

POISSONS D'EAU DOUCE D'EUROPE ÉCOLOGIE ET GESTION

Certificate of Advanced Studies (CAS)

Pesci d'acqua dolce d'Europa – Ecologia e gestione

Caratterizzazione genetica delle trote ticinesi



Lavoro di diploma di Christophe Molina

Supervisore:

Jean-François Rubin

Direttore della Maison de la Rivière

Esperto esterno:

Pascal Vonlanthen

Aquabios Sàrl

Dicembre 2019

Ringraziamenti

Ringrazio il Canton Ticino per aver finanziato questo studio e l'Ufficio della caccia e della pesca per aver messo a disposizione i guardapesca e il materiale per effettuare il campionamento.

Grazie a Thomas Kreienbühl e Pascal Vonlanthen, che hanno effettuato l'analisi genetica, per il loro supporto durante la stesura del rapporto e per avermi fornito i campioni di riferimento del ceppo atlantico.

Ringrazio Jean François Rubin, Giorgio Leoni, Danilo Foresti e Tiziano Putelli per aver creduto in questo progetto e per avermi dato l'opportunità di realizzarlo.

La mia gratitudine va ad Alessia Coduri, Alex Ambrosini, Athos Conti, Claudio Mondelli, Christian Agostini, Curzio Lotti, Fabio Croci, Fabrizio Maestrani, Fernando Foresti, Flavio Nollo, Giorgio Bonomi, Jonathan Molina, Luca Brugali, Luca Lorenzetti, Massimo Gaggetta, Matteo Gaggetta, Matteo Inselmini, Mattia Kuzmic, Maurilio Garbani-Nerini, Maurizio Costa, Maurizio Genasci, Michele Ferrario, Michele Minoretti, Michele Pasci, Nevio Consoli, Patrick Fumagalli, Patrik Arnold, Renato Cellerino, Renzo Gianinazzi, Silverio Manenti, Siro Gianella, Stefano Beltrami e Thomas Romanski per avermi aiutato con le campagne di campionamento.

Grazie ancora a Diego Dagani (UFAM) per i suoi preziosi consigli e per avermi fornito i campioni di trota marmorata di riferimento, nonché a Pietro Volta (CNR Pallanza) per i campioni di trota marmorata del Toce e Paolo Lo Conte (Istituto Città metropolitana di Torino) per i campioni di riferimento della trota fario adriatica del Pellice.

Mia zia, Claudine Salamin, ha corretto il documento in francese dal punto di vista linguistico, per questo le sono grato.

Infine, vorrei ringraziare le società di pesca locali e i pescatori per la loro preziosa collaborazione.

Indice

1	Introduzione	1
1.1	Obiettivi	4
2	Materiale e metodi.....	6
2.1	Area di studio	6
2.2	Campionamento.....	8
2.3	Laboratorio	10
2.4	Analisi statistiche.....	11
3	Risultati.....	12
3.1	Differenze genetiche tra i siti campionati	12
3.2	Le trote degli stabilimenti piscicoli utilizzate per il ripopolamento sono ancora adatte per una gestione a lungo termine?.....	14
3.2.1	Alta Leventina.....	15
3.2.2	Leventinese.....	16
3.2.3	Bleniese	17
3.2.4	Bellinzonese.....	18
3.2.5	Moesano.....	20
3.2.6	Verzaschese	21
3.2.7	Valmaggese.....	22
3.2.8	Locarnese.....	23
3.2.9	Ceresiana	24
4	Discussione	26
4.1.1	<i>Salmo marmoratus</i> e <i>Salmo cenerinus</i> popolano ancora i fiumi ticinesi?	26
4.1.2	Le trote di piscicoltura contribuiscono al mantenimento delle popolazioni selvatiche? 26	
4.2	Alta Leventina.....	27
4.3	Leventinese.....	28
4.4	Bleniese	29

4.5	Bellinzonese.....	31
4.6	Moesano.....	33
4.7	Verzaschese.....	33
4.8	Valmaggese.....	34
4.9	Locarnese.....	36
4.10	Ceresiana.....	36
5	Conclusioni.....	38
6	Bibliografia.....	42
7	Allegati.....	45
7.1	Glossario.....	45
7.2	Le trote in Svizzera.....	48
7.3	Zone di distribuzione di materiale ittico delle diverse piscicoltura.....	54
7.3.1	Alta Leventina.....	54
7.3.2	Leventinese.....	55
7.3.3	Bleniese.....	56
7.3.4	Bellinzonese.....	57
7.3.5	Moesano.....	58
7.3.6	Verzaschese.....	59
7.3.7	Valmaggese.....	60
7.3.8	Locarnese.....	61
7.3.9	Ceresiana.....	62
7.4	Analisi base.....	63
7.5	Tabella F _{ST}	64

Indice delle figure

Figura 1 : diversità delle trote in Svizzera. © FIBER	1
Figura 2: bacini imbriferi principali del Canton Ticino.....	5
Figura 3 : cartina del Canton Ticino con indicati i siti di campionamento e i distretti di semina del materiale ittico delle piscicoltura.....	7
Figura 4: tavolo di lavoro sul campo	8
Figura 5 : campionamento effettuato dai guardapesca e dai volontari esterni.....	8
Figura 6 : trota fario atlantica catturata nel fiume Breggia.....	9
Figura 7: tabella riassuntiva del campionamento	10
Figura 8: differenziamento genetico (F_{ST}) delle popolazioni fluviali ticinesi, con campioni di riferimento	13
Figura 9 : differenziamento genetico (F_{ST}) delle popolazioni ticinesi, senza campioni di riferimento	13
Figura 10 : tabella F_{ST} Alta Leventina.....	15
Figura 11 : grafico STRUCTURE Alta Leventina.....	16
Figura 12 : tabella F_{ST} Leventinese.....	16
Figura 13: grafico STRUCTURE Leventinese	17
Figura 14: tabella F_{ST} Bleniese	17
Figura 15 : grafico STRUCTURE Bleniese	18
Figura 16: tabella F_{ST} Bellinzonese.....	19
Figura 17 : grafico STRUCTURE Bellinzonese.....	19
Figura 18: tabella F_{ST} Moesano.....	20
Figura 19 : grafico STRUCTURE Moesano.....	20
Figura 20 : tabella F_{ST} Verzaschese	21
Figura 21 : grafico STRUCTURE Verzaschese	21
Figura 22: tabella F_{ST} Valmaggese	22
Figura 23 : grafico STRUCTURE Valmaggese	23
Figura 24 : tabella F_{ST} Locarnese.....	23

Figura 25 : grafico STRUCTURE Locarnese.....	24
Figura 26: tabella F_{ST} Ceresiana	24
Figura 27 : grafico STRUCTURE Ceresiana	25
Figura 28 : ibrido di trota marmorata/atlantica presente nella piscicoltura di Gorduno.	32
Figura 29: trota proveniente dalla piscicoltura trovata durante i campionamenti	35
Figura 30: trota marmorata in alto e ibrido fario-marmorata in basso	39
Figura 32: <i>Salmo cenerinus</i> , Ticino 2019, Christophe Molina	49
Figura 33: <i>Salmo labrax</i> , Kottelat 2007	50
Figura 34: <i>Salmo marmoratus</i> , Ticino 2019, Christophe Molina.....	51
Figura 35: <i>Salmo rhodanensis</i> , Kottelat 2007	52
Figura 36: <i>Salmo trutta</i> , Ticino 2019, Christophe Molina	53

Riassunto

A seguito di ripetuti e intensi ripopolamenti con stock di trote non autoctone, i fiumi del Ticino hanno visto progressivamente scomparire le popolazioni selvatiche di trote indigene (trota marmorata *Salmo marmoratus* e trota fario adriatica *Salmo cenerinus*). Gli stock di riproduttori stabulati in piscicoltura sono stati rinnovati negli anni '90 e da allora l'importazione di pesce da altre regioni biogeografiche è stata vietata. Tuttavia, il rilascio di novellame di trota atlantica dagli allevamenti ittici ticinesi continua in gran quantità.

Questo studio è stato realizzato per stabilire se esistono delle differenze genetiche tra le varie popolazioni di trota presenti in diversi corsi d'acqua del Cantone, per valutare se le trote d'allevamento utilizzate oggi sono ancora idonee per le pratiche di ripopolamento e per valutare se le specie originarie sono ancora presenti nei corsi d'acqua ticinesi. 40 popolazioni selvatiche, 12 stock di piscicoltura e 4 popolazioni di riferimento sono stati analizzati utilizzando 12 loci nucleari non codificanti (microsatelliti).

Le analisi hanno dimostrato che il 98% delle popolazioni è geneticamente distinguibile l'una dall'altra in modo significativo. La maggior parte degli individui campionati nel fiume Melezza appartiene alla specie autoctona del bacino imbrifero del Ticino, ovvero la trota marmorata (*Salmo marmoratus*). Ciononostante, il ceppo trovato in Melezza non è geneticamente puro e mostra un certo tasso di introgressione con la trota atlantica (*Salmo trutta*). Questo risultato è interessante dal punto di vista conservazionistico, in quanto è l'unica popolazione che mostra un moderato grado di appartenenza a *Salmo marmoratus* in tutti i fiumi presi in esame. L'unica altra eccezione concerne alcuni singoli individui rinvenuti nel torrente Rovana, che sono riconducibili alla trota fario adriatica (*Salmo cenerinus*).

Le trote delle piscicoltura si sono generalmente dimostrate inadatte alle pratiche di ripopolamento, poiché sono geneticamente molto diverse dalle popolazioni trovate nei corsi d'acqua. In un solo caso (l'allevamento ittico di Cama-GR), la trota corrisponde geneticamente alla popolazione rinvenuta nel fiume, e può quindi essere considerata geneticamente idonea per il ripopolamento dei corsi d'acqua della zona.

Oltre alle caratteristiche genetiche delle trote ticinesi, i risultati mettono in discussione anche il successo dei ripopolamenti nella maggior parte dei fiumi cantonali. In effetti, se tali pratiche avessero effettivamente ampio successo, le differenze genetiche tra gli allevamenti ittici e i

fiumi sarebbero piccole per non dire inesistenti, una situazione quasi all'opposto di quanto invece riscontrato.

Dal punto di vista della conservazione - ove possibile - i ceppi ancestrali di trota marmorata e fario adriatica dovrebbero essere preservati e promossi. Una revisione delle strategie di ripopolamento delle acque correnti del Canton Ticino coordinate dall'Ufficio della caccia e della pesca si rende dunque necessaria. Si propone di sospendere progressivamente l'immissione delle trote atlantiche e di avviare un programma di reintroduzione delle specie autoctone di trota. Si ritiene che il fiume Melezza abbia una popolazione di trota marmorata che potrebbe essere utilizzata per questi scopi. La trota fario adriatica potrebbe invece essere reintrodotta a partire da individui che sono geneticamente e geograficamente più vicini, in particolare da popolazioni del nord Italia.

Dal punto di vista della gestione della pesca e dei pescatori, è opportuno ridurre le semine nei fiumi in cui il ripopolamento non sembra funzionare. Inoltre, si raccomanda di improntare una gestione maggiormente aperta, utilizzando come riproduttori pesci provenienti direttamente dai fiumi dove avverranno i ripopolamenti, poiché quelli usati oggi negli allevamenti ittici sono scarsamente adattati alla vita selvatica e a quanto risulta non producono novellame in grado di sopravvivere in modo confacente. Per i fiumi in cui viene mantenuto il ripopolamento, si suggerisce quindi di rinnovare regolarmente gli stock di riproduttori con dei pesci catturati direttamente nei fiumi e di effettuare monitoraggi mirati per valutare l'efficacia di ogni azione di ripopolamento.

Parole chiave: pesca, genetica, microsatelliti, trota, ripopolamento, gestione sostenibile, *Salmo trutta*, *Salmo marmoratus*, *Salmo cenerinus*

1 Introduzione

Lo studio delle comunità animali che popolano gli ambienti acquatici riveste notevole importanza, in quanto permette l'acquisizione di dati utili ad una loro corretta gestione e fornisce un giudizio sulla qualità e sulla funzionalità del sistema acquatico stesso (Pizzul *et al.*, 2003).

La Svizzera viene spesso definita come la riserva idrica d'Europa: nelle Alpi svizzere nascono innumerevoli torrenti che alimentano i grandi fiumi di pianura che - a loro volta - si riversano nei mari europei. Il Reno scorre verso il Mare del Nord (Atlantico), mentre il Rodano e il Doubs sfociano nel Mediterraneo. L'Inn confluisce nel Danubio prima di raggiungere le acque del Mar Nero. I corsi d'acqua del Canton Ticino, così come quelli di alcune valli meridionali del Vallese e dei Grigioni, si riversano nel Mare Adriatico attraverso il Po o l'Adige. Proprio in virtù di queste specificità idrogeografiche, le varie regioni del paese ospitavano storicamente specie endemiche distinte di trota: la trota atlantica (*Salmo trutta*) popolava il bacino idrografico del Reno, la trota del Doubs (*Salmo rhodanensis*) occupava invece la parte giurassiana del bacino del Rodano.

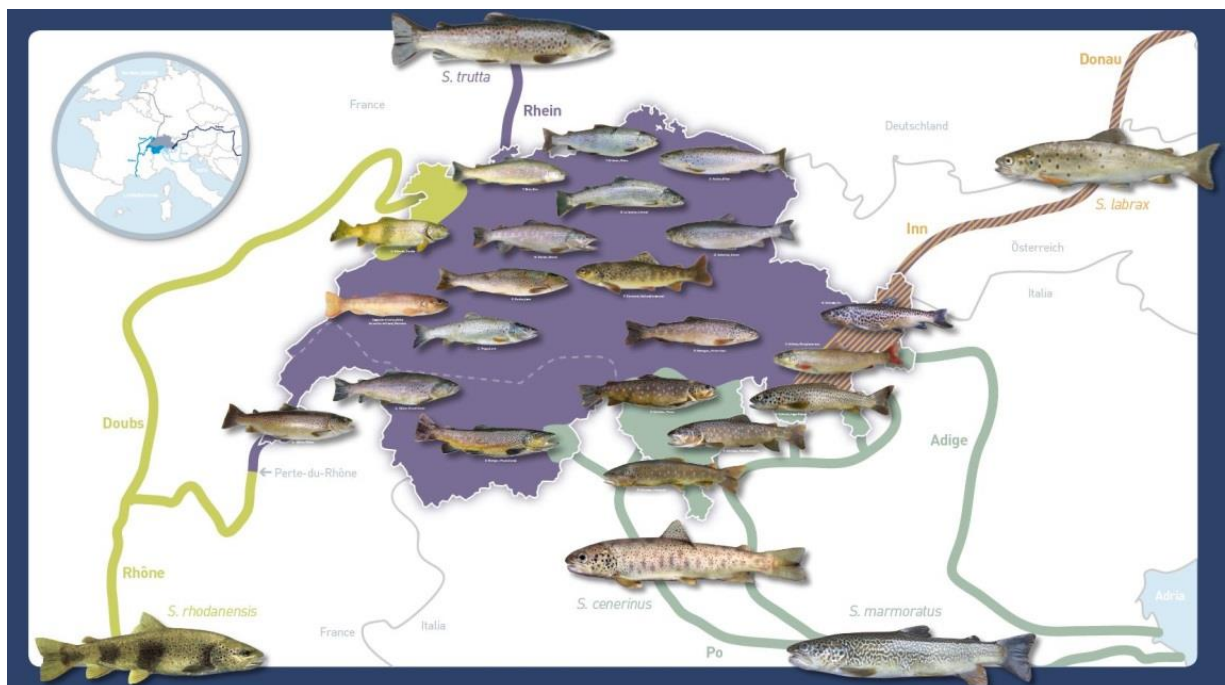


Figura 1 : diversità delle trote in Svizzera. © FIBER

La trota del Danubio (*Salmo labrax*) era tipica del bacino del Danubio, mentre nei bacini del Po e dell'Adige sono state descritte due specie: la trota fario adriatica (*Salmo cenerinus*) e la trota marmorata (*Salmo marmoratus*). Le specie sopraelencate sono apparse fra 2 e 0,5 milioni di anni fa, periodo durante il quale l'Europa ha attraversato molte glaciazioni (Fiber, 2015).

In Svizzera le trote sono quindi presenti sotto forma di cinque linee evolutive geneticamente distinte che devono - in termini di gestione - essere considerate specie a sé stanti (Kottelat *et al.*, 2007, OLFP dalla revisione dell'1.1.2017).

L'introduzione di specie non autoctone, insieme ad attività antropiche quali inquinamento, distruzione di habitat naturali, agricoltura, costruzione di dighe per generare energia idroelettrica e pesca eccessiva, hanno causato il declino di molte popolazioni di trota. Per quanto riguarda l'integrità genetica delle popolazioni locali, la principale minaccia risiede nell'introduzione mediante ripopolamento di specie e varianti estranee alla regione, che presentano un genoma diverso dalle popolazioni autoctone locali. Il risultato di questo fenomeno è l'introggressione del "pool genetico" della popolazione locale e - nel corso delle generazioni - la formazione di popolazioni composte principalmente da ibridi (Leary *et al.*, 1995; Ryman *et al.*, 1995; Huxel, 1999; Poteaux *et al.*, 2000; Allendorf *et al.*, 2001; Lucarda, 2007). Ciò non è privo di conseguenze per le popolazioni di pesci selvatici, poiché è dimostrato che l'introggressione genetica nei pesci può portare a una perdita di fitness, che si traduce per esempio in una prole meno numerosa o meno fertile (Araki *et al.*, 2007).

La legge federale sulla pesca del 21 giugno 1991 (LFSP, RS 923.0) mira a preservare e proteggere le specie, le razze e le varietà di pesci autoctoni, nonché i loro biotopi. Richiede che l'introduzione di specie, razze o varietà estranee alla regione (allogene) sia subordinata all'autorizzazione della Confederazione (art. 6 cpv. 1 LFSP). Secondo l'ordinanza concernente la legge federale sulla pesca del 24 novembre 1993 (OLFP; RS 923.01), sono in particolare considerati come estranei alla regione i pesci non sufficientemente vicini geneticamente alle popolazioni del luogo di introduzione (art. 6 cpv. 2 lett. c OLFP). Il trasferimento di pesce tra i grandi bacini imbriferi naturali definiti nell'Allegato 1 OLFP (Reno, Rodano, Doubs, Ticino, Inn) è soggetto ad autorizzazione ai sensi dell'art. 6 LFSP. Al contempo, il ripopolamento con pesce autoctono non necessita di autorizzazione federale ai sensi della LFSP quando il luogo di immissione si trova nello stesso bacino imbrifero del loro luogo di origine (art. 8 cpv. 2 lett. a OLFP). Il ripopolamento delle acque sfruttate per la pesca è di competenza dei Cantoni (art. 3

cpv. 2 LFSP). Nel perseguimento di una gestione sostenibile, i Cantoni possono dunque emanare prescrizioni relative all'introduzione, quando ciò si rivela necessario per la conservazione delle razze locali o per tutelare lo sfruttamento della pesca a lungo termine (art. 8 cpv. 3 OLFP). All'interno dei grandi bacini imbriferi indicati nell'Allegato 1 OLFP, i Cantoni devono quindi definire delle unità di gestione più piccole al fine di garantire la conservazione degli adattamenti locali e della diversità genetica.

In Ticino, secondo la legge cantonale sulla pesca e la protezione dei pesci e dei gamberi indigeni del 26 giugno 1996 (LCP; 923.100), ogni azione di ripopolamento necessita un'autorizzazione dell'Ufficio della caccia e della pesca (art. 23 LCP). Quest'ultimo deve stilare ogni anno un piano di ripopolamento sulla base dei censimenti ittici (pesca elettrica) e della statistica di pesca ed emanare direttive per le piscicoltura che producono materiale ittico da ripopolamento (art. 24, Regolamento di applicazione LCP, RALCP). Il ripopolamento dei corsi d'acqua è compito del Cantone, il quale delega alle società di pesca locali la produzione e l'immissione dei pesci.

Durante il secolo scorso, le trote fario di ceppo atlantico sono state introdotte in modo massiccio per far fronte alle necessità del piano di ripopolamento, complice anche una minore conoscenza dell'importanza delle componenti genetiche soggiacenti. La trota atlantica è oggi la più diffusa in tutta la Svizzera e rappresenta una minaccia per le trote autoctone (Largiader *et al.*, 1995).

Negli ultimi anni è risultato sempre più evidente che affidarsi a interventi che non seguano corretti modelli gestionali - limitati il più delle volte alla sola semina massiccia di materiale ittico - significa innanzitutto alterare in modo consistente l'equilibrio dell'ecosistema acquatico e, da ultimo, comportare uno spreco dal punto di vista economico (Pizzul *et al.*, 2003). A seguito di ciò, le pratiche di ripopolamento di alcuni Cantoni si sono notevolmente evolute e sono ora orientate verso un approccio più qualitativo, incentrato sull'integrità genetica delle popolazioni selvatiche e sul mantenimento della loro capacità di adattamento (UFAM, 2018). Questo cambio di paradigma può essere spiegato in particolare dai progressi scientifici compiuti nell'analisi genetica e, soprattutto, dalla sempre maggiore consapevolezza che il ripopolamento non funziona come auspicato. Grazie alle nuove tecnologie, è possibile identificare la struttura genetica di ogni popolazione e misurare l'effetto del ripopolamento (Vonlanthen *et al.*, 2016).

L'Istituto federale svizzero di ricerca sulle acque (EAWAG) e l'Università di Berna hanno studiato trenta popolazioni di nove fiumi svizzeri: un campione di 850 individui provenienti dal bacino

imbrifero del Reno, del Rodano e del Po. Dalle analisi a livello nazionale è emerso che le popolazioni possono essere ancora distinte geneticamente, nonostante i numerosi scambi tra popolazioni intercorsi nei decenni precedenti mediante il ripopolamento. Emerge pertanto come le pratiche di ripopolamento abbiano intaccato l'integrità genetica dei ceppi originari, senza però sradicare completamente le popolazioni native (Vonlanthen *et al.*, 2016).

A livello regionale nell'ambito del *Progetto fiumi* sono state analizzate 722 trote provenienti da 23 popolazioni dei bacini imbriferi del Reno alpino, Inn, Poschiavino e Ticino, per studiare la diversità genetica e fenotipica e per caratterizzare le relazioni tra questi due tipi di diversità (Vonlanthen *et al.*, 2016).

A livello locale sono state analizzate 384 trote del fiume Ticino per valutare a che grado le popolazioni autoctone di salmonidi sopravvivano ancora in questo fiume. I risultati mostrano che sia la trota marmorata che quella adriatica sono quasi del tutto scomparse e sono state sostituite dalla trota atlantica. Emerge inoltre come la struttura genetica delle popolazioni del fiume Ticino differisca in modo significativo da quella delle trote di allevamento utilizzate per ripopolare questo fiume (Dagani, 2010), il che testimonia un insuccesso delle pratiche di ripopolamento e suggerisce che la riproduzione naturale nel fiume Ticino funzioni ancora.

Ad oggi non esiste un'analisi genetica delle trote che contempli tutte le principali acque piscicole del Canton Ticino. Risulta pertanto difficile estrapolare un'immagine precisa delle conseguenze che cento anni di ripopolamento hanno avuto sulle popolazioni originarie. Il presente studio mira quindi ad acquisire le informazioni mancanti, al fine di migliorare i programmi di ripopolamento e la gestione dei pesci nelle piscicoltura.

1.1 Obiettivi

L'obiettivo di questo studio è quello di rispondere alle seguenti domande:

1. Esistono differenze genetiche tra le trote selvatiche dei diversi fiumi del Canton Ticino?
2. Le trote provenienti dagli allevamenti ittici utilizzate per il ripopolamento sono sufficientemente vicine geneticamente alle popolazioni locali?
3. Come deve essere adeguato il ripopolamento nel Canton Ticino per a) gestire in modo sostenibile le specie originarie di trota; b) gestire in modo efficiente e il più sostenibile possibile la pesca nei corsi d'acqua del Cantone?

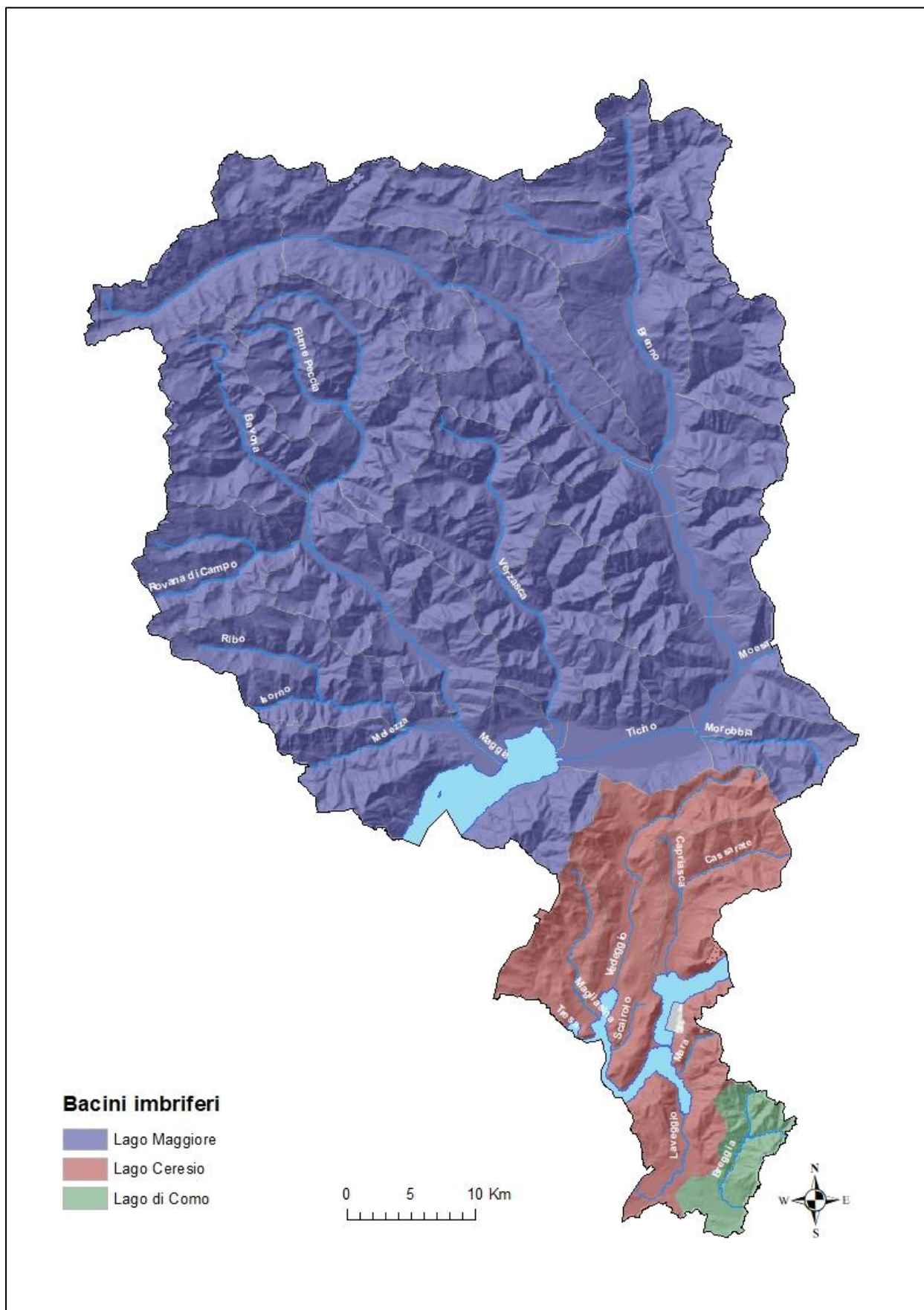


Figura 2: bacini imbriferi principali del Canton Ticino

2 Materiale e metodi

2.1 Area di studio

Il Canton Ticino copre un'area di 2.812 km², che corrisponde a circa un quindicesimo della superficie nazionale. Il Canton Ticino si estende per circa 90 km sull'asse nord-sud e 60 km da est a ovest. Le Alpi dominano nel Sopraceneri, dove più della metà della superficie si trova sopra i 1.500 m di altitudine (USTAT, 2018).

Il Canton Ticino può essere suddiviso in 3 grandi bacini idrografici: il bacino imbrifero del Lago Maggiore comprende tutti i fiumi che vi sfociano (i principali in territorio elvetico sono Ticino, Brenno, Verzasca, Maggia, Melezza, Moesa e Tresa), il bacino imbrifero del Lago di Lugano (Vedeggio, Cassarate, Magliasina, Laveggio, Mara) e il bacino imbrifero del Lario (Lago di Como) che comprende il fiume Breggia e i suoi affluenti. L'intero territorio fa parte del bacino idrografico del fiume Po (Figura 2), salvo due piccole aree montane che scaricano le proprie acque nella Reuss (zona Passo del San Gottardo) e nel Reno di Medel (Val Termine e Cadlimo), che per semplicità non vengono considerate ulteriormente in questo studio.

Le società di pesca locali che gestiscono un allevamento ittico in ottemperanza al piano di ripopolamento cantonale sono le seguenti: Alta Leventina, Leventinese, Biaschese, Bleniese, Verzaschese, Bellinzonese, Valmaggese, Locarnese, Onserone-Melezza, Ceresiana e Assoreti (Figura 3, piscicoltura in viola).

A titolo esemplificativo, vengono riportati i quantitativi di novellame di trota atlantica (*S. trutta*) introdotti nelle acque cantonali nell'anno 2018: 30.000 uova, 20.000 avannotti, 83.200 avannotti nutriti, 698.978 estivali della forma residente e 570.000 uova, 290.000 avannotti nutriti, 110.000 pre-estivali, 555.570 estivali della forma migratrice (lacustre). Oltre a questi sono stati seminati 86.000 avannotti nutriti di trota marmorata. Alla luce dei numeri riscontrati, è facile affermare come il mondo della pesca ticinese faccia ancora ampio affidamento alle pratiche di ripopolamento nell'intento di sostenere i fiumi cantonali.

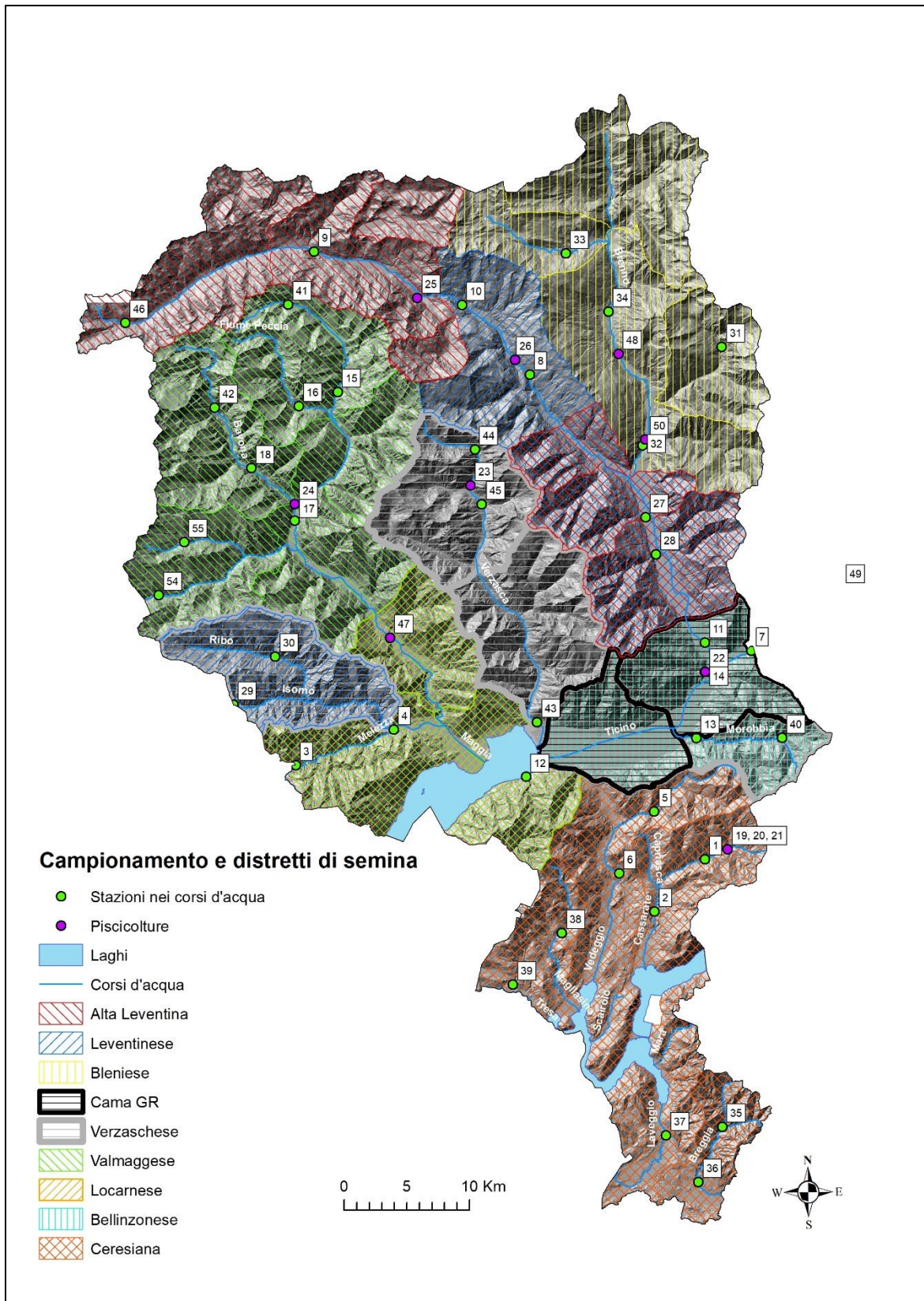


Figura 3 : cartina del Canton Ticino con indicati i siti di campionamento e i distretti di semina del materiale ittico delle piscicoltura.

2.2 Campionamento

Il campionamento è avvenuto nei mesi di marzo, aprile, maggio e giugno del 2019. Durante questi mesi, in collaborazione con l'Ufficio della caccia e della pesca e con la partecipazione di collaboratori esterni, sono state effettuate delle pesche elettriche quantitative (2 passaggi consecutivi) su 100 metri di fiume. In ogni stazione è stato prelevato un campione di tessuto (pinna adiposa) di 30 pesci per le successive analisi genetiche. A seguito del rilevamento, tutti i pesci sono stati rilasciati nel luogo di cattura.

I siti di campionamento sono stati scelti in base ai seguenti criteri:

1. Il campionamento è stato effettuato nei tre principali bacini idrografici del cantone (Lago Maggiore, Ceresio e Lario).
2. Tutti i principali fiumi del Canton Ticino sono stati campionati in almeno una stazione.
3. Sono stati campionati un certo numero di affluenti su tutti i corsi d'acqua principali.
4. I siti di campionamento sono stati ottimizzati in base alla loro permeabilità piscicola. Di conseguenza, si è tenuto conto della morfologia del territorio e degli ostacoli (naturali e artificiali) alla libera migrazione ittica per limitare il più possibile il campionamento di popolazioni probabilmente molto vicine geneticamente.
5. Sono stati campionate tutte le piscicoltura che producono il materiale ittico per il piano di ripopolamento cantonale, compreso lo stabilimento grigionese di Cama.



Figura 5 : campionamento effettuato dai guardapesca e dai volontari esterni

Inoltre, sono stati recuperati i campioni di riferimento. Per la trota marmorata sono stati utilizzati i campioni di riferimento impiegati in Dagani (2010) (provenienza Maglio di Colla, fiumi Melezza e Toce), ai quali son stati aggiunti alcuni nuovi campioni del fiume Toce raccolti da Pietro Volta e dal suo team del CNR-ISE di Verbania-Pallanza. Per le referenze della trota adriatica è stata effettuata una pesca elettrica sul fiume Pellice in collaborazione con Paolo Lo Conte (Città metropolitana di Torino), in quanto lì risulta ancora presente una popolazione di *Salmo cenerinus*. Per la trota atlantica sono stati utilizzati i campioni di riferimento del Canton Soletta (Vonlanthen, 2017).

In totale sono stati analizzati 1.697 campioni: 359 provenienti dalle piscicoltura, 1.223 dai corsi d'acqua e 115 di riferimento. Tutte le trote campionate in questo studio sono state fotografate in acquario prima del campionamento genetico e del successivo rilascio.

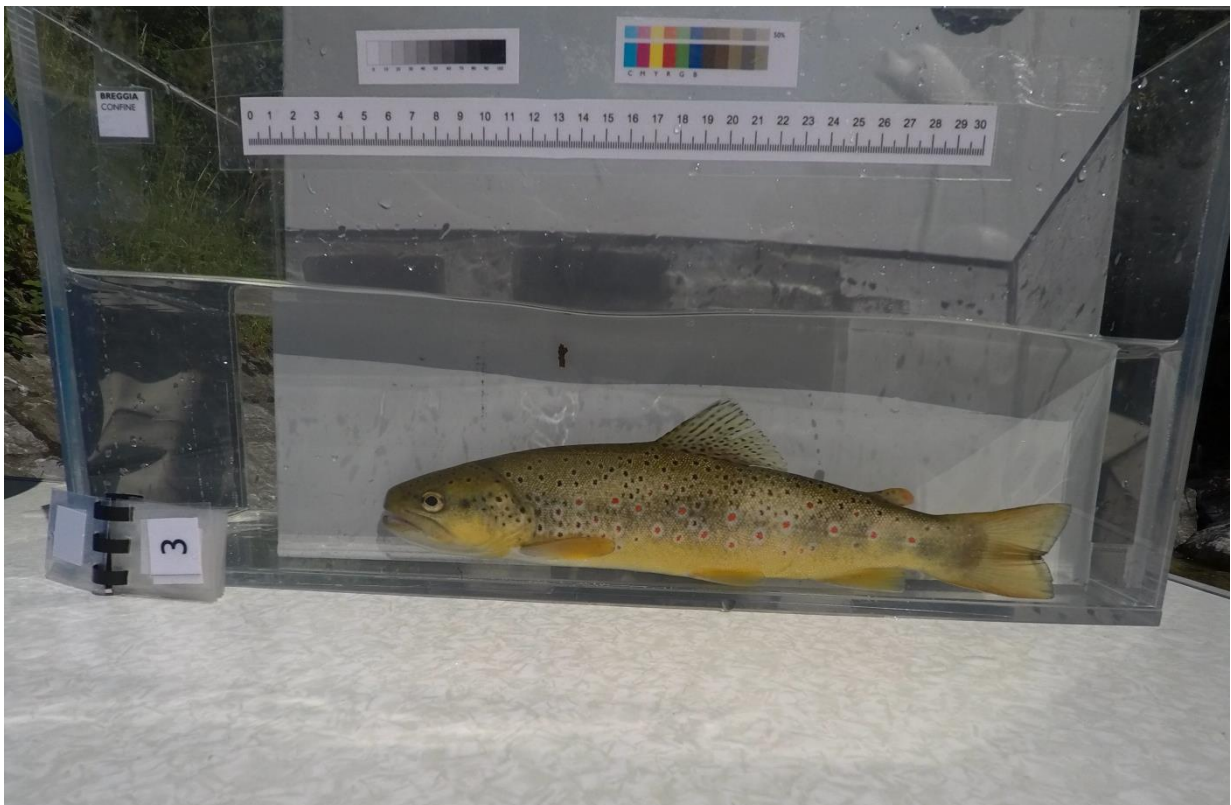


Figura 6 : trota fario atlantica catturata nel fiume Breggia

Tipo	Bacino imbrifero	Corso d'acqua	Località	Popolazione	Coordinata X	Coordinata Y	Numero di pesci
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Cassarate	Ponte Curtina	1	722743	104465	30
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Cassarate	Piano Stampa	2	718734	100293	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Melezza	Confine	3	690038	112006	31
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Melezza	Intragna	4	697868	114852	30
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Vedeggio	Medeglia	5	718702	108300	30
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Vedeggio	Afor	6	715893	103342	35
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Moesa	Confine	7	726475	121174	29
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ticino	Lavorgo	8	708154	104755	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ticino	Stalvedro	9	691494	153109	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ticino	Polmengo	10	703324	148825	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ticino	Gnosca	11	722758	121820	32
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Gambarogno	riale Vadina	12	708460	111068	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Morobbia	Monte Centrale	13	722059	114167	29
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Riale di Gorduno	Bandita	14	722761	119463	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Lavizzara	Camblee	15	693389	141870	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Peccia	Bacino	16	690296	140741	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Maggia	Bignaschina	17	689977	131576	34
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Bavona	Sabbione	18	686491	135768	28
Piscicoltura	Ceresio/Como	Pisciculture	Ceresiana	19-20-21	724564	105264	90
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Bellinzonese	22	722779	119480	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Verzaschese	23	704006	134390	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Valmaggese	24	689959	132893	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Alta Leventina	25	699757	149402	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Leventinese	26	707588	144439	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Riale di Iragna	Ponte	27	718006	131831	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Riale di Lodrino	Ponte	28	718853	128863	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Isorno	Bagni di Craveggia	29	685065	116844	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ribo	Confluenza Camana	30	688393	120689	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Orino	Fontanéé	31	724103	145475	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Brenno	Legiüna	32	717787	137574	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Brenno Lucomagno	Pü	33	711626	152949	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Brenno	Pont di Fräsch	34	715041	148306	30
Corso d'acqua	Lago di Como	Breggia	Bruzella	35	724147	83079	30
Corso d'acqua	Lago di Como	Breggia	Manor	36	722236	78643	30
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Laveggio	Piscine	37	719642	82393	31
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Magliasina	Ponte di Vello	38	711322	98565	30
Corso d'acqua	Lago Ceresio	Tresa	Lisora	39	707401	94445	32
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Morobbia	Ponte Fossada	40	728930	114182	29
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Lavizzara	Campo la Torba	41	689433	148854	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Bavona	San Carlo	42	683551	140605	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Verzasca	Gordola	43	709327	115453	27
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Verzasca	Cabioi	44	704364	137261	33
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Verzasca	Frasco	45	704919	132880	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Ticino	Novena	46	676410	147394	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Locarnese	47	697582	122213	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Bleniese	48	715843	144923	30
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Cama	49	733684	126210	29
Piscicoltura	Lago Maggiore	Pisciculture	Biaschese	50	717995	138076	30
Mix	Ceresio/Maggiore	Diego Master		51			44
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Toce	Toce	52			14
Corso d'acqua	Po	Pellice	Villar Pellice	53			15
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Rovana di Campo	Confine	54	679092	125614	42
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Rovana di Bosco	Impianti	55	681118	129852	30
Corso d'acqua	Lago Maggiore	Maggiore	DD	56			1
Corso d'acqua	Aar	Soletta	Soletta	57			42
Total							1697

Figura 7: tabella riassuntiva del campionamento

2.3 Laboratorio

Il lavoro di laboratorio è stato svolto da Aquabios Sàrl utilizzando la metodologia applicata da Vonlanthen *et al.* (2017) nell'ambito dello studio genetico condotto sulle trote del Canton Argovia.

L'acido desossiribonucleico (DNA) è stato estratto dai campioni di pinne (solitamente frammenti di pinna adiposa) utilizzando un metodo di precipitazione Chelex. La reazione a

catena della polimerasi (PCR) del DNA è stata eseguita in un volume di reazione di 4,25 µl con i seguenti componenti: 2,5 µl di master mix QI-AGEN multiplex PCR, 1,75 µl di ddH₂O, 0,75 µl di DNA e 0,115 µl di miscela di primer. I primer che sono stati utilizzati sono i seguenti: SL438, Ssa100, Ssa197, Ssa85, SsoSL417, Str15, Str2, Str543, Str591, Str60, Str73, Strutta12. Il profilo della PCR inizia con la denaturazione del DNA a 94°C per 15 minuti, seguito da 35 cicli di 30 secondi a 94°C, 90 secondi a 54°C e 90 secondi a 72°C; e termina con un ciclo di 30 minuti a 60°C.

I frammenti di DNA di ciascun prodotto di PCR sono stati separati utilizzando un sequenziatore di DNA (ABI PRISM® 3100 Genetic Analyzer). Per questo, sono stati utilizzati 0,9 µl di reazione PCR diluiti a 1/5 con 8,975 µl di formammide Hi-Di™ e 0,025 µl di uno standard di lunghezza (GeneScan™ 500 LIZ® Color Standard Size v2.0). L'identificazione degli alleli dei microsatelliti è stata eseguita automaticamente utilizzando il software di analisi dei frammenti GENEMARKER e quindi verificata manualmente.

2.4 Analisi statistiche

Per l'analisi statistica, sono stati utilizzati i seguenti programmi di genetica della popolazione: ARLEQUIN (Excoffier, 2010), STRUCTURE (Pritchard, 2010), FSTAT (Goudet, 1993), GENEPOP (Rousset, 1995). Ove opportuno, la funzione di un'analisi o di un test viene discussa direttamente nei risultati. Alcuni siti di campionamento sono stati esclusi da alcune analisi statistiche a causa delle piccole dimensioni del campione che ne inficiavano la rappresentatività.

3 Risultati

3.1 Differenze genetiche tra i siti campionati

La differenziazione genetica tra due popolazioni dipende da vari fattori: i due più importanti sono la deriva genetica e il flusso genico tra le diverse popolazioni. Il termine deriva genetica denota il cambiamento casuale del patrimonio genetico non soggetto a selezione naturale che viene trasmesso di generazione in generazione. Ciò comporta delle differenze genetiche nei marcatori neutri (p. es., sequenze di DNA microsatellite). Più piccola è la popolazione, maggiore è la deriva genetica e più veloce è la differenziazione genetica. Al contrario, il flusso genico porta popolazioni diverse a riavvicinarsi, il che significa che si mescoleranno geneticamente diminuendo il loro grado di differenziazione. Le differenze genetiche oggi osservate dipendono quindi essenzialmente dall'origine naturale o artificiale del pesce, dalle dimensioni della popolazione (attuale e passata) e dal flusso di geni intercorso tra le popolazioni.

La misura più comunemente usata per la differenziazione genetica è l'indice di fissazione F_{ST} . Può assumere valori compresi tra 0 (nessuna differenziazione) e 1 (completamente diversi). I valori di F_{ST} compresi tra 0 e 0,05 indicano una piccola differenza, i valori tra 0,05 e 0,15 una differenza moderata, i valori tra 0,15 e 0,25 una grande differenza e valori $> 0,25$ sono indicatori di una differenziazione genetica molto forte (Vonlanthen *et al.*, 2016).

Dei 1.540 confronti a coppie in tutto il Cantone, il 98% ha mostrato differenze genetiche statisticamente significative, solo il 2% ha ottenuto un risultato non significativo (Allegato 7.5). La maggior parte dei siti campionati sono quindi risultati geneticamente diversi l'uno dall'altro. In generale, solo valori di F_{ST} molto piccoli inferiori a 0,01 non sono stati trovati significativi.

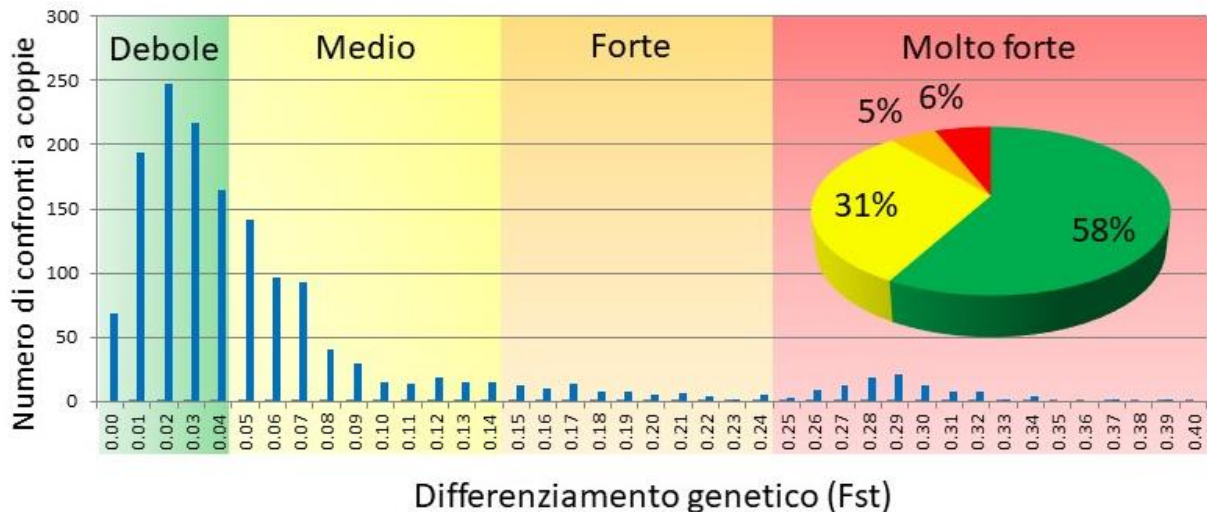


Figura 8: differenziamento genetico (F_{ST}) delle popolazioni fluviali ticinesi, con campioni di riferimento

Quando analizziamo i confronti a coppie tra i siti, possiamo vedere che il 58% di essi mostra piccole differenze genetiche (Figura 8). Il 31% presenta differenze genetiche medie, mentre il 5% presenta differenze genetiche forti e il 6% molto forti. Le differenze più marcate sono dovute al fatto che il calcolo è stato effettuato tenendo conto anche dei campioni di riferimento (geneticamente molto diversi dalle trote presenti nei fiumi ticinesi). La media è 0,065. Le differenze osservate si situano in un range paragonabile a quanto riscontrato in altri studi genetici effettuati sulla trota in Svizzera (Vonlanthen *et al.*, 2016).

Analizzando solo la situazione in Ticino ed escludendo quindi i campioni di riferimento, le differenze genetiche sono meno marcate (Figura 9). Si può vedere che il 63% di questi confronti a coppie tra i siti mostra piccole differenze genetiche, il 36% ha differenze genetiche medie e solo l'1% ha forti differenze genetiche.

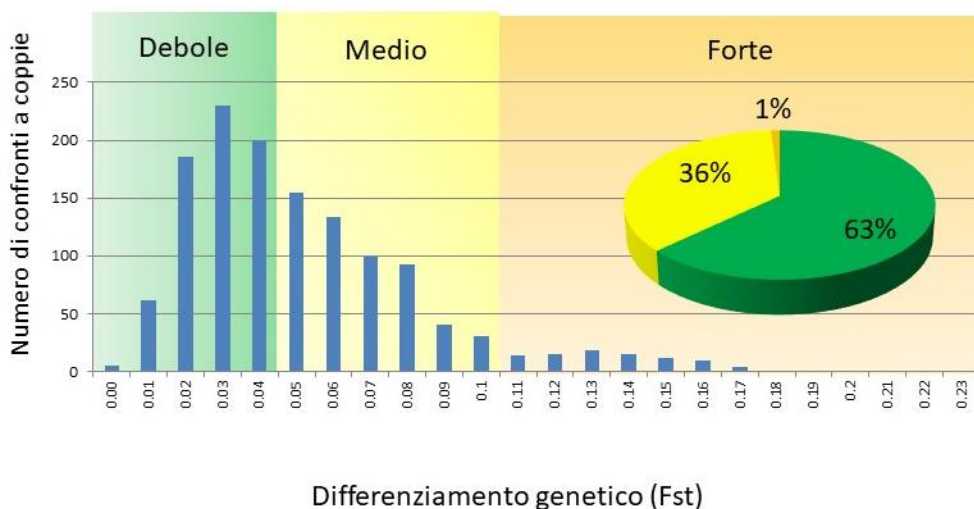


Figura 9 : differenziamento genetico (F_{ST}) delle popolazioni ticinesi, senza campioni di riferimento

3.2 Le trote degli stabilimenti piscicoli utilizzate per il ripopolamento sono ancora adatte per una gestione a lungo termine?

Per meglio rispondere a questa domanda son stati effettuati dei raggruppamenti in base ai distretti di distribuzione del materiale ittico delle diverse piscicoltura. L'analisi è stata quindi suddivisa in 9 distretti: Alta Leventina, Leventinese, Bleniese, Bellinzonese, Moesano, Verzaschese, Valmaggese, Locarnese e Ceresiana.

Per ogni società di pesca con incubatoio è stato effettuato uno studio dell'indice F_{ST} (oltre all'analisi generale) per comprendere nel dettaglio le differenze che si possono riscontrare nell'areale di propria competenza, ossia le aste fluviali influenzate dalle immissioni provenienti dalla piscicoltura stessa.

Inoltre, per ogni distretto, è stata eseguita un'analisi utilizzando il software STRUCTURE. Questo approccio consente di determinare il numero di popolazioni geneticamente differenziabili: gli individui vengono assegnati a singoli gruppi sulla base delle informazioni genetiche. Il numero di possibili unità genetiche è stato stimato per tutti i siti campionati e testati prima di essere impostati a $k = 1$ a $k = n + 1$, dove n = il numero di popolazioni attraverso il metodo Δk descritto da Evanno *et al.* (2005) utilizzando STRUCTURE Harvester (Earl *et al.*, 2012). È stato eseguito un controllo visivo di k , in seguito è stato scelto il valore k più appropriato per la presentazione dei risultati.

I grafici creati utilizzando il software mostrano un grafico a barre per illustrare la struttura della popolazione di trote per un k di 4 o 5 gruppi o popolazioni di presunto genotipo, ciascuna simboleggiata da un colore diverso. Ogni barra verticale colorata simboleggia un individuo. Le trote sono state raggruppate in base alla loro origine (vedi legenda). I diversi segmenti colorati nelle barre rappresentano l'appartenenza al rispettivo gruppo genotipico, come probabilità a posteriori. Le popolazioni no. 51, 52, 53, 57 costituiscono sempre i campioni di riferimento.

3.2.1 Alta Leventina

Per il comprensorio dell'Alta Leventina sono state raggruppate 6 stazioni: Stalvedro (9), piscicoltura di Rodi (25), Iragna (27), Lodrino (28), Novena (46) e piscicoltura della Biaschese (50).

Analisi F_{ST}

	9	25	27	28	46	50
9		+	+	+	+	+
25	0.0134		+	+	-	+
27	0.0150	0.0231		+	+	+
28	0.0102	0.0433	0.0406		+	+
46	0.0112	0.0005	0.0263	0.0404		+
50	0.0460	0.0212	0.0427	0.0746	0.0428	

valori tra 0-0.05	93%	Significativo	93%
valori tra 0.05-0.15	7%	non significativo	7%
valori tra 0.15-0.25	0%		
valori > 0.25	0%		

Figura 10 : tabella F_{ST} Alta Leventina

- La maggior parte delle differenze sono significative (Figura 10). Il valore F_{ST} medio dei corsi d'acqua ripopolati dalla società di pesca Alta Leventina è di 0,0301.
- Una differenza non è significativa: il sito di campionamento 46 (Novena) rispetto a 25 (allevamento di Rodi). Il valore F_{ST} è 0,0005. Ciò significa che non vi è alcuna differenza genetica sostanziale tra le due popolazioni.
- Il sito 50 (piscicoltura della Biaschese), che riceve pesce anche dalla società di pesca Alta Leventina, presenta notevoli differenze rispetto a quelli del riale di Lodrino (28) dove quest'ultima effettua dei ripopolamenti.
- I valori F_{ST} di Stalvedro (9), Iragna (27) et Lodrino (28) rispetto alle due piscicoltura mostrano valori di F_{ST} piuttosto bassi ma significativi.

Analisi STRUCTURE

L'analisi visiva dei risultati ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 4 unità genetiche ($k = 4$; Figura 11).

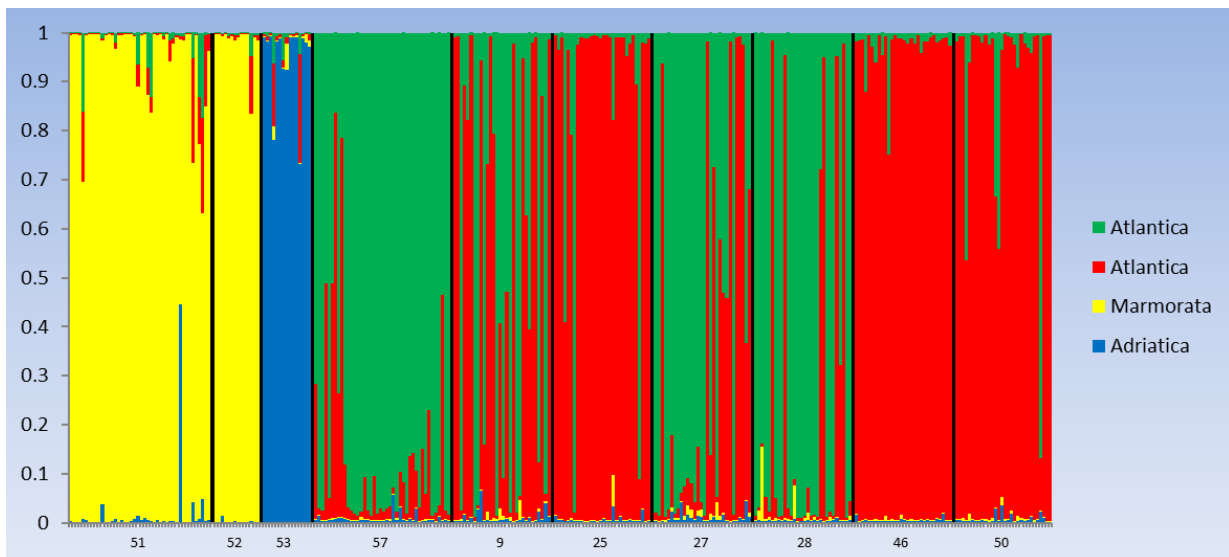


Figura 11 : grafico STRUCTURE Alta Leventina

3.2.2 Leventinese

Per il comprensorio della Leventinese sono state raggruppate 8 stazioni: Lavorgo (8), Polmengo (10) piscicoltura di Lavorgo (26), Iragna (27), Lodrino (28), Isorno (29), Ribo (30) e piscicoltura della Biaschese (50).

Analisi F_{ST}

	8	10	26	27	28	29	30	50
8	-	-	+	+	+	+	+	+
10	0.0020	-	+	+	+	+	+	+
26	0.0623	0.0585	-	+	+	+	+	+
27	0.0584	0.0465	0.0211	-	+	+	+	+
28	0.0119	0.0104	0.0498	0.0406	-	+	+	+
29	0.0620	0.0557	0.0609	0.0387	0.0551	-	+	+
30	0.0279	0.0263	0.0686	0.0683	0.0195	0.0562	-	+
50	0.0960	0.0985	0.0135	0.0427	0.0746	0.0808	0.0950	-

valori tra 0-0.05	46%
valori tra 0.05-0.15	54%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	96%
non significativo	4%

Figura 12 : tabella F_{ST} Leventinese

- La maggior parte delle differenze sono significative (Figura 12). Il valore F_{ST} medio dei corsi d'acqua ripopolati dalla società di pesca la Leventinese è di 0,0501.
- La differenza non significativa tra il sito di campionamento 8 e il sito 10 sembra indicare che la popolazione a livello genetico sia la stessa.

- La Leventinese fornisce dei pesci che sono seminati in valle Onsernone e in valle di Vergeletto (Isorno - 29 e Ribo - 30), l' F_{ST} medio è di 0,064.
- L'allevamento ittico della Biaschese riceve dei pesci dalla Leventinese è il valore F_{ST} tra le due piscicoltura è pari a 0,0135.

Analisi STRUCTURE

L'analisi visiva ha rivelato che era possibile differenziare un totale di 5 unità genetiche ($k = 5$; Figura 13).

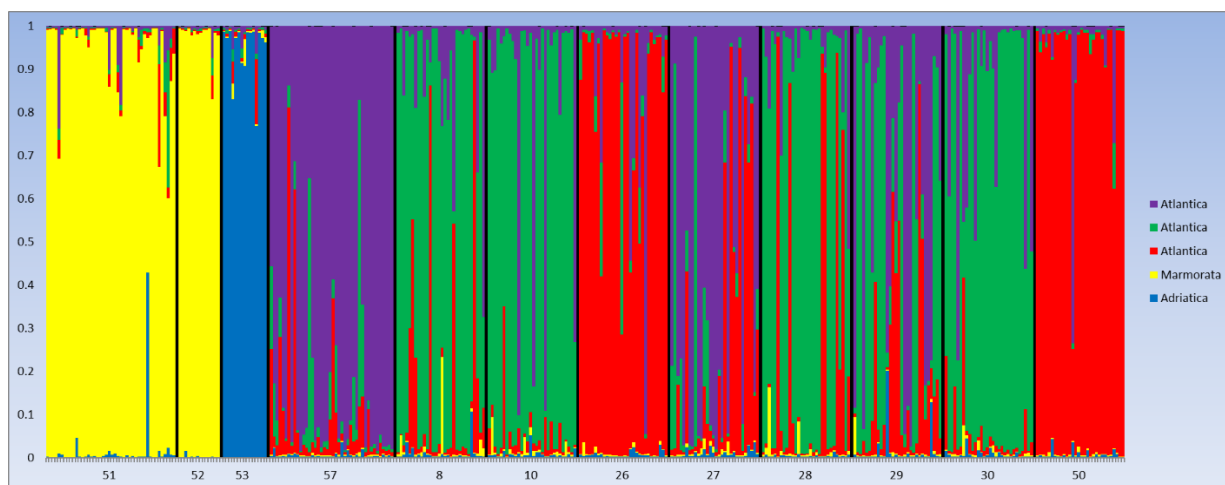


Figura 13: grafico STRUCTURE Leventinese

3.2.3 Bleniese

Per il distretto della Bleniese sono state raggruppate 5 stazioni: Orino (31), Legiuna (32) Pü (33), Pont di frasch (34) e la piscicoltura di Corzoneso (48).

Analisi F_{ST}

	31	32	33	34	48
31		+	+	+	-
32	0.02556		+	-	+
33	0.04041	0.01413		+	+
34	0.02613	0.0069	0.01729		+
48	0.00545	0.04103	0.05483	0.04047	

valori tra 0-0.05	90%	Significativo	80%
valori tra 0.05-0.15	10%	non significativo	20%
valori tra 0.15-0.25	0%		
valori > 0.25	0%		

Figura 14: tabella F_{ST} Bleniese

- La maggior parte delle differenze sono significative (Figura 14). Il valore medio dell'indice F_{ST} è di 0,027.
- Due differenze non sono significative: una è il fiume Orino (31) rispetto all'allevamento ittico della Bleniese (48) per un valore di F_{ST} pari a 0,005. L'altro è il sito 32 rispetto al sito 34 per un valore di 0,0069.
- Il valore F_{ST} più alto riscontrato è tra Pü (33) e la piscicoltura (48).

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 4 unità genetiche ($k = 4$; Figura 15)

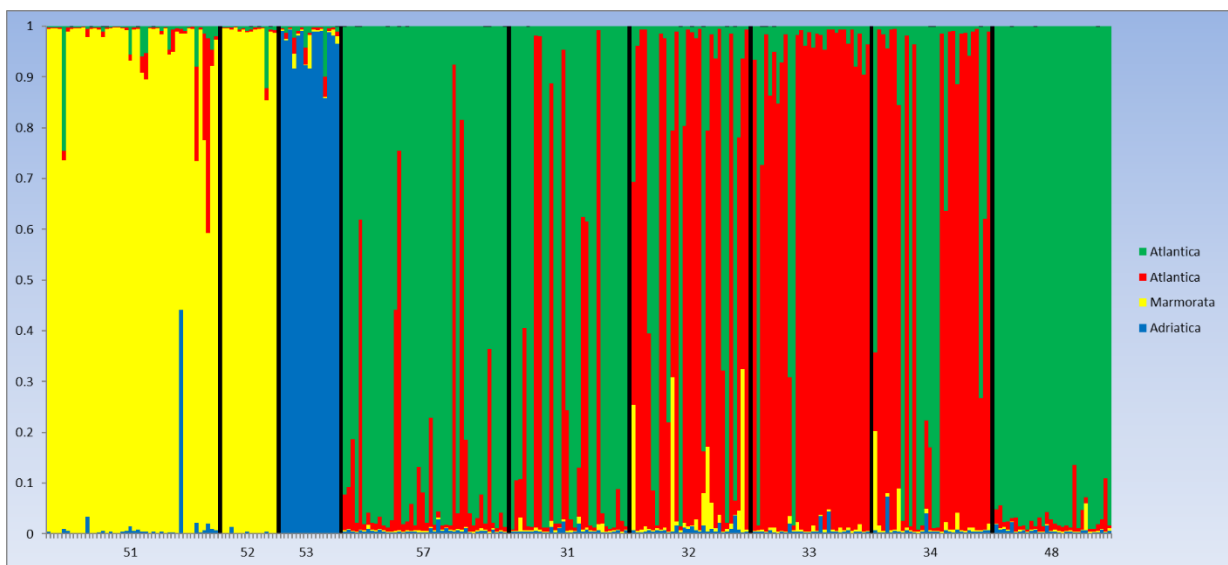


Figura 15 : grafico STRUCTURE Bleniese

3.2.4 Bellinzonese

Per il distretto della Bellinzonese sono state raggruppate 6 stazioni: Moesa (7), Gnosca (11) Morobbia centrale (13), Gorduno (14), la piscicoltura di Gorduno (22) e Morobbia Fossada (40).

Analisi F_{ST}

	7	11	13	14	22	40
7		+	+	+	+	+
11	0.00842		+	+	+	+
13	0.02612	0.02095		+	+	+
14	0.03236	0.03236	0.0233		+	+
22	0.04893	0.02978	0.05327	0.04151		+
40	0.07057	0.07208	0.06024	0.07952	0.12224	

valori tra 0-0.05	60%
valori tra 0.05-0.15	40%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figura 16: tabella F_{ST} Bellinzonese

- Tutti i risultati sono significativi (Figura 16). L' F_{ST} medio è di 0,048.
- Il sito Morobbia Fossada (40) ha grandi differenze con tutti gli altri siti campionati.
- Il valore F_{ST} maggiore è di 0.122.

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 4 unità genetiche ($k = 4$; Figura 17)

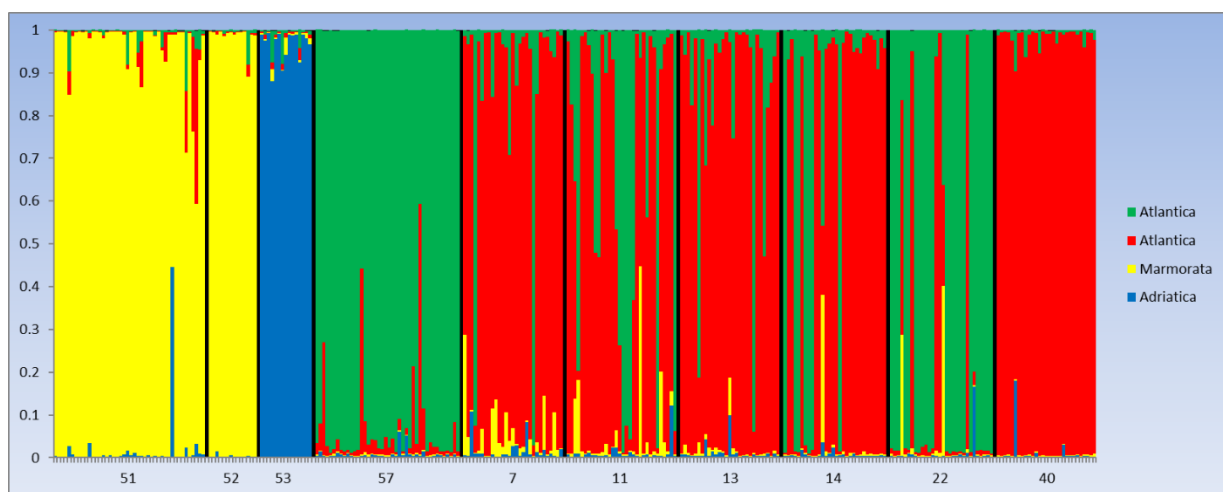


Figura 17 : grafico STRUCTURE Bellinzonese

3.2.5 Moesano

Per il distretto del Moesano sono state raggruppate 4 stazioni: Moesa (7), Gnosca (11), Gorduno (14), piscicoltura di Cama (49).

Analisi F_{ST}

	7	11	14	49
7		+	+	+
11	0.00842		+	+
14	0.03236	0.03236		+
49	0.01471	0.01899	0.02863	

valori tra 0-0.05	100%
valori tra 0.05-0.15	0%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figura 18: tabella F_{ST} Moesano

- Tutte le differenze sono significative (Figura 19). Il valore F_{ST} medio è 0,022.
- Il valore F_{ST} di confronto tra Moesa (7) e l'allevamento ittico di Cama (49) è molto basso.

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 4 unità genetiche ($k = 4$; Figura 19)

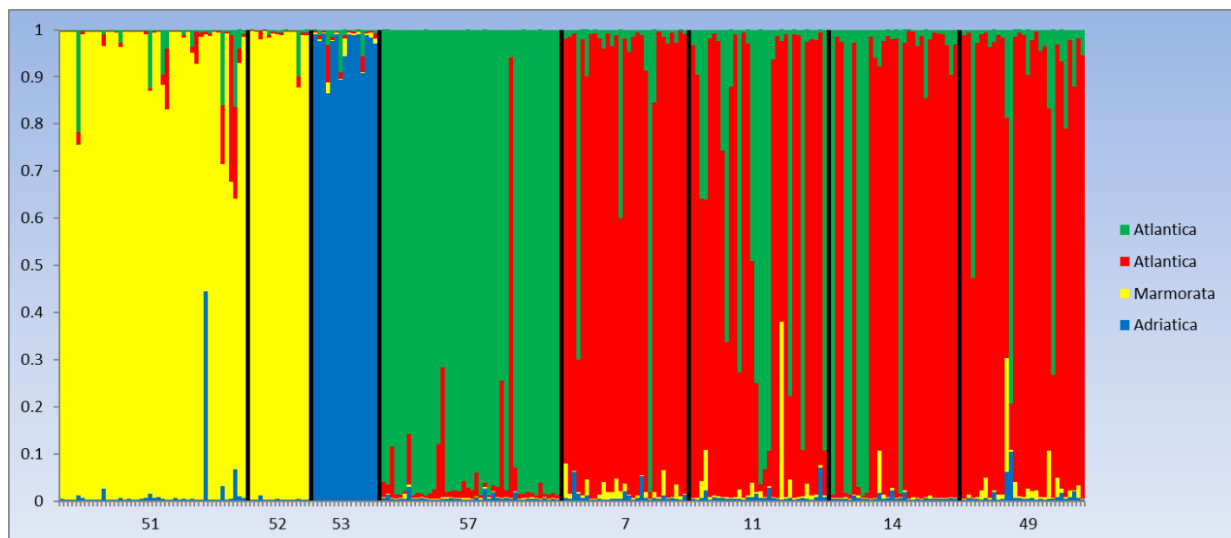


Figura 19 : grafico STRUCTURE Moesano

3.2.6 Verzaschese

Per il comprensorio della Verzaschese sono state raggruppate 11 stazioni: Moesa (7), Gnosca (11), Morobbia centrale (13), Gorduno (14), Isorno (29), Ribo (30), Morobbia Fossada (40), Gordola (43), Cabioi (44), Frasco (45) e la piscicoltura di Sonogno (23).

Analisi F_{ST}

	7	11	13	14	29	30	40	43	44	45	23
7		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
11	0.00842		+	+	+	+	+	+	+	+	+
13	0.02612	0.02095		+	+	+	+	+	+	+	+
14	0.03236	0.03236	0.0233		+	+	+	+	+	+	+
29	0.05572	0.04902	0.06934	0.06479		+	+	+	+	+	+
30	0.02193	0.0244	0.02332	0.0273	0.05622		+	+	+	+	+
40	0.07057	0.07208	0.06024	0.07952	0.13336	0.09685		+	+	+	+
43	0.02514	0.02832	0.02874	0.03826	0.07877	0.03184	0.05847		+	+	+
44	0.04212	0.0506	0.05158	0.0319	0.09062	0.04031	0.08737	0.04489		+	+
45	0.02988	0.03601	0.0319	0.03961	0.08266	0.04557	0.04149	0.03745	0.04253		+
23	0.07188	0.05342	0.07877	0.07015	0.04962	0.07643	0.14213	0.08699	0.09856	0.10679	

valori tra 0-0.05	53%	Significativo	100%
valori tra 0.05-0.15	47%	non significativo	0%
valori tra 0.15-0.25	0%		
valori > 0.25	0%		

Figura 20 : tabella F_{ST} Verzaschese

- Tutte le differenze sono significative. Il valore medio di F_{ST} è 0,054.
- La piscicoltura mostra un F_{ST} elevato rispetto a tutti i fiumi studiati. Media di 0,0834.

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 5 unità genetiche ($k = 5$; Figura 21).

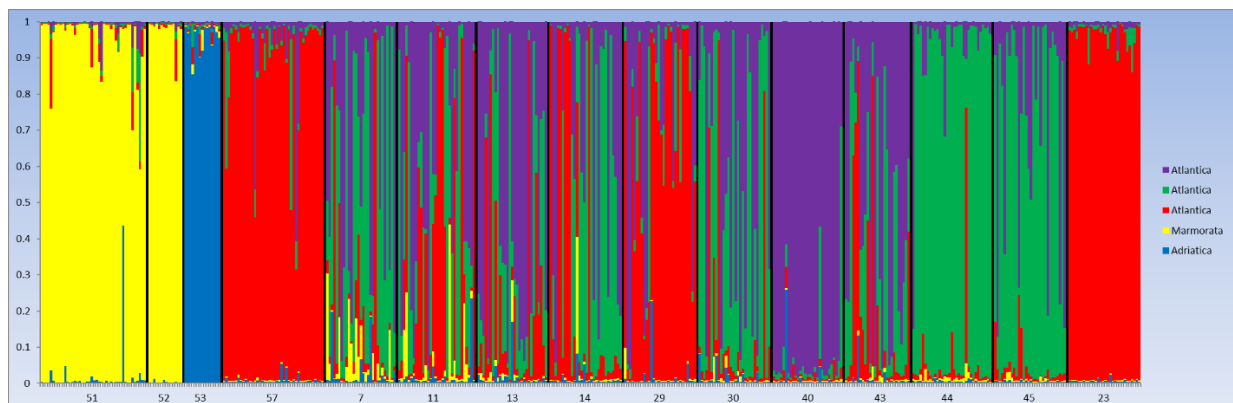


Figura 21 : grafico STRUCTURE Verzaschese

3.2.7 Valmaggese

Per il comprensorio della Valmaggese sono state raggruppate 12 stazioni: Melezza Camedo (3), Melezza Golino (4), Vadina (12), Maggia Camblée (15), Peccia (16), Maggia Bignaschina (17), Bavona Sabbione (18), piscicoltura di Bignasco (24), Lavizzara Campo la Torba (41), Bavona San Carlo (42) Rovana di Campo (54) et Rovana di Bosco (55).

Analisi F_{ST}

	3	4	12	15	16	17	18	24	41	42	54	55
3		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
4	0.01653		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
12	0.05076	0.01055		+	-	+	+	+	+	+	-	-
15	0.09385	0.06689	0.0545		+	+	+	+	+	+	+	+
16	0.05433	0.0145	0.00005	0.07048		+	+	-	-	+	-	-
17	0.05643	0.02253	0.00779	0.01695	0.01873		-	+	+	-	+	+
18	0.06898	0.0385	0.02063	0.00993	0.02748	0.00483		+	+	-	+	+
24	0.06224	0.01883	0.01022	0.09251	-0.00133	0.02743	0.04671		-	+	+	-
41	0.06981	0.02709	0.01578	0.11049	0.00509	0.03786	0.06305	-0.00231		+	+	+
42	0.05412	0.02697	0.01544	0.02315	0.02056	0.00333	0.00583	0.03327	0.0487		+	+
54	0.05006	0.01355	0.0008	0.06822	0.00319	0.01358	0.03407	0.01083	0.01724	0.02189		-
55	0.05322	0.01464	0.00518	0.07058	-0.0051	0.01946	0.02714	-0.00054	0.00977	0.01952	0.00414	

valori tra 0-0.05	73%	Significativo	80%
valori tra 0.05-0.15	27%	non significativo	20%
valori tra 0.15-0.25	0%		
valori > 0.25	0%		

Figura 22: tabella F_{ST} Valmaggese

- L'80% delle differenze è significativo. Il 20% dei confronti ha fornito risultati non significativi. Il valore medio di F_{ST} é di 0,030.
- Il sito di campionamento Melezza (3) a Camedo ha dato risultati elevati rispetto a tutti gli altri siti studiati tranne quello più vicino situato lungo lo stesso corso d'acqua (4) della Melezza a Golino. L' F_{ST} medio é di 0,057.
- Il sito di campionamento della Maggia a Camblée (15) mostra differenze piuttosto significative con i siti 16, 24, 41, 54, 55. Con i siti 17, 18 e 42 (i più vicini), le differenze sono meno significative.

Analisi Structure

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 5 unità genetiche ($k = 5$: Figura 23).

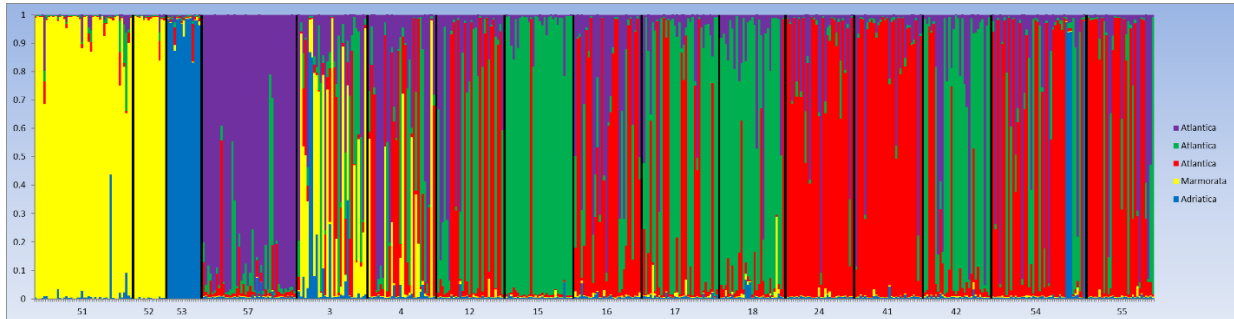


Figura 23 : grafico STRUCTURE Valmaggese

3.2.8 Locarnese

Per il comprensorio della Locarnese sono state raggruppate 5 stazioni: Melezza Camedo (3), Melezza Golino (4), Vadina (12), Gordola (43) e la piscicoltura di Maggia (47).

Analisi F_{ST}

	3	4	12	43	47
3		+	+	+	+
4	0.01653		+	+	+
12	0.05076	0.01055		+	+
43	0.09074	0.05997	0.05818		+
47	0.07164	0.05063	0.05301	0.09043	

valori tra 0-0.05	20%
valori tra 0.05-0.15	80%
valori tra 0.15-0.25	0%
valori > 0.25	0%

Significativo	100%
non significativo	0%

Figura 24 : tabella F_{ST} Locarnese

- Tutte le differenze sono significative. Il valore medio di F_{ST} è di 0.055.
- La piscicoltura (43) mostra F_{ST} superiori rispetto ai corsi d'acqua nei quali avvengono i ripopolamenti con il materiale ittico prodotto dalla stessa.

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 5 unità genetiche ($k = 5$: Figura 25).

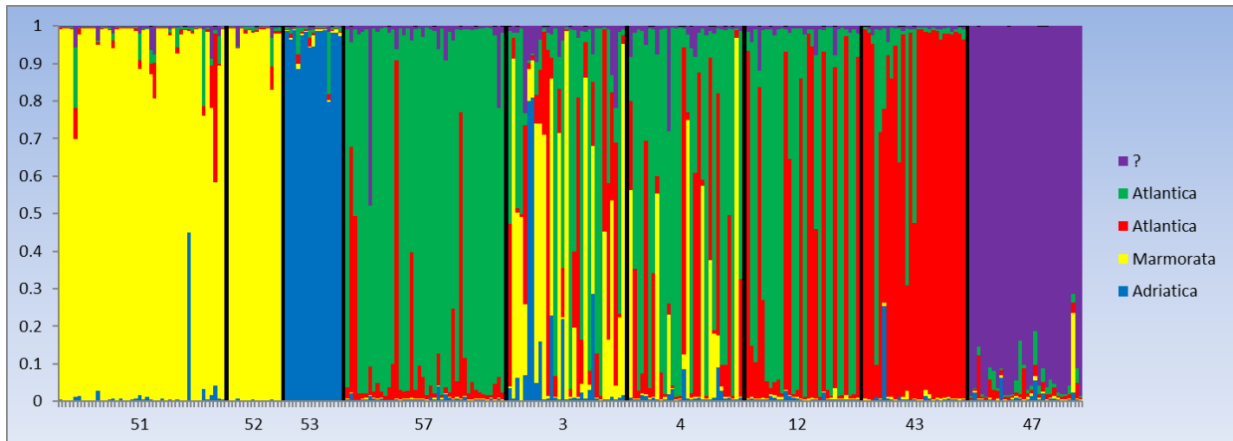


Figura 25 : grafico STRUCTURE Locarnese

3.2.9 Ceresiana

Per il comprensorio della Ceresiana sono state raggruppate 12 stazioni: Cassarate Curtina (1), Cassarate Stampa (2), Veduggio Afor (5), Veduggio Medeglia (6), forma residente di *Salmo trutta* della piscicoltura (19), forma migratrice di *Salmo trutta* di piscicoltura (20), trota marmorata della piscicoltura (21), Breggia Bruzzella (35), Breggia Manor (36), Laveggio (37), Magliasina (38) e Lisora (39).

Analisi F_{ST}

	1	2	5	6	19	20	21	35	36	37	38	39
1		-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	0.00408		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
5	0.0391	0.04151		+	+	+	+	+	+	+	+	+
6	0.01963	0.02066	0.01975		+	+	+	+	+	+	+	+
19	0.01003	0.02028	0.07027	0.04399		-	+	+	+	+	+	+
20	0.03092	0.04423	0.10118	0.06564	0.00782		+	+	+	+	+	+
21	0.11592	0.13139	0.16756	0.13731	0.11837	0.1444		+	+	+	+	+
35	0.03642	0.03228	0.0258	0.02663	0.06036	0.09102	0.16797		+	+	+	+
36	0.00829	0.01724	0.0402	0.01976	0.01704	0.03405	0.12889	0.03459		+	+	+
37	0.01159	0.01299	0.038	0.01765	0.024	0.04938	0.14706	0.03466	0.01099		+	+
38	0.02347	0.01755	0.01582	0.02185	0.04519	0.07656	0.15364	0.00988	0.02278	0.01646		+
39	0.02494	0.03184	0.04368	0.01685	0.03744	0.06952	0.15227	0.03767	0.01523	0.01472	0.02871	

valori tra 0-0.05	73%	Significativo	97%
valori tra 0.05-0.15	21%	non significativo	3%
valori tra 0.15-0.25	6%		
valori > 0.25	0%		

Figura 26: tabella F_{ST} Ceresiana

- Tutti i risultati sono significativi ad eccezione di due: 1 in confronto a 2 e 20 in confronto a 19 (Figura 26). Il valore medio di F_{ST} è di 0,050.
- L' F_{ST} del sito di campionamento 21 (trote marmorate della piscicoltura) è molto elevato, rispetto a tutti gli altri siti.

Analisi STRUCTURE

L'analisi ha rivelato che è possibile differenziare un totale di 4 unità genetiche ($k = 4$; Figura 27).

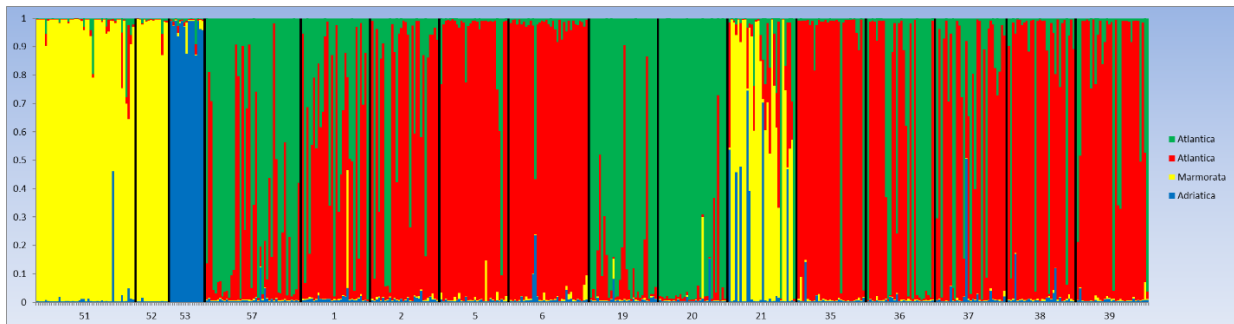


Figura 27 : grafico STRUCTURE Ceresiana

4 Discussione

È stato analizzato con successo il 99% dei campioni raccolti. L'1% che non è stato analizzato presentava contaminazioni o ha riscontrato problemi nella fase di estrazione del DNA.

In generale, i risultati ottenuti dall'analisi dell'indice F_{ST} evidenziano che il 98% dei confronti a coppie è statisticamente significativo. Ne consegue che la maggior parte delle popolazioni analizzate differiscono geneticamente l'una dall'altra. Secondo le raccomandazioni scientifiche per la gestione sostenibile degli stock autoctoni, questo risultato implica che quasi tutte le popolazioni dovrebbero essere gestite separatamente.

4.1.1 *Salmo marmoratus* e *Salmo cenerinus* popolano ancora i fiumi ticinesi?

L'analisi della tabella F_{ST} (allegato 7.5) mostra che i campioni di riferimento di *Salmo marmoratus* e *Salmo cenerinus* differiscono notevolmente da tutte le popolazioni analizzate, ad eccezione di quelle della Melezza. Ciò significa che le due specie di trota native del bacino imbrifero del Ticino sono scomparse in quasi tutto l'areale di distribuzione storico. Oggi i fiumi ticinesi sono popolati principalmente dalla trota atlantica (*Salmo trutta*). Questo è il risultato del massiccio ripopolamento che ha avuto luogo negli ultimi cento anni. Le popolazioni di trote campionate in questo studio sono quindi estranee alla regione.

In teoria, per la trota marmorata (*Salmo marmoratus*) e la trota fario adriatica (*Salmo cenerinus*), questo processo potrebbe essere invertito se l'ambiente fosse in grado di esercitare una selezione negativa nei confronti di specie alloctone e degli ibridi, favorendo così il recupero di specie autoctone selezionate in questi ambienti. Questo processo richiede anche che vi siano ancora sufficienti componenti genetiche originarie. Per raggiungere questo obiettivo, il ripopolamento della trota fario di origine non autoctona dovrebbe essere interrotto (Baraldi *et al.*, 2010).

4.1.2 Le trote di piscicoltura contribuiscono al mantenimento delle popolazioni selvatiche?

Le pratiche di ripopolamento in favore dei popolamenti ittici dovrebbero essere considerate una misura straordinaria per il mantenimento o il recupero delle popolazioni soggette a stress ambientale dovuto all'attività umana. L'obiettivo della gestione sostenibile è quello di avere popolazioni che si mantengano in modo naturale e autonomo: purtroppo, per compensare il

calo delle catture di trota verificatosi nel secolo scorso, sono state effettuate pratiche di ripopolamento con trote non originarie alla regione.

Negli anni '90 l'UFAM ha chiesto agli allevamenti ittici svizzeri di allevare trote provenienti dallo stesso fiume della zona di immissione (Largiader, 1995). Questa strategia permette di preservare una parte dell'adattamento locale delle trote. Tuttavia, non tiene conto di tutti i processi naturali importanti come, ad esempio, la selezione sessuale.

A livello locale, gli stock di trota mantenuti negli allevamenti ittici (19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 47, 48, 49, 50 ; allegato 7.5) e utilizzati per il ripopolamento presentano differenze più o meno marcate rispetto alle trote censite nei corsi d'acqua riceventi. In una situazione contraddistinta da disfunzione nella frega naturale e successo delle pratiche di ripopolamento, non ci si aspetterebbe di trovare differenze genetiche tra i pesci degli incubatoi e la popolazione del corso d'acqua. Tuttavia, fatte salve alcune eccezioni, nella quasi totalità dei casi analizzati nel presente studio troviamo importanti differenze genetiche. Questi risultati ci permettono di concludere che dove le differenze sono maggiori, la riproduzione naturale nei fiumi deve svolgere un ruolo importante nel reclutamento naturale delle trote. Questi elementi sono discussi più dettagliatamente di seguito, esaminando ciascun bacino imbrifero con la sua piscicoltura di riferimento.

4.2 Alta Leventina

Il territorio di competenza della società di pesca Alta Leventina comprende i Comuni di Dalpe, Prato Leventina, Quinto, Airolo e Bedretto, situati tra il Dazio Grande del Piottino e il confine con i Cantoni Uri (sorgenti del Gottardo) Vallese (sorgenti della Novena e del Corno). Nel 2018 sono stati immessi dalla società 20.000 avannotti, 65.000 estivali e 24.500 1+ di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

In questo comprensorio, oltre ai riproduttori dell'allevamento di Rodi, sono state campionate due stazioni sul fiume Ticino, più precisamente a Stalvedro (9) e sul passo Novena (46). Nell'analisi dei dati sono stati inclusi i campioni della piscicoltura della Biaschese (50), perché riceve le uova da quello di Rodi e due tratti di fiume che vengono ripopolati da quest'ultima, ovvero il riale di Iragna (27) e il riale Lodrino (28) (allegato 7.3.1).

Analizzando la tabella F_{ST} (Figura 10) emerge che solamente un dato risulta non significativo, ovvero il confronto tra lo stabilimento di Rodi (9) e il sito campionato sulla Novena (46). Per

tutti gli altri confronti a coppie abbiamo dei risultati significativi, a sostegno del fatto che tutti gli altri abbinamenti analizzati risultano geneticamente differenti. Ne consegue che le trote trovate nei fiumi non provengono unicamente dalla piscicoltura, ma anche in larga misura dalla riproduzione naturale, ad eccezione della Novena.

Il risultato non significativo riscontrato tra la popolazione della piscicoltura e la popolazione della Novena sembra essere dovuto principalmente al fatto che il corso d'acqua non presenta le condizioni ideali per il reclutamento naturale e non è stato trovato novellame durante la pesca elettrica, come peraltro è riscontrabile in altre zone ad alta quota del Cantone. Quindi, questo risultato suggerisce che la riproduzione naturale non funzioni in questa tratta del Ticino. Il ripopolamento sembra quindi consentire il mantenimento della pesca in questo settore.

Analizzando accuratamente la tabella F_{ST} (Figura 10), si trova che il confronto tra la Biaschese (50) e il riale di Lodrino ha il valore più alto. Questo indica che il ripopolamento non è efficace in questo riale.

Approfondendo il grafico creato tramite STRUCTURE (Figura 11), è facile intuire che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino sono praticamente scomparse da questa regione. In alcuni individui, infatti, se ne trovano solo delle tracce. Il grafico mostra che le popolazioni 9, 27 e 28 sono più simili alle popolazioni di riferimento della Svizzera interna rispetto alle altre e che differiscono notevolmente dalle trote presenti negli allevamenti 25 e 50.

4.3 Leventinese

Il comprensorio giurisdizionale della società di pesca la Leventinese si estende dal Piottino sino al ponte ferroviario di Giornico. Nel 2018 sono stati immessi dalla società 35'000 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

In questo comprensorio, oltre ai riproduttori della piscicoltura di Lavorgo (26), sono stati campionati due tratte del Fiume Ticino e più precisamente a Lavorgo (8) e a Polmengo (10). Nell'analisi dei dati sono stati inseriti i campioni della piscicoltura della società di pesca la Biaschese (50), poiché riceve le uova da Lavorgo e due tratte fluviali seminate da quest'ultima, ovvero il riale di Iragna (27) e il riale di Lodrino (28). Inoltre sono state inserite due tratte di competenza della società Onsernone-Melezza, che riceve le uova dallo stabilimento di Lavorgo: la prima sul fiume Ribo (30) e la seconda sul fiume Isorno (29) (allegato 7.3.2).

Analizzando la tabella F_{ST} (Figura 12), emerge che solamente un dato risulta non significativo, ovvero il confronto tra la popolazione di Lavorgo (8) e quella di Polmengo (9). Questo significa che le trote presenti nei due siti campionati non sono geneticamente differenti. A Lavorgo i campioni sono stati raccolti a monte della presa presente sul fiume, ovvero una barriera ritenuta invalicabile. Dalle analisi emerge che questa barriera non è poi così invalicabile, dato che i pesci analizzati a monte e a valle non sono geneticamente differenti. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che quando ci sono delle piene che portano la presa a tracimare, oppure quando la stessa viene aperta per gli interventi di manutenzione, la connettività longitudinale viene temporaneamente ripristinata permettendo il passaggio dei pesci tra monte e valle. Per tutti gli altri confronti a coppie si hanno dei risultati significativi, le popolazioni analizzate sono quindi geneticamente differenti.

Analizzando in modo approfondito la tabella F_{ST} (Figura 12), si nota che la piscicoltura (26) confrontata con le tratte di Lavorgo (8), Polmengo (10), Isorno (29) e Ribo (30) mostra sempre valori elevati. Ciò indica che la piscicoltura ha scarso impatto sulla popolazione esistente e quindi il mantenimento della popolazione è verosimilmente in gran parte garantito dalla riproduzione naturale. Nei tratti campionati la morfologia dei corsi d'acqua ben si presta alla riproduzione naturale della trota. Il campionamento in quest'area è avvenuto a marzo, quindi non è stato possibile verificare il successo della riproduzione naturale.

Il valore più basso riscontrato, oltre al valore non significativo, è quello risultante dal confronto tra Polmengo (10) e Lodrino (28), che si trova a monte della soglia invalicabile.

Approfondendo il grafico creato in STRUCTURE (Figura 13), è facilmente intuibile che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino, in questo comprensorio sono praticamente scomparse. Infatti si ritrovano solo delle tracce in alcuni individui. Dal grafico si può notare come le popolazioni 8, 10, 28 e 30 si discostino sia dai campioni di riferimento sia dalle trote di piscicoltura analizzate per il comparto. Le popolazioni 27 e 29 sono invece simili al campione di riferimento di *Salmo trutta*. Le trote dell'allevamento di Lavorgo (26) e della Biaschese (50) si discostano da tutte le altre popolazioni analizzate.

4.4 Bleniese

Il comprensorio giurisdizionale della società di pesca la Bleniese è molto vasto e si estende dall'imbocco della valle di Blenio sino al confine con il Canton Grigioni e comprende tutte le valli

lateralali tra cui la Val Malvaglia, la Val Carassina, la Val Camadra, la Valle di Campo e la zona del Lucomagno. Nel 2018 sono stati immessi dalla società 51'200 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

In questo comprensorio, oltre ai riproduttori della piscicoltura di Corzoneso (26), sono state campionate due tratte del fiume Brenno e più precisamente in Legiuna (32) al Pont di Frasch (34), una tratta del Brenno del Lucomagno a Pü e una tratta sull'Orino in zona Fontanee (31).

Analizzando la tabella F_{ST} (Figura 14), emerge che solamente due dati risultano non significativi: ovvero il confronto tra lo stabilimento di Corzoneso (48) e il sito campionato sull'Orino (31) e il confronto tra i due siti campionati sul Brenno (34 e 32): questo significa che le trote dei due siti campionati non sono geneticamente differenti.

Questi due risultati sono probabilmente dovuti a due ragioni diverse: la prima sembra indicare che la riproduzione naturale in questo tratto del fiume Orino non funziona e che le trote immesse dalla società di pesca riescano a sopravvivere. Il secondo risultato è invece riconducibile al fatto che non ci sono ostacoli alla libera migrazione dei pesci: essendo le due sezioni geograficamente vicine, gli scambi genetici possono quindi avvenire frequentemente in modo naturale. Per tutti gli altri confronti a coppie abbiamo risultati significativi, che significa che le popolazioni analizzate sono geneticamente diverse.

Esaminando accuratamente la tabella F_{ST} (Figura 14), si osserva che il confronto tra l'incubatoio (48) e il Brenno del Lucomagno a Pü ha il valore più alto. In quella tratta è stata riscontrata una buona presenza di novellame proveniente da riproduzione naturale. La tratta a Pü è facilmente accessibile ed è molto seminata ma i pesci di piscicoltura non si trovano nelle analisi genetiche. Ciò indica che i pesci utilizzati dalla società di pesca la Bleniese per il ripopolamento dei corsi d'acqua non sopravvivono bene in questo tratto.

Approfondendo il grafico creato in STRUCTURE (Figura 15), è facilmente intuibile che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino sono praticamente scomparse da questo comprensorio. Infatti si ritrovano solo delle tracce in alcuni individui campionati nella Legiuna. Le trote marmorate presenti nel sistema fluviale del Brenno sono praticamente scomparse già negli anni '70 (Bruno Polli, comunicazione personale). Dal grafico si può notare come le popolazioni 32, 33, 34 si discostano sia dai campioni di riferimento sia dalle trote di piscicoltura

analizzate per il comparto. La popolazione 31 è invece simile al campione di riferimento di *Salmo trutta* e a quelle presenti nell'allevamento della società.

4.5 Bellinzonese

Il comprensorio giurisdizionale della società di pesca Bellinzonese va da Claro a Gudo. Nel 2018 sono stati seminati dalla società 26'000 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti. In 13 anni, il fiume Ticino è stato ripopolato con 1'000'000 di individui. (FTAP, 2019)

Oltre ai pesci dell'allevamento di Gorduno (22), sono stati campionati un tratto del fiume Ticino a Gnosca (11), uno della Moesa (7), due della Morobbia (13 e 40) e una tratta del riale di Gorduno (14) dove la pesca è vietata (allegato 7.3.4).

L'analisi della tabella F_{ST} (Figura 16) indica che per tutti i confronti a coppie si ottengono risultati significativi, il che significa che le popolazioni analizzate sono geneticamente differenti. La differenza minore deriva dal confronto dei due grandi fiumi (Moesa e Ticino). Ciò è dovuto al fatto che le popolazioni sono geograficamente vicine e gli scambi genetici sono frequenti, in quanto non ci sono ostacoli alla libera migrazione. Le trote dell'allevamento presentano differenze piuttosto significative con quelle di tutti gli altri siti campionati, soprattutto con i siti 13 e 40 (entrambi situati lungo la Morobbia). Questi risultati possono essere dovuti al fatto che la riproduzione funziona bene nella zona e che ciò impedisca alle trote immesse dalla società di pesca di attecchire. Ciò indica che i pesci utilizzati dalla società di pesca la Bellinzonese per il ripopolamento dei corsi d'acqua non sopravvivono bene e il mantenimento delle popolazioni è verosimilmente garantito in larga misura dalla riproduzione naturale.

Approfondendo il grafico creato in STRUCTURE (Figura 17), è facilmente intuibile che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino sono praticamente scomparse da questo comprensorio. Infatti, se ne trovano solo delle tracce in alcuni individui, compresi alcuni individui dell'allevamento ittico. La trota marmorata presente nel sistema fluviale del Ticino è diventata sempre più rara a partire dagli anni '70 (Bruno Polli, comunicazione personale). Possiamo vedere dal grafico che le popolazioni 7, 11, 13, 14 e 40 differiscono sia dai campioni di riferimento che dalle trote analizzate per il settore.



Figura 28 : ibrido di trota marmorata/atlantica presente nella piscicoltura di Gorduno.

4.6 Moesano

Per comprendere meglio le dinamiche del comprensorio della Bellinzonese, sono state analizzate anche le trote dell'allevamento ittico di Cama, gestito dall'Ufficio della caccia e della pesca grigionese. L'analisi della tabella F_{ST} (Figura 18) mostra che tutti i risultati sono significativi (allegato 7.3.5).

Approfondendo il grafico creato in STRUCTURE (Figura 19), è chiaro che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino sono praticamente scomparse da questo comprensorio. Infatti, se ne trovano solo delle tracce in alcuni individui, compresi alcuni individui dell'allevamento ittico. La trota marmorata presente nel sistema fluviale del Ticino è scomparsa negli anni '70 (Bruno Polli, comunicazione personale). Il grafico mostra che la popolazione 7 è molto simile alla popolazione della piscicoltura (49). Ciò è dovuto al fatto che il responsabile dell'allevamento cattura i suoi riproduttori direttamente nel fiume Moesa e ringiovanisce continuamente lo stock con individui dello stesso fiume (Flavio Nollo, comunicazione personale).

4.7 Verzaschese

La Verzaschese ha una vasta giurisdizione, che va da Sonogno sino a Tenero e a Cugnasco. Nel 2018 sono stati immessi dalla società 50'000 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

Oltre ai riproduttori dell'allevamento ittico di Sonogno (23), sono state campionate tre popolazioni sul fiume Verzasca a Gordola (43), Cabioi (44) e Frasco (45). Nell'analisi dei dati sono state incluse anche le popolazioni 7, 11, 13, 14, 29, 30 e 40, in quanto le uova prodotte a Sonogno vengono distribuite alle società di pesca Onsernone-Melezza e Bellinzonese (allegato 7.3.6).

L'analisi della tabella F_{ST} (Figura 20) mostra che per tutti i confronti a coppie si ottengono risultati significativi, ovvero che le popolazioni analizzate sono geneticamente differenti. L'allevamento ittico di Sonogno mostra dei risultati elevati rispetto a tutte le altre popolazioni, indicando che il pesce utilizzato per il ripopolamento dei fiumi del comprensorio non sopravvive bene. I risultati più elevati si riscontrano nelle popolazioni geograficamente più vicine all'allevamento ittico. Questi risultati sono certamente dovuti al successo della riproduzione naturale nel comparto. Quest'ultima sembra essere sufficiente per riuscire a mantenere una popolazione locale.

Analizzando ulteriormente il grafico realizzato in STRUCTURE (Figura 21), è facilmente intuibile che le trote originarie del bacino imbrifero del Ticino sono praticamente scomparse da questo comprensorio. Infatti si ritrovano solo delle tracce in alcuni individui. Il grafico mostra che le popolazioni 7, 11, 13, 14, 30, 43, 44, 45 differiscono sia dai campioni di riferimento che dai pesci della piscicoltura. In questo caso, i pesci dell'incubatoio di Sonogno assomigliano alle trote di riferimento del ceppo atlantico.

4.8 Valmaggese

La Valmaggese ha una vasta giurisdizione, che va da Lodano alle alte valli della Rovana, della Bavona e della Lavizzara. Nel 2018 sono stati immessi dalla società 50'000 avannotti e 133'000 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

Oltre allo stock dei riproduttori di Bignasco (24), sono state campionate due tratte dell'alta Maggia (15 e 41), una a Peccia (16) e una situata nella Maggia a Bignasco (16). Sono state campionate due popolazioni in Bavona (18 e 42) e due in Rovana (una in Val Campo e una in Val Bosco). Nell'analisi sono state incluse anche due popolazioni della Melezza (3 e 4) e una del riale Vadina (12), in quanto le uova prodotte a Bignasco alimentano gli incubatoi della Locarnese a Maggia e dell'Onsernone- Melezza (allegato 7.3.7).

Analizzando la tabella F_{ST} (Figura 22), emerge che per l'80% dei confronti a coppie si ottengono risultati significativi, il che significa che le popolazioni analizzate sono spesso geneticamente differenti. Ciò indica che i pesci utilizzati dalla società di pesca Valmaggese per il ripopolamento dei fiumi non sopravvivono bene.

Un totale di 13 confronti non hanno mostrato risultati significativi. La popolazione del Vadina (12) con le popolazioni 16, 54, 55; quella di Peccia (16) con le popolazioni 12, 24, 41, 54, 55; quella della Maggia (17) con le popolazioni 18 e 42; quella della Bavona (18) con le popolazioni 17 e 42 e quella di piscicoltura con le popolazioni 18, 41, 55. Inoltre, il confronto tra le due popolazioni della Rovana non è risultato significativo. Dall'esame della tabella si nota che i confronti non significativi con la piscicoltura avvengono in zone facilmente accessibili dove la morfologia del torrente non è particolarmente adatta alla riproduzione naturale; infatti in queste zone non è stato trovato del novellame. I risultati potrebbero quindi essere dovuti al fatto che il pesce proveniente dalla piscicoltura, introdotto in massa in questi settori (figura 30),

riesca a sopravvivere, essendo carente il reclutamento naturale e occupando con successo i posti vacanti nell'ambiente.



Figura 29: trota proveniente dalla piscicoltura trovata durante i campionamenti

Dalla tabella emerge un dato interessante: quello dei pesci della Melezza campionati verso il confine a Camedo. È risaputo che le trote marmorate vengono immesse nella parte italiana di questo torrente. La popolazione 3, infatti, differisce notevolmente da tutte le altre, ad eccezione di quella geograficamente più vicina campionata a Golino (4).

Analizzando ulteriormente il grafico realizzato con STRUCTURE (Figura 23), è evidente che le trote provenienti dal bacino imbrifero del Ticino sono scomparse in quasi tutto il comprensorio. L'unica eccezione la si riscontra nella Melezza, dove si osserva ancora una buona presenza di genotipi di *Salmo marmoratus* e altri (pochi individui) riconducibili alla popolazione di riferimento della trota adriatica. Questo dato è di particolare rilevanza, in quanto il fiume Melezza e le trote che lo popolano potrebbero essere utilizzati come ceppo di partenza per cercare di reintrodurre *Salmo marmoratus* in altri fiumi del Cantone. Il grafico mostra che la piscicoltura (24) assomiglia alle popolazioni 41 e 16, il che si riflette nell'analisi dell'indice FST. Le altre popolazioni campionate, invece, differiscono notevolmente sia dai campioni di riferimento che dai pesci dell'incubatoio.

Se osserviamo da vicino il grafico (Figura 23), alcuni individui sono stati assegnati alla trota adriatica di riferimento nella popolazione 54. Questo è l'unico caso nel Canton Ticino in cui sono

stati trovati individui di una certa purezza. Ulteriori analisi in questo corso d'acqua sono essenziali per affinare questo risultato e cercare di trovare la fonte di questi individui di *Salmo cenerinus*.

4.9 Locarnese

La giurisdizione della Locarnese si estende dalla bassa valle Maggia alle Centovalli. L'associazione dalla sua nascita ha ripopolato un vasto territorio: l'intero bacino della Maggia con Lavizzara, Rovana e Bavona, le sponde del litorale locarnese (da Gudo a Brissago), Onsernone, Melezza e Gambarogno. In seguito con la nascita di altre associazioni, ha ridotto la sua superficie. Nel 2018 sono stati immessi dalla società 255'000 estivali di *Salmo trutta*, in linea con il trend degli anni precedenti.

In questo comprensorio sono stati campionati due siti sul fiume Melezza (3 e 4), il fiume Vadina e una popolazione del fiume Verzasca a Gordola (43), nonché il novellame proveniente dalla piscicoltura di Maggia (47) (allegato 7.3.8).

Dalla tabella F_{ST} (Figura 24) risultano significativi tutti i confronti a coppie e questo significa che le popolazioni analizzate sono geneticamente diverse. Ciò indica che i pesci utilizzati per il ripopolamento dei corsi d'acqua del distretto non sono sopravvissuti e il mantenimento della popolazione è probabilmente garantito dalla riproduzione naturale.

Analizzando ulteriormente il grafico realizzato con STRUCTURE (Figura 25), è evidente che le trote originarie del bacino imbrifero ticinese sono scomparse in quasi tutto il comprensorio. La Melezza è l'unica eccezione, dove si riscontra ancora una buona presenza di genotipi di *Salmo marmoratus* e di alcuni individui assegnati alla popolazione adriatica di riferimento *Salmo cenerinus*. Il grafico mostra che la piscicoltura (47) differisce notevolmente da tutte le altre popolazioni studiate; ciò trova infatti riscontro nella provenienza del materiale ittico, ossia l'allevamento ittico italiano di Maccagno. In questo caso sarebbe opportuno creare un ceppo locale di riproduttori e non più rifornirsi a Maccagno, in quanto gli individui non si ritrovano da nessuna parte nei fiumi.

4.10 Ceresiana

La Ceresiana ha una vasta giurisdizione che va dal Ceneri a Melano, passando per l'intero territorio del Malcantone. Nel 2018 sono state introdotte dalla società 550'000 uova di *Salmo*

trutta mediante l'utilizzo di scatole Vibert, oltre a 107'000 avannotti e 320'500 estivali di trota fario (*Salmo trutta*) e 86.000 avannotti di trota marmorata, in linea con l'andamento degli anni precedenti.

Oltre ai riproduttori di Maglio di Colla (19, 20 e 21), sono state campionate due popolazioni del fiume Cassarate (1 e 2), due del Vedeggio (5 e 6), una sulla Magliasina (38) e una sulla Lisora (39). Nelle analisi sono state incluse anche due popolazioni del fiume Breggia (35 e 36) e una del fiume Laveggio (37), in quanto il novellame prodotto dalla società Ceresiana viene consegnato alla società di pesca Mendrisiense per essere seminato. (allegato 7.3.9).

Dalla tabella F_{ST} (Figura 26) risulta che solo due dati non sono significativi, ovvero il confronto tra il fiume Cassarate a Curtina (1) e il fiume Cassarate nella zona della Stampa (2) nonché il confronto tra la forma residente (19) e la forma miratrice di *Salmo trutta* (20). Il confronto con la piscicoltura indica che le due specie di pesci tenute separate sono geneticamente molto simili. Il risultato del secondo confronto può essere dovuto al fatto che le trote sono geograficamente molto vicine e che possono avvenire scambi naturali frequenti.

Analizzando la tabella F_{ST} (Figura 26) possiamo notare che la popolazione 21, ovvero la trota marmorata di piscicoltura, differisce notevolmente da tutte le altre popolazioni. La tabella mostra che il confronto tra le popolazioni di Vedeggio e Breggia e quelle di piscicoltura presenta dati elevati. Questo risultato è sicuramente dovuto al fatto che la riproduzione naturale in questi compartimenti funziona bene (Inventario e mappatura delle zone di riproduzione, FIBER 2019) e che, quindi, le trote pescate nel fiume provengono dalla riproduzione naturale e non dal ripopolamento. Dai dati ottenuti si può affermare che i pesci prodotti nell'incubatoio di Maglio di Colla non sono idonei alle pratiche di ripopolamento.

Analizzando ulteriormente il grafico realizzato con STRUCTURE (Figura 27), è facile intuire che le trote originarie del bacino imbrifero ticinese siano scomparse in quasi tutto il comprensorio. La popolazione di trota marmorata presente nella piscicoltura si è introgressa negli ultimi anni. Dal grafico si evince che la trota d'allevamento, escludendo la marmorata, somiglia molto a quella del Nord delle Alpi. Una buona parte della popolazione 36 può essere assegnata alle trote prodotte dalla piscicoltura. Infatti, diversi esemplari erano appena stati seminati prima del campionamento, mentre altri provenivano da riproduzione naturale. Tutte le altre popolazioni esaminate differiscono notevolmente dai campioni di riferimento e dai campioni di allevamento. Ciò indica chiaramente una differenziazione locale.

5 Conclusioni

L'UFAM ha elaborato nuove direttive (Genetica e pesca, Ripopolamento sostenibile dei corsi d'acqua, Sintesi del monitoraggio dell'efficacia dello stoccaggio in Svizzera {non ancora pubblicato}) volte a rendere la gestione delle popolazioni ittiche più conformi ai principi di sostenibilità della gestione e dello sfruttamento che figurano nell'artt. 1 e 3 della LFSP.

Le linee guida mirano in particolare a promuovere il mantenimento della diversità genetica delle popolazioni selvatiche e a favorire le loro capacità di adattamento alle condizioni locali, preservando la possibilità di sviluppare linee evolutive differenziate tra popolazioni che rimarrebbero naturalmente disgiunte senza intervento umano.

Tale esigenza si applica in particolare alla gestione di popolazioni selvatiche autoctone con un proprio potenziale riproduttivo (fiumi e grandi laghi; popolazioni di *Salmo trutta*; *Salmo marmoratus*; *Salmo cenerinus*; *Thymallus sp.*), mentre la gestione dei laghi alpini e dei bacini artificiali senza affluenti ed emissari non ha questo requisito, poiché le popolazioni in questi luoghi erano originariamente assenti e sono strettamente dipendenti dal ripopolamento artificiale (UFAM, 2018).

Date queste premesse a livello federale, si pongono quindi due importanti quesiti: dal punto di vista della conservazione dei ceppi nativi e degli adattamenti locali, il piano di ripopolamento cantonale sta lavorando nella giusta direzione? In secondo luogo, gli sforzi in termini economici e lavorativi sono ancora sostenibili?

Le analisi genetiche effettuate su tutti i campioni prelevati hanno mostrato che gran parte delle popolazioni studiate differiscono tra loro e che le specie di *Salmo marmoratus* e *Salmo cenerinus* sono praticamente scomparse a favore di *Salmo trutta*. Un risultato incoraggiante è stato comunque ottenuto nelle popolazioni analizzate del fiume Melezza, la maggior parte degli individui sembra appartenere alla linea evolutiva della trota marmorata, nonostante segni di introgressione con fenotipi intermedi tra le due specie. (Figura 30). Approfondite analisi dell'intero corso d'acqua, in collaborazione con le autorità italiane preposte, trattandosi di un corso d'acqua transfrontaliero, sarebbero opportune per investigare lo stato residuo della trota marmorata in questo comparto e considerare la fattibilità di recuperare la specie partendo da una popolazione selvatica locale. In questo frangente, è la prima volta che un risultato pone le

basi scientifiche per la determinazione di un'unità di gestione (UG) coerente con le connotazioni zoogeografiche del Canton Ticino.



Figura 30: trota marmorata in alto e ibrido fario-marmorata in basso

A prescindere dalla genetica nativa, i risultati hanno rivelato che le trote prodotte negli incubatoi attivi attualmente spesso non si ritrovano nei fiumi. Tale fenomeno trova spiegazione in una moltitudine di fattori non mutualmente esclusivi, quali la mancanza di adattamenti locali nel pesce d'allevamento a seguito dell'addomesticazione in ambiente artificiale e la non trascurabile importanza della riproduzione naturale. Le difficoltà riscontrate nel ritrovare i pesci di allevamento in molti dei fiumi presi in considerazione mette in discussione la funzionalità e l'utilità del ripopolamento. Si pone quindi la questione di come modificare tale gestione al fine di renderla nuovamente utile e funzionale, sia per la pesca che per la conservazione del patrimonio ittico ticinese.

Dalla sintesi dei controlli sull'efficacia dei ripopolamenti effettuati in Svizzera negli ultimi 40 anni emerge che il ripopolamento dei corsi d'acqua riesce molto raramente a sostenere le popolazioni selvatiche di trota (Vonlanthen, non pubblicato). I risultati di questo studio genetico

corrispondono quindi a quanto osservato anche in altri fiumi svizzeri e non sono in alcun modo univoci del Ticino. Qualunque siano le modifiche gestionali, sarà necessario organizzare controlli sull'efficacia del ripopolamento volti a chiarire se le pratiche mantenute siano giustificate o meno.

Alla luce delle nuove conoscenze ottenute attraverso questo studio, è possibile fornire le seguenti raccomandazioni per la gestione della pesca:

In primo luogo, si tratta di promuovere specie locali e autoctone (*Salmo marmoratus* e *Salmo cenerinus*). La Melezza, potrebbe essere una potenziale fonte di trota marmorata, ma è da verificare, soprattutto in base al suo grado di ibridazione con il ceppo atlantico o adriatico, che va determinato con maggiore precisione. In Ticino non esistono più trote adriatiche allo stato sufficientemente puro. Dovrebbe quindi essere recuperato all'estero, effettuando prima un'analisi del territorio di distribuzione nativa della specie. Si consiglia all'Ufficio della caccia e della pesca di sviluppare una strategia di conservazione per *Salmo marmoratus* e *Salmo cenerinus*.

In secondo luogo, il ripopolamento dovrebbe essere abbandonato nei corsi d'acqua dove è dimostrato che questo non funziona come invece auspicato. Da un punto di vista scientifico, il concetto è sottolineato nell'ultima pubblicazione UFAM "Ripopolamento sostenibile dei corsi d'acqua" (OFEV, 2018). È verosimile che questo cambio di paradigma generi un certo disorientamento tra i pescatori. L'Ufficio della caccia e della pesca e le società di pesca dovrebbero rivedere congiuntamente il piano di gestione dei fiumi ticinesi e lavorare per una gestione più sostenibile ed economica.

In terzo luogo, sarebbe auspicabile effettuare una verifica dell'efficacia delle azioni di ripopolamento effettuate, sia mediante marcatura sia sospendendo temporaneamente il ripopolamento in determinate tratte. Tecnicamente, il metodo migliore consiste nell'interrompere il ripopolamento monitorando (prima e dopo) per diversi anni le popolazioni indagate e registrando le statistiche di pesca, laddove il grado di risoluzione di quest'ultime lo consentono (Vonlanthen, non pubblicato).

In conclusione, solo gli habitat intatti garantiranno una popolazione piscicola sana e il suo sfruttamento sostenibile. Il risanamento della forza idrica (deflussi minimi, deflussi discontinui, libera migrazione dei pesci), la rinaturazione, gli spazi di pertinenza di fiumi e laghi sono solo

alcune delle basi introdotte negli ultimi decenni nelle leggi federali per perseguire questo obiettivo a lungo termine.

6 Bibliografia

Allendorf, F. W., Leary, R. F., Spruell, P., & Wenburg, J. K. (2001). The problems with hybrids: setting conservation guidelines. *Trends in ecology & evolution*, 16(11), 613-622.

Araki, H., Cooper, B., Blouin, M. S. (2007). Genetic Effects of Captive Breeding Cause a Rapid Cumulative Fitness Decline in the Wild. *Science* 318, pp. 100 à 103.

Dagani, D. (2010). Introgression of Atlantic brown trout (*Salmo trutta*) and presence of marble trout (*Salmo marmoratus*) in the Swiss portion of the Ticino river. Travail de master es sciences en comportement, evolution et conservation. Universite de Lausanne.

Earl, Dent A. and vonHoldt, Bridgett M. (2012) STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources* vol. 4 (2) pp. 359-361

Excoffier, L. and H.E. L. Lischer (2010) Arlequin suite ver 3.5: A new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Resources*. 10: 564-567.

Evanno et al., 2005. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14, 2611 - 2620

Fiber. 2015. Les truites en Suisse. Diversité, biologie et reproduction. Une brochure d'information du Bureau suisse de conseil pour la pêche FIBER.

Goudet J (1993). The genetics of geographically structured populations. PhD thesis. 304 p. University of Wales, College of Bangor.

Huxel, G. R. (1999). Rapid displacement of native species by invasive species: effects of hybridization. *Biological conservation*, 89(2), 143-152.

Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat. Cornol, Switzerland.

Largiader, C. R., & Scholl, A. (1995). Effects of stocking on the genetic diversity of brown trout populations of the Adriatic and Danubian drainages in Switzerland. *Journal of Fish Biology*, 47(sA), 209-225.

Leary, R. F., Allendorf, F. W., & Sage, G. K. (1995). Hybridization and introgression between introduced and native fish. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 15, pp. 91-101).

Lucarda A.N., 2007. Metodi di ricerca e di gestione finalizzati alla conservazione della Trota Marmorata. *Biologia Ambientale*, 21 (2) : 75-91.

OFEV (éd.) 2018 : Repeuplement durable des cours d'eau. Conditions-cadres et principes. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1823 : 42 p.

Pizzul, E., Bottois, P., Vanzo, S., Tosolini, G., (2003). Osservazioni preliminari sulla predazione della Trota fario e della Trota marmorata nei confronti dei macroinvertebrati bentonici presenti nel drift del torrente But (Bacino del fiume Tagliamento, Friuli Venezia Giulia). *Biologia Ambientale*, 17 (1): 25-33.

Poteaux, C., Berrebi, P., & Bonhomme, F. (2000). Allozymes, mtDNA and microsatellites study introgression in a stocked trout population in France. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(3), 281-292.

Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. 2000. Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics* 155: 945–959.

Ryman, N., Utter, F., & Laikre, L. (1995). Protection of intraspecific biodiversity of exploited fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 5(4), 417-446.

Raymond M. & Rousset F, 1995. GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *J. Heredity*, 86:248-249

Rousset, F., 2008. Genepop'007: a complete reimplementation of the Genepop software for Windows and Linux. *Mol. Ecol. Resources* 8 : 103-106.

Vonlanthen P., Hefti D. 2016. Génétique et Pêche. Synthèse des études génétiques et recommandations en matière de gestion piscicole. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement n° 1637 :90 p.

Volanthen, P., Kreienbühl, T., Schmid, C. 2017. Populationsgenetische Untersuchung der Forellen im Kanton Aargau. Aquabios GmbH, Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau.

USTAT 2018: Territorio e ambiente

Siti Internet

Federazione Ticinese per l'Acquicoltura e la Pesca [En ligne]. <http://www.ftap.ch/> (consultato le 9 novembre 2019).

Inventaire et cartographie des frayères [En ligne] <https://www.fischereiberatung.ch/fr/themes-principaux/reproduction-naturelle/programme-frayeres> (consultato le 9 novembre 2019).

Testi di legge

923.0 Legge federale sulla pesca (LFSP) del 21 giugno 1991 (Stato il primo maggio 2017) RO 1991 2259

923.01 Ordinanza concernente la legge federale sulla pesca (OLF) del 24 novembre 1993 (Stato il primo maggio 2018) RO 1993 3384

923.100 Legge cantonale sulla pesca (LCP) e sulla protezione dei pesci e gamberi indigeni (del 26 giugno 1996)

923.110 Regolamento di applicazione (RALCP) della legge cantonale sulla pesca e sulla protezione dei pesci e dei gamberi indigeni (del 15 ottobre 1996). Stato del primo gennaio 2018

7 Allegati

7.1 Glossario

Termine	Descrizione
Acido desossiribonucleico (DNA)	L'acido desossiribonucleico (DNA) è una macromolecola che trasporta le informazioni genetiche presenti nel nucleo, nei mitocondri e nei cloroplasti (nelle piante). Il DNA è un polimero di nucleotidi, costituito da uno zucchero, una base azotata e un acido fosforico. È costituito da due catene antiparallele legate da legami idrogeno tra le basi. La successione di queste coppie di basi azotate è portatrice di informazioni genetiche.
Allele	Gli alleli corrispondono a diverse versioni dello stesso gene. Nel caso dei microsatelliti, frammenti di diversa lunghezza sono considerati come alleli.
Analisi STRUCTURE	In questo tipo di analisi si cerca di assegnare ogni individuo studiato ad una popolazione indipendente in base alle sue caratteristiche genetiche. Questo compito è tanto più facile quanto la distanza genetica tra le popolazioni è elevata. Viene calcolata la probabilità che un individuo appartenga a una popolazione e i risultati vengono solitamente presentati sotto forma di grafico a barre. Un'analisi STRUCTURE permette anche in alcuni casi di identificare gli ibridi.
Cromosoma	Una struttura che si trova in ogni nucleo cellulare che trasporta le informazioni genetiche di ogni essere vivente.
Concetto biologico di specie	Una specie è un gruppo di popolazioni in grado di riprodursi e isolate da altri gruppi da barriere riproduttive.
Consanguineità	Riproduzione tra individui con un alto grado di parentela.
Deriva genetica	Fluttuazione casuale (quindi non definita dalla selezione naturale) delle frequenze alleliche di una popolazione.
Fitness	La fitness (valore adattativo) descrive la probabilità di sopravvivenza e riproduzione di un individuo nonché il numero di figli prodotti. Più un individuo è adattato al suo ambiente, migliore è la sua fitness.
Flusso genetico	In biologia evolutiva, questo termine descrive lo scambio di geni tra popolazioni della stessa specie o all'interno della stessa popolazione (per effetto delle migrazioni, ad esempio).
Frequenza allelica	La frequenza con cui l'allele di un gene si trova all'interno di una popolazione.

F_{ST}	L' F_{ST} corrisponde alla proporzione della varianza delle frequenze alleliche che è spiegata dalla distribuzione degli individui in diverse popolazioni diverse [in Vonlanthen et al., 2016]. I valori calcolati vanno quindi da 0 (le popolazioni sono geneticamente identiche) a 1 (le popolazioni sono geneticamente totalmente diverse).
Gene	Unità ereditaria trasportata dal cromosoma che codifica per una proteina o per la sua regolazione. Influenza le caratteristiche morfologiche e fisiologiche di un individuo.
Genetica delle popolazioni	Parte della genetica che mira a studiare la distribuzione e le variazioni della frequenza degli alleli a livello di popolazione, sotto l'influenza di mutazioni, selezione naturale, deriva genetica, migrazione e ricombinazioni.
Genoma	Il genoma o patrimonio ereditario è tutto il materiale genetico di una cellula o di un essere vivente.
Genotipo	Somma di tutte le varianti alleliche di un individuo per uno o più loci.
Collo di bottiglia	Nella genetica delle popolazioni, una perdita della diversità genetica di una popolazione a causa di una notevole riduzione (temporanea) del numero di individui nella popolazione o nella specie.
Aplotipo	Un aplotipo è un gruppo di alleli provenienti da diversi loci situati sullo stesso cromosoma e solitamente trasmessi insieme.
Eterozigote	Un individuo che ha due alleli diversi sullo stesso locus di cromosomi omologhi.
Omozigote	Un individuo che ha due alleli identici nello stesso locus di cromosomi omologhi.
Ibridazione	In biologia, un ibrido è un individuo risultante dall'incrocio di diversi generi, specie, sottospecie o linee. Il termine ibridazione si riferisce a questo processo.
Introgressione	Trasferimento di un gene, cromosoma, segmento cromosomico o genoma da una specie o popolazione a un'altra attraverso l'ibridazione.
Locus (plurale loci)	Posizione su un cromosoma (gene o microsatellite per esempio).
Microsatellite	Locus caratterizzato dalla frequente ripetizione di brevi sequenze di DNA (es. 3' – 5').
Mutazione	Una mutazione è qualsiasi cambiamento nel materiale genetico che viene trasmesso o può essere trasmesso alla generazione successiva.
Fenotipo	Insieme di caratteri visibili di un individuo. Il fenotipo è il risultato delle interazioni tra il genotipo e l'ambiente.

Filogenesi	Ricostruzione della storia evolutiva di diverse stirpi dalla loro divergenza da un antenato comune.
Plasticità fenotipica	La plasticità fenotipica è la capacità di un genotipo di esprimere fenotipi diversi a seconda delle condizioni ambientali. Gli individui che vivono nello stesso ambiente possono anche presentare aspetti diversi sotto l'effetto di questa plasticità.
Popolazione	Insieme di individui che si riproducono e vivono nello stesso spazio geografico (continuo) allo stesso tempo.
Reazione a catena della polimerasi (PCR)	La PCR (abbreviazione di Polymerase Chain Reaction) è una tecnica che permette, da una porzione di una molecola di DNA, di ottenere milioni di copie identiche facilmente sequenziabili. Utilizza l'enzima DNA polimerasi. Il termine "reazione a catena" si riferisce al fatto che i prodotti dei cicli precedenti fungono da substrato per i cicli successivi, il che induce un'amplificazione esponenziale.
Ricombinazione	La ricombinazione genetica è il fenomeno che porta alla comparsa, in una cellula o in un individuo, di geni o caratteristiche ereditarie in un'associazione diversa da quella osservata nelle cellule o negli individui parentali.
Selezione naturale	Processo tendente a favorire la trasmissione alle generazioni successive di caratteri ereditari garantendo la migliore sopravvivenza e il miglior successo riproduttivo a scapito degli altri.
Simpatria	In biologia, simpatria indica una forma di distribuzione geografica in cui le aree di distribuzione dei rappresentanti di due specie, sottospecie o popolazioni si sovrappongono, in modo che siano presenti nello stesso territorio dove possono incontrarsi ed eventualmente accoppiarsi.

7.2 Le trote in Svizzera

Questa descrizione è tratta dal libro di Zaugg B. 2018. Pisces. Atlas. Fauna Helvetica 7, info fauna CSCF, Neuchâtel.



Distribuzione generale Le trote sono ampiamente distribuite in Europa, Asia Minore e nelle coste mediterranee del Nord Africa. Dotate di una grande capacità di adattamento, le forme fluviali si trovano sia nei torrenti montani che nei grandi laghi europei e le forme anadrome si trovano lungo l'Atlantico (fino all'Islanda), dal Mare del Nord, dal Mar Baltico come così come il Mar Nero. Sono invece assenti dal Mediterraneo. L'importanza della trota per la pesca sportiva ne ha spinto l'introduzione in tutti i continenti.

Descrizione del genere La sistematica del genere è complessa per via del gran numero di specie che contiene e per la loro grande adattabilità che induce un alto grado di polimorfismo. Quest'ultimo è pronunciato sia in termini di colorazione, dimensioni e forma del corpo. Pertanto, all'interno della stessa popolazione, possono esserci pesci dall'aspetto molto diverso. Ad esempio, una trota che vive in un ruscello di montagna può avere una forma slanciata e idrodinamica che le consente di resistere alla corrente spendendo un minimo di energia, mentre un individuo che vive in un corso d'acqua di pianura avrà una forma più tozza. Un esempio è la taglia di un adulto che vive in un torrente d'alta quota che raggiunge appena i 20 cm, mentre una trota della stessa specie e della stessa età che vive in un lago può raggiungere il metro.

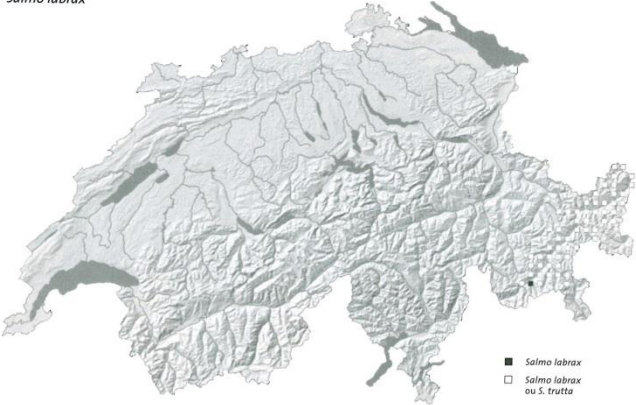

Biologia e habitat Che siano di forma di ruscello, fluviale, lacustre o anadroma, tutte le trote si riproducono nei torrenti e per farlo iniziano a migrare verso monte. Forme anadrome, come la trota di mare, percorrono diverse centinaia di chilometri per raggiungere le zone di riproduzione, forme lacustri e fluviali di pochi chilometri o poche centinaia o addirittura decine di metri solo per gli individui che vivono in testa al bacino imbrifero. Il periodo di riproduzione, il modo e i bisogni sono, a loro volta, identici. La deposizione delle uova avviene da ottobre a gennaio, l'acqua deve essere sufficientemente fresca e ossigenata e il substrato delle zone di riproduzione è costituito da ghiaia non colmatata con granulometria da pochi millimetri a poche decine di millimetri. Litofili, le trote coprono le loro uova nella ghiaia, spesso sotto un cumulo protettivo. La deposizione delle uova è quindi protetta dalla predazione e dal trasporto solido che avviene durante gli eventi di piena. Gli embrioni, che richiedono molto ossigeno disciolto, si schiudono dopo 6-12 settimane. Quindi riassorbiscono il loro sacco vitellino durante circa 3 settimane dove si nascondono negli interstizi della ghiaia.

Le trote in Svizzera Per la diversità dei suoi bacini idrografici i cui corsi d'acqua scorrono attraverso l'Europa, il Reno verso il Mare del Nord, il Rodano e il Doubs verso il Mediterraneo, l'Inn attraverso il Danubio verso il Mar Nero, il Po e l'Adige verso l'Adriatico, la Svizzera originariamente ospitava un'ampia varietà di specie di trote. Attualmente, a seguito del ripopolamento con la trota atlantica (*Salmo trutta*) effettuato per decenni principalmente a scopo di pesca su tutto il territorio, le specie autoctone sono diventate rare, vuoi per competizione o per ibridazione.

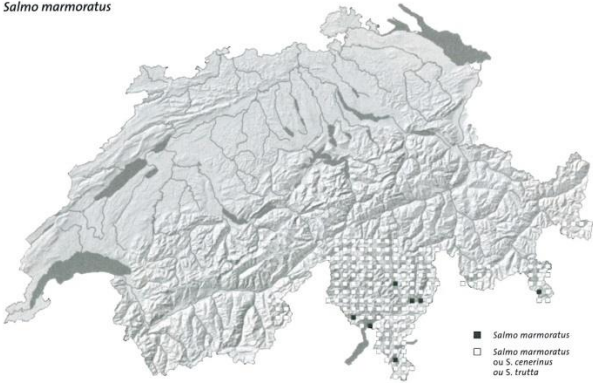

***Salmo cenerinus* – trota adriatica**

<p style="text-align: center;">Distribuzione in Svizzera</p> <p><i>Salmo cenerinus</i></p> 	<p>La trota adriatica o fario è originaria dei bacini del Po e dell'Adige. La sua attuale distribuzione nota è limitata alle popolazioni relitte documentate nel Lago di Poschiavo e nei suoi affluenti nei Grigioni.</p>
<p style="text-align: center;">Descrizione della specie</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 31: Salmo cenerinus, Ticino 2019, Christophe Molina</i></p>	<p>Con una taglia variabile tra 20 e 40 cm in fiume, la forma lacustre può raggiungere gli 80 cm (max. 100). Come altre specie del genere <i>Salmo</i>, la riproduzione avviene tra novembre e febbraio a seconda dell'altitudine e della temperatura dell'acqua. Specie di età compresa tra 0,5 e 2 milioni di anni, la trota adriatica subisce da decenni il ripopolamento con la trota atlantica (<i>Salmo trutta</i>) effettuato principalmente a scopo di pesca. Ibridi tra queste due specie esistono e minacciano il patrimonio genetico della trota adriatica.</p> <p>La trota lacustre stanziale del lago di Poschiavo potrebbe essere della linea della trota adriatica o un ibrido naturale tra trota adriatica e marmorata (<i>Salmo marmoratus</i>) e quindi essere considerata una specie a sé stante.</p>
<p style="text-align: center;">Stato</p>	<p>Questa specie è classificata come "minacciata di estinzione" in Svizzera</p>

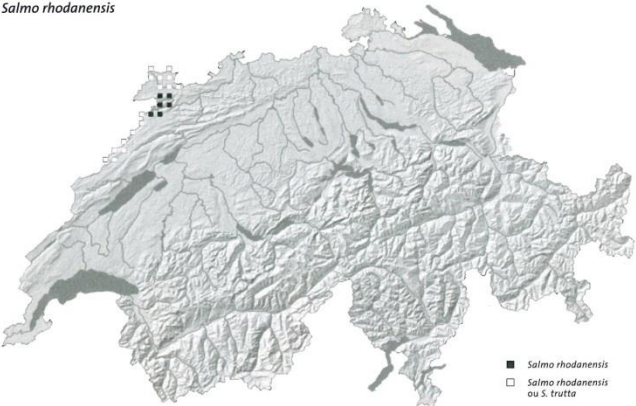

Salmo labrax – trota danubiana

<p style="text-align: center;">Distribuzione in Svizzera</p> <p><i>Salmo labrax</i></p> 	<p>La trota del Mar Nero o danubiana è tipica della parte alta del bacino del Danubio.</p> <p>Unico fiume della Svizzera collegato a questo bacino, l'Inn nasce nel cantone dei Grigioni e si unisce al Danubio in Baviera (Germania) dopo aver attraversato l'Austria. Sebbene la specie occupasse probabilmente la parte svizzera di questo fiume alcuni decenni fa, fino ad oggi nel Lago di Sils in Engadina esiste solo una popolazione sopravvissuta. Mentre la popolazione esistente sembra aver resistito al ripopolamento con trote atlantiche (<i>Salmo trutta</i>), l'ibridazione e la conseguente perdita del patrimonio genetico minacciano l'estinzione di questa linea evolutiva.</p>
<p style="text-align: center;">Descrizione della specie</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 32: Salmo labrax, Kottelat 2007</i></p>	<p>Questa trota, le cui dimensioni variano tra 20 e 80 cm (max. 100) a seconda del suo habitat, è diffusa intorno al Mar Nero. Esiste anche una forma anadroma, più rara, oltre alle forme lacustri e fluviali. Si caratterizza per la presenza di grossi punti neri molto marcati sulla parte superiore del corpo - per tutte le forme; la riproduzione avviene nei fiumi. Si inizia ad ottobre per le trote lacustri e anadrome che sono migratrici e successivamente (novembre) per la forma residente. Mentre quest'ultima ha una dieta prevalentemente insettivora, il lago e le forme anadrome si nutrono quasi esclusivamente di altri pesci o grandi crostacei.</p> <p>Una specie che recentemente è apparsa nell'elenco dei pesci svizzeri grazie ai progressi della ricerca, la sua esatta distribuzione, le dimensioni della sua popolazione e la sua biologia sono ancora poco conosciute.</p>
<p style="text-align: center;">Stato</p>	<p>Questa specie è classificata come "minacciata di estinzione" in Svizzera</p>

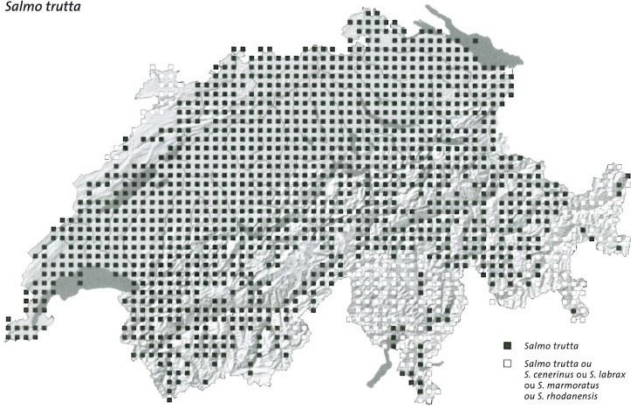

Salmo marmoratus – trota marmorata

<p style="text-align: center;">Distribuzione in Svizzera</p> <p style="text-align: left;"><i>Salmo marmoratus</i></p> 	<p>La trota marmorata è originaria dei bacini del Po e dell'Adige. L'areale residuo ad oggi noto in Svizzera è limitato al Lago Poschiavino in Engadina e al Lago Maggiore in Ticino. Alcuni individui sono stati segnalati anche in alcuni fiumi del Ticino. Tuttavia, potrebbero essere ibridi derivanti da incroci con la trota atlantica (<i>Salmo trutta</i>).</p>
<p style="text-align: center;">Descrizione della specie</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 33: Salmo marmoratus, Ticino 2019, Christophe Molina</i></p>	<p>Amante dei grandi fiumi e dei freddi laghi dove in estate la temperatura non supera i 15°C, la trota marmorata si riconosce per il suo corpo verde oliva ricoperto di screziature scure irregolari. In genere non sono presenti puntini rossi sulla livrea e una pinna adiposa rosso-arancio solo negli individui giovani, che si scurisce con l'età. Gli individui più grandi possono raggiungere eccezionalmente i 120 cm per 50 kg ma la media è invece compresa tra e 20 e 60 cm.</p> <p>In seguito all'introduzione massiccia della trota atlantica ma anche a causa di un aumento dell'areale di distribuzione della trota adriatica (naturale e artificiale), ad esempio nel nord Italia, le popolazioni di trota marmorata sono ormai in diminuzione.</p> <p>Il progresso scientifico, in particolare attraverso la genetica, ha permesso di aumentare notevolmente le conoscenze su queste specie e di garantire la protezione delle popolazioni fragili evitando introduzioni pericolose che potrebbero causare la scomparsa di un patrimonio genetico di grande valore.</p>
<p style="text-align: center;">Stato</p>	<p>Questa specie è classificata come "minacciata di estinzione" in Svizzera</p>

Salmo rhodanensis – trota del Doubs

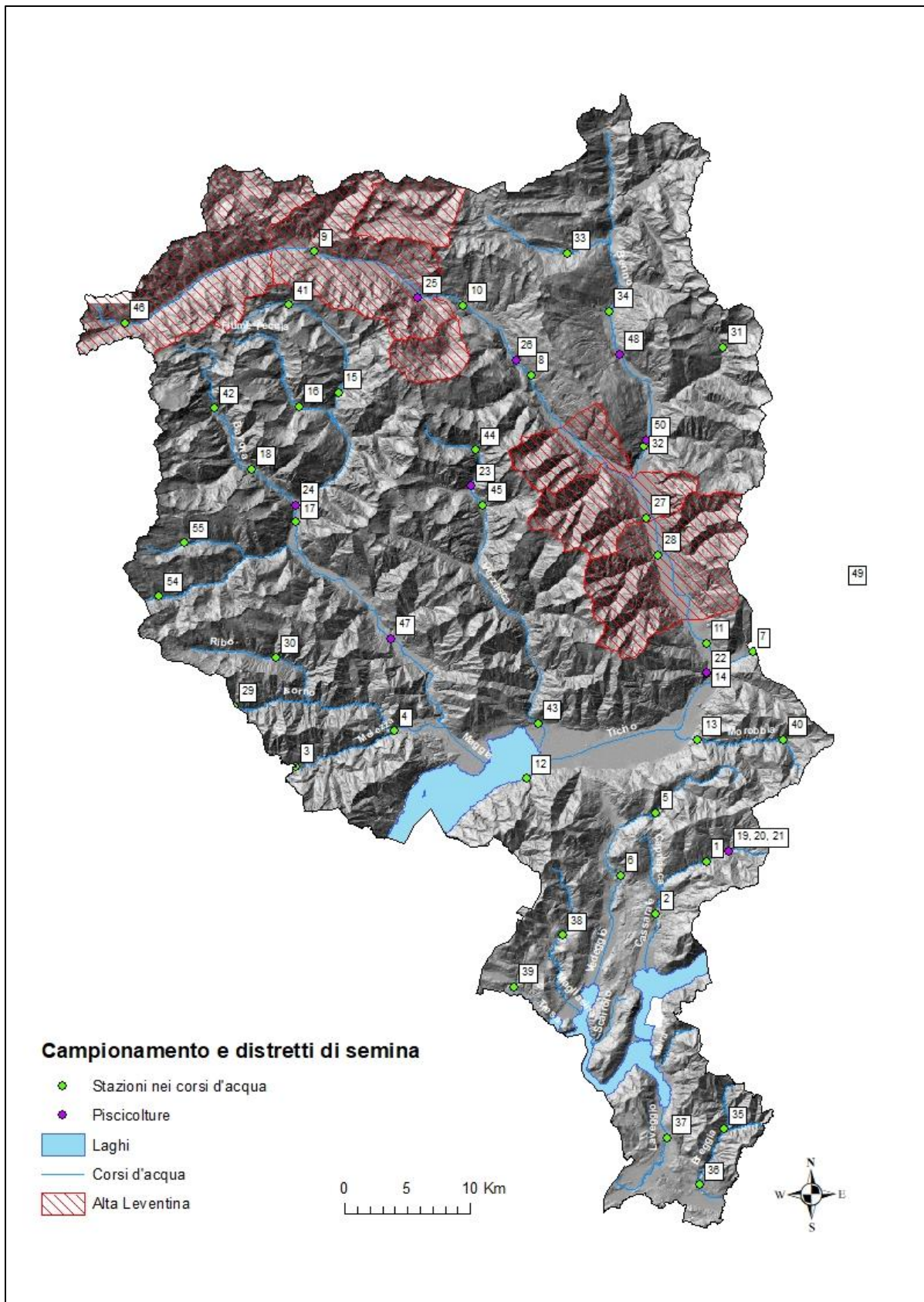
<p style="text-align: center;">Distribuzione in Svizzera</p>  <p style="text-align: center;"><i>Salmo rhodanensis</i></p> <p style="text-align: right;">■ <i>Salmo rhodanensis</i> □ <i>Salmo rhodanensis</i> ou <i>S. trutta</i></p>	<p>La trota zebrata vive nella parte giurassiana del bacino del Rodano. In Svizzera la sua distribuzione è limitata al bacino del Doubs, che le è valso anche il nome di "trota del Doubs"</p>
<p style="text-align: center;">Descrizione della specie</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 34: Salmo rhodanensis, Kottelat 2007</i></p>	<p>La trota zebrata può essere identificata dalla presenza dei 4 zebraure scure (dietro l'opercolo, sotto la pinna dorsale, sopra la base della pinna anale e all'estremità del peduncolo caudale) che ne coprono i fianchi. Si noti, tuttavia, che anche alcune altre specie di trote possono presentare temporaneamente barre verticali scure, soprattutto sotto stress.</p> <p>Questo particolare livrea le conferisce un notevole mimetismo con il substrato caratteristico dei fiumi calcarei. Le sue dimensioni variano tra 30 e 65 cm, eccezionalmente 90 cm. A seguito del diffuso ripopolamento con trota atlantica (<i>Salmo trutta</i>), l'ibridazione tra questa specie e la trota zebrata è stata la causa principale della perdita di un fragile patrimonio genetico. Nel bacino del Doubs rimangono tuttavia alcune popolazioni residue di trota zebrata, soprattutto in alcuni tratti intatti dell'Allaine.</p>
<p style="text-align: center;">Stato</p>	<p>Questa specie è classificata come "fortemente minacciata" in Svizzera</p>

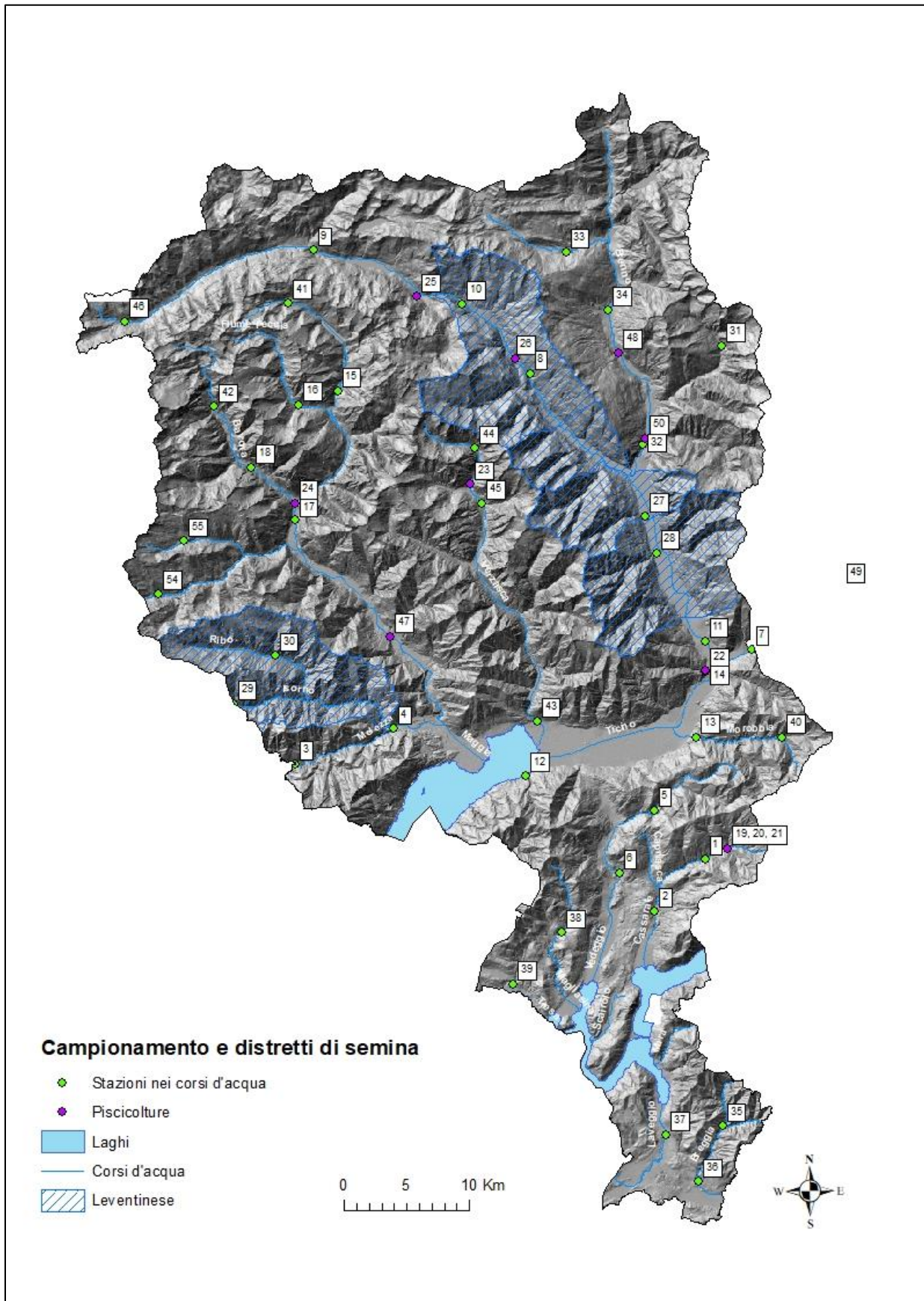
Salmo trutta– trota atlantica

<p style="text-align: center;">Distribuzione in Svizzera</p>  <p style="text-align: center;"><i>Salmo trutta</i></p>	<p>La trota atlantica è originaria del bacino del Reno ma è anche originaria del Lago di Ginevra. Infatti, la dinamica glaciale che ha segnato l'Europa diverse migliaia di anni fa ha collegato temporaneamente il bacino del Reno e del Rodano attorno al perimetro del bacino del Lago di Ginevra. Questo spiega la distribuzione naturale della trota atlantica nel Rodano a monte del Lago di Ginevra e la sua dipendenza mentre è assente la trota zebra (bloccata dalle cascate del Rodano a valle del lago).</p> <p>Dalla metà del '900, a seguito di un importantissimo ripopolamento effettuato a fini di pesca ed estendendosi ampiamente al di là dei bacini idrici originariamente colonizzati, la distribuzione della trota atlantica copre ormai praticamente l'intero territorio svizzero.</p>
<p style="text-align: center;">Descrizione della specie</p>  <p style="text-align: center;"><i>Figura 35: Salmo trutta, Ticino 2019, Christophe Molina</i></p>	<p>La trota atlantica ha una forma anadroma ormai scomparsa in Svizzera. Questa trota di mare risaliva il Reno fino al primo insormontabile ostacolo naturale formato dalle cascate del Reno a valle del Lago di Costanza. Esiste anche una forma lacustre comune nella maggior parte dei grandi laghi alpini svizzeri e una forma fluviale che può resistere alle temperature dell'acqua molto fresche dei torrenti di montagna. Mentre le forme anadrome e lacustre presentano generalmente una livrea argentea cosparsa solo di punti neri, la livrea della forma fluviale è più sobria e ramata con presenza di puntini rossi generalmente in un numero compreso tra 10 e 25. Le forme lacustri e anadrome possono raggiungere grandi dimensioni (fino a 100 cm per oltre 10 kg) mentre la forma fluviale supera molto raramente i 60 cm per gli individui più anziani di fiumi ricchi di cibo o anche una trentina di centimetri per il fresco torrente montano povero di risorse alimentari.</p>
<p style="text-align: center;">Stato</p>	<p>Questa specie è classificata come "potenzialmente minacciata" in Svizzera. La sua forma lacustre è considerata "fortemente minacciata".</p>

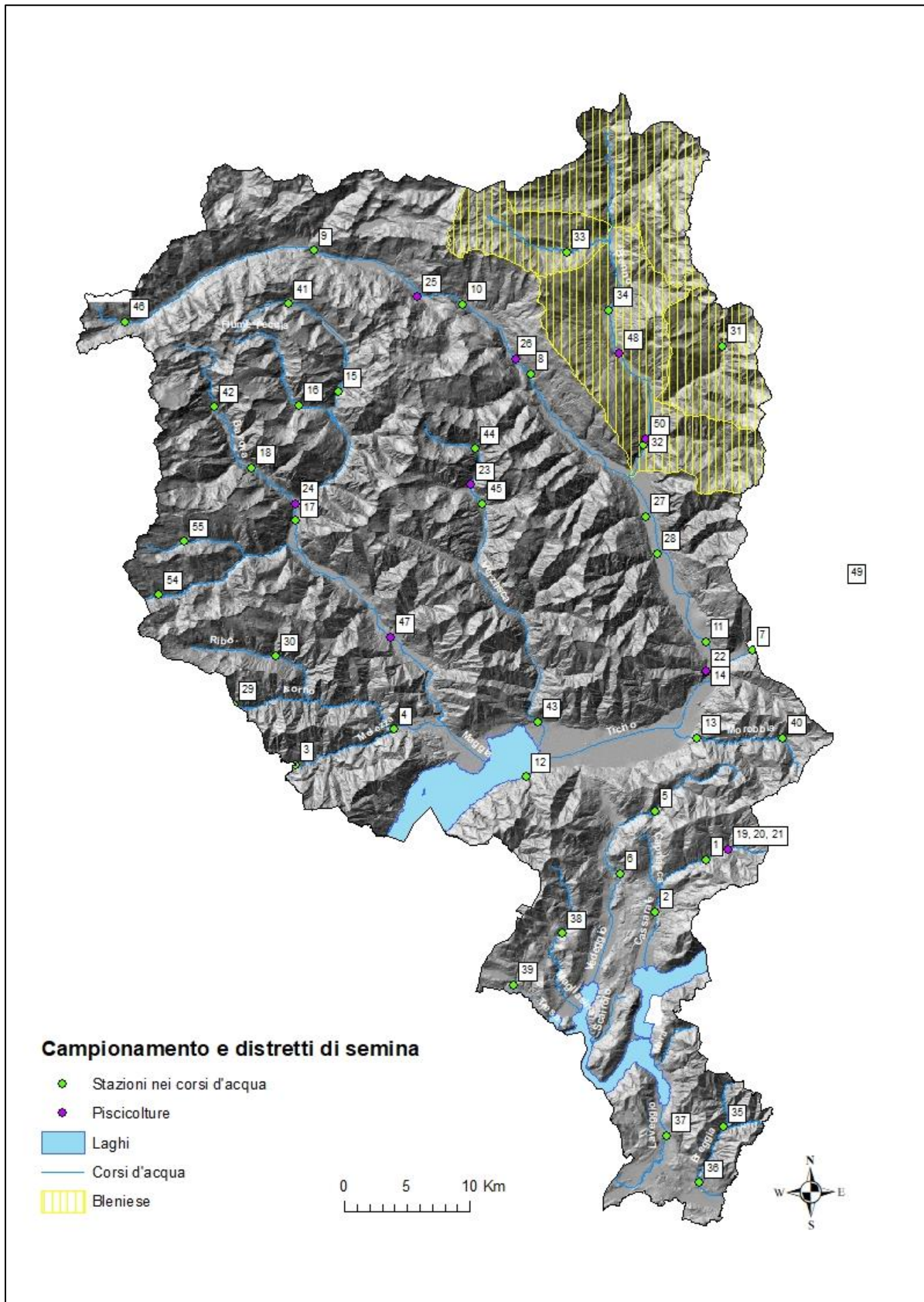
7.3 Zone di distribuzione di materiale ittico delle diverse piscicoltura

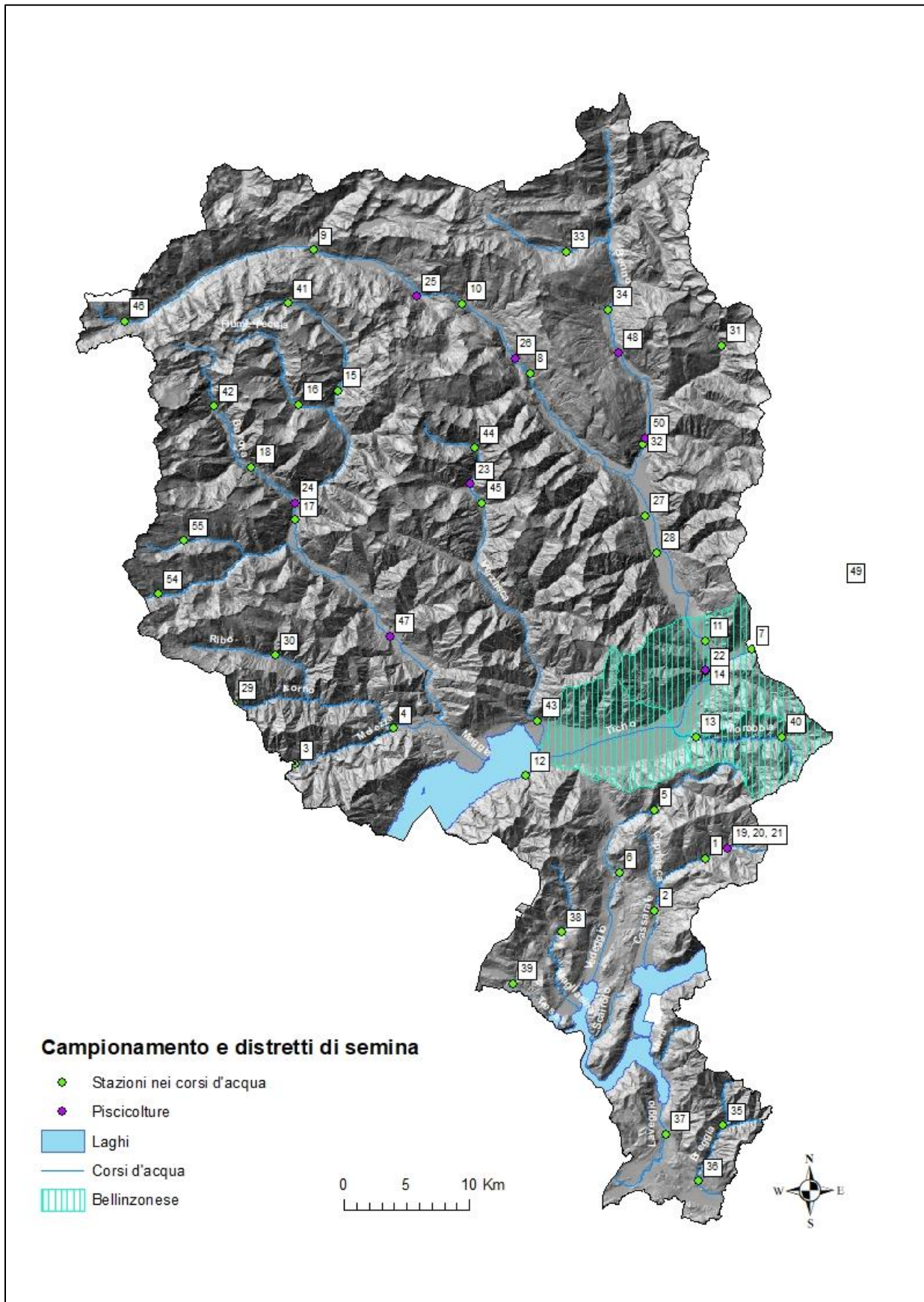
7.3.1 Alta Leventina

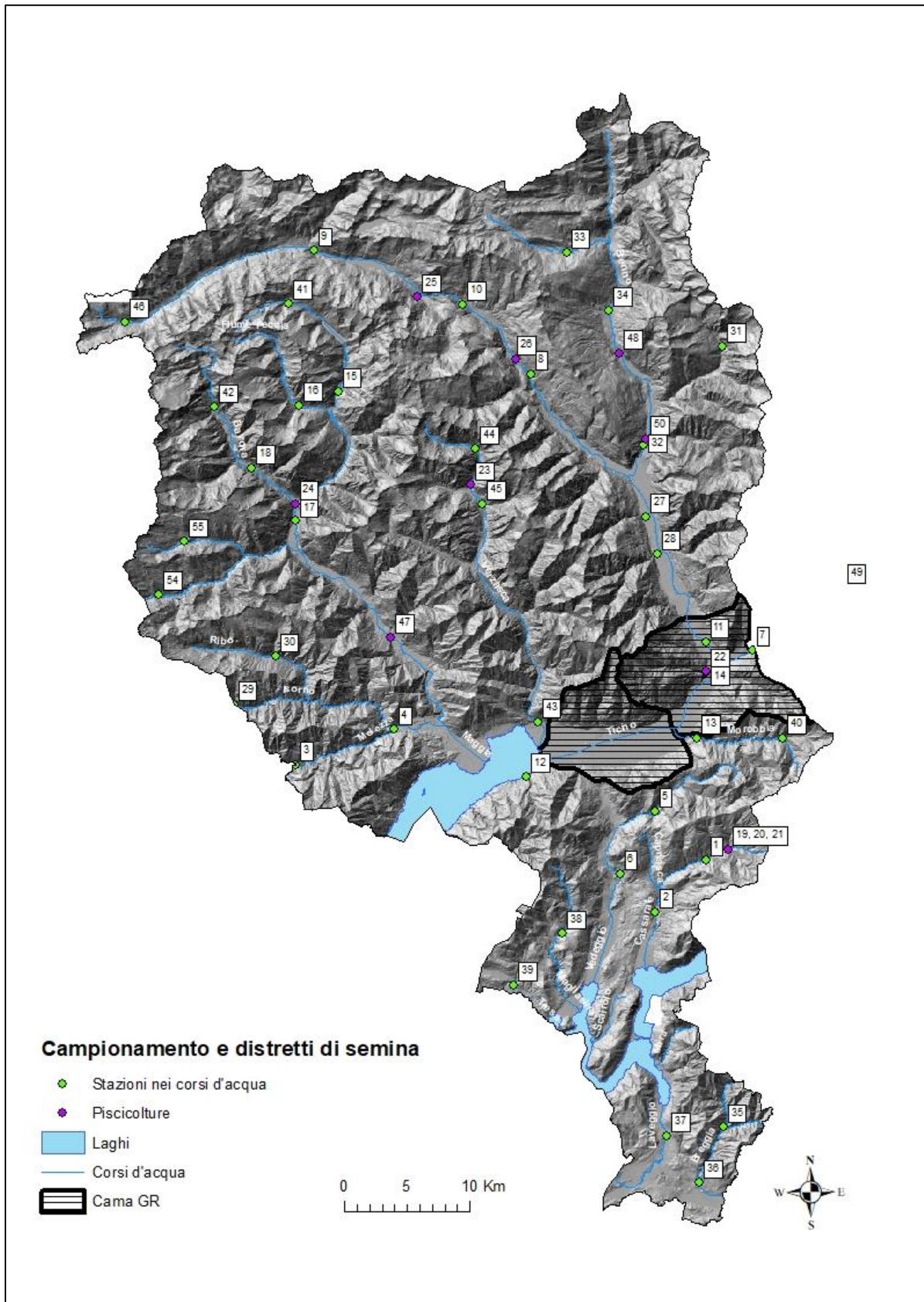




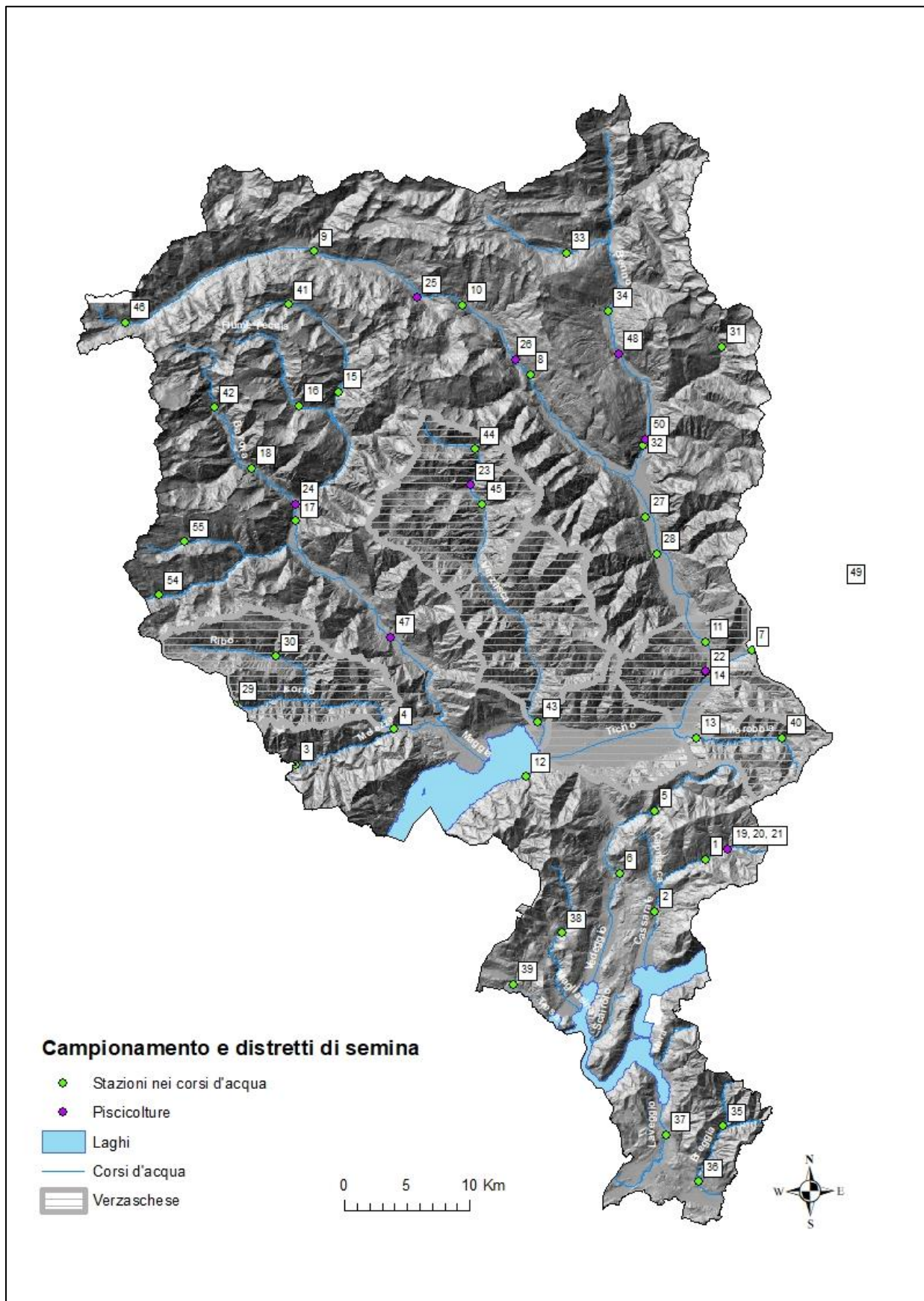
7.3.3 Bleniese

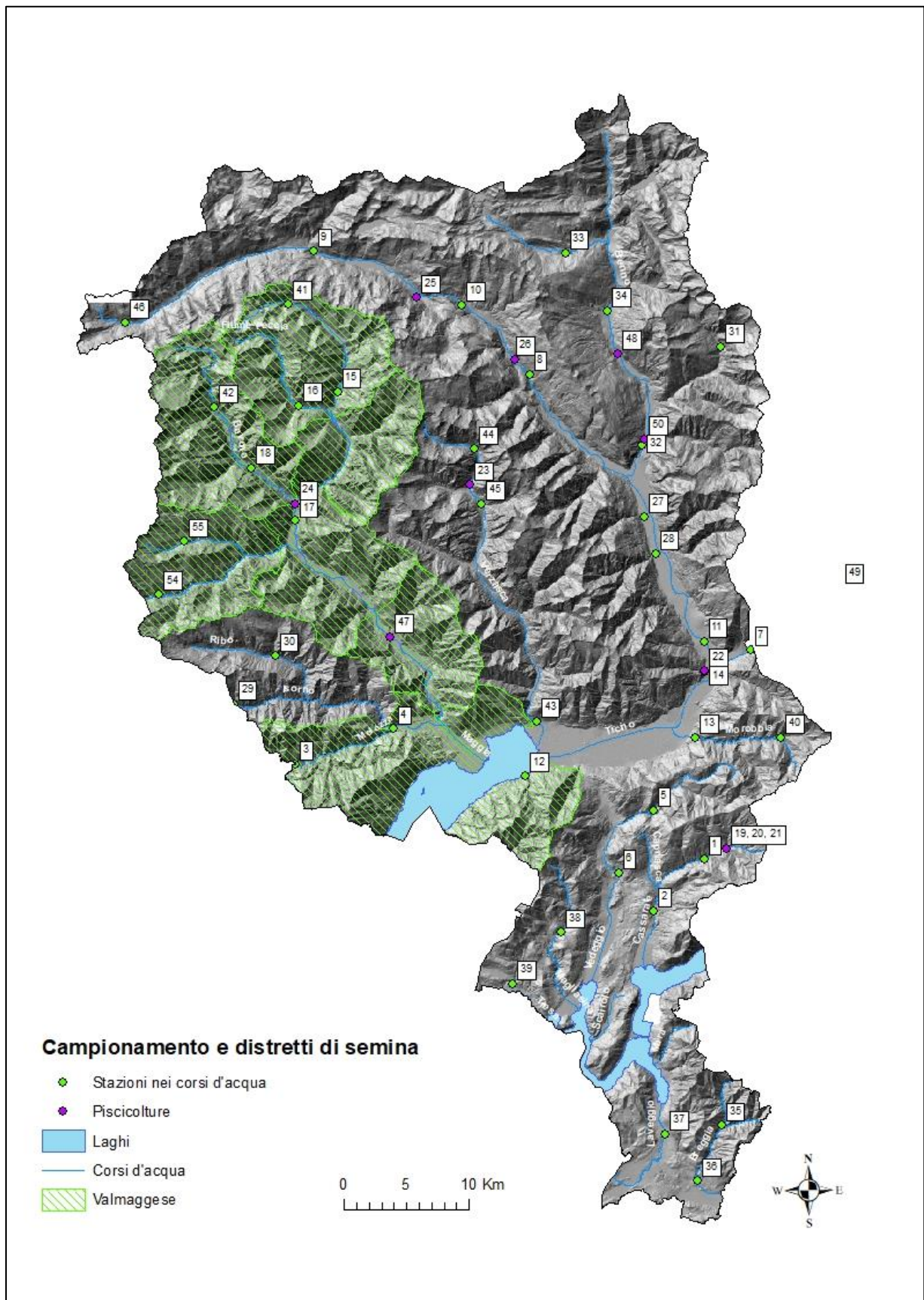




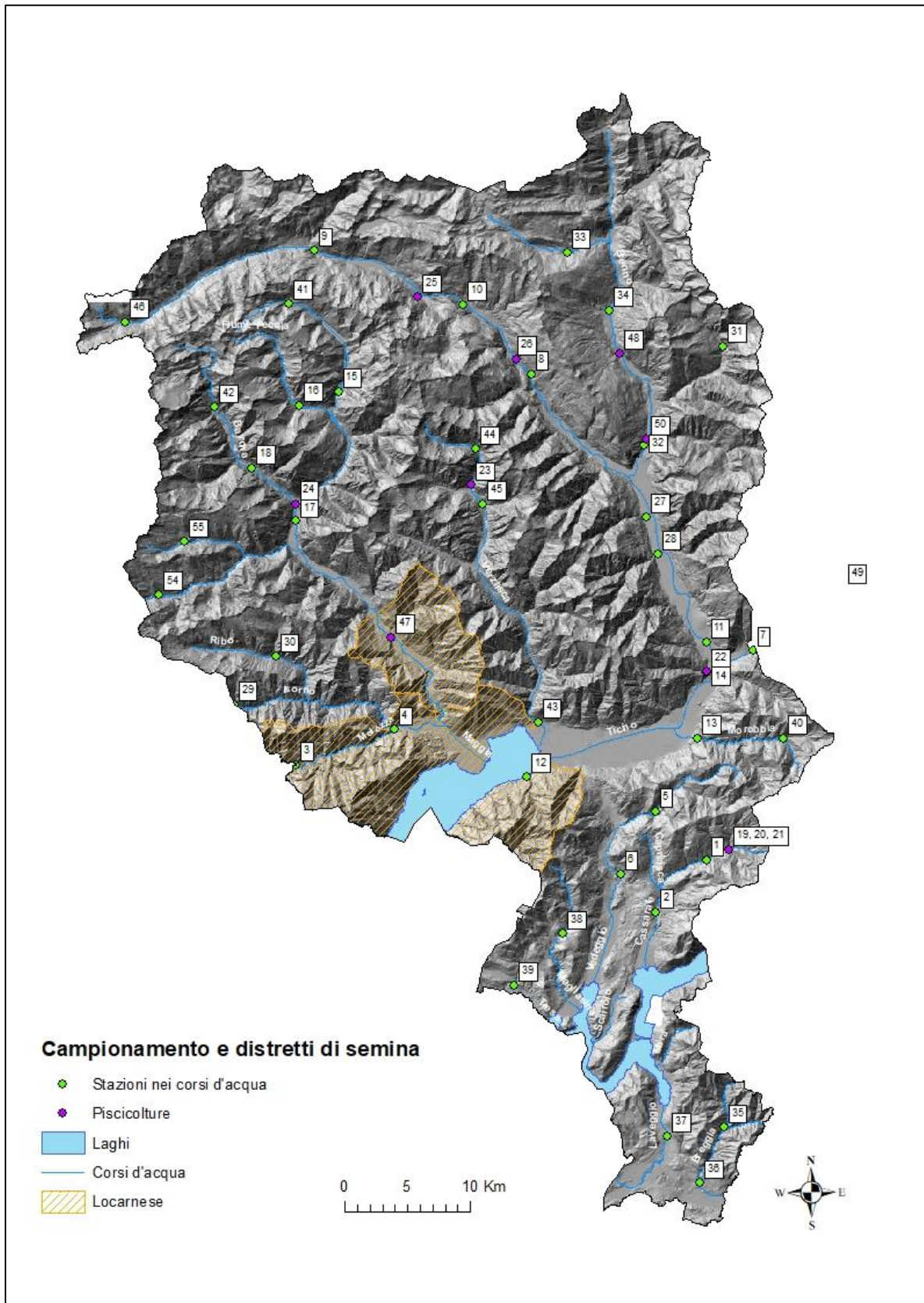


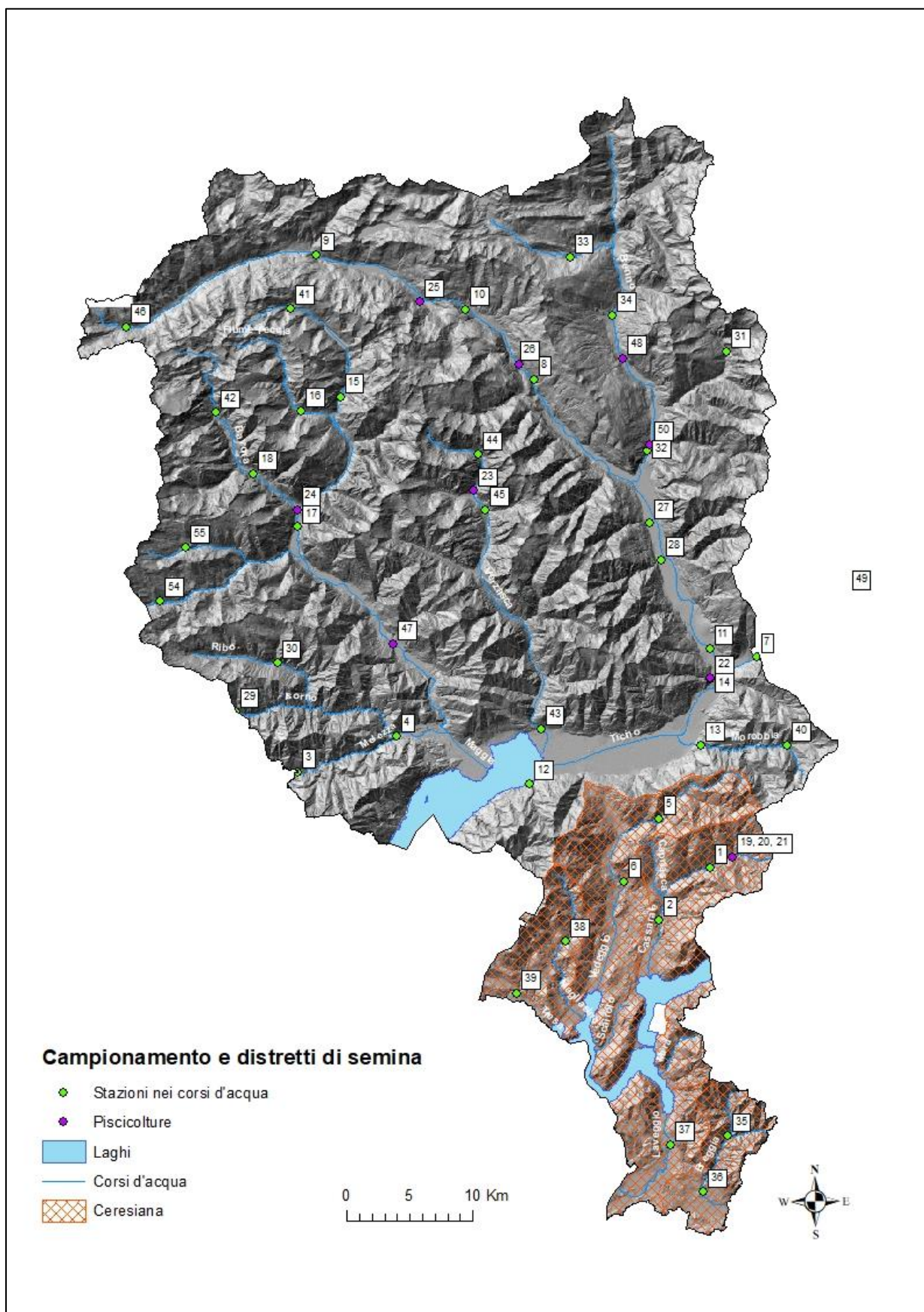
7.3.6 Verzaschese





7.3.8 Locarnese





7.4 Analisi base

Populations	Cours d'eau	N	An	Ar	H0	HE	p value	FIS	Significativité
1	Cassarate	30	9.50	8.41	0.73	0.74	0.12	0.03	0.187
2	Cassarate	30	9.08	7.93	0.71	0.73	0.01	0.02	0.253
3	Melezza	31	11.42	10.00	0.72	0.79	High. Sign.	0.09	0.000
4	Melezza	30	10.08	9.00	0.67	0.78	High. Sign.	0.14	0.000
5	Veduggio	30	8.67	7.74	0.66	0.68	High. Sign.	0.03	0.156
6	Veduggio	35	7.67	6.94	0.72	0.71	0.60	-0.01	0.671
7	Moesa	29	9.75	8.54	0.73	0.74	0.33	0.01	0.383
8	Ticino	30	8.67	7.58	0.68	0.71	High. Sign.	0.04	0.089
9	Ticino	30	8.75	7.85	0.71	0.73	High. Sign.	0.02	0.207
10	Ticino	30	9.25	8.07	0.70	0.71	0.39	0.01	0.330
11	Ticino	32	10.08	8.67	0.70	0.74	High. Sign.	0.05	0.028
12	Gambarogno	30	8.08	7.43	0.69	0.71	0.44	0.04	0.093
13	Morobbia	29	7.50	6.92	0.67	0.69	0.02	0.04	0.099
14	Riale di Gorduno	30	8.17	7.39	0.68	0.73	0.00	0.08	0.004
15	Lavizzara	30	7.67	6.89	0.66	0.68	0.155	0.03	0.184
16	Peccia	30	7.67	7.06	0.66	0.71	High. Sign.	0.08	0.005
17	Maggia	34	9.33	8.02	0.69	0.73	0.1445	0.06	0.020
18	Bavona	28	8.42	7.65	0.72	0.69	0.9102	-0.04	0.925
19	Pisciculture Ceresiana	30	8.75	7.78	0.72	0.73	High. Sign.	0.01	0.330
20	Pisciculture Ceresiana	30	7.92	7.01	0.66	0.69	High. Sign.	0.05	0.047
21	Pisciculture Ceresiana	30	9.00	8.26	0.68	0.74	High. Sign.	0.09	0.001
22	Pisciculture Bellinzonese	30	9.50	8.36	0.71	0.75	High. Sign.	0.06	0.011
23	Pisciculture Verzaschese	30	6.75	6.32	0.68	0.70	0.0146	0.03	0.149
24	Pisciculture Valmaggese	30	7.33	6.81	0.68	0.70	High. Sign.	0.03	0.189
25	Pisciculture Alta Leventina	30	7.08	6.61	0.69	0.71	0.4261	0.03	0.134
26	Pisciculture Leventinese	30	8.17	7.47	0.72	0.73	0.1192	0.02	0.279
27	Riale di Iragna	30	8.67	7.87	0.74	0.74	0.4528	0.00	0.496
28	Riale di Lodrino	30	8.67	7.78	0.69	0.72	High. Sign.	0.04	0.073
29	Isorno	30	7.33	6.74	0.67	0.70	0.5141	0.05	0.057
30	Ribo	30	7.92	7.03	0.66	0.69	0.1988	0.03	0.164
31	Orino	30	7.75	7.16	0.66	0.72	0.0023	0.08	0.004
32	Brenno	30	10.08	8.88	0.74	0.76	High. Sign.	0.03	0.116
33	Brenno Lucomagno	30	9.00	8.09	0.72	0.73	0.44	0.02	0.205
34	Brenno	30	9.00	7.84	0.72	0.72	High. Sign.	0.01	0.369
35	Breggia	30	7.75	6.91	0.64	0.66	High. Sign.	0.03	0.132
36	Breggia	30	9.17	8.17	0.67	0.74	High. Sign.	0.09	0.000
37	Laveggio	31	8.75	7.80	0.73	0.71	0.8621	-0.03	0.869
38	Magliasina	30	8.58	7.55	0.72	0.70	0.0686	-0.02	0.770
39	Tresa	32	8.67	7.64	0.71	0.71	0.1254	0.00	0.512
40	Morobbia	29	6.17	5.68	0.55	0.59	0.0029	0.07	0.025
41	Lavizzara	30	7.00	6.52	0.67	0.69	High. Sign.	0.04	0.116
42	Bavona	30	8.75	7.87	0.71	0.73	0.0375	0.03	0.119
43	Verzasca	27	7.00	6.54	0.64	0.69	0.0001	0.08	0.010
44	Verzasca	33	6.83	6.08	0.71	0.71	0.0986	0.01	0.419
45	Verzasca	30	7.67	6.82	0.64	0.67	0.9171	0.05	0.061
46	Ticino	30	6.83	6.26	0.69	0.69	0.2263	0.00	0.481
47	Pisciculture Locarnese	30	7.50	6.88	0.75	0.72	0.1148	-0.04	0.933
48	Pisciculture Bleniese	30	7.00	6.39	0.65	0.69	0.233	0.06	0.029
49	Pisciculture Cama	29	10.50	9.34	0.75	0.78	0.2761	0.05	0.031
50	Pisciculture Biaschese	30	6.75	6.32	0.71	0.72	0.1667	-0.02	0.782
51	Diego Master	44	7.18	-	0.55	0.59	High. Sign.	0.07	0.000
52	Toce	14	11.67	-	*	*	*	0.04	0.163
53	Pellice	15	5.67	-	0.73	0.73	High. Sign.	0.02	0.353
54	Rovana di Campo	42	8.75	7.51	0.63	0.72	High. Sign.	0.12	0.000
55	Rovana di Bosco	30	7.83	7.18	0.68	0.71	High. Sign.	0.03	0.135
56	Maggiore	1	-	-	-	-	-	-	-
57	Soletta	42	8.25	-	0.73	0.73	0.1209	-0.00	0.548

7.5 Tabella F_{ST}

