



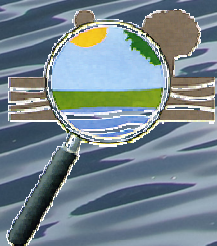
# TRENTINO

PROVINCIA AUTONOMA  
DI TRENTO

## STUDIO LIMNOLOGICO DEL LAGO DI SERRAIA (TN) IN MERITO AL RINNOVO DELLA CONCESSIONE DELL'IMPIANTO POZZOLAGO

<b>CODICE DOCUMENTO:</b>	<b>CONTENUTO:</b>
Rev02	
<b>FILE</b>	
RT_Lago_Serraia_rev06.doc	<b>RELAZIONE TECNICA</b>
	<b>COMMITTENTE:</b>
<b>COMUNE DI BASELGA DI PINÈ</b>	 <b>TAUW Italia S.r.l.</b> Piazza Leonardo da Vinci, 7 20133 Milano

**REALIZZAZIONE:**

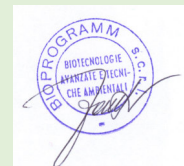


**BIOPROGRAMM S.C.**

31024 Ormelle (TV) - Via C.A. Dalla Chiesa, 1/A  
Tel. e Fax 0422/809171

35127 Padova - Via Lisbona, 28/A  
Tel. 049/8805544 - Fax 049/7629627

bioprogramm@bioprogramm.it - [www.bioprogramm.it](http://www.bioprogramm.it)



**SOCIETÀ CERTIFICATA: UNI EN ISO 9001:2015; ISO 14001:2015**

	Giugno 2021	Rev02	Dr. Maurizio Siligardi	Dr. Maurizio Siligardi	Dr. Maurizio Siligardi
00	Maggio 2021	PRIMA EMISSIONE	Dr. Marco Zanetti	Dr. Marco Zanetti	Dr. Marco Zanetti
REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DATI AMBIENTALI RACCOLTI.....</b>	<b>3</b>
2.1	DATI MORFOLOGICI .....	4
2.2	DATI CHIMICO-FISICI.....	7
2.3	DATI LIMNOLOGICI.....	11
2.4	DATI ECOFUNZIONALI .....	19
<b>3</b>	<b>ANALISI DEI RISULTATI E STIMA DEL TREND.....</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>FONTI DI PRESSIONE E POSSIBILI RELAZIONI CAUSA-EFFETTO .....</b>	<b>32</b>
4.1	EMUNGIMENTO DELLE ACQUE .....	34
4.2	COLTIVAZIONE DI PICCOLI FRUTTI.....	34
4.3	ALLEVAMENTO DI EQUINI .....	35
4.4	ITTIOCOLTURA E GESTIONE ALIEUTICA.....	36
4.5	TEORIA DELLE CATASTROFI .....	44
<b>5</b>	<b>ANALISI SWOT .....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>INDIVIDUAZIONE SCENARI FUTURI IN DIVERSE CONDIZIONI E POSSIBILI INTERVENTI .....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....</b>	<b>55</b>
	<b>GRUPPO DI LAVORO .....</b>	<b>57</b>





## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica, eseguita per conto di Tauw Italia S.r.l., si prefigge come principale obiettivo quello di rispondere alle richieste di integrazioni ricevute dall'Assessore all'urbanistica, ambiente e cooperazione della Provincia Autonoma di Trento nell'ambito del procedimento di VIA relativo al "Rinnovo di concessione dell'impianto idroelettrico di Pozzolago (TN) [ID\_VIP: 5363] (rif m\_amte.CTVA.REGISTRO UFFICIALE.I.0002850.18-09-2020), e cioè:

*"l'esigenza di valutare gli scenari che potrebbero contribuire al risanamento dello stato di trofia del corpo idrico quali:*

*1. il prelievo delle acque dalla superficie del lago piuttosto che in profondità, in relazione alla stagione: attualmente il prelievo avviene a circa -5 metri di profondità, per evitare nella stagione estiva, che il prelievo dell'acqua in superficie, più calda, inneschi rimescolamenti delle acque del lago (il prelievo dalla superficie nelle altre stagioni sarebbe funzionale al risanamento del lago?);*

*2. lo spostamento del punto di prelievo, mediante allungamento del tubo pescante, dalla zona direttamente alimentata dalle acque pulite in ingresso dal rio Campo (Rogge del lago delle Piazze) verso zone in cui sono più evidenti gli ingressi di acque ricche di nutrienti (zona serre);"*

Per risolvere questo articolato quesito si è previsto questo studio, che verte sui seguenti punti:

- ✓ sopralluogo in situ e raccolta dati storici esistenti presso gli Enti competenti;
- ✓ analisi critica dei risultati e stima dei trend;
- ✓ valutazione delle fonti di pressione e delle possibili relazione causa-effetto delle opere intraprese e dei mutamenti intercorsi nel corso degli anni;
- ✓ analisi e valutazione dei possibili scenari proposti per il risanamento del corpo idrico per mezzo di una valutazione Swot analysis
- ✓ Valutazione dei possibili scenari futuri valutando le diverse condizioni e i possibili interventi

La situazione trofica, all'oggi molto precaria, in cui versa il lago di Serraià è ben conosciuta e studiata da diversi anni.

Questo magnifico corpo idrico, che rappresentava senz'altro un elemento di pregio nel panorama ecosistemico trentino, dopo anni di buona funzionalità, si è ritrovato negli ultimi tempi ad affrontare un declino costante ed irreversibile, finora, agli sforzi profusi per arrestarlo.

Come si potrà apprezzare dalla ricostruzione della presente relazione tecnica, le fonti di pressione sono molteplici e variegata ed evidentemente superano il potere omeostatico del



sistema, un ecosistema che, vale la pena ricordarlo, si presenta già, per le sue peculiarità intrinseche, fragile e a lenta evoluzione.

Tutti i corpi idrici lacustri hanno una propria vita e una evoluzione naturale che li porta all'impaludamento e quindi alla morte. Certamente però l'antropizzazione può accelerare, a volte in modo repentino questi processi, che solitamente avvengono nell'arco di molti anni.

Nel caso del lago di Serraia le spinte antropiche sono state diversificate e discretamente impattanti. Nella presente relazione abbiamo cercato di dare una lettura equidistante del trend evolutivo e dei fatti accaduti negli anni, lasciando da parte le prese di posizione che hanno contribuito certamente ad esacerbare gli animi. Come spesso succede in natura, a meno di eventi puntuali catastrofici, come ad esempio un inquinamento puntiforme acuto, la causa di degrado spesso genera una serie di concause il cui effetto sinergico incanala l'evoluzione verso una precisa meta.



**Figura 1.1 - Lago di Serraia, aprile 2021 (fonte: Bioprogramm s.c.)**

## **2 DATI AMBIENTALI RACCOLTI**

Il primo passo per soddisfare l'obiettivo di questo lavoro è stato sicuramente la raccolta di dati limnologici, sia chimico-fisici che biologici, reperibili direttamente dall'Agenzia Provinciale per la Protezione dell'Ambiente di Trento (APPA-TN) o da pubblicazioni inerenti il lago di Serrai.

L'APPA di Trento ha gentilmente e solertemente fornito su nostra richiesta i dati in loro possesso, inerenti i parametri di base degli ultimi 13 anni, ovvero:

### ***Chimici di base***

Alcalinità (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ammonio, azoto ammoniacale, azoto nitrico, azoto nitroso e azoto totale, calcio, cloruri, BOD, COD, fluoruri, fosforo ortofosfato e totale, magnesio, potassio, silice, sodio, solfati.

### ***Chimici relativi ai metalli***

Arsenico, cadmio, cromo, ferro, manganese, mercurio, nichel, piombo, rame e zinco.

### ***Fisici***

Dati morfologici, conducibilità, temperatura, ossigeno disciolto, trasparenza.

### ***Biologici***

Dati quantitativi e qualitativi del fitoplancton, contenuto di Clorofilla "a" (CHL) e di feofitine (FEO).

Questi dati, che ammontano a più di 8.500, sono stati vagliati in modo critico, ciò ha comportato a priori l'esclusione di alcuni, come tanti metalli, in quanto riportavano valori inferiori al limite di testabilità degli strumenti.

Nonostante tutto questo, vista la mole di informazioni, gli obiettivi di questo lavoro ed il tempo a disposizione, si è cercato, per non risultare dispersivi, di riassumere e mediare i valori dei parametri più significativi, pulendo le serie di dati stessi da ridondanze e ripetizioni.

Per completezza, nell'allegato in formato .xlsx alla presente relazione tecnica i valori sono riportati integralmente, mentre di seguito ci siamo limitati a riportare solo i dati sinottici e raggruppati, che sono serviti per le elaborazioni.

## 2.1 Dati morfologici

Il lago di Serraiia è un lago alpino quaternario, generato in seguito ad uno sbarramento alluvionale. Esso si trova nell'altopiano di Piné, esattamente nel comune di Baselga di Piné, in provincia di Trento, ad una quota di 974 metri sul livello del mare.

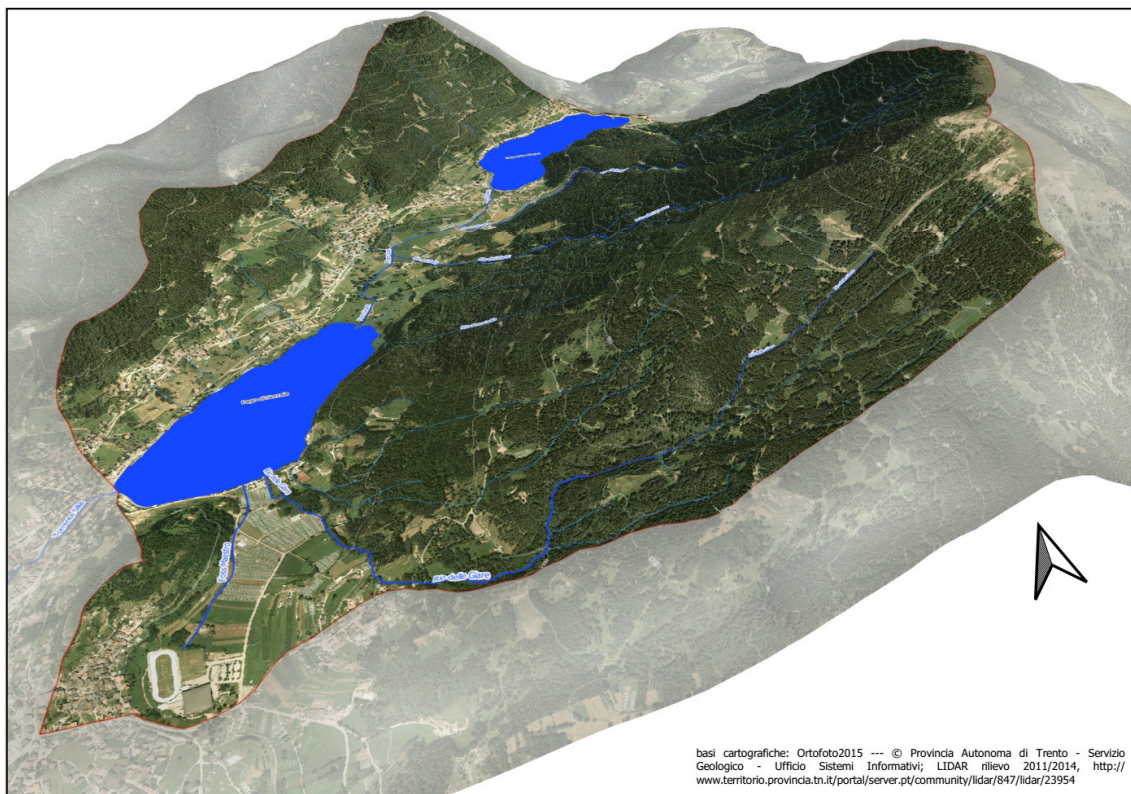
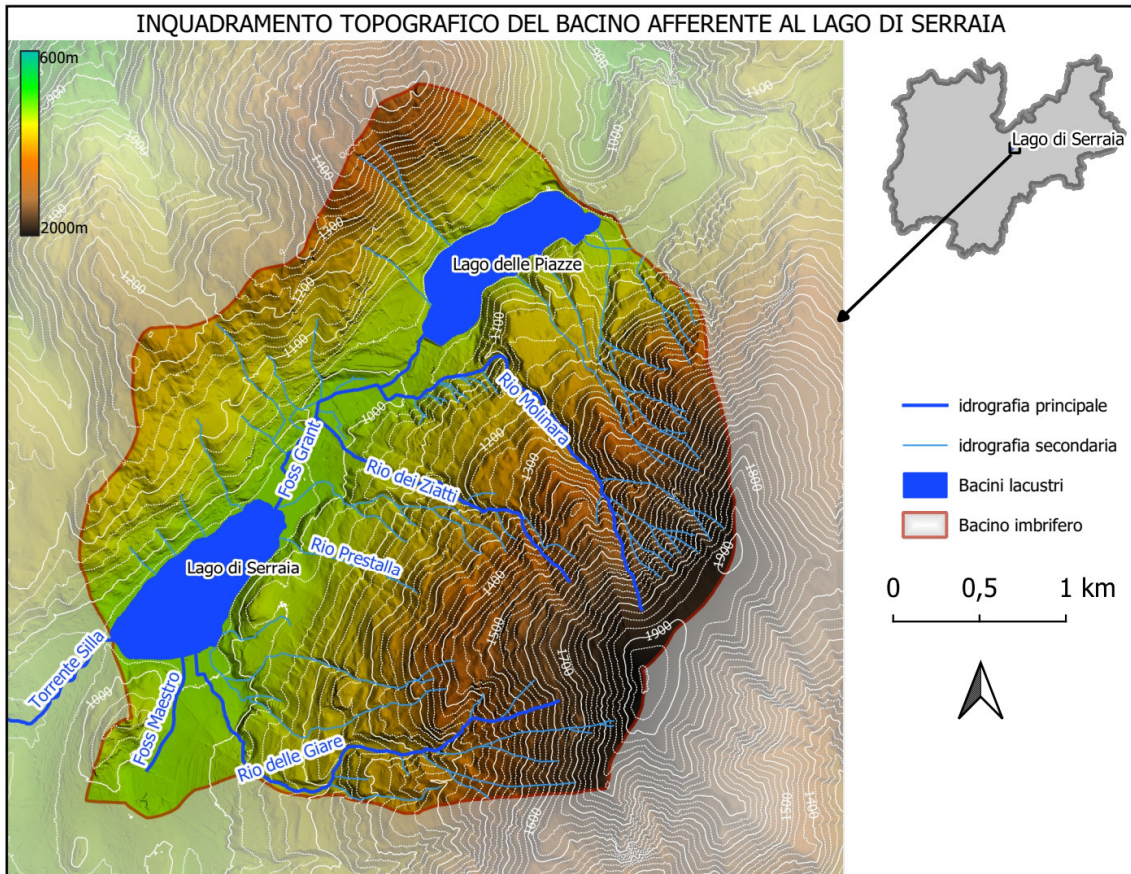
E' una ambita meta turistica, vista la bellezza paesaggistica dei luoghi e la vicinanza con la città di Trento.



**Figura 2.1 - Lago di Serraiia, aprile 2021 (fonte: Bioprogramm s.c.)**

Dal punto di vista idrologico, il bacino imbrifero del lago della Serraiia comprende il bacino del lago delle Piazze, per un'area complessiva di circa 11,6 km<sup>2</sup>. Il lago è alimentato da piccoli ruscelli: l'immissario principale è il Foss Grant, che presenta una portata notevolmente variabile in funzione della situazione meteorologica, che a sua volta è alimentato, in sinistra orografica dai rii Molinara e dei Ziatti. Il rio Prestalla finisce invece direttamente al lago. Altri tributari diretti del lago, nella parte sud orientale, sono il Foss Maestro ed il rio delle Giare. L'emissario del lago è il torrente Silla, tributario del Fersina (Figura 2.2).





**Figura 2.2 - Bacino afferente al lago di Serraia (fonte: Bioprogramm s.c.)**



Il lago di Serraia è un lago piccolo e con scarsa profondità, che si poggia su una conca geologicamente rappresentata da substrati rocciosi prevalentemente di origine effusiva, come porfidi e andesiti, che determinano una bassa alcalinità e conducibilità delle acque.

I parametri morfologici esposti nella Tabella 2.1 si riferiscono a dati unici ed elaborati come l'indice di sinuosità, il grado di incavamento e lo sviluppo del volume, o derivati come il rapporto superficie bacino superficie lago e il tempo di ricambio delle acque del lago.

Più specificatamente i dati elaborati sono ricavati come segue:

- Indice di sinuosità (D) – esprime la sinuosità della costa derivata dal rapporto tra la lunghezza della linea di costa (perimetro) e la circonferenza di un cerchio la cui area è pari all'area del lago, cioè:

$$D = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$$

- Grado di incavamento (I) – è espresso come rapporto tra profondità media e massima:

$$I = \frac{Zm}{Zmax}$$

- Sviluppo del volume – è espresso come rapporto tra il volume del lago e il volume di un cono avente come base la superficie del lago e come altezza la profondità massima:

$$Sv = \frac{V}{S * Pmax}$$

Nel caso dell'indice di sinuosità più il valore presenta un massimo pari a 1, più il lago è perfettamente tondo; più ci si allontana da 1, maggiore è la sinuosità della costa.

L'indice di incavamento ci informa sulla cuvetta del lago e se presenti regolarità. Il valore inerente lo sviluppo del volume (Sv) ci informa quanto la cuvetta del lago assomigli al cono ideale, nel qual caso il valore sarà pari a 1. Se la cuvetta presenta una forma a catino il valore Sv tenderà ad essere maggiore di 1, viceversa se la cuvetta presenta una profonda scoscesità della sezione solo in prossimità del punto più profondo, allora il valore Sv sarà vieppiù inferiore a 1.

Dai risultati di questa elaborazione si deduce che il lago ha un aspetto morfologico simile a un catino, con un fondo pressoché piatto a 7,1 metri di profondità, salvo un punto che evidenzia una fossa molto ristretta fino a 18 metri.

La linea di costa è poco sinuosa e la forma è allungata lungo la direttrice che collega il punto del maggior immissario e quello dell'emissario, il rio Silla.

Tabella 2.1 - Dati morfologici grezzi ed elaborati

PARAMETRO	SIMBOLO	UNITA' DI MISURA	VALORE	RIFERIM.
Superficie	S	Km <sup>2</sup>	0.4	Elab ArcviewGIS
Volume	V	mil m <sup>3</sup>	3.14	Tomasi, 2004
Perimetro	P	Km	3.048	Elab. ArcviewGIS
Profondità max	Z <sub>max</sub>	m	18	Tomasi, 2004
Profondità media	Z <sub>m</sub>	m	7.1	Tomasi, 2004
Superficie bacino	Sb	Km <sup>2</sup>	11.6	Elab ArcviewGIS
Sup. bacino/ sup. lago			29	
Indice di sinuosità	D		1.35	
Grado di incavamento	I		0.39	
Sviluppo del volume	Sv		0.436	
Tempo di ricambio	T <sub>w</sub>	anni	0.90	IASMA*

\*IASMA: Istituto Agrario di San Michele all'Adige

## 2.2 Dati chimico-fisici

Come accennato in precedenza, sono stati raccolti dati inerenti le caratteristiche chimiche e fisiche del lago, forniti dall'APPA Trento e riferiti agli ultimi 12 anni. La mole di dati trasmessi è notevole ed i dati stessi spesso risultano ordinati in modo diverso, perciò è stato necessario operare una sintesi dei valori dei parametri più significativi, ai fini di una rappresentazione del processo eutrofico subito dall'ambiente lacustre.

I parametri chimici individuati sono il fosforo totale, l'azoto totale, la conducibilità, l'alcalinità e il contenuto di ioni di ferro e per quanto riguarda i parametri fisici ci si è limitati ai valori di temperatura della colonna d'acqua, al valore della trasparenza in metri di Disco Secchi (DS) e soprattutto al contenuto di ossigeno disciolto in percentuale (OD%), mentre per i dati biologici si è preso in considerazione il contenuto di Clorofilla "a" (CHL) e le presenze di fitoplancton espresse come biovolume, raggruppando le presenze algali secondo i principali gruppi sistematici. I dati così organizzati sono riportati nelle tabelle che seguono.



**Tabella 2.2 - Valori di fosforo totale degli ultimi 12 anni in µg/l ordinati come medie mensili**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009	20,0	25,0								
2010	26,5	29,3	33,3		21,3	156,5	33,3	43,3	43,8	48,4
2011	20,0	20,8	22,0	20,3	32,3	58,5	23,0	34,8	21,3	28,1
2012	26,8	8,3	9,8	29,5	45,0	49,3	33,8	23,3	13,0	26,5
2013		14,8	14,8	21,8	17,8	20,5	19,3	14,3	18,8	17,7
2014	18,0	21,3	22,0	12,5	18,5	23,3	26,8	27,3		21,2
2015		36,0		36,5	36,8	37,0	29,8	29,3	22,0	32,5
2016	22,8	23,5		46,8	31,8	66,0	42,3	37,0		38,6
2017		18,8	31,3	55,8	40,0	53,3	37,5	34,0		38,6
2018		23,8	18,5	21,0	23,8	21,3		32,0		23,4
2019		26,5	29,0	18,8	23,0		23,8	29,5		25,1
2020			22,3		25,5	42,5	52,3		35,5	35,6
media	22,3	22,5	22,5	29,2	28,7	52,8	32,2	30,5	25,7	30,5

**Tabella 2.3 - Valori di azoto totale degli ultimi 12 anni in mg/l ordinati come medie mensili**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009						0,68			0,53	0,68
2010	0,70	0,63	0,68		0,60	1,10	0,60	0,90	1,15	0,74
2011	0,80	0,85	0,60	0,50	0,50	0,55	0,58	0,50		0,61
2012	0,50	0,50	0,55	0,50	0,50	0,58	0,63	0,60	0,60	0,54
2013	0,50	0,60	0,65	0,73	0,60	0,50	0,55	0,53	0,50	0,58
2014	0,50	0,73	0,58	0,50	0,53	0,53	0,53	0,53		0,55
2015		0,50		0,53	0,58	0,65	0,58	0,53	0,50	0,56
2016	0,55	0,53		0,53	0,58	0,60	0,55	0,58		0,56
2017		0,50	0,50	0,58	0,65	0,73	1,05	0,78		0,68
2018		0,60	0,80	0,73	0,68	0,58		0,55		0,65
2019		0,50	0,58	0,55	0,55	0,68	0,83	0,78		0,64
2020										
media	0,59	0,59	0,62	0,57	0,58	0,65	0,65	0,63	0,66	0,62

**Tabella 2.4 - Valori dei ioni di Ferro degli ultimi 12 anni ordinati come medie mensili in mg/l**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009										
2010										
2011	120	126	108	17	25	88	79	146		89
2012	66	75	18	63	39	141	48			64
2013		126	32	87	74	143	91	53	57	83
2014	26	52	142	167	52	51	106			85
2015		31		138	73	49	36	52	74	65
2016	57	28		94	51	123	55	53		66
2017		28	58	801	47	68	36	83		160
2018		55	23	111	61	18		56		54
2019		28	17	53	207		34	46		64
2020			222		251	67	59		106	141
media	67	61	77	170	88	83	60	70	79	87

**Tabella 2.5 - Valori di conducibilità degli ultimi 12 anni ordinati come medie mensili in  $\mu\text{S}/\text{cm}$** 

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009										
2010	124	138	125		128	126	154	128	126	131
2011	120	120	123	124	125	124	123	123	124	123
2012	126	127	128	127	127	126	127	124	124	126
2013		122	116	112	115	117	118	121	121	118
2014	113	113	110	114	115	118	120	121		115
2015		119		119	120	121	124	125	123	122
2016	123	128		124	127	124	120	119		123
2017		125	125	128	123	128	129	132		127
2018		132	135	135	128	125		123		130
2019		122	117	124	125		128	130		124
2020			122		125	119	120		126	122
media	121	125	122	123	123	123	126	124	124	124

**Tabella 2.6 - Valori di alcalinità ( $\text{HCO}_3$ ) degli ultimi 12 anni ordinati come medie mensili in  $\text{mg}/\text{l}$** 

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009						84	81			
2010										
2011	83	83	87	92	93	94	96	101	95	92
2012	99	96	96	98	93	100	103	101	91	97
2013		99	96	96	98	93	100	103	91	97
2014	80	81	81	86	88	89	97	91		87
2015		85		89	94	95	96	99	96	93
2016	96	101		99	96	98				98
2017										
2018										
2019										
2020										
media	89	91	90	93	94	93	95	99	93	94

**Tabella 2.7 - Valori di pH degli ultimi 12 anni ordinati come medie mensili**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2009						8,2			7,3	7,7
2010	7,7	7,9	7,9	8,5	8,4	8,1	7,7	7,2	6,3	7,7
2011	7,5	7,6	7,8	8,1	8,3	8,4	7,9	8,0	7,5	7,9
2012	7,9	7,8	7,7	7,7	8,2	8,3	8,2	7,7	7,8	7,9
2013		7,4	7,6	8,2	8,4	8,0	8,0	7,6	7,8	7,9
2014	7,9	8,1	7,8	8,2	8,1	7,9	7,7	7,8		7,9
2015		8,1		7,8	8,3	8,2	7,5	7,8	7,9	7,9
2016	7,9	8,1		7,9	8,3	8,4	8,1	7,9		8,1
2017		8,2	8,3	8,3	8,5	8,3	7,6	8,0		8,2
2018		7,7	8,4	8,6	8,2	8,3		7,8		8,2
2019		8,1	8,6	8,4	8,2		8,3	7,6		8,2
2020			8,3		7,8	8,3	8,6		7,2	8,0
media	7,8	7,9	8,0	8,2	8,2	8,2	7,9	7,7	7,4	8,0



La scelta dei parametri è stata effettuata sulla base della loro importanza come fonte di informazione sullo stato di trofia del lago, in particolare i valori di azoto e soprattutto il fosforo (in quanto nutrienti) quali elementi caratterizzanti l'eutrofia del corpo d'acqua.

Il fosforo attiva ed incentiva la proliferazione delle alghe planctoniche, generando un calo dell'ossigeno disciolto che si manifesta *in primis* negli strati più profondi.

Il ferro può legarsi con lo ione ortofosfato sia in forma ridotta ( $Fe^{++}$ ) che ossidata ( $Fe^{+++}$ ) con la differenza che la forma ridotta determina un fosfato solubile e quindi utilizzabile, mentre la forma ossidata crea un sale fosfatico insolubile, che rimane sequestrato nei limi di fondo e non viene messo a disposizione degli utilizzatori fitoplanctonici.

La conducibilità e l'alcalinità sono parametri che possono dare informazioni sulla capacità chimica di tamponare le acque e quindi anche sulla possibilità che ha il lago di attivare una naturale resilienza.

Accanto a queste elaborazioni sono state messe a confronto le sommatorie dei contenuti di anioni e cationi nell'ambito dei 13 anni di dati (Tabella 2.8).

**Tabella 2.8 - Presenza media nei 13 anni di cationi e anioni espressi in milliequivalenti (mEq) e loro percentuale rispetto alla somma anioni e cationi**

	mEq	%		mEq	%
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,505	49,8	Ca	0,835	27,7
Cl <sup>-</sup>	0,115	3,8	Mg	0,227	7,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,006	0,2	Na	0,183	6,0
SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	0,106	3,5	K	0,027	0,9
F <sup>-</sup>	0,011	0,6	NH <sub>4</sub>	0,006	0,2
totale	1,743	38,6	totale	1,277	61,4

Tra gli anioni prevale fortemente la presenza dei bicarbonati con quasi il 50%, mentre tra i cationi il Calcio è il più presente con il 27%.

Il bilancio è fortemente spostato verso gli anioni e non è trascurabile la differenza: è probabile che giochi un ruolo anche il ferro che qui non è rappresentato e che deriva dalla solubilizzazione della forma ridotta.

Comunque, malgrado tali differenze, il lago sembra avere una accettabile azione tampone sebbene non vi siano nel bacino grosse formazioni carbonatiche, fatto questo evidenziato anche dalla relativamente bassa conducibilità che si mantiene intorno ai 124  $\mu$ S/cm. Anche il pH si comporta di conseguenza attestandosi intorno a pH=8, rilevando un leggero calo negli ultimi anni fino ad arrivare a pH=7,4 denunciando un aumento leggero degli idrogenioni,

soprattutto verso il fondo, dove possono probabilmente avviarsi processi anaerobici demolitivi. Basta infatti una leggera produzione di anidride carbonica, solfuri, e acidi organici per spostare di qualche decimale il pH.

A conferma di quanto detto si riporta la regressione tra il contenuto di calcio e il valore della alcalinità processata su valori dell'intero periodo di 13 anni.

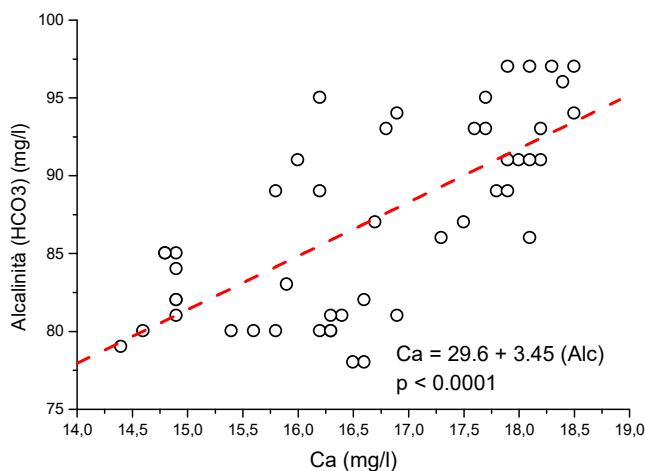
Come si vede dalla Figura 2.3 esiste una buona correlazione espressa dalla relazione:

$Ca = 29.8 + 3.45 (alc)$  con una significatività piuttosto elevata ( $p < 0.0001$ ).

Ciò indica che nel lago si verifica una notevole precipitazione dei carbonati di calcio che può essere rappresentata dalla seguente reazione:



La sottrazione della anidride carbonica liberata parte della frazione fitoplanctonica, soprattutto nei mesi caldi, per l'aumentata attività fotosintetica, questa provoca lo spostamento a destra dell'equilibrio dinamico con precipitazione dei carbonati.



**Figura 2.3 - Relazione tra presenza di calcio e alcalinità**

### 2.3 Dati limnologici

Accanto ai dati chimici sono stati raccolti anche i dati prettamente limnologici, come la trasparenza, determinata con Disco Secchi (DS), e il contenuto di Clorofilla "a" (CHL), che si possono osservare in Tabella 2.9 e in Tabella 2.10 rispettivamente. Nella Tabella 2.10 si riportano i valori delle medie del periodo indagato per entrambi i parametri.



**Tabella 2.9 - Valori di Disco Secchi in metri degli ultimi 13 anni ordinati come medie mensili**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	se	ott	nov
2008	3,2	3,0	6,0	4,2	2,5	1,4	5,0	5,4	4,8
2009	3,4	3,8	5,7	4,5	1,0	4,5	2,0	2,5	4,0
2010	2,7	5,2	4,6		2,5	0,7	2,0	2,6	1,8
2011	3,8	1,8	3,0	2,1	3,0	1,3	1,8	4,5	3,5
2012	4,0	4,6	3,0	4,7	2,0	2,0	2,5	2,0	1,2
2013		2,5	3,7	2,0	2,6	1,6	2,4	2,5	2,3
2014	2,8	4,1	3,0	3,5	2,5	3,5	3,5	2,0	
2015		2,6		5,1	1,5	2,5	4,0	3,6	2,5
2016	2,5	3,0		3,6	3,0	2,5	1,7	1,7	
2017		3,6	3,6	3,5	1,0	0,6	2,0	3,5	
2018		4,0	3,5	3,0	3,0	2,6		1,2	
2019		2,0	2,0	1,9	1,8		0,9	2,5	
2020			4,0		2,1	1,0	0,5	3,8	

I valori riportati in tabella evidenziano quanto segue: i valori di massima trasparenza si verificano essenzialmente in primavera (apr-mag) come normale, dopodiché con l'aumentare della temperatura aumenta anche la frazione di fitoplancton che determina il calo di trasparenza. Infatti i minimi si registrano tra luglio e agosto con qualche punta minima in settembre. Particolari sono invece i minimi registrati in ottobre del 2016 e 2018, forse dovuti ad un protrarsi della bella stagione, mentre difficile da spiegare il minimo di 1,2 metri di novembre del 2012.

**Tabella 2.10 - Valori CHL"a" in mg/l degli ultimi 13 anni ordinati come medie mensili**

	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	media
2008	14,0	14,3	3,0	2,9	7,2	14,8	3,7	3,9	6,2	7,8
2009	10,6	5,1	6,0	12,5	33,7	3,9	18,2	23,7	13,0	10,9
2010	20,9	27,1	12,0	12,9	13,0	19,9	9,8	8,2	3,9	14,1
2011	6,3	7,4	10,3	22,6	17,4	32,6	12,1	31,2	7,5	15,3
2012	23,6	8,7	4,3	7,7	17,1	23,2	51,7	13,1	31,0	18,2
2013		5,8	8,5	15,1	28,5	9,9	16,7	20,8		17,9
2014	19,9	22,0	21,1	8,2	41,4	72,5	25,6	6,5		21,5
2015		22,5		3,2	16,5	15,2	9,9	7,1	16,9	20,6
2016	12,1	17,4		6,4	10,6	37,0	22,6	37,4		16,8
2017		22,0	21,1	8,2	41,4	72,5	25,6	6,5		24,3
2018		18,2	20,1	6,4	14,2	20,4		55,9		25,6
2019		25,0	31,9	10,1	11,8		39,8	16,5		22,5
2020			7,7		4,6	52,2	46,4		2,3	22,6

La trasparenza è legata alla massa fitoplanctonica in forma inversamente proporzionale, infatti osservando le due tabelle sopra riportate si nota che al calar della trasparenza si afferma un aumento del contenuto di clorofilla e viceversa.

La Tabella 2.11 riporta in forma sinottica le medie dei 13 anni dei dati limnologici esposti sopra e utilizzati per creare una matrice di correlazione che si osserva nella Tabella 2.12.

Come si può osservare gli unici parametri che sono correlati fra loro sono quelli riferiti alla trasparenza, al contenuto di clorofilla e di fosforo totale (numeri rossi). Il Disco Secchi è, giustamente, correlato negativamente con la clorofilla e con il contenuto di fosforo totale, mentre questi ultimi sono correlati positivamente tra loro.

**Tabella 2.11 - Valori medi dei parametri sopra esposti degli ultimi 13 anni**

	DS	CHL	Ptot	Ntot	Fe	cond	alc	pH
mar	3,2	15,3	22,3	0,59	67,2	121	89,4	7,8
apr	3,4	16,3	22,5	0,59	60,8	125	90,8	7,9
mag	3,8	13,3	22,5	0,62	77,4	122	90,3	8,0
giu	3,5	9,7	29,2	0,57	170,1	123	93,3	8,2
lug	2,2	19,8	28,7	0,58	88,0	123	93,5	8,2
ago	2,0	31,2	52,8	0,65	82,8	123	93,2	8,2
set	2,4	23,5	32,2	0,65	60,2	126	95,4	7,9
ott	2,9	19,2	30,5	0,63	69,7	124	98,9	7,7
nov	2,9	11,5	25,7	0,66	78,8	124	93,3	7,4

**Tabella 2.12 - Matrice di correlazione dei dati limnologici degli ultimi 12 anni**

	DS	CHL	Ptot	Ntot	Fe	cond	alc	pH
DS	1,00	-0,80	-0,71	-0,40	0,23	-0,30	-0,44	-0,22
CHL		1,00	0,82	0,46	-0,41	0,20	0,31	0,39
Ptot			1,00	0,45	0,08	0,04	0,35	0,43
Ntot				1,00	-0,49	0,39	0,34	-0,42
Fe					1,00	-0,25	0,02	0,39
cond						1,00	0,63	-0,16
alc							1,00	-0,09
pH								1,00

Viste le risultanze della matrice di correlazione sopra esposta, le analisi previste nei capitoli successivi punteranno solo su questi tre parametri.

Le correlazioni tra i tre parametri sono illustrate nelle successive figure (Figura 2.4, Figura 2.5 e Figura 2.6) e sono definite dalle relazioni matematiche seguenti in cui sono espressi i livelli di significatività statistica:

$$DS = 43.3 - 8.74 (CHL) \quad p < 0.008$$

$$DS = 62.04 - 11.1 (Ptot) \quad p < 0.03$$

$$CHL = 8.73 + 1.17 (Ptot) \quad p < 0.006$$

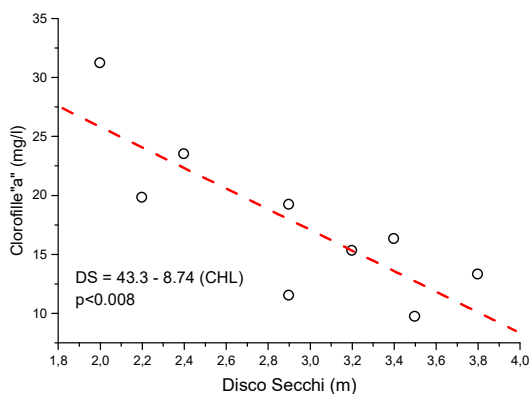


Figura 2.4 – Espressione della regressione tra Trasparenza (DS) e contenuto di clorofilla (CHL)

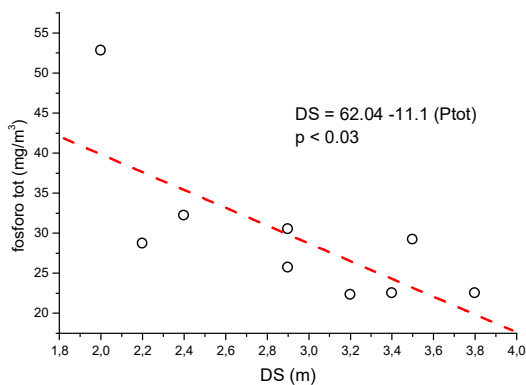


Figura 2.5 – Espressione della regressione tra Trasparenza (D) e contenuto di fosforo totale (Ptot)

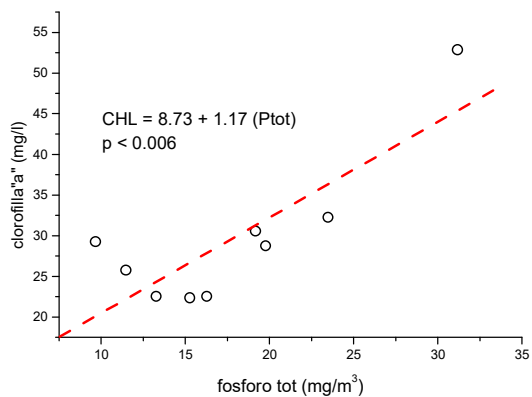


Figura 2.6 - Espressione della regressione tra i contenuti di clorofilla (CHL) e fosforo totale (Ptot)



La caratterizzazione delle tipicità di un lago si basano anche sulla struttura e massa della frazione fitoplanctonica, espressa come numero totale specie, numero di cellule per litro e biovolume. Nelle tabelle in appendice si possono osservare i valori della comunità fitoplanctonica dal 2008 ad oggi.

Nel nostro caso è interessante esaminare il biovolume delle singole specie algali. Il biovolume algale è un parametro che permette di stimare la produttività di un ecosistema lacustre in termini di comunità fitoplanctonica e di conseguenza ottenere valutazioni sullo stato trofico e porle in relazione con altri metodi di valutazione basati sui parametri classici, ovvero CHL (Clorofilla), DS (Disco Secchi) e Ptot (Fosforo totale). La differenziazione della trofia è determinata secondo le forme di valutazione di Hakanson e Willen, che considerano le medie dei biovolumi del periodo vegetativo (maggio-ottobre), mentre la classificazione di Rott si basa sulle medie dei biovolumi mensili di un anno.

Condensando i valori illustrati in appendice sono state elaborate le medie mensili dei biovolumi dal 2008 al 2019, espressi in  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ , utilizzate poi per esprimere un giudizio sullo stato trofico dell'ultimo periodo.

Così operando si nota che il lago di Serraiia è considerabile come eutrofico (Tabella 2.13, Tabella 2.14, Tabella 2.15, Tabella 2.16, Tabella 2.17, Tabella 2.18, Tabella 2.19, Tabella 2.20, Tabella 2.21 e Figura 2.7).

**Tabella 2.13 - Bacillariophyceae: biovolumi (in  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

bac	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
<b>2008</b>	3087	139	65	51	657	206	91	106	99
<b>2009</b>	242	83	184	206	868	61	230	321	221
<b>2010</b>	512	529	150	-	344	577	130	169	74
<b>2011</b>	95	177	114	135	207	2021	205	1068	143
<b>2012</b>	1008	136	93	71	539	779	-	237	411
<b>2013</b>	-	188	141	431	344	128	761	331	394
<b>2014</b>	447	450	395	76	194	158	106	186	-
<b>2015</b>	-	232	-	53	-	193	282	154	386
<b>2016</b>	416	180	-	102	139	958	611	879	-
<b>2017</b>	-	216	192	121	-	-	-	-	-
<b>2018</b>	-	9	110	44	26	18	-	56	-
<b>2019</b>	-	5	64	44	120	-	0	96	-

**Tabella 2.14 - Chlorophyta: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

chlo	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	22,8	12,8	59,0	29,3	178,3	18,8	6,3	36,2	10,5
2009	0,9	1,6	20,6	20,0	369,8	109,8	692,0	123,1	1,1
2010	0,3	3,0	19,7	-	940,2	1998,3	10,4	12,4	2,4
2011	0,5	3,4	10,2	22,2	369,2	20,7	189,8	45,3	10,3
2012	6,4	16,2	7,8	3,7	53,8	241,7	-	6,6	1,8
2013	-	0,1	3,4	6,1	85,0	230,2	19,1	14,2	0,4
2014	0,2	1,7	1,8	42,9	58,5	19,3	19,9	32,6	-
2015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2016	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2018	-	1,0	0,4	1,3	15,1	601,5	-	50,5	-
2019	-	4,0	9,0	38,7	0,3	-	6,0	1,9	-

**Tabella 2.15 - Chrysophyceae: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

chris	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	7,1	22,0	8,8	5,1	14,8	20,9	-	17,2	8,8
2009	6,9	74,7	2,1	44,5	-	14,8	0,9	31,6	803,7
2010	54,7	12,5	25,3	-	18,3	1,0	1,1	10,2	3,4
2011	0,1	53,3	3,0	415,0	543,5	-	-	-	8,5
2012	5,4	39,6	3,0	13,2	51,1	287,3	-	25,1	0,9
2013	-	490,4	248,6	39,9	6,7	18,3	0,2	535,4	0,7
2014	604,4	27,3	178,5	20,4	88,8	313,7	3,6	35,8	-
2015	-	55,9	-	2,1	-	34,6	111,7	59,4	6,6
2016	13,0	8,2	-	5,7	37,7	24,4	114,1	16,2	-
2017	-	15,1	10,2	0,0	-	-	-	-	-
2018	-	13,9	17,4	89,6	63,3	54,6	-	18,3	-
2019	-	217,3	141,5	228,1	34,6	-	80,8	94,4	-

**Tabella 2.16 - Cryptophyceae: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

cryp	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	970,8	715,9	326,6	131,0	24,2	60,0	178,1	621,1	593,0
2009	1435,8	151,9	314,4	991,0	94,6	87,2	403,9	215,3	606,4
2010	2836,1	3640,4	965,6	-	150,6	276,9	856,1	763,1	368,6
2011	522,8	468,0	412,0	128,0	28,3	21,6	124,8	126,7	914,2
2012	5938,0	684,0	253,3	231,8	58,4	39,7	-	22,4	64,5
2013	-	29,0	271,2	136,9	1182,2	28,0	117,1	205,6	67,6
2014	1083,7	2514,1	778,7	117,2	65,2	160,8	58,1	335,8	-
2015	-	612,2	-	139,1	-	49,7	132,0	76,5	54,3
2016	956,0	1083,0	-	210,2	117,4	38,0	152,3	96,9	-
2017	-	1164,0	987,1	72,6	-	-	-	-	-
2018	-	291,9	277,4	71,7	60,8	41,1	-	69,8	-
2019	-	186,1	89,4	28,7	24,1	-	56,4	120,3	-

**Tabella 2.17 - Cyanophyta: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

cyan	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	-	1,3	0,1	7,0	221,8	735,9	188,2	7,0	53,2
2009	1,5	0,6	7,0	66,2	2619,3	11,5	317,5	1781,0	0,1
2010	-	1,3	1,0	-	461,0	6,8	5,9	1,8	0,8
2011	0,1	-	0,0	11,2	68,7	253,8	306,1	1265,6	2,6
2012	-	-	0,1	16,2	31,3	51,4	-	662,3	6,0
2013	-	2,1	1,0	4,0	17,8	40,2	313,0	6,9	4,9
2014	-	0,1	0,2	18,5	25,6	100,6	500,1	771,8	-
2015	-	1,5	-	10,2	-	30,2	1232,8	171,2	584,0
2016	0,1	3,6	-	1,9	180,6	26,7	355,6	50,1	-
2017	-	-	4,0	10,1	-	-	-	-	-
2018	-	1,8	2,0	1,1	1,8	0,2	-	0,9	-
2019	-	0,0	0,3	1,2	89,3	-	433,1	1,3	-

**Tabella 2.18 - Dinophyceae: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

dino	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	3,7	6,3	1,8	5,9	153,0	400,0	142,2	5,5	0,1
2009	3,7	0,1	2,5	66,4	53,4	28,7	1,1	4,3	5,7
2010	121,8	2,9	0,1	-	322,3	326,2	18,5	-	-
2011	0,2	-	2,0	133,0	307,8	4623,4	501,2	1421,1	1,8
2012	1,4	9,0	29,7	132,0	1490,3	4788,9	-	46,9	1,4
2013	-	4,9	16,2	72,1	7,9	157,4	141,2	18,4	4,9
2014	2,5	8,2	27,0	81,6	701,9	357,5	2,0	1,2	-
2015	-	1,5	-	9,9	-	377,1	241,2	36,0	9,0
2016	1,9	4,5	-	1,4	284,9	5861,1	689,8	235,3	-
2017	-	3,5	46,9	141,1	-	-	-	-	-
2018	-	36,7	-	3,5	349,2	148,5	-	22,5	-
2019	-	16,5	4,6	5,9	2,7	-	17,9	1,6	-

**Tabella 2.19 - Euglenophyta: biovolumi (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) 2008-2019 ordinati come medie mensili**

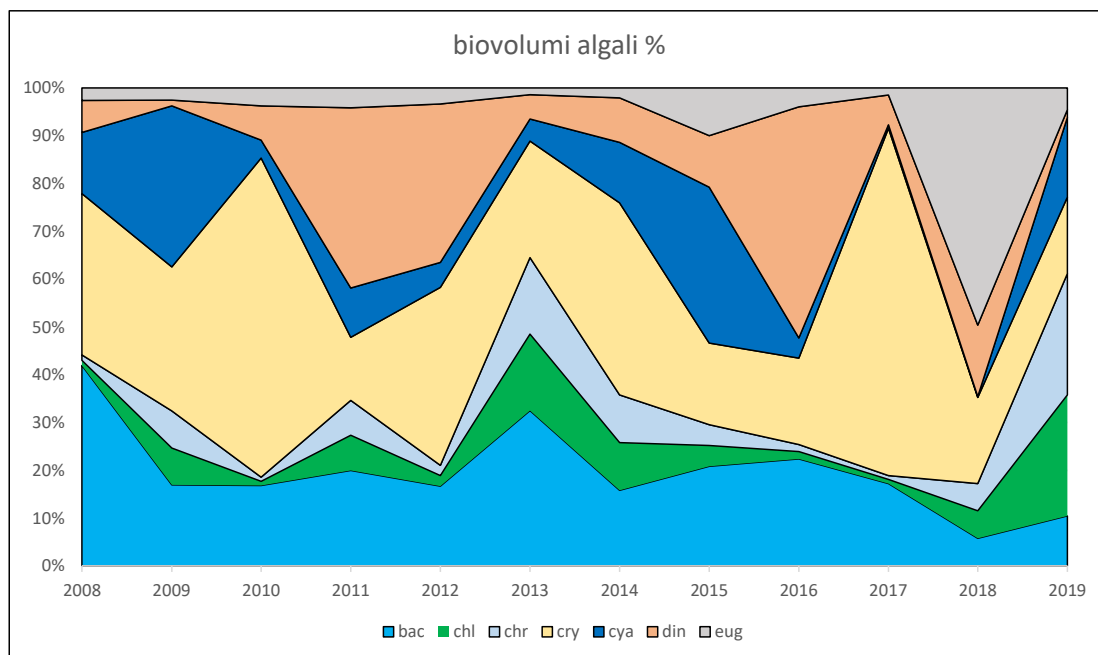
eugle	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov
2008	67,5	68,7	54,6	68,0	10,2	5,3	0,7	1,2	5,6
2009	14,0	60,0	107,6	89,6	12,3	36,0	3,9	18,5	18,6
2010	42,8	31,1	38,1	-	105,1	41,1	11,7	223,0	64,1
2011	140,0	107,7	365,8	122,4	92,2	10,1	0,4	1,4	17,5
2012	80,5	55,7	294,4	62,5	123,2	6,6	-	31,9	3,0
2013	-	3,3	3,3	7,5	3,6	14,4	44,1	8,5	34,0
2014	1,0	2,9	39,6	24,3	181,6	4,0	1,9	6,3	-
2015	-	46,4	-	7,5	-	301,3	58,6	92,1	112,7
2016	0,7	4,6	-	32,0	41,5	129,7	107,5	269,1	-
2017	-	1,3	6,9	36,0	-	-	-	-	-
2018	-	52,3	58,1	26,1	34,9	22,0	-	2042,5	-
2019	-	45,7	5,2	8,7	0,8	-	63,9	18,6	-

**Tabella 2.20 - Biovolumi medi annuali (in mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) dei principali raggruppamenti sistematici**

	bac	chl	chr	cry	cya	din	eug
2008	500,0	13,1	13,1	402,3	151,8	79,8	31,3
2009	268,4	122,4	122,4	477,8	533,9	18,4	40,1
2010	310,5	15,8	15,8	1232,2	68,4	132,0	69,6
2011	462,7	170,6	170,6	305,2	238,5	873,8	95,3
2012	409,2	53,2	53,2	911,5	127,9	812,5	82,2
2013	339,9	167,5	167,5	254,7	48,7	52,9	14,8
2014	251,6	159,1	159,1	639,2	202,4	147,7	32,7
2015	216,7	45,1	45,1	177,3	338,3	112,5	103,1
2016	469,2	31,3	31,3	379,1	88,4	1011,3	83,6
2017	176,3	8,4	8,4	741,2	7,1	63,8	14,7
2018	43,8	42,8	42,8	135,4	1,3	112,1	372,6
2019	54,8	132,8	132,8	84,2	87,5	8,2	23,8

**Tabella 2.21 - Biovolumi medi annuali in % dei principali raggruppamenti sistematici**

	bac	chl	chr	cry	cya	din	eug
2008	42,0	1,1	1,1	33,8	12,7	6,7	2,6
2009	17,0	7,7	7,7	30,2	33,7	1,2	2,5
2010	16,8	0,9	0,9	66,8	3,7	7,2	3,8
2011	20,0	7,4	7,4	13,2	10,3	37,7	4,1
2012	16,7	2,2	2,2	37,2	5,2	33,2	3,4
2013	32,5	16,0	16,0	24,3	4,7	5,1	1,4
2014	15,8	10,0	10,0	40,2	12,7	9,3	2,1
2015	20,9	4,3	4,3	17,1	32,6	10,8	9,9
2016	22,4	1,5	1,5	18,1	4,2	48,3	4,0
2017	17,3	0,8	0,8	72,7	0,7	6,3	1,4
2018	5,8	5,7	5,7	18,0	0,2	14,9	49,6
2019	10,5	25,3	25,3	16,1	16,7	1,6	4,5



**Figura 2.7 - Biovolumi medi annuali in % dei principali raggruppamenti sistematici**

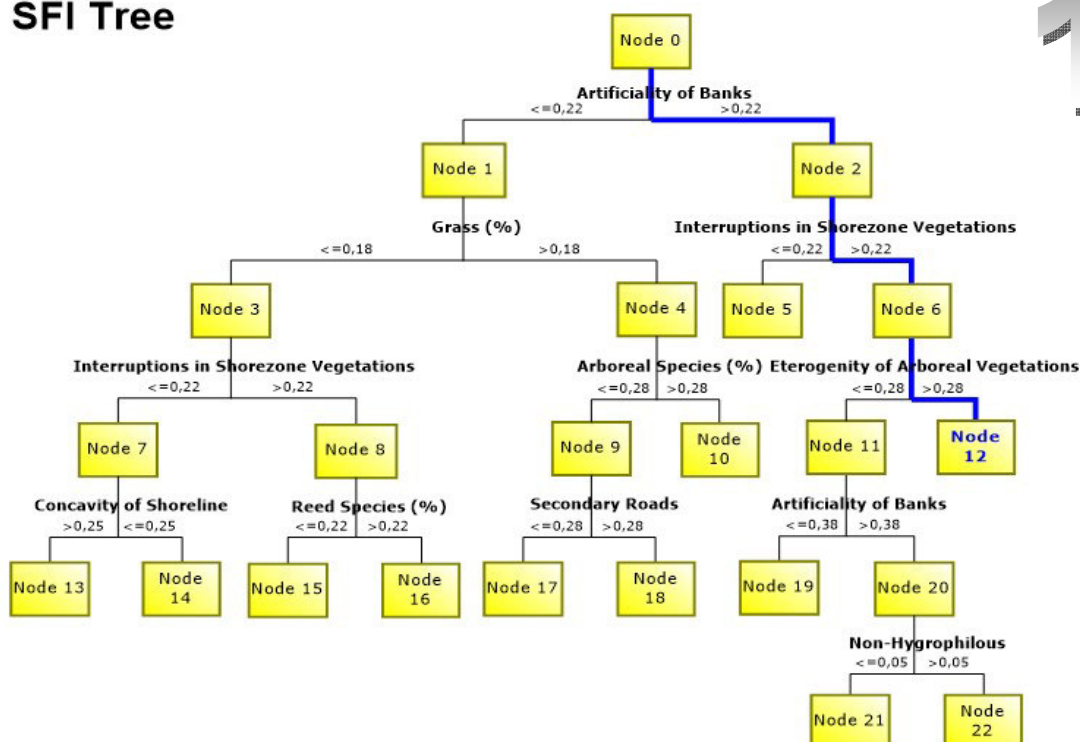


## 2.4 Dati ecofunzionali

Il lago di Serraià è stato oggetto anche di applicazione del *Shorezone Functionality Index* (SFI) conosciuto anche come *Indice di Funzionalità Perilacuale* (IFP). Tale indice è stato ideato per caratterizzare le rive degli specchi lacustri come elementi in grado di esercitare la funzione tampone nei confronti dei nutrienti provenienti dal territorio circostante.

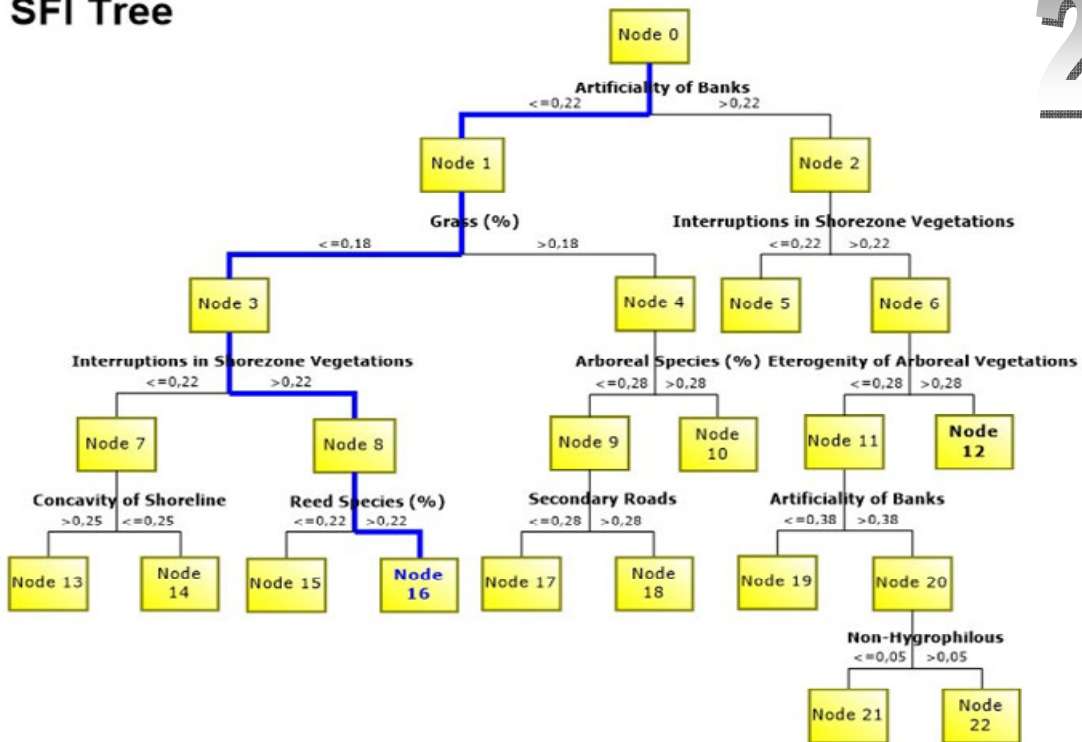
I dati, reperiti sul sito dell'Appa Trento, sono stati processati utilizzando il software SFINX2 gratuitamente scaricabile dal sito dell'APPA, per la soluzione del SFI tree, producendo il risultato in classi di efficacia poste in percentuale. Nella Figura 2.8 sono riportati i risultati SFI tree per le singole tratte di applicazione del metodo, ordinati in ordine crescente dall'1 al 9. La Figura 2.9 rappresenta le capacità del lago di esercitare la funzione tampone dei nutrienti: si può notare che il 26% della lunghezza delle rive sono state classificate come mediocri (classe III, giallo), il 27% come scadenti (classe IV, arancio), mentre il 47% come buone (classe II, verdi), nessun tratto è stato giudicato come eccellente (classe I) ma nemmeno come pessimo (classe V). La funzionalità perilacuale è illustrata nella mappa riportata in Figura 2.10, mentre in appendice sono consultabili le schede dei singoli tratti.

SFI Tree



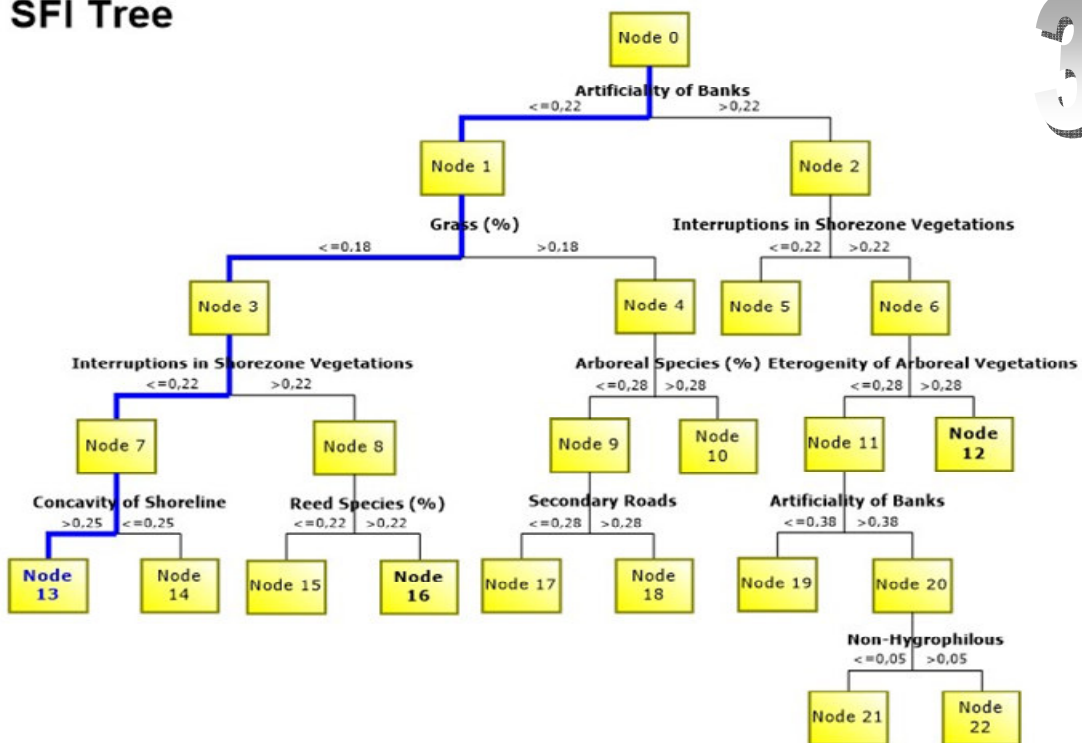
### SFI Tree

2



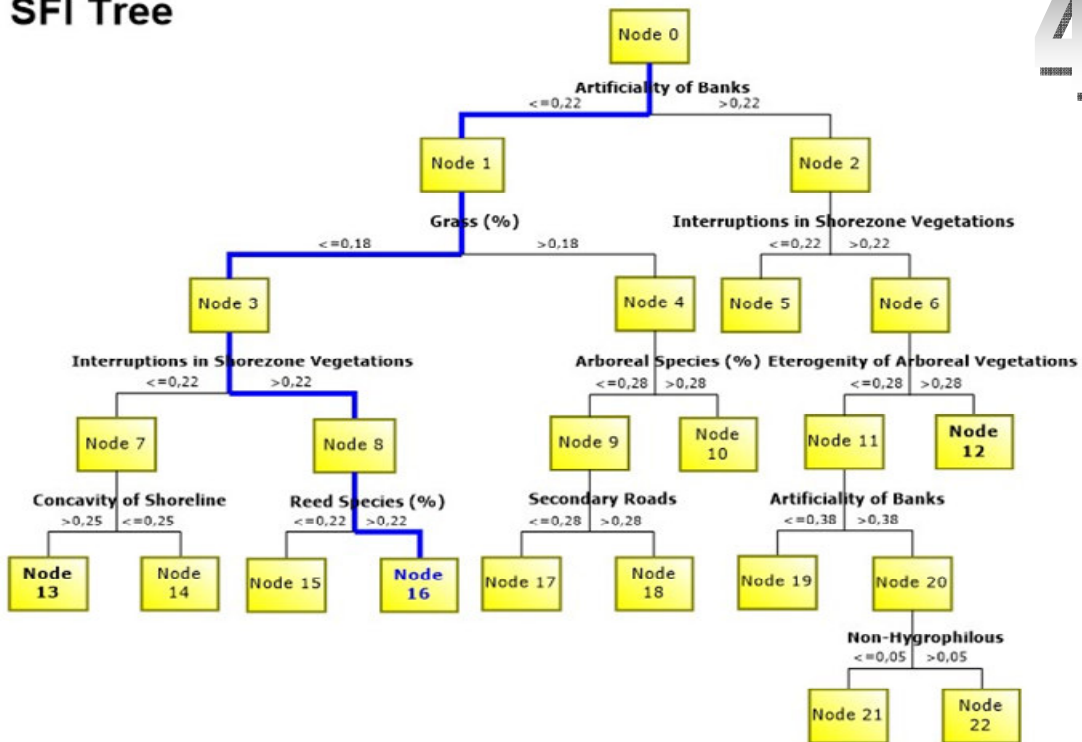
### SFI Tree

3

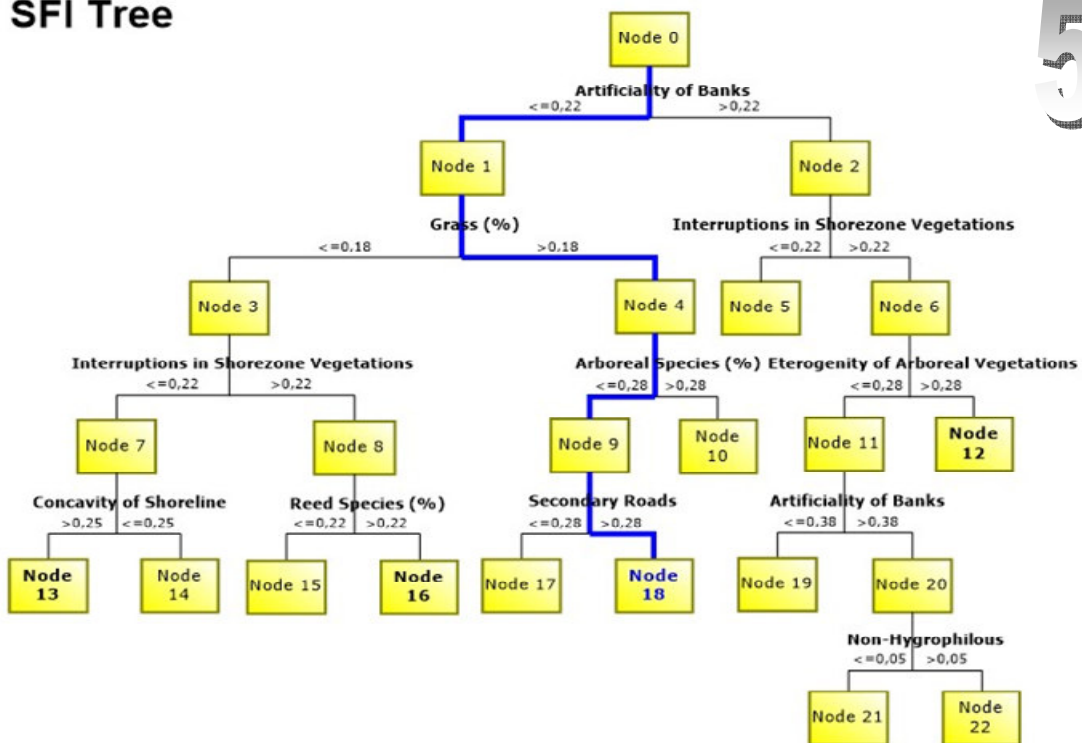


4

### SFI Tree



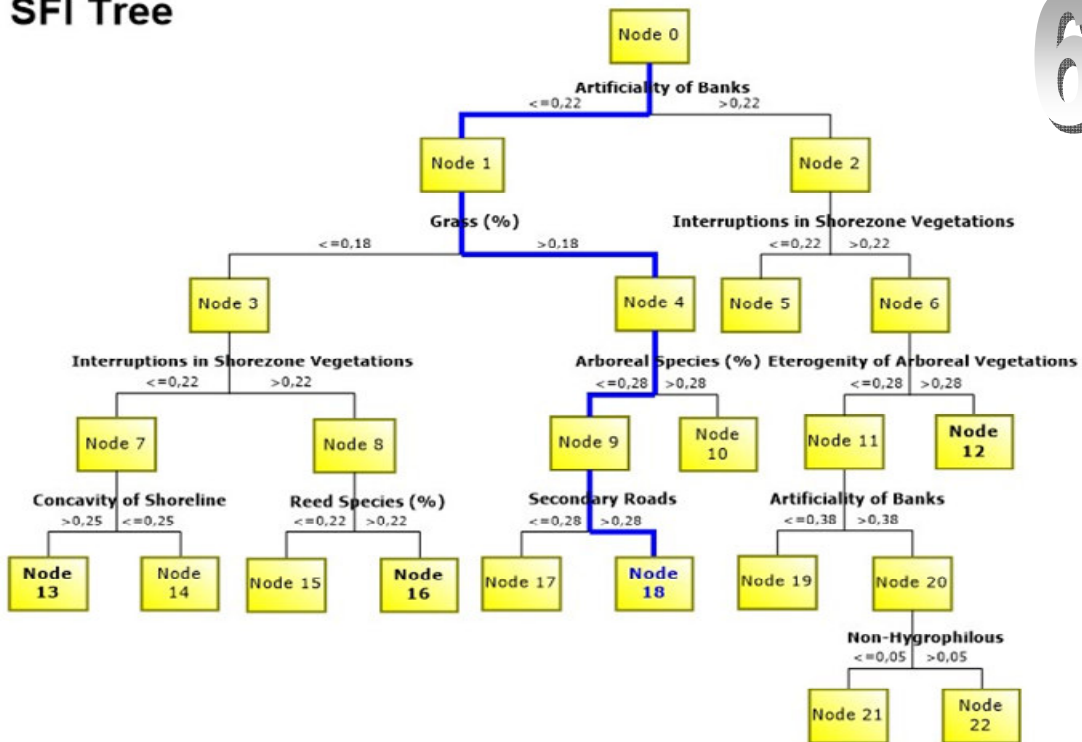
### SFI Tree



5

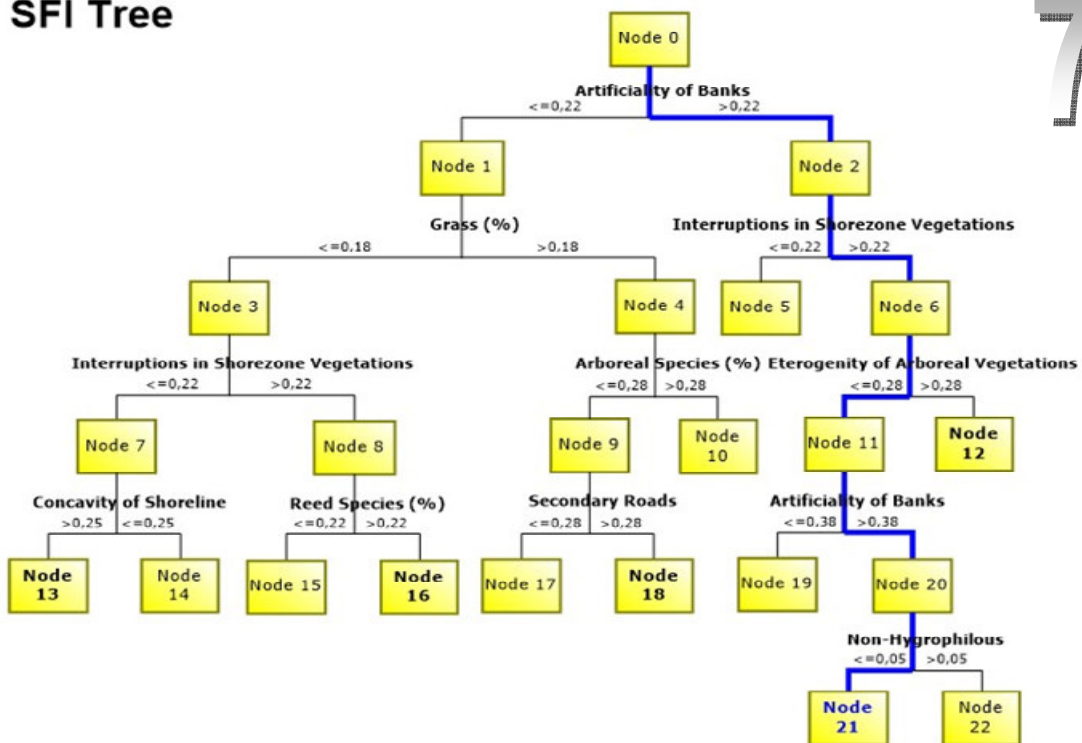
### SFI Tree

6



### SFI Tree

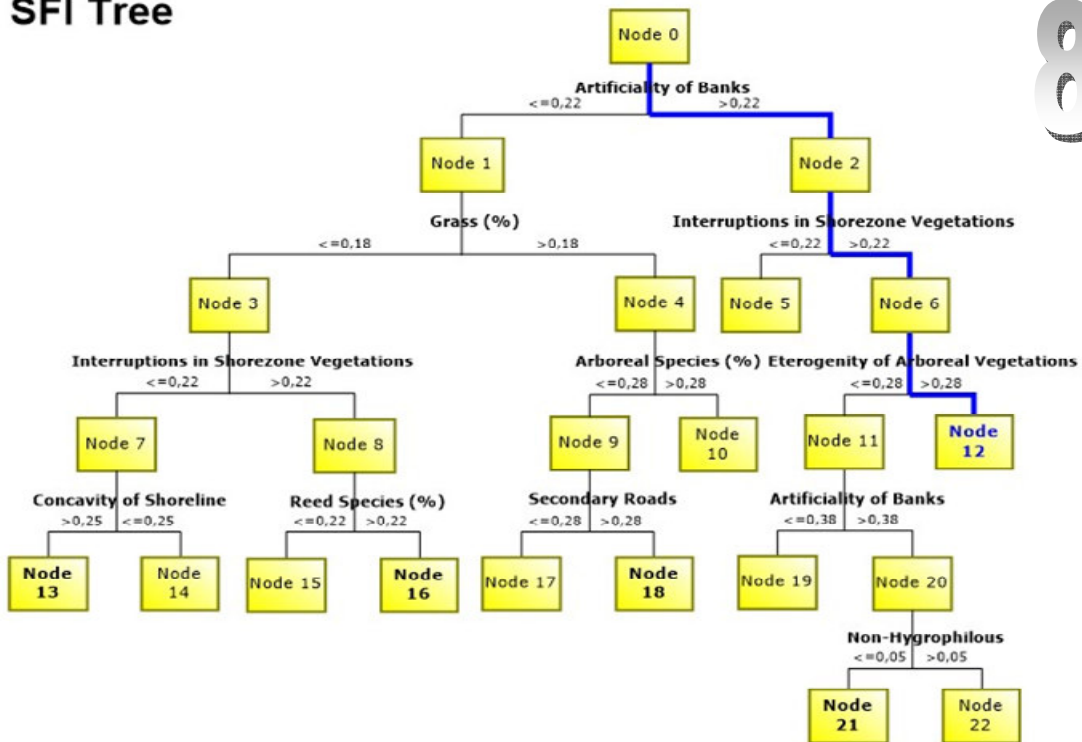
7





### SFI Tree

8



### SFI Tree

9

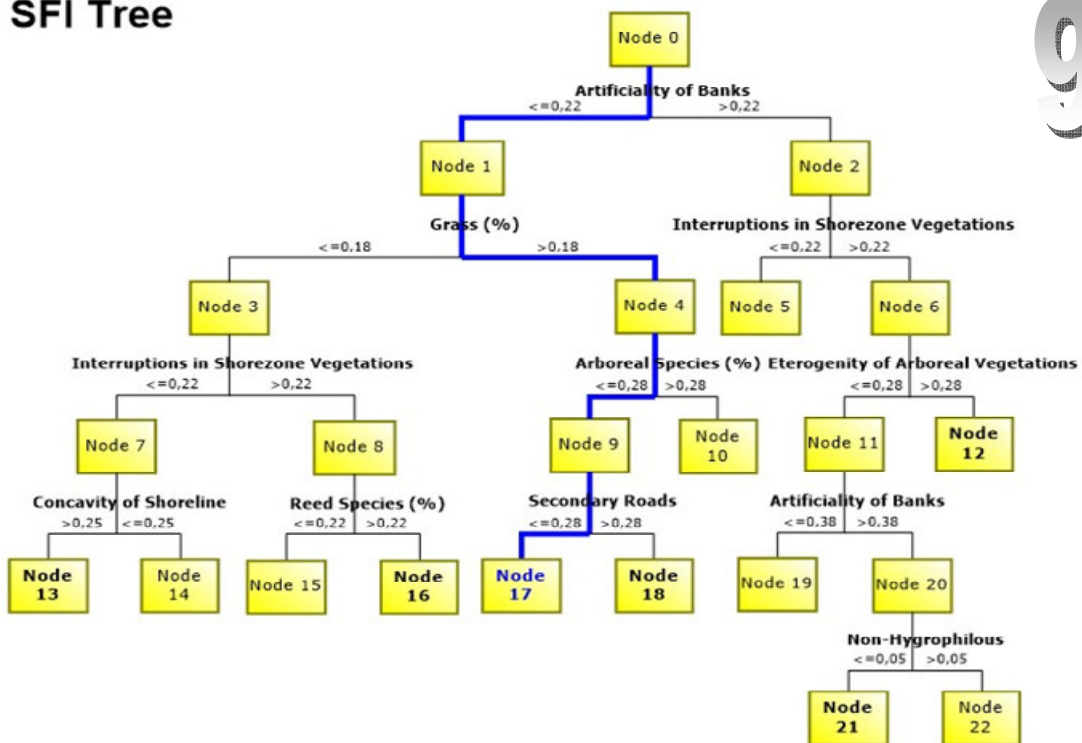


Figura 2.8 – soluzione del SFI tree tramite software SFINX2 per ogni tratto omogeneo.

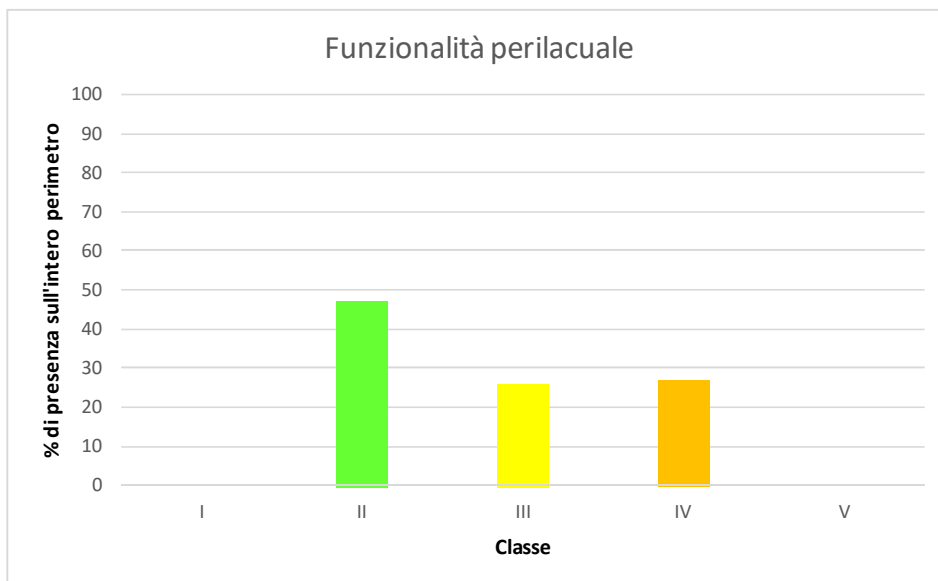


Figura 2.9 – Percentuale delle classi di funzionalità perilacuale

Il risultato dell'applicazione dell'SFI indicano chiaramente che il lago è scarsamente dotato di capacità tampone dei nutrienti (azoto e fosforo) per la mancanza, in buona parte, di una funzionale fascia vegetale perilacuale, quindi risulta essere esposto alla ricezione degli apporti di fosforo e azoto promotori del processo di eutrofizzazione.

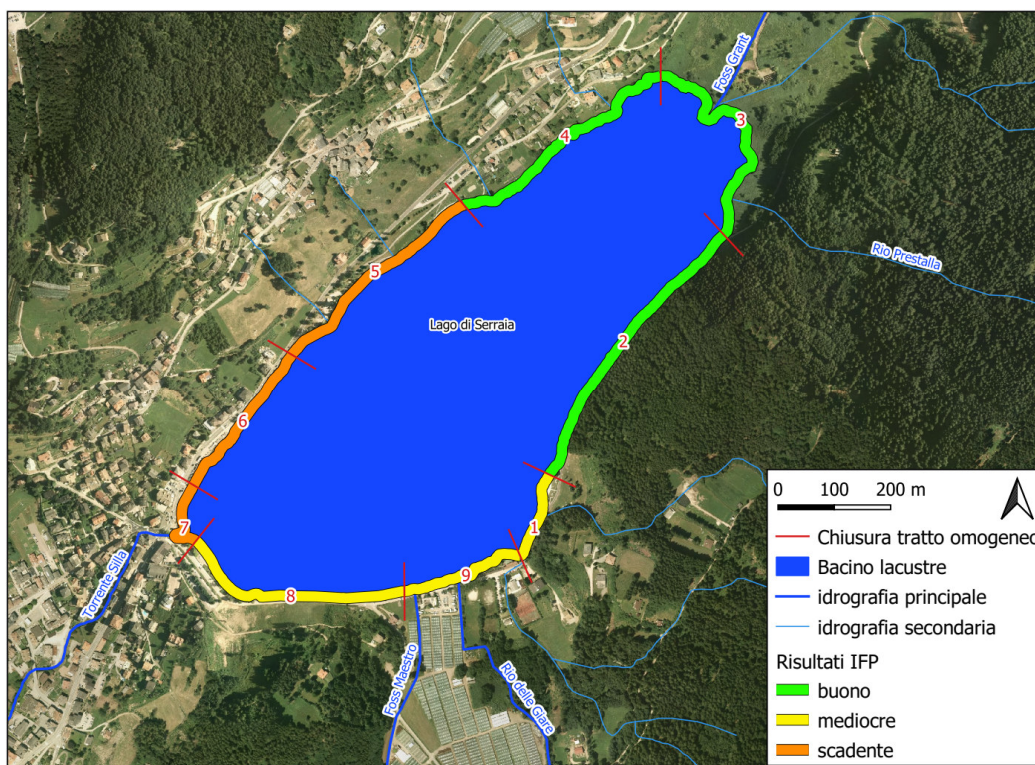


Figura 2.10 - Mappa della funzionalità perilacuale

### 3 ANALISI DEI RISULTATI E STIMA DEL TREND

Quando si vuole conoscere l'andamento di un fenomeno si fa ricorso alla determinazione della retta di tendenza o semplicemente del trend, tuttavia l'esperienza ci insegna che sul lungo periodo il trend può essere ingannevole. I modellisti fanno ricorso ad equazioni che descrivono il processo supportato da un numero consistente di dati; questi modelli sono sempre più accurati, sofisticati e affidabili, ma necessitano di una quantità di tempo e lavoro non certo compatibili col nostro incarico.

Nel nostro caso ci si accontenta di rette di tendenza che, però, devono essere rese affidabili nelle previsioni future. A questo proposito ci viene in aiuto una metodologia abbastanza semplice ma robusta conosciuta come "esponente di Hurst" descritto in seguito.

Lo studio dei moti browniani ha accertato che una particella erratica percorre un tragitto che è funzione della radice del tempo ed è alla base della relazione che Hurst ha elaborato ed ha la particolarità di definire i trend sulla base del ricordo dei dati, dove il valore R/S tra Range e Deviazione Standard ricorda la RRS (*Rescaled Range Analysis*). In pratica la relazione è la seguente:

$$\frac{R}{S} = k * t^H$$

Dove

R = differenza tra max e min della sommatoria cumulata degli scarti dalla media

S = deviazione standard

k = costante

t = tempo

H = esponente di Hurst

In generale R/S cresce all'aumentare di t secondo una legge esponenziale in funzione di H. Nel caso delle serie storiche il fattore di scala è rappresentato da intervalli di tempo che crescono in ampiezza. Ogni osservazione sembra conservare memoria degli eventi passati e dei loro effetti che potrebbero influenzare gli eventi futuri basati sul concetto di flusso di circostanze in interconnessione tra loro.

L'esponente di Hurst permette la classificazione di serie storiche in funzione del valore di H, permettendo di distinguere se una serie di dati che sembra avere un processo casuale (*random walk*) rispetto ad un'altra serie che non si può definire propriamente di tipo *random walk*.

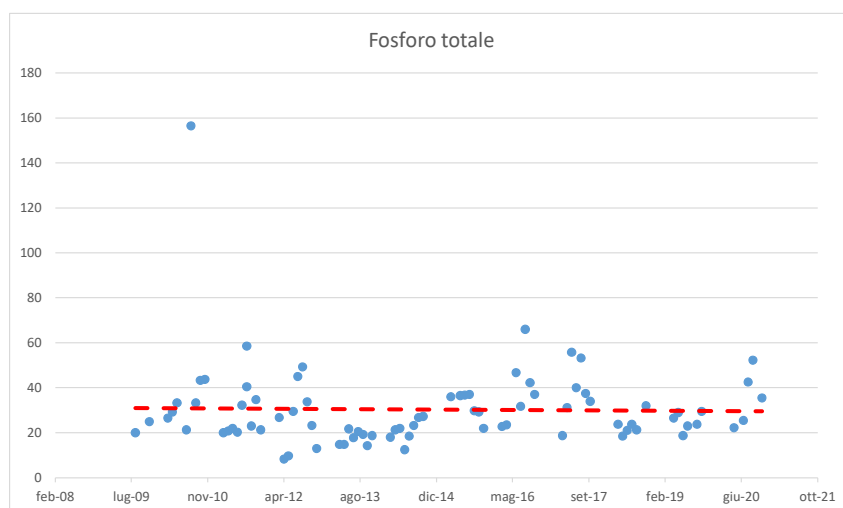
Il metodo, inoltre, non abbisogna di particolari formalismi nella distribuzione e organizzazione dei dati: non richiede, infatti, che la distribuzione sia di tipo Normale e il processo può assumere un qualunque tipo di distribuzione senza incidere sulla validità dell'analisi R/S.

L'interpretazione dei valori ottenuti dall'applicazione dell'esponente H è definita come segue:

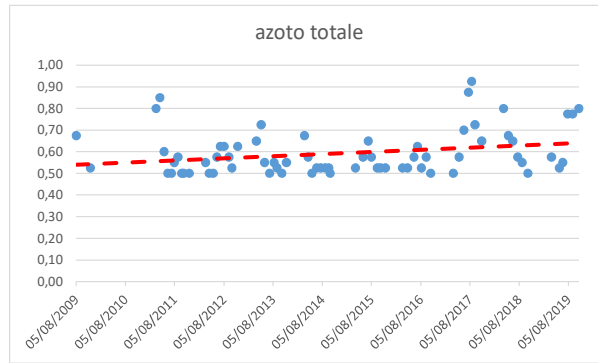
- $H=0.5$  - In questo caso la serie segue un percorso *random walk*, in pratica il passato non influenza il futuro e non esiste memoria in grado di indicare una direzione degli scenari futuri.
- $0 \leq H < 0.5$  - I valori di H inferiori a 0.5 mostrano un andamento anti-persistente, ciò significa che il valore tende a cambiare frequentemente, ovvero per esempio se il trend è positivo non è detto che nel prossimo futuro sia positivo.
- $0.5 \leq H < 1$  - In questo caso possiamo affermare che il trend risente della memoria passata e segnalerà una persistenza futura, in pratica se il trend è positivo c'è d'aspettarsi che il prossimo futuro segua questo trend.

Quanto più H tenderà a 0.5 maggiore sarà il rumore di fondo dell'imprevedibilità del processo; più tenderà a 1 maggiore sarà la persistenza e viceversa se tende a 0. In pratica l'esponente H indicherebbe che i risultati sono frutto di un continuo di eventi interconnessi tra loro.

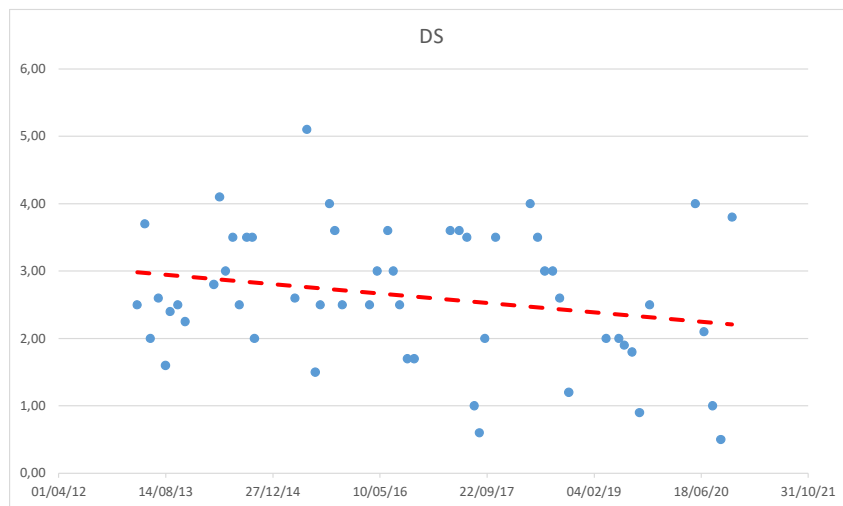
Facendo riferimento ai dati esposti nel capitolo 2, definiamo i trend dei parametri più significativi allo scopo. I grafici sottostanti mostrano diverse tendenze delle rette di trend, ma evidenziano una certa incertezza nel descrivere gli scenari futuri.



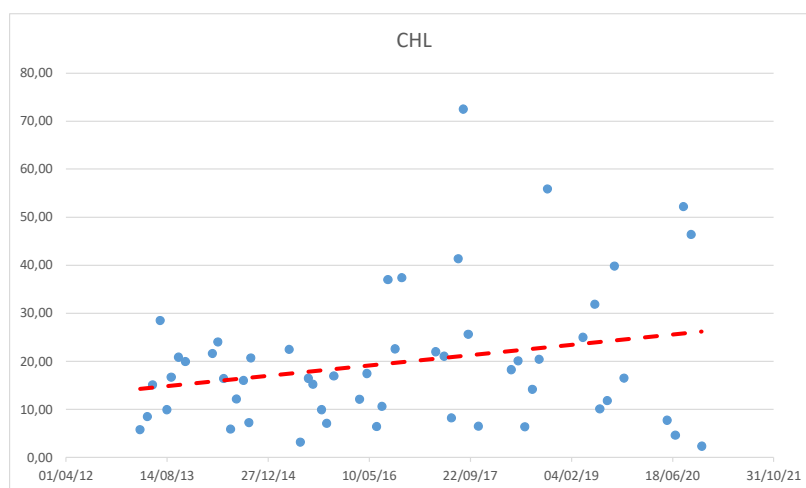
**Figura 3.1 - Tendenza della retta di trend per il fosforo totale**



**Figura 3.2 - Tendenza della retta di trend per l'azoto totale**

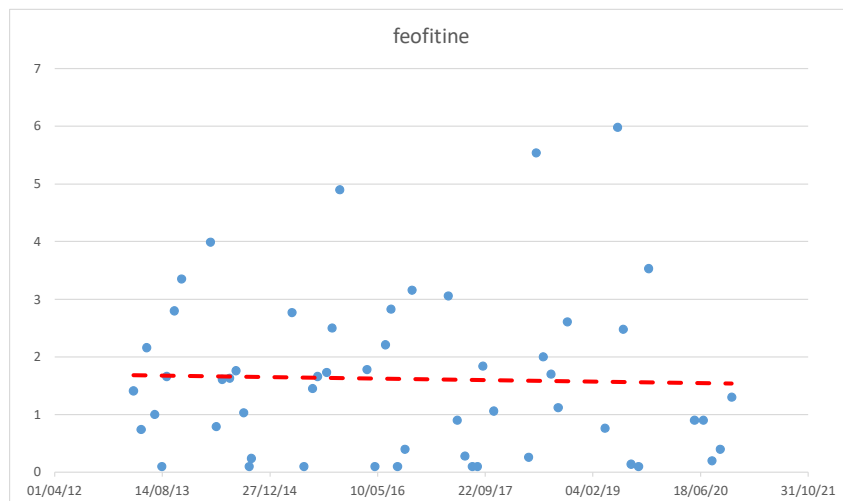


**Figura 3.3 - Tendenza della retta di trend per la trasparenza (Disco Secchi)**



**Figura 3.4 - Tendenza della retta di trend per la Clorofilla 'a'**





**Figura 3.5 - Tendenza della retta di trend per le feofitine**

Sui dati grezzi dei parametri più rappresentativi è stata applicata l'analisi del coefficiente di Hurst (H) con i seguenti risultati (Tabella 3.1).

**Tabella 3.1 - Valori del coefficiente di Hurst di alcuni parametri guida del processo di eutrofizzazione**

	Fosforo	Azoto	Clorofilla	Disco Secchi	Feofitine
Coeff. Hurst (H)	0.416	0.208	0.729	0.745	0.856

Le rette di tendenza mostrano andamenti, ma solo alcuni sono credibili, infatti il fosforo e, ancor di più, l'azoto, mostrano un trend del tipo *random walk* in quanto la H risulta inferiore a 0.5, ovvero hanno un andamento altalenante che impedisce la formulazione di scenari futuri credibili e affidabili. Tali tendenze irregolari sono il frutto di un oscillante apporto di nutrienti dall'esterno con picchi anomali e contributi irregolari, condizione riconducibile ad apporti da parte di attività umane di utilizzo del territorio circostante. E' possibile che le attività antropiche che gravitano sul territorio come la distesa di coltivazioni in serra, la presenza di numerosi equini e gli scarichi civili non depurati che afferiscono al lago ecc., possano in qualche modo influenzare gli apporti di nutrienti.

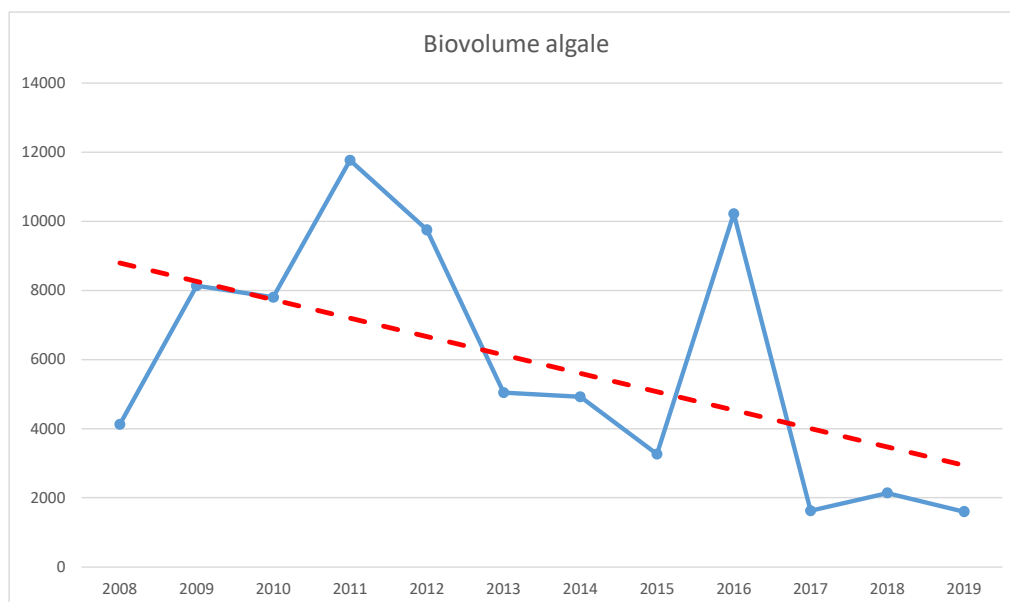
Le rette di tendenza del tenore di clorofilla e della trasparenza (DS) sono validate dai valori ampiamente superiori a 0.5 del coefficiente di Hurst, confermando che la crescita del contenuto di clorofilla e il calo del valore del Disco Secchi sono credibili nella loro proiezione sul futuro del lago, perciò ci si aspettano ulteriori peggioramenti.

Dall'esame dei biovolumi scaturiti con l'analisi fitoplanctonica, dei mesi più produttivi (mag-set), si nota che negli ultimi 12 anni il lago ha sofferto una situazione di trofia pesante, raggiungendo anche il livello di ipertrofia, come osservabile nella successiva Tabella 3.2 e nel grafico di Figura 3.6.

**Tabella 3.2 - Valori dei biovolumi algali (in  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) dei mesi produttivi (mag-set) e con relativa valutazione secondo Willen (Willen, 2000). I= ipertrofico, I-E= iper-eutrofico, E= eutrofico, M-E= meso-eutrofico**

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Biov	4124	8137	7802	11768	9754	5042	4923	3266	10222	1628	2140	1600
trofia	E	I	I	I	I	I-E	E	E	I	M-E	E	M-E

La Figura 3.6 mostra un andamento migliorativo spostando gli ultimi anni del periodo verso una trofia più *soft* rispetto al periodo precedente, ma pur sempre sostenuta e orientata verso l'eutrofia. La retta di tendenza sembra sostenere un significativo calo, ma il basso coefficiente di Hurst induce a non fidarsi del trend e considerare i valori come *random walk*, ovvero non bisogna pensare che se esiste un calo della trofia il futuro potrà essere roseo, anzi la *random walk* significa che domani potremo avere dati fortemente contrastanti. Perciò risulta arduo, in questo momento, poter formulare delle previsioni con una certa affidabilità, sebbene ci sia una certa correlazione tra biovolumi e contenuto di clorofilla, come abbiamo visto sopra.



**Figura 3.6 - Andamento e trend dei valori di biovolume (in  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ ) dei mesi produttivi presenti nella Tabella 3.2**

Se consideriamo l'input afferito dal Foss Maestro e dal tubo di drenaggio al lago, pari a 145 µg/l all'anno, possiamo stimare il contenuto medio annuale di fosforo nel lago. In pratica si ottiene che  $P_l$  dovrebbe essere pari a 46.1 µg/l medi annui.

Dalla Tabella 3.3 si nota che il contenuto di fosforo totale nel lago, come media degli ultimi 12 anni, è pari a 30,5 µg/l. In pratica gli apporti del fosforo da parte dei tributari della sponda sud, in corrispondenza degli impianti di coltivazioni di piccoli frutti, giustificano da soli il 65.3% del contenuto di fosforo nel lago.

La Tabella 3.3 deriva dai valori illustrati nella tabella a pag 16 della nota " Tutta un'altra storia" del sig. Ilario Ioriatti e datata 15 marzo 2020 e attribuiti all'APPA Trento.

**Tabella 3.3 - Valori delle analisi di fosforo totale in mg/l come dati puntuali prelevati in punti diversi**  
**FS-f = Foss Maestro alla foce; FS-m = Foss Maestro a monte delle coltivazioni di fragole; Tubo =**  
**effluente dal tubo di drenaggio delle coltivazioni di fragole; FG = Foss Grant**

	FM-f	FM-m	tubo	FG
21/03/2016	30	30	50	20
03/04/2017	60			
15/05/2017	130		50	
24/07/2017	120			40
11/09/2017	190			40
11/04/2018	60	20	33	50
16/05/2018	80	20	30	30
18/06/2018	140		90	21
25/07/2018	150			30
27/08/2018	150			30
01/04/2019	30			3
28/05/2019	10	30	40	4
media	96	25	49	27

Appare chiaro che esiste una significativa differenza nel contenuto di fosforo nel Foss Maestro a monte delle coltivazioni e quello a valle prima dell'immissione nel lago, almeno nelle quattro date a confronto, anche come media dei dati. Se poi a ciò aggiungiamo anche gli apporti del tubo di drenaggio, la differenza si fa ancora più marcata poiché varia da 1,7 volte il contenuto apportato al lago a monte, a maggio del 2019, a 5,5 volte a maggio del 2018, mentre se consideriamo i valori medi il rapporto è pari a 5.8 volte.

L'OCSE, nel loro manuale di relazioni tra i nutrienti e i parametri limnologici, definisce il rapporto tra il contenuto di fosforo totale in entrata ( $P_j$ ) e il contenuto di fosforo totale presente in lago di tipo alpino. Ovvero:

$$P_l = 0.86 [P_j]^{0.8} \quad (1)$$

Dove

$P_l$  = presenza di fosforo nel lago in  $\mu\text{g/l}$  come media annuale

$P_j$  = input medio di fosforo all'anno in  $\mu\text{g/l}$  afferente dai tributari

Se consideriamo l'input afferito dal Foss Maestro e dal tubo di drenaggio al lago, pari a  $145 \mu\text{g/l}$  all'anno, possiamo stimare il contenuto medio annuale di fosforo nel lago. In pratica si ottiene che  $P_l$  dovrebbe essere pari a  $46,1 \mu\text{g/l}$  medi annui.

Dalla Tabella 2.2 si nota che il contenuto di fosforo totale nel lago, come media degli ultimi 12 anni, è pari a  $30,5 \mu\text{g/l}$ . In pratica gli apporti di fosforo da parte dei tributari della sponda sud, in corrispondenza degli impianti di coltivazioni di piccoli frutti, giustificano da soli il 65,3% del contenuto di fosforo nel lago.

A conforto di quanto detto si può applicare l'Indice MorfoEdafico (MEI) inteso come rapporto tra il valore di conducibilità e la profondità media: nel caso del lago di Serrai il valore  $MEI_{cond} = 17,4$  ed è stato ottenuto considerando la media della conducibilità degli ultimi 12 anni. Poi questo dato viene utilizzato per individuare il valore soglia di fosforo ( $L_p$ ) nelle acque per evitare fenomeni eutrofici come illustrato di seguito:

$$\log(L_p) = 0,75 + 0,27 * \log(MEI_{cond}) \quad (2)$$

Dalla Tabella 2.5 si estrae il valore medio di conducibilità, che è pari a  $124 \text{ mS/cm}$ ; dividendo questo valore per la profondità media si ottiene il  $MEI_{cond}$ , che è pari a  $17,4$ , quindi applicando la funzione (2) e successiva trasformazione del log in numero, si ottiene che il carico soglia di fosforo è pari  $12,2 \mu\text{g/l}$ . Anche in questo caso si nota che l'apporto di fosforo nel lago e il suo contenuto è ampiamente superiore al valore soglia.

Merita uno spazio di analisi anche l'apporto di fosforo da parte del Foss Grant, che come detto drena tutte le acque a nord del lago fino alla diga delle Piazze. La Tabella 3.3 mostra come il contributo in nutriente di tale corso d'acqua sia pari a  $27 \mu\text{g/l}$ , come media dei dati del triennio 2016-2018; applicando l'equazione (1) tale apporto di fosforo giustificerebbe una presenza di  $7,1 \mu\text{g/l}$ , piuttosto lontano dal valore reale di presenza di fosforo nel lago.

#### **4 FONTI DI PRESSIONE E POSSIBILI RELAZIONI CAUSA-EFFETTO**

Come parzialmente esposto durante l'analisi critica dei dati analitici scaturiti dai molteplici monitoraggi effettuati in questi anni, numerose sono le fonti di pressione a cui la cuvetta lacustre viene sottoposta e che vale la pena di riassumere nella Figura 4.1.

Le fonti di pressione attuali sono sostanzialmente cinque:

1. emungimento delle acque che vengono pompate al lago delle Piazze;
2. presenza di numerose serre per la coltivazione di piccoli frutti;
3. presenza di un allevamento di equini nella zona nord del lago;
4. presenza di un impianto di ittiocoltura;
5. gestione alieutica del lago con immissione di fauna alloctona.

La situazione di eutrofia del lago di Serraiia ha origini lontane, la prima manifestazione di fioritura algale per eccesso di nutrienti risale al 1997. Le pressioni antropiche sono diverse e riguardano funzioni multiple del lago: la zona è da decenni una località turistica soprattutto nel periodo estivo con un carico di acque nere afferenti al lago di parecchi abitanti equivalenti, perciò si rese necessario provvedere alla raccolta delle acque domestiche della zona rivierasca con un collettore circumlacuale che è entrato in funzione nel 1989. La messa in opera della circumlacuale ha avuto il beneficio di distogliere gran parte di nutrienti, soprattutto fosforo, che negli anni addietro era un grosso componente dei detersivi, però l'accumulo di fosforo nel limo di fondo è rimasto tale, con il pericolo di una sua solubilizzazione e migrazione da insolubile, sequestrato nel limo di fondo, a frazione solubile e quindi usufruibile dal popolamento fitoplanctonico, con conseguente aumento della biomassa.



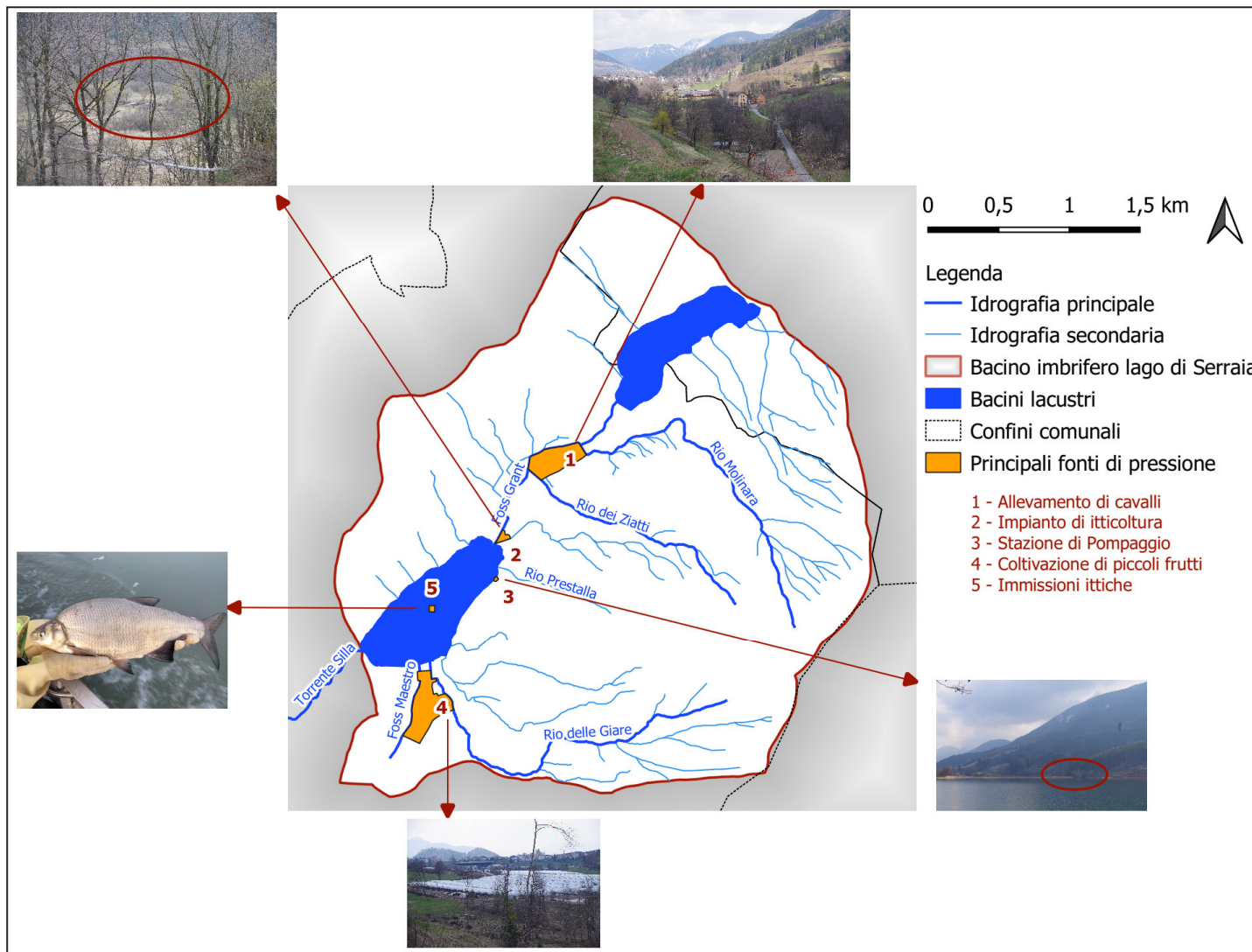


Figura 4.1 – Principali fonti di pressione

#### 4.1 Emungimento delle acque

La prima fonte di pressione in esame riguarda il prelievo pluridecennale di acqua dal lago per il recupero di quella persa dalla diga delle Piazze e rimpinguare il lago a monte, in modo tale da utilizzarla nella centrale di Pozzolago, in valle di Cembra, da parte del gestore dell'impianto; tale acqua viene utilizzata anche per scopi irrigui.

L'opera di prelievo è stata rifatta, su precise indicazioni degli organi preposti della PAT, nel 1996 con una condotta di aspirazione di 63 cm a 170 metri dalla costa nella porzione nord del lago e ad una profondità di 5,6 metri di profondità e a circa 1,7 metri dal fondo. Per molto tempo si sono susseguite le ipotesi di disturbo della dinamica e termica del lago da parte di questo prelievo, ma non si hanno prove decisive.

Il tempo di rinnovo delle acque del lago attualmente viene stimato in  $T_w=0.9$  anni.

#### 4.2 Coltivazione di piccoli frutti

Altro elemento di pressione è rappresentato dalle coltivazioni di fragole fuori terra poste sul versante sud del lago in località Miola e che arrivano fino a qualche decina di metri dalla linea di costa. È indubbio che tale coltivazione abbia in qualche modo agito come fornitore di nutrienti del lago, andando ad aggiungersi alle altre pressioni. La produzione di piccoli frutti, principalmente lamponi inizia nei primi anni '70 e da allora subisce un continuo sviluppo, nel 1985 grazie alla scoperta delle fragole rifiorenti la produzione si espande ulteriormente. Dalla metà degli anni '90 si afferma la coltivazione fuori terra, con tutti i vantaggi della produzione e quindi questo tipo di coltura si afferma con la vendita dei piccoli frutti alla grande distribuzione.

Le coltivazioni fuori suolo si distinguono dalle coltivazioni tradizionali per l'assenza del terreno agrario. Il rifornimento di acqua e sali minerali, indispensabili allo sviluppo della pianta, avviene attraverso la somministrazione di una soluzione nutritiva.

Con il fuori suolo è possibile controllare la nutrizione in modo preciso: vengono valutate scientificamente le reali necessità delle piante lungo tutto il ciclo produttivo e poi viene formulato il piatto alimentare (soluzione nutritiva) ideale per ogni fase; la radice entra in contatto direttamente con l'acqua e i nutrienti permettono alla pianta di alimentarsi. La pianta in questo modo risparmia energia e la usa a favore di una migliore crescita e resa produttiva.

Esistono principalmente due sistemi di gestione della soluzione nutritiva:

- il sistema a ciclo chiuso che permette di recuperare il drenato e di riutilizzarlo più volte in uno stesso ciclo produttivo;
- il sistema a ciclo aperto in cui le acque di drenaggio non vengono recuperate ma fatte drenare nel suolo o gestite come reflui.

Il sistema a ciclo chiuso consente di riciclare l'acqua più i nutrienti disciolti attraverso la gestione controllata di un circuito chiuso che adopera canaline, vasche di drenaggio, filtri, sterilizzatori e sensori per la valutazione dei parametri di qualità del drenato. Il ciclo chiuso è un sistema che rende efficiente l'utilizzo dell'acqua e dei concimi e ne limita gli sprechi. Nei sistemi più avanzati come quelli olandesi è possibile produrre pomodori risparmiando moltissima acqua rispetto al metodo tradizionale, con una efficienza superiore di oltre l'80 % .

Le notizie su quale sia il reale sistema utilizzato dai produttori rivieraschi del lago di Serraià è oggetto di numerose discussioni, attualmente si afferma che sia a ciclo chiuso.

Non spetta certamente a noi dipanare una questione che si addentra nei gangli dell'economia produttiva e delle iniziative private, tuttavia una lettura asettica, come è doveroso che sia quella tecnica, mostra come l'apporto di fosforo di questa potenziale fonte di pressione sia molto ingente, vuoi per drenaggio diretto, vuoi per lisciviazione di suoli resi esausti nel tempo.

### **4.3 Allevamento di equini**

Altra potenziale fonte è la presenza della fattoria didattica posta appena a monte della parte nord del lago, ove sono presenti numerosi cavalli che possono vagare liberi allo stato brado nelle aree a loro disposizione e le cui deiezioni possono essere dilavate e conferite nel lago e quindi contribuire in modo non del tutto trascurabile al quantitativo di nutrienti afferenti al lago.

Equini che, vale la pena ricordare a scopo informativo, secondo il rapporto dell'Istituto Superiore di Sanità (Pagnotta & Barbiero, 2003) contribuiscono con 8,49 g/capo\*giorno di azoto e 1,19 g/capo\*giorno di fosforo. Questo significa che in un anno, supponendo una presenza media di 50 cavalli, si può stimare un apporto di circa 156 kg/anno di azoto e 22 kg/anno di fosforo. Numeri questi non molto elevati, ma che aggiunti agli altri apporti e viste le condizioni trofiche del lago, possono contribuire a spingere ulteriormente il trend evolutivo verso una condizione eutrofica.

Anche in questo caso, il maneggio sarà provvisto di adeguato sistema di smaltimento, il letame non è di per sé un rifiuto, a patto che venga raccolto, trasformato e riutilizzato.

Pertanto lo sterco di cavallo idoneamente gestito, vale a dire dopo una corretta "maturazione" in concimaia e secondo un piano agronomico può essere impiegato come fertilizzante di terreni anche dell'azienda in cui il letame è prodotto.

Come si può apprezzare anche dalle seguenti foto scattate nell'ambito del sopralluogo del 21 aprile 2021 sembra che vi sia una sorta di percolato che raggiunge il Foss Grant.



**Figura 4.2 - Foto scattate durante il sopralluogo del 21.04.2021 che evidenziano un percolato ad alto tenore organico.**

#### **4.4 Ittiocoltura e gestione aleutica**

Una delle fonti di pressione che negli ultimi 30 anni non è mai stata valutata con attenzione riguarda la fauna ittica e la sua gestione, con particolare riguardo all'ittiocoltura e alla pesca.

Vi è infatti un allevamento ittiogenico proprio all'interno della zona protetta, il Biotopo "Paludi di Sternigo". Quest'ultimo comprende l'estesa fascia di canneto che borda la riva settentrionale del lago di Serraia, una piccola parte dello specchio d'acqua, oltreché la conca paludosa che si trova alla testata del lago e ne costituisce il retroterra.

L'allevamento ittiogenico è dedicato alla trota e già da quasi un decennio doveva essere chiuso o de localizzato; attualmente però non sembra neppure totalmente dismesso.

Anche questa attività, se priva delle giuste contromisure atte alla minimizzazione dei possibili scarichi, può contribuire all'arricchimento delle acque del lago in termini di nutrienti.

Va ricordato infatti che uno studio condotto dall'ARPA Umbria dal titolo "Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di trotiltura in Val Nerina", ha valutato la quantità di nutrienti provenienti dai mangimi, conducendo un'articolata sperimentazione su trote iridee

allevate in condizioni ambientali e densità del tutto simili a quelle degli allevamenti.

Dallo studio in camera metabolica è emerso che il 40,2% dell'azoto è trattenuto dalle trote, il 7,8% si rinviene nel materiale fecale ed il 52% è escreto sotto forma ammoniacale. Per quanto riguarda il fosforo il 31,5 % è trattenuto ed il 68,5 % è rilasciato con le feci. Nelle prove effettuate in vasche di vetroresina, che maggiormente si avvicinano alle reali condizioni di allevamento, si è evidenziata una quota di fosforo nell'acqua sotto forma di fosfati; dall'indagine condotta sul campo, prendendo in esame una vasca campione di un allevamento durante tutto il suo ciclo produttivo, si rileva che rispetto alle condizioni di laboratorio esiste un *surplus* di azoto e di fosforo fornito col mangime, ma non trattenuto (probabilmente alimento distribuito, ma non consumato) per cui in totale l'azoto rilasciato e disperso nell'ambiente sale al 68,07 % ed il fosforo al 71,88 %.

Anche l'attività alieutica con la sua componente relativa alle immissioni ittiche può incidere notevolmente sulla trofia del bacino lacustre. Infatti un disequilibrio indotto dalla presenza di fauna ittica, soprattutto alloctona, può causare all'interno del biota, una diversa composizione di fito o zooplanton portando il sistema in uno stato di diversa trofia. Non a caso gli interventi antropici per favorire l'una o l'altra specie ittica vengono usati anche come *bioremediation* per gli ecosistemi lacustri.

Per valutare la composizione della fauna ittica del lago di Serraia, sono stati presi in rassegna i risultati di quattro campionamenti condotti a giugno 2003, giugno 2006, giugno 2008 e settembre 2011, ad opera della Fondazione Edmund Mach di San Michele all'Adige (TN), nell'ambito della redazione dei Piani di gestione della pesca, approvati con deliberazione della Giunta provinciale n. 2637 del 7 dicembre 2012.

Il lago di Serraia presenta un popolamento ittico prevalentemente ciprinicolo, con la scardola quale specie più rappresentativa in termini di abbondanza, con una presenza percentuale variabile tra il 66% (giugno 2008) e l'84% (giugno 2003).

Altri rinvenimenti riguardano la tinca, il cavedano e il triotto, ma con numeri decisamente più contenuti, mentre l'alborella è segnalata solamente nel 2008 con un unico esemplare.

Tra i predatori si annoverano il persico reale, specie ben rappresentata, soprattutto nei due ultimi censimenti, quello di giugno 2008 e quello di settembre 2011, con una presenza media del 28%.

La popolazione appare ben insediata, con accrescimenti in lunghezza-peso nella media; si segnalano, al riguardo, esemplari di taglia anche superiore ai 30 centimetri.

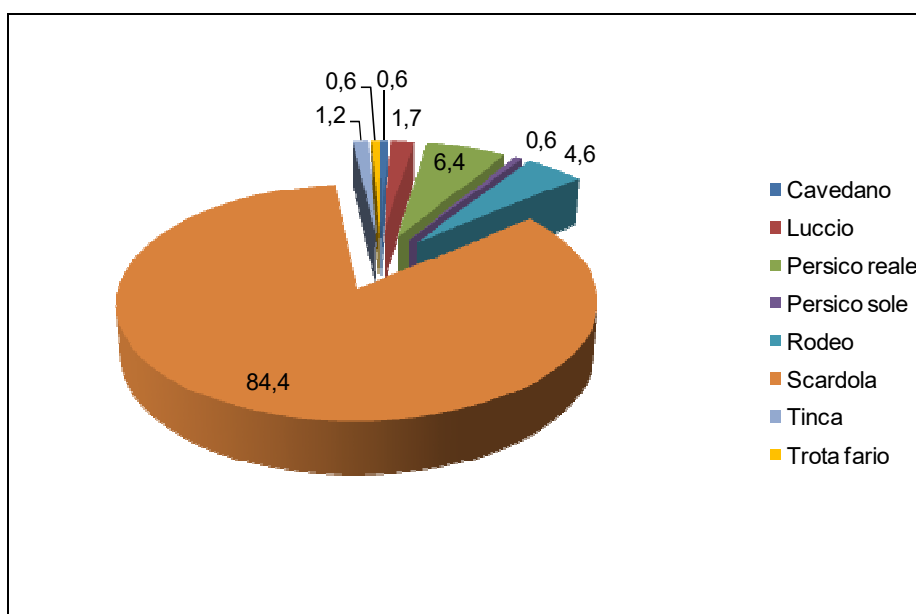
Decisamente più contenuta la popolazione di luccio (1-3 individui), sporadica, invece, l'anguilla, quest'ultima segnalata solo nel censimento 2011.



Nella tabella che segue si riassumono i risultati dei censimenti ittici condotti nel lago di Serrai; i dati si riferiscono al numero di esemplari rinvenuti sulle reti, i numeri relativi ai pesci catturati non sono da prendere in considerazione come trend in quanto lo sforzo di cattura non è paragonabile negli anni.

**Tabella 4.1 - Riepilogo dei campionamenti ittici 2003-2011**

	Giugno 2003	Giugno 2006	Giugno 2008	Settembre 2011
<b>Alborella</b>	-	-	1	-
<b>Anguilla</b>	-	-	-	1
<b>Cavedano</b>	1	2	-	-
<b>Luccio</b>	3	2	1	-
<b>Persico reale</b>	11	9	109	16
<b>Persico sole</b>	1	1	1	-
<b>Rodeo</b>	8	16	1	2
<b>Scardola</b>	146	171	229	45
<b>Tinca</b>	2	1	3	-
<b>Triotto</b>	-	2	1	1
<b>Trota fario</b>	1	1	-	-
<b>TOTALE</b>	<b>173</b>	<b>205</b>	<b>346</b>	<b>65</b>



**Figura 4.3 - Ripartizione percentuale delle diverse specie ittiche rinvenute nel giugno 2003**

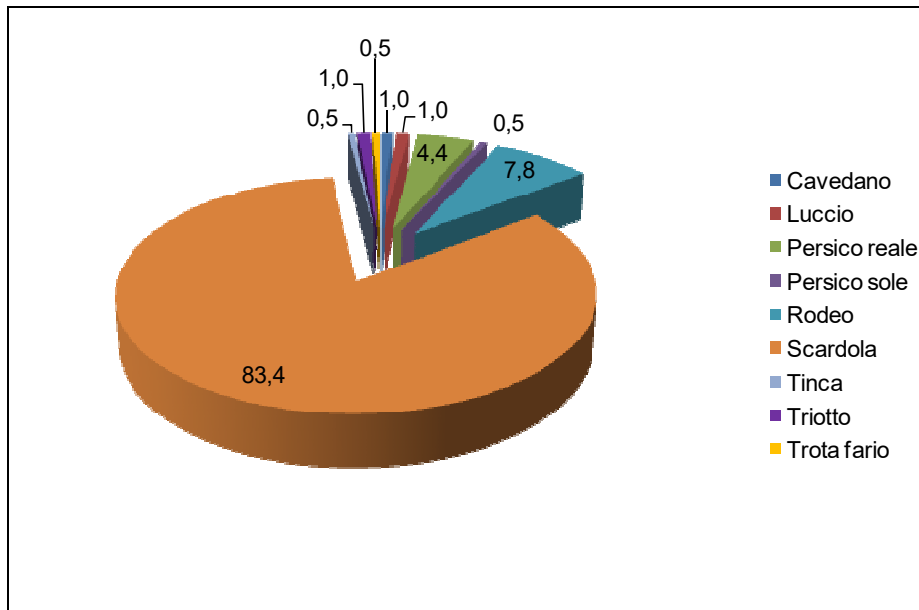


Figura 4.4 - Ripartizione percentuale delle diverse specie ittiche rinvenute nel giugno 2006

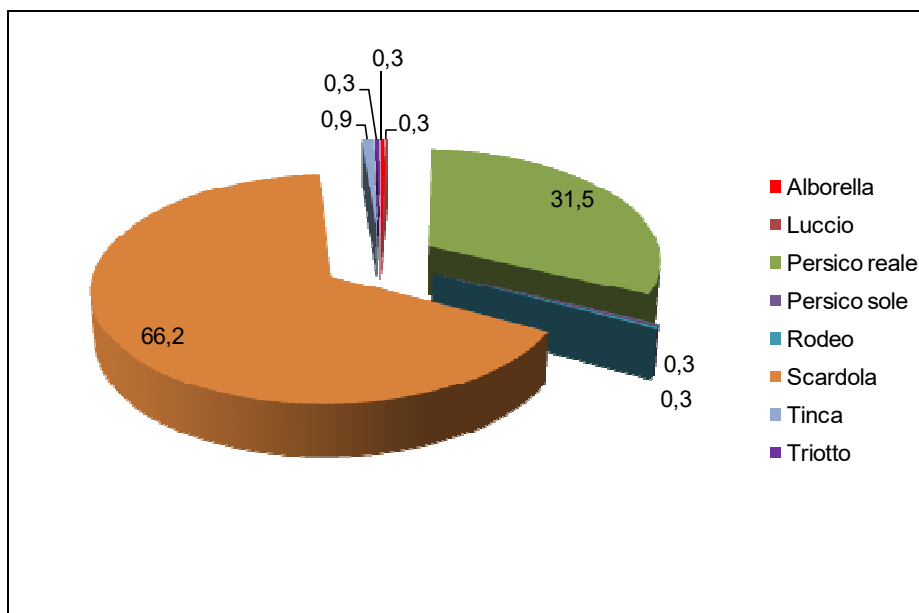
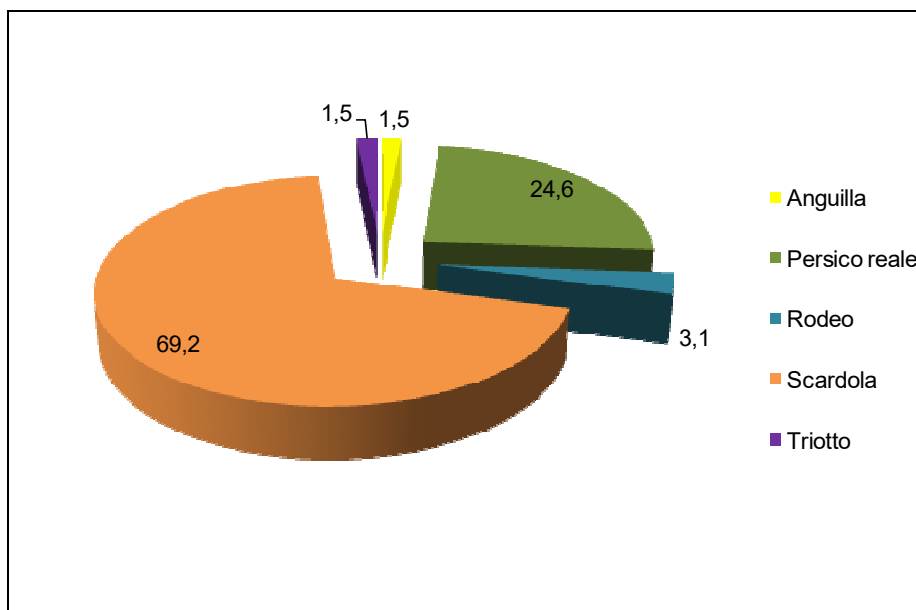


Figura 4.5 - Ripartizione percentuale delle diverse specie ittiche rinvenute nel giugno 2008



**Figura 4.6 - Ripartizione percentuale delle diverse specie ittiche rinvenute nel settembre 2011**

Relativamente alle specie alloctone, si segnala la presenza di una popolazione ben acclimatata di rodeo, specie di provenienza centro-europea, probabilmente arrivato nel lago come “pesce esca” per opera di pescatori dilettanti.

Tra gli alloctoni, anche il persico sole è una presenza pressoché costante nei censimenti, con una frequenza relativa comunque inferiore rispetto il precedente.

Ciò nonostante questo Perciforme, originario dell'America settentrionale, è in grado di creare gravi squilibri nelle popolazioni ittiche autoctone, nei confronti delle quali esercita competizione sia di tipo trofico, che territoriale (specialmente durante il periodo riproduttivo), a cui si aggiunge l'attività predatoria di uova e, in minor misura, anche di avannotti.

Una specie alloctona di recente segnalazione (circa due anni) è l'abramide, anch'essa probabilmente introdotta inconsapevolmente con le attività di semina.

Si tratta di una specie piuttosto longeva (può vivere fino a 17 anni) e può raggiungere dimensioni anche di 80 cm.

L'abramide è un pesce onnivoro, con una dieta prevalentemente orientata su cibo animale, ma con discrete quantità di sostanze vegetali e detrito organico. Si ciba di larve insetti bentonici, molluschi, bivalvi, crostacei e anellidi.

In condizioni di sovraffollamento, o in acque particolarmente torbide, questo Ciprinide può cibarsi anche di plancton.

Gli esemplari più grandi possono predare anche avannotti e piccoli pesci, quindi intervenire

pesantemente nella catena alimentare dell'ecosistema alterando gli equilibri e probabilmente interferendo sul rapporto fitoplancton-zooplancton erbivoro tale da attenuare l'attività di *greezing* e favorire lo sviluppo del fitoplancton.

La presenza media di pescatori nel lago di Serraià è pari a 1.200/1.500 giornate/uomo.

Le acque sono in concessione all'Associazione Pescatori Dilettanti Trentini (APDT Trento). Si tratta di una zona a libera pesca; l'attività, pertanto, è aperta tutto l'anno, con possibilità di pescare in notturna dal 01/07 al 30/09 (dalle ore 20.00 alle ore 8.00). Per gli ospiti, la pesca è regolamentata dal possesso di un permesso giornaliero, che può essere comprato anche senza il possesso di licenza di tipo B.

Tra le limitazioni da rispettare, vi è il divieto di pesca quando la superficie del lago è per la maggior parte ghiacciata, compresi immissari ed emissario, fino a 100 m dall'acqua stagnante.

Relativamente ai mezzi consentiti, è possibile pescare con un massimo di 2 canne armate con non più di 3 ami o biami o ancorette; su un singolo artificiale non più di 2 ami o biami o ancorette. Nel caso di utilizzo di una sola canna per la tecnica della moschera, o camolera, è consentito un massimo di 5 ami. Ardiglione è consentito. Consentite, inoltre, le esche artificiali e naturali. Nel caso del pesciolino vivo o morto, sono permesse esclusivamente l'utilizzo delle specie: alborella, cavedano, cobite, sanguinerola, scardola, triotto e vairone.

Questa può essere la causa principale di diffusione delle specie alloctone.

Di seguito si riporta un estratto del Piano di gestione della pesca relativo alle Valli dell'Avisio e del Fersina. Quest'ultimo contiene le indicazioni per il miglioramento ambientale del sito, indicazioni sulla regolamentazione della pesca, nonché le prescrizioni ittiogeniche transitorie vincolanti e non.

#### **PRESCRIZIONI ITTIOGENICHE TRANSITORIE E VINCOLANTI**

1. Il Lago della Serraià è un lago a Ciprinidi. Le immissioni ittiche consentite sono finalizzate a obiettivi di qualità.
2. L'immissione "pronta pesca" non è consentita.
3. Sul libretto catture vanno segnalate le specie più pregiate tipiche del lago, fra le quali: luccio, carpa, tinca, anguilla e persico reale.

#### **INDICAZIONI ITTIOGENICHE TRANSITORIE NON VINCOLANTI**

- Considerata l'elevata prolificità della maggior parte delle specie autoctone tipiche dei laghi a Ciprinidi, considerato inoltre il rischio d'introduzione accidentale di specie alloctone, gli eventuali interventi finalizzati al riequilibrio del popolamento ittico del lago saranno rapportati ai risultati dei rilevamenti ittiologici e ai dati del pescato.

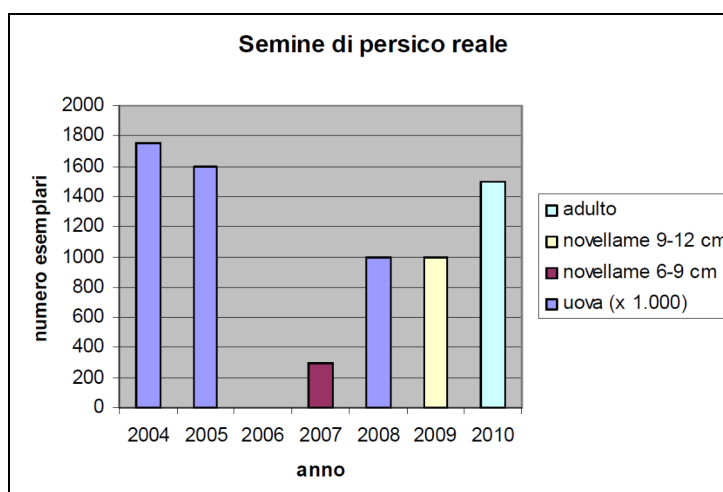
## INDICAZIONI SULLA REGOLAMENTAZIONE DELLA PESCA

- Le limitazioni riguardanti le tecniche di pesca, il numero massimo di catture giornaliere e le taglie minime legali vanno correlate fra loro e stabilite considerando le caratteristiche dell'ambiente.

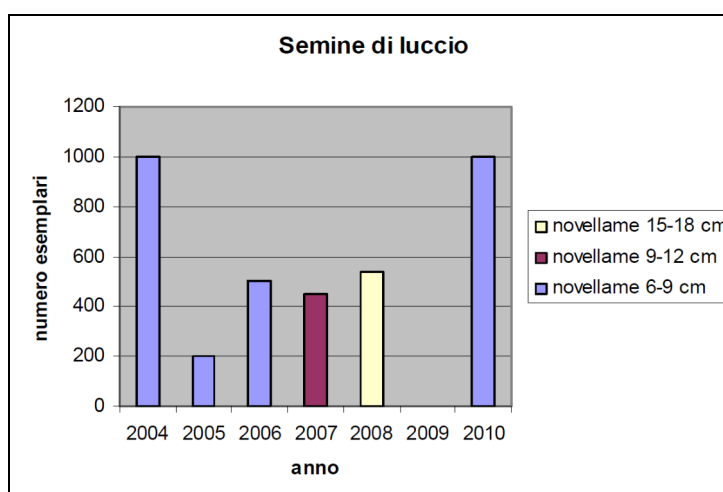
## INFORMAZIONI GESTIONALI E PROSPETTIVE

L'andamento delle semine è riassunto negli istogrammi seguenti.

Oltre a quanto sotto elencato, nel 2010 sono state introdotte 1.000 anguille (20-30 cm).

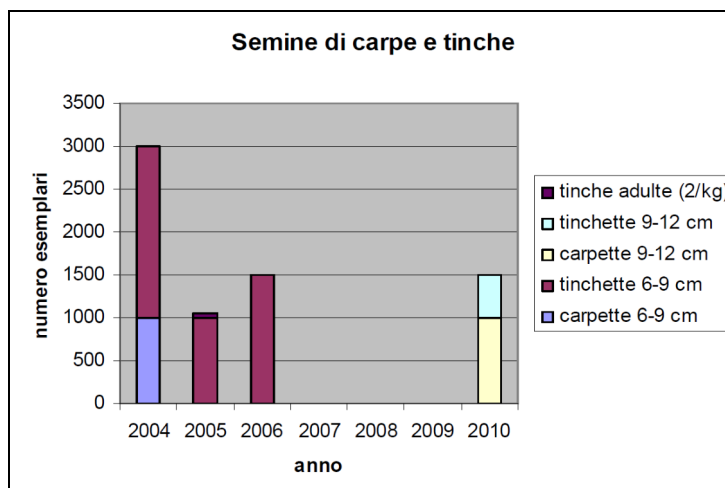


**Figura 4.7 - Semine di persico reale (di varia pezzatura) effettuate nel lago di Serrai dal 2004 al 2010**

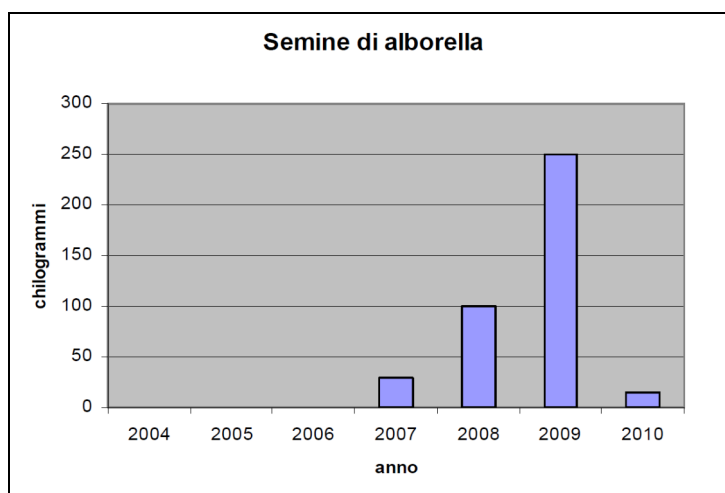


**Figura 4.8 - Semine (esprese in numero di esemplari) di novellame di luccio effettuate nel lago di Serrai dal 2004 al 2010**





**Figura 4.9 - Semine (esprese in numero di esemplari) di carpe e tinche di varia pezzatura effettuate nel lago di Serrai dal 2004 al 2010**



**Figura 4.10 - Semine (esprese in kg) di alborella effettuate nel lago di Serrai dal 2004 al 2010**

I dati sul pescato delle specie più pregiate e tipiche del lago, quali luccio, carpa, tinca, anguilla e persico reale, raccolti con regolarità, potranno costituire in futuro un utile elemento di supporto nella valutazione ittica.

Nonostante i dati sulla popolazione ittica siano abbastanza datati, anche sulla base delle informazioni avute dai concessionari, la composizione della fauna ittica non appare sufficientemente definita. Si pescano infatti diversi Salmonidi di cui non vi è traccia sui censimenti e men che meno sulle immissioni. La presenza dell'abramide, divenuto oggi uno degli attrattivi per i pescasportivi, non è quantificata ma sembra in grande esplosione. Tanto depone a favore di un giudizio di possibile fonte di pressione per la trofia del lago a cui andrà posto rimedio in futuro.

#### 4.5 Teoria delle catastrofi

Per salvare il lago dal processo eutrofico incontrollato, la PAT ha provveduto a costruire un complesso di ossigenazione delle acque di fondo, per aumentare il livello di ossigeno di fondo e favorire la formazione di ortofosfato ferrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) il quale, essendo insolubile, rimane sequestrato nel fondo, evitando l'utilizzazione del fosforo da parte della frazione algale.



Figura 4.11 - Lago di Serraia, aprile 2021 (fonte: Bioprogramm s.c.)

Nella considerazione dell'entropia del sistema, trovare un fattore causa-effetto a questo punto è difficile, anche nella considerazione che le risposte dell'ecosistema dulciacquicolo non sono immediate o di facile lettura. Vale la pena a questo punto vagliare le dinamiche funzionali di un sistema ecologico come può essere un corpo lacustre. Spesso le risposte a pressioni esterne che non sono di tipo acuto ma prevalentemente cronico sono difficili da interpretare, perché entrano in gioco dinamiche legate a processi di omeostasi e omeoresi che facilitano la resilienza del lago. In queste condizioni si possono delineare dei trend ma non è possibile individuare il momento temporale che determina il crollo della resilienza e quindi della salute di un lago.

Per rendere meglio l'idea possiamo chiedere aiuto alla "teoria delle catastrofi", e in questa alla teoria di Whitney o delle singolarità delle pieghe. Brevemente, ci aiutiamo con grafico illustrativo esposto di seguito (Figura 4.12).

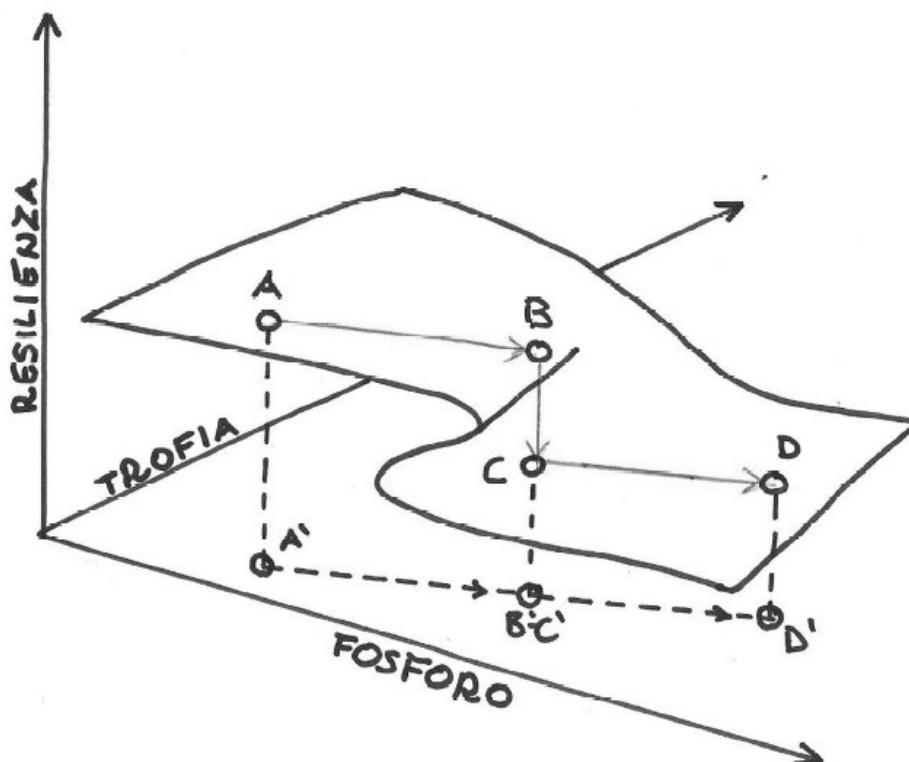


Figura 4.12 – Grafico illustrativo della teoria delle catastrofi

Immaginiamo uno spazio definito da tre variabili: fosforo totale, lo stato trofico e la resilienza. Nello spazio così definito, consideriamo la superficie che rappresenta l'equilibrio dinamico assunto dall'ecosistema attivando le dinamiche omeostatiche, per minimizzare i cambiamenti e consolidare la resilienza con assorbimento delle pressioni.

Nella geometria classica una superficie di demarcazione è normalmente piana o presenta una curva semplice, in questo caso, in accordo con quanto dice la teoria delle catastrofi, la superficie presenta una piega e la sua proiezione sul piano risulta essere una semiretta (singolarità). Ragionando in modo bidimensionale e seguendo l'andamento della retta di proiezione della curva sulla superficie di equilibrio, non sembra incontrare problemi seguendo il trend. Ma se noi procediamo con la linea di trend sulla superficie di equilibrio, scopriamo che può verificarsi una caduta dei valori che risulta imprevedibile sul piano cartesiano.

Questa rappresentazione, nella sua semplicità e superficialità per meglio comprendere certi fenomeni imprevedibili, può essere applicata al lago di Serrai, dove il lento procedere verso un livello di trofia maggiore ha incontrato una singolarità che ha prodotto il tracollo trofico.

Normalmente tali situazioni sono incentivate da accelerazioni del processo eutrofico da parte di immissioni di nutrienti, che apparentemente sembrano non dare problemi nell'immediato. Come affermato precedentemente, l'apporto dei nutrienti da parte del bacino imbrifero, con tutte le fonti descritte, può aver causato l'accelerazione che ha incentivato il processo eutrofico. Sta di fatto che il lago era già in sofferenza prima di questa situazione, ma riusciva a controllare i nutrienti tramite processi omeostatici, rinforzando così la resilienza e all'occhio del fruitore non sembrava che potesse essere malato, finché non arrivò la *"goccia che ha fatto travasare il vaso"* o meglio il punto di rottura rappresentato dal raggiungimento della singolarità che segna il limite del potere omeostatico del sistema.

Quindi è difficile e non corretto ricercare un solo motivo o elemento che avvalori l'equazione causa-effetto. Probabilmente sarebbe successo ugualmente ma con tempi molto più lunghi.

## 5 ANALISI SWOT

L'analisi SWOT è uno strumento di strategia semplice ed efficace che serve ad evidenziare le azioni dirette e le conseguenti relazioni con l'ambiente nel quale si colloca il soggetto, offrendo un quadro di riferimento per la elaborazione di scelte strategiche finalizzate al raggiungimento di un obiettivo.

L'analisi SWOT consente di riflettere in merito all'obiettivo a cui si vuole tendere, considerando in toto le variabili interne ed esterne, ovvero quelle che fanno parte del sistema sulle quali è possibile intervenire e quelle esterne che invece possono essere regolate o modificate, in modo da esaltare i fattori positivi e limitare i fattori che possono compromettere il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

La SWOT Analysis classica si costruisce tramite una matrice divisa in quattro campi nei quali si hanno:

- Punti di forza (***Strenghts***)
- Punti di debolezza (***Weaknesses***)
- Opportunità (***Opportunities***)
- Minacce o rischi (***Threats***)

Nel nostro caso, pur rimanendo nella logica e filosofia della SWOT, abbiamo optato per una matrice di comprensione, cui si mettono in ordinata le variabili interne e in testa le variabili esterne e si evidenziano la pressione che ogni variabile esterna provoca su ciascuna variabile interna tramite colori che definiscono positività o negatività.

Così operando si è elaborata la matrice esposta di seguito.

Tabella 5.1 - Swot analysis

	Apporto di nutrienti da coltivazione piccoli frutti	Prelievo acqua	Ossigenazione forzata	Cavalli	Pescicoltura	Ittiofauna alloctona
Possibili bloom algali	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Aumento delle Cyanophytae	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Variazione spettro algale	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Alterazione dominanze algali	Leggera influenza	Leggera influenza	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
concentrazione nutrienti N, P	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Indifferente	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
Variazione significativa di alcalinità. e conducibilità	Leggera influenza	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Torbidità	Leggera influenza	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Leggera influenza	Indifferente
Ossigeno disciolto (OD)	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
pH	Leggera influenza	Leggera influenza	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Trasparenza (SD)	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
Contenuto di Clorofilla "a"	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Leggera influenza	Indifferente	Leggera influenza
Temperatura delle acque	Indifferente	Leggera influenza	Significativa influenza con effetti negativi	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Impatto sul livello trofico	Significativa influenza con effetti negativi	Leggera influenza	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Significativa influenza con effetti negativi
Benthos della zona litoranea	Indifferente	Leggera influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Leggera influenza
Macrofite	Leggera influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Leggera influenza
Fauna acquatica non ittica	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Fauna ittica	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Significativa influenza con effetti negativi
Fauna avicola legata al lago	Leggera influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Biodiversità	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Leggera influenza
Microclima	Indifferente	Indifferente	Leggera influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Effetti temporanei sul paesaggio	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
Effetti sul paesaggio in assoluto	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Leggera influenza	Leggera influenza	Indifferente
Effetti sui valori naturalistici	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Significativa influenza con effetti negativi
Effetti sui valori storico-culturali	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Effetti sui valori estetico-percettivi	Leggera influenza	Indifferente	Positiva influenza	Indifferente	Indifferente	Indifferente
Effetti sulla pesca	Leggera influenza	Indifferente	Leggera influenza	Leggera influenza	Leggera influenza	Leggera influenza

## Legenda

Positiva influenza	Positiva influenza
Indifferente	Indifferente
Leggera influenza	Leggera influenza
Significativa influenza con effetti negativi	Significativa influenza con effetti negativi
Effetti negativi certi	Effetti negativi certi

Anche alla vista di coloro che non sono tecnici esperti del settore, appare chiaro ciò che porta negatività e positività e di conseguenza si può definire un piano di azioni e interventi atti a ridurre le pressioni e i rischi, e nel contempo evidenziare i fattori che possono apportare



positività all'ambiente lacustre. I risultati sin qui esposti sono riassunti graficamente nella Figura 5.1

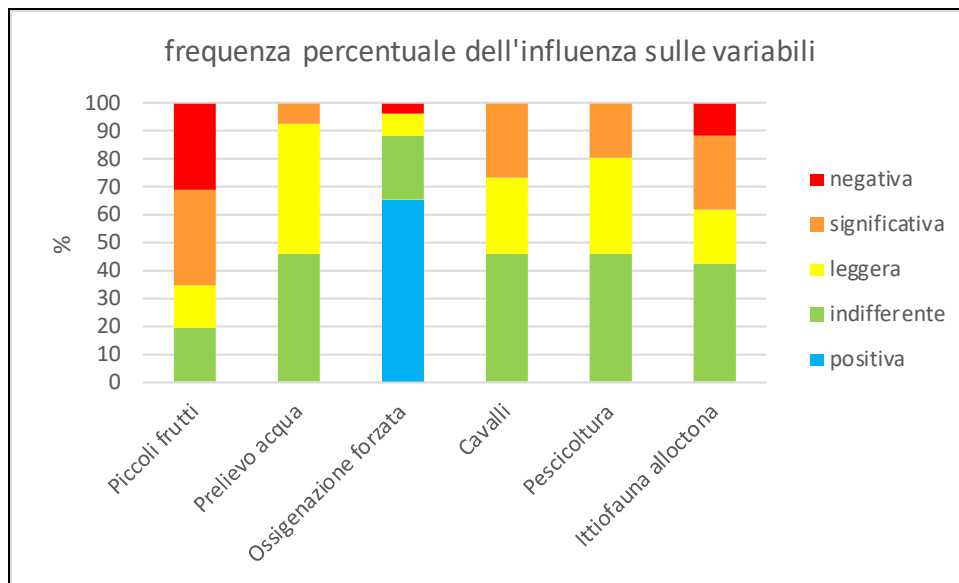


Figura 5.1 – Quadro di sintesi dei risultati della swot analysis

## 6 INDIVIDUAZIONE SCENARI FUTURI IN DIVERSE CONDIZIONI E POSSIBILI INTERVENTI

Le condizioni attuali del lago non agevolano sicuramente la predisposizione di rosei scenari futuri, soprattutto in tempi brevi. Tuttavia è possibile formulare una serie di ipotesi che potrebbero verificarsi nel prossimo futuro sulla base di aprioristiche funzioni. Dei diversi trend che abbiamo esaminato, solo alcuni avevano il conforto del coefficiente di Hurst e perciò considerati credibili, mentre altri sono chiaramente inaffidabili come una passeggiata a caso (*random walk*), dove momenti del passato non sono vincolanti per il futuro. In buona sostanza se riscontriamo un trend positivo ma il coefficiente di Hurst lo classifica come random, vuol significare che non dobbiamo fidarci del trend ed aspettarci in futuro cambiamenti di tendenza.

La situazione trofica del lago di Serraia è perlomeno seria, infatti da parecchi anni vari portatori di interesse hanno prodotto pressioni che l'ecosistema ha faticato e fatica tuttora a smaltire con processi di resilienza.

Il lago è ormai considerato eutrofico, lo era anche come giudizio da parte dell'APPA nel 2005 (Pozzi *et al*, 2005) verificato con metodi diversi. Uno degli indici maggiormente utilizzato per stimare la trofia è il TSI (Trophic State Index) (Carlson, 1983). Questo indice si basa sulla elaborazione di quattro parametri guida della trofia: trasparenza, clorofilla, fosforo e azoto.

Più precisamente:

$$TSI_{DS} = 4.15 + 14.42 \cdot \ln(DS)$$

$$TSI_{CHL} = 30.6 + 9.8 \cdot \ln(CHL)$$

$$TSI_{TP} = 60 - 14.41 \cdot \ln(TP)$$

$$TSI_{TN} = 54.45 - 14.43 \cdot \ln(TN)$$

I risultati degli algoritmi definiscono la trofia con i suoi limiti di classe come illustrato nella tabella seguente.

**Tabella 6.1 – Limiti di classe del TSI (Trophic State Index)**

Trofia	Limiti TSI
Oligotrofia	< 20
Mesotrofia	20 - 40
Eutrofia	40 - 60
Ipertrofia	> 60

Utilizzando i dati sintetici dei parametri considerati si ottengono le stime di trofia, come descritto nella seguente tabella.

**Tabella 6.2 – Valori di TSI per i parametri trasparenza (DS), Clorofilla 'a' (CHL), fosforo totale (TP) e azoto totale (TN)**

	TSI <sub>DS</sub>	TSI <sub>CHL</sub>	TSI <sub>TP</sub>	TSI <sub>TN</sub>
2008	39,9	50,7		
2009	41,9	54,0		48,8
2010	45,3	56,6	60,1	50,2
2011	46,1	57,3	52,2	47,3
2012	45,4	59,0	51,4	45,7
2013	47,1	58,8	45,6	46,6
2014	43,4	60,7	48,2	45,8
2015	43,6	60,2	54,3	46,0
2016	46,3	58,2	56,8	46,0
2017	46,6	61,9	56,8	48,9
2018	44,7	62,4	49,6	48,3
2019	51,1	61,1	50,6	47,9
2020	48,1	61,1	55,7	
media	45,4	58,6	52,9	47,4
	EU	EU	EU	EU

Si nota chiaramente che i valori di TSI di qualunque parametro sono abbondantemente sopra i limiti di valutazione dell'eutrofia.

E' apparso evidente che un lago, apprezzato per la sua posizione e contesto alpino da numerosi turisti e bagnanti, non poteva rimanere in queste condizioni, per cui nel 2006 la PAT ha costruito un sistema di ossigenazione delle acque ipolimniche mediante pompaggio e miscelamento dell'acqua anossica con ossigeno puro. L'impianto è posto a bordo lago e le condotte si immergono nello stato ipolimnico a 45 metri circa dalla sponda per erogare acqua ossigenata in un tubo circolare con ugelli di uscita. I risultati sono stati soddisfacenti ma non risolutivi per due ragioni fondamentali:

1. L'erogazione fuori dagli ugelli ha provocato un aumento della temperatura dell'acqua anche di 9°C (Toffolon *et al*, 2013) e considerato che l'erogazione viene avviata nel periodo maggio- ottobre, tale aumento di temperatura incideva negativamente con la stratificazione termica del lago, con probabile rimescolamento e veicolazione del fosforo di fondo.
2. Esistono ancora apporti di nutrienti dal territorio circostante.

Non esistono soluzioni definitive in grado di risanare il lago in tempi brevi, ma solo accorgimenti per ottenere il recupero, che esigono un tempo probabilmente lungo. Le proposte di intervento

sono di diversa natura e coinvolgono varie attività.

In sintesi si può suggerire:

- a) La modifica del sistema di ossigenazione, adeguando l'attuale impianto con l'installazione di uno o più strutture del tipo *Speece Cone*. Si tratta di coni di misurata altezza e base di metallo o vetroresina i quali ricevono l'acqua anossica di fondo dal vertice che viene poi mescolata con l'ossigeno, creando una solubilizzazione gas in accordo con la legge di Henry. L'acqua, così ossigenata, viene successivamente re-inviata nei tubi distributori attuali. Tale soluzione non creerebbe la rottura della stratificazione termica e agevolerebbe la presenza di ossigeno disciolto utile a immobilizzare gli ortofosfati di ferro ossidato.
- b) Un potenziamento del recupero dell'acqua della fertirrigazione evitando in tal modo dispersioni di nutrienti.
- c) Chiusura, come previsto da direttive della Provincia, della piscicoltura posta sul limitare nord del lago.
- d) Controllo dell'apporto di nutrienti da parte dei cavalli nella parte tra i due laghi i quali, con la loro permanenza allo stato brado, potrebbero per dilavamento e percolazione dell'acqua contribuire al processo eutrofico.
- e) Molto utile per frenare gli apporti di nutrienti al corpo d'acqua è la piantumazione sulla fascia perilacuale, per almeno 30 metri, di vegetazione arbustiva/arborea igrofila, la quale è in grado di tamponare il 90-95% di fosforo e azoto afferente al lago.
- f) Nell'impossibilità di creare fasce tampone, soprattutto dove esistono fruizioni antropiche, è possibile realizzare delle specie di fitodepuratori a flusso sub-superficiale.
- g) Sarebbe consigliabile mantenere l'attuale tempo di rinnovo delle acque  $T_w$  e quindi in quest'ottica prestare dovuta attenzione al bilancio idrico della cuvetta lacustre. Aumentare la velocità di ricambio del lago, che può produrre un rallentamento del processo di eutrofizzazione a beneficio dell'ecosistema, se pur auspicabile, non deve però produrre un aumento del carico organico afferente al lago.
- h) Verifica di eventuali dispersioni di abitazioni rivierasche non collettate e adottare provvedimenti adeguati.
- i) Verifica dei tenori di azoto e fosforo attuali nei sedimenti.
- j) Armonizzare il popolamento ittico del lago favorendo una gestione più consapevole e agendo sul contenimento e/o eradicazione delle specie alloctone.

Questo elenco di suggerimenti definiscono le necessità affinché il lago possa essere recuperato in tempi relativamente brevi. E' evidente che forse tutto non è immediatamente realizzabile, ma stilando delle priorità è possibile definire una scaletta di interventi attuabili.

È ragionevole pensare che gli interventi con maggiore priorità siano quelli che toccano direttamente i processi trofici, perciò è necessario attivare subito il controllo ed il contenimento degli apporti di nutrienti, soprattutto della zona delle coltivazioni di piccoli frutti fuori terra. Per capire come operare è necessario quantificare esattamente l'apporto di nutrienti, mediante una campagna di analisi di acqua iporreica che scorre verso il lago, pescata da piezometri appositamente posizionati tra le coltivazioni ed il lago e ripetere con campagne a scadenza predeterminata in base ai cicli di produzione, le analisi degli scorrimenti superficiali che afferiscono al lago.

Sulla base dei risultati è possibile intervenire appropriatamente, come per esempio la realizzazione di barriere verdi (fascia tampone vegetale o fitodepurazione delle acque iporreiche), indipendentemente dal carico di azoto e fosforo, vista la delicatezza della situazione. E' evidente che anche il buon funzionamento dell'ossigenatore ha la stessa priorità dell'azione precedente, soprattutto se è possibile installare e attivare gli *Speece Cone*.

I suggerimenti restanti pur non avendo priorità, rimangono comunque azioni necessarie.

Così agendo è evidente che lo scenario futuro appare roseo ed il lago può tornare alle condizioni di trofia ad esso più appropriate, con notevole guadagno da ogni punto di vista, non solo sul piano ecologico, ma anche su quello socio-economico e turistico, acquisendo maggiore appetibilità per il fruitore stanziale e occasionale. Non dimentichiamo che l'aspetto paesaggistico ha un forte traino per qualsiasi fruitore e passa attraverso il processo di recupero e risanamento del corpo d'acqua e rispetto dell'ambiente in funzione di sostenibilità.



**Figura 6.1 - Lago di Serraia, aprile 2021 (fonte: Bioprogramm s.c.)**

Visti ed analizzati tutti gli scenari possibili la risposta ai quesiti di partenza diviene scontata.

Il prelievo delle acque dalla superficie del lago piuttosto che in profondità è influente rispetto alla più grande problematica legata al risanamento del lago, anche nella considerazione che quel tratto di bacino lacustre è comunque stratificato nei mesi estivi, per cui è sempre meglio prelevare acqua dall'ipolimnio. L'eventuale problematica legata alla risospensione dei sedimenti in seguito al pompaggio e quindi la messa in biodisponibilità di sostanze nutritive è da considerarsi trascurabile nel panorama globale.

Così come lo spostamento del punto di prelievo, mediante allungamento del tubo pescante, dalla zona direttamente alimentata dalle acque pulite in ingresso dal rio Campo (Rogge del lago delle Piazze) verso zone in cui sono più evidenti gli ingressi di acque ricche di nutrienti (zona serre), appare pleonastica, in quanto nell'area vi è già un ossigenatore.



## 7 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

APPA, 2008-2020. Rapporti sullo stato del lago di Serrai. Provincia di Trento.

ARPA Umbria, 2002. Monitoraggio dell'impatto ambientale degli impianti di troficoltura in Val Nerina, 144 pp.

Carlson R.E., 1983. *Discussion on "Using differences among Carlson's trophic state index values in regional water quality assessment,"* by Richard A. Osgood. Water Resources Bulletin, 19:307-309.

Chiaudani G., Vighi M., 1982. *L'eutrofizzazione dei bacini lacustri italiani*. Sintesi Quad IRSA 43. Acqua Aria, 4 (1982): 361 - 378. Milano.

Hakason L., 1980. *An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach*. Water Research, 14:975-1001.

OECD, 1982. *Eutrophication of lakes: monitoring, assessment and control*. OECD. Paris, 150 pp.

Pagnotta R., Barbiero G. 2003. *Stima dei carichi inquinanti nell'ambiente marino-costiero*. Ann. Ist. Super. Sanità 2003;39(1):3-10

Pozzi S., Monauni C., Pellegrini G., Defrancesco C. 2005. *Contributo del biovolume algale alla valutazione dello stato trofico: alcuni esempi di applicazione*. Biologia Ambientale, 19 (1): 223-226.

Toffolon M., Ragazzi M., Righetti M., Teodoru C. R., Tubino M., Defrancesco C., Pozzi S., 2013. *Effects of artificial hypolimnetic oxygenation in a shallow lake. Part 1: Phenomenological description and management*. Journal of Environmental Management, Volume 114, 15 January 2013, p. 520-529.

Rott E., 1984. *Phytoplankton as biological parameter for the trophic characterization of lakes*. Verh. Internat. Verein. Limnol., 22:1078-1085.

Siligardi M., Bernabei, S. Cappelletti, Ciutti C., Dallafior F., Dalmiglio V., Fabiani A., Mancini C., Monauni L., Pozzi C., Scardi S., Tancioni M., 2011. *Indice di funzionalità perilacuale (IFP)*. ISPRA, Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale Protezione Ambiente (APPA), 69 pp.

Tomasi G., 2004. *I trecento laghi del Trentino*. Edizioni TEMI (TN), 536 pp.

Turrin D., 2003. Modellazione dello stato trofico delle acque del lago della Serrai (Baselga di Pinè, TN). Tesi di laurea Università degli studi di Padova, Facoltà di Ingegneria, Relatore Lanzoni Stefano, 134 pp.

Willen E., 2000. *Phytoplankton* in water quality assessment- an indicator concept. In: Heinonen Ziglio P.G., Van der Becken A., 2008. *Hydrological and limnological aspects of lake monitoring*. Wiley: 62-80.

Whitney H., 1990. *La teoria delle singolarità* (in: Arnold V. *Teoria delle catastrofi*). Bollati Boringhieri . Torino, 145 pp.

## **GRUPPO DI LAVORO**

**Dott. Biol. Zanetti Marco e Dott. Maurizio Siligardi** coordinatori tecnico-scientifici.

**Dott. Macor Patrick, Dott. Galante Diego, Dott.ssa Piccolo Diana:** raccolta dati ed elaborazione testi e cartografie.

### **Si ringraziano:**

l'APPA – TN nelle persone della Dott.ssa Raffaella Canepel, Dott.ssa Sabrina Pozzi e Dott. Renato Grazzi per la messa a disposizione dei dati analitici.

Il presidente dell'APDT sig. Bruno Cagol per i dati relativi all'attività alieutica ed il Dott. Leonardo Pontalti dell'Ufficio Pesca Provinciale per le informazioni sulla fauna ittica.