



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO FACOLTÀ DI SCIENZE AGRARIE E ALIMENTARI

Corso di laurea in
Valorizzazione e tutela dell'ambiente e del territorio montano

Variazione del contenuto di cloruri nei principali immissari del
Lago d'Iseo

Relatore: Prof. Giuseppe Carlo Lozzia

Correlatore: Dott.ssa Barbara Leoni

Dott.ssa Martina Patelli

Elaborato finale di
Giorgio Edoardo Verziera
Matricola 833459

Anno accademico 2016/2017

Sommario

1. INTRODUZIONE	3
1.1 SCOPO DELLA RICERCA	5
1.2 IONE CLORO E SUOI COMPOSTI, EFFETTI SULL'AMBIENTE	5
1.3 FONTI DI CLORO	8
1.4 LAGO ISEO	9
1.5 GEOMORFOLOGIA DELLA VAL CAMONICA	11
1.6 IDROGRAFIA VAL CAMONICA	12
1.7 CLIMA	13
2. MATERIALI E METODI	16
3. RISULTATI	19
4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI	25
BIBLIOGRAFIA	28

1.INTRODUZIONE

È sempre più crescente la preoccupazione riguardo i possibili effetti di un aumento della concentrazione di cloro nelle acque superficiali interne. Questo aumento è stato osservato negli ultimi decenni sia nel Lago d'Iseo sia negli altri grandi laghi subalpini (Rogora et al., 2015).

Il cloro, essendo uno ione conservativo, non precipita, tende ad accumularsi nella colonna d'acqua e a raggiungere concentrazioni potenzialmente dannose per l'ecosistema lacustre. Con elevate quantità di sali vengono influenzate sia la circolazione delle acque del lago sia la concentrazione osmotica, fondamentale per la gestione dei liquidi corporei dei viventi (Evans e Frick, 2001).

Una delle fonti di cloro negli ambienti acquatici è riconducibile al salgemma (NaCl), utilizzato come antigelo stradale (Rogora et al., 2015). Altre fonti sono da attribuire al deposito atmosferico, alle acque reflue civili e provenienti dalle attività industriali. Molti impianti di trattamento delle acque reflue, inoltre, attuano la clorazione per abbattere la carica batterica.

1.1 SCOPO DELLA RICERCA

Scopo di questa ricerca è stato quello di valutare le variazioni delle concentrazioni di cloro dei principali immissari del Lago d'Iseo.

È stato compiuto uno studio annuale sui fiumi che scorrono in Val Camonica, Val di Scalve e Val Borlezza.

Il fiume Oglio raccoglie la maggior parte delle acque che confluiscono nel lago. Lungo il suo corso sono state scelte, in funzione della morfologia del reticolo idrografico, 4 stazioni in cui effettuare i campionamenti: Edolo, Ceto (località Badetto), Darfo Boario Terme e Costa Volpino. Nel torrente Dezzo, che si immette nell'Oglio a Darfo Boario Terme confluiscono le acque raccolte dal bacino della Val di Scalve. A Pisogne (Bs), nella sponda opposta del Lago d'Iseo, si immette il canale Italsider, derivato dal fiume Oglio ad Esine. Il torrente Borlezza, proveniente dall'omonima valle, è stato anch'esso oggetto di disamina. È stato campionato periodicamente in prossimità della sua immissione nel lago presso Castro (Bg) sulla sponda ovest (Figura 1).

Ogni 15 giorni sono stati effettuati i campionamenti, valutate le concentrazioni degli ioni cloro, sodio e potassio. I risultati, relativi a 164 campionamenti, sono stati discussi al fine di individuare le potenziali fonti di cloro che raggiungono il Lago d'Iseo.

1.2 IONE CLORO E SUOI COMPOSTI, EFFETTI SULL'AMBIENTE

I sali contenenti cloro sono altamente solubili in acqua, in funzione di questa loro peculiarità si dissociano facilmente e tendono a rimanere nella loro forma ionica (Mosello et al., 2010).

Gli ioni cloruro in acqua sono altamente mobili e la loro concentrazione non viene influenzata da reazioni chimiche. Infatti il cloro non si degrada, non precipita rapidamente, non volatilizza e non si bioaccumula. Lo ione cloruro non viene assorbito in tempi rapidi dalla superficie dei minerali e quindi le concentrazioni rimangono alte nelle

acque superficiali e nell'acqua interstiziale (adsorbita) dei sedimenti. Nei sedimenti stessi le concentrazioni sono in conseguenza basse (Evans e Frick 2001; Mayer et al., 1999; WHO 2003).

Lo studio ha preso in esame il cloro per le conseguenze che provoca negli ambienti in cui si accumula, influenzando sia sulle caratteristiche del lago sia nei confronti degli organismi acquatici. L'elemento più comune che si riscontra in associazione al cloro è il sodio. Questi si lega al cloro mediante un legame ionico per formare la molecola di cloruro di sodio, il salgemma.

I sali di cloro si possono trovare naturalmente nell'ambiente e nelle rocce sebbene con quantità molto limitate.

Questi vengono inoltre utilizzati dall'uomo per diversi scopi. I più comuni sono:

- NaCl, il cloruro di sodio, viene utilizzato come antigelo sulle strade; reagisce con umidità relative del 85%;
- KCl, il cloruro di potassio;
- MgCl₂, il dicloruro di magnesio utilizzato talvolta anch'esso come antigelo per strade e passerelle, tende a reagire con umidità relative del 35%; a differenza degli altri cloruri determina la lenta ma progressiva disintegrazione del conglomerato cementizio dei manti stradali;
- CaCl₂, il dicloruro di calcio reagisce con umidità relative del 50%;
- AlCl₃, il dicloruro di alluminio viene utilizzato durante il trattamento delle acque reflue, facilita la rimozione di particelle sospese e batteri dall'acqua;
- FeCl₃, il triclorigli di ferro è utilizzato negli impianti di depurazione dei reflui per incrementare la rimozione del fosforo.

I sali hanno la proprietà di abbassare il punto crioscopico dell'acqua. Il salgemma viene abbondantemente utilizzato dato il suo basso prezzo sul mercato.

Gli effetti nocivi dello spargimento del sale sugli ecosistemi sono visibili soprattutto nelle nazioni del nord dell'emisfero boreale. In stati quali il

Canada, vista l'elevata superficie stradale da trattare, i quantitativi di sale sparsi sono ingenti. Dal 2004 vi sono leggi che regolano questa pratica con lo scopo di aiutare le compagnie competenti a creare il minor danno sull'ambiente e al contempo mantenere la sicurezza sulle strade.

Diversi studi (Kilgour et al., 2009; Meriano et al., 2009) hanno dimostrato che non esiste un'immediata corrispondenza tra le concentrazioni di cloro delle acque che arrivano alla rete idrica e la quantità di sale sparso sul manto stradale. Anche quando il sale sparso sul manto stradale diminuisce, le concentrazioni di cloro nelle acque che arrivano alla rete idrica non evidenziano una diminuzione. Ciò è da attribuire al apporto di cloro che non deriva direttamente da quello disciolto dalle piogge o dalla neve ma è sostenuto dal deflusso sotto superficiale, sostenuto dalle acque sotterranee (Pilotti et al., 2013).

L'aumento di cloruri nelle acque lacustri ha numerosi effetti sia sulle dinamiche idrologiche dei corpi idrici sia sul biota (Leoni et al., 2014).

L'aumento di sali nelle acque lacustri ne determina un aumento di densità e quindi la necessità di una maggiore energia per il completo rimescolamento. La temperatura è un importante fattore che influenza la densità dell'acqua (Pareeth et al., 2017). Le acque dolci raggiungono la massima densità a 4°C (Spaggiari e Trippa, 2007). Sopra questa temperatura la densità diminuisce ma non linearmente. Il riscaldamento delle acque durante l'estate comporterà una stratificazione termica data dalla difficoltà di rimescolamento verticale (Garibaldi et al., 2003).

La completa circolazione delle acque è il fenomeno che permette la riossigenazione degli strati profondi dei laghi che durante le stratificazioni sono segregati rispetto agli strati superficiali (Salmaso et al., 2014).

Il fenomeno di stratificazione permanente delle acque prende il nome di meromissi. Una conseguenza di questa condizione è l'impoverimento di ossigeno delle acque dello strato inferiore (Rogora et al., 2017). Una stratificazione persistente può portare al consumo completo di ossigeno

nelle acque ipolimniche con conseguente spostamento delle reazioni di ossido riduzione (Rogora et al., 2017).

Il cloro può dare origine a fenomeni di tossicità nei confronti degli organismi acquatici il che comporta loro un disequilibrio osmotico. Nella maggior parte degli organismi viventi i liquidi interni sono ipertonici rispetto l'ambiente esterno, aumentando la concentrazione esterna la loro osmoregolazione è compromessa. Ciò può causare danni a livello endocrino, influire sul consumo di ossigeno e complessivamente portare a cambiamenti nei processi fisiologici dell'organismo (Holland et al., 2010).

Il cloro può influenzare la qualità dell'acqua del lago anche aumentando il trasporto e la biodisponibilità dei metalli pesanti, dannosi per le specie acquatiche (Backstrom et al., 2004).

L'acqua dei fiumi contiene intrinsecamente un quantitativo di sali che varia in funzione sia del tragitto compiuto e sia delle rocce presenti nel bacino idrografico.

Lo ione cloruro è l'atomo di cloro caricato negativamente (Cl^-), si forma quando l'atomo acquista un elettrone. Il cloro è un elemento facente parte degli alogeni, nell'ambiente non si trova in forma libera ma sotto forma di sale (Nagpal et al., 2003).

1.3 FONTI DI CLORO

Nel Lago d'Iseo negli ultimi 20 anni si è osservato un aumento delle concentrazioni di cloro. Nel 1992 la concentrazione media era $70 \mu\text{eq/L}$, nel 2012 ha raggiunto $87 \mu\text{eq/L}$, registrando un aumento del 24% (Rogora et al., 2015). Ad oggi il valore non risulta pericoloso per gli ambienti acquatici ma in futuro se l'aumento del trend rimarrà costante potrebbe diventarlo (Marti et al., 2016; Valerio et al., 2015).

Le possibili fonti di cloro del Lago d'Iseo, oltre le naturali, potrebbero esser legate all'utilizzo del salgemma come antigelo sul manto stradale durante l'inverno. Sono da considerare anche gli apporti dovuti all'uso

civile e industriale di questa sostanza. Il dilavamento del sale fa sì che esso confluisca nella rete idrica e venga convogliato fino al Lago d'Iseo. Gli apporti di cloruri sono in funzione anche della popolazione non residente in valle. Il turismo, infatti, provoca un incremento temporaneo di persone che soggiornano in numerose località all'interno del bacino. Soprattutto in alta valle i comprensori di Aprica e del Tonale attraggono migliaia di turisti amanti degli sport invernali.

Gli scarichi delle acque nere della città aumentano sensibilmente e di conseguenza anche i valori di cloro dovuti alle attività domestiche che ne includono l'utilizzo. Infatti detersivi, detergenti, prodotti per la disinfezione in genere contengono il cloro come principio attivo.

I processi di depurazione convenzionali che avvengono negli impianti di trattamento delle acque reflue non rimuovono i cloruri in maniera apprezzabile. Inoltre molti di questi impianti attuano trattamenti chimici quali la clorazione per abbattere la potenziale carica batterica presente. Altra fonte di cloro è quella derivante dal deposito atmosferico. Studi effettuati sul lago Maggiore hanno evidenziato un apporto di carichi degli ioni sodio e cloro provenienti dalle precipitazioni di $10 \mu\text{eq/L}$, il 13% dei carichi totali (Rogora et al., 2015). Per quanto concerne il Lago d'Iseo non vi sono studi relativi i carichi da precipitazioni quindi si può attribuire un peso ma senza fare stime sulle quantità.

Il sodio è anch'esso oggetto di studio, dato che costituisce, insieme al cloro, la molecola di salgemma utilizzata come antigelo stradale. Le analisi hanno preso in considerazione questo catione perché studiando in simultanea gli andamenti di questi elementi è possibile ricostruirne la provenienza. In funzione delle quantità di concentrazione di sodio rilevate è possibile dedurre con buona approssimazione se il cloro presente deriva dal sale antigelo o da fonti differenti.

1.4 LAGO ISEO

Il Lago d'Iseo è situato tra le province di Bergamo, a ovest, e Brescia a est. È il quarto tra i laghi prealpini per superficie dello specchio lacuale

con circa 61 km², una lunghezza di 25 km ed una larghezza media intorno ai 2,4 km. La profondità massima è circa 258 m e il volume medio stimato è 7,5 km³ (Garibaldi et al., 2003; Leoni et al., 2016).

Il lago occupa l'area scavata in Val Camonica dal ghiacciaio camuno e successivamente formatosi grazie allo sbarramento dell'Oglio in seguito all'accumulo di detriti morenici (Bobbi e Bianchi, 2002).

Il tempo di ricambio delle acque del lago è stimato in 4,1 anni (Rogora et al., 2015; Minella et al., 2016).

Nei laghi profondi come il lago d'Iseo l'omogeneità chimica è resa possibile da una completa circolazione delle acque. Ciò avviene solo in concomitanza di omogeneità termica raggiunta dopo inverni particolarmente freddi e grazie al concorso dell'energia meccanica del vento (Mosello e Calderoni, 1997). Per far sì che i processi di rimescolamento e omogeneizzazione della colonna d'acqua avvengano è fondamentale l'entità del raffreddamento.

Come si osserva dalla figura 2, negli ultimi 25 anni, il lago ha avuto un completo rimescolamento solo nel 2005 e nel 2006 (Leoni et al., 2016).

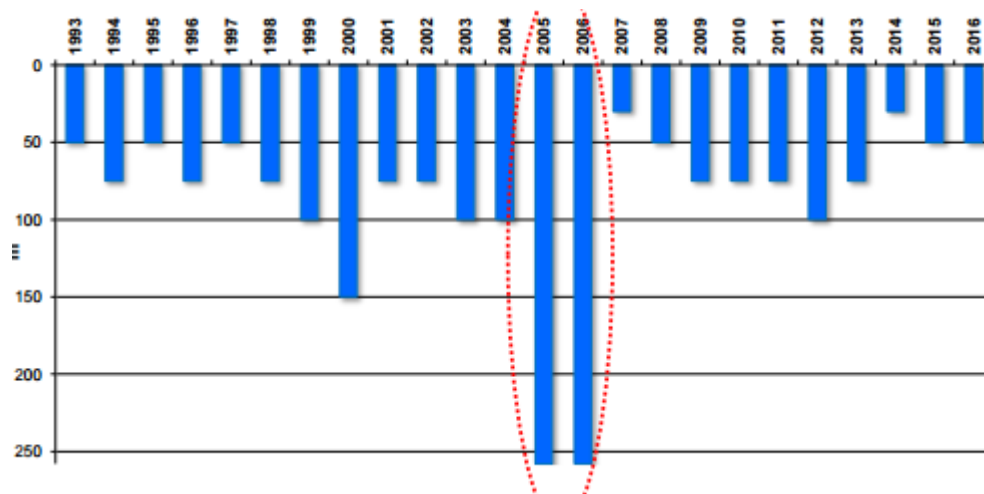


Figura 2 - Profondità di circolazione delle acque nel lago d'Iseo dal 1993 al 2016, in rosso sono evidenziati gli anni di completa circolazione (da Leoni et al., 2016)

1.5 GEOMORFOLOGIA DELLA VAL CAMONICA

Da un punto di vista morfologico la Val Camonica presenta caratteristiche simili a quelli delle maggiori vallate alpine e prealpine. La presenza del grande ghiacciaio camuno nel periodo quaternario ha contribuito al modellamento della valle, lasciando evidenti segni del suo passaggio. Il profilo ad U della sezione valliva, le pareti rocciose subverticali e la presenza di depositi glaciali nelle porzioni superiori dei solchi vallivi secondari, ne sono un tipico esempio. Alcune delle valli laterali, allo sbocco sul fondovalle principale, presentano un marcato gradino morfologico testimoniante l'altezza originaria di raccordo con il fondovalle. Nella zona centrale la morfologia appare caratterizzata da numerosi costoni che si allungano longitudinalmente alla valle, mentre alcune cime svettano isolate: fra queste la più appariscente è senza dubbio il massiccio dolomitico della Concarena (2549 m) (AA.VV. CNR-IRPI, 2001).

La valle è caratterizzata da versanti con notevoli pendenze. Il risultato di questa orografia articolata è un complesso sistema di valli nelle quali scorrono importanti tributari che hanno generato sul fondovalle dell'Oglio imponenti apparati di conoide. Il fondovalle e altre parti della valle sono caratterizzati da tratti ampi e pianeggianti: tra i più evidenti la "Prada di Malonno", di origine lacustre, creata probabilmente in seguito allo sbarramento del fondovalle del fiume Oglio da parte di una frana o di una grande colata detritica torrentizia in epoca postglaciale. A zone ampie si alternano altre strette e rocciose come quelle di Cedegolo e di Cividate Camuno, forre create per sopravvenuti fenomeni di ringiovanimento postglaciale. Nel tratto terminale, a cominciare dalla Piana di Prada nel comune di Cividate Camuno, sino al Lago d'Iseo, la valle appare ampia e piatta. In essa spiccano i due promontori rocciosi del Castelletto e del Monticolo che dominano Darfo Boario Terme (Bassi et al., 2001).

1.6 IDROGRAFIA VAL CAMONICA

La Val Camonica è ubicata nella parte nord orientale della Lombardia, inserita a cavallo fra la zona prealpina e quella alpina. Il territorio vallivo, di forma leggermente allungata, si estende lungo la direttrice NE-SO, dal Passo del Gavia e del Tonale al Lago d'Iseo. La Valle è incuneata fra i massicci alpini Adamello-Presanella ed Ortles-Cevedale, entrambi con altitudini superiori ai 3500 metri sul livello del mare (Nardi e Castagnolo, 2009).

Sono inclusi all'interno del territorio camuno il Parco Naturale dell'Adamello, con un'estensione di circa 510 km², e parte del Parco dello Stelvio. Il territorio presenta un'altitudine variabile dai 200 m s.l.m. ai 3554 m s.l.m. (AA.VV., 2006).

Il bacino è delimitato: ad ovest dalla provincia di Bergamo, a nord dalla Valtellina, a nord-est dal Trentino Alto Adige e a sud, sud-est dalla provincia di Brescia. La superficie coperta dal bacino è pari a 1500 km². I principali corpi d'acqua che si immettono nel lago d'Iseo sono tre.

Il fiume Oglio attraversa interamente la Val Camonica percorrendo 79 km prima di immettersi nel Lago d'Iseo. Origina dalla confluenza di due torrenti: Frigidolfo e Narcanello che nascono rispettivamente dal Corno dei Tre Signori (Cevedale) e dal Lago del Pisgana. Confluiscono a Ponte di Legno situato ad un'altitudine di 1260 m s.l.m.. Subito a valle ricevono il contributo dei primi torrenti Avio, Val Grande, Paghera. Gli affluenti del fiume Oglio sono caratterizzati da una simile fisionomia idrografica poiché sono corsi d'acqua a carattere torrentizio (AA.VV. Comunità Montana del Sebino, n. d.).

Il corso dell'Oglio prelacuale può essere diviso in due tratti distinti. Il primo, dalla sorgente a Civate Camuno, situato al 50 km più a valle, ha una pendenza del 20-28% che gli conferisce un carattere torrentizio, con aumenti rilevanti e considerevoli della portata durante eventi di pioggia intensi. Il secondo tratto, da Civate Camuno all'ingresso nel Lago d'Iseo, possiede le caratteristiche di un corso d'acqua d'ampio fondovalle. L'alveo è caratterizzato da canali debolmente incisi. Il letto è

costituito di ghiaie alluvionali che vengono totalmente inondate durante le piene dal volume d'acqua corrisposto al fiume (Bassi et al., 2001).

Uno dei principali torrenti che confluiscono nell'Oglio è il torrente Ogliolo. Questi si immette nell'Oglio a valle del centro abitato di Edolo dopo aver percorso la valle che porta al Passo dell'Aprica. Il suo bacino idrografico ha un'area di 115 km² e le acque confluenti derivano da due riserve naturali, quali "Pian di Gembro" e "Valli di Sant'Antonio". Una piccola parte anche dal centro abitato dell'Aprica (Bobbi e Bianchi, 2002).

Uno dei principali affluenti della destra orografica dell'Oglio è il torrente Dezzo che raccoglie le acque provenienti dalla Val di Scalve; il suo bacino idrografico comprende un'area di 181 km² (Bassi et al., 2001).

Il torrente Borlezza è uno dei tributari del Lago d'Iseo. Percorre l'omonima valle prima di immettersi nel lago in corrispondenza del comune di Castro (Bg). Anch'esso si forma dalla confluenza di 2 torrenti, uno dal monte Pora (1879 m s.l.m.) e uno dal Pizzo della Presolana (2521 m s.l.m.). Il suo bacino interessa un'area di 135 km² raccogliendo le acque di numerosi comuni nella provincia di Bergamo compresa tra la Presolana e la sponda ovest del Lago d'Iseo (AA.VV. Parco dei Laghi Fossili di Sovere, n.d.).

Ultimo tributario di portata considerevole del Lago d'Iseo è il canale Italsider. Costruito per alimentare la centrale idroelettrica di Pisogne e reimmettere, direttamente nel lago, le acque prelevate dal fiume Oglio all'altezza di Esine.

1.7 CLIMA

Sotto l'aspetto macroclimatico, l'area rientra in quello che a grande scala viene definito clima continentale umido. In Europa ha un'estensione che va dal 45° al 60° parallelo. Questa zona è caratterizzata dallo scontro tra grande masse di aria provenienti dal polo e dai tropici.

Si possono verificare eventi massimi di precipitazione in estate dati da aria marittima tropicale; gli inverni sono tendenzialmente siccitosi. Questi sono dominati da incursioni di aria continentale polare e masse d'aria umida provenienti dall'atlantico settentrionale che portano a precipitazioni più prolungate nel tempo (Negrelli, 2008).

All'interno di questa vasta area geografico-climatica si trova il clima temperato di transizione. Un clima che si interpone tra il freddo sub-polare e quello caldo mediterraneo; tra il clima umido e marittimo dell'ovest e quello secco quasi peridesertico dell'est (Negrelli, 2008).

Le condizioni atmosferiche instabili provocano un'accentuata variabilità stagionale. Si verificano escursioni termiche marcate ed una piovosità molto differenziata da una zona all'altra. Per quanto riguarda l'andamento pluviometrico stagionale si possono rilevare due regimi: uno alpino con precipitazioni da maggio ad ottobre; uno sub-alpino con precipitazioni concentrate in ottobre-novembre e febbraio-marzo.

In questo contesto la catena alpina svolge un ruolo determinante opponendosi alla circolazione delle masse d'aria e determinando tipi climatici e regimi termo-pluviometrici differenziati. Il sistema orografico alpino è composto da catene e massicci montuosi che dividono il territorio in distretti geografici aventi caratteristiche climatiche molto variabili (Negrelli, 2008).

La Val Camonica presenta un assetto geografico con direzione preferenziale nord-sud. In funzione di questo assetto è possibile individuare tipologie climatiche molto differenti nelle diverse zone. Caratteri tipicamente alpini a nord e caratteri più vicini al clima insubrico e padano verso sud.

Risalendo la valle si assiste al passaggio dal regime pluviometrico sub-litoraneo (a due massimi, primaverile ed autunnale) tipico dell'area a clima padano e di quella a clima insubrico, al tipo di regime pluviometrico continentale, con picco estivo, tipico del clima alpino interno (a partire da Breno, 20 km a monte del lago) (AA.VV., 2001).

Il primo tratto della valle, dal lago fino a Gianico, 15 km più a monte, risente delle brezze provenienti dal lago e queste influenzano le temperature. Questo tratto, fino a Civate Camuno, è caratterizzato dalla notevole ampiezza della vallata e da un notevole soleggiamento, dovuto anche ad una modesta altitudine dei monti.

Da Civate Camuno comincia il restringimento della valle e le temperature medie annuali cominciano a decrescere man mano che si sale verso nord. Le numerose e alte cime favoriscono lo sviluppo di cumuli temporaleschi che raramente danno origine a intensi fenomeni piovosi.

L'alta valle, da Forno Allione fino al Passo del Tonale, subendo notevoli restringimenti al di fuori della piana di Malonno, possiede un tipico clima continentale con temperature rigide in inverno.

2. MATERIALI E METODI

I campionamenti sono iniziati il giorno 21 febbraio 2016 e sono terminati il giorno 8 dicembre dello stesso anno. Hanno avuto cadenza quindicinale, periodicità per poter studiare i trend nel corso dell'anno.

I campioni sono stati prelevati in luoghi scelti opportunamente in funzione di criteri differenti:

- Quattro stazioni sul fiume Oglio nei comuni di Edolo (1), Badetto (3), Darfo (4) e Costa Volpino (6) per verificare l'andamento delle concentrazioni da nord a sud della Val Camonica;
- Una stazione sul torrente Ogliolo (2) per verificare gli apporti provenienti dall'Aprica;
- Una stazione sul torrente Dezzo (5) per determinare le quantità di sali provenienti dalla Val di Scalve;
- Una stazione all'immissione del torrente Borlezza (7) nel Lago d'Iseo per quantificare l'apporto dell'omonima valle;
- Una stazione sul Canale Italsider (8) per valutare gli apporti a lago.

Dopo qualche mese sono iniziate misure relative alle altezze idrometriche per valutare la portata ma non sono state utilizzate in questo elaborato perché in corso di elaborazione.

STAZIONE	FIUME	LOCALITÀ
1	Oglio	Edolo
2	Ogliolo	Edolo
3	Oglio	Badetto
4	Oglio	Darfo B.T.
5	Dezzo	Darfo B.T.
6	Oglio	Costa Volpino
7	Borlezza	Castro
8	Canale Italsider	Pisogne

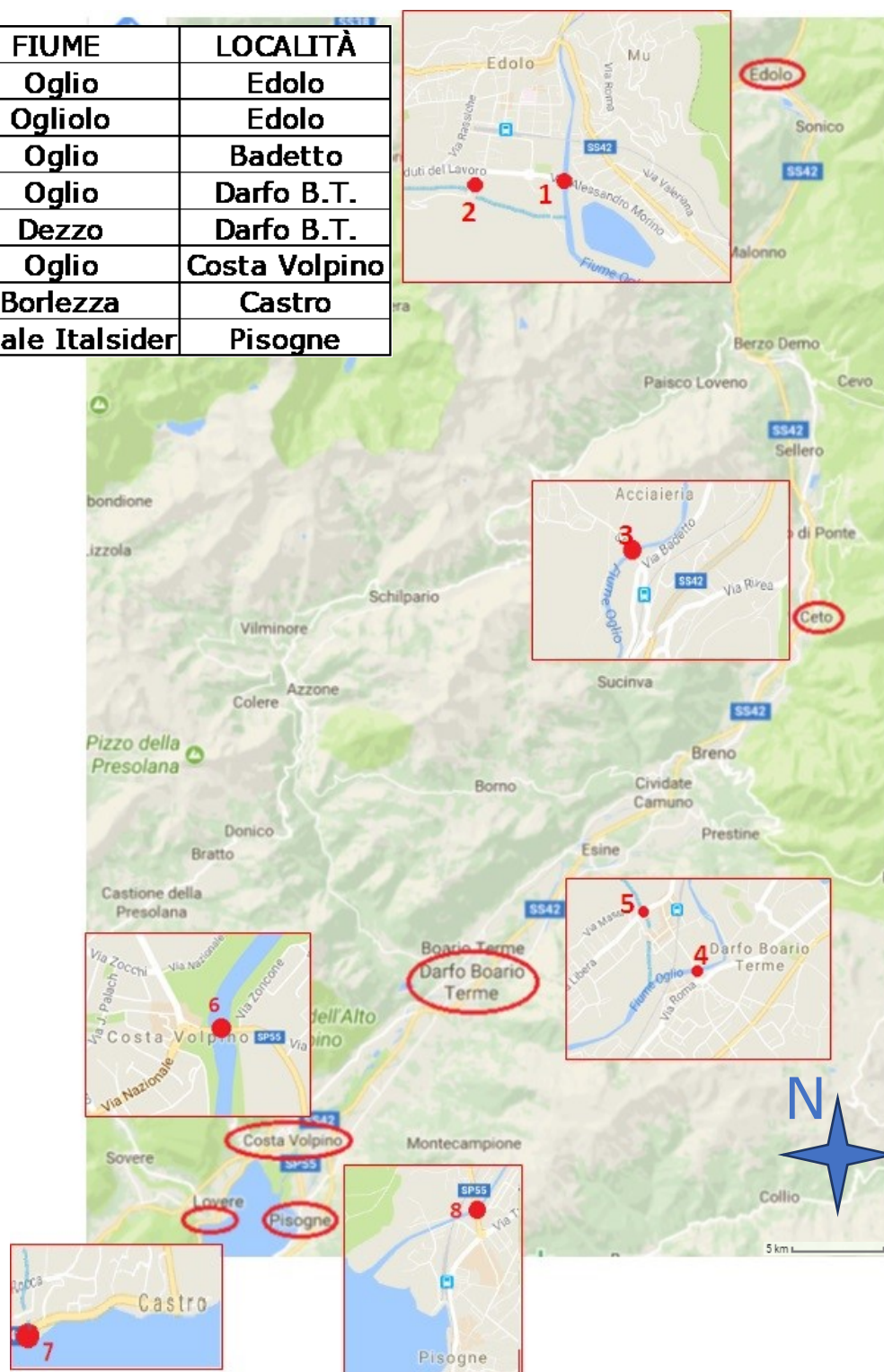


Figura 3 - Stazioni di campionamento. Immagine acquisita da Google Maps e modificata.

I campionamenti sono stati effettuati sul ponte sovrastante il corso d'acqua, al centro di ogni letto fluviale. Così facendo, al di fuori di eventi di piena, vi è la minor possibilità di inquinare il campione con particolati di alveo o sponda. L'acqua è stata prelevata mediante un contenitore in moplex legato ad una corda lunga 25 metri. Issato il campione è stato travasato in una bottiglia di plastica da 0,5 L senza spazio di testa. I campioni venivano conservati in borse frigo e portati in laboratorio.

Complessivamente sono stati prelevati nel un totale di 164 campioni.

L'analisi di laboratorio prevede la preliminare filtrazione del campione mediante un filtro di maglia da 0,2 μm e l'analisi mediante cromatografia ionica.

La cromatografia ionica consente di separare, individuare e quantificare specie ioniche presenti in matrici complesse. La separazione delle specie si basa sulla diversa affinità delle stesse per la fase mobile e la fase stazionaria. Un cromatografo ionico tipicamente coinvolge la presenza di un eluente liquido, una pompa ad alta pressione, un sistema di iniezione del campione, un sistema di separazione delle specie ioniche costituito da pre-colonna e colonna cromatografica, un soppressore chimico, una cella conduttimetrica e un sistema di raccolta ed elaborazione dei dati.

Nel sistema Thermo Scientific Dionex™ ICS-1100 Ion Chromatography (Dionex ICS-1100) utilizzato in questo studio il rivelatore è di tipo conduttimetrico. Prima di analizzare il campione il cromatografo ionico viene calibrato analizzando soluzioni di standard a concentrazione nota degli ioni di interesse. Per confronto dei risultati ottenuti sul campione con quelli ottenuti sugli standard, gli ioni contenuti nel campione vengono identificati e quantificati.

Il sistema di raccolta dei dati fornisce un cromatogramma (grafico che mostra la risposta del rivelatore in funzione del tempo) e un software opportuno converte le aree di ciascun picco cromatografico in concentrazioni degli analiti.

3. RISULTATI

Il variare delle concentrazioni di cloro, e successivamente di sodio e potassio, nello spazio e nel tempo è stato analizzato mediante l'utilizzo di grafici.

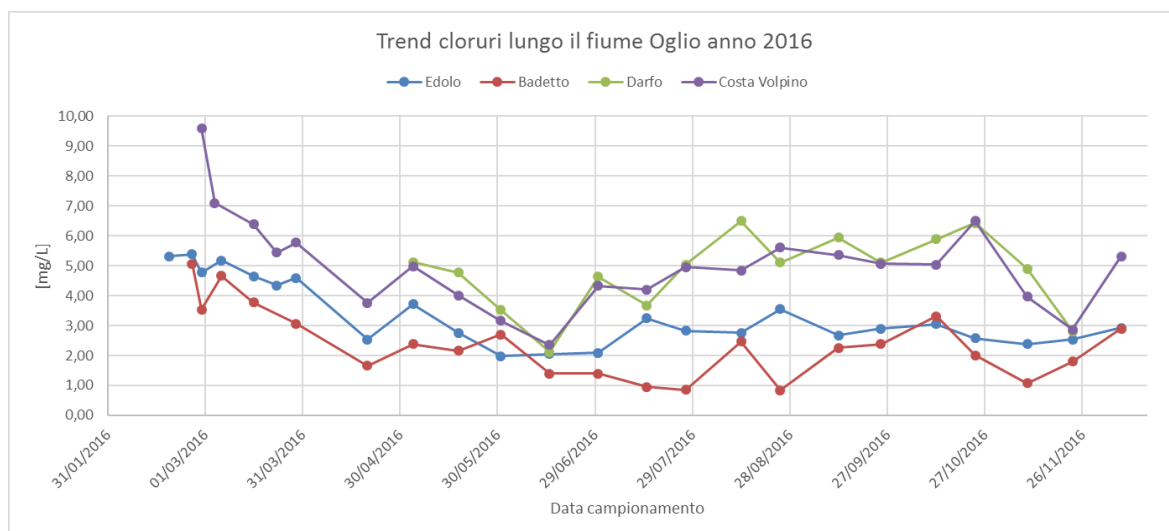


Figura 4 – Variazione delle concentrazioni di ioni cloruro lungo il fiume Oglio.

Da febbraio a giugno le variazioni delle concentrazioni nelle quattro stazioni risultano simili. I valori massimi si riscontrano in febbraio e progressivamente decrescono fino a fine giugno, fatta eccezione per l'inizio del mese di maggio (Figura 4). Dal mese di luglio gli andamenti delle concentrazioni nelle due stazioni più a valle si discostano da quelle più a monte (Figura 4). Le stazioni di Costa Volpino e Darfo B.T. presentano un aumento delle concentrazioni durante l'estate che si mantengono elevate fino a fine ottobre (Figura 4). Le concentrazioni misurate a Edolo e Badetto invece si mantengono più basse per tutta la stagione estiva (Figura 4).

La stazione di Edolo, la più a monte delle quattro, mostra valori più elevati durante la stagione invernale. Il picco di 5,39 mg/L riscontrato al 26 febbraio è il più alto dell'anno. Verso il finire dell'inverno fino a fine giugno vi è un decremento dei valori.

Badetto è la stazione, situata sul corso del fiume Oglio, con i valori medi più bassi. La linea di tendenza è situata sempre al di sotto di tutte le

altre, fanno eccezione i picchi del 31 maggio con 2,70 mg/L, del 13 agosto con 2,46 mg/L e del 12 ottobre con 3,32 mg/L. Gli stessi picchi, estivo ed autunnale, sono stati riscontrati anche alla stazione successiva di Darfo B.T. Il decremento primaverile delle concentrazioni è significativo anche in questo caso. I valori passano da oltre i 4 mg/L dei primi di marzo e decrescono fino a 1,66 mg/L al 20 aprile.

La stazione situata a Darfo Boario Terme sul fiume Oglio è stata oggetto di campionamento a partire da maggio. Il 15 giugno si osserva un valore minimo di 2,12 mg/L. Questa variazione trova corrispondenza anche con le concentrazioni misurate nella stazione più a valle, Costa Volpino.

La stazione di Costa Volpino, situata in prossimità dell'immissione dell'Oglio nel Lago d'Iseo, è indicatore dei valori più rappresentativi delle quantità di cloro che il fiume Oglio porta al lago. In questa stazione generalmente si riscontrano i valori di concentrazione di cloruri più alti. La media ottenuta è pari a $5,03 \pm 1,55$ (\pm DS) mg/L con massimo a febbraio di 9,58 mg/L e minimo a giugno di 2,36 mg/L.

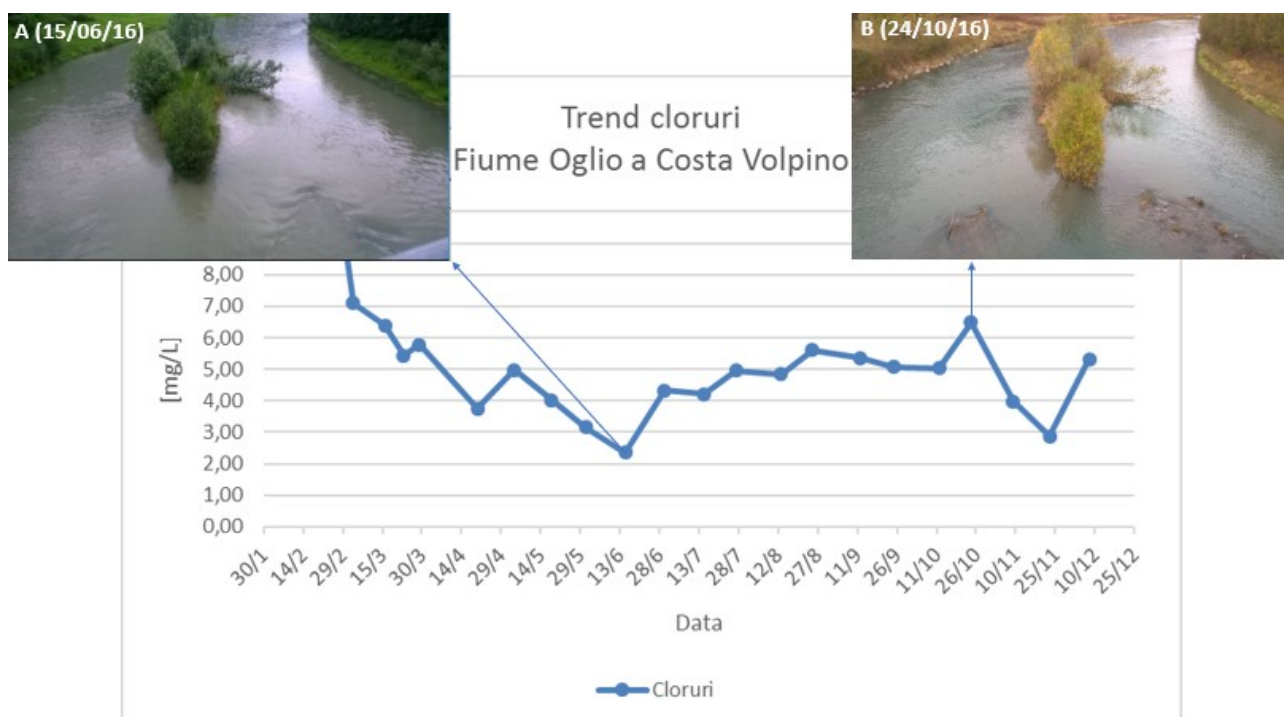


Figura 5 – Livelli idrometrici, A piena, B secca, riferiti rispettivamente ai picchi di minimo e massimo di concentrazione dei cloruri.

I valori di concentrazione subiscono una diminuzione che potrebbe essere imputabile alla maggior diluizione degli ioni. Come si nota dall'immagine i valori minimi di concentrazione sono rilevati in concomitanza con eventi di piena del fiume (Figura 5, foto A); viceversa i picchi di massimo con il regime di minimo del corso d'acqua (Figura 5, foto B).

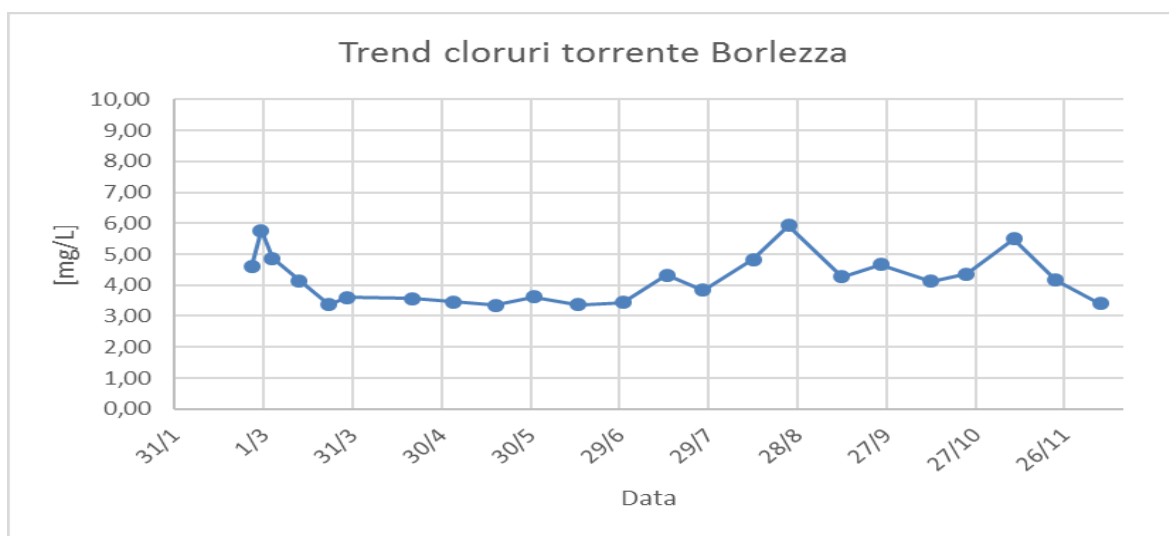


Figura 6 - Variazione della concentrazione dei cloruri nel torrente Borlezza.

Nel caso del torrente Borlezza si possono notare tre picchi di massima concentrazione nelle date 29 febbraio con 5,77 mg/L, 25 agosto 5,94 mg/L e 9 novembre 5,50 mg/L. La concentrazione minima misurata è stata di 3,37 mg/L il giorno 23 marzo. Il valore medio annuo è pari a $4,20 \pm 0,78$ (\pm DS) mg/L. In primavera i valori si mantengono al di sotto della media invece da agosto raggiungono valori superiori alla media.

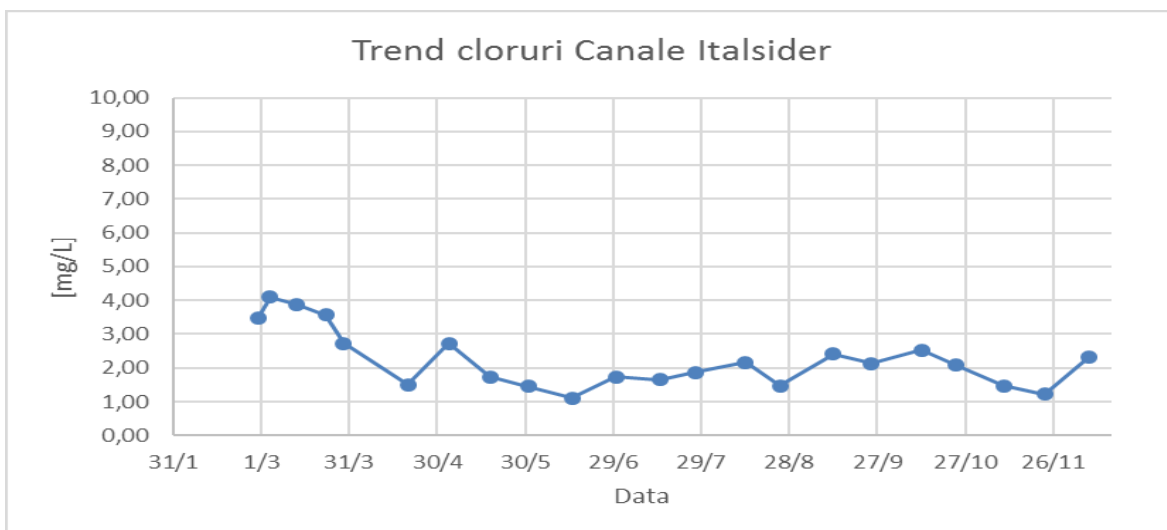


Figura 7 – Variazione della concentrazione dei cloruri nel Canale Italsider.

Il grafico relativo alle concentrazioni nel tempo del Canale Italsider (figura 7) mostra un andamento variabile. La media calcolata è $2,24 \pm 0,86$ (\pm DS) mg/L.

In tardo inverno abbiamo valori più elevati rispetto il resto dell'anno. In primavera, ad eccezione del picco riscontrato in data 4 maggio del valore di 2,72 mg/L, i valori sono tendenzialmente sotto la media. Viceversa nel periodo estivo ed autunnale i valori sono sopra la media.

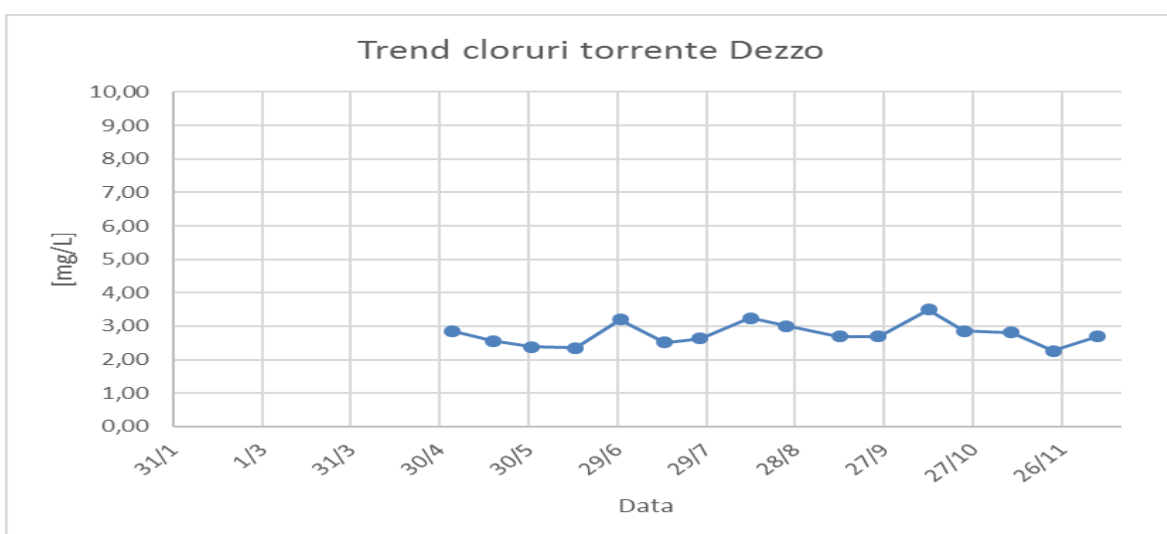


Figura 8 – Variazione della concentrazione dei cloruri nel torrente Dezzo.

Il torrente Dezzo è stato campionato a partire dal 4 maggio. La media delle concentrazioni è 2,91 mg/L. In generale non si osservano grosse variazioni di concentrazioni nel tempo, ad eccezione di un lieve picco in data 12 ottobre (Figura 8).

L'obiettivo della tesi è quello di capire la provenienza degli ioni cloro e dalla dissociazione di quali sali potrebbero avere origine; a questo scopo abbiamo analizzato gli andamenti degli ioni in grado di legarsi al cloro, come sodio e potassio.

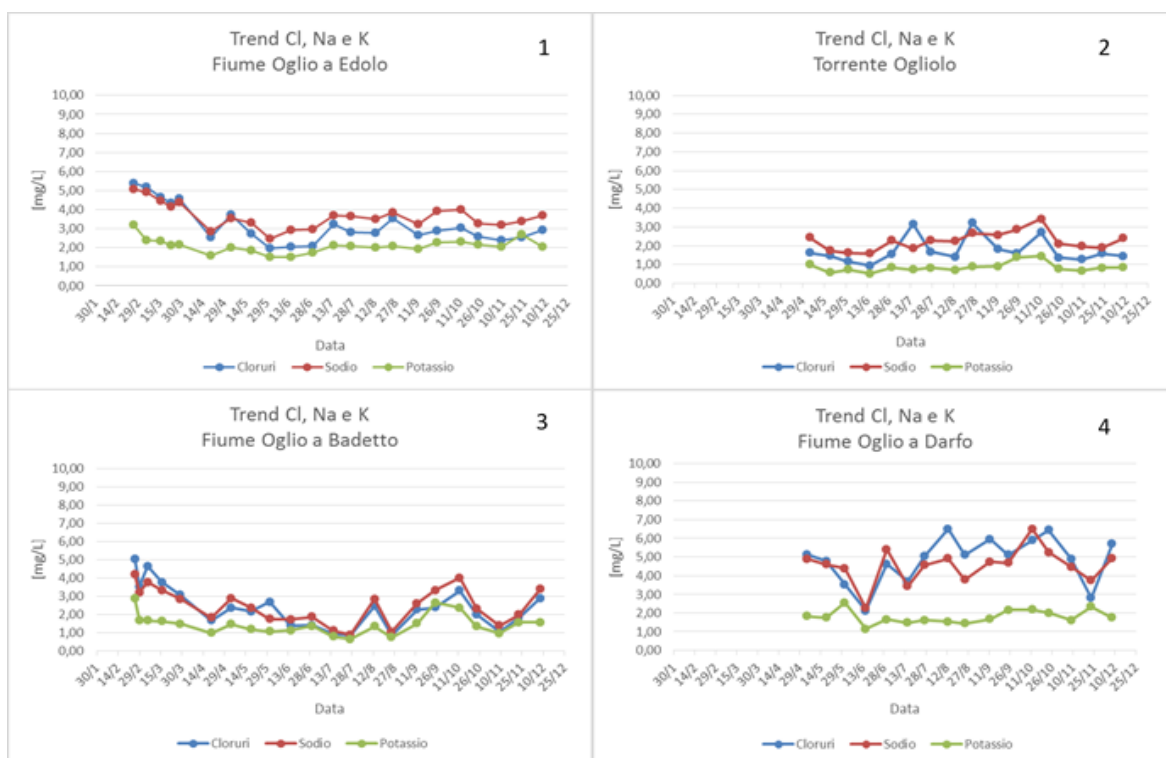


Figura 9 - *Variazione della concentrazione dei tre ioni nel torrente Ogliolo (2) e nelle stazioni di Edolo (1), Badetto (3) e Darfo (4).*

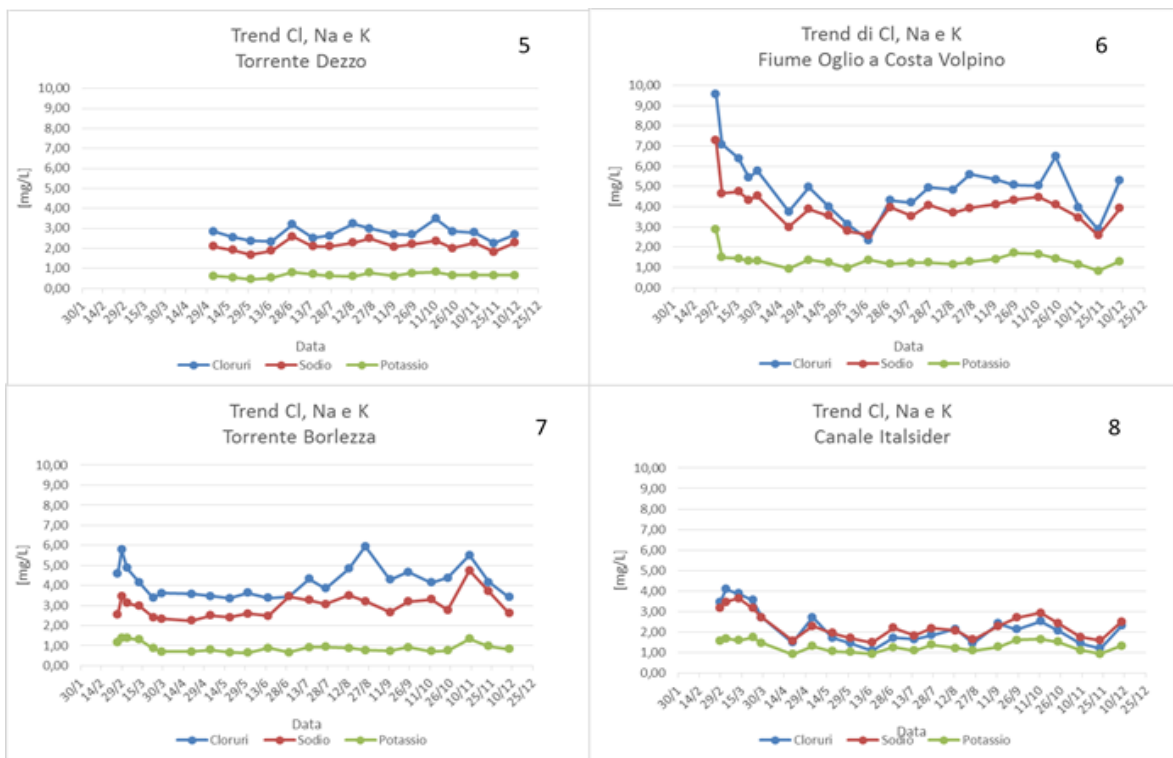


Figura 10 - Variazione della concentrazione degli ioni nel Torrente Dezzo (5), nella stazione di Costa Volpino (6), nel Torrente Borlezza (7) e nel Canale Italsider (8).

In figura 9 e in figura 10 i grafici mostrano una concordanza nella variazione degli ioni nel tempo nelle diverse stazioni. Durante il periodo estivo in alcune stazioni, come quella sul Dezzo, vi è una corrispondenza netta negli andamenti delle concentrazioni di cloro e dei due cationi.

Le stazioni sul fiume Oglio più a valle, Darfo B.T. e Costa Volpino, mostrano valori di concentrazione dei cloruri maggiori rispetto quelli del sodio. A monte invece le proporzioni si invertono.

Il canale Italsider ha un andamento pressoché costante nel tempo con valori più alti esclusivamente nel periodo invernale.

Il torrente Borlezza, sebbene dreni una valle di dimensioni minori rispetto alla Val Camonica, presenta valori di concentrazione degli ioni piuttosto elevati, paragonabili a quelli dell'Oglio a Costa Volpino nel periodo primaverile-autunnale.

4. DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

Il presente lavoro rappresenta il risultato di un anno di campionamenti (164 in totale) e l'elaborazione dei dati ottenuti dai risultati delle analisi in laboratorio.

In tutti i grandi laghi subalpini sono stati evidenziati aumenti delle concentrazioni di ioni cloruro e sodio. Recenti studi hanno identificato nel sale utilizzato come antigelo del manto stradale una tra le principali fonti di cloro per il Lago Maggiore (Rogora et al., 2015).

I risultati ottenuti in questo studio evidenziano interessanti trend degli ioni cloruro, sodio e potassio, permettendo di formulare alcune ipotesi, da convalidare con future ricerche, circa l'origine e l'accumulo di cloro nel lago d'Iseo.

Il cloro potrebbe provenire dal dilavamento di rocce quarzifere cloritiche e da micascisti contenenti clorite, facenti parte del basamento sudalpino della Val Camonica (Dal Piaz et al., 2008), poco diffuse nei bacini idrografici che raccolgono le acque che giungono al lago. L'aumento delle concentrazioni di cloro osservate negli ultimi decenni nell'Iseo non può quindi essere dovuta solo a cause naturali ma anche antropiche.

La notevole sincronia evidenziata tra le variazioni nello spazio e nel tempo dei tre ioni permette di supporre che il cloro presente in acqua derivi in buona parte sia da cloruro di sodio sia da cloruro di potassio. Sali che vengono utilizzati come antigelo del manto stradale, in processi industriali e nel trattamento delle acque reflue.

Verosimilmente, come per altri bacini idrografici, il sale antigelo sparso sulle strade nel periodo invernale confluisce alla rete fluviale, ma le tempistiche non sono definibili in maniera accurata. Studi condotti in suoli forestali descrivono lo ione cloruro come conservativo (Svensson et al., 2010).

Fenomeni di progressive e improvvise crescite e decrescite delle concentrazioni degli ioni sembrano imputabili a variazioni del regime del corso d'acqua.

Vi sono numerose motivazioni in risposta a queste oscillazioni.

L'elevato tasso di turismo che si registra nel periodo natalizio, più in generale nella stagione invernale, porterà a maggiori scarichi reflui cittadini. Questi andranno ad aumentare il contenuto di ioni disciolti nelle acque.

Nel periodo compreso tra settembre e aprile, si registrano sovente temperature intorno agli 0°C, soprattutto in alta valle. Per questo motivo i mezzi spargi sale delle aziende che hanno stipulato l'appalto per svolgere il lavoro, effettuano lo spargimento di salgemma sul manto stradale. Le quantità di sale sparso nel corso degli anni sono andate via via diminuendo grazie alle nuove tecnologie e studi relativi la migliore ottimizzazione dello spargimento. Negli anni '60 il dosaggio delle macchine spargisale non era soggetto a particolari regole e i quantitativi sparsi superavano i 40 g/m². Nel decennio successivo sono state introdotte apparecchiature con dosaggio automatizzato e i quantitativi si sono ridotti all'incirca a 20-30 g/m². Grazie allo sviluppo di mezzi più all'avanguardia come la tecnica del sale umidificato, a partire dagli anni '80 lo spargimento è stato ridotto ulteriormente. Ad oggi sono sufficienti 10-20 g/m² per prevenire la formazione di ghiaccio (AA.VV., 2017).

La variabilità delle concentrazioni delle acque del fiume Oglio è in funzione dei suoi affluenti. I torrenti immissari dell'Oglio provengono da aree montuose prevalentemente boschive. Il Parco dell'Adamello infatti occupa gran parte del lato nord-est della Val Camonica e non è interessato da arterie stradali rilevanti. Anche i centri urbani sono di piccole dimensioni. È probabile che gli afflussi provenienti dai torrenti che scendono dai versanti e dalle valli laterali creino un effetto di diluizione delle concentrazioni.

I picchi massimi di concentrazione delle acque sono stati registrati a Costa Volpino. Il fatto che sia stato registrato proprio a fondo valle il valore più elevato durante tutto il corso dell'anno è riconducibile alle fonti che plausibilmente apportano carichi dalla bassa Val Camonica. Si è portati a pensare che gli apporti dei reflui siano maggiori in funzione

della maggior industrializzazione e del maggior numero di abitanti per chilometro quadrato.

I dati raccolti con questo lavoro sono la base indispensabile per future ricerche, poiché abbinati ai valori di portata dei corsi d'acqua esaminati permetteranno di calcolare il carico annuo di cloro che giunge al Lago d'Iseo e consentiranno di prevedere gli incrementi futuri di questo ione nel corpo d'acqua e gli eventuali effetti sul biota e sull'ecosistema.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2017) "La manutenzione invernale delle strade". AINEVA (Associazione Interregionale Neve e Valanghe).
- AA.VV. (2001) "Individuazione delle aree potenzialmente inondabili dal punto di vista storico e morfologico a fini urbanistici: Fiume Oglio e Val Camonica". Regione Lombardia CNR; IRPI..
- AA.VV. (no data) "Valutazione dei parametri di sostenibilità ambientale e Gestione delle Risorse Idriche nel contesto territoriale" Comunità Montana del Sebino.
- AA.VV. (2006) "Rapporto sullo stato dell'Ambiente". Comunità Montana di Valle Camonica.
- AA.VV. (no data) "Parco dei Laghi Fossili di Sovere". C.N.R. IDPA.
- Backstrom M., Karlsson S., Backman L., Folkesson L., Lind B. (2004) "Mobilisation of heavy metals by deicing salts in a roadside environment". *Water Res* 38:720–732.
- Bassi M., Bossuto P., Fassi P., Luino F., (2001) "Individuazione ai fini urbanistici delle aree potenzialmente inondabili. Ricerca storica ed analisi geomorfologica del fiume Oglio – Valcamonica". Istituto Regionale di Ricerca della Lombardia e CNR-IRPI Torino.
- Bobbi S., Bianchi A. (2002) "*Evoluzione del gradiente termico delle acque superficiali il caso del fiume Oglio*". Tesi di laurea, Politecnico di Milano, Ingegneria per l'ambiente e il territorio.
- Dal Piaz G., Brack P., Baroni C., Carton A., Nardin M., Pellegrini G., Pennacchioni G. (2008) "Note illustrative della carta geologica d'Italia, Monte Adamello" Servizio geologico della provincia autonoma di Trento.
- Dotti N., Genoni P., Paleari M., Tremolada L. (2013) "Stato delle acque superficiali bacino del fiume Oglio e lago d'Iseo". ARPA Lombardia.
- Evans M., Frick C. (2001) "The Effects of Road Salts on Aquatic Ecosystems". NWRI Contribution No. 02-308. Environment Canada, National Water Research Institute, Saskatoon, SK.

- Garibaldi L., Anzani A., Marieni A., Leoni B., Mosello R. (2003) "Studies on the phytoplankton of the deep subalpine Lake Iseo." *Journal of Limnology* 62(2): 177-189.
- Holland A.J., Gordon A.K., Muller W.J. (2010) "Osmoregulation in freshwater invertebrates in response to exposure to salt pollution". Report to the Water Research Commission. Unilever's Centre for Environmental Water Quality, Institute for Water Research, Rhodes University, Grahamstown, South Africa. 60 pp.
- Kilgour B.W., Gharabaghi B., Trudel L., Jarvie S., Perera N. (2009) "Ecological benefits of the road salt". Code of Practice in the City of Toronto. *Water Quality Research Journal of Canada* 49:43-52.
- Leoni B., Garibaldi L., Gulati R.D. (2014) "How does interannual trophic variability caused by vertical water mixing affect reproduction and population density of the *Daphnia longispina* group in Lake Iseo, a deep stratified lake in Italy?" *Inland Waters* 4: 193-203.
- Leoni B., Marti C., Imberger J., Garibaldi L. (2014) "Summer spatial variations in phytoplankton composition and biomass in surface waters of a warm-temperate, deep and oligo-holomictic lake: Lake Iseo, Italy". *Inland Waters* 4: 303-310.
- Leoni B., Soler V., Patelli M., Fumagalli P., Garibaldi L. (2016) "La qualità delle acque del lago d'Iseo in risposta a pressioni antropiche e a variazioni climatiche. *I grandi laghi profondi subalpini: dalla ricerca alla gestione*". Convegno Verbania-Pallanza.
- Marti C.L., Imberger J., Garibaldi L., Leoni B. (2016) "Using time scales to characterize phytoplankton assemblages in a deep subalpine lake during the thermal stratification period: Lake Iseo, Italy". *Water Resources Research* 52:1762-1780.
- Mayer T., Snodgrass W.J., Morin D. (1999) "Spatial Characterization of the Occurrence of Road Salts and Their Environmental Concentrations as Chlorides in Canadian Surface Waters and Benthic Sediments". *Water Quality Research Journal of Canada* 34: 545-574.

- Meriano M., Eyles N., Howard K.W.F (2009) "Hydrogeologica impacts of road salt from Canada's busiest highway on a Lake Ontario watershed (Frenchman's Bay) and lagoon, city of Pickering". *Journal of Contaminant Hydrology*. 107:66-81.
- Minella M., Leoni B., Salmaso N., Savoye L., Sommaruga R., Vione D. (2016) "Long-term trends of chemical and modelled photochemical parameters of four Alpine lakes." *Science of the Total Environment*. 541:247-256
- Mosello R., Calderoni A. (1997) "Le indagini sull'evoluzione dei laghi profondi subalpini" CNR.
- Mosello R., Ambrosetti W., Arisci S., Bettinetti R., Buzzi F., Calderoni A., Carrara E., De Bernardi R., Galassi S., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Oggioni A., Pagnotta R., Ricci D., Rogora M., Salmaso N., Simona M., Tartari G., Veronesi M., Volta P. (2010) "Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche". *Biologia Ambientale* 24 (1): 167-177.
- Nagpal N.K., Levy D.A, Macdonald D.D. (2003) "Ambient Water Quality Guidelines for Chloride- Overview Report". British Columbia. Water, Air and Climate Change Branch.
- Nardi G., Castagnolo L. (2009) "Il genere *Pisidium* lamarck 1818 (Mollusca, Bivalvia, Sphaeriidae) Nei laghi alpini della provincia di Brescia. Primo contributo: Il bacino idrografico del fiume Oglio". *Natura Bresciana* 36: 5-57.
- Negrelli G. (2008) "*Inquadramento climatico della Valtellina e della Val Camonica*". CNR, IRPI.
- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Rita A., Neteler M., Salmaso N. (2017) "Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data". *Science of the Total Environment* 578, 417-426.

- Piepoli Pezzaioli A., Leoni B. (2017) "Fonti di cloro nel Lago d'Iseo". Tesi di Laurea, Università degli studi di Milano Bicocca, Scienze e tecnologie per l'ambiente.
- Pilotti M., Valerio G., Leoni B. (2013) "Data set for hydrodynamic lake model calibration: a deep pre-alpine case". *Water Resources Research* 49: 1-5.
- Rogora M., Mosello R., Kamburska L., Salmaso N., Cerasino L., Leoni B., Garibaldi L. (2015) "Recent trends in chloride and sodium concentrations in the deep subalpine lakes (Northern Italy)". *Environmental Science and Pollution Research*, 19013-19026.
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Lepori F., Mosello R., Patelli M., Salmaso N. (2017) "Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy" *Hydrobiologia*. In revisione.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014) "Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: a new emerging paradigm". *Hydrobiologia* 731:31-48.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014) "Influenza delle fluttuazioni climatiche sui grandi laghi a sud delle Alpi: implicazioni nel contesto del riscaldamento globale". *Biologia ambientale* 28 (2): 17-32.
- Spaggiari P., Tribbia C. (2007) "Le meraviglie dell'acqua". Tecniche nuove, Milano.
- Svensson T., Lovett G.M., Likens G.E. (2010) "Is chloride a conservative ion in forest ecosystems?" Springer Science+Business Media B.V. 107:125-134.
- Valerio G., Pilotti M., Barontini S., Leoni B., (2015) "Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change". *Hydrological Processes* 29:767-779.

WHO (World Health Organization) (2003). "Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality: Chloride in Drinking-water" 2nd ed. Vol. 2.

Ringraziamenti

Ringrazio il chiarissimo prof. Lozzia, relatore, per la disponibilità nei momenti di necessità.

Desidero ringraziare sentitamente la dott.ssa Leoni, correlatrice, per gli insegnamenti che mi ha fornito nel corso di questa esperienza formativa. Il lavoro svolto non sarebbe stato lo stesso senza il suo fondamentale aiuto. Durante tutte le fasi che hanno portato alla stesura di questo elaborato mi ha dispensato conoscenze, competenze e nozioni che ho fatto mie e sicuramente mi saranno d'aiuto in futuro.

Un sincero grazie va a Martina, correlatrice, per tutto ciò che ha fatto per me in questi mesi. I suoi preziosi consigli mi hanno aiutato a superare le difficoltà incontrate in questo lavoro e saranno per me bagaglio importantissimo.

Desidero ringraziare i miei genitori perché senza di loro non sarei mai arrivato sin qui. Li ringrazio perché mi hanno sempre insegnato a perseguire fino in fondo gli obiettivi posti e a non fermarmi davanti alle difficoltà. Senza l'educazione e le lezioni che mi hanno fornito nulla di tutto ciò sarebbe stato possibile.

Un grazie di cuore va a tutti i miei amici. Mi sono sempre stati vicini, nei momenti di bisogno e anche quando avrei dovuto studiare! Senza di loro la vita fino ad oggi non sarebbe stata lo stesso magnifico dono che è.

Ringrazio la mia coinquilina Giulia per i tre fantastici anni passati in casa assieme. Con abitudini e caratteri completamente diversi siamo riusciti a trascorrerli, a parer mio, magnificamente.

Ringrazio Veronica per i validi consigli e l'aiuto fornitomi nella stesura dell'elaborato finale.