

PROGETTO PIRoGA

Progetto Integrato lago/bacino per il Recupero della qualità ecologica
e la Gestione idrologica delle Acque del Lago di Pusiano.



fondazione
cariplo



Stato conoscitivo e piano di risanamento del Lago di Pusiano

30 MAGGIO 2012



Promozione e coordinamento del Progetto PIRoGA

Parco Regionale Valle del Lambro (PRVL)

Daniele Giuffrè (*Referente Progetto PIRoGA*)

Coordinamento Scientifico

Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale di Ricerca (IRSA-CNR), Brugherio (MB)

Franco Salerno (*Responsabile scientifico*)

Autori del Rapporto

Franco Salerno, Diego Copetti, Gaetano Viviano, Emanuela Chiara Manfredi, Lucia Valsecchi, Elisa Carraro, Nicolas Guyennon, Laura Marziali, Davide Vignati e Gianni Tartari.

Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale di Ricerca (IRSA-CNR), Brugherio (MB)

Andrea Lami, Alessandro Oggioni, Martina Austoni, Giuseppe Morabito, Aldo Marchetto, Piero Guilizzoni, Simona Musazzi e Stefano Gerli.

Istituto per lo Studio degli Ecosistemi – Consiglio Nazionale delle Ricerche

Maurizio Maierna, Diego Ricci e Fabio Buzzi.

ARPA Lombardia – Dipartimento di Lecco

Marco Seminara, Fiorenza G. Margaritora e Cinzia Celletti

Università La Sapienza – Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo

Sara Todeschini, Sergio Papiri, Andrea Capodaglio

Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Pavia

Roberto Zoboli, Ilaria Beretta, Susanna Paleari

Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CERIS-CNR), Milano

Collaborazioni

Michele Ricchiuti, Beatrice Sardi, Sabrina Viali, Matteo Maschietto, Marco Foroni

Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale di Ricerca (IRSA-CNR), Brugherio (MB)

Bruno Rossaro

Università degli studi di Milano – Dipartimento di Protezione dei Sistemi Agroalimentare e Urbano e Valorizzazione delle Biodiversità

Luigi Longhi, Corinna Molteni

ASIL S.p.A., Merone (CO)

Karin Finsterle

Phoslock Italia

Peter G. Appleby, Gayane T. Piliposyan

Environmental Radioactivity Research Centre, University of Liverpool

INDICE

PREMESSA ..	VIII
--------------------	-------------

SEZIONE 1. IL PROGETTO PIROGA	1
--	----------

1.1 RIASSUNTO ESTESO	1
-----------------------------------	----------

1.1.1 Il Progetto PIROGA	1
--------------------------------	---

1.1.2 Obiettivi prefissati	4
----------------------------------	---

1.2 AREA DI STUDIO	9
---------------------------------	----------

1.2.1 Il bacino del Lago di Pusiano	9
---	---

1.2.1.1 Principali caratteristiche morfologiche del bacino del Lago di Pusiano	
--	--

1.2.1.3 Inquadramento geologico	
---------------------------------	--

1.2.1.4 L'uso del suolo	
-------------------------	--

1.2.1.5 La rete fognaria e gli scolmatori fognari	
---	--

1.2.2 Il Lago di Pusiano	36
--------------------------------	----

1.2.2.1 Studi pregressi	
-------------------------	--

1.2.2.2 L'evoluzione limnologica recente	
--	--

1.3 ASPETTI NORMATIVI	49
------------------------------------	-----------

1.3.1 Normativa di riferimento	49
--------------------------------------	----

1.4 L'APPROCCIO INTEGRATO LAGO/BACINO	54
--	-----------

1.5 IL PROCESSO PARTECIPATIVO NEL PIROGA	55
---	-----------

SEZIONE 2. ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI OTTENUTI	60
--	-----------

2.1 IL BACINO IDROGRAFICO DEL LAGO DI PUSIANO	60
--	-----------

2.1.1 Acquisizione di dati storici	61
--	----

2.1.1.1 Dati meteorologici	
----------------------------	--

2.1.1.2 Dati idrologici e chimici	
-----------------------------------	--

2.1.1.3 Reti e scolmatori fognari	
-----------------------------------	--

2.1.2	Il monitoraggio in continuo delle acque superficiali	64
2.1.3	Il bilancio idrologico del Lago di Pusiano	75
2.1.4	Il censimento degli scolmatori fognari	79
2.1.4.1	Dati pluviometrici	
2.1.4.2	Il censimento degli scolmatori fognari	
2.1.4.3	Caratterizzazione di uno scolmatore campione	
2.1.5	Stima della portata scolmata dagli scolmatori fognari	94
2.1.5.1	Il modello di trasformazione afflussi/deflussi secondo la teoria dell'invaso lineare	
2.1.5.2	Il modello multivariato multilivello	
2.1.5.3	Metodologia per la determinazione della soglia di sfioro	
2.1.5.4	Il metodo della caffeina per la stima della portata scolmata	
2.1.5.5	Confronto tra il metodo della caffeina e l'approccio modellistico per la stima della portata scolmata	
2.1.6	Stima del carico di fosforo veicolato dagli scolmatori fognari .	137
2.1.7	Definizione del carico di fosforo di origine naturale	138
2.1.7.1	Il monitoraggio in continuo per la stima del carico di origine naturale	
2.1.7.2	Stima del carico di fosforo di origine naturale	
2.1.8	Definizione del carico di fosforo di origine diffusa e puntiforme nel sottobacino del Lambrone	145
2.1.8.1	Caratterizzazione del carico di fosforo in tempo asciutto	
2.1.8.2	Caratterizzazione del carico di fosforo in tempo di pioggia	
2.1.8.3	I carichi di fosforo di origine diffusa e puntiforme	
2.1.9	Definizione del carico di fosforo di origine diffusa e puntiforme per il bacino del Lago di Pusiano	178
2.2	IL LAGO DI PUSIANO	183
2.2.1	La qualità ecologica del Lago di Pusiano	183
2.2.1.1	Dinamica degli apporti del Fiume Lambrone sulla qualità delle acque del lago	
2.2.1.2	Qualità chimica	
2.2.1.3	Dinamica stagionale dei nutrienti algali	
2.2.1.4	Caratteristiche della comunità fitoplanctonica	
2.2.1.5	Caratteristiche della comunità zooplanctonica	
2.2.1.6	Indagine conoscitiva sui metalli in traccia	

2.2.1.7	Caratterizzazione dello stato dei sedimenti e del macrobentos	
2.2.2	Studio Paleolimnologico del Lago di Pusiano	224
2.2.2.1	Analisi della suscettività magnetica	
2.2.2.2	Descrizione delle carote di sedimento e datazione	
2.2.2.3	Correlazione tra differenti carote di sedimento	
2.2.2.4	Analisi geochimiche: determinazione del contenuto di acqua, di sostanza organica, di carbonati, di carbonio, di azoto e di zolfo	
2.2.2.5	Analisi dei pigmenti algali	
2.2.2.6	Analisi dei resti fossili di diatomee	
2.2.2.7	Ricostruzione quantitativa del fosforo totale	
2.2.2.8	Analisi di resti fossili di chironomidi	
2.2.2.9	Contaminazione da mercurio	
2.2.3	Applicazione di un approccio modellistico integrato lago/bacino	251
2.2.3.1	Descrizione dei modelli utilizzati	
2.2.3.2	Simulazione di lungo termine	
2.2.3.3	Simulazione di breve termine	
2.2.4	Determinazione delle condizioni di riferimento del Lago di Pusiano	277

SEZIONE 3. PRINCIPALI CRITICITÀ E AZIONI GESTIONALI284

3.1 LE PRICIPALI CRITICITA' DEL LAGO DI PUSIANO E DEL SUO BACINO284

3.1.1 Conclusioni sullo stato di qualità e sulla condizione ecologica delle acque del Lago di Pusiano284

3.1.2 L'utilizzo delle analisi paleolimnologiche per la ricostruzione dell'evoluzione storica del corpo lacustre286

3.1.3 Le principali fonti di inquinamento dal bacino291

3.1.4 Conclusioni sull'utilizzo di un approccio modellistico integrato lago/bacino per la valutazione dell'evoluzione trofica del Lago di Pusiano294

3.1.5 Determinazione del carico di fosforo da abbattere mediante l'implementazione di azioni gestionali297

3.2 AZIONI GESTIONALI PROPOSTE PER IL RISANAMENTO DEL LAGO300

3.2.1 *Overview* delle possibili azioni gestionali per la riqualificazione del corpo lacustre300

3.2.1.1 Interventi indiretti300

3.2.1.2 Interventi diretti303

3.2.2 Azioni gestionali volte alla riqualificazione del Lago di Pusiano307

3.3 IL PROGETTO PIROGA: AZIONE 1. La fitodepurazione delle acque della Roggia Molinara312

BIBLIOGRAFIA CITATA NEL RAPPORTO316

ALLEGATI

Allegato 1a - PUBBLICIZZAZIONE DEL PROGETTO PIROGA E DIVULGAZIONE DEI RISULTATI (PARTE I). PRINCIPALI RISULTATI DELLE ATTIVITÀ DI PUBBLICIZZAZIONE.

Allegato 1b- PUBBLICIZZAZIONE DEL PROGETTO PIROGA E DIVULGAZIONE DEI RISULTATI (PARTE II).

Allegato 2 - SCHEDE DIGITALIZZATE DEGLI SCOLMATORI FOGNARI DEL BACINO DEL LAGO DI PUSIANO.

Allegato 3 - LAGO DI PUSIANO: RISULTATI E VALUTAZIONE DELLE ANALISI ESEGUITE CON CAMPIONI D'ACQUA E DI SEDIMENTO (PHOSLOCK® EUROPE GMBH).

Allegato 4 - EFFICIENZA DEL PRODOTTO PHOSLOCK® SULLE ACQUE DEL LAGO DI PUSIANO (CNR-IRSA).

PREMESSA

Il Lago di Pusiano, insieme agli altri laghi minori del Triangolo Lariano, rappresenta per il territorio un patrimonio storico e ambientale fondamentale dal punto di vista sociale ed economico. La possibile fruizione turistica e la crescita economica ad esso collegate sono imprescindibili dal risanamento e dalla valorizzazione dell'ambiente lacustre. La fruizione turistico/ricreativa e la crescita economica sono in generale il risultato di politiche di conservazione e di valorizzazione dell'ambiente lacustre che devono mirare al raggiungimento di un "buono stato di qualità delle acque", come previsto dalla normativa italiana D.Lgs. 152/99 e dalla Direttiva 60/2000/CE.

Il Progetto PIRoGA nasce dall'esigenza di intervenire mediante un approccio interdisciplinare sulla problematica legata all'inquinamento del Lago di Pusiano al fine da un lato di individuare le lacune conoscitive e le azioni di intervento per il risanamento delle sue acque e dall'altro di favorire i progetti di fattibilità delle azioni prioritarie individuate, privilegiando il raggiungimento dei migliori benefici a costi compatibili con una pianificazione a breve termine.

A tale scopo, l'allora Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro, divenuto recentemente Ente Parco, con il sostegno economico della Fondazione Cariplo ed il supporto scientifico del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque di Brugherio (MI), nel gennaio 2009 hanno dato avvio al Progetto *PIRoGA*, Progetto Integrato lago/bacino per il Recupero della qualità ecologica e la Gestione idrologica delle Acque del Lago di Pusiano, per raccogliere ed integrare le informazioni relative sulla qualità delle acque del Lago di Pusiano e sullo stato dell'inquinamento, ponendo particolare attenzione all'individuazione delle criticità e delle azioni di risanamento e di tutela ambientale dell'ecosistema lacustre concretamente realizzabili per il conseguimento dell'obiettivo di miglioramento della qualità delle acque. Il PIRoGA, che fonda la struttura metodologica delle attività previste su un approccio di tipo olistico, da un punto di vista funzionale considera sia priorità procedurali, per radicare le attività nel contesto socio/economico, sia funzionalità di tipo idrologico ed ecologico, per risolvere criticità già individuate nell'ecosistema Lago di Pusiano. Da un punto di vista metodologico, invece, segue il principio dell'integrazione delle criticità del lago e del suo bacino attraverso uno studio che considera entrambi gli ambienti appartenere allo stesso ecosistema. L'oggetto di studio e di intervento di questo progetto interessa una superficie, nel complesso, di 94,6 km² che va ben oltre i confini del Parco, in particolare più a Nord: nel territorio facente parte della Comunità Montana del Triangolo Lariano che costituisce la maggior parte del bacino idrografico del Lago di Pusiano. Infatti, il Progetto PIRoGA riunisce esigenze che vanno al di fuori dai confini del Parco Regionale della Valle del Lambro che fonda le sue radici d'essere in quanto promotore di quella educazione sociale necessaria non solo al parco stesso, ma all'intero territorio su cui esso insiste: il ripristino della qualità ecologica del Fiume Lambrone e del Lago di Pusiano e la loro corretta gestione idrologica deve andare oltre gli ambiti di competenza di ciascun ente.

Questo approccio multidisciplinare si configura come un modello di gestione integrata lago-bacino idrografico, condivisa e partecipata di indirizzi e azioni, tale da poter essere applicato ad altre realtà territoriali regionali o nazionali, operando in collaborazione con gli enti locali preposti alla

programmazione, gestione e fruizione del “sistema lago” e con tutti i soggetti a diverso titolo coinvolti in un’ottica di razionalizzazione ed efficacia degli interventi.

Il Progetto è stato realizzato in partenariato da un gruppo di ricerca interdisciplinare composto da esperti di diversi settori riguardanti lo studio della qualità delle acque e gli aspetti socio-economici appartenenti a vari enti di ricerca (Istituto di Ricerca Sulle Acque-CNR di Brugherio, Istituto per lo Studio degli Ecosistemi-CNR di Verbania Pallanza, Università La Sapeinza di Roma– Dipartimento di Biologia Animale e dell’Uomo, Università degli Studi di Pavia- Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale, Istituto di Ricerca Sull’Impresa e lo Sviluppo-CNR) e a organi istituzionali deputati alla gestione e al monitoraggio del territorio (ARPA di Lecco), oltre ad. Il lavoro degli esperti è stato agevolato dalla collaborazione ricevuta da numerosi enti istituzionali e territoriali locali: le aziende che offrono il servizio di depurazione dei reflui quali ASIL Azienda Servizi Integrati Lambro S.p.A. e Rio Torto Acqua Servizi S.p.A., i Comuni ricadenti nel bacino idrografico del Lago di Pusiano, la Conferenza Permanente dei Sindaci della Fascia Rivasca, la Comunità Montana del Triangolo Lariano, l’Assessorato Ecologia e Ambiente della Provincia di Como e di Lecco, i Settori Risorse Idriche, Suolo e Risorse Naturali di ARPA Lombardia, l’Assessorato Reti e Servizi di Pubblica Utilità della Regione Lombardia. Il loro contributo, infatti, si è dimostrato fondamentale per l’acquisizione di dati preziosi al fine di completare il quadro informativo sul bacino del Lago di Pusiano.

Il Progetto PIROGA ha quindi richiesto per la sua realizzazione il lavoro di numerose persone che lo hanno accompagnato fiduciose lungo il percorso. Innanzi tutto si ringraziano tutti soggetti coinvolti nel partenariato per la grande disponibilità, lo spirito di confronto e la competenza. Essi hanno impegnato il loro tempo per un progetto che si prefigge di fornire un forte impulso alla conoscenza dell’ecosistema lacustre, avviando un ampio confronto sui processi, le criticità e le azioni richieste per il definitivo risanamento. Un particolare ringraziamento è rivolto alla Fondazione Cariplo che ha creduto nel Progetto PIROGA a partire dalla prima fase e ne consentito la realizzazione tramite il proprio sostegno economico, insieme al Parco Regionale della Valle del Lambro.

Il Progetto PIROGA, infine, ha lo scopo di conseguire risultati durevoli nel tempo sia attraverso il miglioramento delle conoscenze acquisite sia attraverso l’indicazione di concreti interventi per la diminuzione dell’inquinamento. Questi ultimi richiederanno il sostegno e l’impegno da parte delle istituzioni e degli enti locali. Il supporto che ne deriverà garantirà la prosecuzione delle azioni di monitoraggio sugli interventi eseguiti e consentirà l’elaborazione di modelli previsionali, al fine di non vanificare gli obiettivi raggiunti.

In sintesi, il progetto PIROGA è teso a migliorare la funzionalità idrologica ed ecologica e, al contempo, a favorire un uso plurimo, efficiente ed equo delle acque del Lago di Pusiano. Può essere considerato un progetto pilota ad alto contenuto innovativo sia per gli aspetti procedurali, sia per quelli gestionali. **Si può concludere, quindi, che il PIROGA si configura come un modello di gestione integrata, condivisa e partecipata di indirizzi e azioni proiettate a scala di intero bacino idrografico, tale da poter essere applicato ad ambienti lacustri dalle caratteristiche morfometriche simili in altre realtà territoriali regionali o nazionali.**

PRESENTAZIONE DEL DOCUMENTO

Le finalità

Il presente Rapporto, che costituisce il documento conclusivo del Progetto PIRoGA (.....) (2009-2011) e nasce da una raccolta aggiornata dello stato delle conoscenze riguardanti il Lago di Pusiano, approfondite grazie agli studi condotti nei tre anni del Progetto, focalizza l'attenzione sulle criticità che determinano la qualità delle acque del corpo lacustre e suggerisce, infine, azioni gestionali che possono essere avviate per il loro recupero in accordo con le indicazioni contenute nei Piani di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA). In Rapporto del Progetto PIRoGA si sviluppa in un contesto interdisciplinare a scala di bacino idrografico seguendo le linee indicate dalla Direttiva Europea sulla "Qualità Ecologica delle Acque (Direttiva 60/2000/CE), che ha come finalità primaria il raggiungimento, entro il 2015, di un "buono" stato della qualità di tutte le acque superficiali attraverso lo sviluppo di opportuni strumenti di indagine e l'acquisizione del complesso di informazioni idromorfologiche, socioeconomiche ed ecologiche indispensabili per la definizione degli obiettivi di qualità.

Questo documento ha la finalità principale di raccogliere la sintesi delle informazioni interdisciplinari acquisite nel Progetto PIRoGA riguardanti lo stato delle acque lacustri e dei fattori che determinano, a scala di bacino idrografico, le attuali pressioni che gravano sul Lago di Pusiano, di descrivere le criticità ambientali individuate sul territorio, e di presentare le azioni gestionali necessarie per rimuovere o ridurre gli impatti che determinano lo condizione attuale delle acque lacustri. Il Rapporto individua le progettualità operative che si possono realizzare a supporto delle risposte pianificatore dei decisori per contribuire ad accelerare il risanamento delle acque del Lago di Pusiano.

Si evidenzia che il Progetto PIRoGA da un lato persegue una finalità di supporto ai processi decisionali mediante la realizzazione di un programma di attività e di interesse comune agli Enti locali concernenti l'ambito territoriale del bacino del Lago di Pusiano, dall'altro svolge un'innovativa azione di collegamento tra la ricerca scientifica e le necessità di recupero della qualità dell'ecosistema lacustre. In quest'ottica, i soggetti partner coinvolti nel Progetto, che includono strutture di ricerca scientifica e di controllo ambientale che da anni operano sul lago (IRSA-CNR, ISE-CNR, ARPA Lombardia) e avvalendosi del coinvolgimento esterno di *end-user* e *stakeholder*, ha fornito il proprio indispensabile supporto di indirizzo per la focalizzazione a livello locale dei temi affrontati, evitando la sovrapposizioni operative di indirizzo.

Struttura del Rapporto

La struttura del documento persegue le finalità operative descritte in precedenza attraverso un'articolazione in sezioni, capitoli e paragrafi tra loro strettamente interconnessi.

In particolare, il Rapporto si articola in tre sezioni:

1. **Il Progetto PIROGA**, in cui viene presentato il progetto e le sue finalità, viene fornito un inquadramento sia territoriale del caso di studio (l'intero bacino idrografico del Lago di Pusiano) sia degli aspetti normativi, ed infine è illustrato l'approccio partecipativo adottato.
2. **Le attività svolte ed i risultati ottenuti**, con la distinzione tra il bacino idrografico del Lago di Pusiano ed il corpo lacustre.
3. L'inquadramento conclusivo rispetto alle **principali criticità e azioni gestionali** per il risanamento dell'ambiente lacustre.

La prima Sezione ha scopo di descrizione generale del Progetto, mentre la seconda costituisce il cuore del Rapporto in cui, nei capitoli tematici relativi al bacino e al lago, si approfondisce lo stato delle conoscenze acquisite grazie ai risultati conseguiti nei tre anni del Progetto. Nella terza Sezione si fornisce invece un'analisi conclusiva in merito alle criticità individuate e si suggeriscono le azioni gestionali che si ritiene debbano essere avviate per il risanamento del lago. In quest'ultima Sezione, le azioni vengono dapprima presentate sinteticamente secondo una visione generale nell'ottica di risanamento di corpi lacustri; successivamente si evidenziano quegli interventi operativi specifici che lo studio integrato a scala di bacino condotto nel PIROGA ha permesso di individuare come prioritari e maggiormente fattibili nel breve termine secondo un'ottica di costi/benefici, tuttavia nella consapevolezza che ciascuna criticità non possa trovare soluzioni risolutive univoche senza il concorso delle altre in una logica di funzionamento ecosistemico.

SEZIONE 1. IL PROGETTO PIROGA¹

1.1 RIASSUNTO ESTESO

1.1.1 Il Progetto PIROGA

Il Progetto PIROGA (2009-2011) è teso all'attuazione delle finalità e obiettivi previsti dalla Comunità Europea in materia ambientale e in particolare in materia di acque, così come stabiliti dalla Direttiva 2000/60/CE (*Water Framework Directive, WDF*) per il raggiungimento entro il 2015 di uno stato "buono" della qualità delle acque superficiali. L'obiettivo è la realizzazione di un programma di attività d'interesse comune agli Enti locali concernenti l'ambito territoriale del bacino del Lago di Pusiano (CO). In particolare il progetto è diretto alla realizzazione di obiettivi, coerenti con le indicazioni contenute nei Piani di Tutela delle Acque della Regione Lombardia (PTUA, 2006), che per rilevanza e complessità necessitano di un approccio integrato lago/bacino.

Il Progetto PIROGA, avviato nel 2009, è un'iniziativa di tutela ambientale promossa dal Parco Regionale della Valle del Lambro (PRVL) che ha ottenuto l'importante cofinanziamento della Fondazione Cariplo nell'ambito del Bando 2004/2006 "Gestione sostenibile delle acque superficiali". All'Istituto di Ricerca Sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRSA) è stato affidato il coordinamento scientifico del progetto il quale è stato realizzato in partenariato con un gruppo di ricerca che comprende: l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISE), ARPA Lombardia – Dipartimento di Lecco, l'Università La Sapienza di Roma - Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo, l'Università degli Studi di Pavia - Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, l'Istituto di Ricerca sull'Impresa e lo Sviluppo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-CERIS) (Tabella 1.1).

Per mettere in luce le criticità che determinano lo stato di limitata qualità delle acque del lago, il gruppo di lavoro del progetto si è avvalso, altresì, della collaborazione di utenti finali (*end user*) tra cui i Comuni del bacino idrografico del Lago di Pusiano ed altri gestori istituzionali locali (*stakeholder*) come A.S.I.L. S.p.A., Le Province di Como e Lecco (Settore Acque) e le rispettive A.T.O. (Ambiti Territoriali Ottimali), la Regione Lombardia e ARPA Lombardia, oltre ai Consorzi del Torrente Lambrone e della Roggia Molinara. La conduzione di alcune attività progettuali hanno visto la collaborazione di altri enti di ricerca e università internazionali, tra cui il Centre for Water Research dell'Università della Western Australia, l'Environmental Radioactivity Research Centre dell'Università di Liverpool, la società Phoslock Europe GmbH.

¹ L'acronimo PIROGA è stato scelto sulla base delle finalità intrinseche del progetto e deriva da "Progetto Integrato lago/bacino per il Recupero della qualità ecologica e la Gestione idrologica delle Acque del Lago di Pusiano".

Tabella 1.1. Attori coinvolti nel Progetto PIRoGA.

	Supporto specifico	Funzione
PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO (PRVL)	Proponente del Progetto	<i>Innovazione procedurale</i>
- CNR, Istituto di Ricerca Sull'Impresa e lo Sviluppo (CNR-CERIS)	Coordinatore procedurale	
- Regione Lombardia - Province di Lecco e Como e relative AATO - Comunità Montana del Triangolo Lariano - Conferenza Permanente dei Sindaci della Fascia Rivasca - ASIL Azienda Servizi Integrati Lambro SpA - Rio Torto Acqua Servizi SpA - ARPA Lecco	Tecnico/Ingegneristico Tecnico/Ingegneristico Conteggio Fitoplancton	<i>End Users</i>
CNR, Istituto di Ricerca Sulle Acque (CNR-IRSA)	Coordinatore scientifico	<i>Innovazione gestionale</i>
- CNR, Istituto Sugli Ecosistemi, Verbania Pallanza (CNR-ISE)	Fitoplancton e Paleolimnologia	
- Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale (UNIPV)	Modellizzazione idrologica e di qualità	
- Università La Sapienza di Roma, Dipartimento di Biologia Animale e dell'Uomo (UNIROMA)	Zooplancton e benthos	
- Centre for Water Research, Perth, Western Australia (CWR)	Modellizzazione del lago	

Sulla tali basi, l'obiettivo primario del Progetto PIRoGA è consistito nell'individuare le azioni gestionali da intraprendere per il raggiungimento dello stato buono ecologico delle acque lacustri, con l'obiettivo finale di risanare il lago e così ridare alla popolazione locale la piena fruibilità ambientale ed economica del lago, che appare offrire infatti interessanti prospettive di sviluppo economico.

La conoscenza delle criticità

Nella seconda metà del secolo scorso, a causa delle elevate pressioni antropiche, il Lago di Pusiano, analogamente ad altri piccoli laghi dell'Italia settentrionale collocati alle basse quote, ha subito un rapido deterioramento della qualità delle sue acque che ha determinato una condizione di alterazione della trofia (eutrofizzazione), che rappresenta anche la causa più rilevante d'alterazione dei corpi idrici in Europa (Gruppo di Lavoro Lago di Como, Progetto PLINIUS, 2006). Tale situazione è determinata dalla quantità di nutrienti, in particolare fosforo, che sono immessi annualmente nel lago (carico) e ne hanno fortemente compromesso le condizioni ecologiche, ma anche dalla modalità d'immissione, essendo questa distribuita in relazione all'antropizzazione del territorio. Sebbene in generale in Italia la fonte principale di nutrienti sia di origine agricola, nel caso del Lago di Pusiano, dove l'agricoltura è pressoché assente (1% dell'uso del suolo), invece, sono le aree urbanizzate ad avere il ruolo predominante nella formazione del carico.

I dati a nostra disposizione ci indicano, infatti, che il Lago di Pusiano si trovava in questa condizione di eutrofia già agli inizi degli anni '70, quando sono state svolte le prime campagne (integrate) sulla qualità delle acque di questo ambiente. A partire dalla fine degli anni 80", quando l'ambiente mostrava

chiari segni di ipertrofia, si è assistito a una progressiva riduzione delle concentrazioni di fosforo. Tale riduzione trova due principali spiegazioni: il progressivo allacciamento della popolazione residente ai collettori fognari e la riduzione delle concentrazioni di fosfati nei detersivi. Attualmente l'ambiente si trova in una condizione di debole eutrofia. Nelle ultime due decadi, quindi, le concentrazioni di fosforo (elemento limitante la crescita algale) nel Lago di Pusiano si stanno progressivamente avvicinando a una condizione mesotrofica, tipica degli ambienti di medie e piccole dimensioni della fascia morenica a sud delle Prealpi, non lontano quindi, dal raggiungimento degli obiettivi di qualità di uno stato ecologico "buono" secondo quanto espresso dalla WFD, recepita in Italia dal D.Lgs 152/2006 e s.m.i., e da quelli previsti nel Piano di Tutela ed Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA, 2006), il quale fissa a 30 µg P/L l'obiettivo gestionale di qualità per il lago (corrispondente alla condizione di mesotrofia).

A fronte di questo miglioramento dello stato trofico nell'ultimo decennio si sono intensificate le fioriture di cianobatteri (Legnani et al., 2006). I cianobatteri sono una componente naturale del popolamento fitoplanctonico. La loro presenza massiccia può però determinare problemi di diverso tipo dovuti principalmente alla produzione di sostanze tossiche (microcistine). In concomitanza di intense fioriture di cianobatteri si assiste spesso a una riduzione degli usi delle acque e a una riduzione dei così detti "servizi eco sistemici". In particolare a partire dal 2002 il popolamento fitoplanctonico è risultato dominato da *Planktothrix rubescens* una specie in grado di produrre cianotossine appartenenti alla classe delle microcistine. Fioriture associate ad altre specie sono state riscontrate sporadicamente nelle acque del lago. Associate a tali fioriture sono state rilevate anche schiume superficiali, talvolta maleodoranti. La progressiva dominanza di specie cianobatteriche è un fenomeno riscontrato in diversi ambienti distribuiti a tutte le latitudini del globo che trova riscontro anche in diversi altri laghi italiani ed europeo. Tale risposta è probabilmente favorita dai cambiamenti climatici e particolarmente dal riscaldamento globale. Nel caso specifico di *P. rubescens* la stessa riduzione dello stato trofico potrebbe aver favorito la proliferazione di questa specie. In una condizione di debole eutrofia delle acque è infatti possibile che questa specie trovi condizioni trofiche che da una parte favoriscano la sua presenza e che dall'altra consentano ancora il mantenimento di una elevata biomassa.

Le indagini pregresse condotte da CNR-IRSA sul territorio in oltre 40 anni di ricerche, hanno evidenziato che persistente condizione di degrado in cui si trova il corpo lacustre è determinata da un elevato apporto di nutrienti dal bacino idrografico, imputabile principalmente al persistere di carichi esterni dovuti a sorgenti puntiformi, identificati negli scolmatori di piena (*Combined Sewer Overflow*, CSO) lungo il collettore consortile, e a sorgenti diffuse dovute al dilavamento superficiale (Salerno, 2005; Ineguale, 2007), mentre solo in parte è ascrivibile al carico interno di nutrienti (Ferrari, 2005). In particolare, per quanto concerne gli scolmatori di piena, ad ogni afflusso piovoso di entità rilevante essi riversano i reflui fognari direttamente nel corpo idrico recettore, cioè il Fiume Lambrone, principale immissario del lago (Ricchiuti, 2011). Un altro elemento di criticità riguardante la rete fognaria risiede nei mancati allacciamenti di alcune utenze, che alcune zone del bacino idrografico raggiunge il 30%.

L' inadeguata strumentazione presente nel bacino e la mancanza di studi pregressi, che in dettaglio abbiano analizzato gli aspetti del sistema idrologico, ha indotto ad attivare nel contesto del Progetto PIROGA un' intensa attività di ricerca volta ad aumentare lo stato delle conoscenze del sistema funzionale lago/bacino mediante uno studio dettagliato volto alla caratterizzazione integrata degli impatti antropici prodotti nel bacino e diretti al Lago di Pusiano (Salerno, 2005; Sardi, 2011) e agli effetti che essi hanno sulle dinamiche lacustri.

1.1.2 Obiettivi previsti

Il Progetto PIROGA ha rivolto in particolare la propria attenzione al risanamento del Lago di Pusiano, partendo da una visione d'insieme basata su dati e informazioni pregresse raccolte a scala di bacino, cercando di fornire contributi mirati per colmare alcune lacune conoscitive e poter individuare le azioni gestionali da intraprendere per il raggiungimento dello stato buono ecologico delle acque lacustri. Il progetto è diretto alla realizzazione di obiettivi, coerenti con le indicazioni contenute nel PTUA (2006) e in attuazione delle finalità della WDF, che per rilevanza e complessità necessitano di un approccio integrato lago/bacino.

Il PIROGA si configura, quindi, come un modello di gestione integrata, condivisa e partecipata di indirizzi e azioni proiettate a scala di intero bacino idrografico, tale da poter essere applicato ad altre realtà territoriali regionali o nazionali.

Gli obiettivi specifici perseguiti dal progetto possono essere suddivisi in due macro settori:

I. Funzionalità ecologica

a) Completare il quadro conoscitivo delle caratteristiche ecologiche del lago

I rapporti intermedi *Documenti PIROGA 2/2011* (Copetti et al., 2011) e *3/2011* (Lami et al., 2011) illustrano i risultati delle campagne di monitoraggio condotte sul lago che sono state concluse al termine della stagione invernale 2010-2011. Dai primi risultati si è in grado di affermare che **attualmente il lago si trova in una condizione non lontana dalla definizione di buono stato per quanto riguarda i nutrienti**, essendo ormai prossimo al limite imposto dalla Direttiva Europea sulle Acque (WDF) e dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Lombardia (PTUA, 2006). Il perdurare dell'attuale stato di eutrofia riscontrabile nel Lago di Pusiano ha determinato una riduzione della diversificazione della comunità biologica ed un impoverimento della qualità del comparto biotico. Nello specifico il fitoplancton risulta attualmente composto prevalentemente da cianobatteri che sono divenuti una componente sempre più presente nel popolamento algale in concomitanza con la diminuzione della trofia (in relazione alle concentrazioni di fosforo) delle acque, dando origine a frequenti fenomeni di fioriture algali (con dominanza della specie *Planktothrix rubescens*) e formazione di schiume superficiali, talvolta maleodoranti.

La campagna di campionamento del Lago di Pusiano svolta nel 2010 è stata pianificata tenendo conto di questo quadro conoscitivo e ha previsto lo svolgimento di analisi dello spettro ionico (macrocostituenti della matrice acquosa), dei nutrienti algali (azoto, fosforo e silicio) e il conteggio delle specie algali (con relativa stima del biovolume e della densità cellulare). I campioni per l'analisi di

queste variabili sono stati raccolti a diverse profondità a centro lago. Al fine di poter valutare la qualità delle acque anche in funzione di quanto previsto dalla direttiva europea (WDF), in quattro occasioni, sono stati raccolti anche campioni per il riconoscimento delle specie macrobentoniche. Il quadro del popolamento bentonico è stato completato con studi relativi al popolamento zooplanctonico che sebbene non previsto dalla direttiva europea costituisce un anello fondamentale nella catena trofica degli ecosistemi lacustri. Le indagini sul lago si sono avvalse anche di misuratori in tempo reale. In particolare attraverso l'uso di un fluorimetro FluoroProbe è stato possibile ottenere una descrizione dei principali raggruppamenti algali su più stazioni e con una frequenza di campionamento più fitta (ogni quindici giorni). Sebbene non previsto in convenzione, durante la campagna di campionamento sono state anche svolte alcune analisi relative alle microcistine presenti durante le fioriture di specie potenzialmente tossiche. La collaborazione con il dipartimento di Lecco di ARPA Lombardia ha consentito inoltre di aggiornare il database storico dell'IRSA con informazioni relative al periodo 2003-2009. In questo modo è stato possibile ricostruire con un certo dettaglio il periodo compreso tra il 2010 e l'ultima campagna svolta nel periodo compreso tra il 2002 e il 2005.

b) Completare il quadro conoscitivo delle criticità ambientali nel bacino idrografico, che determinano il carico inquinante che grava sul lago, ed in particolare in relazione alla funzionalità della rete di collettamento dei reflui civili.

Il monitoraggio della qualità del Lago di Pusiano è stato condotto dall'Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRSA) a partire dal 1973 ed è proseguito fino all'attuale Progetto PIRoGA che ha permesso di approfondire aspetti gestionali della risorsa in modo puntuale. È stato così possibile **seguirne l'evoluzione, evidenziando i momenti di forte criticità fino ai primi anni '80** e il successivo lento miglioramento dovuto alla costruzione del depuratore di Merone e il progressivo miglioramento dell'efficienza della rete di collettamento delle acque reflue. Il miglioramento della qualità delle acque è dovuto pertanto esclusivamente alla diminuzione della pressione esercitata sul lago a cui il lago sta rispondendo con una estrema lentezza (ci sta impiegando oltre 30 anni per tornare a una condizione di semi-naturalità).

Con il Progetto PIRoGA abbiamo identificato, non solo la condizione attuale dell'ambiente lacustre, ma, con un elevato grado di dettaglio, anche le sorgenti specifiche del suo inquinamento. In generale allo scopo di completare il quadro conoscitivo delle criticità ambientali del bacino del Lago di Pusiano, l'attività di ricerca si è dunque sviluppata nell'ottica di voler perseguire i seguenti obiettivi:

- ✓ censimento e caratterizzazione della rete di collettamento e di tutti gli scolmatori presenti nel bacino, tramite il coinvolgimento diretto delle Amministrazioni locali e degli Enti gestori;
- ✓ caratterizzazione della qualità delle acque del Fiume Lambro settentrionale, in differenti sezioni e condizioni idrologiche, al fine di comprendere le dinamiche di generazione e trasporto delle forme di azoto e fosforo;
- ✓ definizioni delle componenti del carico di fosforo di origine naturale, diffusa e puntiforme e loro quantificazione.

Tra le attività svolte ricordiamo qui quelle che riteniamo aver apportato il maggiore valore aggiunto al progetto:

Caratterizzazione della rete fognaria e censimento degli scolmatori di piena

Sulla base dei dati relativi alla localizzazione degli scolmatori forniti dalla Provincia di Como sono stati contattati tutti i Comuni gravanti nel bacino idrografico del Lago di Pusiano che hanno collaborato a creare un database sui punti di scarico nei corpi idrici superficiali. In totale si contano 99 scolmatori di piena che gravano sugli immissari del Lago di Pusiano. È stato raccolto, inoltre, materiale in grado di caratterizzare i manufatti come: il numero di abitanti allacciati alla rete per i differenti Comuni, la cartografia digitale relativa alle reti fognarie, la documentazione per la richiesta di autorizzazione allo scarico. Tali informazioni sono state integrate in un database informativo unico per la sua completezza nel grado di conoscenza del territorio. In una seconda fase del monitoraggio si è reso necessario pianificare una serie di ricognizioni sul campo: a seguito della localizzazione in sito dei singoli scolmatori è stato organizzato un completo archivio fotografico d'immagini dei manufatti riguardanti cameretta e scarico. La terza fase del monitoraggio ha previsto un secondo ciclo di uscite sul bacino allo scopo di identificare il funzionamento degli scaricatori di piena per i quali sono emersi dubbi durante la prima ispezione. La quarta ed ultima fase del censimento ha riguardato l'installazione di sensori di "stato" nel 25% degli scolmatori con l'obiettivo di monitorare in continuo l'attivazione degli stessi. La tecnologia utilizzata per il monitoraggio è stata ideata e creata ad hoc per il progetto Piroga ed è in fase di test al fine di un possibile prossimo brevetto. Gli enti gestori degli impianti di depurazione hanno espresso inoltre l'intenzione di adottare tale tecnologia per altri ambienti lombardi.

Caratterizzazione dello scolmatore rappresentativo (campione) del sistema fognario

Il monitoraggio dello scolmatore è avvenuto mediante l'installazione di due sonde: un idrometro per la misura del livello dell'acqua e una sonda multiparametrica dotata di diversi sensori per la misura dei principali parametri chimico-fisici del refluo scolmato (temperatura, pH, potenziale RedOx, conducibilità, torbidità). L'idrometro è stato installato nella condotta in arrivo allo scolmatore, mentre la sonda multiparametrica nel derivatore verso il collettore consortile. Attualmente si sono ottenuti e descritti i risultati delle simulazioni idrauliche confrontando tali risultati con analisi dirette del contenuto di caffeina nella sezione del Lambrone per la stima della quota parte della portata del fiume dovuta agli scolmatori fognari. Mediante l'accoppiamento con studi pregressi (Ineguale, 2006) è stato possibile definire i carichi veicolati dallo scolmatore fognario.

Caratterizzazione della qualità delle acque dei principali immissari

Al fine di caratterizzare gli apporti di nutrienti (azoto e fosforo) che dal bacino defluiscono al Lago di Pusiano, determinandone lo stato di qualità delle sue acque, è stata svolta un'analisi della distribuzione spaziale delle principali forme di fosforo e azoto nelle diverse sezioni del bacino del Lambro Settentrionale, principale immissario del Lago di Pusiano. Sono stati inoltre monitorati altri tre corsi d'acqua che affluiscono direttamente al lago: la Roggia Molinara, la Roggia Gallarana e l'Emissario del Segrino nella sezione a valle del Comune di Eupilio. Oltre alla campagna di monitoraggio di tipo tradizionale (prelievo manuale) finalizzata a studiare la distribuzione spaziale e le dinamiche di trasporto e dei nutrienti entro il bacino del Lago di Pusiano, l'attività di ricerca è stata

volta anche alla caratterizzazione della qualità delle acque e, in particolare, della variabilità delle concentrazioni di nutrienti, ad una scala temporale di maggior dettaglio (ad elevata frequenza). Ciò è stato possibile grazie all'installazione *in-situ* di un network di sonde e strumentazione per l'acquisizione dei dati idrochimici, idrologici e pluviometrici.

Definizioni delle componenti del carico di fosforo di origine naturale, diffusa e puntiforme e loro quantificazione

Al fine di quantificare il carico di fosforo impattante il lago, e le relative componenti, è stata installata opportuna strumentazione in due differenti sezioni del Lambro settentrionale affinché si potessero monitorare in continuo le principali variabili chimico-fisiche possibili predittori della concentrazione di fosforo totale. La sezione del Gajum è stata scelta per acquisire dati che servissero per calibrare e validare il modello SWAT per la simulazione del carico di origine naturale.

La sezione del Lambrone è stata invece scelta, poiché appena a monte del Lago di Pusiano, per il monitoraggio in continuo delle principali variabili chimico-fisiche, possibili predittori della concentrazione di fosforo totale, per valutare i carichi di fosforo di origine diffusa e puntiforme.

c) Elaborare un modello integrato bacino/Lago per la valutazione delle politiche in atto e dei possibili scenari per la gestione futura.

Il processo di eutrofizzazione di un lago è un processo complesso influenzato sia da pressioni di tipo globale che da pressioni di tipo locale. La valutazione dei rispettivi contributi richiede osservazioni sperimentali di lungo termine e metodologie articolate e complesse. Un modello integrato bacino/Lago risulta quindi essere adatto per l'analisi delle dinamiche lacustri soggette a carichi provenienti dal bacino idrografico andando così a sopperire alle difficoltà nell'acquisizione di dati lunghe serie di dati sperimentali. Nell'ambito progetto del progetto PIROGA è stato accoppiato l'utilizzo del modello SWAT per la stima dei carichi provenienti dal bacino idrografico del Lago di Pusiano con i modelli del lago CAEDYM (*Computational Aquatic Ecosystem Dynamics Model*) e DYRESM (*DYNAMIC REServoir Simulation Model*), con l'intento di voler discriminare gli impatti delle pressioni di tipo globale dagli effetti di tipo locale sulle principali dinamiche lacustri. A tale scopo sono stati sviluppati quattro differenti scenari modellistici nel periodo 1960 – 2010.

È stato sviluppato uno scenario rappresentante la condizione attuale (CUR), ovvero la coesistenza di pressioni di tipo globali e di tipo locali. Altri due scenari prevedevano l'esclusione, per uno dell'impatto antropico (GPS) e per l'altro l'esclusione dell'impatto generato dal riscaldamento della temperatura atmosferica nei 50 anni di simulazione (LPS). Infine è stato sviluppato uno scenario che escludesse entrambe le tipologie di impatti (UND) andando quindi a simulare le condizioni naturali del lago.

II. Funzionalità sociale

a) Condividere le conoscenze sul lago, sviluppare attività di comunicazione, formazione ed educazione adeguate al raggiungimento degli obiettivi del progetto.

Attraverso la promozione di un processo partecipativo implementato dal Parco Regionale della Valle del Lambro in collaborazione con l'CNIR-IRSA e altri 13 partners tra Università ed Enti di ricerca, sono

stati coinvolti in modo diretto le Amministrazioni e gli Enti gestori locali, tra cui i Comuni appartenenti al bacino idrografico del Lago di Pusiano, le Province di Como e di Lecco e le rispettive A.T.O. (Ambiti Territoriali Ottimali), la Regione Lombardia e ARPA Lombardia, oltre ai Consorzi del Torrente Lambrone e della Roggia Molinara. Sulla base delle criticità locali individuate grazie al coinvolgimento dei diversi attori sociali e delle conoscenze disponibili, sono state identificate le informazioni mancanti necessarie al completamento di un quadro conoscitivo relativamente al carico inquinante che grava sul lago. L'applicazione di un approccio partecipato, avviato ufficialmente a partire da settembre 2009 nel contesto del Progetto PIROGA, ha previsto l'organizzazione di numerosi incontri e riunioni.

In particolare mettiamo in evidenza che il giorno 24 marzo 2011, presso la Scuola Primaria del Comune di Rogeno, si è tenuto un incontro a carattere divulgativo con la cittadinanza e i principali *stakeholder* locali, dal titolo "Pusiano: un lago che rinasce. Presentazione dello stato di avanzamento del Progetto PIROGA e delle future azioni per la salvaguardia e il risanamento del Lago di Pusiano".

Inoltre il 20 e il 21 gennaio 2011 si è tenuto all'IRSA-CNR il Corso di modellistica previsto nelle attività del Progetto. Tale corso aveva l'obiettivo di fornire al personale del Dipartimento di Lecco di ARPA Lombardia un primo quadro conoscitivo nel settore della modellistica lacustre con particolare riferimento ai modelli sviluppati dal Centre for Water Research (University of Western Australia, Perth) applicati anche nell'ambito del Progetto PIROGA.

1.2 AREA DI STUDIO

1.2.1 Il bacino del Lago di Pusiano

Il Lago di Pusiano è un bacino lacustre di origine glaciale, situato tra i due rami del Lago di Como nel cosiddetto Triangolo Lariano con longitudine 521107 metri e latitudine 5072268 metri a centro lago (coordinate nel sistema di riferimento UTM ED1950). In questa area sono presenti altri quattro piccoli laghi (Montorfano, Alserio, Segrino e Annone), di superficie e profondità minori rispetto al Lago di Pusiano, ma accomunati dalla medesima origine glaciale (Figura 1.1).



Figura 1.1. Localizzazione geografica del Lago di Pusiano, del suo immissario principale (Fiume Lambro), della rete idrografica principale, del suo bacino imbrifero e dei laghi ad esso prossimi.

Il lago si trova nella prima conca dell'anfiteatro morenico che si apre alla base delle Prealpi. Il suo immissario principale è il Fiume Lambro e sorge ai piani di Rancio in località Magreglio. Il bacino drenante il lago ha una superficie di 94.6 km² (lago incluso) ed è delimitato sul versante occidentale dai monti Mollettone (1317 m), Palanzone (1436 m) e Pizzo dell'Asino (1272 m); sul versante orientale dai monti Colla (1101 m), Megna (1052 m), Corni di Canzo (1173 m), Rai (1261 m) e Cornizzolo (1241

m). Il bacino idrografico comprende il sottobacino del Lago di Segrino, le cui delimitazioni geografiche sono: ad ovest, monte Scioscia (669 m) e monte Alto (560 m) mentre ad est il monte Cornizzolo.

L'attuale sistema idrografico è il risultato di un rilevante intervento sul tratto del Lambro in prossimità dell'immissione nel lago di Pusiano, fiume il quale venne canalizzato nel 1811 a seguito degli interventi di bonifica del territorio tra Erba e Merone assumendo la denominazione di "Lambrone". Anche per i deflussi dal lago l'Emissario Naturale è stato affiancato da un canale artificiale regolato con un sistema costituito da due paratoie chiamato Cavo Diotti. Il Fiume Lambro, principale immissario del Pusiano, nasce a 944 m presso il Piano del Rancio dalla sorgente Mena-resta. Il nome di questa sorgente rispecchia la sua caratteristica più curiosa: ha infatti una portata variabile, in alcuni momenti versa abbondantemente acqua e in altri meno. Questo fenomeno è dovuto alla natura carsica della zona ed alla conseguente presenza di cavità nella roccia calcarea che si riempiono molto lentamente per poi svuotarsi in un solo colpo come sorta di sifone naturale. Dopo aver percorso il suo tratto montano per oltre 12 km, attraversa la Piana d'Erba, dove si immette lungo le sponde occidentali del Lago di Pusiano.

Al fine di esporre una visualizzazione orografica del bacino si è provveduto ad ottenere un Digital Elevation Model (DEM) con griglia a celle regolari di dimensione 20m x 20m gestibile mediante software informatico ESRI ArcGis 9.3®: il DEM in questione viene fornito in formato *raster* dal Servizio Cartografico della Regione Lombardia ed è scaricabile gratuitamente dal sito www.cartografia.regione.lombardia.it. Nella Figura 1.2 si mostra tridimensionalmente il contesto territoriale di cui fa parte il lago, focalizzando l'attenzione sul suo bacino e sull'orografia ad esso connessa.



Figura 1.2. DEM (20mx20m) del Lago di Pusiano e del suo bacino sviluppato in 3D.

1.2.1.1 Principali caratteristiche morfologiche del bacino del Lago di Pusiano

Lo scopo del seguente paragrafo è quello di analizzare attraverso alcune proprietà le caratteristiche fondamentali del bacino imbrifero in modo da aumentare il grado di conoscenza, in particolare per

quanto concerne la forma, del sistema su cui si effettua lo studio adoperando un DEM elaborato nel modo descritto in precedenza e le informazioni in formato *shapefile* fornite dal Servizio Cartografico della Regione Lombardia.

i. Proprietà geometriche planari

Il bacino imbrifero, ovvero l'unità fisiografica alla quale far riferimento nello studio dei fenomeni fluviali e dei processi idro-geomorfologici ad essi legati, presenta, come già citato in precedenza un'area (A_b) di $94,6 \text{ km}^2$, e un perimetro di $52,9 \text{ km}$.

Per caratterizzare la forma di un bacino sono stati proposti diversi indici, di norma legati tra loro, che generalmente confrontano il bacino reale con un cerchio di pari superficie o di pari perimetro; in particolare si propone il *fattore di compattezza* (o *coefficiente di Gravelius "G"*) definito come rapporto tra il perimetro P del bacino e la circonferenza del cerchio di ugual area A (Ricchiuti, 2011):

$$(i) \quad G = \frac{P}{\sqrt{4A}}$$

dove il coefficiente assume la seguente classificazione:

$G \rightarrow 1$ forma tondeggiante

$1 < G < 1.25$ forma rotonda-ovale rotonda

$1.25 < G < 1.5$ forma ovale rotonda-ovale allungata

$1.5 < G < 1.75$ forma ovale allungata-rettangolare bislunga

Per il bacino in esame l'indice G è uguale a $1,53$ ovvero, come si può verificare nella Figura xxx, si classifica avente una forma per lo più *ovale allungata*. In generale gli indici di forma assumono valori più prossimi all'unità, quanto più la forma del bacino è compatta o rotondeggiante (il cerchio è infatti il poligono che a parità di area, ha la minor lunghezza di perimetro).

ii. Proprietà geometriche del rilievo

Per completare l'informazione morfometrica occorre mettere in relazione le informazioni areali con le dimensioni verticali proprie del rilievo. A questo proposito si introducono la curva ipsografica del bacino e la pendenza dalle quali si ricavano informazioni da cui dipendono le caratteristiche cinematiche della rete scolante. La curva ipsografica fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche. Ogni punto della suddetta curva ha come ordinata un valore di quota h_i e come ascissa la superficie parziale del bacino A_i posta al di sopra della quota considerata. Ovviamente alla quota massima corrisponde una superficie nulla mentre, alla quota minima, che è quella della sezione di chiusura, corrisponde la superficie dell'intero bacino. L'area racchiusa dalla curva ipsografica e dagli assi coordinati, tenuto conto delle unità di misura utilizzate (le quote in [m] e le superfici in [km^2]), rappresenta il volume del rilievo. La suddetta area rapportata alla superficie del bacino fornisce il valore dell'altitudine media (Z_{media}), ovvero:

$$(i) \quad Z_{media} = \frac{V}{A_b}$$

L'area del rettangolo con base A_b e altezza z_{media} è dunque equivalente all'area sottesa dalla curva ipsografica. In Figura 1.3 si riporta la curva ottenuta per il bacino indagato.

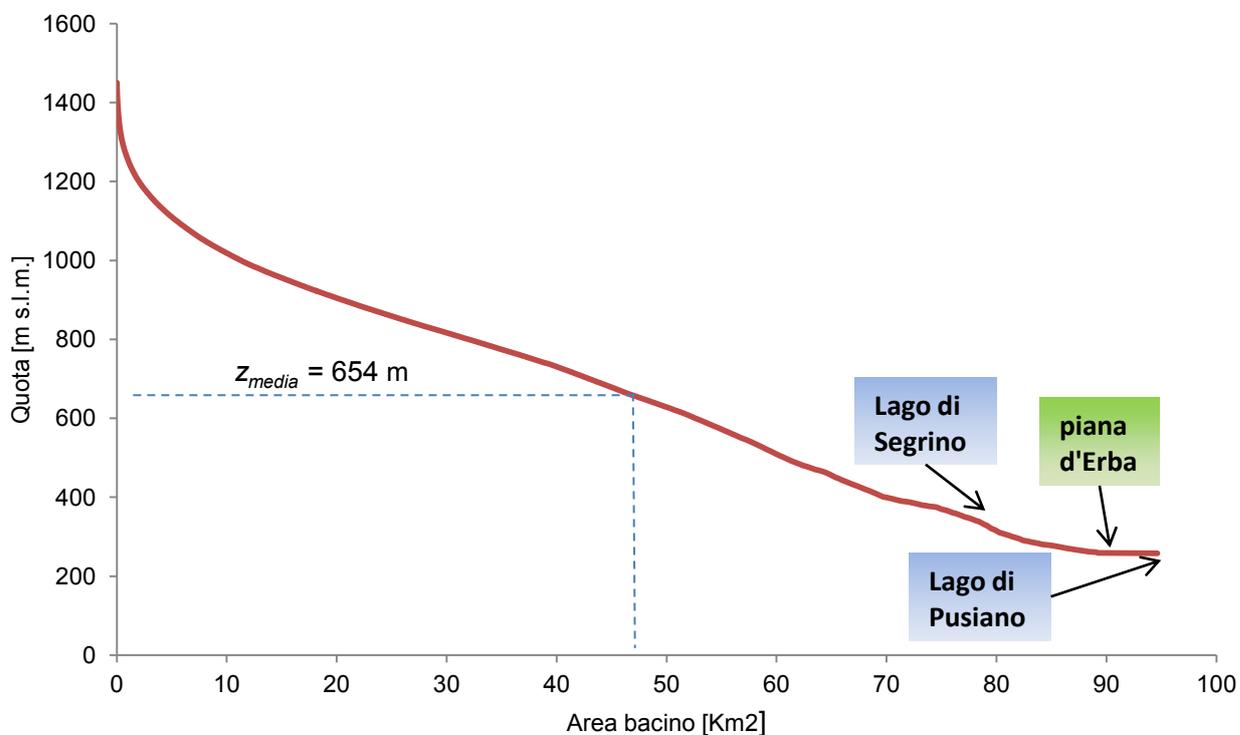


Figura 1.3. Curva ipsografica del bacino imbrifero.

Le quote massime e minime (z_{max} e z_{min}) sono rispettivamente di 1435 m per il Monte Palanzone e 260 m per il livello medio del Lago di Pusiano. La quota media del bacino, ricavata dallo sviluppo dell'equazione (ii), risulta essere di 654m. La pendenza della curva è relativamente uniforme nel tratto centrale (tra i 400 e gli 800 metri) il che suggerisce una certa uniformità in questa ampia zona montana. Alle quote più elevate, dove circa l'11% del territorio supera i 1000 m, la curva presenta un andamento molto ripido. Ben differente risulta la situazione alle quote più basse: nella piana d'Erba e nelle zone limitrofe il lago, fino alla quota del Lago del Segrino (378 m) si verifica un andamento della curva più blando. Questo territorio rappresenta circa il 21% dell'intero bacino.

Nel complesso, la concavità rivolta verso l'alto, sottolinea la relativa giovinezza geologica del rilievo locale ancora fortemente soggetto ad erosioni da parte di agenti atmosferici.

Per quanto concerne la pendenza si è provveduto a costruire mediante ESRI ArcGis 9.3[®] la mappa delle pendenze (Figura 1.4) al fine di avere una visione complessiva delle pendenze locali del sistema bacino. La mappa è stata ottenuta utilizzando il DEM con griglia 20m x 20m.

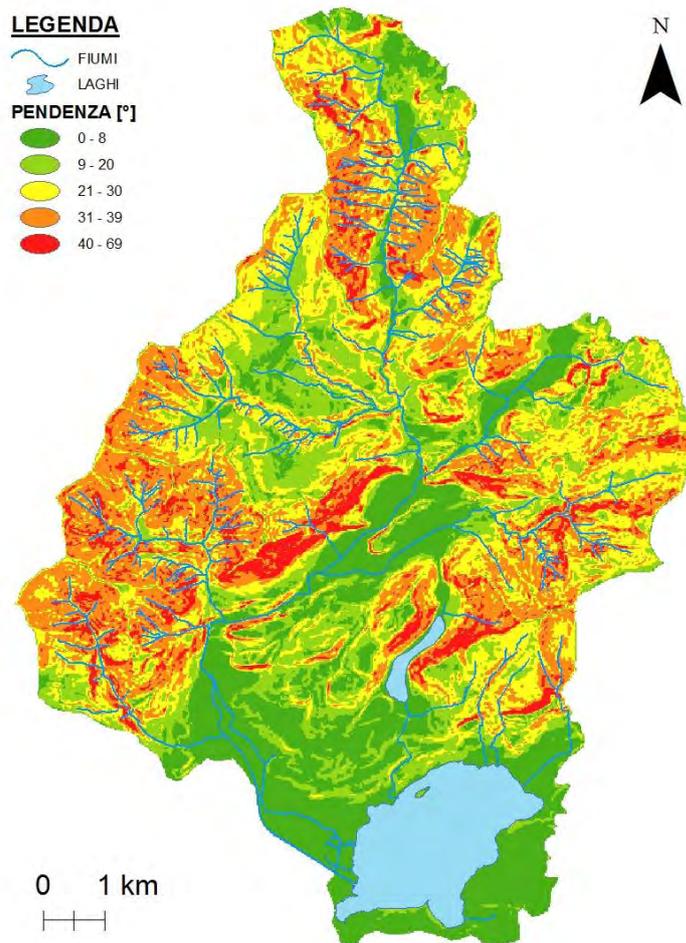


Figura 1.4. Mappa delle pendenze ottenuta da un DEM con griglia regolare 20m x 20m corredata di idrografia.

La pendenza media del bacino ottenuta come media pesata sulle celle costituenti la mappa, risulta essere di circa 20°. Nella zona montuosa, dove la curva ipsografica mostrava un brusco aumento di pendenza (Figura 1.4) ovvero al di sopra dei 1000 m di quota, si ha una media pesata dei valori di pendenza pari a 30°. Alle altitudini minori delimitate superiormente dalla quota del Lago di Segrino (378 m), la pendenza media risulta essere decisamente inferiore con un valore che si attesta attorno ai 4°.

iii. *Principali proprietà morfologiche del principale immissario del Lago di Pusiano: il Fiume Lambro settentrionale*

La rete fluviale più importante connessa al Lago di Pusiano è costituita dal tratto settentrionale del Fiume Lambro e dai suoi immissari: il Lambrone, dalla sua sorgente alla zona di immissione al lago (sezione di chiusura), costituisce l'asta principale della rete la cui lunghezza (L_{ap}) è pari a 19,9 km.

Due sistemi molto usati in idrologia per descrivere la composizione del sistema idrografico di un bacino imbrifero sono la classificazione gerarchica secondo il criterio di Horton – Strahler e la classificazione topologica secondo il criterio di Shreve. In entrambi i sistemi la rete fluviale viene scomposta in segmenti e in rami, questi ultimi costituiti da due o più segmenti: in particolare i segmenti

sono tratti del reticolo idrografico compresi tra due nodi (o confluenze, in cui due segmenti si incontrano) oppure tra un nodo e una sorgente oppure tra un nodo e la sezione di chiusura. I due metodi consistono nell'assegnare un sistema di numerazione a seconda della disposizione dei rami, partendo dall'attribuzione dell'ordine 1 ai segmenti esterni della rete, ossia quelli senza affluenti, che hanno perciò origine dalle sorgenti.

Il sistema di Horton – Strahler assegna ordine 2 al segmento a valle della confluenza tra due elementi di primo ordine, ordine 3 al segmento a valle della confluenza tra due elementi di secondo ordine e così via fino al tratto finale dell'asta principale che presenta il numero d'ordine più elevato del sistema: l'ordine k dell'asta principale definisce l'ordine del bacino. Se due elementi di ordine u confluiscono in canali di ordine $u+2$ o superiore, non ne fanno cambiare la numerazione gerarchica. Due proprietà molto interessanti dei reticoli idrografici sono: il numero di segmenti N_w e la lunghezza media dei segmenti L_w , dove w è l'ordine dei rispettivi elementi. Al crescere dell'ordine w , il numero di segmenti N_w diminuisce mentre la lunghezza L_w aumenta: pertanto i segmenti del primo ordine sono i più corti, mentre quelli di ordine più elevato dovranno compiere un percorso sempre più lungo per incontrare un segmento dello stesso ordine. La prima legge di Horton dice che il *Rapporto di biforcazione* R_b è caratterizzato dalla seguente espressione:

$$(ii) \quad \text{---}$$

Ovvero il rapporto tra il numero di segmenti di ordine w e il numero di segmenti di ordine successivo $w+1$ si mantiene circa costante. La media dei rapporti di biforcazione dei segmenti di differente ordine si considera rappresentativa dell'intero bacino in esame. La seconda legge di Horton afferma che il rapporto tra la lunghezza media dei segmenti di ordine $w+1$ e la lunghezza media dei segmenti di ordine w è circa costante:

$$(iii) \quad \text{---}$$

La Figura 1.5 mostra il risultato della classificazione di Horton – Strahler per il sottobacino del Lambrone: il reticolo idrografico è stato ricavato dal DEM 20x20 della Regione Lombardia estraendo dapprima la mappa di direzione del flusso e poi calcolando e filtrando la mappa di flusso accumulato; tutte le elaborazioni vengono effettuate mediante software ESRI ArcGIS 9.3®.

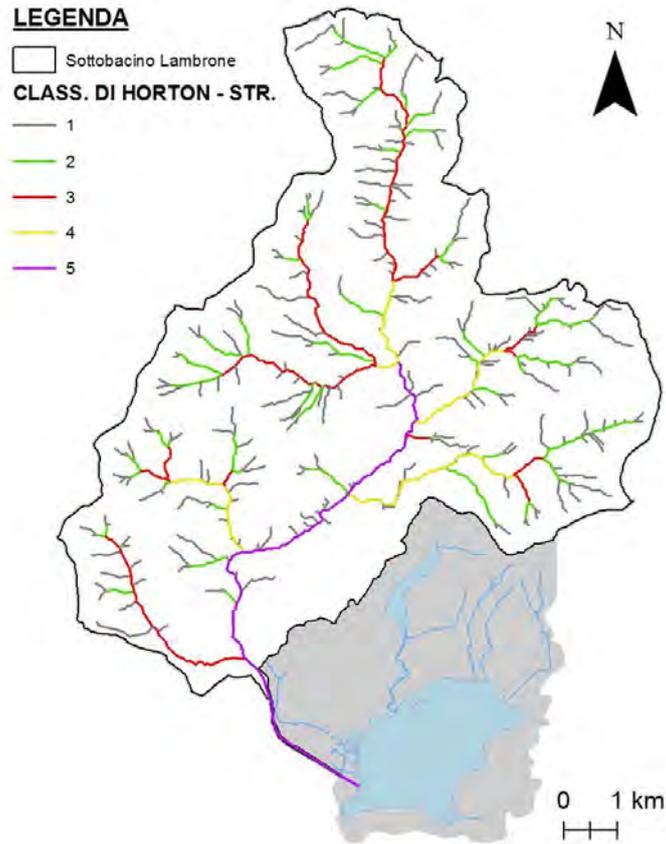


Figura 1.5. Classificazione gerarchica secondo il criterio di Horton – Strahler.

L'ordine del bacino risulta dunque essere pari a 5.

La Tabella 1.2 mostra i valori ottenuti per il rapporto di biforcazione (R_b): il valore medio di R_b rappresentativo del sottobacino esaminato si attesta attorno al valore 4; questo significa che, in media, un segmento di ordine $w+1$ dà origine a 4 segmenti di ordine w .

Tabella 1.2. Calcolo del rapporto di biforcazione R_b

ORDINE	Nw	Nw+1	Rb
1	235	62	3,8
2	62	13	4,8
3	13	5	2,6
4	5	1	5,0
5	1	-	-

La Tabella 1.3 mostra i valori ottenuti per il rapporto hortoniano delle lunghezze (R_l) da cui si evince come fino al quarto ordine il rapporto sia molto prossimo all'unità, ovvero, in media, un segmento di ordine superiore ha quasi la stessa lunghezza di uno di ordine inferiore; discorso di poco differente per un segmento del quinto ordine che in media è lungo 1,4 volte un segmento di quarto ordine.

Tabella 1.3. Calcolo del rapporto hortoniano delle lunghezze RI.

ORDINE	N° SEGMENTI	LUNGH. TOT [m]	Lw	Lw+1	RI
1	244	73537,6	301,4	305,5	1,01
2	101	30853,7	305,5	300,7	0,98
3	72	21649,0	300,7	294,7	0,98
4	38	11198,8	294,7	417,8	1,42
5	28	11697,8	417,8	-	-

La classificazione di Shreve introduce il concetto di *magnitudine* " μ_i ": il suo significato corrisponde al numero delle sorgenti, o dei segmenti esterni, a monte del medesimo ramo. Secondo questo sistema l'ordinamento risponde alle seguenti regole:

- ogni sorgente ha magnitudine 1;
- quando si uniscono due segmenti di magnitudine μ_1 e μ_2 , il ramo di valle ha magnitudine $\mu_1 + \mu_2$.

Sulla base di tale classificazione la magnitudine μ_i di ogni segmento viene a rappresentare il numero di sorgenti a monte del tratto medesimo, mentre $2\mu_i - 1$ rappresenta il numero di segmenti che vi afferiscono. Si giunge così alla *magnitudine della rete idrografica* μ che corrisponde al numero complessivo delle sorgenti o dei segmenti esterni. Nella Figura 1.6 viene mostrato il risultato della classificazione di Shreve per il sottobacino del Lambrone: il reticolo idrografico è lo stesso di quello prodotto per la classificazione di Horton – Strahler.

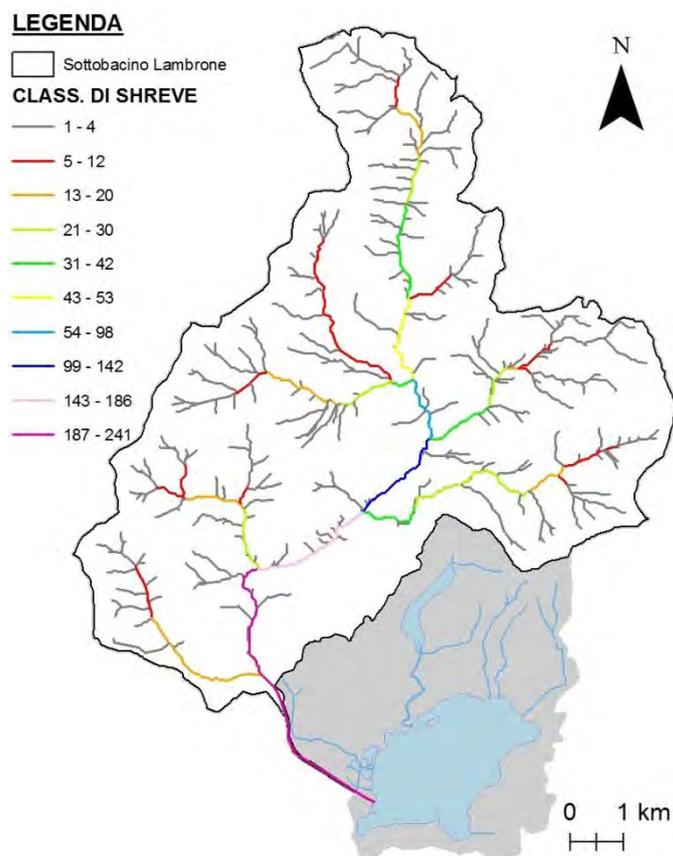


Figura 1.6. Classificazione topologica secondo il criterio di Shreve.

La magnitudine della rete idrografica (μ) risulta essere pari a 241 con 481 segmenti ($2\mu-1$) che compongono la rete nel sottobacino del Fiume Lambro settentrionale.

1.2.1.2 Inquadramento climatico

Allo scopo di caratterizzare le caratteristiche meteo climatiche dell'area di studio e la loro evoluzione temporale, è stata utilizzata, in prima istanza, una vecchia carta delle isoiete della Regione Insubrica realizzata da Belloni nel 1975 (Figura 1.7). Le isoiete sono relative alle precipitazioni medie e tramite la loro raffigurazione si è cercato di rendere conto della situazione pluviometrica che storicamente ha interessato il bacino del Lago di Pusiano.



Figura 1.7. Carta delle isoiete annue (Belloni, 1975, modificata da Salerno, 2005)

Da uno studio effettuato dalla Regione Lombardia (Ceriani e Carelli, 2000), è stata presentata una nuova mappa più aggiornata delle precipitazioni medie annue nell'area d'interesse (Figura 1.8). Per la realizzazione di questa carta, valida per tutta la Regione Lombardia, sono stati utilizzati i dati pubblicati negli "Annali Idrologici – parte prima" del Servizio Idrografico, Ufficio Idrografico del Po, dal 1913 al 1983 e nella Pubblicazione n.24 "Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921 – 1950 – Bacino del Po". Sono stati raccolti i dati di 543 stazioni, ricadenti anche nelle aree limitrofe (Piemonte, Svizzera, Trentino); in seguito sono state utilizzate solo quelle stazioni (372) che ricadevano in un intorno significativo della Lombardia alpina e che avessero a disposizione almeno 10 anni utili durante il periodo di funzionamento della stazione stessa. Si è effettuata questa scelta poiché si è visto che un decennio di dati consente di avere una buona informazione sulle Precipitazioni Medie Annue (P.M.A.) di ogni singola stazione con scostamenti complessivamente ridotti rispetto a periodi di osservazione più lunghi. I dati delle 372 stazioni scelte (16963 anni utili per una media di 45,59 anni/stazione) sono stati elaborati con il programma ArcView® – Spatial Analyst (<http://www.esri.com/software/arcview/index.html>), utilizzando un modello kriging di tipo lineare, con griglia di 250 m, modello che consente di avere un'ottima visione dei dati stessi e di evitare effetti di tipo "bull eyes", cioè ad anelli concentrici (Inneguale, 2007).

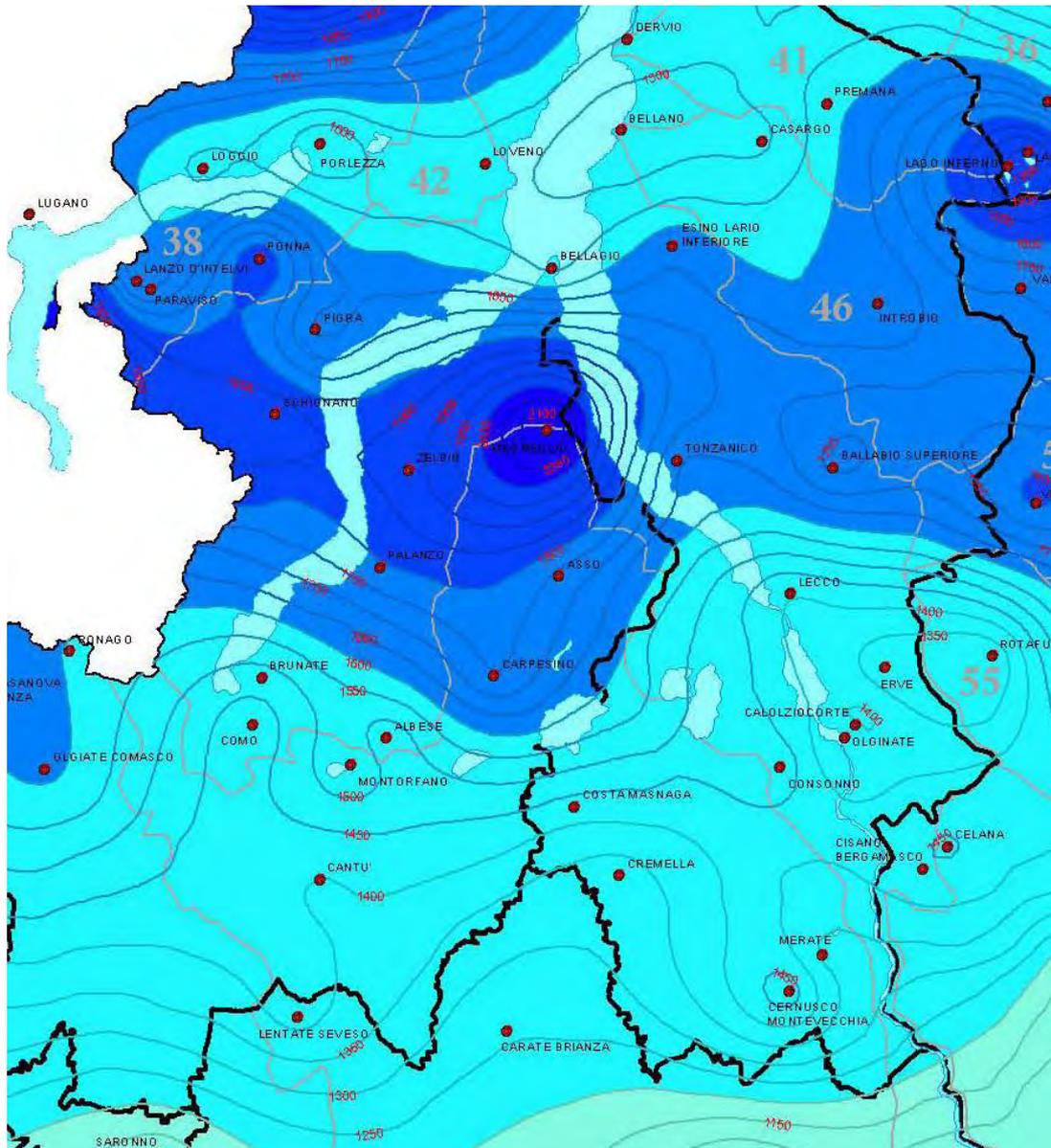


Figura 1.8. Carta delle precipitazioni medie annue relative all'area del Triangolo Lariano e Alta Brianza, realizzata da Ceriani e Carelli (2000) con i dati relativi al periodo 1891-1990. Servizio geologico - Ufficio Rischi Geologici, Regione Lombardia.

Utilizzando così tutti i dati disponibili delle stazioni con almeno 10 anni di osservazioni è stato possibile ottenere una carta molto dettagliata dell'andamento delle precipitazioni medie annue con molte più informazioni rispetto, ad esempio, alla carta realizzata da Belloni nel 1975 (Figura 1.7). Su tutta la regione, così come per l'area di Pusiano, i quantitativi maggiori di precipitazione si registrano, quando le perturbazioni, provenienti dall'Oceano Atlantico, generano centri di bassa pressione in prossimità del Golfo del Leone o del Mar Ligure. Tali sistemi nuvolosi innescano un gioco di correnti temperate e umide di richiamo dal Mediterraneo verso le catene Alpina e prealpina italiana, provocando fenomeni di sbarramento (*staü*) sul versante meridionale delle Alpi. Com'era già stato evidenziato dalla carta di Belloni (Figura 1.7), l'andamento delle precipitazioni è in progressivo

aumento verso la fascia prealpina del Triangolo Lariano, in cui si raggiungono quantitativi di 1500 mm e i 2000 mm come media annua. In particolare si raggiunge il picco massimo nella zona Nord del bacino idrografico di Pusiano, in località Magreglio; poco più a Sud, invece, sullo specchio lacustre di Pusiano, cadono mediamente 1500-1600 mm annui. Inoltre si è utilizzata una carta in formato *shapefile* (GIS – ArcView[®]) (Figura 1.9), realizzata dalla Regione Lombardia nell'ambito della redazione del PTUA (Regione Lombardia, Servizi di Pubblica Utilità, 2004). Questa mappa è stata realizzata integrando le informazioni raccolte da Ceriani & Carelli (2000) per il periodo 1891-1990, con i dati di precipitazioni dell'ultimo decennio (Inneguale, 2005).

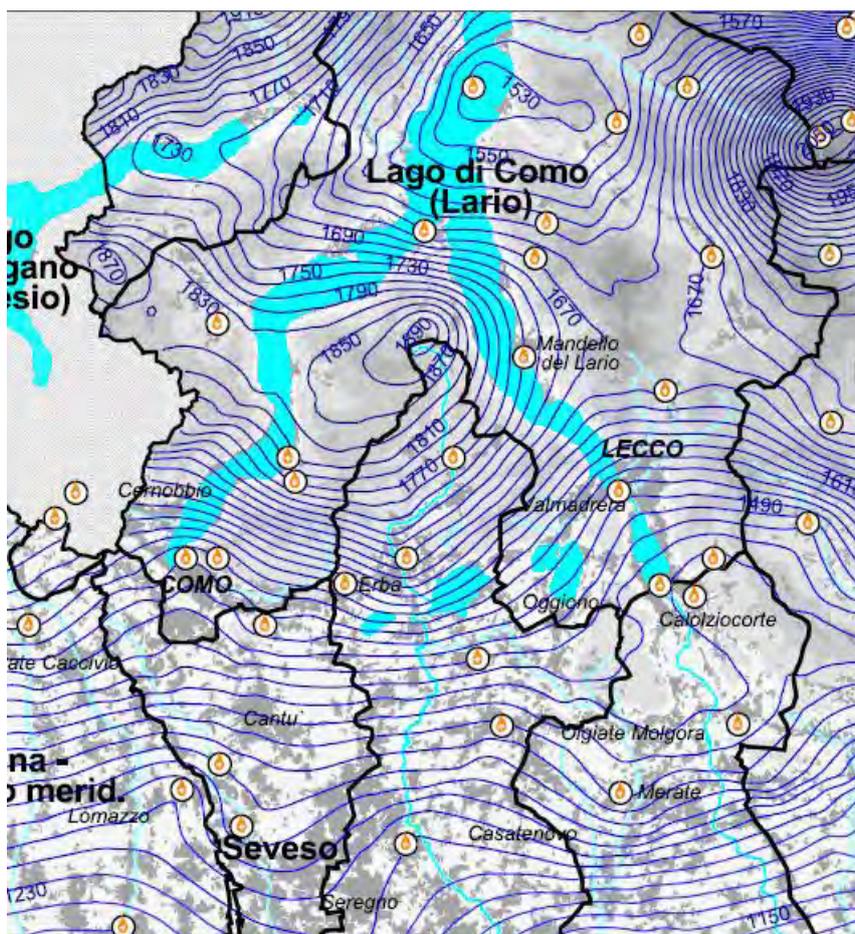


Figura 1.9. Carta realizzata dalla Regione Lombardia nell'ambito della redazione del PTUA.

Rispetto a quella di Ceriani e Carelli 2000 della Figura 1.8, la carta di Figura 1.9 mostra una risoluzione migliore nel dettaglio delle isoiete che vengono interpolate ogni 20mm e vengono leggermente ridisegnate e ridimensionate; infatti a Magreglio si passa da un valore massimo di quasi 2200mm (fig. 1.8) agli attuali 1900 mm di media pluviometrica annua (fig. 1.9). Le precipitazioni aumentano andando da Sud verso Nord, si passa dai 1300mm della Brianza Centrale, ai 1500 – 1600mm della fascia pedemontana, ove è situato il lago di Pusiano, fino a quasi 1900mm della zona montuosa del Triangolo Lariano. Dal punto di vista meteorologico la zona di Pusiano è soggetta a soventi temporali durante il periodo estivo, innescati dall'aria calda e umida proveniente dalla vicina

pianura, che salendo alle quote più alte della troposfera, genera, per convezione orografica, nubi a sviluppo verticale, che provocano la formazione di forti temporali e rovesci di pioggia (Inneguale, 2007).

1.2.1.3 Inquadramento idrogeologico

Poiché uno degli scopi di questo studio è l'analisi degli apporti idrici al Lago di Pusiano, si è dunque reso necessario un inquadramento geologico ed idrogeologico di dettaglio al fine di valutare le possibili interazioni con la rete di scorrimento superficiale. Le caratteristiche geologiche di seguito riportate non si riferiscono strettamente al bacino idrografico del Lago di Pusiano, ma alla regione più estesa del Triangolo Lariano. Infatti a questo scopo si è fatto riferimento allo studio "La circolazione idrica degli ammassi rocciosi del Lario" (Francani, 1986) che possiamo considerare esplicativo delle caratteristiche della circolazione idrica profonda della porzione montana del bacino. Nella zona in esame si osservano affioramenti appartenenti al substrato di età compresa tra il Giurassico e il Paleocene e soprattutto depositi quaternari rappresentati da sedimenti glaciali, fluvioglaciali, lacustri ed alluvionali. Sono particolarmente sviluppati i sistemi idrici di tipo carsico, che vengono a fornire una cospicua alimentazione alla rete degli acquedotti comunali e ai corpi idrici superficiali. Sulla base delle conoscenze non risulta tuttavia ancora attuabile una sintesi completa e dettagliata dell'idrogeologia lariana, per la quale si renderebbe necessaria una lunga ed approfondita ricerca. Pertanto si è quindi reso opportuno limitare l'esposizione alla sola disamina delle caratteristiche salienti della circolazione idrica sotterranea mediante la descrizione di alcune strutture idrologiche particolarmente significative. Le più importanti unità che costituiscono la serie idrologica del bacino lariano e le maggiori strutture idrogeologiche sono state definite da Pozzi nel 1962. Tra queste, quelle maggiormente rappresentate nel bacino idrologico sono il Calcarea di Moltrasio e la Dolomia principale. Dal punto di vista litologico, il Calcarea di Moltrasio è costituito da calcarei grigio scuri con selci e noduli ferruginosi più frequenti verso il tetto della formazione e leggermente bituminosi con talora strutture sedimentarie e torbiditi. Questi calcari si presentano generalmente in banchi con spessore variabile da 30 a 60 cm con intercalazioni di selce nera in lenti o strati. La formazione è blandamente piegata con strati ondulati e giacitura prevalente pari a N70W di direzione, immersione a SE a debole inclinazione (max valori 30/40°). In diverse porzioni del territorio le formazioni calcaree sono ricoperte da depositi morenici, costituiti da un'abbondante matrice limoso argillosa, in cui sono immersi elementi di rocce sedimentarie e cristalline, che possono raggiungere anche i 60 m³ di volume (massi erratici). Sono presenti sabbie, ghiaie e ciottoli. Caratteristica peculiare di questi depositi è l'eterogeneità litologica. I depositi morenici furono depositati nell'espansione glaciale wurmiana, durante la quale il bacino fu completamente ricoperto da un grande ghiacciaio. La natura carbonatica delle rocce ha permesso lo sviluppo di un accentuato carsismo, pertanto nel Triangolo Lariano, la circolazione idrica avviene entro condotti carsici ed è legata anche dall'elevata attività tettonica dell'area nonché alla potenza della coltre di alterazione. Un indice della produttività dei calcari di questa zona può essere trovato nella portata media delle sorgenti per 100 km² di superficie come proposto da Francani, 1986. Il Calcarea di Moltrasio presenta uno dei valori più alti della zona: leggermente inferiore a 100 l/s. Le emergenze nella zona del Triangolo Lariano sono legate in buona parte a fenomeni di circolazione idrica in roccia

nel massiccio calcareo che costituisce il substrato della zona. Tale circolazione avviene negli interstrati e lungo piani di frattura o discontinuità. Nell'area esaminata, l'analisi delle condizioni di giacitura del substrato, evidenzia la presenza di numerose pieghe con assi disposti in senso Est-Ovest che tendono a formare conche strutturali entro le quali si possono concentrare le acque percolate fino al substrato. Le rocce del Calcarea di Moltrasio, essendo a comportamento rigido, hanno dato luogo tuttavia anche a serie di fratture in cui andamento medio è in direzione N-S, lungo le quali le acque tendono a concentrarsi e a defluire dai bacini altimetricamente più elevati verso valle. Nella Figura 1.10 viene presentata la carta litologica del bacino idrologico del Lago di Pusiano tratta dalle Carte Geoambientali a scala 1:10.000 della Regione Lombardia. Come descritto nel testo, si può notare la natura calcarea del substrato associata ad una prevalenza di deposizioni moreniche.

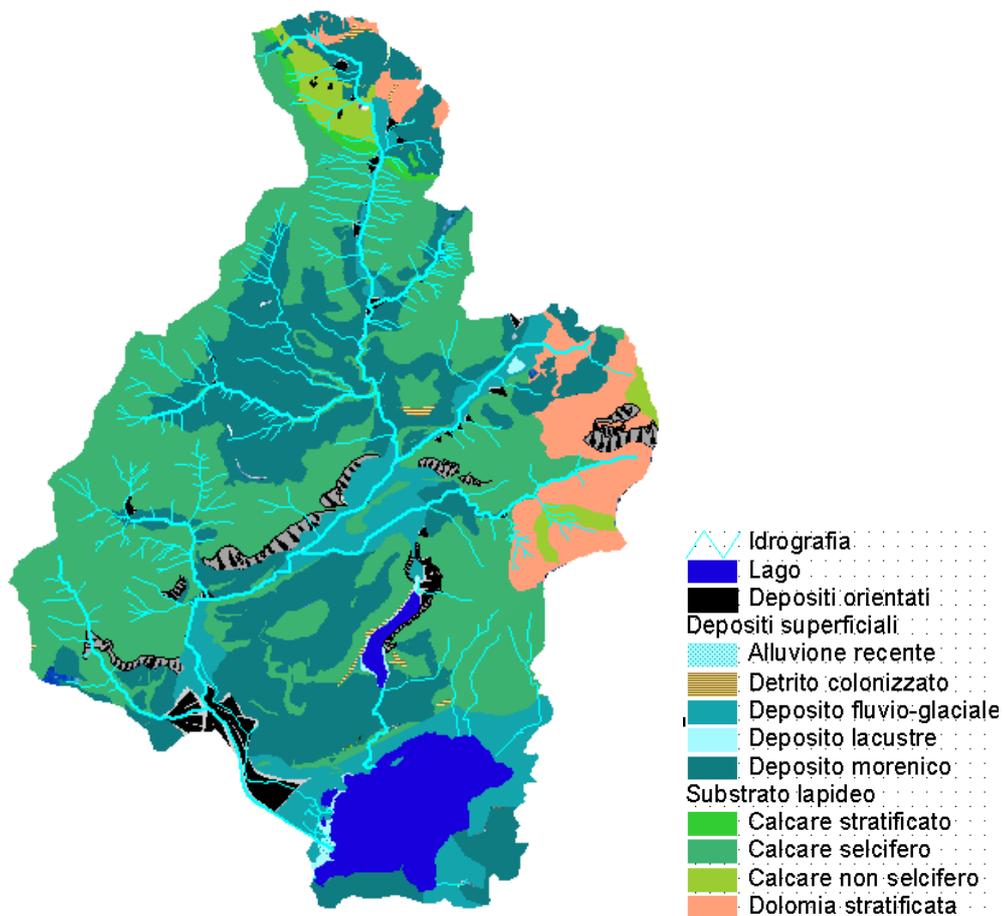


Figura 1.10. Carta litologica del bacino idrologico del Lago di Pusiano tratta dalle Carte Geoambientali a scala 1:10.000 della Regione Lombardia.

i. Inquadramento idrogeologico: i principali affluenti ed emissari del Lago di Pusiano

Data la complessità della rete idrica sotterranea e superficiale che interessa l'area di studio, è stato necessario ricostruire con accuratezza i principali affluenti al Lago di Pusiano, il cui contributo risulta determinante per le qualità trofiche delle acque lacustri (Figura 1.11).

Il principale immissario, come più volte ribadito, è il Fiume Lambrone, che si immette lungo le coste occidentali del lago. Rappresenta, con i suoi affluenti principali Lambretto, Piott, Foce, Torrente Valle di Rezzago, Ravella e Bova, il 79% (71,1 km²) dell'intero bacino emerso.

L'idrografia del Fiume Lambrone che è attualmente osservabile nell'area della Piana d'Erba, non corrisponde però a quella originaria. In seguito alle numerose e frequenti inondazioni che interessavano la Piana alla fine del '700 infatti, nacque l'esigenza di limitare gli innumerevoli straripamenti del Fiume Lambrone, ideando un'opera di canalizzazione che potesse contenere le sue acque. Il progetto, realizzato attorno al 1817, prevedeva una nuova inalveazione delle acque del Lambrone, il cui corso sarebbe sfociato direttamente nel Lago di Pusiano, e il sottopasso della Roggia Gallarana verso l'emissario naturale del lago di Pusiano, che incrociava a Pontenuovo (Figura 1.12).

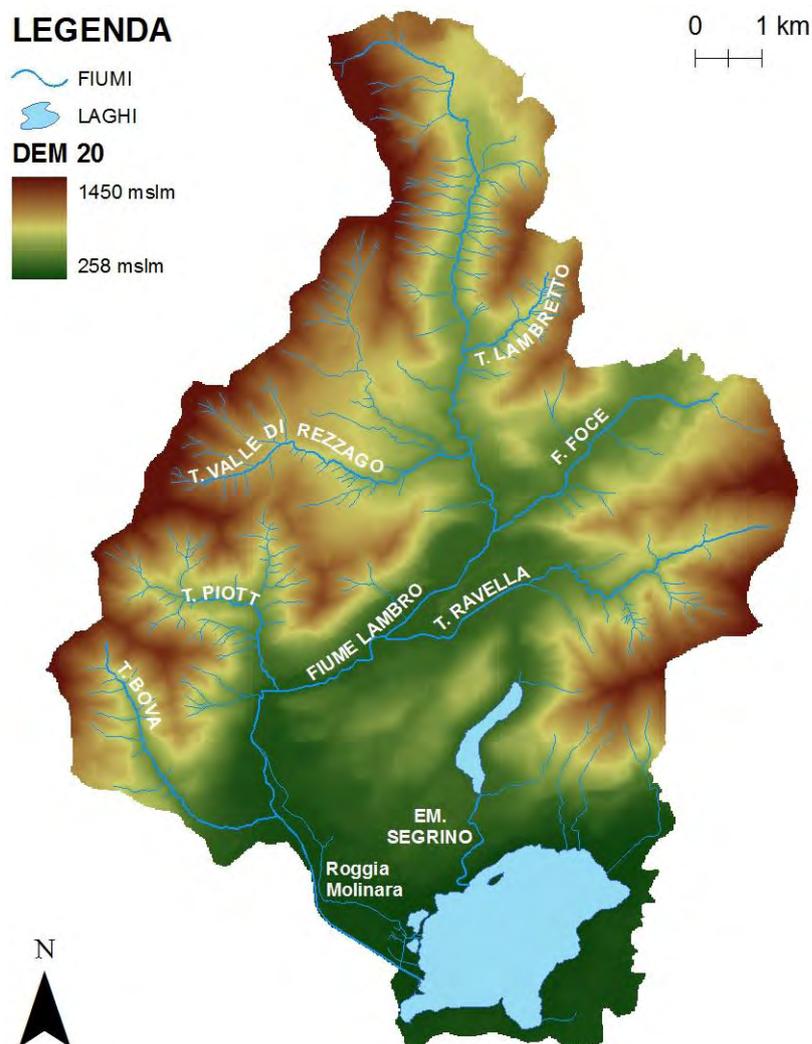


Figura 1.11. Ripartizione dei principali contributi di acqua superficiale al Lago di Pusiano.



Figura 1.12. Topografia della Piana d'Erba relativa ai progetti di incanalamento del Lambrone e del Cavo Diotti (A.S.Mi., acque, p.m., cart. 250).

Perciò attualmente, nel suo ultimo tratto, il fiume risulta completamente inalveato in argini artificiali fino al suo sbocco nel Lago di Pusiano. Gli immissari secondari del Lago di Pusiano di una certa rilevanza secondo gli studi effettuati in passato (Salerno, 2005) sono l'Emissario del Segrino, la Roggia Molinara e la Roggia Gallarana. Gli emissari del lago sono un canale naturale denominato "Emissario Naturale" ed uno artificiale denominato "Cavo Diotti" di cui si parlerà più approfonditamente in seguito. In Figura 1.13 viene mostrata la complessa situazione attuale della rete nei pressi del lago.



Figura 1.13. Idrografia attuale nei pressi del Lago di Pusiano: nella zona della Roggia Molinara vengono indicate le direzioni dei flussi e il “troppo pieno” (T.P., ovvero la soglia che separa le acque della Roggia Molinara con quelle della Roggia Gallarana la quale bypassa poi il Fiume Lambro: Molinara e Gallarana si ricongiungono durante alcuni eventi di piena). Il termine “Cavo Diotti” indica il canale artificiale dotato di paratoie per la regolazione del livello del lago.

L'Emissario del Lago del Segrino si immette nel Lago di Pusiano lungo le sponde settentrionali, in prossimità dell'Isola dei Cipressi. Il suo bacino idrografico ha un'estensione di 5,12 km² (fig. 1.14). Il suo regime idrologico è determinato in buona parte dal Lago del Segrino di 0,44 km² che drena a sua volta un bacino di 3,75 km². Il Lago del Segrino, anch'esso di origine glaciale, occupa gran parte di un solco vallivo delimitato ad est dal Monte Cornizzolo (1200 m) e ad ovest dal monte Scioscia (671 m). Nessun lavoro in passato ha studiato nello specifico il bilancio idrologico di questo lago. Solamente nel Quaderno IRSA 19 (Gerletti e Marchetti, 1977) si è trovata un'indicazione della portata media annua che defluisce dal lago, informazione comunque insufficiente ai fini di questo lavoro. Bisogna tuttavia considerare che durante i periodi invernali, quando il lago gela, nella sua porzione settentrionale è possibile notare dei cerchi con un raggio di una decina di metri in cui non vi è congelamento dell'acqua. Molto probabilmente questo fenomeno è un'evidenza che il lago viene alimentato anche per via sotterranea da un sistema di risorgive che immettono acqua più calda. Purtroppo, come già evidenziato da Salerno (2005), non si hanno dati per realizzare un bilancio idrologico del lago che consenta di quantificare il fenomeno.

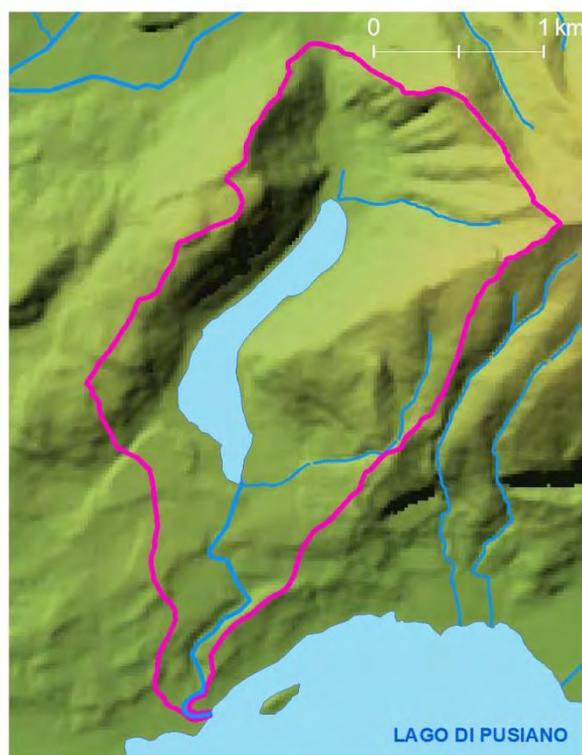


Figura 1.14. Bacino idrografico dell'Emissario del Lago del Segrino.

La Roggia Molinara s'immette a livello della sponda occidentale del Lago di Pusiano. E' localizzata sull'alto corso del Fiume Lambro a monte del Lago di Pusiano in località Ponte Lambro, è una derivazione che risale a prima della metà dell'800. Il suo bacino idrografico ha un'estensione di circa 5,50 km² (Figura 1.15). Questa roggia trae parte delle sue acque dal Fiume Lambro attraverso una derivazione non dotata di paratoie (long. 517393 m, lat. 5075117 m UTM ED50). Cinquanta metri più avanti esiste invece una chiusa che consente di riversare le acque incanalate nuovamente nel Fiume Lambro, nel caso non si voglia alimentare il flusso della roggia. Durante il suo percorso nella città di Erba, la roggia scorre incanalata sotto terra, per riemergere più a valle (long. 518206 m, lat. 5073876 m UTM ED50) in località Arcellasco fino alla sua immissione nel Lago di Pusiano. La sua confluenza avviene tra due laghetti di cava artificiali che vengono utilizzati per la pesca sportiva. Nel tratto sotterraneo riceve ingenti contributi da parte di scarichi urbani e, durante i maggiori eventi di precipitazione, attraverso la Roggia dei Morti, riceve in aggiunta le acque provenienti dallo scolmatore di Proserpio. Nel tratto più a valle invece drena parte delle acque che scorrono in superficie.



Figura 1.15. Bacino idrografico della Roggia Molinara.

La Roggia Gallarana, che corre parallelamente alla costa occidentale del Lago di Pusiano, riversa parzialmente le sue acque nel lago. E' alimentata da tre diverse sorgenti di acqua sotterranea che si immettono alla sua destra idrografica. La roggia, come mostra la Figura 1.16, all'altezza di una deviazione nei pressi di un campeggio s'immerge nel Pusiano, mentre il suo corso principale prosegue, bypassando il Fiume Lambro sottoterra e sfociando nell'emissario del Lago di Alserio. Il suo bacino idrografico sotteso è di 1,47 km² (evidenziato in giallo nella Figura 1.16) a cui si aggiungono 5,50 km² della Roggia Molinara (evidenziata in rosso nella Figura 1.16) quando entra in funzione la soglia di sfioro durante certi eventi di piena.

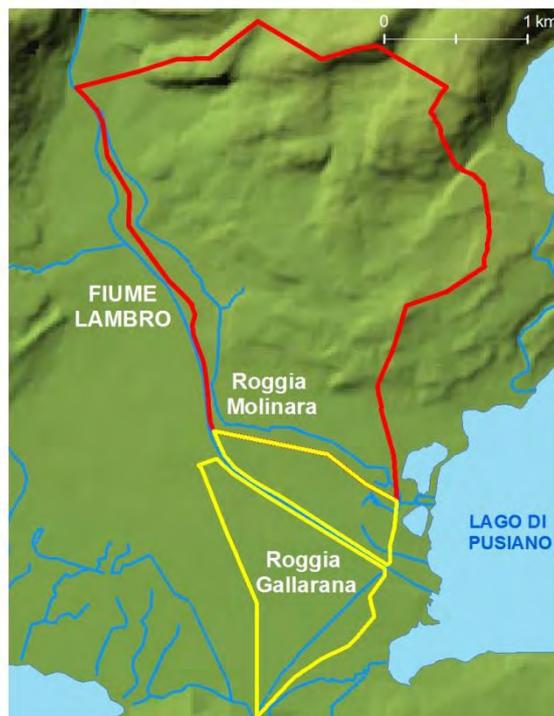


Figura 1.16. Bacino idrografico della Roggia Gallarana.

Un notevole contributo al bilancio idrologico del lago, è dato dall'apporto di acqua sotterranea dal bacino (Figura 1.17).

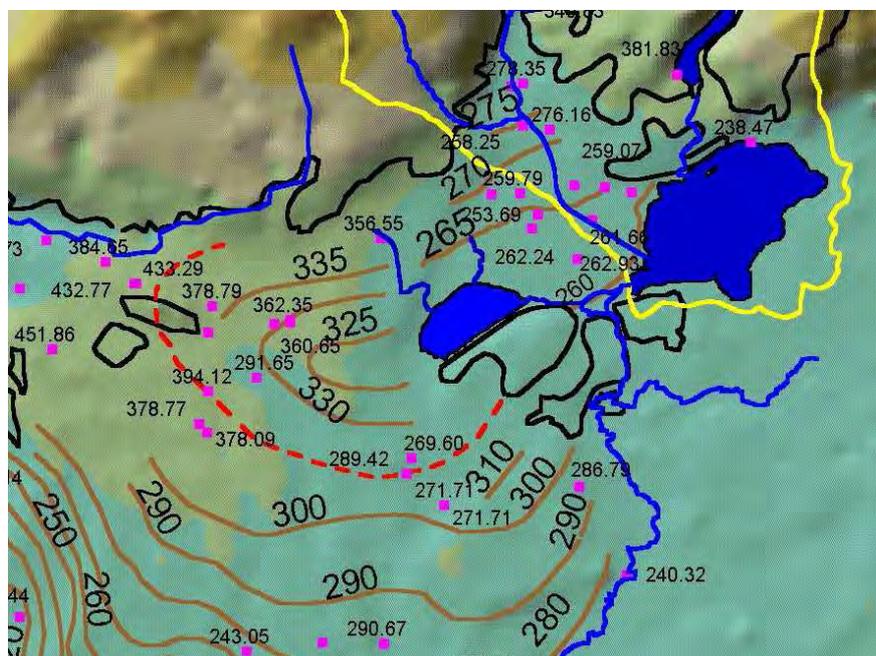


Figura 1.17. Carta delle linee isopiezometriche a scala 1:50.000 (integrazione di diverse fonti e rielaborata da Salerno, 2005). In marrone si mostrano le linee piezometriche; in giallo il bacino idrografico del Lago di Pusiano; le linee nere definiscono gli acquiferi non significativi; la linea tratteggiata rossa è il bacino idrogeologico del Lago di Alserio; i punti rosa sono i pozzi censiti dalla Provincia di Como.

La caratterizzazione degli aspetti idrogeologici dell'area è stata svolta, facendo principalmente riferimento agli studi di Francani del 1983 e 1990.

Riassumendo da tali studi, si evidenzia che dal settore settentrionale e da quello meridionale gli apporti risultano essere decisamente ridotti (si veda Figura 1.17), in quanto seppur in presenza di un'elevatissima cadente piezometrica, lo spessore dell'acquifero è troppo ridotto per dar luogo a significative portate. Sul versante orientale gli apporti provengono da una falda con forte cadente piezometrica, ma che scorre all'interno dei depositi glaciali poco permeabili. Pertanto dal settore settentrionale, da quello meridionale ed orientale si sono esclusi apporti o deflussi consistenti per via sotterranea. Dal settore occidentale, invece, veniva stimata una cospicua alimentazione dovuta alla buona permeabilità dell'acquifero e ad una relativamente alta cadente piezometrica (di poco inferiore all'1%). In questo settore, si realizzano quindi, le migliori condizioni idrologiche su un consistente tratto delle sponde del lago.

L'analisi per determinare l'apporto sotterraneo al lago si è soffermata pertanto agli apporti provenienti dalla Piana d'Erba, mentre sulla base delle considerazioni esposte, per gli altri settori si sono considerati nulli gli afflussi e i deflussi sotterranei.

Per quanto concerne gli apporti di acqua in uscita dal lago, sono presenti, come già esposto in precedenza, due soli emissari: quello naturale (denominato Emissario Naturale) ed un canale artificiale, il Cavo Diotti, realizzato nel XIX secolo; le posizioni relative dei due canali sono già state mostrate in Figura 1.13.

Come è possibile osservare dalla Figura 1.18, l'emissario naturale fuoriesce nella parte sud-occidentale del Lago di Pusiano, prosegue il suo corso in direzione sud-ovest fino a congiungersi con l'emissario del Lago di Alserio. Questo corso d'acqua è interessato da un particolare fenomeno idraulico. Un'analisi attenta mostra che, per livelli molto bassi del Lago di Pusiano, si genera un'inversione del flusso idrico infatti, al diminuire del livello del lago, si osserva un innalzamento del livello dell'emissario, al che l'emissario diventa un immissario del lago. L'Emissario dell'Alserio in queste situazioni riversa un quantitativo d'acqua maggiore rispetto a quanto faccia il Lago di Pusiano, ed essendo i due emissari in comunicazione, l'acqua dell'Emissario dell'Alserio entra prima nell'Emissario del Pusiano, facendone aumentare il livello, e di conseguenza nel Lago di Pusiano (Salerno, 2005).

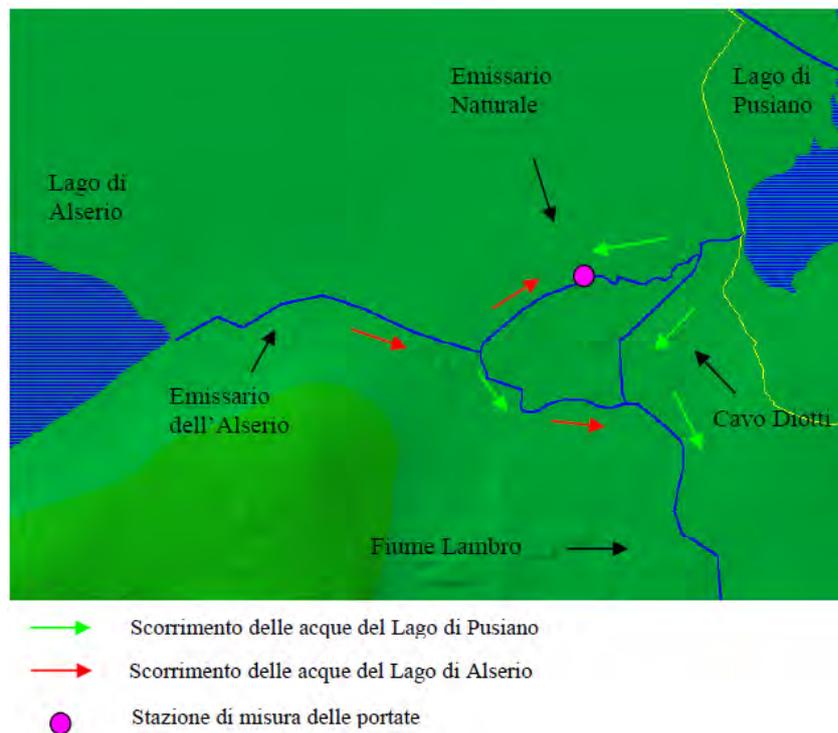


Figura 1.18. Sistema dei deflussi del Lago di Pusiano.

Nel corso del XIX secolo, il Lambrone, con il suo regime torrentizio, spesso asciutto d'estate, ma responsabile di frequenti inondazioni, d'autunno o in primavera, non permetteva nel tratto tra il Lago di Pusiano e Monza di utilizzare in maniera continua le acque per l'attività economica della zona. Nacque quindi la necessità di affiancare all'Emissario naturale un canale regolato da paratoie ed alimentato dalle acque stesse dell'Emissario. È in questo contesto che nacque il progetto del Cavo Diotti. Esso prevedeva di trasformare il Lago di Pusiano, già alimentatore naturale del Lambro, in un grande serbatoio che trattenesse nei periodi di piena le acque in esubero e le cedesse, poi, nei periodi di magra, rendendo così regolare e costante il deflusso delle acque del fiume, con grande vantaggio delle attività economiche a valle. L'operazione sarebbe stata possibile solo affiancando all'emissario naturale del lago un canale artificiale con cui regolare mediante paratoie il deflusso delle acque. Nel 1880 venne emanato il decreto ministeriale che concedeva l'utilizzo del Cavo Diotti. Il deflusso dal Lago di Pusiano dal Cavo Diotti risulta dunque essere in funzione del livello del lago e dall'apertura delle paratoie.

Nella Figura 1.19, invece, si riporta un prospetto del sistema di paratoie del Cavo Diotti ancor oggi utilizzate per la regolazione dei livelli del Lago fornita dall'Ufficio Tecnico del Comune di Merone (CO).

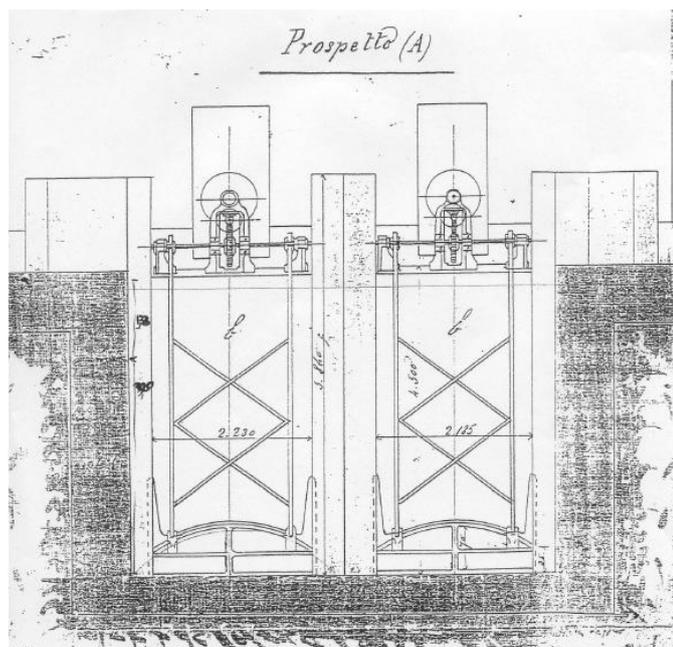


Figura 1.19. Paratoie del Cavo Diotti

Oltre ai corsi d'acqua superficiali, un notevole contributo è dato dalla presenza di numerose sorgenti che alimentano il bacino idrologico del Lago di Pusiano, la cui distribuzione sul territorio è evidenziata in Figura 1.21.

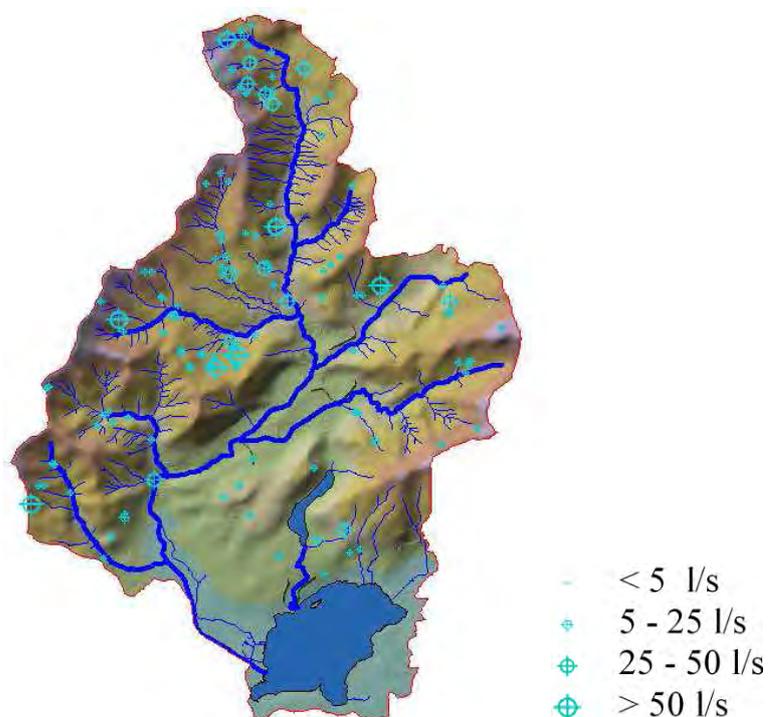


Figura 1.21. Carta della distribuzione delle sorgenti nel bacino idrologico del Lago di Pusiano (Salerno, 2005)

Questa carta (Salerno, 2005) è stata realizzata utilizzando le informazioni tratte dalle Carte Geoambientali a scala 1:10.000 della Regione Lombardia. Possiamo notare una maggiore concentrazione delle emergenze nella zona più a Nord del bacino. Nel complesso, come evidenziato nella Tabella 1.3, si contano ben 94 risorgive: evidenza non trascurabile dell'apporto idrico sotterraneo.

Tabella 1.3. Sorgenti del bacino idrologico del Lago di Pusiano.

n. sorgenti captate	n. sorgenti non captate	Portata (l/s)
22	52	<5 l/s
3	0	5-25 l/s
11	0	25-50 l/s
6	0	>50 l/s
42	52	

Anche la zona meridionale del bacino, ed in particolare la Piana d'Erba, è interessata da numerose sorgenti. Essa è dominata dalla presenza di un classico conoide di deiezione, dalla morfologia a ventaglio con apice rivolto verso monte. Questo deposito si è formato allo sbocco del Fiume Lambro in un'area pianeggiante dopo un percorso montano e ha diviso l'intera piana, separando i laghi, un tempo uniti, di Pusiano e Alserio. Litologicamente questo conoide è formato da depositi ghiaiosi e sabbiosi con ciottoli (zona più superficiale e apicale), mentre più a meridione prevalgono depositi limosi-argillosi più impermeabili. È proprio in corrispondenza del passaggio tra queste due zone con litologie differenti che abbiamo la formazione di una fascia dei fontanili nella Piana d'Erba. Poco a sud di Erba, alcuni fontanili, collocati da una parte e dall'altra del Lambrone, alimentano la Roggia Gallarana.

1.2.1.4 L'uso del suolo

La base informativa utilizzata per estrarre la copertura del suolo dell'area relativa al bacino del Lago di Pusiano (Figura 1.22) è la cartografia delle destinazioni degli usi dei suoli agricoli e forestali (DUSAF 2.1, 2007) aggiornata all'anno 2007 e digitalizzata a scala 1:5000 con tecniche di fotointerpretazione di ortofoto (foto aeree IT2007 corrette e georeferenziate) a colori e all'infrarosso: la suddetta cartografia riguardante l'intera Regione Lombardia è disponibile sul sito www.cartografia.regione.lombardia.it.

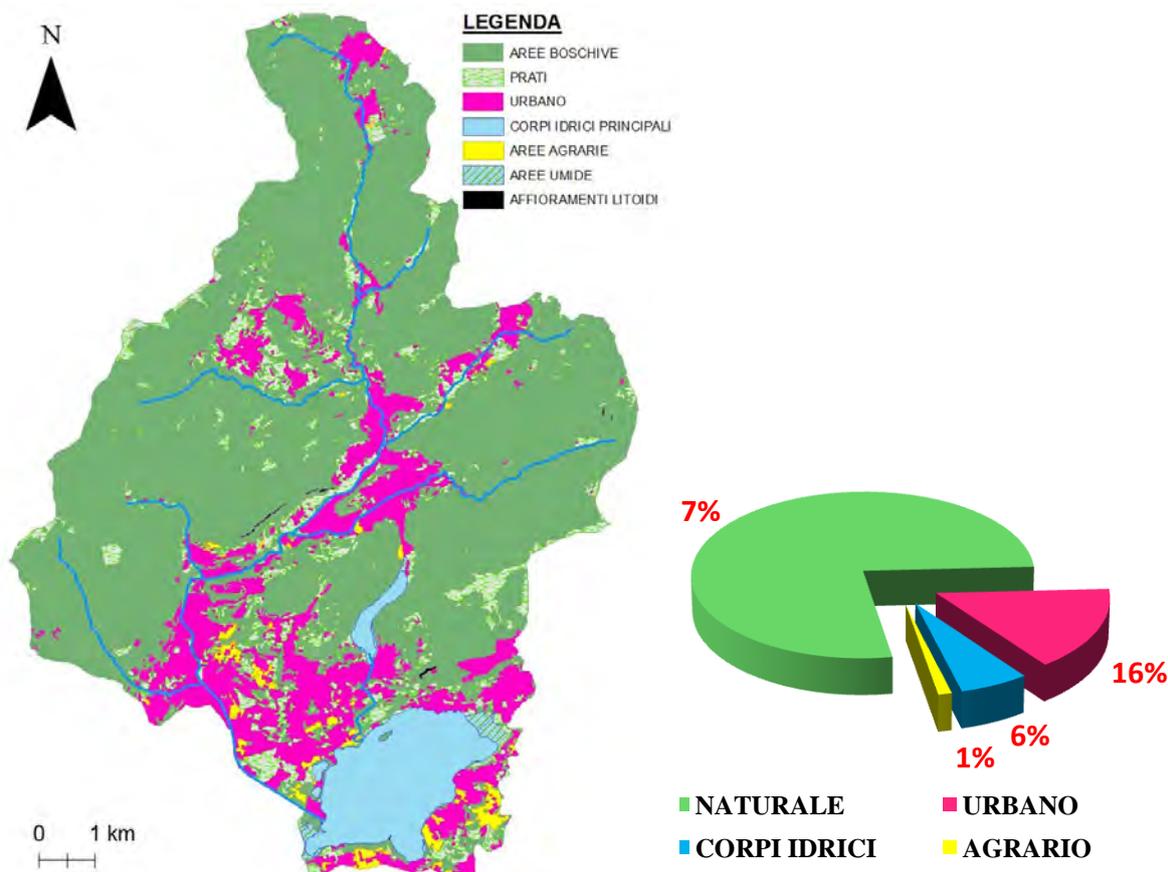


Figura 1.22. Mappa di copertura del suolo estratta per il bacino del Lago di Pusiano

E' possibile osservare che circa il 77% del bacino non è antropizzato: per la maggior parte (68%) si tratta di foreste decidue e a decrescere foreste sempreverdi ed arbusti mentre per il 9% il territorio è adibito a prato. L'altra classe che caratterizza il bacino è l'urbano. Si può notare che esso è rappresentato per ben il 16%, mentre l'agricolo risulta quasi assente con una insistenza sul bacino pari all'1%. Nel complesso il bacino risulta fortemente antropizzato, in particolare nella Piana d'Erba e in corrispondenza delle sponde del Lago di Pusiano. L'urbanizzazione del territorio, come è lecito aspettarsi, si ripercuote sulla qualità delle acque del lago. Nell'analisi che ci si appresta a condurre si cercherà di determinare il suo impatto sull'ecosistema.

Il territorio all'interno del bacino del Pusiano è compreso fra una quota minima di 260 m s.l.m. (livello medio del Lago di Pusiano) e quella massima di 1435 m s.l.m., che coincide con la vetta del Monte Palanzone.

Entrando nel dettaglio della vegetazione naturale del bacino possiamo innanzitutto considerare che la sua diversificazione è in funzione della differenza altimetrica del bacino (oltre 1000 m). Risulta così possibile distinguere i seguenti "piani" di vegetazione, a loro volta suddivisi in "orizzonti":

- 1) Piano basale, coincidente con la fascia fitoclimatica del "Castanetum", ubicato a quota inferiore a 700 m. Esso comprende il seguente orizzonte:

- *Orizzonte submontano* con boschi di latifoglie eliofile (*Castanea sativa*, *Quercus* spp.).
- 2) Piano montano, coincidente con le fasce fitoclimatiche del “Picetum e del Fagetum”, ubicato a quote comprese tra i 700 e i 1700 m. Esso comprende i seguenti orizzonti:
- *Orizzonte montano inferiore* con boschi di latifoglie sciafile (*Fagus sylvatica*).
 - *Orizzonte montano superiore* con boschi di conifere (*Abies alba*, *Picea excelsa*, *Larix decidua*). I boschi in passato sono stati profondamente alterati dalle pratiche forestali e dal pascolo, così che la naturale unione tra le specie arboree e quelle erbacee spontanee è frequentemente modificata. L’azione intensa esercitata dall’uomo, sia nella trasformazione del paesaggio, sia nell’introduzione di nuove specie, ha contribuito a rendere il quadro vegetazionale dell’area di studio piuttosto variegato.

1.2.1.5 La rete fognaria e gli scolmatori fognari

i. La rete fognaria

La tipologia dominante di rete fognaria dei comuni ricadenti nel bacino del Lago di Pusiano e che vengono serviti dall’impianto di depurazione di Merone (CO), gestito dall’A.S.I.L. S.p.A. e quello di Valmadrera, gestito da Rio Torto Acqua e Servizi S.p.A., è quella mista, ossia che convoglia contemporaneamente acque meteoriche ed acque reflue civili ed industriali. In particolare, per i comuni che gravitano sul bacino del Lago di Pusiano, si registrano le seguenti problematiche dovute a questioni strutturali:

- a. non tutte le abitazioni sono dotate di rete fognaria e non tutte le reti fognarie sono innestate direttamente al collettore consortile;
- b. non tutti gli scaricatori o scolmatori di piena sono dotati di idoneo sistema di regolazione: se gli abitanti equivalenti che gravitano su una rete fognaria si modificano nel corso degli anni, non è possibile modificare il volume di acqua da inviare all’impianto di depurazione; nella maggior parte dei casi la scelta progettuale, effettuata sulla base di un orizzonte temporale molto lungo, porta a sovrastimare i volumi da inviare all’impianto di depurazione;
- c. quando i bacini serviti sono di piccole dimensioni gli scaricatori di piena, ancorché dotati di sistemi di regolazione, dovrebbero avere luci di passaggio del flusso da inviare all’impianto di depurazione (sulla base dei dati di dimensionamento previsti dalla legge regionale) così ridotte da provocare frequenti intasamenti: anche in questo caso, onde evitare rischi di versamenti di liquami in acque superficiali, spesso si preferisce aumentare la luce di passaggio alzando le paratoie di regolazione ed aumentando i volumi addotti all’impianto di trattamento.

Il problema della “separazione delle acque inviate al collettore consortile” coinvolge tutte le Amministrazioni Comunali che sino ad oggi hanno costruito e gestito le reti fognarie di adduzione dei reflui, civili ed industriali, ai collettori consortili. In modo altrettanto diretto questo tema coinvolge i

gestori degli impianti di depurazione (A.S.I.L. S.p.A. e Rio Torto S.p.A.) su cui ricadono inevitabilmente le scelte progettuali ed esecutive riguardanti le reti fognarie comunali.

L'analisi dell'impatto antropico sul lago ha portato ad evidenziare la parziale inefficienza della rete di collettamento dei reflui urbani. L'attuale configurazione riesce infatti ad asportare dal bacino soltanto il 68% ($0,50 \text{ kg P ab}^{-1}$ rispetto a $0,74 \text{ kg P ab}^{-1}$) dei reflui civili, mentre il rimanente 32% ($0,24 \text{ kg P ab}^{-1}$) viene rilasciato durante gli „*overflow*“ degli scaricatori di piena della rete fognaria. Il carico così generato è quindi da considerare tra le possibili cause del permanere del degrado della qualità delle acque del Lago di Pusiano. Per ridurre al minimo la pressione antropica generata dagli scolmatori è richiesto l'approfondimento della conoscenza della rete di collettamento dei reflui per individuarne le criticità (punti di massimo scolmo) e le possibili soluzioni al fine di ridurre le immissioni nella rete idrografica. Tali indagini, avviate nell'ambito del Progetto PIRoGA (2009-2012), permetteranno di raccogliere le informazioni necessarie a condurre una modellizzazione specifica delle perdite dalla rete fognaria verso i corpi idrici superficiali.

ii. Gli scolmatori fognari

La mappa di Figura 1.23 evidenzia gli scolmatori di piena (*Combined Sewer Overflow*, CSO) lungo la rete fognaria drenata nel collettore gestito dall'A.S.I.L. S.p.A di Merone di cui era documentata l'esistenza all'inizio della presente rapporto. A Est del lago la rete fognaria viene gestita da Idrolario S.p.A. Riferendoci limitatamente alla rete gestita dall'A.S.I.L. S.p.A, si può chiaramente notare la pressione a cui è sottoposto il bacino nel quale si può contare un numero elevato di scolmatori di piena. Pur considerando che probabilmente non tutti entrano in funzione durante gli eventi di piena, tuttavia è evidente l'entità della pressione che essi esercitano sulla qualità delle acque del Fiume Lambro e di conseguenza sul Lago di Pusiano.

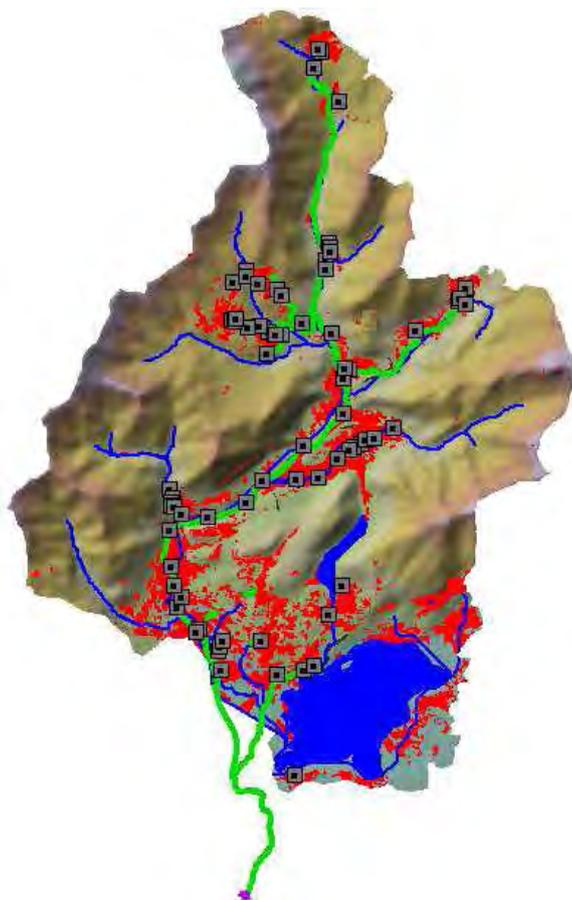


Figura 1.23. Gli scolmatori di piena nel bacino del Lago di Pusiano (Fonte: A.S.I.L. S.p.A. di Merone).

1.2.2 Il Lago di Pusiano

Il Lago di Pusiano è un lago di origine glaciale intermorenica situato tra i due rami del Lago di Como. Le sue caratteristiche morfometriche (superficie 5,26 km², profondità 24 m, profondità media 14 m e volume pari a 69,2 10⁶ m³) consentono di classificarlo tra gli ambienti medio-piccoli. Il bacino drenante ha una superficie di 94,6 km² (lago incluso) largamente occupata dal Fiume Lambro e dalla presenza del Lago del Segrino. La restante parte è suddivisa in una fascia perilacuale rivierasca e una fascia perilacuale montana. Sulla prima fascia gravita la maggiore pressione antropica residenziale e industriale mentre la seconda, drenata da un sistema di ruscelli temporanei, mostra condizioni più naturali.

1.2.2.1 Studi pregressi

I primi dati certi che si riscontrano in letteratura sulle condizioni chimico-fisiche del Lago di Pusiano si riferiscono a misure relative allo spettro ionico e a valori di conducibilità, pH e alcalinità (Vollenweider, 1965). La frammentarietà di queste informazioni non permette però valutazioni attendibili sullo stato trofico e sulla qualità delle acque. Il lavoro svolto da Vollenweider nella prima metà degli anni 60" è, infatti, prevalentemente alla caratterizzazione idrochimica del lago. In questo studio i dati del Lago di

Pusiano erano inseriti in un quadro più generale tentando per la prima volta di fornire una descrizione comparata delle acque lentiche insubriche. In questo lavoro le acque del Lago di Pusiano venivano comunque definite meso-politrofiche.

Un lavoro limnologico più completo è stato eseguito da Bonomi et al. nel 1967. In esso vengono riportate informazioni, relative ai mesi di aprile e di agosto, riguardanti nutrienti, trasparenza, ossigeno, anioni, cationi, fitoplancton, zooplancton e bentos. Gli autori confrontano inoltre i propri risultati con un'indagine effettuata nel 1954 dall'Istituto Italiano di Idrobiologia (non pubblicata) nella quale venivano evidenziate condizioni di scarsa ossigenazione ipolimnica (meno del 25% di saturazione nel luglio '54) e di elevata sovrasaturazione negli strati superficiali, entrambi indice di compromissione della situazione trofica. Gli autori segnalano un peggioramento della qualità delle acque particolarmente per concentrazioni di ossigeno che nell'agosto '67 nell'ipolimnio è totalmente esaurito. Tra gli anni '70 e gli anni '90 sono state svolte quattro campagne di campionamento annuali che hanno permesso di delineare un quadro dell'evoluzione limnologica del lago.

La prima indagine sistematica e completa è stata svolta dall'IRSA nel periodo marzo 1972 – marzo 1973 (Gerletti e Marchetti, 1977), sono seguite poi le campagne di campionamento del 1985-1986 (dati non pubblicati archivio IRSA), del 1988-1989 (Chiaudani e Premazzi, 1992) e del 1994-95 (Quattrin et al., 1998). A partire dal 1984 sono stati infine eseguiti ogni anno campionamenti sulla colonna alla circolazione invernale per seguire l'evoluzione temporale dello stato trofico lacustre (Tartari et al., 2000).

Dal punto di vista idrochimico il contenuto ionico espresso in termini di conducibilità misurata alla circolazione non ha subito nel tempo grosse variazioni. Cambiamenti importanti invece hanno riguardato i nutrienti e in particolar modo il fosforo. Il fosforo totale (riportato in Figura 1.24) raggiungeva un valore di 86 µg P/L durante la circolazione del 1973, ha subito un progressivo incremento raggiungendo il massimo valore di 174 µg P/L nel 1986. Successive azioni di risanamento effettuate a scala di bacino (Tartari e Quattrin, 1999) hanno portato ad una diminuzione delle concentrazioni fino ad arrivare a valori di circa 90 µg P/L nel biennio 1994-1995 e verso la soglia della mesotrofia negli ultimi anni (nel 2010 a 37 µg P/L). L'abbattimento complessivo delle concentrazioni di fosforo totale trova spiegazione nei numerosi interventi di risanamento avviati a metà degli anni '80, il principale dei quali ha comportato la deviazione fuori bacino di circa il 75-80% dei reflui civili (Tartari & Quattrin, 1999).

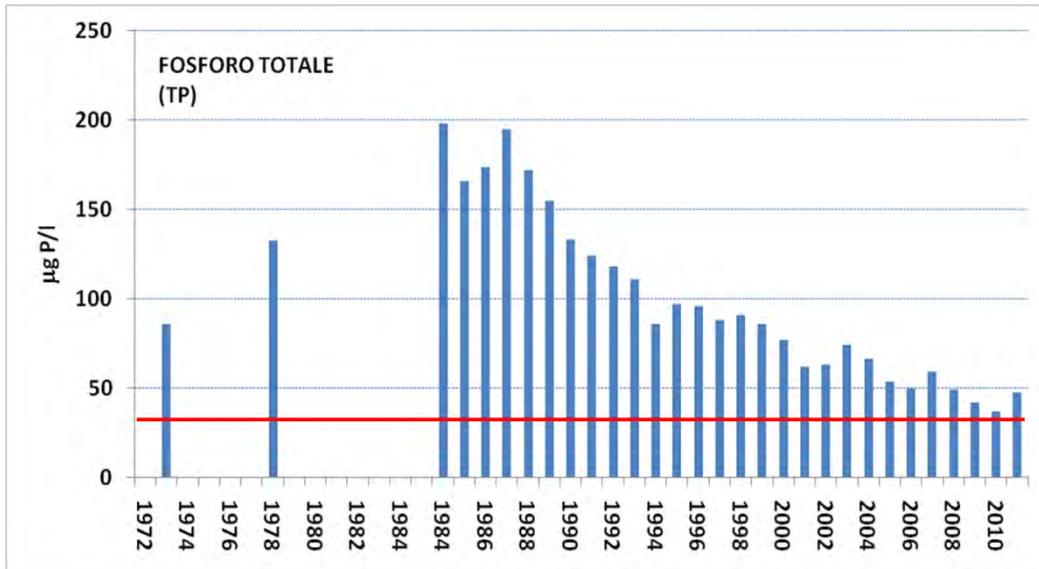


Figura 1.24. Andamento nel tempo delle concentrazioni di fosforo totale alla circolazione invernale e concentrazione limite per la condizione di mesotrofia pari a 30 µg P/L (linea rossa)

Le concentrazioni di azoto totale (riportate in Figura 1.25) per contro hanno mostrato un andamento molto più costante nel tempo con variazioni intorno alla media (circa 2 mg N/L) molto più contenute. Questo nutriente proviene per circa il 50% dalle deposizioni atmosferiche e i suoi carichi nella fascia prealpina risultano tra i più alti dell'Italia settentrionale e sono rimasti costanti nelle ultime decadi (Balestrini et al, 2000).

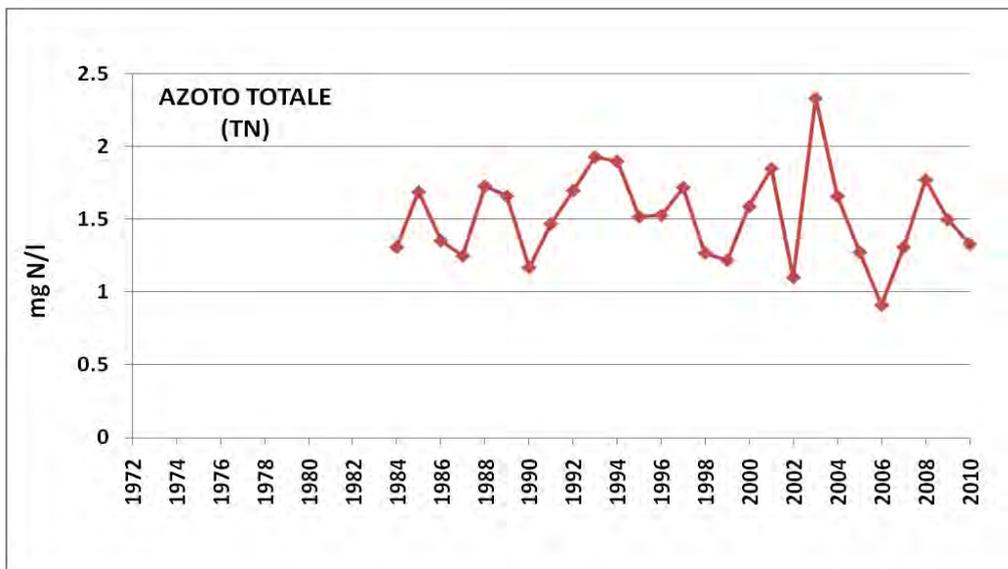


Figura 1.25. Andamento nel tempo delle concentrazioni di azoto totale alla circolazione invernale

Da questo quadro emerge quindi un generale miglioramento delle condizioni di trofia del Lago di Pusiano ed è presumibile che i cambiamenti avvenuti dagli anni „70 ad oggi abbiano influito anche sui mutamenti nel popolamento fitoplanctonico. La frammentarietà degli studi e la diversità dei metodi utilizzati impediscono però di tracciare un'evoluzione dettagliata delle comunità algali su scala

pluriennale, parallela a quella dei dati di qualità delle acque, e di operare un confronto in termini di densità e biomassa. L'unica possibilità quindi è quella di fare un confronto con alcune situazioni ed in particolare con gli studi svolti nel 1972-73 (Gerletti e Marchetti, 1977) nel 1985-1986 (dati archivio IRSA non pubblicati), nel 1988-1989 (Chiaudani e Premazzi, 1992) e nel 1994-95 (Quattrin et al., 1998), gli unici che descrivono un ciclo annuale delle popolazioni fitoplanctoniche (Figura 1.26). Vale la pena però ricordare che in precedenza Bonomi et al. nel 1967 affermava che in quegli anni il Pusiano veniva segnalato per la quasi completa assenza di Cyanoprokaryota, come dimostrano i due campionamenti effettuati ad aprile e ad agosto di quell'anno (mediante rete da plancton) dove venivano individuate soltanto una ventina di specie e tra queste solo due del gruppo dei cianobatteri (*Gomphosphaeria aponina* e *Merismopedia tenuissima*). Tale situazione è confermata nella campagna di campionamento svolta nel 1972-1973, che aveva come obiettivo quello di tracciare un quadro generale della dinamica dei popolamenti fitoplanctonici e per tale ragione furono riportati conteggi dettagliati solo per le specie di maggior rilievo quantitativo. A livello di gruppi l'indagine ha rilevato un popolamento costituito prevalentemente da Bacillariophyceae, Cryptophyta e Chlorophyta. Le prime raggiungono le punte massime nel mese di settembre mentre le Cryptophyta erano presenti tutto l'anno con livelli massimi nel periodo autunnale in coincidenza con intense fioriture di Chlorophyta. Tale condizione perdura fino al biennio 1985-1986. Nell'indagine condotta mensilmente tra il maggio 1985 e l'aprile 1986 vengono classificate circa 70 specie algali con sporadiche apparizioni di *Lyngbya limnetica* e del genere *Datctylococopsis*, tra i Cyanoprokaryota. Tra le Bacillariophyceae si afferma il genere *Cyclotella*, mentre le Chlorophyta sono dominanti con i generi *Chlamydomonas*, *Chlorella*, *Coelastrum* e *Scenedesmus*. Anche nel 1988-1989 i cianobatteri sono in numero esiguo con i generi *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chroococcus*, *Gomphosphaeria* e *Pseudoanabaena*. Nonostante la frammentarietà delle informazioni si può affermare quindi con che nel periodo compreso tra la seconda metà degli anni 60" e la fine degli anni 80" i cianobatteri siano stati una componente marginale del popolamento algale del Lago di Pusiano. La struttura del popolamento fitoplanctonico si modifica invece radicalmente intorno alla metà degli anni 90". Dai dati raccolti nel biennio 1994-95 è evidente un forte aumento della presenza di cianobatteri. Le specie appartenenti a questo gruppo dominano soprattutto d'estate con picchi in luglio (150000 ind/mL) dovuti ai generi *Aphanothece* e *Microcystis* e in settembre (100000 ind/mL) dovuti alla presenza massiva di *Merismopedia tenuissima*. A partire dal 2002 è disponibile una serie storica continua che evidenzia una costante presenza di *Planktothrix rubescens* tra le specie fitoplanctoniche. In genere questa specie risulta dominante con situazioni estreme come quella riscontrata nel 2002 (Legnani et al. 2005), dove il popolamento algale era prossimo a una condizione di mono-specificità. A seguito di forti fioriture si è assistito anche all'accumulo dei filamenti dell'alga in prossimità delle rive come mostrato in Figura 1.26.

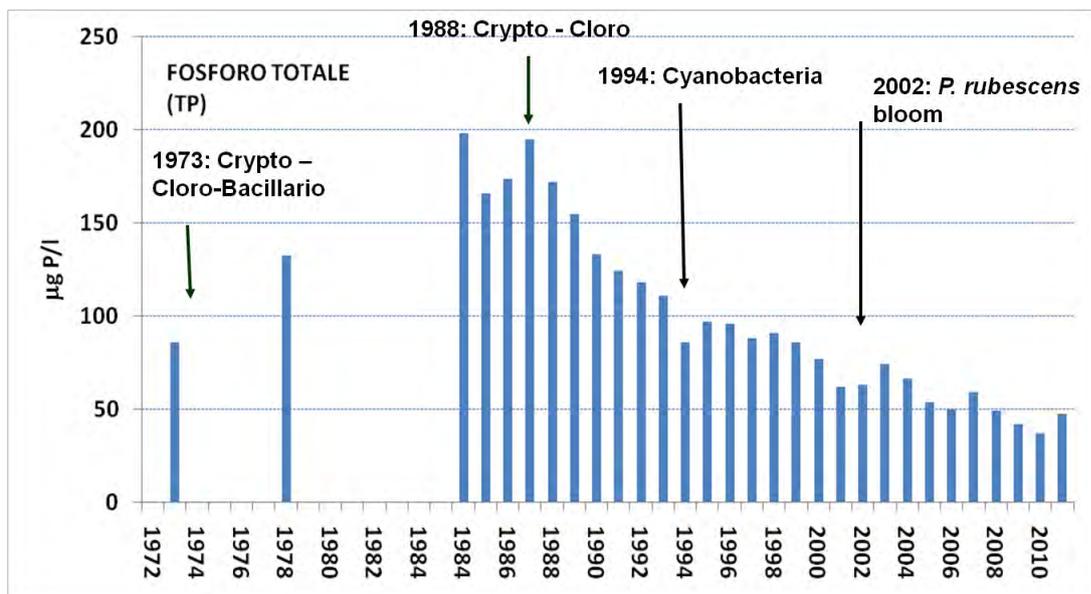


Figura 1.25. Rappresentazione dei principali rilevamenti algali (fitoplancton) in relazione all'andamento delle concentrazioni di fosforo totale alla circolazione invernale.



Figura 1.26. Fioritura di *Planktothrix rubescens* nel lago di Pusiano nell'autunno del 2001.

1.2.2.2 Indicazioni sull'evoluzione limnologica recente

Per analizzare le tendenze evolutive della qualità chimica e biologica delle acque di un lago è utile disporre di una serie storica il più possibile lunga e continua. A tal fine la ricostruzione riportata in questa sezione (2002-2010) è stata ottenuta unendo il database dell'IRSA con quello del Dipartimento di Lecco dell'ARPA Lombardia. Ciò ha consentito di massimizzare gli sforzi profusi dalle due istituzioni nello svolgimento delle rispettive attività di ricerca e monitoraggio.

i. Struttura termica e ossigeno disciolto

Da un punto di vista della struttura termica il Lago di Pusiano può essere classificato come monomittico caldo, poiché presenta un solo periodo di piena circolazione durante la stagione invernale

(tra gennaio e febbraio). L'evoluzione della struttura termica per il periodo 2002-2010 viene rappresentato in Figura 1.27. Negli ultimi dieci anni il lago ha presentato una stratificazione stabile da fine marzo a fine novembre, con temperature sul fondo (da 20 a 24,5 metri di profondità) comprese 4 e 8°C. In superficie durante la massima stratificazione delle acque si possono notare temperature prossime a 30°C. Nel 2003 si sono raggiunte le temperature massime, con 20° C superficiali già dal mese di maggio e punte fino a 29°C tra luglio e agosto. Il 2003 è caratterizzato anche da una stratificazione più duratura e da un successivo raffreddamento autunnale più lento. La colonna d'acqua è comunque repentinamente circolata nei primi mesi del 2004. Nei primi anni il salto termico appare più marcato, mentre successivamente si osserva una dispersione del calore estivo più in profondità (soprattutto negli ultimi due anni). Analizzando le temperature medie degli ultimi 5 metri di profondità del lago (20-25 metri) dal 2002 al 2010 si osserva una certa variabilità interannuale e una tendenza all'aumento (Figura 1.28). Tale andamento è in linea con l'aumento delle temperature relative alla circolazione invernale per il periodo 1970-2000 (Tartari et al., 2000) e con simulazioni modellistiche (Copetti et al. in stampa) svolte nell'ambito del progetto europeo CIRCE (<http://www.circeproject.eu/>) dall'IRSA.

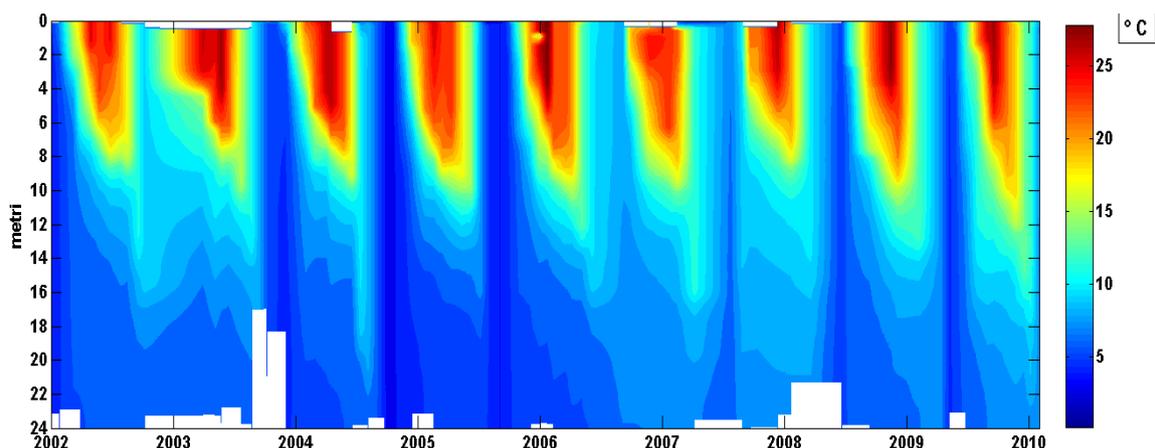


Figura 1.27 Profili termici, ottenuti con le sonde multiparametriche, del lago di Pusiano, da febbraio 2002 a dicembre 2010.

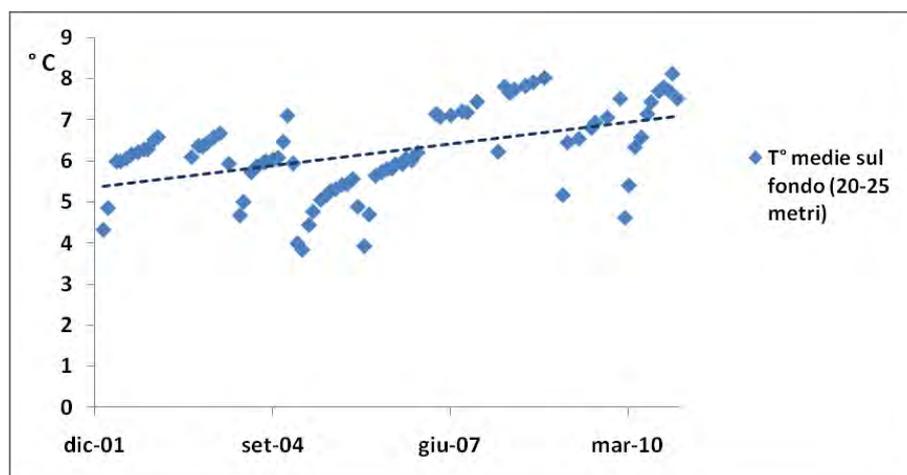


Figura 1.28. Temperature medie sul fondo del lago da febbraio 2002 a dicembre 2010

La misurazione dell'ossigeno ha evidenziato che il Lago di Pusiano presenta condizioni anossiche nell'ipolimnio durante il periodo di stratificazione, a cui si contrappone una condizione di sovrassaturazione nell'epilimnio (mediamente 0-7,5 m) dovuta all'attività fotosintetica del fitoplancton come mostrato in Figura 1.29 dove viene presentato l'andamento dell'ossigeno come percentuale di saturazione. Si può osservare come, durante il periodo estivo, il lago presenti dei picchi di saturazione, dovuti alla presenza di alti valori di biomassa fitoplanctonica, che raggiungono il massimo (253% alla saturazione) nel giugno 2002. I livelli di soprassaturazione risultano più bassi nel 2005 (attorno al 140%). Nei primi anni si osservano più picchi successivi tra la primavera e l'estate. Nel 2006 nei mesi di giugno e luglio è possibile rilevare un picco di ossigeno localizzato più in profondità rispetto al triennio precedente. Nel 2007 e nel 2008 l'andamento è più in linea con i primi anni mentre il 2009 si caratterizza dalla presenza di un solo picco. Nel 2010, infine, vengono rilevate concentrazioni di ossigeno inferiori all'anno precedente: infatti si può osservare un solo picco nel mese di maggio (199% alla saturazione), ed una distribuzione uniforme nei mesi di successivi (giugno – luglio) che oscilla tra il 153% ed il 163%. Per quanto riguarda il comparto ipolimnico sembra che il periodo di anossia sia più marcato nei primi anni.

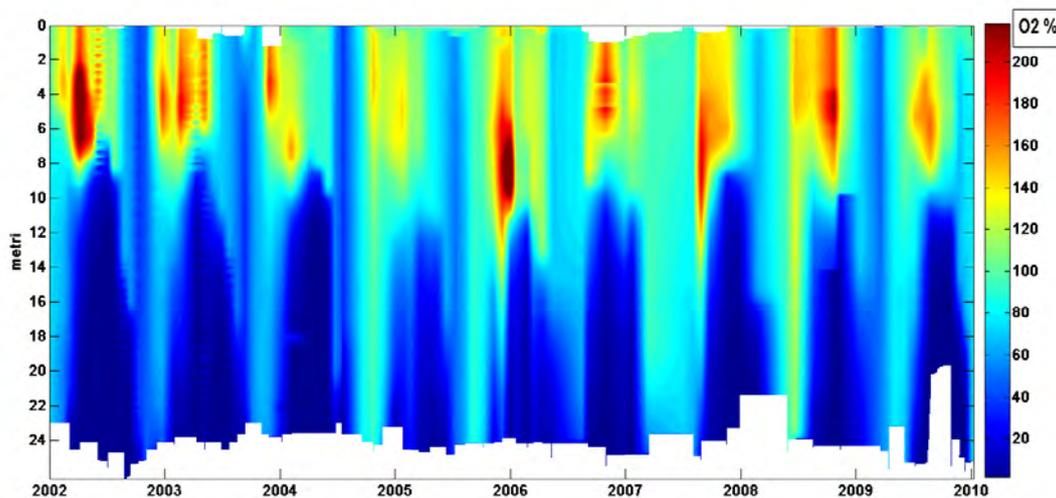


Figura 1.29 Contenuto di ossigeno, come profilo ottenuto dalle sonde multiparametriche, in percentuale alla saturazione, nel Lago di Pusiano dal 2002 al 2010.

ii. Trasparenza, Clorofilla, pH e Alcalinità

La trasparenza, misurata come profondità di scomparsa del disco di Secchi, e la concentrazione di clorofilla sono variabili strettamente legate allo stato trofico di un lago e quindi alla qualità delle sue acque. Le cellule fitoplanctoniche contribuiscono, infatti, marcatamente all'abbattimento della luce nella colonna d'acqua. Tale abbattimento dipende in ultima analisi dal grado di torbidità delle acque, determinato sia dalla sospensione d'organismi microscopici animali e vegetali (costituenti il plancton) sia dalla presenza di particolato di natura organica ed inorganica. Nel Lago di Pusiano la trasparenza è legata soprattutto alla dinamica fitoplanctonica: infatti il valore minimo (1,4 m) si registra nel luglio 2003 in concomitanza di un'estesa fioritura superficiale, mentre nell'aprile 2010 la luce può penetrare

fino a 8,3 m come risposta al minimo valore di biovolume fitoplanctonico registrato nello stesso momento.

Il grafico in Figura 1.30 mostra l'andamento della trasparenza in relazione alla concentrazione di clorofilla totale ($\mu\text{g/L}$) rappresentativa dello strato superficiale (2,5 metri di profondità); le due variabili hanno generalmente un andamento opposto. Tra febbraio e aprile del 2002 si rileva un picco di clorofilla, 14 $\mu\text{g/L}$, che corrisponde ad una trasparenza di circa 1,5 m.

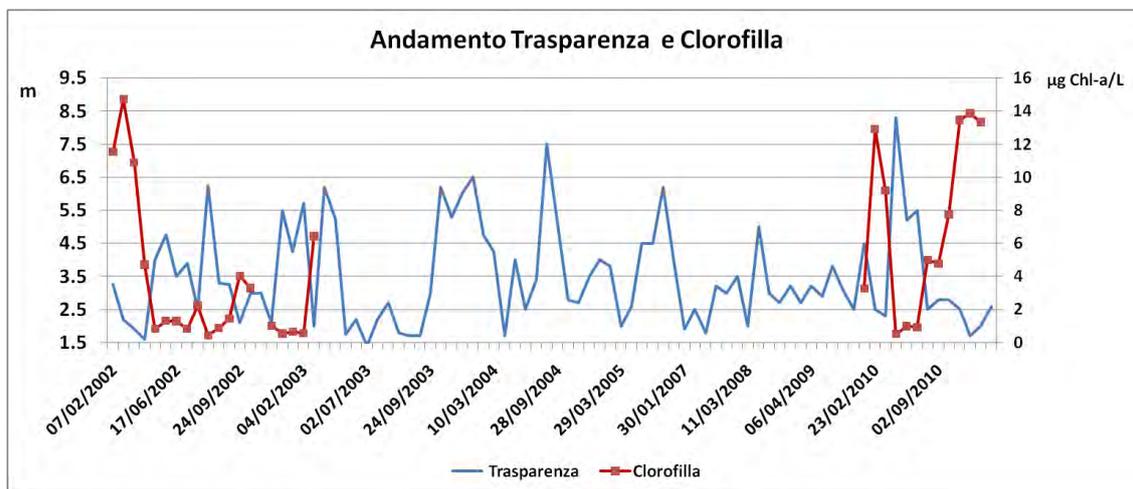


Figura 1.30 Profondità (metri) di scomparsa del disco di Secchi e concentrazione superfiale (2.5 metri) di clorofilla nelle campagne di monitoraggio CNR IRSA e ARPA Lecco (2002-2010).

Negli ambienti acquatici il pH è un parametro influenzato da svariati processi, biologici e non, tra loro interconnessi e riconducibili a reazioni acido-base, di scambio ionico e ossidoriduzione. In condizioni di forte produttività primaria, nella zona eufotica di un lago si assiste ad un aumento dei valori di pH dovuto al consumo della CO_2 da parte degli organismi fitoplanctonici come evidenziato dai picchi di pH (tra 8,30 e 9,26 unità di pH) relativi agli strati superficiali, riportati in Figura 1.31. Il consumo di CO_2 da parte delle alghe sposta inoltre l'equilibrio $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ a favore dei carbonati che legandosi agli ioni calcio precipitano come calcite determinando una riduzione dei valori di alcalinità come mostrato in Figura 1.32. Nel periodo di stratificazione termica, sul fondo, i valori di alcalinità tendono ad aumentare a causa del rientro in circolo dello ione bicarbonato favorito anche dalle basse temperature sul fondo. L'aumento dell'alcalinità nelle acque profonde, durante il periodo estivo, è ben visibile negli anni 2002-2004. Negli anni dal 2005-2009 tale aumento risulta essere molto meno marcato se non inesistente. Deve essere sottolineata in questo contesto la diversa provenienza dei dati e i relativi problemi di confrontabilità dei due dataset. Nel 2010 si riscontrano valori di alcalinità mediamente più elevati in colonna d'acqua durante l'anno e un minore aumento di questa variabile sul fondo durante il periodo di stratificazione.

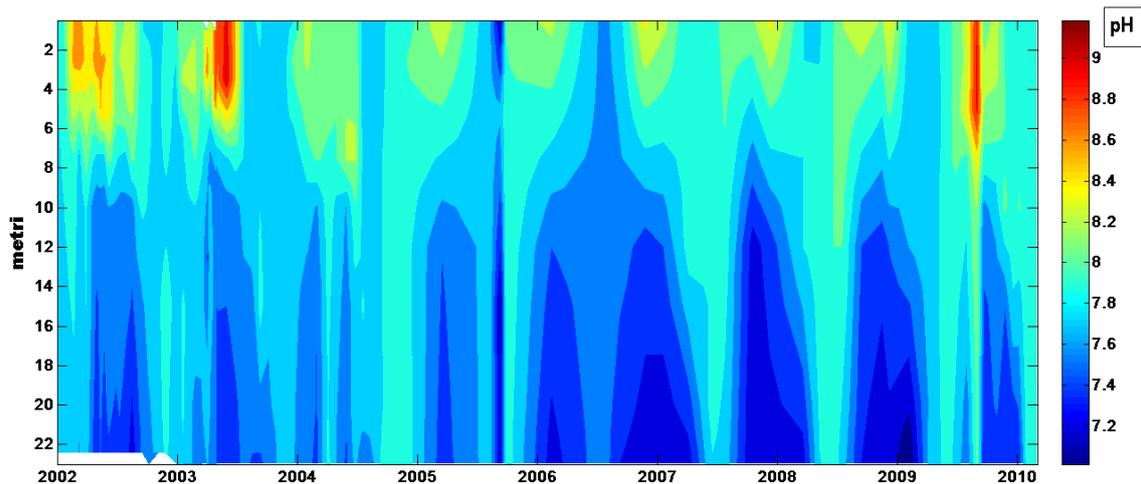


Figura 1.31 Andamento del pH dal 2002 al 2010.

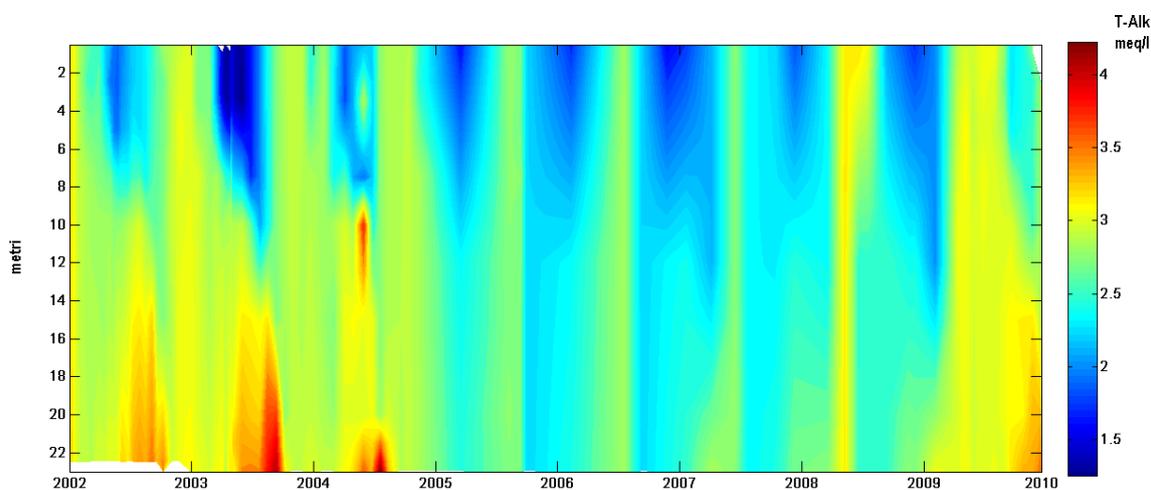


Figura 1.32. Andamento dell'alcalinità dal 2002 al 2010.

iii. Evoluzione dei principali nutrienti algali

Nel Lago di Pusiano l'azoto inorganico è costituito prevalentemente dalla forma nitrica e in misura minore dalla forma ammoniacale. Durante la stratificazione estiva, sul fondo, prevale lo ione ammonio a causa del rilascio dal sedimento in condizioni anossiche. Nell'epilimnio, viceversa, prevalgono i nitrati. Sono stati calcolati, mediante l'utilizzo della curva ipsografica del lago i carichi di azoto totale disciolto (DIN) per i volumi compresi tra 0 e 7,5 m (epilimnio) e tra 20 e 24 metri (ipolimnio). L'andamento nel periodo 2002-2010 è riportato in Figura 1.33. Nell'epilimnio si notano forti oscillazioni intra-annuali, dovute all'alternanza circolazione-stratificazione, e interannuali, con anni caratterizzati da carichi elevati (2003, 2009) alternati ad anni con carichi bassi (2002-2007). Queste variazioni sono con ogni probabilità legate alle fluttuazioni del regime idrologico. Anche nell'ipolimnio si nota una certa variabilità, tuttavia la media è abbastanza stabile durante tutto il decennio.

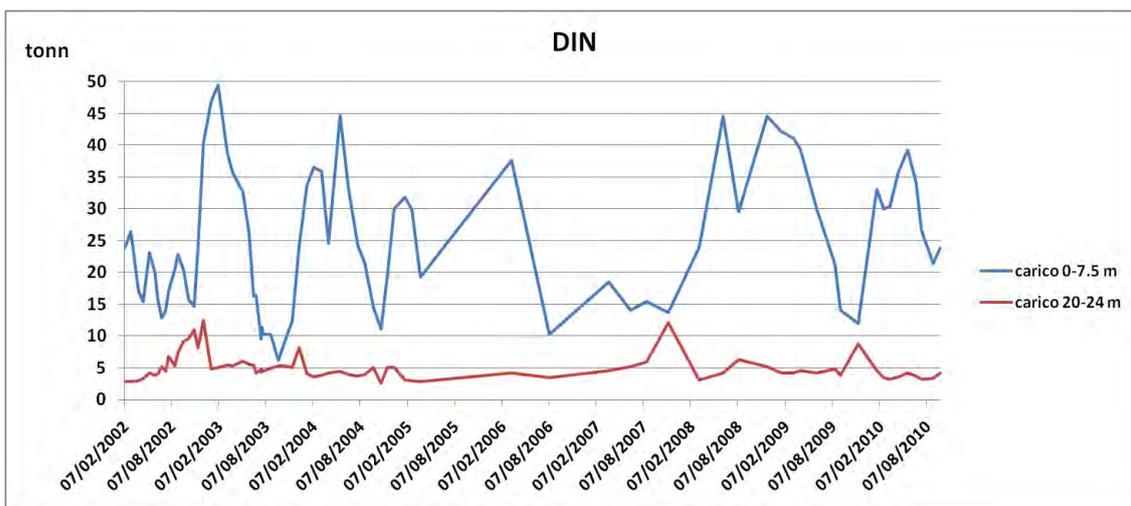


Figura 1.33. Carichi (espressi in tonnellate) delle forme disciolte e disponibili dell'azoto (DIN) calcolati mediante la curva ipsografica per i volumi rappresentanti l'epilimnio e l'ipolimnio.

Anche per la forma biodisponibile del fosforo (ortofosfato o fosforo reattivo solubile, SRP) sono stati calcolati i carichi per l'epilimnio e per l'ipolimnio (Figura 1.34). Per quanto riguarda l'epilimnio, nonostante la non completezza del database, si può intravedere una tendenza alla diminuzione nel tempo, con valori di minimo registrati nell'ultimo anno. L'andamento ipolimnico, influenzato certamente dal rilascio del sedimento, presenta una maggiore variabilità, ma anche in questo caso è evidente un minor rilascio nel 2010. Il carico di fosforo sul fondo sembra infatti essere passato da valori superiori a una tonnellata (2002) a valori inferiori a 0,5 tonnellate (2010) e quindi più che dimezzato nel periodo compreso tra il 2002 e il 2010 anni in cui i dati sono stati prodotti dallo stesso laboratorio.

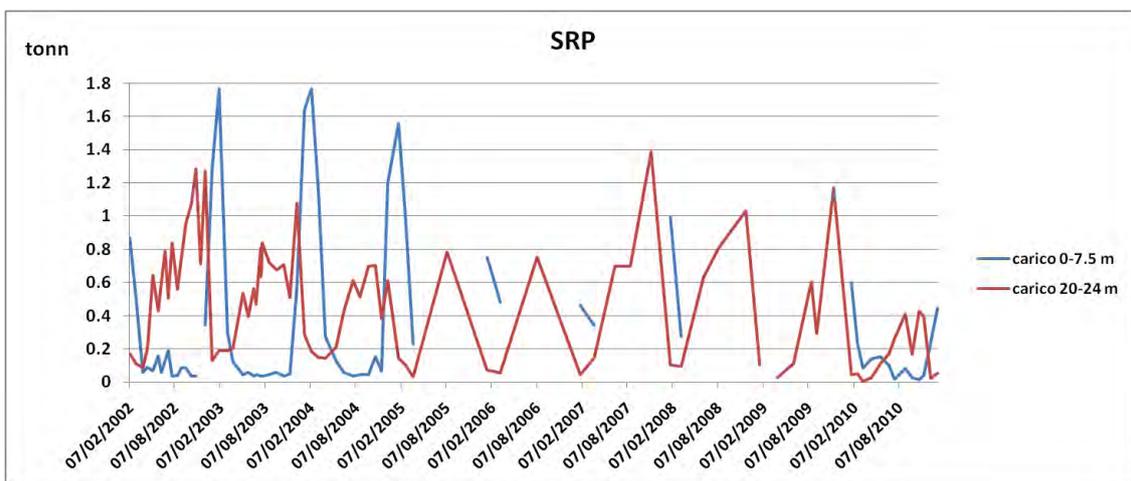


Figura 1.34 Carichi (espressi in tonnellate) della forma disciolta e disponibile del fosforo (SRP) calcolati mediante la curva ipsografica per i volumi rappresentanti l'epilimnio e l'ipolimnio.

In Figura 1.35 è riportato il rapporto ponderale dell'azoto e del fosforo totali (TN:TP) alla circolazione invernale. Quando tale rapporto è uguale a 7,5 (rapporto di Redfield) la popolazione fitoplanctonica risulta equamente limitata sia dall'azoto sia dal fosforo, per valori inferiori la popolazione risulta invece limitata dall'azoto mentre per valori superiori dal fosforo. Come si può notare tra il 2002 e il 2010 il

Lago di Pusiano si colloca sempre in una condizione fosforo limitazione. L'entità di tale limitazione varia però nel corso del periodo di studio. Il particolare a partire dal 2008 il lago appare maggiormente fosforo limitato.



Figura 1.35. Rapporto in massa di azoto e fosforo totali (TN:TP) alla circolazione invernale.

La silice è utilizzata dalle diatomee (classe Bacillariophyceae) per la produzione del frustolo, e si può trovare nelle acque dei laghi sotto forma solubile, colloidale ed insolubile o sospesa. In generale le concentrazioni di silice sono controllate dalle diatomee. Normalmente le concentrazioni di questo nutriente algale sono più elevate d'inverno mentre diminuiscono in primavera a seguito delle prime fioriture di diatomee. Durante l'estate il contenuto di silice può aumentare di nuovo negli strati superficiali fino a quando una nuova fioritura abbassa di nuovo le concentrazioni. Anche per questo nutriente sono stati calcolati i carichi dello strato epilimnico e ipolimnico (Figura 1.36). La dinamica è variabile e non sempre ascrivibile ad un chiaro ciclo stagionale (ciò avviene per il 2002 e per il 2009); negli ultimi anni sembrerebbe esserci stato un aumento sensibile sia nell'epilimnio sia nell'ipolimnio.

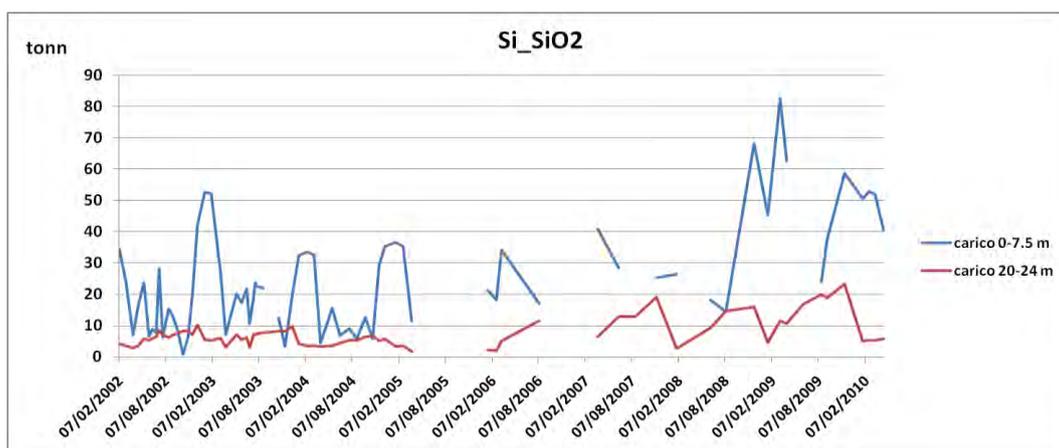


Figura 1.36 Carichi (espressi in tonnellate) della silice reattiva (Si-SiO₂) calcolati mediante la curva ipsografica per i volumi dell'epilimnio e dell'ipolimnio

iv. Evoluzione della comunità fitoplanctonica

Le specie del fitoplancton che hanno popolato il lago dal 2002 al 2010 si ripartiscono in 7 raggruppamenti principali: Bacillariophyceae (diatomee), Chlorophyceae (cloroficee), Cyanobacteria

(cianobatteri), Cryptophyceae (criptoficce), Chrysophyceae (crisoficce) e Dinophyceae (dinoflagellati) e Coniugatophyceae (coniugate). I biovolumi medi annuali relativi alle diverse classi per il periodo 2002-2010 sono riportati in Figura 1.37. Ad eccezione dell'anno 2003 in tutti gli anni dominano i cianobatteri con valori massimi raggiunti nel 2002 e nel 2007. Oltre ai cianobatteri anche le diatomee incidono marcatamente sul biovolume medio annuale. Nel triennio 2007-2009 si osserva anche una cospicua presenza dei dinoflagellati. Il 2003 si caratterizza per biovolumi mediamente bassi, per l'assenza di specie cianobatteriche, e per una più omogenea ripartizione dei diversi raggruppamenti algali.

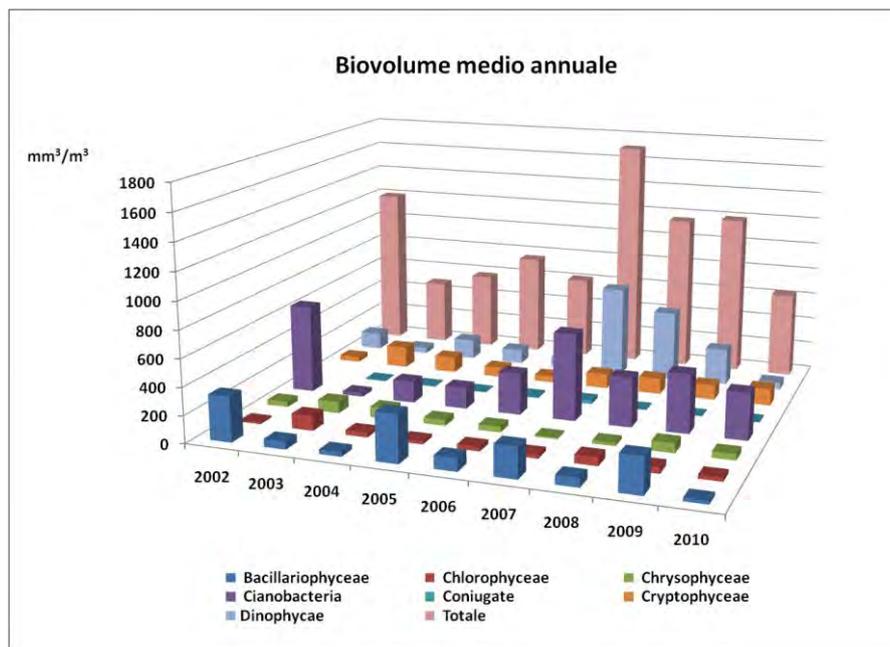


Figura 1.37. Biovolume medio annuo principali raggruppamenti algali tra il 2002 e il 2010.

In genere il biovolume dei cianobatteri è determinato quasi totalmente dalla sola specie *Planktothrix rubescens*, la cui manifestazione (Bruno et al., 2004) prevede due picchi stagionali uno in primavera e uno in autunno. D'estate invece questa specie, stenoterma fredda e sensibile ad alte radiazioni solari (Reynolds, 1984), tende a crescere con tassi molto bassi e a collocarsi nel salto termico dove trova in genere anche condizioni migliori in termini di concentrazioni di nutrienti (Walsby & Schanz, 2002). I dati relativi al periodo 2002-2003 riferiti all'epilimnio (comparto con maggiore disponibilità di dati) mostrano (Figura 1.38) un'unica intensa fioritura primaverile avvenuta nel 2002. Successivamente può essere notata una fase di relativa quiescenza tra il 2003 e il 2004 seguita da una fase in cui *Planktothrix rubescens* torna a fiorire cospicuamente ma nel solo periodo autunnale (tra ottobre-novembre). Alla fase di crescita autunnale segue una fase di lento decadimento della popolazione durante l'inverno.

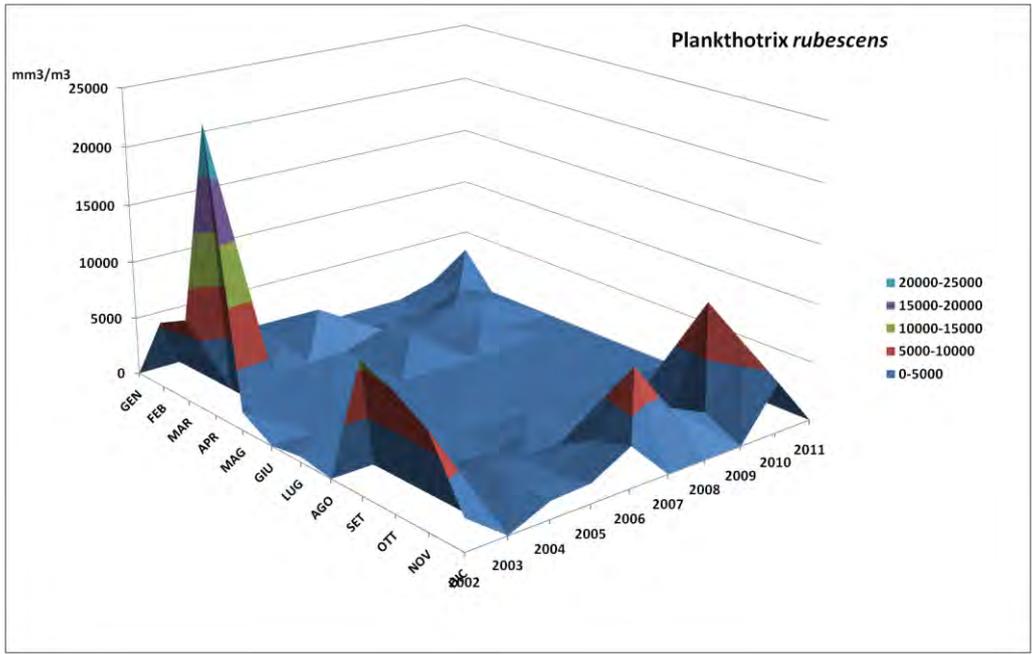


Figura 1.38. Biovolume nell'epilimnio di *Plankthotrix rubescens* riportato per ogni mese dal 2002 al 2010.

1.3 ASPETTI NORMATIVI

Il Progetto PIROGA si pone l'obiettivo di affrontare i problemi di qualità delle acque del Lago di Pusiano e di individuare le soluzioni gestionali per il suo risanamento. Per tale motivo appare importante introdurre una serie di elementi utili a inquadrare il significato normativo del termine "qualità delle acque", che risponde ai criteri disciplinati in vario modo a livello comunitario e nazionale, la cui conoscenza è tuttavia fondamentale per comprendere le azioni necessarie al raggiungimento degli obiettivi di risanamento definiti secondo un'ottica gestionale. In questo capitolo viene pertanto illustrato il contesto normativo di riferimento su diversi livelli (scala comunitaria, nazionale e regionale) entro cui si sviluppa il progetto PIROGA. La trattazione che segue ha puramente scopo informativo e di indirizzo utile per facilitare l'inquadramento complessivo degli aspetti legislativi richiamati nel testo del presente Rapporto, senza alcuna pretesa di completezza giuridica.

1.3.1 Normativa di riferimento

La normativa Comunitaria

L'analisi della normativa sulla tutela delle acque e sulla gestione del servizio idrico deve tenere conto degli orientamenti comunitari in materia, in quanto a questi, per la gerarchia delle fonti del diritto, si devono conformare gli orientamenti nazionali. La **Direttiva 2000/60/CE**, denominata **Water Framework Directive (WFD)**, è stata adottata a livello europeo come un programma di interventi volti alla gestione e protezione sostenibile delle acque (L'ambiente nell'Unione Europea, 1995), individuando con precisione i contorni della nuova politica in materia di acque, integrando e riunendo gli strumenti comunitari ancora oggi in vigore; tra queste, le direttive 91/271/CEE e 91/676/CEE concernenti il trattamento delle acque reflue urbane e la protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole, ed impone che entro il 2012 gli Stati membri si impegnino ad istituire e realizzare controlli sulle emissioni e sui relativi impatti sulla base delle disposizioni contenute in tali direttive. Tale direttiva individua gli indirizzi prioritari (art. 4) e stabilisce che gli Stati membri dovranno cercare di raggiungere almeno l'obiettivo di un "buono" stato delle acque superficiali e sotterranee per un utilizzo idrico sostenibile, equilibrato ed equo, ponendo in primo piano la riduzione delle fonti inquinanti presenti nel bacino idrografico e definendo e attuando le misure necessarie nell'ambito di programmi integrati, nell'osservanza dei vigenti requisiti comunitari entro il 2015. L'istituzione di un quadro di riferimento per l'azione comunitaria prevede il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- 1) impedire un ulteriore deterioramento delle risorse idriche;
- 2) proteggere e migliorare lo stato degli ecosistemi acquatici e degli altri ecosistemi terrestri direttamente dipendenti da quelli acquatici sotto il profilo del fabbisogno idrico;
- 3) promuovere un utilizzo idrico sostenibile fondato sulla protezione a lungo termine delle risorse idriche disponibili;

- 4) mirare alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, attraverso specifiche misure per la riduzione progressiva, l'arresto e la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni, e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
- 5) mirare alla protezione rafforzata e al miglioramento dell'ambiente acquatico, attraverso specifiche misure per la riduzione progressiva, l'arresto e la graduale eliminazione degli scarichi, delle emissioni, e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
- 6) assicurare la graduale riduzione dell'inquinamento delle acque sotterranee, prevenirne e impedirne l'aumento;
- 7) mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità (Art.1).

Nel caso di mancato rispetto degli obiettivi prefissati dalle direttive comunitarie, lo Stato Italiano andrebbe incontro ad una sanzione e, successivamente, il tutto ricadrebbe sulla Regione, in quanto ente competente in materia di depurazione. La Regione stessa andrebbe a sua volta, a verificare il soggetto (ATO, Comuni, Società pubbliche e/o private) che sarebbe dovuto intervenire o che non è intervenuto per rivalersi sull'ente responsabile dell'inadempienza.

La normativa nazionale

A livello nazionale la principale disciplina sulle acque è contenuta nel **D.Lgs. n. 152/2006** (c.d. Codice dell'ambiente), con il quale si è provveduto ad una sistematica riorganizzazione di tutta la legislazione in materia ambientale. Il Decreto recepisce infatti al proprio interno, talvolta previa eventuale modifica/integrazione, le disposizioni della Legge n. 183/1989, che unì la difesa del suolo e il governo delle acque e la Legge n. 36/1994, (c.d. Legge Galli) cui si deve la prima regolamentazione tesa a garantire uno sfruttamento razionale del bene acqua introducendo la figura del servizio idrico integrato e del D.Lgs. 152/1999, che introdusse una prima disciplina unitaria delle acque (conseguentemente abrogati), e recepisce inoltre la WFD. Nonostante si sia scelto di mantenere separate, seppur all'interno del medesimo Titolo III, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche, l'intero sistema guarda non solo alla problematica dell'inquinamento in senso stretto, ma anche ad una corretta gestione delle risorse idriche, quale condizione indispensabile perchè queste siano disponibili in quantità opportune e con una qualità accettabile.

Gli obiettivi principali del decreto sono:

- ✓ Prevenzione e riduzione dell'inquinamento;
- ✓ Risanamento corpi idrici inquinati;
- ✓ Risparmio idrico;
- ✓ Uso sostenibile e durevole delle risorse idriche: “..la disciplina degli usi delle acque è finalizzata alla loro razionalizzazione, allo scopo di evitare sprechi di favorire il rinnovo delle risorse, di non pregiudicare il patrimonio idrico, la vivibilità dell'ambiente, l'agricoltura, la piscicoltura, la fauna e la flora acquatiche, i processi geomorfologici e gli equilibri idrologici” (art. 144) (Sardi et al., 2009).

Tali finalità sono da realizzarsi mediante la tutela integrata degli aspetti quantitativi e qualitativi, l'individuazione degli obiettivi minimi di qualità ambientale e per specifica destinazione dei corpi idrici, nonché misure per la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento nelle zone vulnerabili e nelle aree

sensibili. (Rossi, 2008). Peraltro la disciplina del settore idrico è tuttora in evoluzione. In particolare per la modifica delle norme tecniche del decreto è stato emanato il Dm Ambiente 8 Novembre n.260 e il D.Lgs 10 Dicembre n.219 che recepisce e attua la direttiva 2008/105/Ce.

Il Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare 8 novembre 2010 , n. 260 è un regolamento recante i criteri tecnici per la classificazione dello stato dei corpi idrici superficiali, il quale presenta l'allegato 1 che stabilisce i criteri per il monitoraggio e la classificazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei (sostituisce l'Allegato 1 della parte Terza del D.Lgs 152/2006 e modifica in particolare il punto 2, lettera A.4 dello stesso allegato) e l'Allegato 2 che avvia la procedura finalizzata a garantire la validazione dell'allegato 1 nonché a garantire la messa a punto di ulteriori metodiche non disponibili.

Il **D.Lgs 10 Dicembre n.219** definisce gli standard di qualità ambientale nel settore di tutela delle acque e comporta l'attuazione della direttiva 2008/105/Ce relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/Cee, 83/513/Cee, 84/156/Cee, 84/491/Cee, 86/280/Cee, nonché modifica della direttiva 2000/60/Ce e recepimento della direttiva 2009/90/Ce che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/Ce, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque. Le nuove indicazioni apportate da tale decreto regolarizzano il controllo che gli istituti nazionali preposti debbono esercitare sulla corretta composizione chimica delle acque e sono entrate in vigore il 4 gennaio 2011.

Competenze regionali

A livello regionale è stata affrontata una complessiva riorganizzazione della disciplina delle risorse idriche attraverso la **Legge Regionale n. 26/2003** sulla "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche". La Regione Lombardia riconosce l'acqua quale patrimonio dell'umanità da tutelare in quanto risorsa esauribile di alto valore ambientale, culturale ed economico. Riconosce altresì l'accesso all'acqua quale diritto umano, individuale e collettivo e ne regola l'uso al fine di salvaguardare i diritti e le aspettative delle generazioni future.

La legge regionale vuole garantire e perseguire le finalità di:

- ✓ tutela e valorizzazione del patrimonio idrico, nel rispetto degli equilibri naturali e degli ecosistemi esistenti;
- ✓ miglioramento della qualità delle acque attraverso la prevenzione e la riduzione dell'inquinamento;
- ✓ raggiungimento degli obiettivi di qualità, mediante un approccio combinato per la gestione delle fonti puntuali e diffuse di inquinamento e degli usi delle acque;
- ✓ perseguimento degli usi sostenibili e durevoli delle risorse idriche, con priorità per quelle potabili;
- ✓ rispetto dei criteri di efficienza, efficacia ed economicità per la gestione del servizio idrico.

In riferimento alla disciplina delle risorse idriche, la legge in questione si pone nell'ottica di un riordino delle leggi regionali in materia, in armonia con la normativa italiana ed europea, al fine di garantire, tra

gli obiettivi, “[...] il raggiungimento degli obiettivi di qualità, mediante un approccio combinato per la gestione delle fonti puntuali e diffuse di inquinamento e degli usi delle acque” (art. 41, lett. C), e “[...] la tutela e il miglioramento degli ecosistemi acquatici nelle loro caratteristiche chimiche, fisiche, biologiche e territoriali, mantenendo la capacità naturale di auto depurazione dei corpi idrici e la loro capacità di sostenere comunità animali e vegetali ampie e diversificate” (art. 41, lett. E). In attuazione della WFD, la Legge individua, ai sensi dell’art. 45, il Piano di gestione del bacino idrografico come lo strumento regionale per la pianificazione della tutela e dell’uso delle acque, con il quale, coerentemente con la pianificazione dell’Autorità di bacino, sono individuati le misure e gli interventi necessari ad assicurare la tutela qualitativa e quantitativa dei corpi idrici (co. 1). Esso è articolato per bacini e sottobacini e persegue obiettivi di qualità ambientale e per specifica destinazione dei corpi idrici, attraverso la valutazione e l’intervento congiunto sugli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica (co. 2). Il piano di gestione, che viene sottoposto a revisione ogni sei anni (co. 3), è formato dall’Atto di indirizzi per la politica delle acque, approvato dal Consiglio Regionale su proposta della Giunta Regionale, e dal Programma di Tutela ed Uso delle Acque (PTUA), approvato dalla Giunta Regionale, con il quale sono determinate le azioni per il raggiungimento degli obiettivi contenuti nell’Atto di indirizzi. Rispetto ai piani di bacino di cui alla Legge 183/1989, i PTUA sono concepiti come piani di stralcio. In parallelo all’istruttoria per la redazione del PTUA, con delibera regionale del settembre 2003, è stato redatto il Piano regionale di risanamento delle acque. All’interno del secondo allegato tecnico del piano, è lasciato ampio spazio alla disciplina degli scaricatori di piena, riprendendo quanto già trattato nella L.R. 62/1985 in materia (Sardi, et al., 2009). Con la deliberazione n. 8/2244, il 29 marzo 2006 è stato ufficialmente approvato il Programma di Uso e Tutela del Suolo (PTUA, 2006), ai sensi dell’art. 44 del D.Lgs. 152/99 e dell’articolo 55 della L.R. 26/2003. Il PTUA è dunque lo strumento di riferimento che individua, con un approccio organico, lo stato di qualità delle acque superficiali e sotterranee, gli obiettivi di qualità ambientale (previsti dal D.Lgs. 152/99 e a scala di bacino, dall’Autorità di Bacino del Fiume Po), gli obiettivi per specifica destinazione delle risorse idriche e le misure integrate dal punto di vista quantitativo e qualitativo per la loro attuazione.

Per quanto riguarda il Lago di Pusiano esso è riconosciuto dal PTUA, insieme al relativo bacino drenante, come una tra le aree sensibili del territorio lombardo. Sono stati individuati i seguenti obiettivi di qualità, a fronte di una concentrazione di P naturale di 20 µg/L e di P attuale al momento della redazione del PTUA di 73 µg/L:

- obiettivo di qualità prevista dal D.Lgs. 152/99:
 - [P] intermedio al 2008: 50 µg/L; [P] finale al 2016: 25 µg/L;
- obiettivo di qualità imposti dall’Autorità di Bacino del Po non previsti per Pusiano;
- obiettivo di qualità previsto dal PTUA Regione Lombardia:
 - [P] (obiettivo ecologico): 25 µg/L;
 - **[P] (obiettivo gestionale): 30 µg/L;**
 - Orizzonte temporale dell’obbligo gestionale: 2016.

Tuttavia, va ribadito che a livello regionale il PTUA ha solo valore di indirizzo, indicando le linee guida da seguire, ma non valore normativo. Il PTUA è però accompagnato dalle Norme Tecniche di

Attuazione (le quali prevedono, a loro volta, l'adozione di una serie di regolamenti, tra i quali, ad es., figura il Regolamento per gli scarichi di acque reflue e di prima pioggia). Sulla base dell'art. 44 della L.R. n. 26/2003 che attribuisce alla Regione la funzione di coordinamento delle politiche nei singoli ambiti territoriali ottimali, si è reso necessario fornire indicazioni alle Autorità d'Ambito in merito alle prescrizioni vigenti e alle previsioni del PTUA. Nel dicembre 2006 tale necessità è stata soddisfatta grazie alla Deliberazione della giunta regionale n.8/3789, relativa a "*Indicazioni alle Autorità d'ambito per la definizione degli interventi prioritari del ciclo dell'acqua (L.r. n.26/2003)*" all'interno del PTUA, adottato con Deliberazione n. 1083 del 16 novembre 2005. Al punto 7 dell'art. 3 (*Elementi da considerare nei piani d'ambito*), sono richiamati i principali fattori di riferimento per l'articolazione degli interventi previsti dai piani d'ambito, in conformità alle prescrizioni normative, ai regolamenti vigenti e alle previsioni del PTUA. In materia di reti fognarie e impianti di trattamento delle acque reflue urbane, "*i piani d'ambito devono inoltre indicare gli interventi che riguardano la realizzazione e l'adeguamento delle reti fognarie e dei manufatti connessi con lo sfioro delle acque meteoriche, in coerenza con le previsioni di riferimento e tenuto conto degli aspetti dimensionali e territoriali [...]*" contenuti nel punto successivo. Il punto 8 infatti (*Ulteriori aspetti da considerare nei piani d'ambito*), precisa di tener conto di alcuni aspetti nell'articolazione degli interventi, tra i quali "Laghi e relativi bacini drenanti": "*Gli interventi di adeguamento degli scarichi di acque reflue urbane recapitati nei laghi e nei relativi bacini drenanti devono essere particolarmente considerati ai fini dell'articolazione del quadro delle priorità, considerata la delicatezza e l'importanza, anche sotto il profilo socio-economico, degli ambiente lacustri*". Modifiche e integrazioni alla legge regionale 12 dicembre 2003, n.26 sono state recentemente introdotte dalla legge regionale n.21 del 27 dicembre 2010 e legge regionale n.1 del 29 gennaio 2009, riguardo disposizioni generali del servizio idrico integrato. Il giorno 26 febbraio 2010 è stata pubblicata sul BURL (2° Suppl. ord., n.. 8) la **legge regionale 22 febbraio 2010, n. 12**, riguardante le norme per il governo delle acque, la difesa del suolo e la prevenzione dei rischi geologici, idrogeologici e sismici, che introduce modifiche alla l.r. 11 marzo 2005, n. 12, ed alla l.r. 5 gennaio 2000, n.1. La nuova legge riconosce come attività regionali strategiche la tutela, la salvaguardia e la valorizzazione delle risorse naturali ed il riassetto idraulico ed idrogeologico del territorio, promuovendo le attività di regolazione dell'uso equilibrato del territorio, la prevenzione del degrado delle acque e dei dissesti idrogeologici, le misure e gli interventi necessari al riequilibrio idraulico ed idrogeologico del territorio, la manutenzione degli alvei fluviali e la riqualificazione dei corsi d'acqua. Per il raggiungimento di tali obiettivi di governo del territorio, la Regione dovrà definire un quadro delle conoscenze delle caratteristiche del territorio legate ai rischi idrogeologici, gli indirizzi per il riassetto del territorio e la valorizzazione dei corsi d'acqua, linee guida e standard metodologici per l'aggiornamento delle conoscenze ed indirizzi per un'azione coordinata degli enti del sistema regionale. Tali progetti potranno costituire proposta regionale per la definizione di maggior dettaglio della pianificazione di distretto ai sensi e secondo il percorso definito dal D.Lgs. 152/06. (Regione Lombardia, 2010).

1.4 L'APPROCCIO INTEGRATO LAGO/BACINO

In accordo con quanto previsto dalla WFD, l'approccio seguito nell'ambito del piano di risanamento del Lago di Pusiano considera il territorio come un ecotessuto costituito da tessere ecologicamente diverse, ma correlate tra di loro in un'organizzazione di tipo gerarchico. Il lago costituisce una delle tessere inserita in un sistema di livello organizzativo più elevato, il cui bacino imbrifero, il quale raccoglie le acque meteoriche, governa il ciclo biogeochimico degli elementi e risulta essere l'oggetto di studio idoneo per la modellizzazione dell'apporto di nutrienti ed inquinanti ai corpi idrici superficiali. Il bacino e il suo lago, nel Progetto PIRoGA, vengono considerati come un unico ecosistema da studiare congiuntamente (Salerno, 2005). Un aspetto innovativo che caratterizza la WFD è infatti il concetto di integrazione a tutti i livelli e tra tutte le discipline di studio, dalle scientifiche alle politico-economiche. Gli obiettivi ambientali che vengono perseguiti riguardano ogni singolo aspetto dell'intero ecosistema, dalla qualità chimica a quella biologica e vengono tutti considerati estremamente importanti per la definizione dello stato ecologico, non trascurando di estendere l'indagine dal singolo corpo idrico a gruppi di corpi idrici simili. Inoltre è fondamentale ampliare le misure di tutela a livello dei singoli bacini idrografici, per i quali è richiesta la redazione dei piani di gestione (Art. 13), che contengano la sintesi di una serie di specifici elementi, tra cui l'esame delle caratteristiche del territorio, dei fattori di pressione e del loro impatto sullo stato delle acque (All. VII).

Il bacino viene scelto come area di riferimento per una gestione efficace e sostenibile, ossia come area in cui si svolgono le interazioni. Varie sono le dipendenze e le interazioni che si verificano tra la situazione a monte e a valle, tra le acque superficiali e quelle sotterranee e tra l'utilizzazione delle risorse idriche del territorio e il bilancio idrico. È nell'ambito del bacino che si possono gestire nel migliore dei modi le interazioni reciproche, considerare gli effetti cumulativi e armonizzare le strategie, gli obiettivi e le misure. La gestione a scala di bacino serve ad armonizzare le diverse esigenze e gli interessi relativi alle acque e alle risorse idriche e coinvolge settori rilevanti quali la pianificazione del territorio, l'agricoltura, la selvicoltura, la protezione della natura e del paesaggio, come pure altri settori di incidenza territoriale. Le dipendenze dovute ad aspetti tecnici/organizzativi oppure i contrasti tra esigenze di protezione e di sfruttamento, entrambi già esistenti o prevedibili in un prossimo futuro, vanno affrontati secondo un approccio integrato. Gli interessi sono valutati dal punto di vista tematico, spaziale e temporale. Tale gestione viene sviluppata e attuata attraverso procedure trasparenti, con il coinvolgimento di tutti i principali interessati che favorisce la comprensione comune del sistema idrico e l'accettazione delle misure. La partecipazione contribuisce, infine, al processo decisionale a livello politico. Un monitoraggio concertato è indispensabile per la pianificazione e il controllo dei risultati. La gestione integrata delle acque a scala di bacino, determina un elevato grado di efficienza sia in termini di costi che di professionalità ed è flessibile sul piano temporale e spaziale. Il relativo processo prevede inoltre un esame periodico degli obiettivi e delle misure, come pure un loro adeguamento in caso di modifiche delle condizioni quadro. In tutt'Europa, è già in corso il cambio di prospettiva che prevede il passaggio da interventi puramente settoriali eseguiti a livello locale a una valutazione complessiva dell'intero sistema idrico. Il coinvolgimento nella pianificazione delle parti interessate, la comprensione comune del sistema e la ponderazione trasparente degli interessi permettono di

individuare soluzioni migliori, basate su un più vasto consenso e attuabili a lungo termine (Agenda 21 per l'Acqua, 2011).

1.5 II PROCESSO PARTECIPATIVO NEL PIRoGA

L'elaborazione di politiche ambientali è un processo complesso, che deve tener conto allo stesso tempo di requisiti legislativi e di questioni legate alla fattibilità tecnica, al sapere scientifico e agli aspetti socio-economici. Tutto questo richiede intense consultazioni da parti di tutti coloro che sono coinvolti nel processo, i cosiddetti "stakeholder". Tuttavia, quando vi è la presenza di un elevato numero di decisori ed attori interessati al processo decisionale, le decisioni "unilaterali" creano una falsa efficacia, in quanto la fase di implementazione potrebbe essere ostacolata dall'emergere di forti opposizioni da parte di attori non coinvolti nel processo decisionale, rendendo le strategie individuate del tutto inefficaci (Kersten e Concilio, 2002). Le decisioni devono essere negoziate nell'ambito di un processo decisionale partecipativo (Castelletti e Soncini Sessa, 2006).

Per poter elaborare, implementare e riesaminare le politiche in modo efficace, sulla base di un'intesa comune, occorrono una programmazione di tipo collaborativo e un'interazione fra i numerosi soggetti coinvolti, secondo una strategia che si basa non solo sulla condivisione di informazioni e di *good practice* relative alla gestione delle risorse idriche fra gli attuatori e gli esperti di politiche, in attuazione della WDF, ma anche sull'informazione, la consultazione e la partecipazione del pubblico. Questo approccio ha per obiettivo quello di raccogliere e condividere conoscenze, nonché di esaminare questioni di interesse comune da prospettive differenti (Commissione Europea, 2000). In altre parole, il processo di implementazione della direttiva promuove il coinvolgimento attivo di vari soggetti e ne garantisce la possibilità di interazione con i *decision-maker* in varie fasi del processo di programmazione della gestione dei bacini idrografici.

La qualità dei processi decisionali è, dunque, potenzialmente maggiore rispetto agli approcci tradizionali, in quanto l'interazione che avviene durante i processi decisionali partecipativi facilita lo scambio di informazioni e conoscenze tra i partecipanti, conducendo ad una miglior comprensione del problema attraverso processi di *social learning*. Giusti (2001) individua alcune caratteristiche generali che assumono i metodi e le tecniche utilizzati nei processi partecipativi, che sono contemporaneamente strumenti di conoscenza e di progettazione

Il progetto PIRoGA, facendo riferimento alla disciplina comunitaria e nazionale riportata, **si caratterizza per un ampio ed anticipato coinvolgimento degli attori locali, sia socio-economici che istituzionali, che hanno competenze amministrative, interessi e diritti/doveri rispetto all'ecosistema del Lago di Pusiano**. Il raggiungimento di questo obiettivo è stato perseguito attivando una interazione strutturata degli attori locali tra di loro e con i realizzatori scientifici del progetto, con le seguenti finalità:

- a) creare, nel corso del progetto, un sistema di condivisione della conoscenza e di focalizzazione di criticità e problemi;
- b) identificare elementi rilevanti per il „Programma di azione“ per un Piano di Risanamento;

- c) preparare di attori stessi rispetto ai possibili contenuti, ai processi attuativi, alle conseguenze di un futuro „Piano di azione“.

Nel contesto del Progetto PIRoGA, sono state applicate tecniche specifiche al fine di scegliere l'approccio migliore per l'applicazione di scelte gestionali mirate e il coinvolgimento attivo degli attori locali. In particolare sono state utilizzate tecniche di discussione sia strutturata (basate generalmente sulla modalità workshop: *microplanning*, *action planning*, ecc.) sia semi-strutturata (tra cui assemblee pubbliche, tavoli partecipativi e forum locali).

Nell'ambito del PIRoGA il concetto di partecipazione è stato largamente applicato. Sin dalla fase preliminare del progetto, infatti, sono stati organizzati *workshop* per permettere una completa condivisione dei processi decisionali. Di fondamentale importanza per lo sviluppo del progetto, affiancato da una forte partecipazione locale, è stata l'identificazione degli attori principali, che comprendono da un lato i gestori istituzionali locali o *stakeholder* e gli utenti finali (*end user*) e dall'altro i soggetti partner coinvolti nel progetto (Tabella 1.8).

Attraverso la promozione di un processo partecipativo implementato dal Parco Regionale della Valle del Lambro (PRVL) in collaborazione con l'CNIR-IRSA e altri 13 partner tra Università ed Enti di ricerca, nel Progetto PIRoGA sono stati coinvolti in modo diretto, attraverso numerosi incontri realizzati dal 2009 ad oggi, le Amministrazioni e gli Enti gestori locali, tra cui i Comuni appartenenti al bacino idrografico del Lago di Pusiano, la Conferenza permanente dei Sindaci della fascia Rivasca, le Province di Como e di Lecco e le rispettive A.T.O. (Ambiti Territoriali Ottimali), la Regione Lombardia e ARPA Lombardia, A.S.I.L. S.p.A., oltre ai Consorzi del Torrente Lambrone e della Roggia Molinara. Sulla base delle criticità locali individuate grazie al coinvolgimento dei diversi attori sociali e delle conoscenze disponibili, sono state identificate le informazioni mancanti necessarie al completamento di un quadro conoscitivo relativamente al carico inquinante che grava sul lago.

L'applicazione di un approccio partecipato, avviato ufficialmente nel PIRoGA a partire da settembre, ha previsto l'organizzazione di numerosi incontri e riunioni, riassunti nella tavola seguente e illustrati più dettagliatamente negli Allegati 1a e 1b.

Tabella 1.8. Incontri e riunioni condotte durante il Progetto PIRoGA dal 2009 ad oggi.

DATA INCONTRO	DENOMINAZIONE INCONTRO	VENUE	PARTNER	ORDINE DEL GIORNO
08/10/2009	Incontro Conferenza Permanente dei Sindaci del Lago di Pusiano	Sala Consiglio Comunale di Merone (CO)	Sindaci dei Comuni del bacino del Lago di Pusiano, portatori d'interesse, CNR-IRSA, PRVL, CERIS.	Individuazione preliminare degli stakeholder e inizio del processo di sensibilizzazione degli Enti locali
16/10/2009	Incontro con Ing. Longhi, A.S.I.L.	A.S.I.L., Merone	A.S.I.L.-Merone, CNR-IRSA, CNR-CERIS	Caratterizzazione preliminare della rete di collettamento, individuazione delle diverse competenze e degli attori coinvolti
10/12/2009	Incontro con Ing. Longhi, A.S.I.L.	A.S.I.L., Merone	A.S.I.L., CNR-IRSA, CNR-ISE, ARPA LECCO	Identificazione delle problematiche gestionali della rete di collettamento
14/12/2009	Conferenza dell'A.ATO di Lecco	Sala Ticozzi, Lecco	A.ATO di Lecco, Provincia di Lecco, Sindaci dei Comuni, portatori d'interesse, pubblico.	Piano d'ambito, sentenza Corte Costituzionale n.307, 2009
15/12/2009	Riunione progetto PIRoGA	CNR-IRSA	CNR-IRSA, PRVL, CERIS, Università di Pavia.	Discutere e definire la programmazione del secondo anno di attività (2010) del Progetto PIRoGA.
29/01/2010	Riunione progetto PIRoGA	Parco Regionale della Valle del Lambro, Triuggio	PRVL, CNR-IRSA, CNR-CERIS, Università di Pavia, A.S.I.L.-Merone	Presentazione delle attività svolte durante il primo semestre di attività del progetto PIRoGA e programmazione e presentazione delle attività da svolgere nel secondo semestre e durante il secondo anno
30/03/2010	Incontro con A.ATO della Provincia di Como	Provincia di Como	ATO e Provincia di Lecco, CNR-IRSA	Richiesta dei dati riguardanti la rete fognaria, consultazione autorizzazioni allo scarico dei Comuni della Provincia di Como.
22/07/2010	Riunione progetto PIRoGA	CNR-IRSA	CNR-IRSA, PRVL, CERIS, Università di Pavia, CNR-ISE, Arpa Lecco	Presentazione del lavoro svolto e dei risultati ottenuti da diversi Partner nei primi due anni del Progetto PIRoGA.
23/07/2010	Riunione progetto PIRoGA	Provincia di Lecco	Provincia di Lecco, ARPA di Lecco, Idrolario S.P.A., Sindaci di Rogeno, Bosisio Parini e Cesana Brianza.	Coinvolgimento e sensibilizzazione dei Comuni della Provincia di Lecco.
24/03/2011	Incontro con la	Scuola primaria	Conferenza dei Sindaci del Lago di Pusiano,	Presentazione alla cittadinanza dello stato di avanzamento

DATA INCONTRO	DENOMINAZIONE INCONTRO	VENUE	PARTNER	ORDINE DEL GIORNO
	cittadinanza	di Rogeno	PRVL, CNR-IRSA, Comune di Rogeno, CNR-ISE, UNIRoma, ARPA Lecco, ASL Lecco	del progetto PIROGA e delle future azioni per la salvaguardia e il risanamento del Lago
28/01/2012	Incontro con Regione e ARPA Lombardia	CNR-IRSA (Sala Convegni ALSI S.p.A.)	Regione Lombardia, ARPA Lombardia, ERSAF, CNR-IRSA, PRVL	Presentazione alla Regione Lombardia dello stato di avanzamento e i risultati del Progetto PIROGA come esempio di studio integrato lago/bacino per il recupero della qualità ecologica delle acque lacustri
05/05/2012	Evento conclusivo Progetto PIROGA	Comune di Eupilio (CO), (Sala Consiliare)	PRVL, Comune di Eupilio, Regione Lombardia, CNR-IRSA, CNR-ISE, UNIRoma, UNIPavia, ARPA Lecco, Conferenza dei Sindaci del Lago di Pusiano, Consorzio Lario e laghi Minori, Consorzio Torrente Lambrone e Roggia Molinara	Presentazione conclusiva alla cittadinanza dei risultati del Progetto PIROGA e delle azioni gestionali individuate per la salvaguardia e il risanamento del Lago di Pusiano, tra cui la prima applicazione concreta da realizzarsi nel territorio di Eupilio (vasca di fitodepurazione sulla Roggia Molinara)

