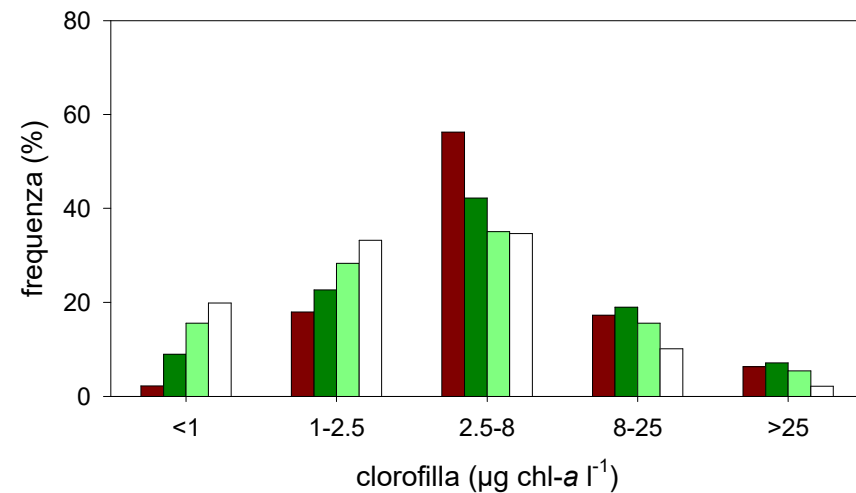
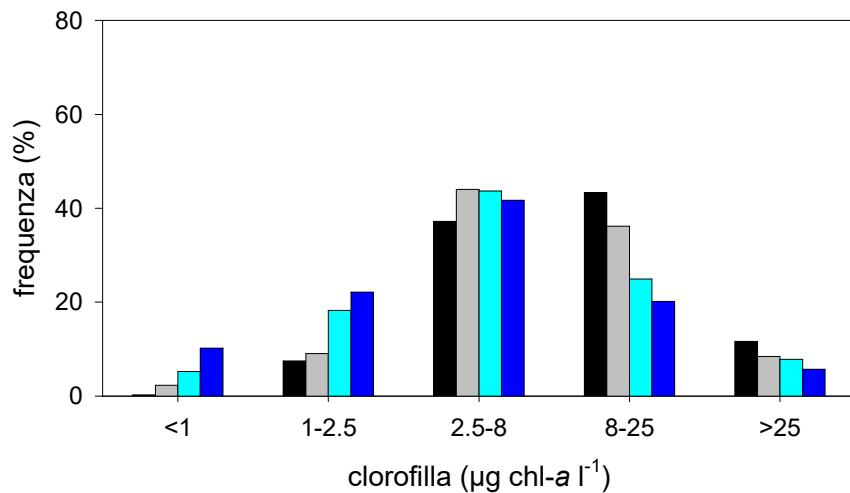
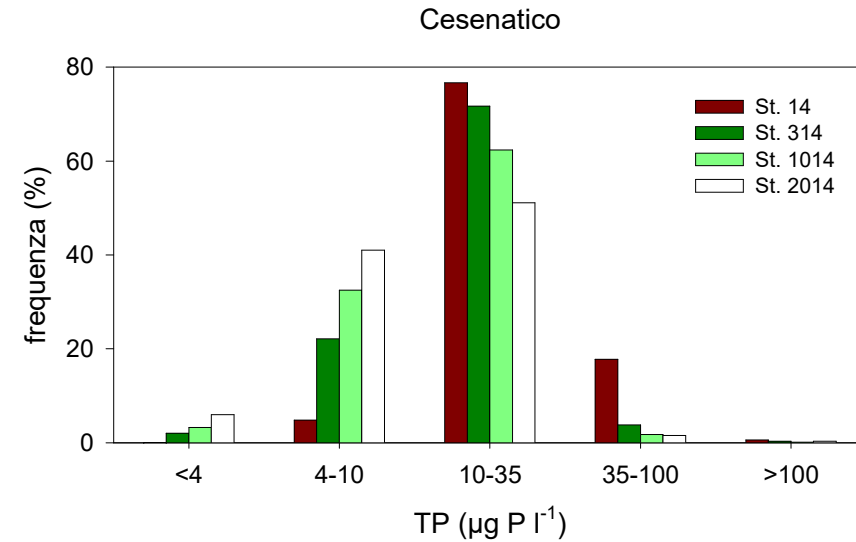
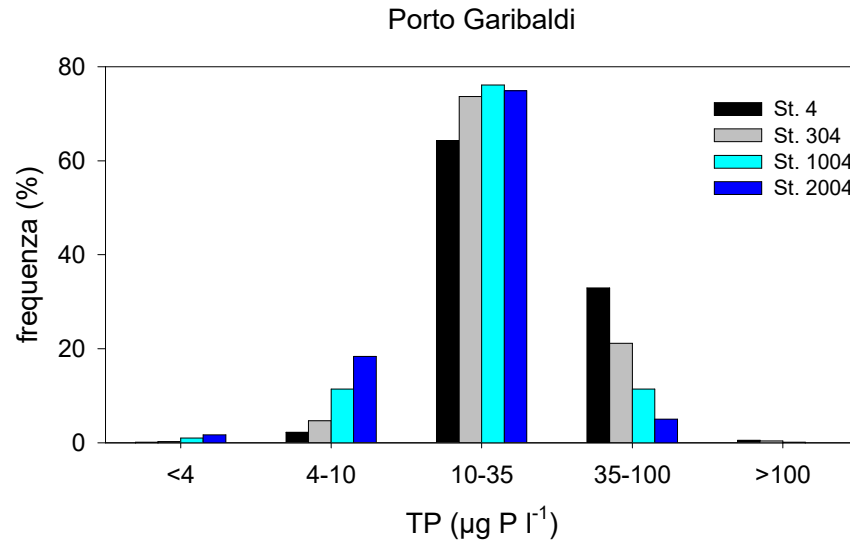
Canali terminali delle bonifiche

**Piccoli fiumi e canali della costa**

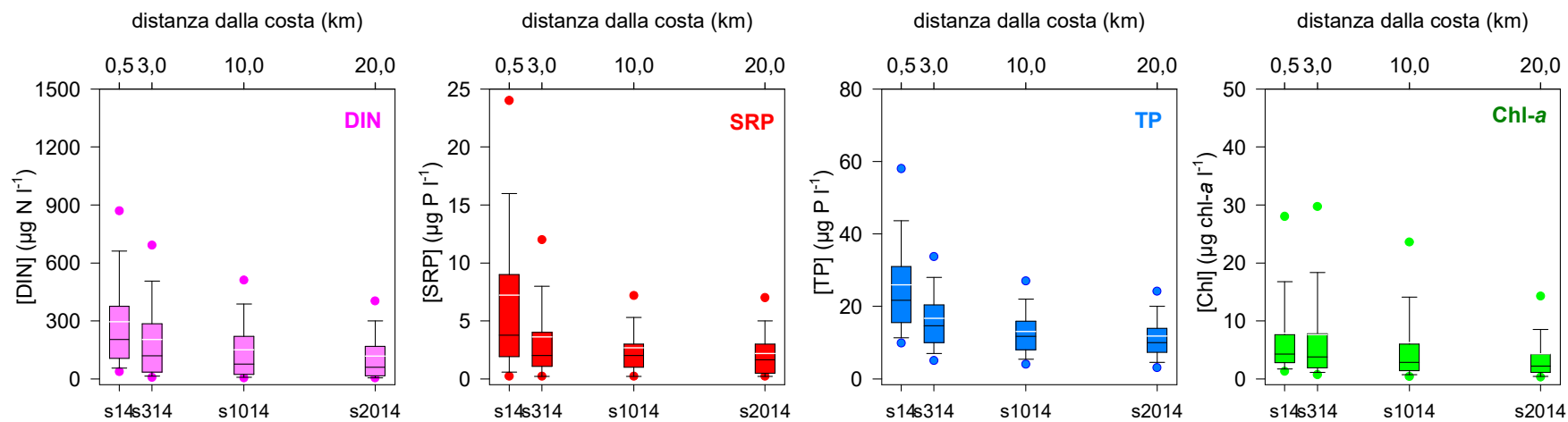
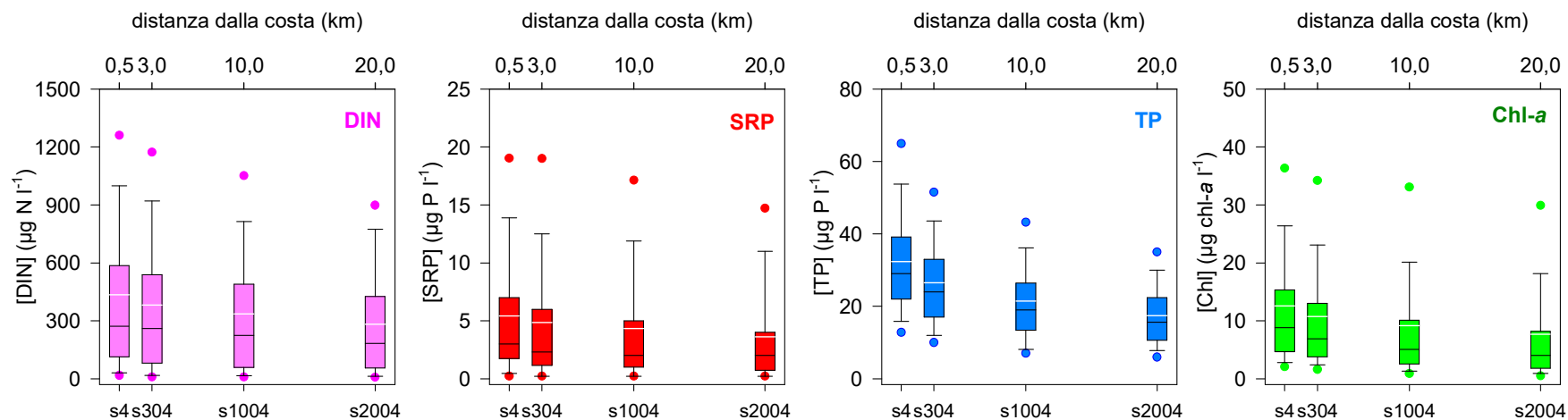
Urbanizzazione e scolmatori fognari/deidepuratori

Spandimento agronomico di fanghi di depurazione e digestati

Stato trofico (intervalli fissi, OECD). Condizioni prevalentemente mesotrofiche con tendenza al miglioramento dalla costa verso il largo e da Porto Garibaldi verso Cesenatico



# Gradienti di concentrazione di Azoto Inorganico Disciolto (DIN), Fosforo Reattivo Solubile (SRP), Fosforo Totale (TP) e Clorofilla-a fitoplanctonica (Chl-a) lungo i transetti terra-mare. Effetti localizzati sotto-costa

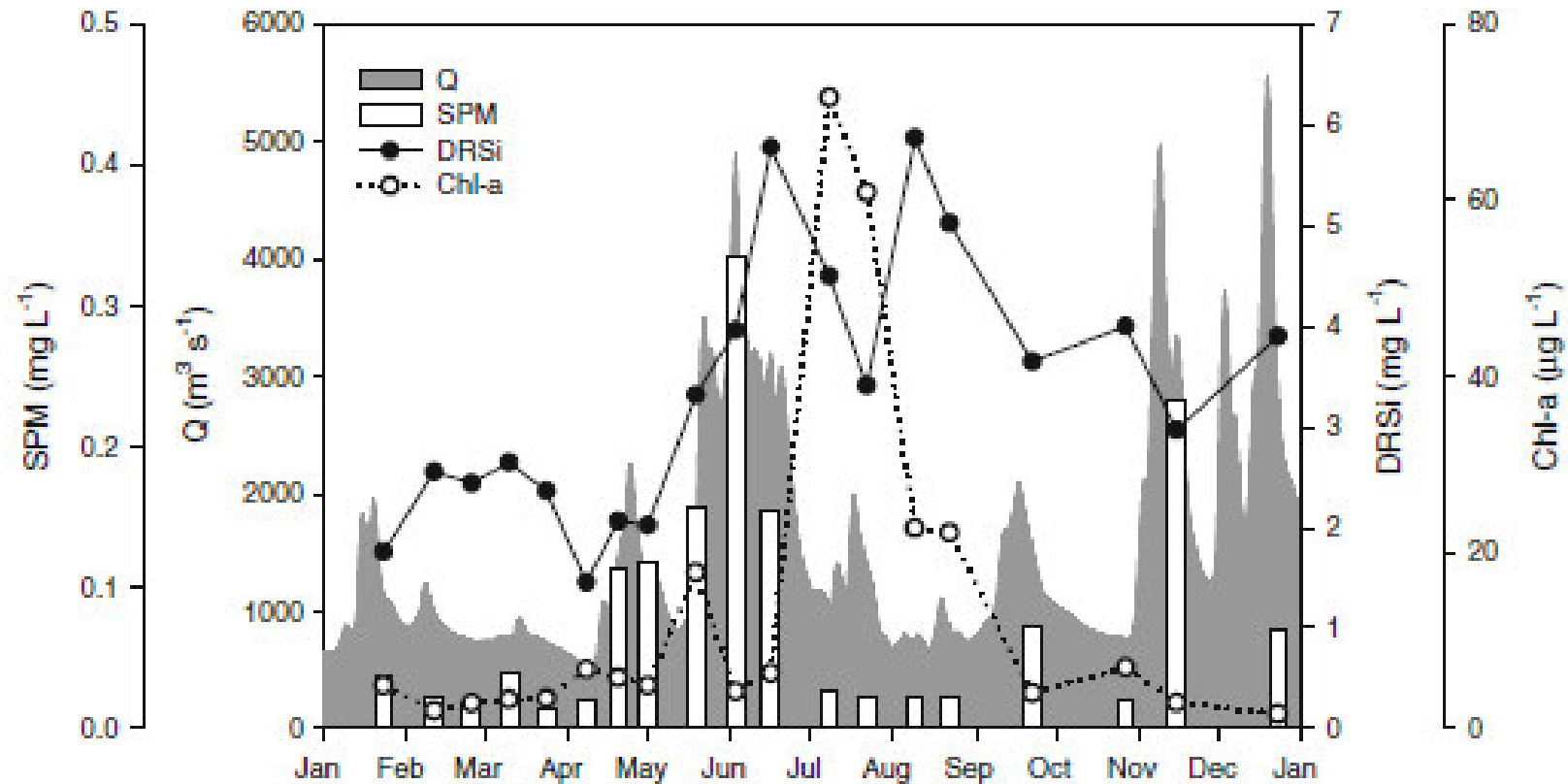


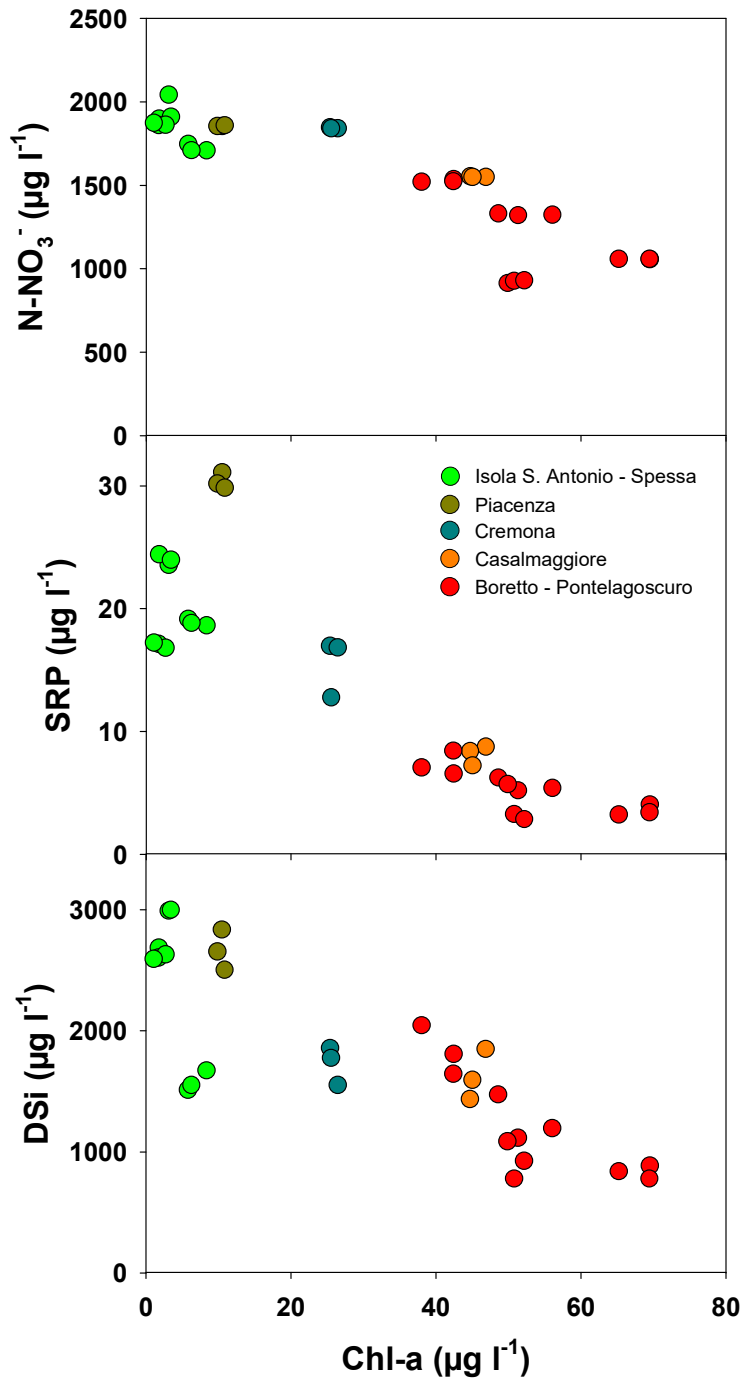


monitoraggi con disegno lagrangiano  
mettono in evidenza almeno tre fasi della  
regolazione dei carichi nel fiume Po

- magra estiva (controllo biologico)
- magra invernale (controllo idrologico)
- piena (controllo idrologico e geochimico)

# Clorofilla- a fitoplanctonica e silice reattiva disciolta nel Po - Viadana (MN)





In estate....

l'aumento delle concentrazioni di Chl-a da monte a valle è accompagnato dalla diminuzione delle concentrazioni delle forme inorganiche disciolte di N, P e Si (e da un aumento di quelle particellate).

La regressione lineare semplice dei dati consente di descrivere il comportamento dei tre elementi in relazione alle variazioni della clorofilla-a fitoplanctonica.

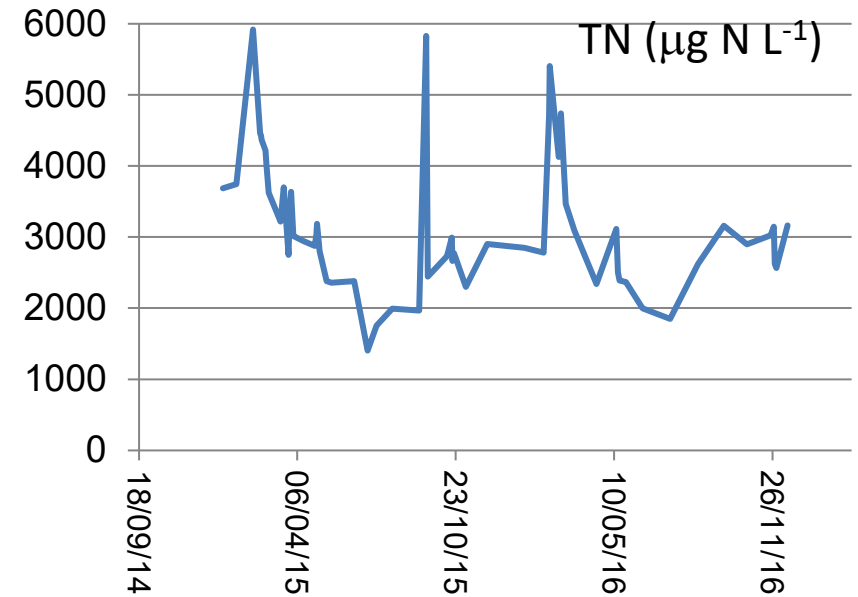
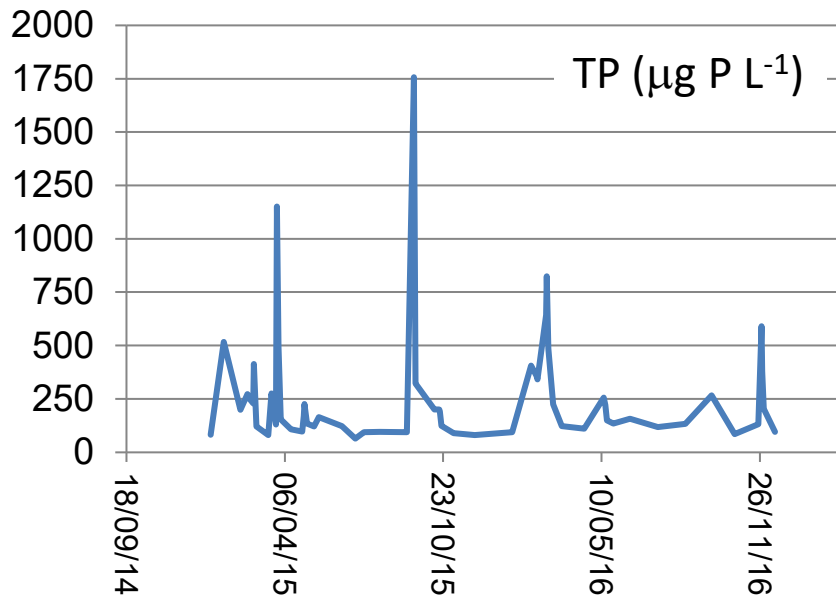
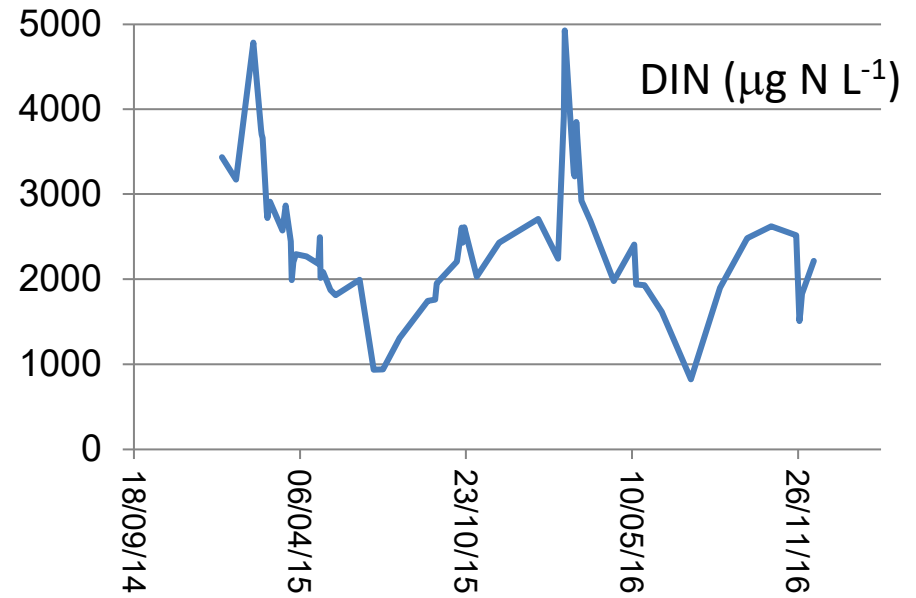
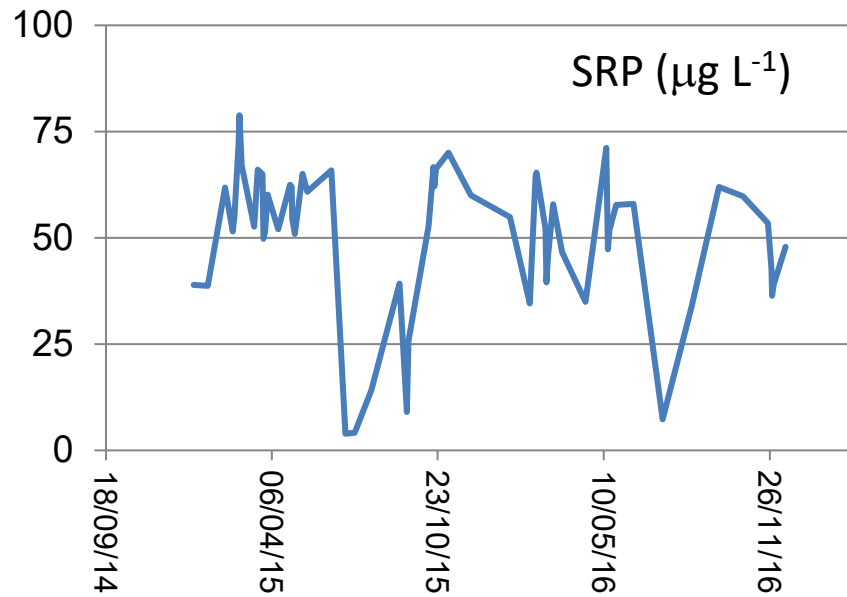
equazione	R <sup>2</sup>	P
$N-NO_3 = -13,02 \pm 1,36 * Chl-a + 1960 \pm 51$	0,7662	<0.001
$SRP = -0,34 \pm 0,03 * Chl-a + 24,0 \pm 1,3$	0,7668	<0.001
$DSi = -25,57 \pm 3,10 * Chl-a + 2577 \pm 118$	0,7087	<0.001

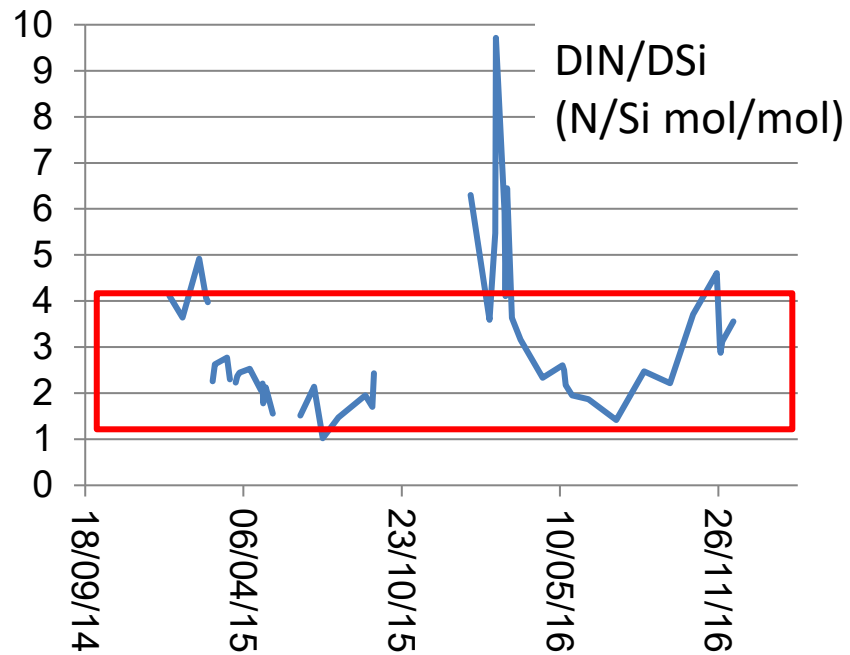
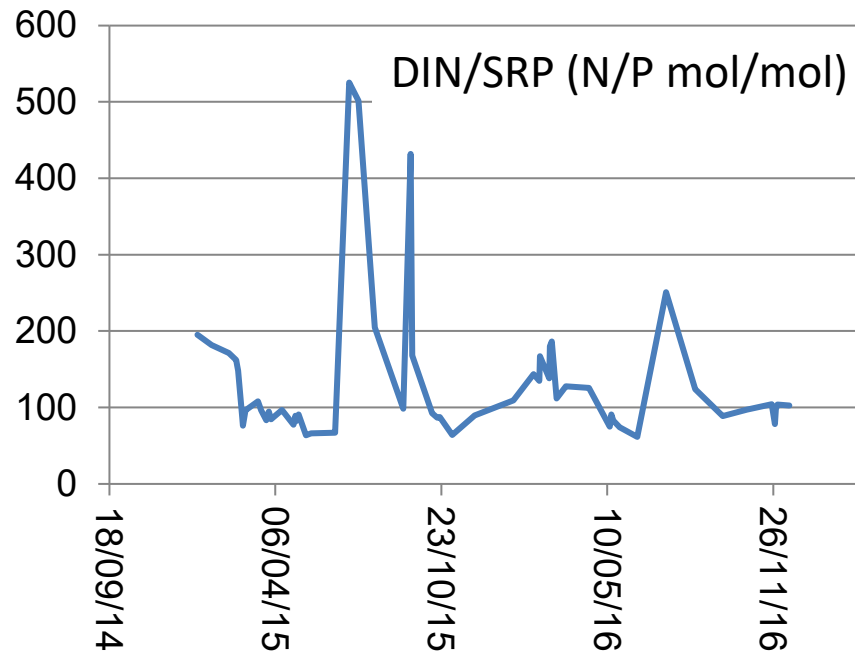


rapporti molarì N:Si:P = 93:91:1

In riferimenti al rapporto di Redfield N:Si:P = 16:16:1:  
 - il rapporto N:Si risulta bilanciato;  
 - rapporti N:P e Si:P sono sbilanciati.

# Pontelagoscuro – novembre 2014-dicembre 2016





year	DSi (kt Si y <sup>-1</sup> )	DIN:DSi (molar)
1968-70	114-134	0,9
1981-84	156-178	1,4
2005-07	77-102	1,7
2015	81	2,5
2016	50	3,3

# NELL'AREA MARINA COSTIERA INFLUENZATA DAGLI APPORTI FLUVIALI DEL PO

## **Possibili effetti dell'eccesso di azoto nitrico con $N:P > 50$**

fioriture di macroalghe nitrofile

fioriture di microalghe tossiche (associati anche a fioriture di macroalghe alloctone es. *G. vermiculophylla*)



## **Possibili effetti del deficit di silice con $N:Si > 2$**

Sostituzione delle diatomee e delle alghe silicee nelle comunità fitoplanctoniche con collasso delle catene trofiche a base diatomee

## **Possibili effetti dell'abbondanza di azoto inorganico disciolto e della carenza di fosforo reattivo solubile**

Comparsa di mucillagini

## **PROGETTI DI RIFERIMENTO**

### **Progetti finanziati dal MIUR**

Processi biogeochimici, trasformazioni ed effetti del carico dell'azoto nel tratto di pianura e nelle acque di transizione del delta del Po (PRIN 2008, coordinatore nazionale)

NOACQUA-risposte di comunità e processi ecosistemici in corsi d'ACQUA soggetti a intermittenza idrologica (PRIN 2015, coordinatore nazionale).

Progetto Bandiera RITMARE (2016)

### **Progetti regionali**

Studio per l'approfondimento delle variazioni dei carichi di azoto e fosforo transitati nella stazione di Pontelagoscuro e per l'analisi di processi rilevanti ai fini della comprensione della composizione e delle trasformazioni dei carichi Autorità di bacino del fiume Po (2007-2008).

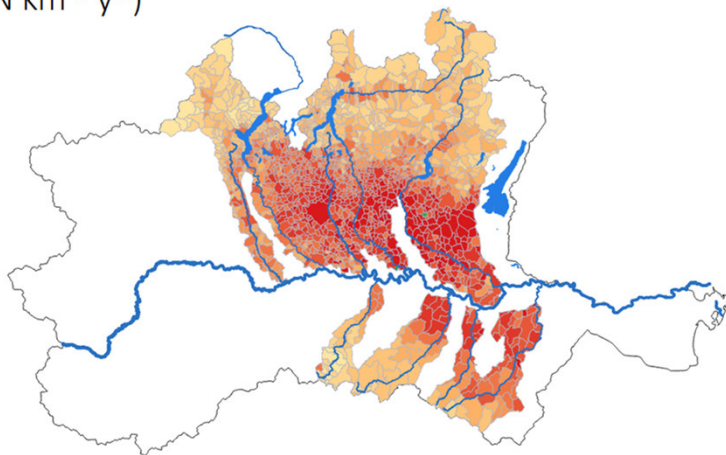
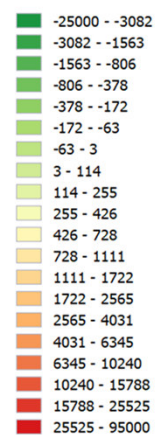
Analisi sul trasporto degli inquinanti e sulla connettività ecologica laterale e longitudinale connessi alla realizzazione di ipotetici sbarramenti sul tratto regionale del fiume Po, ARPA-DT Emilia Romagna (2009-2010).

Monitoraggio dei carichi di nutrienti veicolati dal Po al mare Adriatico, Regione Lombardia (2014-2015).

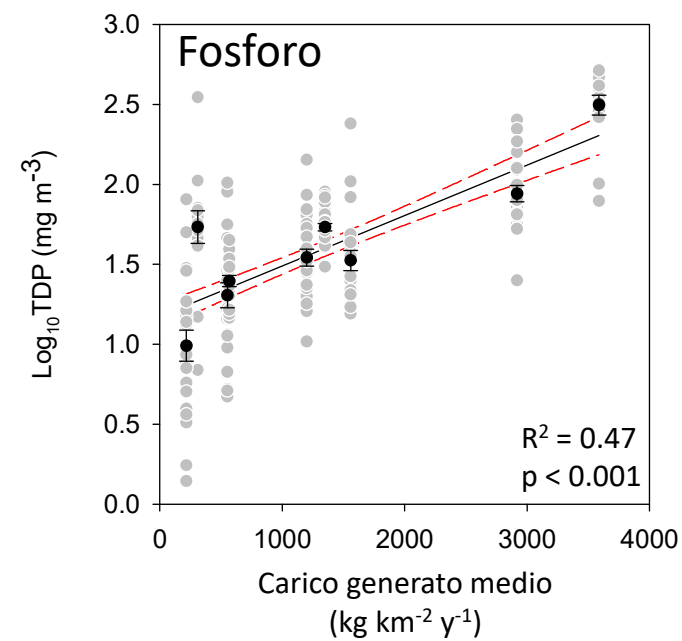
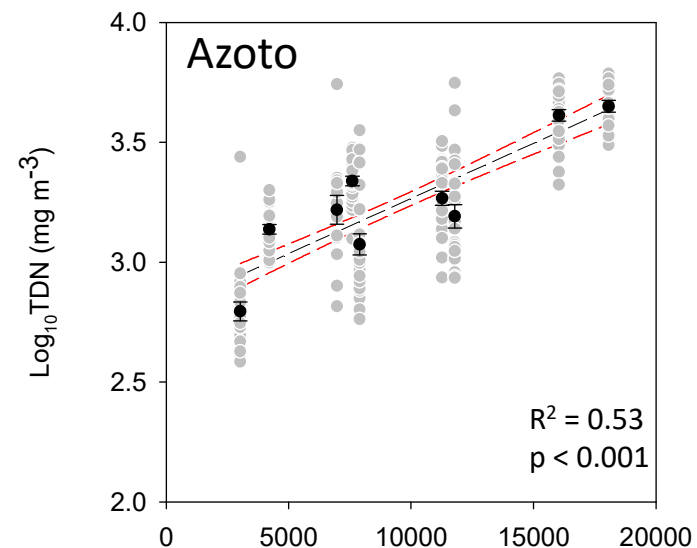
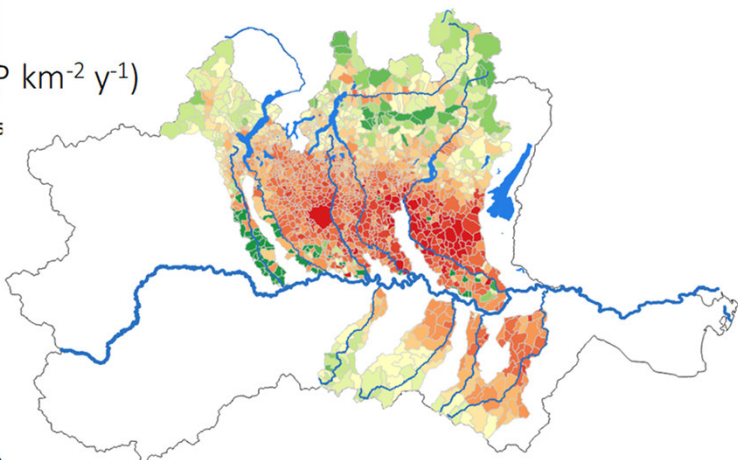
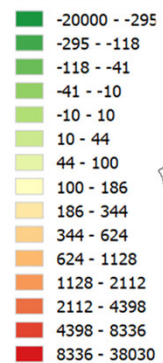
Valutazione di criteri di classificazione dello stato trofico, della suscettibilità all'eutrofizzazione dei sistemi fluviali e dei carichi di nutrienti veicolati nelle acque superficiali e delle relative sorgenti, nell'ambito degli adempimenti della direttive comunitarie 2000/60 (direttiva quadro acque) e 676/91 (direttiva nitrati), (regione Lombardia 2015-16).

# RELAZIONE TRA CONCENTRAZIONE DI N E P E CARICHI GENERATI

NANI ( $\text{kg N km}^{-2} \text{y}^{-1}$ )



NAPI ( $\text{kg P km}^{-2} \text{y}^{-1}$ )





# COMPOSIZIONE PERCENTUALE DEL P PARTICELLATO INORGANICO IN COINCIDENZA DEI COLMI DELLE PIENE

	Scamb.-PO <sub>4</sub>	Fe-PO <sub>4</sub>	Auth. Ca-PO <sub>4</sub>	Detr. Ca-PO <sub>4</sub>
Po	15,0±1,4	17,5±1,1	43,9±2,0	23,5±1,8
Sinistra	25,8±2,2	32,2±2,7	22,3±2,2	19,6±2,2
Destra	4,3±0,9	4,8±0,6	66,2±1,9	24,6±2,9

Forme labili
Forme refrattarie

In destra idrografica le forme refrattarie raggiungono il 90% del fosforo particellato inorganico, mentre al contrario negli affluenti di sinistra circa il 58% è rappresentato da forme labili. Nel Po la situazione risulta intermedia.