



Regione Autonoma
Friuli Venezia Giulia



Comune di Cavazzo
Carnico



Comune di Trasaghis



Comune di Bordano

L. R. n. 13 del 05.08.2022 Art. 4 – C. 15
Studio specialistico
volto ad approfondire le interazioni
tra la Centrale idroelettrica di Somplago
e il Lago dei Tre Comuni
e a definire le conseguenti azioni
di mitigazione sul breve e sul medio periodo

1. – *Valutazione dell'interazione esistente tra la
centrale idroelettrica di Somplago
e il Lago dei Tre Comuni*

GRUPPO DI LAVORO

COORDINAMENTO	CONSULENZA		
Ing. Andrea Selleri Via Raffaello n. 1 12100 Cuneo (CN)	Dott. Massimo Pascale Via Aurora n. 5 10064 Pinerolo (TO)	Dott. Fabrizio Merati Via Rosmini n. 10 21014 Laveno (VA)	Prof. Giovanni Bacaro Piazzale Europa n. 1 34127 Trieste (TS)
	<i>Albo professionale Ordine dei Biologi n. 045787</i>	<i>Albo professionale Ordine dei Biologi n. 038759</i>	<i>Dipartimento di Scienze della Vita Università di Trieste</i>
Idrologia ed idraulica	Ecologia fluviale ed ittologia	Riquilificazione lacuale	Monitoraggio della diversità vegetale

Indice

1.INTRODUZIONE.....	5
1.1 Il lago.....	5
1.2 La centrale.....	6
1.2.1 Entità e andamento delle escursioni di livello.....	9
1.3 La centrale e il lago.....	9
1.4 Riferimenti normativi.....	11
2.GRUPPO DI LAVORO.....	13
3.PRESENTAZIONE DELLE ATTIVITÀ.....	15
4.ECOSISTEMI CONNESSI AL LAGO.....	16
4.1 Introduzione.....	16
4.2 Ecosistemi connessi al lago – Generalità su flora e vegetazione.....	17
4.3 Individuazione dell’area di analisi e descrizione degli Ecosistemi Corine Biotopes presenti.....	18
4.4 Risultati – Comunità vegetali e loro stato di conservazione.....	33
4.4.1 Fragmiteti (rilievi 1 e 2, Figura 4.5).....	34
4.4.2 Cariceto e Scirpeto (rilievo 3).....	37
4.4.3 Boscaglie ripariali sul Rio Schiasazze (rilievi 4,5,6,7).....	39
4.4.4 Boschi di pioppo nero e Frassineti del lembo meridionale del lago (Rilievi 10, 11, 12 – Figura 4.8).....	42
4.4.5 Considerazioni diacroniche sulla composizione della vegetazione macrofita e idrofita del lago e sugli impatti osservati.....	44
4.5 Mitigazioni Proposte.....	47
4.6 Bibliografia.....	49
5.FAUNA ITTICA.....	51
5.1 Introduzione.....	51
5.2 Caratterizzazione ittiofaunistica del sistema idrografico.....	53
5.3 Sopralluogo e campionamenti dell’ittiofauna.....	57
5.4 Modificazione della comunità ittica del lago a seguito dell’entrata in funzione della centrale.....	64
5.5 Indicazioni relative ad interventi mirati per incrementare le comunità ittiche	68
5.5.1 Recupero della connettività con il Leale (e con il Tagliamento).....	68
5.5.2 Messa in opera di un passaggio per pesci sull’emissario del lago.....	68

5.5.3 Verifica dell'attuale efficacia ed efficienza del passaggio per pesci.....	68
5.6 Considerazioni finali di ordine generale.....	69
5.7 Bibliografia consultata.....	69
6.CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DEL LAGO.....	71
6.1 Variazione del regime termico nel lago indotto dall'impianto di Somplago.	71
6.1.1 Dati storici.....	71
6.1.2 Situazione attuale.....	75
6.2 Caratteristiche chimico-fisiche.....	77
6.2.1 Determinazione del nutriente limitante.....	77
6.2.2 Livello trofico attuale.....	80
6.2.3 Determinazione del livello trofico naturale teorico.....	80
6.3 Uscita di campo.....	81
6.3.1 Esiti dei prelievi.....	82
6.3.2 Concentrazione del fosforo calcolata.....	83
6.4 Valutazioni conclusive.....	83
7.CARATTERISTICHE DEL FONDALE.....	85
8.SVILUPPO TURISTICO E ATTIVITÀ RICREATIVE.....	86
8.1 Metodi.....	86
8.1.1 Calcolo dell'Offerta Ricreativa.....	87
8.1.2 Calcolo dello Spettro delle Opportunità Ricreative.....	89
8.2 Risultati.....	92
8.3 Attività professionali e turistiche legate all'ittiofauna.....	96
8.4 Bibliografia.....	97
9.BILANCIO DEL CARBONIO.....	99
9.1 Introduzione.....	99
9.2 Metodologia utilizzata per il calcolo del C nell'area del lago di Cavazzo (area di studio).....	100
9.3 Risultati.....	104
9.4 CO2 evitata.....	110
9.5 Commento.....	111
9.6 Bibliografia.....	112
10.GESTIONE DEL MATERIALE FINE.....	114
10.1 Meccanismi di introduzione del materiale fine al lago.....	114
10.2 Velocità di sedimentazione nel lago.....	117

10.3 Trasporto solido.....	128
10.4 Ricostruzione dell'evento di maggio 2023.....	129
10.4.1 Analisi delle piogge.....	132
10.4.2 Valutazione dell'evento.....	134
10.5 Conclusioni.....	135
11.RICOSTRUZIONE DELLE PORTATE NATURALI IN INGRESSO AL LAGO	136
11.1 Analisi pluviometrica.....	136
11.1.1 Caratterizzazione climatica generale.....	136
11.1.2 Afflussi registrati.....	137
11.1.3 Piovosità calcolata.....	141
11.2 Apporti superficiali al lago.....	143
11.2.1 Metodologia adottata.....	143
11.2.2 Coefficiente di deflusso.....	144
11.2.3 Superficie di bacino.....	146
11.2.4 Portata media annua.....	147
11.2.5 Curva di durata delle portate.....	147
11.2.6 Andamento cronologico.....	149
11.3 Bilancio idrologico attuale del lago.....	151
11.3.1 Equazione di continuità.....	151
11.3.2 Portate monitorate.....	152
11.3.3 Livelli monitorati.....	155
11.3.4 Apporti naturali.....	157
11.3.5 Perdite per evaporazione.....	158
11.3.6 Perdite per infiltrazioni.....	160
11.4 Comportamento del lago in caso di mancati apporti dall'impianto.....	161
11.4.1 Comportamento del lago prima della realizzazione dell'impianto.....	161
11.4.2 Comportamento del lago in periodi di fermo impianto.....	167
11.4.3 Simulazione del comportamento del lago allo stato attuale.....	167
11.5 Considerazioni conclusive.....	170
12.CONCLUSIONI.....	173

1. INTRODUZIONE

1.1 Il lago

Il lago di Cavazzo, anche detto Lago dei Tre Comuni, è il più grande bacino naturale della Regione Friuli Venezia Giulia. Si trova in Provincia di Udine, al piede delle Prealpi Carniche.



Fig. 1.1: il lago di Cavazzo visto dal rilievo che costeggia la sponda orientale

Il lago ha una superficie di circa 1,2 km² (era di 1,74 km² prima che entrasse in funzione l'impianto idroelettrico di Somplago) e il suo perimetro, considerando anche la prima porzione del canale emissario, è di 7,6 km.

La depressione in cui è situato è delimitata a sud-est da un complesso montuoso con la cima più elevata a quota 1.049 m s.l.m. (Monte Palantarins), a est dal monte San Simeone (1.505 m) e dal Monte Festa (1.055 m), a nord da un sottile cordone collinare che lo separa dall'alveo del Fiume Tagliamento (punta massima Cuei De

Mena, 367 m), a ovest dalla Cima Sompalis (1.128 m) e dal Colle Ceregnons (578 m) che sovrasta il lago.

Immissari sono diversi piccoli corsi d'acqua, che scorrono sui versanti dei monti sopra elencati, di cui i più importanti sono il Rio Schiasazze in testata nord (a volte identificato come il vero immissario del lago, dato che è l'unico ad avere carattere perenne), il Rio das Bevorcjias, i Rii Chianale e Tamer, il Rudicuardes, il Rio Costa (che sfocia ad Interneppo), il Rio di Forcule e il Rio Cloupe in sponda sinistra; lo Spissul, il Rio Band, il Rio Cruzio e il Rio da Cout in sponda destra.

L'emissario è un canale artificiale con afflusso regolato da paratoia lungo 4.000 metri, che scorre in galleria per 3.600 metri per poi tornare a cielo aperto e scaricare le acque provenienti dal lago nel torrente Leale che, dopo un percorso di 3,2 km, si immette nel Tagliamento presso Osoppo. Il canale è gestito dal proprietario dell'impianto idroelettrico in modo da mantenere il più costante possibile il livello nel lago, e far funzionare così il lago da bacino di compenso.

Il livello del lago è variabile intorno ai 194,90 m s.l.m. L'escursione è ordinariamente inferiore ad 1 metro.

I paesi che si affacciano sulle rive del lago sono Interneppo, Alesso e Somplago. Tre sono i Comuni rivieraschi: Cavazzo Carnico, Bordano e Trasaghis.

La depressione che ora dà origine al lago era un tempo una valle, in cui scorreva un ramo del fiume Tagliamento. Nelle ultime glaciazioni è stata occupata da un'imponente calotta di ghiaccio, che ha scavato per erosione la valle e, ritirandosi, ha portato alla luce un cordone di conglomerati che oggi lo separa dal Tagliamento. Un tempo il lago arrivava a lambire la piana di Osoppo e Gemona; la sua estensione è via via diminuita, fino a quella attuale.

1.2 La centrale

La centrale di Somplago è l'impianto idroelettrico più importante della Regione FVG. La sua costruzione risale alla prima metà degli anni '50 e sfrutta le acque del bacino artificiale di Verzegnis per alimentare le sue tre turbine Francis che arrivano a turbinare 66 m³/s di acqua. Attualmente ne è proprietaria A2A.

L'impianto è situato in galleria a circa 600 metri all'interno della montagna. Nell'invaso sbarrato dalla diga dell'Ambiesta confluiscono, dallo scarico della centrale di Ampezzo, dalla presa di Caprizzi e quella sul torrente Degano poco più di 30 m³/s. Questo rende il serbatoio di Verzegnis una vasca di carico giornaliera e genera delle variazioni di livello

del bacino di 7-8 metri al giorno.

L'impianto è predisposto per l'installazione di altri due gruppi, per un totale di 5 turbine, ma a causa del disastro del Vajont non sono mai stati portati a compimento i progetti di costruzione degli altri sbarramenti e derivazioni che dovevano consentire di avere la portata d'acqua necessaria ad alimentare i 5 impianti.

Negli anni intorno al 2010 Edipower, l'allora proprietario, presentò anche un progetto per trasformare la centrale di Somplago in impianto misto produzione/pompaggio; il progetto fu poi abbandonato.

Le turbine, in precedenza tutte costruite dalla ditta Riva, sono del tipo Francis dal diametro di poco più di 6 metri; ad oggi i gruppi sono stati sostituiti con sistemi Andritz Hydro.

Dalla quota massima di 484 m s.l.m. dopo un salto di circa 280 m, l'acqua viene restituita al lago di Cavazzo alla quota di 195 m s.l.m..

Dati dell'impianto

- | | |
|-----------------------------|---------------------|
| • Potenza installata | 172,8 MW |
| • Produzione | 405 GWh |
| • Bacino imbrifero | 647 km ² |
| • N° prese | 18 |
| • Anno entrata in esercizio | 1957 |

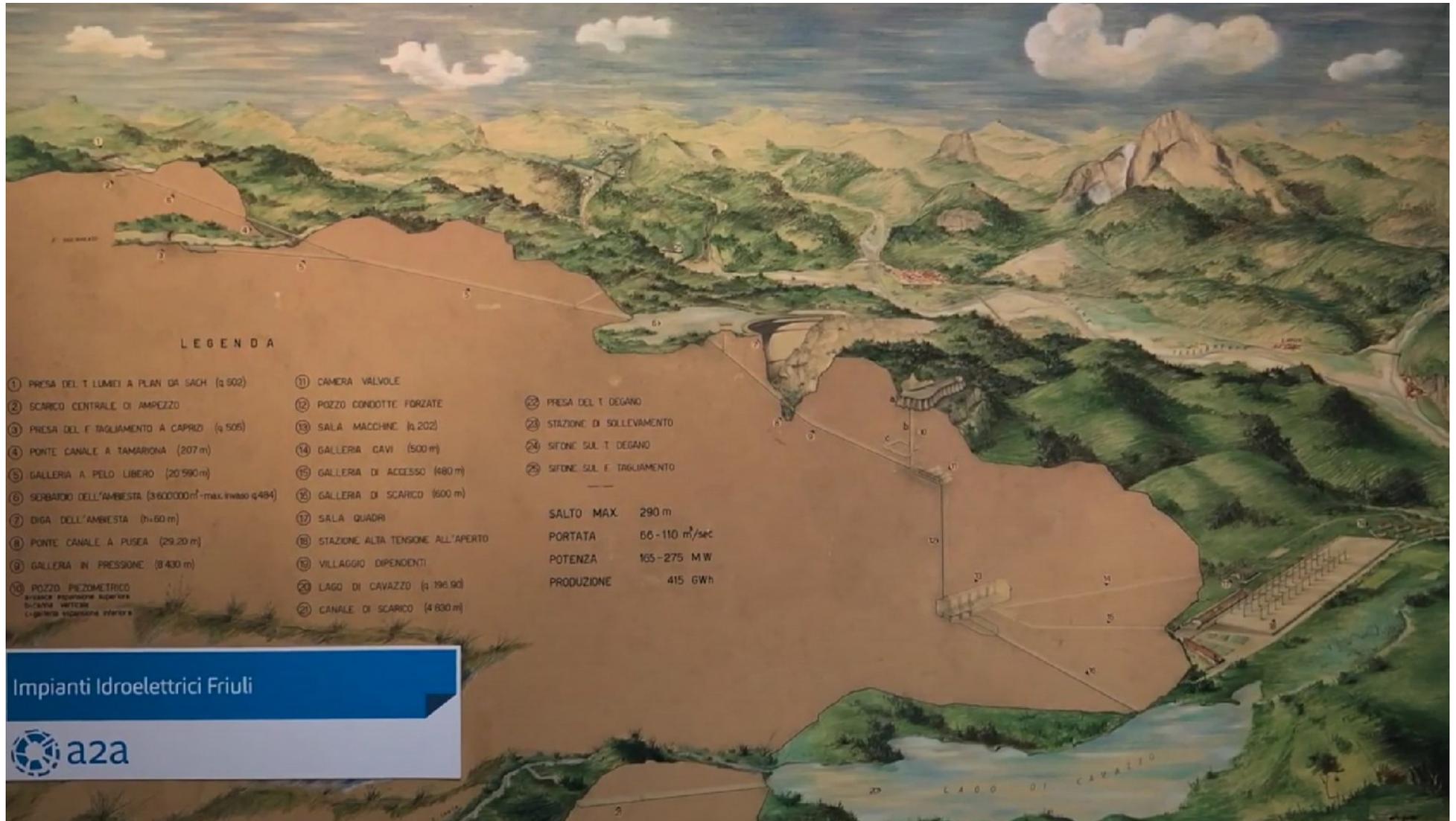


Fig. 1.2: lo schema dell'impianto di Somplago

1.2.1 Entità e andamento delle escursioni di livello

Il lago di Verzegnis e il lago di Cavazzo vengono utilizzati come serbatoi di compensazione giornaliera: il lago di Verzegnis trattiene le acque in arrivo da monte nei momenti in cui la centrale non è in produzione; quando la centrale entra in funzione il livello superiore ridiscende fino a portarsi a quello del giorno precedente. Nel lago di Cavazzo la compensazione avviene, sempre a cadenza giornaliera, all'inverso: quando la centrale è in produzione il livello sale, mentre ridiscende quando la centrale è ferma.

In questo meccanismo di accensione e spegnimento la concessionaria si avvantaggia economicamente perché, se anche la produzione giornaliera non si incrementa, la produzione viene maggiormente remunerata dal Gestore nazionale in quanto va a coprire le punte di richiesta della rete. Va detto che la gestione oraria, oltre ad essere un principio insito nell'impianto stesso e sancito dal disciplinare di concessione, è un'esigenza della rete stessa, in quanto le altre fonti di energia (comprese quelle rinnovabili) non sono ugualmente "programmabili", quindi per il sistema energetico nel suo complesso questa è una necessità inderogabile al fine di coprire i fabbisogni degli utenti, senza sprechi.

Ciò che fa decidere l'avvio e la fermata dei tre gruppi di cui si compone la centrale di Somplago sono le esigenze del momento, che vengono comunicate con scarsissimo anticipo, anche meno di un giorno, dal gestore (Terna). L'impianto ha la funzione di coprire le punte di richiesta giornaliere, con passaggio anche brusco da 0 a 66 m³/s di acqua immessa nel lago di Cavazzo, pertanto A2A, che gestisce anche il canale emissario, deve tenerne conto affinché il livello nel lago, entro certi limiti, rimanga costante.

La ricostruzione idrologica descritta al § 11., unita ai dati di produzione oraria, ha consentito di indagare sul regime delle escursioni di livello nel lago di Cavazzo prima e a seguito dell'entrata in funzione della centrale.

1.3 La centrale e il lago

L'utilizzo di un lago naturale come serbatoio di compenso a valle di un impianto idroelettrico è un'anomalia nel panorama idroelettrico alpino: oltre a quello di Cavazzo è noto unicamente quello di Santa Massenza in Trentino. Un caso simile è rappresentato dall'impianto Enel Green Power di Entracque (CN), che però

al contrario scarica nel bacino di compenso artificiale di Brignola, ma è alimentato dal lago naturale delle Rovine (oltre che dal bacino artificiale del Chiotas).

“Usare” un elemento del territorio di pregio naturalistico, paesaggistico e turistico quale è un lago è un'opzione che forse al giorno d'oggi non potrebbe mai essere autorizzata; ma la sensibilità in Italia su questi temi si è sviluppata solamente a partire dagli anni '80 del secolo scorso, mentre nei decenni precedenti, quelli del dopoguerra in cui l'impianto fu autorizzato e vide la luce, si privilegiava la ricostruzione e la rinascita di un paese messo a dura prova dalla seconda guerra mondiale.

La convivenza tra lago e centrale non è mai stata pacifica, complice anche il tenace attaccamento delle popolazioni locali alla propria terra; ma soprattutto perché il funzionamento della centrale ha evidenziato col passare degli anni una modifica sostanziale del lago (di cui si darà conto più avanti), a cui si sono aggiunti interventi antropici di altra natura: l'autostrada che sovrappassa il lago, la nuova viabilità litoranea e le infrastrutture ricreative e turistiche costiere.

L'obiettivo principale che la Regione FVG intende raggiungere, anche con l'ausilio del presente studio, è la tutela del lago di Cavazzo, un tema emerso già negli anni '80 e ancora in discussione.

L'impatto dell'impianto idroelettrico sul lago è evidente. Prima ancora di addentrarsi nei singoli argomenti trattati, si possono già elencare i più evidenti (non necessariamente di segno negativo):

- 1) raffreddamento delle acque
- 2) torbidità
- 3) materiale fine sedimentato
- 4) gestione dei livelli
- 5) modifica dei livelli trofici

Un tema sicuramente cruciale è la possibile realizzazione di un canale di by-pass del lago, che però si porta con sé, oltre alle inevitabili problematiche di ordine tecnico, economico, ambientale e vincolistico, la mancata o parziale compensazione dei deflussi in arrivo dalla centrale, con conseguenze in termini di limitazione alla produzione, hydropeaking e fenomeni collaterali.

Anche gli impatti che l'opera potrà determinare sull'impianto di Somplago non sono trascurabili.

In parallelo vanno messi in atto, a breve ed a medio periodo, interventi per la rinaturalizzazione del lago, e di valorizzazione delle sue potenzialità turistiche.

Queste azioni si incrociano con l'attuazione della legge regionale 21 del 2020 sulle grandi derivazioni elettriche: nel breve periodo, ovvero fino al 2029, anno della scadenza e assegnazione al nuovo gestore, le azioni da porre in atto sono forzatamente limitate; un bando di gara si potrà fare solo a partire dal 2026, e a quel momento sarà fondamentale arrivare preparati con un quadro definito di livelli tecnici minimi di progetto che costituiranno condizioni/requisiti di ammissibilità per le proposte tecniche da presentare in sede di gara.

1.4 Riferimenti normativi

Il documento Indirizzi di Piano facente parte del Piano regionale di tutela delle acque approvato con il decreto del Presidente della Regione n. 74 del 20 marzo 2018 ha previsto al paragrafo “Misure specifiche per il fiume Tagliamento a valle di Ospedaletto” che nell’ambito del processo di identificazione definitiva dei corpi idrici fortemente modificati di cui alla direttiva europea 2000/60CE, sia prevista la valutazione di fattibilità delle possibili azioni di mitigazione e di una valutazione costi/benefici delle possibili alternative agli usi specifici esistenti sul fiume Tagliamento a valle di Ospedaletto. Nell’ambito di detta valutazione è stata prevista altresì la verifica della fattibilità tecnico - economica di realizzazione di un canale di by-pass, o di altra soluzione progettuale che mitighi l’impatto dello scarico della centrale di Somplago sul lago di Cavazzo con lo scopo di recuperare le condizioni di naturalità del lago stesso e di garantirne la fruibilità.

La Legge Regionale 6 febbraio 2018 n. 3, all’art. 11 (Disposizioni per il recupero della naturalità del Lago dei tre Comuni), individua lo strumento del concorso di idee per avviare l’iter progettuale al fine di recuperare le condizioni di naturalità e fruibilità del lago. Il concorso è stato indetto con un monte premi di 35.000 euro, ma, purtroppo, è andato deserto per motivi da verificare anche nell’ottica di un’eventuale riedizione della procedura.

Il Laboratorio del Lago dei Tre Comuni è stato istituito con la Legge Regionale n. 13 del 6 agosto 2019 (art. 4, commi da 35 a 40), ed ha visto la nomina di tre esperti (un geologo, un ingegnere ed un architetto) ciascuno nominato da uno dei tre Comuni con apposita delibera, avvenute tutte nel 2020. Il Tavolo tecnico che ha seguito i

lavori era composto, oltre che dai tre esperti, anche da dirigenti e funzionari della Regione, e tecnici ARPA; inoltre sono stati sentiti in una serie di colloqui organizzati per settore i rappresentanti dei soggetti portatori di interesse: i comitati spontanei sorti per la tutela e la valorizzazione del lago, il Consorzio di Bonifica Pianura Friulana, la società proprietaria dell'impianto A2A, l'Agenzia Regionale per lo Sviluppo Rurale, Coldiretti ed anche i rappresentanti del mondo del turismo e dell'economia in generale.

La relazione finale si divide in tre parti, ciascuna curata da uno dei tre esperti:

- 1) indagine geologica/geofisica (dott. Gasperini, Ismar-CNR)
- 2) soluzioni per il by-pass (ing. Pederzolli)
- 3) soluzioni per la valorizzazione ambientale del lago (arch. Vanni)

A conclusione di questa fase, nella seduta del 25 maggio 2022 il Laboratorio ha stabilito di proseguire con le seguenti attività:

- elaborazione di uno studio tecnico specialistico relativo all'interazione centrale-lago
- predisposizione di un piano generale di programmazione e sviluppo territoriale per l'area vasta del Lago dei Tre Comuni.

La Legge Regionale n. 13 del 5 agosto 2022 - art. 4 comma 15 ha previsto di commissionare ad un soggetto specializzato, con affidamento diretto a seguito di indagine di mercato, il servizio finalizzato alla redazione di uno studio specialistico volto ad approfondire le interazioni tra la centrale idroelettrica di Somplago e il Lago dei Tre Comuni e a definire le conseguenti azioni di mitigazione sul breve e sul medio periodo.

Lo studio specialistico è stato affidato allo Studio Pantidro di Cuneo con Decreto n. 31763/GRFVG del 22 dicembre 2022.

2. GRUPPO DI LAVORO

Studio Tecnico Pantidro

Ing. Andrea Selleri – Socio dello Studio Tecnico Pantidro - Referente Tecnico-Scientifico - nato a Cuneo il 07 maggio 1963.

Laurea in ingegneria civile idraulica conseguita presso il Politecnico di Torino ed iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine degli Ingegneri dal 1989.

Esperto nei vari settori della gestione della risorsa idrica e in materia di studi di impatto ambientale in qualità di coordinatore di gruppi di lavoro composti da ingegneri, biologi, geologi, forestali.

Ing. Mauro Dematteis – Socio dello Studio Tecnico Pantidro - nato a Savigliano (CN) il 27 gennaio 1981.

Laurea in ingegneria per la protezione del territorio conseguita presso il Politecnico di Torino ed iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine degli Ingegneri dal 2007.

Esperto di riqualificazione fluviale, con particolare riferimento alla ricostituzione della continuità biologica dei corsi d'acqua e di analisi conoscitive (paesaggio, socioeconomia, morfologia e trasporto solido dei corsi d'acqua, infrastrutture) nel contesto degli studi di impatto ambientale.

Prof. Giovanni Bacaro - nato ad Anagni (FR) il 14 settembre 1978.

Professore del Settore Disciplinare 05/A1 – BOTANICA, Settore Scientifico-Disciplinare BIO/03 Botanica Ambientale ed Applicata, Dipartimento di Scienze della Vita, Università di Trieste.

Esperto di monitoraggio della diversità vegetale in sistemi di aree protette in relazione alla resilienza ecosistemica, analisi di congruenza tra taxa, valutazione ed ottimizzazione dei parametri del disegno campionario relativo alla caratterizzazione della diversità vegetale in aree vaste, analisi e sviluppo di misure di diversità vegetale, valutazione delle relazioni tra variabili ambientali e numero e

composizione specifica delle comunità vegetali, analisi dell'effetto della diversità vegetale come elemento per la riduzione del rischio idrogeologico.

Dott. Massimo Pascale - nato a Torino il 29 marzo 1963

Laurea in Scienze Biologiche conseguita all'Università degli Studi di Torino, Facoltà di Scienze M.F.N. ed iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine dei Biologi.

Esperto di ricerche nel campo dell'ecologia fluviale, dell'idrobiologia, dell'ittologia, e nell'ambito di studi di impatto ambientale.

Dott. Fabrizio Gianluigi Merati - nato a Milano il 15 giugno 1957

Laurea in Scienze Biologiche conseguita all'Università degli Studi di Milano, Facoltà di Scienze Biologiche ed iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine dei Biologi.

Esperto di riqualificazione lacuale: si occupa di monitoraggio di ambienti lacustri e di relativo recupero idroqualitativo e funzionale da oltre trent'anni.

3. PRESENTAZIONE DELLE ATTIVITÀ

La prima parte dello studio specialistico, contenuta nel presente documento, riguarda la valutazione dell'interazione esistente tra la centrale idroelettrica di Somplago e il Lago dei Tre Comuni.

L'analisi richiesta parte dalla documentazione disponibile, e dalle ricognizioni in situ svolte da tutti i componenti del gruppo di lavoro.

Gli aspetti che sono stati indagati sono i seguenti:

- Ecosistemi connessi al lago
- Fauna ittica
- Caratteristiche chimico fisiche delle acque del lago
- Caratteristiche del fondale
- Sviluppo turistico
- Attività ricreative
- Bilancio del carbonio
- Gestione del materiale fine
- Portate naturali in ingresso al lago

L'attività si è concretizzata anche in alcuni sopralluoghi svolti tra gennaio e giugno 2023, in date scelte in base alle condizioni climatiche in relazione alle componenti ambientali e territoriali da osservare.

Ad esse si sono affiancate, nel medesimo periodo, riunioni di confronto con i funzionari regionali.

4. ECOSISTEMI CONNESSI AL LAGO

4.1 Introduzione

Il Lago dei Tre Comuni (Cavazzo, Trasaghis, Bordano) è il più vasto lago naturale del Friuli-Venezia Giulia con una lunghezza di 2.250 m, largo da 400 a 800 m, e una profondità massima di 40 m circa (12 m in media), la superficie è di 1,2 km² (1,74 km² prima della messa in funzione della centrale idroelettrica di Somplago) e il suo perimetro è di 7,6 km, compreso il canale emissario. Di origine glaciale, temperato, sorge a 195 m s.l.m., più in basso del fiume Tagliamento che scorre circa 3 km a est. L'area settentrionale, di superficie più ridotta e prossima all'abitato di Somplago, è occupata dagli impianti della centrale, da quelli dell'oleodotto per l'Austria, dal viadotto della A23 Palmanova-Tarvisio che porta alle gallerie ed infine dal tracciato della Strada Regionale 512 del lago di Cavazzo che poi scende verso meridione costeggiando la riva orientale del bacino. In prossimità della spiaggia trova posto un'area verde di proprietà pubblica, in parte boscata ed attrezzata. La sponda orientale è costituita dalle pendici rocciose, ripide e boscate del Monte San Simeone da cui scendono i torrenti Tamer e Cjanale a formare il conoide che strozza a metà il lago e che poi verso meridione si apre nella valletta di Interneppo nella quale, in prossimità della riva, è ospitato un giardino botanico. Ad una quota tra i cinque ed i cinquanta metri sopra al livello del lago si snoda la Strada Regionale, che per circa seicento metri corre in galleria. La sponda meridionale, dopo Interneppo, continua con le propaggini rocciose del Monte Naruvint in cui si apre la bocca della galleria che costituisce il canale emissario del lago allontanando le acque verso il torrente Leale. Subito dopo, verso occidente si apre in direzione dell'abitato di Alesso la pianura costituita dal deposito di sedimenti che nei secoli hanno progressivamente ridotto la superficie del lago e sulla quale, nel tempo, si sono installate strutture ricettive, abitative e sportive. All'estremità sud-occidentale dell'area si incrociano a cuneo le due viabilità principali dell'area, l'autostrada e la S.R.512 del lago di Cavazzo. La riva occidentale, a settentrione è dominata per gran parte dall'ammasso roccioso che ha qui il rilievo nel Colle Ceregnons. Nel pendio roccioso e scosceso della montagna si apre la bocca di

scarico della centrale di Somplago poi, circa trenta metri sopra all'acqua si immergono le due canne della galleria autostradale. Ad una quota di poco superiore al lago, una vecchia strada comunale in parte tagliata nella roccia mette in comunicazione i paesi di Somplago e di Alesso. Più a meridione, quasi al finire dello specchio d'acqua, la montagna si allontana verso occidente, l'autostrada sbuca dal versante e procede sopraelevata sulla pianura sedimentaria meridionale che arriva in sponda al lago ed ospita insediamenti, aree naturali e sportive.

4.2 Ecosistemi connessi al lago – Generalità su flora e vegetazione

La presenza del lago post-glaciale nell'area ha parzialmente contribuito alla presenza di una vegetazione con caratteristiche di mediterraneità, e dove è possibile osservare nuclei di *Quercus ilex* in alcune rupi nelle zone comprese tra Bordano e Pioverno (AA.VV. 1990). La presenza del lago influisce, sebbene in maniera non marcata data la sua ridotta estensione, a creare le condizioni climatiche per la presenza, tra le altre cenosi forestali, di pinete a *Pinus nigra*, specie favorita dalla superficie evaporante del lago che contribuisce a soddisfare le esigenze di elevata umidità atmosferica di questa specie. Le pendici del lago risultano coperte prevalentemente da boschi termofili (querceti e ostrieti misti). Relativamente alla vegetazione palustre, che segna la transizione tra l'ambiente acqueo e quello subaereo, essa risulta estremamente ridotta o assente, a causa anche della conformazione delle sponde orientali e occidentali, molto ripide e rocciose, a picco sullo specchio d'acqua. Dove presente, si può riconoscere una vegetazione igrofila ripariale tipica e caratterizzata da specie arboree o a portamento arbustivo, dominate da *Populus nigra*, *Salix eleagnos*, *Salix alba* e *Salix purpurea*. La zona meridionale e quella settentrionale presentano, grazie ad una ridotta pendenza, una successione di fasce vegetazionali maggiormente sviluppata. Originariamente, per le sponde settentrionali, era descritta la presenza di un cospicuo cariceto (*Carex* sp. pl.) che cedeva poi il passo al canneto litorale costituito da *Phragmites australis*. La serie di vegetazione almeno parzialmente emersa si concludeva poi con popolamenti di *Schoenoplectus lacustris*. Attualmente, su queste stesse sponde, si osserva una riduzione della comunità di *Schoenoplectus lacustris* (nome volgare lisca lacustre) che non costituisce più popolamenti distinti dal canneto, così come molto ridotta è la presenza del cariceto.

Risulta invece ben rappresentato e occupante superfici estese, il canneto, che caratterizza anche la porzione meridionale del lago.

Per quanto riguarda la vegetazione sommersa, studiata, anche nella sua evoluzione, da diversi botanici nel corso dello scorso secolo, si è osservata una forte trasformazione rispetto al passato, dovuta alle mutate condizioni del sito, anche in termini di caratteristiche chimico-fisico delle acque. Originariamente descritta come una vegetazione sommersa e natante dominata da *Potamogeton crispus* e *Myriophyllum spicatum* e la presenza sporadica di *Ceratophyllum demersus* (Lorenzi 1897), ad oggi, dagli ultimi rilievi effettuati, risulta prevalentemente la presenza di *Chara hispida* e altre specie di alghe verdi (A2A 2011).

Di particolare interesse, sebbene non a diretto contatto con il lago, è la presenza a nord, nel comune di Cavazzo Carnico, di due torbiere di estremo interesse conservazionistico, la palude di Vuarbis e la palude das Fontanas. La palude di Vuarbis, in particolare, è rappresentata da una stretta vallecchia fossile occupata da depositi paludosi e torbosi ed è posta a sud-est di Cavazzo Carnico, è considerata uno degli ambienti umidi più interessanti della zona montana del Friuli Venezia Giulia (Cucchi et al. 2010, Rizzi Longo et al. 2012). Essa occupa, assieme alla contigua palude das Fontanas, due depressioni allungate per oltre 1 km alla base delle pareti conglomeratiche. Vista la loro posizione in evidente continuità con la stretta sinclinale del vicino M. Festa e con le faglie subverticali che interessano il conglomerato pleistocenico di Cesclans, è stato ipotizzato che le due paludi siano il risultato di attività tettonica recente e pertanto assimilabili a dei "sagponds" (Carulli 2000). Nelle due torbiere è presente *Schoenus ferrugineum*, specie rara sul versante italiano delle Alpi (Rizzi Longo et al. 2021).

4.3 Individuazione dell'area di analisi e descrizione degli Ecosistemi Corine Biotopes presenti

Al fine di delineare un'area di indagine per le analisi ed i campionamenti della vegetazione e degli ecosistemi presenti in prossimità del lago di Cavazzo, si è deciso di definire un'area operativa di studio corrispondente al bacino idrografico di pertinenza del lago, delimitato dallo spartiacque topografico di raccolta delle acque

che confluiscono verso il corpo idrico. A tal fine, si è utilizzato il DTM (modello digitale del terreno) della Protezione Civile FVG con risoluzione a 10 m ottenuto per ricampionamento dell'analogo dato con passo a 1 m derivato dal rilievo Lidar, con densità media di 4 punti al metro quadro. L'analisi è stata realizzata attraverso il software GIS SAGA (<https://saga-gis.sourceforge.io/>) e gli associati moduli per le analisi idrogeologiche (1 – eliminazione dei sink di accumulo nel DTM, 2 – definizione del punto di outlet; 3 – calcolo delle linee di accumulo di flusso e delle linee di drenaggio, 4 – individuazione della catchment area). Il risultato dell'analisi è mostrato in figura 4.1. L'area totale così individuata, in km², è pari a 22.29.

Per questa area si è proceduto a determinare il tipo e l'estensione degli ecosistemi presenti sulla base della classificazione europea CORINE Biotopes (<https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/d8dd768f-9bc4-4002-9386-0aef2c516f76>). Questo è un sistema di descrizione degli habitat dell'intera Europa, di tipo gerarchico e che si coniuga con l'approccio sintassonomico. Esso quindi cerca di mediare tra l'articolazione ecologica e la differenziazione biogeografica. La Legenda degli habitat secondo CORINE Biotopes per il Friuli Venezia Giulia è estratta dalla Legenda CORINE Biotopes messa a punto da ISPRA per Carta della Natura per l'intero territorio nazionale. Nello specifico, per il presente lavoro, è stata utilizzata la base cartografica relativa alla "Carta della Natura" della Regione Friuli Venezia Giulia (Oriolo et al. 2021), nel suo aggiornamento del 2021 con scala 1:25.000.

La distribuzione spaziale degli habitat risultanti è riportata nella mappa in figura 4.2, mentre la loro estensione, in ettari, è riportata in tabella 4.1.

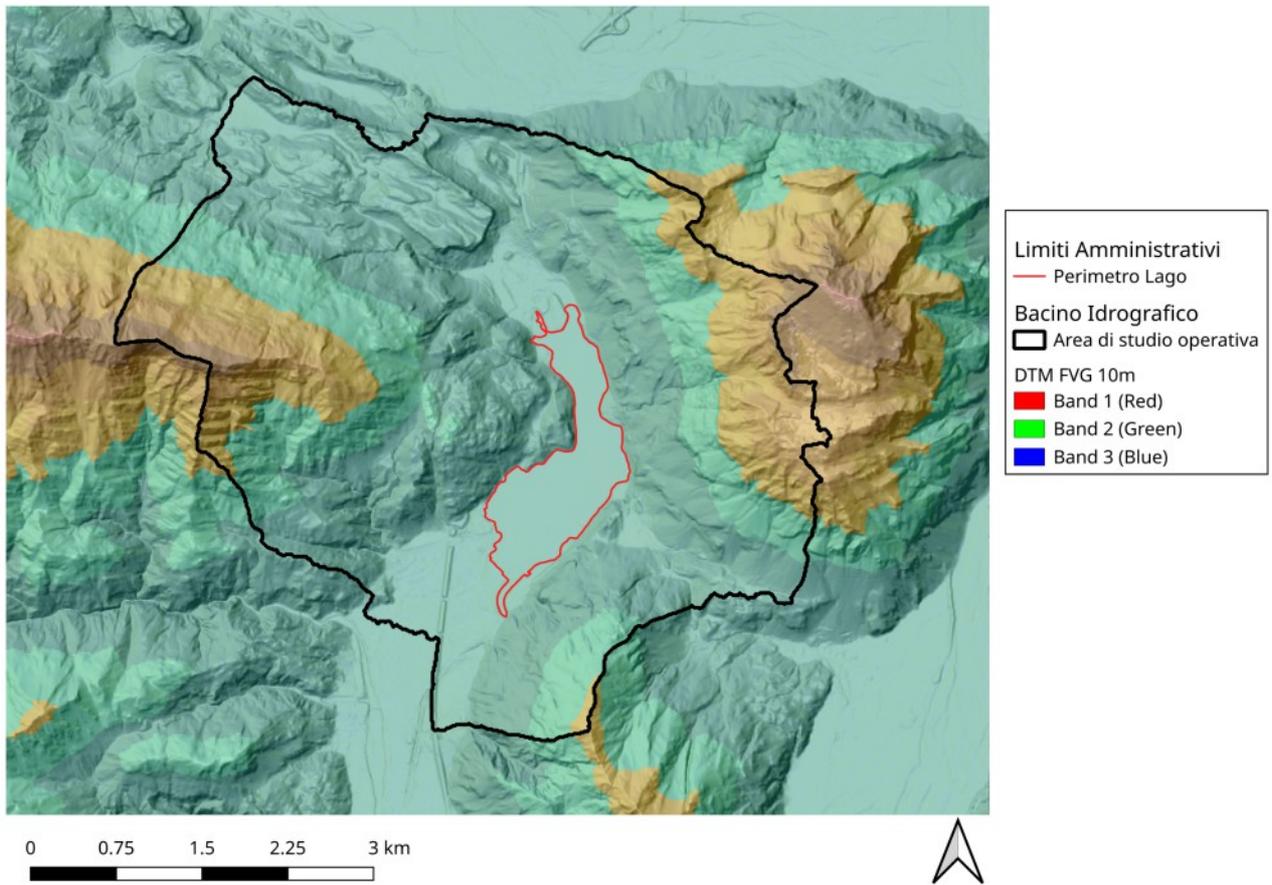


Fig. 4.1: delineazione del bacino idrografico utile a definire l'area di studio operativa per la delineazione degli habitat e degli ecosistemi presenti.

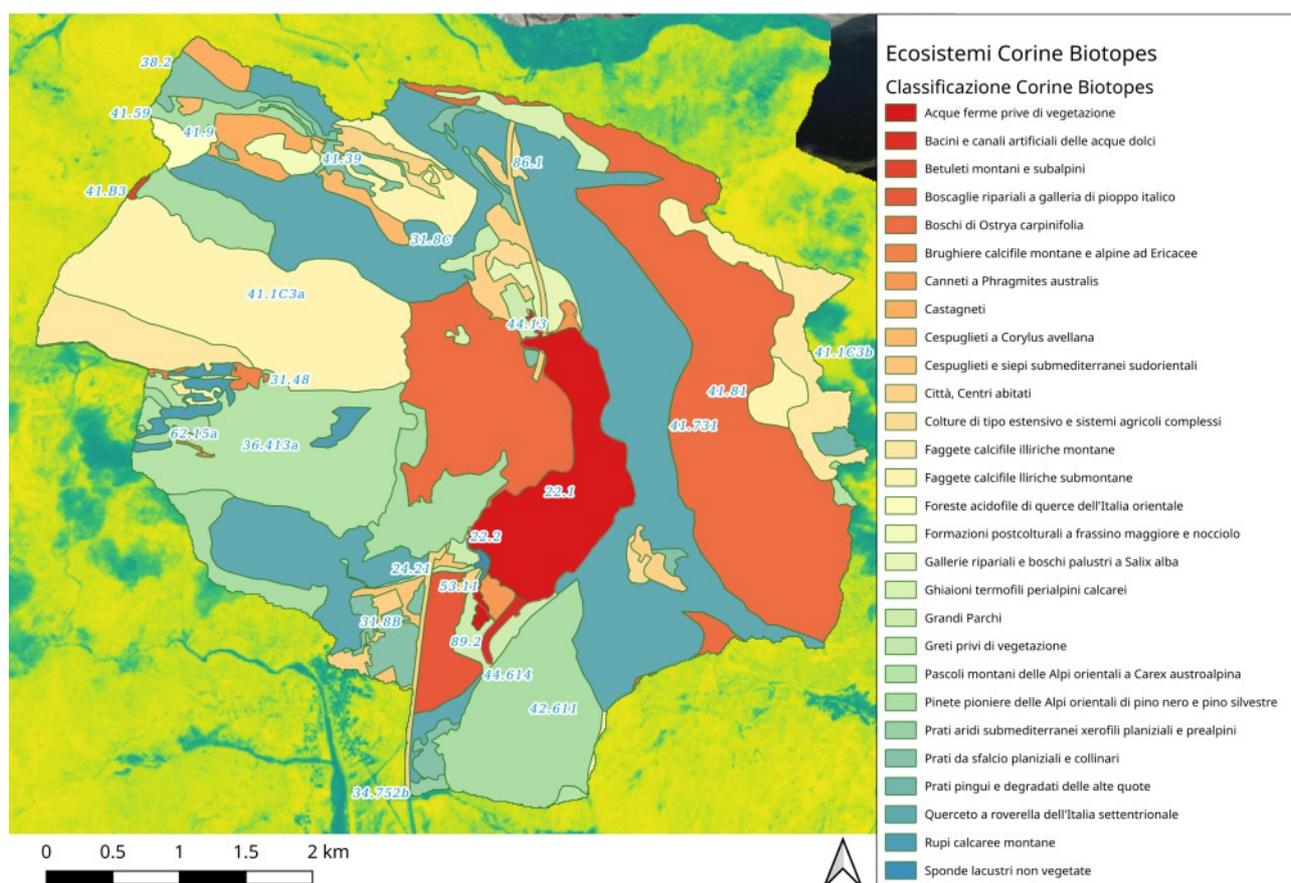


Fig. 4.2: distribuzione degli habitat CORINE Biotopes presenti nell'area di studio definita dal bacino idrografico che si sviluppa intorno al lago di Cavazzo. Per la legenda dei codici si faccia riferimento alla Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Definizione degli habitat Corine Biotopes, corrispondenza tra codice e descrizione delle singole tipologie ed estensione in ettari nell'area di studio operativa definita per questo studio

L2+ - Codice Corine Biotopes	Descrizione L2+	Area in ettari
22.1	Acque ferme prive di vegetazione	116,88
22.2	Sponde lacustri non vegetate	1,74
24.21	Greti privi di vegetazione	2,38
31.48	Brughiere calcifile montane e alpine ad Ericacee	6,85
31.8B	Cespuglieti e siepi submediterranei sudorientali	8,75
31.8C	Cespuglieti a <i>Corylus avellana</i>	11,22
34.752b	Prati aridi submediterranei xerofili planiziali e prealpini	2,84
36.413a	Pascoli montani delle Alpi orientali a <i>Carex austroalpina</i>	156,63
36.52	Prati pingui e degradati delle alte quote	5,39
38.2	Prati da sfalcio planiziali e collinari	68,22
41.1C3a	Faggete calcifile illiriche submontane	274,95

41.1C3b	Faggete calcifile illiriche montane	94,02
41.39	Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo	9,04
41.59	Foreste acidofile di querce dell'Italia orientale	10,27
41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale	517,41
41.81	Boschi di <i>Ostrya carpinifolia</i>	459,07
41.9	Castagneti	29,46
41.B3	Betuleti montani e subalpini	0,97
42.611	Pinete pioniere delle Alpi orientali di pino nero e pino silvestre	254,08
44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>	14,36
44.614	Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico	31,58
53.11	Canneti a <i>Phragmites australis</i>	7,71
61.31	Ghiaioni termofili perialpini calcarei	18,29
62.15a	Rupi calcaree montane	20,15
82.3	Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi	13,25
85.1	Grandi Parchi	30,16
86.1	Cittá, Centri abitati	59,41
89.2	Bacini e canali artificiali delle acque dolci	3,73

Per l'analisi delle condizioni composizionali e strutturali della vegetazione presente nell'area di interesse relativa al lago di Cavazzo e al fine di ottenere dati quantitativi utili, si è proceduto al campionamento attraverso plot di forma quadrata e di dimensioni pari a 10 x 10 metri (dove possibile materializzati a terra), selezionati in modo casuale all'interno delle fisionomie vegetazionali omogenee individuate attraverso una classificazione supervisionata della vegetazione e degli habitat presenti nell'area di studio (disegno campionario stratificato). A tal fine, prima di effettuare la selezione delle unità campionarie, si è utilizzata la piattaforma Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) per realizzare una classificazione del territorio utilizzando tutte le immagini multispettrali della missione Sentinel II (https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2) del progetto Europeo Copernicus. Tutte le immagini satellitari disponibili per il periodo Giugno-Agosto 2022 e con copertura di nuvole inferiore al 10% sono state selezionate per l'analisi, e le bande spettrali utilizzate, dove necessario, sono state ricampionate ad una risoluzione del pixel di 20 metri. Il valore medio del periodo è

stato quindi calcolato per le seguenti bande: 2,3,4 (visibile), 5, 6, 7, 8, 9 (Vicino Infrarosso), 11, 12 (Infrarosso short-wave). Utilizzando la Carta Natura (2021) è stato selezionato un set di punti (10 per ogni categoria Corine presente nell'area di studio) per istruire un algoritmo di machine learning nel processo di classificazione dei pixel sulla base di valori omogenei di tutte le bande spettrali utilizzate (classificazione supervisionata). L'algoritmo selezionato è stato il Random Forest (Pichler & Hartig 2023) e sono stati sviluppati 500 alberi casuali da cui è poi stata estratta l'appartenenza media di ciascun pixel ad una definita categoria. L'accuratezza totale della classificazione è risultata pari al 74%, calcolata sulla base di punti di validazione estratti dalla Carta Natura. La mappatura delle classi è presentata in figura 4.3. Si noti che si è deciso di separare la categoria relativa al Frangmiteto da quella delle macrofite, al fine di mantenere una coerenza con la classificazione riportata nella Carta Natura.

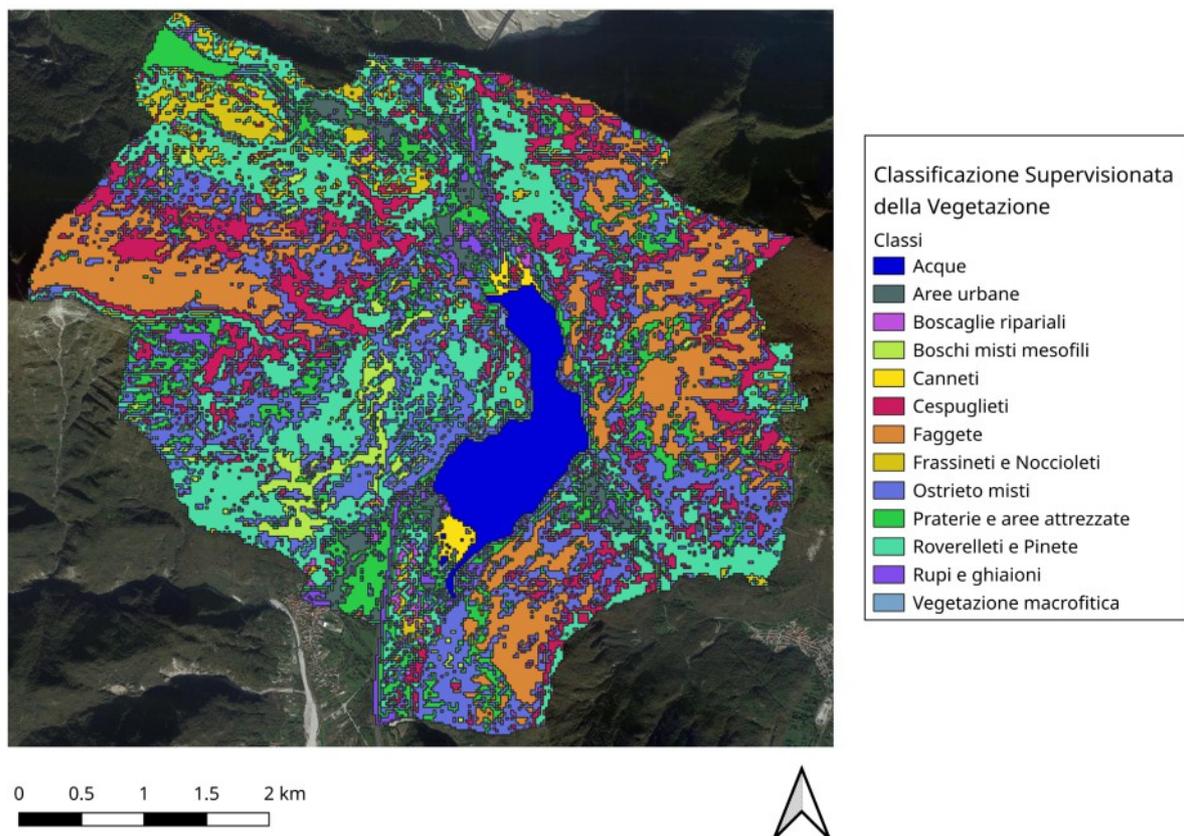


Fig. 4.3: classificazione supervisionata degli habitat presenti nell'area di studio

Sulla base di questa classificazione, sono stati estratti casualmente i punti di

campionamento a terra (18 rilievi in totale) che, per gli obiettivi dello studio, sono stati ristretti alle categorie di habitat terrestri e di transizione di maggiore pertinenza dell'area occupata dal lago e dei corsi d'acqua ed esso direttamente legato (in particolare il torrente Schiasazze). In tabella 4.2 sono riportate le coordinate dei punti campionati e la classe di appartenenza secondo la classificazione realizzata in precedenza e le classi Corine Biotopes della Carta Natura (2021) mentre in figura 4.4 è mostrata la loro posizione.

Tab. 4.2: Identificativo e coordinate dei punti campionati per l'analisi della vegetazione nella primavera 2023, con indicazione delle categorie di habitat in cui ricadono secondo le classificazioni considerate.

ID punto	Coordinata X	Coordinata Y	Categoria Classificazione Supervisionata	Codice Corine Biotopes	Categoria Carta Natura (2021)
1	351225	5131838	Canneti	22.1	Acque ferme prive di vegetazione
2	351864	5133786	Canneti	44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>
3	351569	5133662	Praterie e aree attrezzate	22.1	Acque ferme prive di vegetazione
4	351730	5133988	Boscaglie ripariali	44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>
5	351731	5133850	Boscaglie ripariali	44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>
6	351610	5134176	Ostrieto misti	44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>
7	351522	5134103	Roverelleti e Pinete	44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>
8	351453	5134346	Rupi e ghiaioni	82.3	Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi
9	351629	5133476	Vegetazione macrofittica	41.81	Boschi di <i>Ostrya carpinifolia</i>
10	350938	5131692	Boscaglie ripariali	44.614	Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico
11	351027	5131130	Ostrieto misti	44.614	Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico

12	350874	5130840	Roverelleti e Pinete	41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale
13	351121	5130983	Ostrieto misti	42.611	Pinete pioniere delle Alpi orientali di pino nero e pino silvestre
14	351272	5131355	Cespuglieti	85.1	Grandi Parchi
15	351540	5131656	Vegetazione macrofitica	22.1	Acque ferme prive di vegetazione
16	351779	5131800	Roverelleti e Pinete	41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale
17	352223	5132368	Vegetazione macrofitica	22.1	Acque ferme prive di vegetazione
18	351991	5133672	Ostrieto misti	41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale

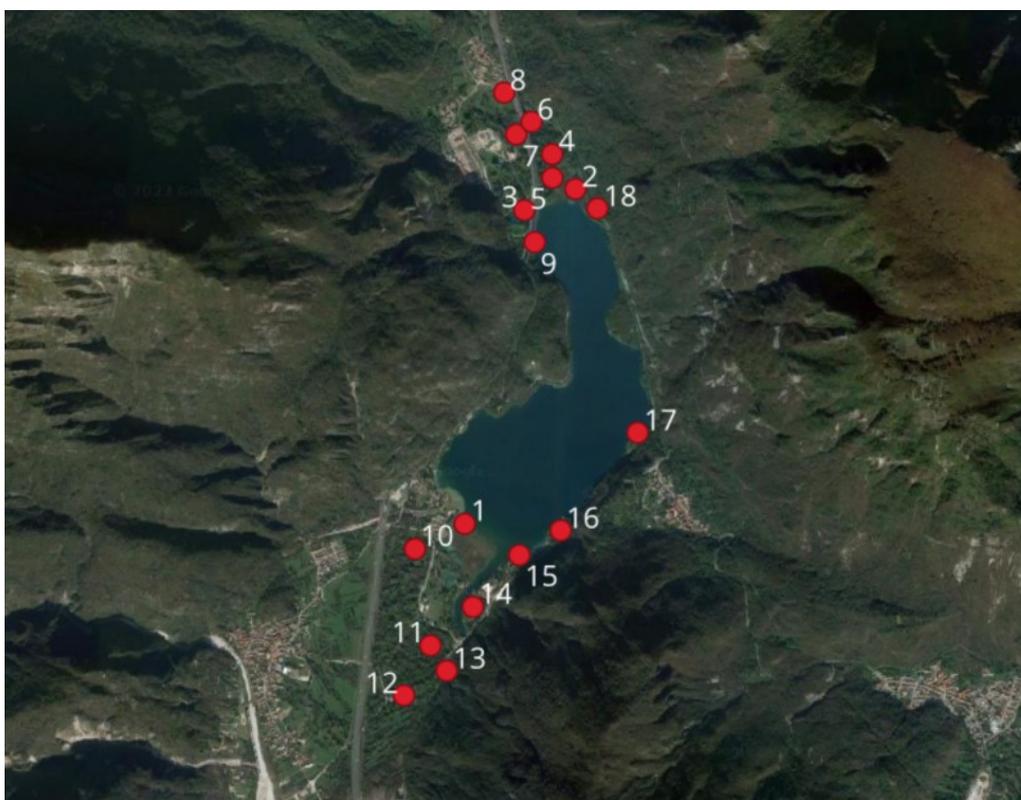


Fig. 4.4: localizzazione dei punti di campionamento utilizzati per caratterizzare la composizione e struttura delle comunità vegetali nell'area del lago di Cavazzo

Il campionamento in campo è stato realizzato nel periodo compreso nei giorni 11-14 maggio 2023. Questo lasso di tempo è stato caratterizzato da condizioni meteo non ottimali, piogge forti e un forte intorbidimento delle acque del lago di Cavazzo dovute alla presenza di materiali in sospensione proveniente dal canale di immissione della Centrale di Somplago. Il rilievo vegetazionale all'interno del plot ha preso in considerazione sia gli aspetti relativi alla composizione floristica che quelli della struttura. Oltre alla presenza delle specie, è stato quindi assegnato un valore di copertura in uno dei tre strati (erbaceo, arbustivo, arboreo) che definiscono la struttura della comunità. Le specie campionate, infine, sono state riportate in un contesto più ampio, riferibile alla flora complessiva dell'area del lago di Cavazzo, ed ottenuta facendo riferimento alla recentissima "Flora del Friuli Venezia Giulia" (Martini et al. 2023). Questa flora deriva dal lavoro di cartografia floristica sintesi che vede la regione Friuli Venezia Giulia suddivisa in 280 quadranti (dimensioni lineari di circa 6.5 x 5.5 km) con superficie di 36 km² ed è il risultato della campagna di 15 anni di rilievi ed esplorazioni floristiche nell'area. Il quadrante di riferimento è il n° 181 (codice 96443), denominazione dell'OGU (unità geografica operativa) "Alesso" che comprende interamente il lago di Cavazzo ed i versanti ad esso prospicienti. In tabella 4.3 sono indicate le 746 specie, escluse le sotto-specie, presenti nell'area e che ne costituiscono la flora di riferimento. Sono anche indicati i livelli di protezione ai sensi della Direttiva Habitat e delle Leggi Regionali per la protezione della flora, oltre che al loro status di specie esotiche. Dall'elenco si evince che 34 specie presentano uno livello di protezione e 56 sono classificate come non native. Le specie rinvenute nell'ambito dei rilievi vegetazionali effettuati nell'ultima campagna di raccolta dati di Maggio 2023 sono indicate con il numero del rilievo di riferimento. Il numero totale di specie rilevate è stato di 116.

Tab. 4.3: Lista delle specie presenti nel quadrante 181 "Alesso" della Flora del Friuli Venezia Giulia. E' indicato lo status di protezione e di specie aliene. Sono inoltre quelle specie rinvenute nei rilievi della campagna di campionamento di maggio 2023.

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
1) Abies alba L.			251) Epipactis muelleri Godfery	IR DPREG 2022		501) Peucedanum oreoselinum (L.) Moench		9
2) Acalypha virginica L.			252) Epipactis palustris (Miller) Crantz	IR DPREG 2022		502) Peucedanum schottii Besser		
3) Acer campestre L.			253) Equisetum arvense L.		3,10,12	503) Peucedanum verticillare (L.) Mert. & W.D.J Koch		

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
4) Acer negundo L.	Esotica	11	254) Equisetum palustre L.		2	504) Phleum pratense L.		
5) Acer platanoides L.			255) Equisetum telmateja Ehrh.		9	505) Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.		1,2,6,7,10,11
6) Acer pseudoplatanus L.			256) Equisetum variegatum Schleicher			506) Physoplexis comosa (L.) Schur	All. IV Habitat	
7) Achillea collina Heimerl			257) Eragrostis frankii C. A. Mey ex Steud.	Esotica		507) Phyteuma orbiculare L.		
8) Achillea millefolium L. millefolium		9	258) Eragrostis minor Host			508) Phyteuma spicatum L.		
9) Achillea roseo-alba Ehrend.			259) Erica carnea L.			509) Phytolacca americana L.	Esotica	
10) Aconitum degenii Gáyér			260) Erigeron annuus (L.) Pers.	Esotica	9,17	510) Picea abies (L.) H.Karst.		
11) Aconitum lycoctonum L.			261) Eryngium amethystinum L.			511) Picris hieracioides L.		
12) Actaea spicata L.			262) Erythronium dens-canis L.			512) Pimpinella major (L.) Huds.		
13) Adenophora liliifolia (L.) DC.	All. II e IV -Habitat		263) Euonymus europaea L.			513) Pimpinella saxifraga L.		
14) Adenostyles glabra (Miller) DC.			264) Euonymus latifolia (L.) Miller			514) Pinguicula alpina L.		
15) Adiantum capillus-veneris L.			265) Eupatorium cannabinum L.		9,11,14,18	515) Pinus nigra Arnold		
16) Aegopodium podagraria L.			266) Euphorbia amygdaloides L.			516) Pinus sylvestris L.		
17) Aesculus hippocastanum L.	Esotica		267) Euphorbia cyparissias L.			517) Plantago altissima L.		4,5,10
18) Aethionema saxatile (L.) R. Br.			268) Euphorbia dulcis L.			518) Plantago argentea Chaix		
19) Agrostis stolonifera L.		9	269) Euphorbia helioscopia L.			519) Plantago holosteam Scop.		
20) Ailanthus altissima (Miller) Swingle	Esotica	6	270) Euphorbia peplus L.			520) Plantago lanceolata L.		
21) Ajuga genevensis L.			271) Euphorbia triflora Schott			521) Plantago major L.		8
22) Ajuga reptans L.		9,16	272) Euphorbia verrucosa L.			522) Plantago media L.		
23) Alliaria petiolata (Bieb.) Cavara & Grande		17,18	273) Euphrasia tricuspida L.			523) Platanthera bifolia (L.) Rchb.	IR DPREG 2022	
24) Allium angulosum L.			274) Fagus sylvatica L.			524) Platanus x hispanica Miller ex Münchh.	Esotica	
25) Allium carinatum L.			275) Fallopia baldschuanica (Regel) Holub	Esotica		525) Poa annua L.		8
26) Allium ochroleucum Waldst. & Kit.			276) Fallopia dumetorum (L.) Holub			526) Poa compressa L.		8
27) Allium senescens L.			277) Festuca arundinacea Schreb.			527) Poa nemoralis L.		18
28) Allium vineale L.			278) Festuca heterophylla Lam.			528) Poa pratensis L.		
29) Alnus glutinosa (L.) Gaertn.		1,2,5,7,11	279) Festuca pratensis Huds.		8	529) Poa trivialis L.		
30) Amaranthus cruentus L.	Esotica		280) Festuca rubra L.			530) Polygala chamaebuxus L.		
31) Amaranthus hybridus L.	Esotica		281) Festuca rupicola Heuffel			531) Polygala comosa Schkuhr		
32) Amaranthus retroflexus L.	Esotica		282) Ficus carica L.			532) Polygala nicaeensis Risso ex W.D.J.Koch		
33) Ambrosia artemisiifolia L.	Esotica		283) Filipendula ulmaria (L.) Maxim.		11,12	533) Polygala vulgaris L.		
34) Amelanchier ovalis Medicus			284) Filipendula vulgaris Moench			534) Polygonatum multiflorum (L.) All.		
35) Anacamptis pyramidalis (L.) L.C.Rich.	IR DPREG 2022		285) Foeniculum vulgare Miller			535) Polygonatum odoratum (Miller) Druce		
36) Anagallis arvensis L.		8,15,16	286) Forsythia x intermedia Zab.			536) Polygonum arenastrum Boreau		
37) Anemone nemorosa L.			287) Fragaria vesca L.		11	537) Polygonum aviculare L.		
38) Anemone trifolia L.			288) Frangula alnus Miller		6,7	538) Polypodium interjectum Shivas		
39) Angelica sylvestris L.		5,6,7,11	289) Fraxinus excelsior L.		2,6,10,12	539) Polypodium vulgare L.		
40) Anisantha sterilis (L.) Nevski			290) Fraxinus ornus L.		15,17	540) Polystichum aculeatum (L.) Roth		
41) Anthericum ramosum L.			291) Fumana procumbens (Dunal) Gren. & Godron			541) Polystichum lonchitis (L.) Roth		
42) Anthoxanthum odoratum L.			292) Fumaria officinalis L.		8	542) Polystichum setiferum (Forssk.) T.Moore ex Woyen.		

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
43) Anthriscus sylvestris (L.) Hoffm.			293) Galanthus nivalis L.	All. V Habitat		543) Populus alba L.		
44) Anthyllis vulneraria L.			294) Galeopsis angustifolia Ehrh.			544) Populus nigra L.		4,5,6, 10, 11
45) Aposeris foetida (L.) Less.			295) Galeopsis bifida Boenn.			545) Populus tremula L.		
46) Aquilegia atrata Koch			296) Galeopsis pubescens Besser			546) Portulaca oleracea L.		
47) Aquilegia einseleana F.W.Schultz			297) Galeopsis speciosa Miller			547) Potamogeton crispus L.		
48) Aquilegia vulgaris L.		18	298) Galinsoga ciliata (Rafin.) Blake			548) Potamogeton perfoliatus L.		
49) Arabis brassica (Leers) Rauschert			299) Galinsoga parviflora Cav.	Esotica		549) Potentilla acaulis L.		
50) Arabis ciliata Clairv.			300) Galium laevigatum L.			550) Potentilla alba L.		
51) Arabis hirsuta aggr.			301) Galium lucidum All.		17	551) Potentilla caulescens L.		
52) Arabis turrita L.			302) Galium mollugo L.			552) Potentilla erecta (L.) Rauschel		3, 7
53) Arctium minus (Hill) Bernh.			303) Galium odoratum (L.) Scop.			553) Potentilla indica Th.Wolf	Esotica	
54) Arenaria serpyllifolia L.			304) Galium rubrum L.			554) Potentilla norvegica L.		
55) Aristolochia pallida Willd.			305) Galium verum L.			555) Potentilla pusilla Host		
56) Arrhenatherum elatius (L.) Presl			306) Genista germanica L.			556) Potentilla reptans L.		8,16
57) Artemisia alba Turra			307) Genista radiata (L.) Scop.			557) Potentilla zimmereri Borbás		
58) Artemisia verlotiorum Lamotte	Esotica		308) Genista sericea Wulfen			558) Prenanthes purpurea L.		
59) Artemisia vulgaris L.			309) Genista tinctoria L.			559) Primula auricula L.		IR DPREG 2022
60) Aruncus dioicus (Walter) Fernald			310) Gentiana asclepiadea L.			560) Primula farinosa L.		
61) Asarum europaeum L.			311) Gentiana clusii Perr. & Song.			561) Primula veris L. veris		
62) Asparagus tenuifolius Lam.			312) Gentiana pneumonanthe L.	IR DPREG 2022		562) Primula vulgaris Huds.		
63) Asperula aristata L.			313) Gentiana verna L.	IR DPREG 2022		563) Prunella grandiflora (L.) Scholler		
64) Asperula cynanchica L.			314) Gentianella ciliata (L.) Borkh.			564) Prunella vulgaris L.		8
65) Asperula purpurea (L.) Ehrend.			315) Gentianella germanica (Willd.) Warburg			565) Prunus avium L.		
66) Asplenium adiantum-nigrum L.			316) Gentianella pilosa (Wettst.) Holub.	IR DPREG 2022		566) Prunus laurocerasus L.		
67) Asplenium ruta-muraria L.			317) Geranium columbinum L.			567) Prunus mahaleb L.		
68) Asplenium scolopendrium L.			318) Geranium macrorrhizum L.			568) Pseudolysimachion barrelieri Holub		
69) Asplenium seelosii Leybold			319) Geranium molle L.		9	569) Pteridium aquilinum (L.) Kuhn		17
70) Asplenium trichomanes L.			320) Geranium robertianum L.			570) Pulmonaria officinalis L.		
71) Asplenium viride Huds.			321) Geranium sanguineum L.			571) Quercus pubescens Willd.		16, 17
72) Aster amellus L.			322) Geum urbanum L.		8	572) Ranunculus acris L.		12
73) Aster bellidiastrum (L.) Scop.			323) Gladiolus illyricus W.D.J.Koch	IR DPREG 2022		573) Ranunculus bulbosus L.		
74) Aster lanceolatus Willd.	Esotica		324) Gladiolus palustris Gaudin	All. II e IV Habitat		574) Ranunculus ficaria L.		3
75) Aster linosyris (L.) Bernh.			325) Glechoma hederacea L.			575) Ranunculus repens L.		
76) Aster novae-angliae L.	Esotica		326) Globularia cordifolia L.			576) Reseda lutea L.		
77) Astragalus glycyphyllos L.			327) Globularia punctata Lapeyr.			577) Rhamnus catharticus L.		
78) Athamanta turbith (L.) Brot.			328) Grafia golaka (Hacq.) Rchb.			578) Rhamnus pumilus Turra		
79) Athyrium filix-foemina (L.) Roth		6	329) Gymnadenia conopsea (L.) R. Br.	IR DPREG 2022		579) Rhamnus saxatilis Jacq.		
80) Atropa belladonna L.			330) Gymnocarpium dryopteris (L.) Newman			580) Rhododendron hirsutum L.		

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
81) Aurinia petraea (Ard.) Schur			331) Gymnocarpium robertianum (Hoffm.) Newman			581) Robinia pseudoacacia L.	Esotica	
82) Ballota nigra L.			332) Gypsophila repens L.			582) Rorippa sylvestris (L.) Besser		
83) Barbarea vulgaris R. Br.			333) Hedera helix L.		4,5,7,13, 14, 18	583) Rosa arvensis Huds.		
84) Bellis perennis L.			334) Helianthemum nummularium (L.) Miller			584) Rosa canina L.		
85) Berberis julianae C.K. Schneid.	Esotica		335) Helianthus annuus L.	Esotica		585) Rosa pendulina L.		
86) Berberis vulgaris L.			336) Helianthus tuberosus L.	Esotica		586) Rubus caesius L.		7
87) Betonica alopecurus L.			337) Helictotrichon pubescens (Huds.) Pilg.			587) Rubus hirtus Waldst. & Kit.		
88) Betonica officinalis L.		17,18	338) Helleborus odoratus Waldst. & Kit. ex Willd.			588) Rubus idaeus L.		
89) Betula pendula Roth		11	339) Hemerocallis fulva L.	Esotica		589) Rubus saxatilis L.		
90) Bidens frondosa L.			340) Hemerocallis lilioasphodelus L.	IR DPREG 2022		590) Rubus ulmifolius Schott		1,7
91) Biscutella laevigata L.			341) Hepatica nobilis Miller			591) Rudbeckia hirta L.	Esotica	
92) Bothriochloa ischaemon (L.) Keng			342) Heracleum sphondylium L.			592) Rumex acetosa L.		14
93) Brachypodium rupestre (Host) Roem. & Schult.			343) Hieracium bifidum Kit. ex Hornem. (H)			593) Rumex conglomeratus Murray		
94) Brachypodium sylvaticum (Huds.) P.Beauv.			344) Hieracium dollineri Sch.Bip. ex Neilr.			594) Rumex crispus L.		
95) Briza media L.			345) Hieracium glaucum All. (H)			595) Rumex obtusifolius L.		
96) Bromopsis condensata (Hack.) Holub			346) Hieracium leioccephalum Bartl. ex Griseb.			596) Rumex scutatus L.		
97) Bromopsis erecta (Huds.) Fourr.			347) Hieracium murorum L. (H)		16, 17	597) Ruscus aculeatus L.	All. V	
98) Bromus commutatus Schrader			348) Hieracium pilosella L. (HP)			598) Salix alba L.		4, 5,7, 11
99) Buddleja davidii Franchet	Esotica		349) Hieracium piloselloides Vill. (HP)		14, 18	599) Salix appendiculata Vill.		
100) Buphthalmum salicifolium L.			350) Hieracium porrifolium L. (H)			600) Salix caprea L.		
101) Bupleurum ranunculoides L.			351) Hieracium pospichalii Zahn			601) Salix cinerea L.		2, 4, 6, 11
102) Buxus sempervirens L.	Esotica		352) Hieracium sabaudum L. (H)			602) Salix daphnoides Vill.		
103) Calamagrostis varia (Schrader) Host			353) Hieracium tephropogon Zahn			603) Salix eleagnos Scop.		
104) Calamintha brauneana (Hoppe) Jav.			354) Hierochloë australis (Schrad.) Roem. & Schult.			604) Salix glabra Scop.		
105) Calamintha glandulosa (Req.) Benth.			355) Hippocrepis comosa L.			605) Salix purpurea L.		
106) Calamintha sylvatica Bromf.			356) Hippocrepis emerus (L.) Lassen			606) Salvia glutinosa L.		
107) Caltha palustris L.		2	357) Holcus lanatus L.			607) Salvia pratensis L.		
108) Calystegia sepium (L.) R. Br.			358) Hordeum murinum L.			608) Salvia verticillata L.		
109) Campanula bononiensis L.			359) Horminum pyrenaicum L.			609) Sambucus nigra L.		6,8,13
110) Campanula carnica Schiede ex Mertl & Koch			360) Humulus lupulus L.		11	610) Sanguisorba minor Scop.		8
111) Campanula cespitosa Scop.			361) Huperzia selago (L.) Bernh.			611) Sanguisorba officinalis L.		7
112) Campanula glomerata L.			362) Hylotelephium telephium (L.) H. Ohba			612) Saponaria officinalis L.		
113) Campanula patula L.			363) Hypericum montanum L.			613) Satureja montana L.		
114) Campanula persicifolia L.			364) Hypericum perforatum L.			614) Saxifraga burseriana L.		
115) Campanula rapunculoides L.			365) Hypericum tetrapterum Fries			615) Scabiosa triandra L.		
116) Campanula rapunculus L.			366) Hypochaeris maculata L.			616) Schoenoplectus lacustris (L.) Palla		1, 3

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
117) <i>Campanula rotundifolia</i> L.			367) <i>Impatiens balfourii</i> Hooker fil.	Esotica		617) <i>Schoenus nigricans</i> L.		2
118) <i>Campanula sibirica</i> L.			368) <i>Impatiens parviflora</i> DC.	Esotica		618) <i>Scilla bifolia</i> L.		
119) <i>Campanula spicata</i> L.			369) <i>Inula conyzae</i> (Griess.) Meikle			619) <i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják		1, 7
120) <i>Campanula thyrsoidea</i> L.			370) <i>Inula ensifolia</i> L.			620) <i>Scorzonera austriaca</i> Willd.		
121) <i>Campanula trachelium</i> L.			371) <i>Inula hirta</i> L.			621) <i>Scorzonera humilis</i> L.		
122) <i>Cardamine bulbifera</i> (L.) Crantz			372) <i>Inula salicina</i> L.			622) <i>Scrophularia canina</i> L.		
123) <i>Cardamine enneaphyllos</i> (L.) Crantz			373) <i>Iris cengialti</i> Ambrosi ex A.Kern.	IR DPREG 2022		623) <i>Scrophularia juratensis</i> Schleicher		
124) <i>Cardamine hirsuta</i> L.			374) <i>Iris graminea</i> L.			624) <i>Scrophularia nodosa</i> L.		3
125) <i>Cardamine impatiens</i> L.			375) <i>Juglans regia</i> L.			625) <i>Scutellaria galericulata</i> L.		3
126) <i>Cardamine pentaphyllos</i> (L.) Crantz			376) <i>Juncus articulatus</i> L.		18	626) <i>Sedum album</i> L.		
127) <i>Cardamine trifolia</i> L.			377) <i>Juncus inflexus</i> L.			627) <i>Sedum montanum</i> Songeon & E.P.Perrier		
128) <i>Carduus crassifolius</i> Willd.			378) <i>Juncus subnodulosus</i> Schrank		4, 6	628) <i>Sedum ochroleucum</i> Chaix		
129) <i>Carduus nutans</i> L.			379) <i>Juncus tenuis</i> Willd.	Esotica		629) <i>Sedum sexangulare</i> L. em. Grimm		
130) <i>Carex acuta</i> L.			380) <i>Juniperus communis</i> L.			630) <i>Selaginella helvetica</i> (L.) Link		
131) <i>Carex alba</i> Scop.			381) <i>Kernera saxatilis</i> (L.) Rchb.			631) <i>Selaginella selaginoides</i> (L.) P.P.Beauv.		
132) <i>Carex brachystachys</i> Schrank			382) <i>Kerria japonica</i> (L.) DC.	Esotica		632) <i>Sempervivum tectorum</i> L.	IR DPREG 2022	
133) <i>Carex caryophylla</i> La Tourr.			383) <i>Knautia drymeia</i> Heuffel			633) <i>Senecio cacaliaster</i> Lam.		
134) <i>Carex davalliana</i> Sm.			384) <i>Knautia ressmannii</i> (Pach.) Briq.			634) <i>Senecio inaequidens</i> DC.	Esotica	
135) <i>Carex digitata</i> L.			385) <i>Koeleria lobata</i> (MB.) Roem. & Schult.			635) <i>Senecio ovatus</i> Willd.		
136) <i>Carex distans</i> L.		4, 7	386) <i>Koeleria pyramidata</i> (Lam.) Domin			636) <i>Senecio paludosus</i> L.		
137) <i>Carex divulsa</i> Stokes			387) <i>Laburnum alpinum</i> (Miller) Berchtold & Presl			637) <i>Senecio vulgaris</i> L.		
138) <i>Carex elata</i> All.		2, 3, 5, 6	388) <i>Laburnum anagyroides</i> Medik.			638) <i>Serratula tinctoria</i> L.		
139) <i>Carex flacca</i> Schreb.			389) <i>Lactuca serriola</i> L.		13, 18	639) <i>Seseli gouanii</i> Koch		
140) <i>Carex humilis</i> Leyser		17, 18	390) <i>Lamium album</i> L.			640) <i>Sesleria caerulea</i> (L.) Ard.		
141) <i>Carex lepidocarpa</i> Tausch			391) <i>Lamium flavidum</i> F.Herm.			641) <i>Setaria pumila</i> (Poir.) Roem. & Schult.		
142) <i>Carex mucronata</i> All.			392) <i>Lamium maculatum</i> L.			642) <i>Setaria viridis</i> (L.) P.Beauv. viridis		
143) <i>Carex nigra</i> (L.) Reichard			393) <i>Lamium orvala</i> L.			643) <i>Silene dioica</i> (L.) Clairv.		
144) <i>Carex panicea</i> L.			394) <i>Lamium purpureum</i> L.			644) <i>Silene latifolia</i> Poir.		
145) <i>Carex pendula</i> Huds.		4, 5	395) <i>Lapsana communis</i> L.			645) <i>Silene nutans</i> L.		
146) <i>Carex riparia</i> Curtis			396) <i>Laserpitium latifolium</i> L.			646) <i>Silene pusilla</i> Waldst. & Kit.		
147) <i>Carex spicata</i> Huds.			397) <i>Laserpitium prutenicum</i> L.			647) <i>Silene vulgaris</i> (Moench) Garcke		
148) <i>Carex sylvatica</i> Huds.			398) <i>Laserpitium siler</i> L.			648) <i>Sinapis arvensis</i> L.		
149) <i>Carex vesicaria</i> L.			399) <i>Lathyrus laevigatus</i> (Waldst. & Kit.) Gren.			649) <i>Solanum dulcamara</i> L.		3
150) <i>Carex viridula</i> Michx.			400) <i>Lathyrus pratensis</i> L.		10	650) <i>Solanum nigrum</i> L.		16, 17
151) <i>Carlina acaulis</i> L.			401) <i>Lathyrus sylvestris</i> L.		8	651) <i>Soldanella minima</i> Hoppe		
152) <i>Carlina vulgaris</i> L.			402) <i>Lathyrus vernus</i> (L.) Bernh.			652) <i>Solidago canadensis</i> L.	Esotica	
153) <i>Castanea sativa</i> Miller			403) <i>Laurus nobilis</i> L.	Esotica		653) <i>Solidago gigantea</i> Aiton	Esotica	10
154) <i>Celtis australis</i> L.	Esotica		404) <i>Leontodon berinii</i> (Bartl.) Roth			654) <i>Solidago virgaurea</i> L.		
155) <i>Centaurea dichroantha</i> A.Kern.			405) <i>Leontodon crispus</i> Vill.			655) <i>Sonchus arvensis</i> L.		
156) <i>Centaurea jacea</i> L.			406) <i>Leontodon hispidus</i> L.			656) <i>Sonchus asper</i> (L.) Hill		14, 15
157) <i>Centaurea macroptilon</i> Borbás			407) <i>Leontodon incanus</i> (L.) Schrank			657) <i>Sonchus oleraceus</i> L.		
158) <i>Centaurea montana</i> L.			408) <i>Lepidium ruderales</i> L.			658) <i>Sorbus aria</i> (L.) Crantz		
159) <i>Centaurea nigrescens</i> Willd.			409) <i>Lepidium virginicum</i> L.	Esotica		659) <i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Esotica	

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
160) <i>Centaurea scabiosa</i> L.			410) <i>Leucanthemum heterophyllum</i> (Willd.) DC.			660) <i>Spiraea decumbens</i> W.D.J.Koch		
161) <i>Centaurea stoebe</i> L.			411) <i>Leucanthemum ircutianum</i> (Turcz.) DC.			661) <i>Spiranthes spiralis</i> (L.) Koch	IR DPREG 2022	
162) <i>Centaurea triumfetti</i> All.			412) <i>Leucanthemum vulgare</i> (Vaill.) Lam.			662) <i>Sporobolus neglectus</i> Nash	Esotica	
163) <i>Centaureum erythraea</i> Rafn			413) <i>Libanotis sibirica</i> (L.) C.A.Mey.			663) <i>Stachys labiosa</i> Bertol.		
164) <i>Cephalanthera damasonium</i> (Miller) Druce	IR DPREG 2022		414) <i>Ligustrum vulgare</i> L.			664) <i>Stachys palustris</i> L.		
165) <i>Cephalanthera longifolia</i> (Huds.) Fritsch	IR DPREG 2022		415) <i>Lilium bulbiferum</i> L.	IR DPREG 2022		665) <i>Stachys recta</i> L.		
166) <i>Cephalanthera rubra</i> (L.) L.C.Rich.	IR DPREG 2022		416) <i>Lilium camiolicum</i> Bernh. ex W.D.J.Koch	IR DPREG 2022		666) <i>Stipa calamagrostis</i> (L.) Wahlenb.		
167) <i>Cerastium arvense</i> L.		8	417) <i>Limodorum abortivum</i> (L.) Swartz	IR DPREG 2022		667) <i>Stipa eriocalis</i> Borbás		
168) <i>Cerastium holosteoides</i> Fries.			418) <i>Linaria vulgaris</i> Mill.			668) <i>Symphytum tuberosum</i> L.		18
169) <i>Cerastium tomentosum</i> L.	Esotica		419) <i>Linum catharticum</i> L.			669) <i>Tamus communis</i> L.		12
170) <i>Chaenorhinum minus</i> (L.) Lange			420) <i>Linum tenuifolium</i> L.			670) <i>Tanacetum corymbosum</i> (L.) Sch.-Bip.		13, 18
171) <i>Chaerophyllum hirsutum</i> L.			421) <i>Listera ovata</i> (L.) R. Br.			671) <i>Taraxacum</i> sect. <i>Taraxacum</i>		
172) <i>Chaerophyllum temulum</i> L.			422) <i>Lolium multiflorum</i> Lam.			672) <i>Taxus baccata</i> L.		7
173) <i>Chamaecytisus hirsutus</i> (L.) Link			423) <i>Lolium perenne</i> L.			673) <i>Teucrium chamaedrys</i> L.		
174) <i>Chamaecytisus purpureus</i> (Scop.) Link			424) <i>Lomelosia graminifolia</i> (L.) Greuter & Burdet			674) <i>Teucrium montanum</i> L.		
175) <i>Chamaesyce maculata</i> (L.) Small	Esotica		425) <i>Lonicera xylosteum</i> L.			675) <i>Thalictrum aquilegifolium</i> L.		
176) <i>Chamaesyce nutans</i> (Lag.) Small	Esotica		426) <i>Lotus corniculatus</i> L. s.s.			676) <i>Thalictrum flavum</i> L.		
177) <i>Chelidonium majus</i> L.			427) <i>Lunaria annua</i> L.	Esotica		677) <i>Thalictrum lucidum</i> L.		4, 12
178) <i>Chenopodium album</i> L.			428) <i>Luzula luzuloides</i> (Lam.) Dandy & Wilmott			678) <i>Thalictrum minus</i> L.		
179) <i>Chenopodium strictum</i> Roth	Esotica		429) <i>Luzula nivea</i> (L.) Lam. & DC.			679) <i>Thelypteris palustris</i> Schott		
180) <i>Chrysopogon gryllus</i> (L.) Trin.			430) <i>Lycopodium annotinum</i> L.			680) <i>Thesium bavarum</i> Schrank		
181) <i>Cichorium intybus</i> L.			431) <i>Lycopus europaeus</i> L.		5,7,11, 12	681) <i>Thesium divaricatum</i> Jan ex Mert. & W.D.J.Koch		
182) <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.		8,17	432) <i>Lysimachia nummularia</i> L.			682) <i>Thesium rostratum</i> Mertl & Koch		
183) <i>Cirsium erisithales</i> (Jacq.) Scop.			433) <i>Lysimachia vulgaris</i> L.		1,6,7,1 0,12,	683) <i>Thlaspi praecox</i> Wulfen		
184) <i>Cirsium oleraceum</i> (L.) Scop.		7,10,11 ,12	434) <i>Lythrum salicaria</i> L.		5,10,12	684) <i>Thuja orientalis</i> L.		
185) <i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.			435) <i>Malva sylvestris</i> L.			685) <i>Thymus praecox</i> Opiz		
186) <i>Cirsium pannonicum</i> (L.fil.) Link			436) <i>Matthiola fruticulosa</i> (L.) Maire			686) <i>Thymus pulegioides</i> L.		
187) <i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.		18	437) <i>Medicago falcata</i> L.			687) <i>Tilia cordata</i> Miller		6, 7
188) <i>Cleistogenes serotina</i> (L.) Keng			438) <i>Medicago lupulina</i> L.			688) <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.		
189) <i>Clematis recta</i> L.			439) <i>Medicago sativa</i> L.	Esotica		689) <i>Tofieldia calyculata</i> (L.) Wahlenb.		
190) <i>Clematis vitalba</i> L.			440) <i>Melampyrum pratense</i> L.			690) <i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link		8
191) <i>Clinopodium vulgare</i> L.		3,16	441) <i>Melampyrum sylvaticum</i> L.			691) <i>Torilis japonica</i> (Houtt.) DC.		
192) <i>Colchicum autumnale</i> L.			442) <i>Melampyrum velebicum</i> Borbás			692) <i>Tragopogon pratensis</i> L.		8
193) <i>Commelina communis</i> L.	Esotica		443) <i>Melica nutans</i> L.			693) <i>Trifolium campestre</i> Schreb.		14
194) <i>Convallaria majalis</i> L.			444) <i>Melilotus albus</i> L.W. Medicus			694) <i>Trifolium medium</i> L.		

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
195) Convolvulus arvensis L.		7	445) Melittis melissophyllum L.			695) Trifolium montanum L.		
196) Conyza canadensis (L.) Cronq.	Esotica		446) Mentha aquatica L.		1, 5,11	696) Trifolium pratense L.		
197) Cornus mas L.		8, 14, 17	447) Mentha longifolia (L.) Huds.			697) Trifolium repens L.		
198) Cornus sanguinea L.		10, 11,18	448) Mentha spicata L.			698) Trifolium rubens L.		
199) Corylus avellana L.		5,11,12,13,18	449) Mercurialis annua L.			699) Trinia glauca (L.) Dumort		
200) Crataegus monogyna Jacq.			450) Mercurialis ovata Sternbg. & Hoppe			700) Trisetum flavescens (L.) P.P.Beauv.		
201) Crepis biennis L.			451) Mercurialis perennis L.		13,18	701) Tussilago farfara L.		18
202) Crepis capillaris (L.) Wallr.			452) Micromeria thymifolia (Scop.) Fritsch			702) Ulmus glabra Huds.		
203) Crepis rhoeadifolia M.Bieb			453) Moehringia muscosa L.			703) Ulmus minor Miller		5, 8, 17, 18
204) Crepis slovenica Holub			454) Molinia coerulea (L.) Moench			704) Urtica dioica L.		6,8
205) Crepis vesicaria L.			455) Morus alba L.	Esotica		705) Valeriana dioica L.		7
206) Crocus vernus (L.) Hill			456) Morus nigra L.	Esotica		706) Valeriana nemorensis Turk		
207) Cruciata glabra (L.) Ehrend.			457) Muscari botryoides (L.) Miller			707) Valeriana officinalis L.		10,12
208) Cuscuta campestris Yuncker	Esotica		458) Mycelis muralis (L.) Dumort			708) Valeriana saxatilis L.		
209) Cuscuta epithymum (L.) L.			459) Myosotis scorpioides L.		3,10	709) Valeriana tripteris L.		
210) Cyclamen purpurascens Miller			460) Myosotis sylvatica Ehrh. ex Hoffm.			710) Valeriana wallrothii Kreyer		
211) Cymbalaria muralis Gaertn., Mey. & Sch.			461) Myosoton aquaticum (L.) Moench			711) Veratrum lobelianum Bernh.		
212) Cynodon dactylon (L.) Pers.			462) Myriophyllum spicatum L.			712) Verbascum blattaria L.		
213) Cyperus fuscus L.			463) Myriophyllum verticillatum L.			713) Verbascum chaixii Vill.		
214) Cyrtomium fortunei J. Sm.	Esotica		464) Nasturtium officinale R. Br.			714) Verbascum densiflorum Bertol.		
215) Cystopteris fragilis (L.) Bernh.			465) Neottia nidus-avis (L.) L.C.Rich.	IR DPREG 2022		715) Verbascum nigrum L.		
216) Cytisus nigricans L.			466) Oenothera biennis			716) Verbascum phlomoides L.		
217) Cytisus pseudoprocumbens Markgraf.			467) Oenothera stucchii Soldano	Esotica		717) Verbascum thapsus L.		
218) Cytisus scoparius (L.) Link			468) Omphalodes verna Moench			718) Verbena officinalis L.		
219) Dactylis glomerata L.		8,9,15,16,17	469) Ononis spinosa L.			719) Veronica anagallis-aquatica L.		4,6,18
220) Dactylorhiza fuchsii (Druce) Soó			470) Ophioglossum vulgatum L.			720) Veronica chamaedrys L.		
221) Dactylorhiza majalis P.F.Hunt & Summerth.	IR DPREG 2022		471) Ophrys insectifera L.	IR DPREG 2022		721) Veronica hederifolia L.		
222) Dactylorhiza traunsteineri Soó	IR DPREG 2022		472) Ophrys sphegodes Miller	IR DPREG 2022		722) Veronica officinalis L.		
223) Daphne cneorum L.			473) Orchis militaris L.	IR DPREG 2022		723) Veronica persica Poir.		
224) Daphne mezereum L.			474) Orchis morio L.			724) Veronica urticifolia Jacq.		
225) Daucus carota L.			475) Orchis tridentata Scop.			725) Viburnum lantana L.		
226) Deschampsia caespitosa (L.) P.P.Beauv.			476) Orchis ustulata L.			726) Viburnum opulus L.		
227) Deutzia scabra Thunb.	Esotica		477) Origanum vulgare L.			727) Vicia cracca L.		
228) Dianthus monspessulanus L.			478) Ornithogalum kochii Parl.			728) Vicia hirsuta (L.) S.F.Gray		
229) Dianthus sylvestris Wulfen sylvestris			479) Ornithogalum umbellatum aggr.			729) Vicia sepium L.		
230) Digitalis grandiflora Miller	IR DPREG 2022		480) Orobanche gracilis Sm.			730) Vicia tenuifolia Roth		

Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo	Specie	Status	Rilievo
231) <i>Digitaria ischaemum</i> Schreb. ex Muhl.			481) <i>Ostrya carpinifolia</i> Scop.		9,16,17,18	731) <i>Vinca minor</i> L.		15,16
232) <i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.			482) <i>Oxalis acetosella</i> L.		8,9	732) <i>Vincetoxicum hirundinaria</i> Medik.		18
233) <i>Diplotaxis tenuifolia</i> L.			483) <i>Oxalis articulata</i> Savigny	Esotica		733) <i>Viola alba</i> Besser		17
234) <i>Dorycnium herbaceum</i> Vill.		9	484) <i>Oxalis corniculata</i> L.			734) <i>Viola canina</i> L.		
235) <i>Dryas octopetala</i> L.			485) <i>Oxalis fontana</i> Bunge	Esotica		735) <i>Viola hirta</i> L.		
236) <i>Dryopteris affinis</i> (Lowe) Fraser-Jenkins			486) <i>Paederota bonarota</i> (L.) L.			736) <i>Viola mirabilis</i> L.		
237) <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P.Fuchs			487) <i>Panicum capillare</i> L.	Esotica		737) <i>Viola reichenbachiana</i> Boreau		
238) <i>Dryopteris dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray			488) <i>Papaver rhoeas</i> L.			738) <i>Viola riviniana</i> Rchb.		
239) <i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott			489) <i>Parietaria judaica</i> L.			739) <i>Viscum album</i> L.		
240) <i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.P.Beauv.			490) <i>Parietaria officinalis</i> L.			740) <i>Zannichellia palustris</i> L.		
241) <i>Echium vulgare</i> L.		8,9	491) <i>Paris quadrifolia</i> L.			ULTERIORI SPECIE RINVENUTE (Maggio 2023)		
242) <i>Eleusine indica</i> (L.) Gaertn.	Esotica		492) <i>Parnassia palustris</i> L.			741) <i>Carex acutiformis</i> Ehrh.		1, 5
243) <i>Elymus caninus</i> (L.) L.			493) <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.	Esotica		742) <i>Limniris pseudacorus</i> (L.) Fuss		1
244) <i>Elytrigia atherica</i> (Link) Kerguelen			494) <i>Pastinaca sativa</i> L.			743) <i>Typha latifolia</i> L.		1
245) <i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski			495) <i>Persicaria maculosa</i> Gray			744) <i>Galium palustre</i> L.		2, 5,11
246) <i>Epilobium dodonaei</i> Vill.			496) <i>Petasites albus</i> (L.) Gaertn.			745) <i>Jacobaea paludosa</i> (L.) G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.		6
247) <i>Epilobium montanum</i> L.			497) <i>Petasites hybridus</i> (L.) G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.					
248) <i>Epimedium alpinum</i> L.			498) <i>Petasites paradoxus</i> (Retz.) Baumg.		5			
249) <i>Epipactis atrorubens</i> (Hoffm. ex Bernh.) Besser	IR DPREG 2022		499) <i>Petrorhagia saxifraga</i> (L.) Link		9			
250) <i>Epipactis helleborine</i> (L.) Crantz	IR DPREG 2022		500) <i>Peucedanum austriacum</i> (Jacq.) W.D.J.Koch					

Vengono indicati, nella colonna Status, le specie presenti negli allegati della Direttiva Habitat (II, IV e V Direttiva 92/43/CEE) e quelli elencati ai sensi della legge regionale 9/2007 (DPREG 4 Luglio 2022, n. 80/Pres). Sono invece indicate come specie Esotiche, tutte le specie aliene, senza riferimento al periodo di introduzione né al grado di invasività.

4.4 Risultati – Comunità vegetali e loro stato di conservazione

Nel seguito, vengono sintetizzati i risultati della campagna di rilievi e viene discusso lo stato di conservazione degli habitat di maggior interesse più strettamente legati al lago e alla sua dinamica, al fine di capirne quali sono gli effetti di possibili fattori di disturbo e proporre eventuali mitigazioni a breve e lungo termine. Si è scelto di procedere aggregando la presentazione dei risultati sulla base delle tipologie vegetazionali simili, distinguendo la discussione, ove necessario, relativamente alla differente localizzazione nelle diverse sezioni del lago. Tutte le foto presentate a supporto del testo fanno riferimento alla campagna di rilievi di maggio 2023. La lista completa delle specie rilevate è presente in

Tabella 4.3.

4.4.1 Fragmiteti (rilievi 1 e 2, Figura 4.5)

Il rilievo effettuato sulla sponda meridionale mostra un vasto e tipico canneto umido praticamente monospecifico dominato da *Phragmites australis* (copertura pari al 95% nel rilievo 1). Nella porzione maggiormente estesa del rilievo e immerso nelle acque del lago, si rinviene il tipico canneto inondato in formazione sottile mentre si passa al canneto asciutto più o meno invaso dal rovo e in fase di colonizzazione da parte di arbusti igrofilo che si collocano verso terra. Sono presenti, in maniera sporadica *Carex acutiformis* (0.5%), *Limniris pseudacorus* (1.5%), *Alnus glutinosa* (2%), *Rubus ulmifolius* (1%), *Typha latifolia* (0.5%), *Mentha aquatica* (0.1%), *Lysimachia vulgaris* (0.1%). Al di fuori del plot, in prossimità del fragmiteto, si rinvengono due nuclei densi di *Schoenoplectus lacustris*. Il lembo verso terra del fragmiteto risulta sfalciato per permettere di mantenere il percorso naturalistico che attraversa questa zona.

Il rilievo nel canneto sulla sponda settentrionale, localizzato in prossimità del sentiero natura che parte dalla SR 512, presenta una situazione di rapido passaggio tra un fragmiteto puro per circa la metà del plot (copertura della *Phragmites australis* pari a 60%), e la tipica vegetazione arbustiva riparia che comprende popolamenti legnosi di diverso sviluppo con presenza di salice bianco (*Salix alba*, copertura 20%). Sono presenti nel plot inoltre dei cespi di *Carex elata* (copertura 2%). Sulla riva sono inoltre presenti *Fraxinus excelsior* (5%), *Salix cinerea* (3%), *Alnus glutinosa* (3%), *Equisetum palustre* (1%), *Caltha palustris* (1%), *Galium palustre* (1%), *Schoenus nigricans* (0.5%).

Entrambe questi habitat campionati possono classificati, utilizzando il manuale degli Habitat FVG, nella categoria UC1 - Vegetazioni elofitiche d'acqua dolce dominate da *Phragmites australis*

Il fragmiteto svolge funzione importante in particolare nei laghi oligotrofici in quanto specie edificatrice dei suoli grazie alla capacità di produrre in breve tempo abbondante sostanza organica proveniente dalla decomposizione delle parti aeree che viene trattenuta dal suo apparato radicale. Ha inoltre un importante ruolo di protezione per la fauna sia terrestre (avifauna, ad esempio) e acquatica. L'estensione del canneto sulla sponda meridionale risulta abbondante (se

confrontata con i dati storici) per diversi motivi, tra cui la creazione di briglie sul Rio da Cout che ha ridotto l'effetto di disturbo delle correnti di piena e la realizzazione di interventi di riqualificazione ambientale di questa area, con la realizzazione del progetto "Stagno ecologico del canneto" (1997). Il canneto sulla sponda settentrionale, particolarmente sviluppato attualmente presso il torrente Schiasazze, era descritto come un habitat presente anche su tutta la riva di Somplago dove invece risulta attualmente frammentario e rarefatto soprattutto in prossimità dal canale immissario.

Sponda meridionale



a) Fragmiteto meridionale

Sponda settentrionale



e) Fragmiteto settentrionale (sponda orientale)



b) Phragmites australis



f) Fragmiteto settentrionale (margine)



c) Limniris pseudacorus



d) Carex acutiformis



g) Carex elata



h) Salix alba



e) Schoenoplectus lacustris



i) Rarefazione del fragmiteto in prossimità del canale della centrale di Somplago

Fig. 4.5: Fisionomia dei fragmiteti più estesi presenti sulle rive meridionali (colonna di sinistra) e settentrionali (colonna di destra)

4.4.2 Cariceto e Scirpeto (rilievo 3)

Il rilievo si colloca in una delle poche aree con presenza di residui di cariceto (*Carex elata*) e Scirpeto (*Schoenoplectus lacustris*) della riva settentrionale del lago, antistante il complesso della centrale di Somplago. Queste consociazioni si localizzano nelle zone periodicamente inondate dove il processo d'interramento raggiunge la fase torbosa che precede la formazione dei suoli torbosi. Si tratta di cariceti diffusi in Europa dal piano basale a quello montano (< 1600 m) che si sviluppano nelle aree a inondazione periodica su suoli minerali o torbosi a vario tenore di nutrienti e sono caratterizzate dalle variazioni periodiche del livello idrico e rappresentano la fascia più esterna di alcuni laghi. Secondo il manuale di interpretazione degli Habitat della Regione Friuli Venezia Giulia, questa tipologia viene classificata nella categoria UC10 - Vegetazioni anfibe dominate da grandi carici. La cintura a cariceto era descritta come ampiamente diffusa per il lago di Cavazzo, risulta quasi completamente scomparsa a seguito dell'attuale

configurazione.

Lo scirpeto è quasi totalmente assente (copertura di *Schoenoplectus lacustris* nel plot pari a 2%). Gli scirpeti rappresentano formazioni ad alte elofite diffuse in tutta Europa che si sviluppano nel piano basale e collinare (< 500 m) su suoli costantemente inondati di tipo minerale. Sono presenti nella parti centrali di piccoli laghetti o formano la cintura che colonizza le acque più profonde (rispetto ai canneti). Secondo il manuale degli Habitat del Friuli Venezia Giulia, questa tipologia vegetazionale corrisponde alla categoria UC3 - Vegetazioni elofitiche d'acque profonde stagnanti dominate da *Schoenoplectus lacustris* (= *Scirpus lacustris*). Come riportato in diversi confronti tra i dati storici della distribuzione dell'habitat nel lago di Cavazzo e le evidenze attuali, è avvenuta una forte contrazione della sua estensione in tutta l'area. La sua diminuzione è attribuibile all'esposizione diretta alle escursioni di livello repentine delle acque che agiscono negativamente sui culmi privi di rami e di nodi o tessuti lignificati che non presentano la resistenza meccanica idonea. Questa pianta, infatti, pur avendo la parte inferiore del culmo sommerso ingrossata, a causa della presenza di arenchimi nel fusto, può subire mutilazioni della parte aerea. Ciò avviene in particolare quando gli individui sono appesantiti dall'infiorescenza in presenza di forti correnti di superficie o di forti venti, soprattutto se essi si trovano completamente emersi nelle fasi di forte abbassamento del livello del lago. Dalle immagini si può intuire che in questo specifico caso, essendo l'area localizzata ad una distanza ridotta dal canale immissario artificiale, la corrente che si genera nello scarico delle acque dalla centrale, risulta eccessiva, oltre ad agire come elemento erosivo sulla riva stessa. Oltre a questi disturbi, nell'area esaminata, è osservabile, quasi direttamente a ridosso della riva, l'azione di sfalcio effettuata che impedisce a questa vegetazione qualsiasi possibilità di espandersi, stringendo le poche macrofite residue in una strettissima fascia. Le specie riconoscibili presenti nel rilievo sono le seguenti: *Carex elata* (10%), *Schoenoplectus lacustris* (2%), *Equisetum arvense* (0.1%), *Ranunculus ficaria* (0.1%), *Myosotis scorpioides* (0.2%), *Solanum dulcamara* (0.2%), *Eleocharis palustre* (0.1%), *Scutellaria galericulata* (0.2%), *Potentilla erecta* (2%), *Scrophularia nodosa* (0.2%), *Clinopodium vulgare* (0.1%).



Fig. 4.6: Relazione tra fragmiteto e cariceto della riva sinistra in prossimità del canale immissario. Si noti la torbidità delle acque immesse nel lago dal canale in seguito a piogge intense

4.4.3 Boscaglie ripariali sul Rio Schiasazze (rilievi 4,5,6,7)

I rilievi effettuati sulle due sponde del Rio Schiasazze (Figura 4.7) sono caratterizzati dalla presenza di una boscaglia mista di specie igrofile caratteristiche delle zone ripariali, con presenza di *Salix alba*, *Salix cinerea*, *Populus nigra* e *Alnus glutinosa*. Nello specifico, in stretta prossimità delle rive trova spazio la vegetazione arbustiva con le alnete dei suoli torbosi (*Corno hungaricae-Alnetum glutinosae*) che si sviluppa insieme al saliceto. Ben sviluppato è l'orlo di vegetazione igrofila anfibia di alte erbe come i complessi a *Lysimachia vulgaris*, *Cirsium oleraceum* e *Filipendula ulmaria*. In generale, comunque, l'estensione di queste boscaglie risulta limitata in conseguenza della rapida acclività del versante orientale e la immediata vicinanza con la SR 512. In questa conformazione, l'*Alnus*, che è legato a condizioni stazionali di costante umidità del suolo, si trova insieme ad altre latifoglie, come *Fraxinus excelsior*, *Ulmus minor*, *Acer sp.pl.*, *Corylus avellana*, *Tilia cordata*. La presenza di *Alnus* qui osservata potrebbe ricondurre alla tipologia di Alneto del sottotipo impaludato che si trovano su suoli sempre riforniti d'acqua (idromorfi): si tratta di condizioni particolarmente favorevoli all'ontano che, in questa configurazione, forma piccoli gruppi, costituiti essenzialmente da grandi ceppaie emergenti dall'acqua, con un sottobosco a carici e altre specie igrofile, anche qui ben rappresentate. Il sottobosco di queste formazioni è caratterizzato da specie erbacee molto tolleranti all'umidità o all'idromorfia, quali carici (*Carex acutiformis*, *C. pendula*, *C. elata*), alcuni equiseti (*Equisetum hyemale*, *Equisetum palustre*), felci (*Athyrium filix-foemina*, *Dryopteris filixmas* e sul versante settentrionale un'abbondante presenza di *Phyllitis scolopendrium*).

Si alternano inoltre aree in cui è presente il saliceto arbustivo ripario che comprende piccoli popolamenti basso-arbustivi sufficientemente densi e di portamento semiarboreo a prevalenza di *Salix cinerea* e *Salix alba*. La composizione floristica è estremamente eterogenea, comprendendo anche specie di cenosi più mature, ma che non trovano qui il loro optimum per vegetare, mentre, in relazione alle difformità del substrato con alternanze di zone asciutte e zone umide con acqua affiorante, si trovano specie a carattere variabile da xerofilo a nettamente igrofilo. Nello strato arbustivo prevalgono salice ripaiolo, salicone, sambuco nero e sanguinello, mentre in quello erbaceo si incontrano facies ad alte erbe nitrofile, a carici e a rovi. Segue la lista completa delle specie campionate: *Plantago altissima*, *Alnus glutinosa*, *Frangula alnus*, *Jacobaea paludosa*, *Juncus subnodulosus*, *Lysimachia vulgaris*, *Potentilla erecta*, *Salix cinerea*, *Salix alba*, *Tilia cordata*, *Taxus baccata*, *Populus nigra*, *Galium palustre*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Scirpoides holoschoenus*, *Angelica sylvestris*, *Cirsium oleraceum*, *Rubus caesius*, *Rubus ulmifolius*, *Carex hostiana*, *Carex acutiformis*, *Carex pendula*, *Carex elata*, *Carex distans*, *Deschampsia cespitosa*, *Fraxinus excelsior*, *Molinia arundinacea*, *Equisetum hyemale*, *Thalictrum lucidum*, *Valeriana dioica*, *Eriophorum latifolium*, *Convolvulus sepium*, *Hedera helix*, *Lycopus europaeus*, *Sanguisorba officinalis*, *Petasites paradoxus*, *Phragmites australis*, *Athyrium filix-foemina*, *Dryopteris filixmas*, *Phyllitis scolopendrium*. In prossimità della SR, al di fuori dei rilievi, è presente un nucleo isolato della specie aliena invasiva *Ailanthus altissima*.



a) Sentiero di accesso al rio Schiasazze

e) boscaglia igrofila con *Tilia cordata* e *Taxus baccata*



*b) Cappaia di *Alnus glutinosa* e strato erbaceo di carici*



f) boscaglia igrofila con margine di megaforie



c) strato erbaceo di specie igrofile e carici



*g) *Phyllitis scolopendrium**



d) nucleo di *Ailanthus altissima*

h) *Taxus baccata*

Fig. 4.7: Caratteristiche vegetazionali delle formazioni igrofile presenti lungo il rio Schiasazze

4.4.4 Boschi di pioppo nero e Frassineti del lembo meridionale del lago (Rilievi 10, 11, 12 – Figura 4.8)

I rilievi effettuati si riferiscono alla pioppeta dominata da *Populus nigra* retrostante il campo sportivo. Si tratta di una formazione dove il piano arboreo, che arriva a 15-20 m di altezza, è costituito quasi esclusivamente da pioppo nero, e dove appaiono alcuni individui di salice bianco nelle zone più umide. Si assiste al passaggio di questa fisionomia verso il bosco più evoluto con l'ingresso di specie a legno duro (*Fraxinus excelsior*) accompagnato dal nocciolo (*Corylus avellana*) spostandosi nel rilievo 12 (prossimo all'incrocio tra la strada del lago e la SR 512). Il pioppeto diventa infatti qui una formazioni transitoria poiché non più interessato da eventi alluvionali che ne garantiscono la rinnovazione. Di interesse la presenza di individui di *Betula pendula* in evidente stato di declino (rami secchi e individui morti) che indicano, date le sue caratteristiche di specie pioniera, l'evoluzione di questo ambiente verso una situazione di maggiore stabilità ed il passaggio dei suoli da ciottolosi e sabbiosi a suoli più maturi e ricchi di nutrienti. L'elenco delle specie rilevate è il seguente: *Populus nigra*, *Betula pendula*, *Fraxinus excelsior*, *Acer negundo*, *Salix alba*, *Cornus sanguinea*, *Convolvulus sepium*, *Phragmites australis*, *Humulus lupulus*, *Salix cinerea*, *Solidago gigantea*, *Thalictrum lucidum*, *Filipendula ulmaria*, *Lysimachia vulgaris*, *Alnus glutinosa*, *Plantago altissima*, *Valeriana officinalis*, *Angelica sylvestris*, *Lathyrus pratensis*, *Equisetum arvense*, *Lythrum salicaria*, *Lycopus europaeus*, *Galium palustre*, *Poa sylvicola*, *Juncus subnodulosus*, *Cirsium oleraceum*, *Fragaria vesca*, *Cornus sanguinea*, *Tamus*

communis, Myosotis scorpioides, Ranunculus acris, Mentha aquatica.



a) prato igrofilo su substrato ciottoloso

e) Corylus avellana



b) Populus nigra



d) Betula pendula



d) *Acer negundo* (specie aliena)



f) *Fraxinus excelsior*

Fig. 4.8: Transizione del bosco planiziale di pioppo nero nel frassineto presenti nella zona meridionale del lago.

4.4.5 Considerazioni diacroniche sulla composizione della vegetazione macrofitica e idrofitica del lago e sugli impatti osservati

L'analisi della letteratura e dei dati storici presenti in varie pubblicazioni, in relazione agli ultimi dati disponibili sui monitoraggi ambientali effettuati nelle acque del lago e nelle sue sponde, mostrano che il lago non risulta originariamente caratterizzato da una ricchezza particolare, a causa di diversi fattori tra cui la morfologia delle sponde rocciose occidentali ed orientali e il disturbo del moto ondoso. Quest'ultimo, ad esempio, è ritenuto responsabile della mancanza di alcune specie tipiche stagnanti del lamineto, come ad esempio *Nymphaea*. Fattori climatici, tra cui venti e brezze locali, sono i responsabili del dinamismo superficiale che genera questo disturbo.

Dati campionari sulla composizione della vegetazione sommersa e flottante del lago di Cavazzo (rilievi ARPA 2011, A2A 2021) hanno evidenziato che questa è costituita dall'alga verde *Chara rudis*, in grado di occupare più del 90% dell'area a macrofite del lago, da un metro dalla riva fino in profondità. La composizione floristica prevede inoltre altre alghe verdi, come *Chara vulgaris*, con estensione ridotta alla parte antistante il canneto della sponda meridionale, prevalentemente su suoli limosi a cui si associa *Chara intermedia*. Un habitat così caratterizzato può essere ascritto, utilizzando il manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia e con alcune differenziazioni, alla classe "AF5 - Acque lacustri prive di vegetazione fanerofitica (incl. tappeti di Characeae)", tipica dei corpi d'acqua oligotrofici. Sporadici ed estremamente limitate le osservazioni sulle macrofite radicate flottanti (*Potamogeton crispus*) e sommerse (*Ceratophyllum demersum* ed *Elodea canadensis*, quest'ultima specie non autoctona). Si aggiungono infine, grazie ai rilievi effettuati nel lago nel 2015, le specie *Ranunculus fluitans*, *Potamogeton gramineus* e *Nitella* sp., tutte con abbondanza da scarsa a rara. Nessuna nuova specie è stata rinvenuta nelle ispezioni del perimetro interlacuale del Maggio 2023. Mancando dati quantitativi sulla distribuzione e composizione della vegetazione idrofita del lago prima dell'entrata in funzione della centrale di Somplago, il confronto tra l'attuale situazione e quella passata può essere fatto solo in modo qualitativo, utilizzando come riferimento gli scritti di Lorenzi (1898) che chiaramente evidenzia, sulla sponda nord-occidentale, oggi occupata dal solo fragmiteto, la presenza di *Potamogeton crispus* e di *Myriophyllum spicatum*. Sulla sponda meridionale del lago non era invece presente il Fragmiteto e al suo posto era ben rappresentato il *Potamogeton*etum, con ingressioni di *Myriophyllum spicatum* e ad una profondità di 4,5 metri erano presenti banchi di *Ceratophyllum demersum*. Interessante l'osservazione relativa alla mancanza di specie del Characetum, tra cui *Chara* sp. pl.

Risulta pertanto chiara la trasformazione avvenuta, nel corso di oltre un secolo, da un lago dominato da angiosperme alla situazione attuale caratterizzata da alghe verdi. In particolare, la letteratura scientifica (Pelechata et al. 2023) evidenzia come le carofite, alghe verdi macroscopiche della famiglia Characeae (phylum Charophyta), dominano a concentrazioni di nutrienti più basse, in condizione di oligotrofia, e possono sviluppare una biomassa areale più elevata rispetto alle

angiosperme, i rappresentanti più comuni delle piante superiori acquatiche che dominano in laghi mesotrofi. Questa differenziazione si riflette anche nell'abbondanza e nella composizione del fitoplancton, ma i meccanismi di feedback diretti e indiretti dell'interazione tra macrofite e fitoplancton sono diversi. Nelle aree lacustri dominate dalle angiosperme, infatti, il fitoplancton è soggetto a meccanismi di controllo dall'alto verso il basso, mentre nelle aree dominate dalle carofite, sono più probabili le relazioni di tipo "dal basso verso l'alto" ad influenzare la struttura dell'assemblaggio di fitoplancton (Blindow et al., 2014).

Una tale osservata trasformazione è imputabile principalmente alle mutate concentrazioni di nutrienti nelle acque del lago, principale fattore limitante per le idrofite, e in maniera inferiore all'effetto della temperatura (che però ha riconosciuta influenza selettiva su alcune specie, come ad esempio sul *Ceratophyllum demersum*) oltre che al variato idrodinamismo. In sintesi, la messa in funzione della centrale ha comportato la diminuzione dell'apporto di fosforo al lago (concentrazione rilevata 1,6 µg/l) che da una parte ha contratto le comunità di angiosperme tipiche del lago (ma ancora presenti sebbene in ridottissima misura rispetto al passato) e dall'altra ha permesso alle alghe verdi di espandersi in una fascia sommersa più estesa del lago. Possibili azioni atte ad incrementare il valore del fosforo dalle concentrazioni attuali a quelli di riferimento per laghi con livelli di trofia medi potrebbero quindi favorire un nuovo equilibrio la cui direzionalità va attentamente valutata sulla base di dati certi e studi approfonditi sulla fisiologia di questi organismi.

In un ottica di cambiamento climatico, i principali modelli accreditati indicano che, a livello mondiale, si intensificheranno gli effetti negativi dell'eutrofizzazione delle acque dei laghi e tra gli effetti è presumibile attendersi un aumento della proporzione di fitoplancton tra i produttori primari, in particolare dei cianobatteri, che sono considerati competitori più forti in condizioni eutrofiche e beneficiari del riscaldamento climatico. Garantire la presenza di abbondante vegetazione sommersa ha l'effetto di fornire un rifugio per lo zooplancton contro la predazione, il che, insieme alla competizione per la luce e i nutrienti tra le macrofite e il fitoplancton, è efficace nel ridurre la crescita del fitoplancton e migliora la chiarezza dell'acqua. Un prerequisito per mantenere una copertura elevata di vegetazione sommersa è quello di monitorare e controllare i livelli di concentrazione di nutrienti

nell'acqua e creare condizioni favorevoli per letti di macrofite estesi e abbondanti.

4.5 Mitigazioni Proposte

Nell'ambito delle misure di mitigazione proposte per ridurre gli impatti sino ad ora descritti e che, per la componente vegetale, influiscono maggiormente sulle comunità di macrofite e sulle fasce di vegetazione da queste strutturate, possono essere identificate diverse strategie la cui fattibilità andrebbe valutata da un punto di vista tecnico. Queste proposte mirano a contrastare l'effetto meccanico del flusso d'acqua in uscita dalla centrale di Somplago, promuovere una gestione sostenibile della vegetazione lungo il lago e supportare il mantenimento di specie vegetali natanti e sommerse.

1) Riduzione dell'impatto sulla riva della corrente di immissione del canale: un passo fondamentale per consentire alla vegetazione macrofitica di tornare ad occupare la riva settentrionale antistante la centrale di Somplago, che rappresenta l'area con maggiori trasformazioni ambientali di origine antropica, sarebbe costituito dalla realizzazione di interventi ingegneristici mirati e la costruzione di opere idrauliche al fine di creare una barriera di deflessione del flusso di scarico della centrale, che corra parallela al flusso stesso e che consenta di creare una zona di acque lentiche vicino alla riva. È infatti evidente che l'effetto meccanico dovuto alla portata e alla forza dell'attuale scarico limitano l'estensione del fragmiteto, comportano un certo grado di erosione sulla riva e non permettono lo sviluppo di fasce di vegetazione come lo scirpeto e il cariceto. La soluzione alternativa di deviare il flusso della corrente verso il fondo del lago potrebbe costituire una alternativa al solo obiettivo di raggiungere un risultato simile.

2) Collegato alla misura sopra proposta, una strategia da adottare sia sulla riva settentrionale che in generale dove si presentano situazioni di disturbo simili, consiste nella creazione di una fascia di rispetto lungo le sponde del lago. In questa fascia è importante evitare lo sfalcio della vegetazione prossima allo specchio d'acqua. Questa azione consentirà di facilitare l'espansione, e con il tempo di ristabilire, una successione naturale di comunità vegetali macrofitiche e/o igrofile. Questo approccio mira a favorire la crescita e la diffusione delle macrofite,

consentendo loro di colonizzare gradualmente l'area senza interferenze umane.

3) Variazione del livello di nutrienti nel lago: come indicato nel presente studio, una variazione delle concentrazioni dei nutrienti, ed in particolare del fosforo nelle acque del lago, potrebbe influire sulla composizione ed il recupero di alcune specie vegetali natanti e sommerse, simili a quelle esistenti prima dell'immissione delle acque dal bacino artificiale di Ambiesta. Sarà però necessario uno studio approfondito e raccolta di dati certi sulla fisiologia di questi organismi per determinare l'effetto e l'efficacia di tale soluzione. In letteratura sono riportati esempi di ripristino di comunità macrofite in seguito a disturbo, realizzate attraverso due modalità principali:

- Ripristino Naturale: se esistono depositi di semi vitali di macrofite nei sedimenti del lago, è possibile promuovere il ripristino naturale consentendo alle condizioni ambientali di favorire la germinazione e la crescita di queste piante. Tuttavia, per garantire il successo di questa strategia, è fondamentale monitorare attentamente e mantenere stabili le condizioni necessarie per la propagazione delle macrofite.
- Piantumazione Artificiale: nel caso in cui manchi una banca dei semi o sia necessario accelerare il processo di ripristino, la piantumazione artificiale può essere una soluzione efficace. Questo approccio prevede la selezione e la messa a dimora di specie locali e resistenti allo stress per aumentare le probabilità di successo. La piantumazione artificiale può essere realizzata attraverso diverse tecniche, tra cui semina, affondamento delle piante o taglio e trapianto. Inoltre è consigliabile considerare l'uso combinato di diverse specie vegetali per promuovere la biodiversità e rafforzare la resilienza dell'ecosistema lacustre.

4) Minimizzare l'escursione delle acque del lago: l'esercizio consolidato della centrale comporta un'escursione ordinariamente mantenuta all'interno di 1 m circa. Nonostante ciò, una tale escursione può generare effetti deleteri su alcune specie macrofite e influire, insieme ad altri disturbi, come ad esempio il moto ondoso, sul loro sviluppo e permanenza.

5) Ripristino di formazioni boschive igrofile e magnocariceti attraverso il recupero del vecchio emissario: la fascia che corre tra la sponda meridionale del lago, dove trova conclusione il fragmiteto, proseguendo verso la via Interneppo (parallelamente al campo sportivo) e arriva fino alla via del lago (fino a congiungersi idealmente con il torrente Palar), ospita una depressione che rappresenta il corso del non più funzionale emissario del lago. Attualmente la prima parte di questa fascia è gestita come prato mantenuto raso attraverso sfalcio ripetuto. Superato il ponte della via Interneppo, si apre un'area pianeggiante parzialmente occupata da un pioppeto ad alto fusto e anteceduto da una prateria igrofila dove la falda superficiale assicura un buon apporto di acqua per la vegetazione. Sarebbe auspicabile, lungo tutta la fascia e anche in seguito all'eventuale recupero della funzionalità del vecchio emissario, prevedere interventi di ripristino di boscaglie igrofile impaludate in cui, soprattutto nella sezione pianeggiante, si possano ricreare formazioni a macrocariceti. Le attuali condizioni ambientali sembrano essere favorevoli a questa soluzione, soprattutto nell'area tra le due strade sopra citate (si veda anche il capitolo sullo stoccaggio del carbonio).

4.6 Bibliografia

AA.VV. (1990). Aspetti floristici e vegetazionali del lago e della sua valle. Comune di Bordano

A2A S.P.A. (2011). Progetto Impianto Idroelettrico di Somplago (UD) - Risultati indagine conoscitiva preliminare

A2A (2021). Contributo conoscitivo al Laboratorio lago di Cavazzo (o dei Tre Comuni).

Blindow, I., Hargeby, A., Hilt, S. (2014). Facilitation of clear-water conditions in shallow lakes by macrophytes: differences between charophyte and angiosperm dominance. *Hydrobiologia* 737, 99–110. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1687-2>

Carta della Natura (2021). Mappa Habitat con nomenclatura Corine Biotopes. Disponibile da: <http://irdat.regione.fvg.it/consultatore-dati-ambientali-territoriali/home?language=it>

Cucchi, F., F. Finocchiaro & G. Muscio (2010). Geositi del Friuli Venezia Giulia. I ristampa riv. e corr. Udine: Reg. Aut. Friuli Venezia Giulia, Direz. Centr. Ambiente e Lavori pubblici, Univ. Studi Trieste, Dipart. Sci. Geologiche, Ambientali e Marine.

Lorenzi, A. (1898). Osservazioni sulla vegetazione del lago di Cavazzo. *Alto*, 4: 51-52

Martini, F., Bertani, G., Boscutti, F., Bruna, A., Danelutto, A., Pavan, R., Peruzovich, C. (2023). Flora del Friuli Venezia Giulia: Repertorio critico diacronico e atlante corologico. Forum Editore, Udine.

Oriolo G., Pingitore G., Strazzaboschi L., Laureti L. (2021). Carta della Natura della Regione Friuli-Venezia Giulia – standard nazionale: Carta degli habitat alla scala 1:25.000. Regione Friuli-Venezia Giulia, ISPRA

Pełechata, A., Kufel, L., Pukacz, A., Strzałek, M., Biardzka, E., Brzozowski, M., Kaczmarek, L., & Pełechaty, M. (2023). Climate features or the composition of submerged vegetation? Which factor has a greater impact on the phytoplankton structure in temperate lakes? *Ecological Indicators* 146: 109840.

Poldini L., Oriolo G., Vidali M., Tomasella M., Stoch F. & Orel G. (2006). Manuale degli habitat del Friuli Venezia Giulia. Strumento a supporto della valutazione d'impatto ambientale (VIA), ambientale strategica (VAS) e d'incidenza ecologica (VIEc). Region. Autonoma Friuli Venezia Giulia – Direz. Centrale ambiente e lavori pubblici – Servizio Valutazione Impatto Ambientale, Univ. Studi Trieste – Dipart. Biologia, <http://www.regione.fvg.it/ambiente.htm>

Rizzi Longo, L. Cussigh, R., Vidali, M., Poldini, L. (2012). Complessi Pollinici depositati nei Cuscineti Muscinali a Vuarbis (Cavazzo Carnico, UD). *Gortania*, 34, 11-17

5. FAUNA ITTICA

5.1 Introduzione

Il lago di Cavazzo, lago pedemontano del Friuli Venezia-Giulia facente parte del reticolo idrografico del medio corso del Tagliamento, è interessato, a partire dalla seconda metà degli anni '70, dalla presenza di una importante centrale idroelettrica che recapita al bacino acque provenienti dal medio bacino del Tagliamento.

La Centrale di Somplago rappresenta l'impianto più importante del Nucleo di Udine per potenza, producibilità, estensione territoriale delle opere di allacciamento e derivazione (oltre 50 km di gallerie e canali) che concorrono al superamento delle vallate attraversate per il convogliamento delle acque al bacino di Ambiesta e quindi alla Centrale di Somplago. La produzione media annua equivale a circa il 45% dell'intera produzione del Nucleo di Udine.

I primi progetti della SADE per l'utilizzazione del Medio-Tagliamento e affluenti prevedevano 3 salti in serie che, dopo successivi studi e analisi, vennero concentrati in uno solo, quello di Ambiesta-Somplago, in quanto le portate captabili dal Tagliamento, procedendo verso valle, si riducono progressivamente per l'assorbimento delle potenti alluvioni subalveo e, in secondo luogo, la possibilità di costruire una diga a Verzegnis a monte e la presenza dell'esistente lago di Cavazzo a valle, sono stati fattori determinanti che hanno indotto verso la soluzione poi realizzata, in grado di operare una demodulazione che consente di attenuare il fenomeno di hydropeaking verso il recettore finale laminando la portata utilizzata dalla centrale.

Dal punto di vista elettromeccanico, la centrale è dotata di 3 gruppi di generazione da oltre 60 MVA ciascuno con turbine a reazione del tipo Francis, recentemente rinnovati.

La Centrale recapita le acque turbinate nel lago di Cavazzo in sponda nord-occidentale tramite una galleria lunga circa 600 metri. La galleria a pelo libero, a sezione policentrica di oltre 7 metri di diametro equivalente, è parzialmente e costantemente sommersa nell'intervallo di escursione del lago. Essa è sormontata

per tutta la sua lunghezza da un'apposita galleria di areazione, posta in comunicazione con quella di scarico attraverso diversi fori verticali, atti ad impedire la formazione di sacche d'aria e fenomeni di depressione, facilitare il passaggio delle onde di traslazione nei transitori idraulici e consentire infine il regolare funzionamento dell'impianto. In prossimità dello sbocco a lago, per parziale recupero cinetico, la galleria ha, come di consueto in impianti simili, una forma a diffusore.

Prima dei citati interventi, il lago non aveva né un vero e proprio immissario né un emissario, bensì un canale sfioratore con incile lungo la sponda meridionale che entrava in funzione saltuariamente in occasione di grandi piene, poiché ordinariamente, dato l'esiguo apporto del bacino imbrifero di soli 20 km² circa, l'acqua si disperdeva per filtrazione attraverso il fondo, le sponde e per evapotraspirazione.

L'attuale opera regolatrice del lago consiste in una paratoie piana a strisciamento disposta all'imbocco della galleria di scarico sul fianco sinistro della vallata. Le quote minime e massime di regolazione concesse sono stabilite in 192,90 m slm e 196,90 m slm rispettivamente. Di fatto l'esercizio consolidato del lago comporta un'escursione ordinariamente mantenuta all'interno di 1 m circa rispetto ai 4 m teorici concessi, ovvero tra le quote 194,40 e 195,40 circa. Dopo la galleria a sezione policentrica di quasi 3,5 km ed un canale all'aperto di 600 metri, l'acqua viene recapitata nel torrente Leale e da qui restituita al Tagliamento.

L'importante opera di regolazione, analoga concettualmente a quelle realizzate nel secolo scorso in prossimità degli incili di tutti i grandi laghi prealpini del Nord Italia, comporta un'amplificazione delle funzioni di compenso delle portate entranti con controllo sui livelli del lago e consente di garantire al contempo l'uscita delle portate desiderate per soddisfare nel migliore dei modi gli usi di valle.

Al bacino dell'Ambiesta giungono le portate derivate dal medio Tagliamento, dal Degano e dallo scarico della Centrale di Ampezzo; dall'Ambiesta viene poi derivata, per essere turbinata a Somplago, una portata variabile sino a 66 m³/s.

Prima dell'entrata in funzione della Centrale di Somplago il lago di Cavazzo, come riportato nel Progetto di Piano, presentava le caratteristiche di un lago dimittico: stratificazione estiva, stratificazione inversa invernale e rimescolamento in primavera ed autunno.

Le condizioni attuali sono tali da classificare il lago di Cavazzo come monomittico: stratificazione termica estiva e sostanziale omeotermia nel periodo invernale.

Le temperature del bacino dell'Ambiesta si aggirano attorno ai 5 °C nel periodo invernale primaverile e attorno ai 10 °C nel periodo estivo-autunnale.

Ciò ha comportato una riduzione delle temperature anche nel lago di Cavazzo, favorendo condizioni ambientali più idonee alla vita di specie ittiche frigofile.

Dal punto di vista trofico sia il lago di Cavazzo che il serbatoio dell'Ambiesta sono caratterizzati da basse concentrazioni di fosforo, con condizioni di oligotrofia e pertanto il funzionamento della centrale non incide sulla qualità delle acque.

5.2 Caratterizzazione ittiofaunistica del sistema idrografico

Sono 22 le specie censite nell'intervallo 1890-2011, in un intervallo di osservazione di 122 anni. Tre specie, non censite, sono segnalate come probabilmente presenti nel bacino nello stesso intervallo temporale. La tab. 5.1 riporta l'elenco completo dei taxa campionati o ritenuti presenti nel lago.

Famiglia	Specie	1890	1894	1895	1977	1980	1990	1992	2011
Anguillidae	<i>Anguilla</i>	X	X	X	X	X	X	X	
Clupeidae	<i>Agone</i>	X	X	X					
Coregonidae	<i>Lavarello</i>								X
Cyprinidae	<i>Alborella</i>	X	X	X	X	X	X	X	
	<i>Barbo comune</i>		X	X					X
	<i>Carpa</i>		X		X	X	X	X	
	<i>Cavedano</i>	X	X	X			X	X	X
	<i>Gobione</i>			X					
	<i>Sanguinerola</i>				X	X	X	X	
	<i>Scardola</i>	X	X	X			X	X	X
	<i>Tinca</i>	X	X	X		X	X	X	
	<i>Triotto</i>			X				X	X
	<i>Vairone</i>							X	
Cottidae	<i>Scazzone</i>						X	X	X
Gasterosteidae	<i>Spinarello</i>		X	X	X	X	X	X	X
Ictaluridae	<i>Pesce gatto</i>						X		
Percidae	<i>Persico reale</i>				X	X	X	X	X
Petromizonidae	<i>Lampreda</i>	X	X	X					

Salmonidae	<i>Trota fario</i>	X		X	X	X	X	X	X
	<i>Trota iridea</i>				X	X	X	X	
	<i>Trota marmorata</i>							X	
	<i>Salmerino di fonte</i>							X	
TOTALE		8	10	12	8	9	13	16	9

Tab. 5.1. Specie ittiche segnalate nel periodo 1890-2011

°Fonti: Senna; 1890; Marinelli, 1894; Tellini, 1895; Specchi e Miccoli; 1977; Ceschia et al. 1990, Paradisi; Aquaprogram, 1992; Politecnico di Torino, Università di Trieste, Aquaprogram; 2011

Specie segnalate in passato o potenzialmente presenti: cobite, luccio, **persico sole**

La doppia linea indica la messa in funzione della centrale

In *corsivo* i taxa endemici

In **verde** le specie tipicamente lacustri

In **rosso** i taxa alloctoni

Delle specie censite, il cui andamento è riportato in fig. 5.1, sette sono specie alloctone, quattro delle quali appartenenti alla fam. Salmonidae; due sole specie alloctone, trota fario e carpa, sono segnalate nel XIX secolo (fig. 5.2).

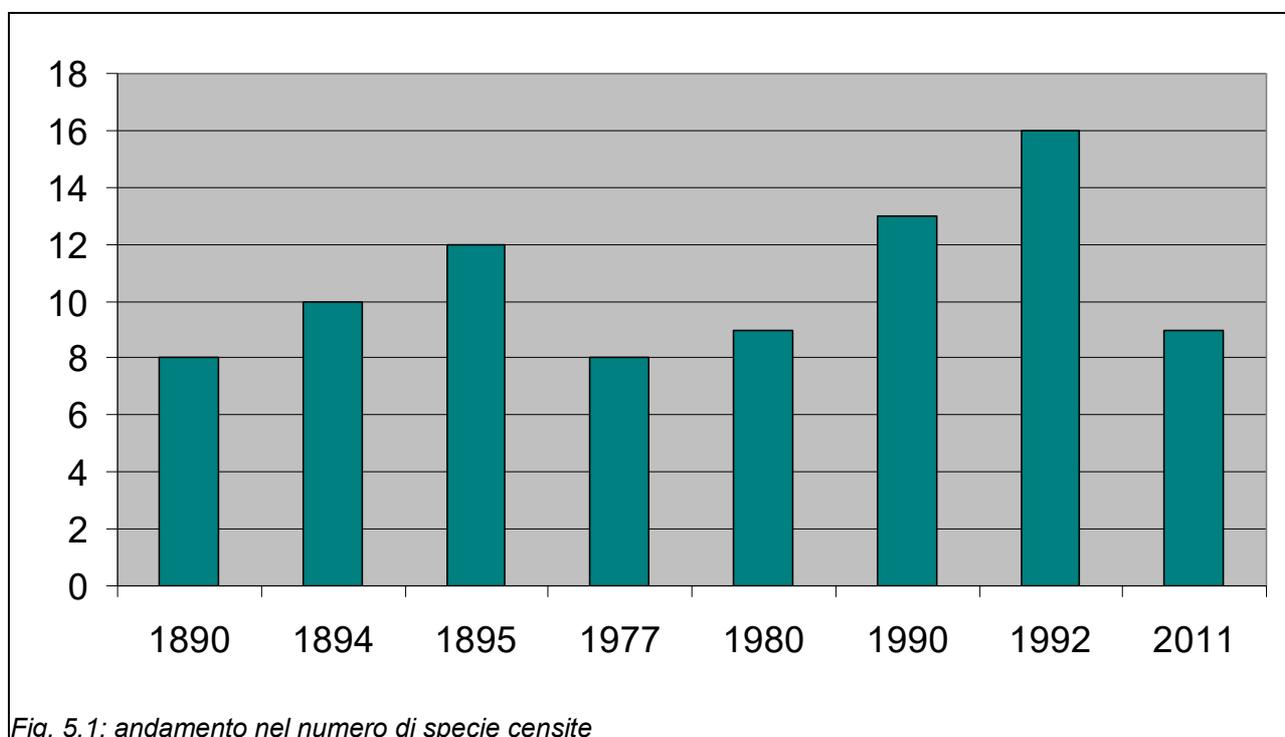


Fig. 5.1: andamento nel numero di specie censite

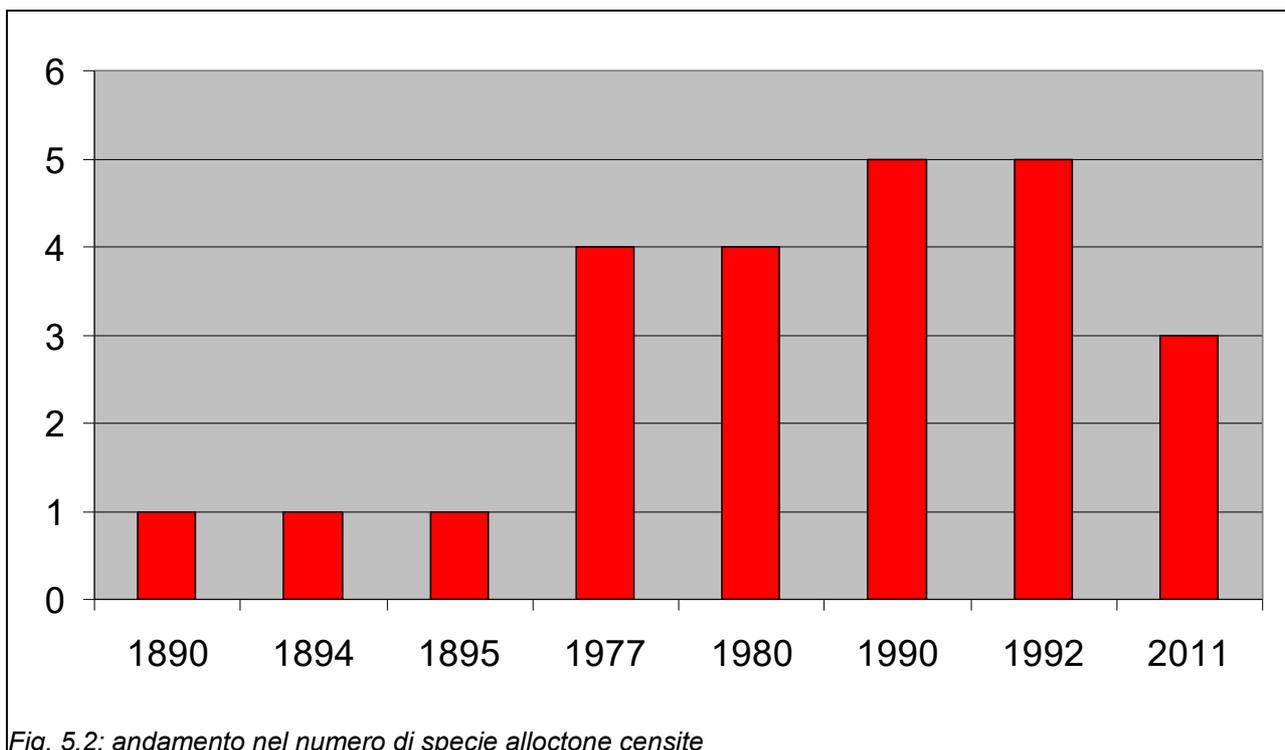


Fig. 5.2: andamento nel numero di specie alloctone censite

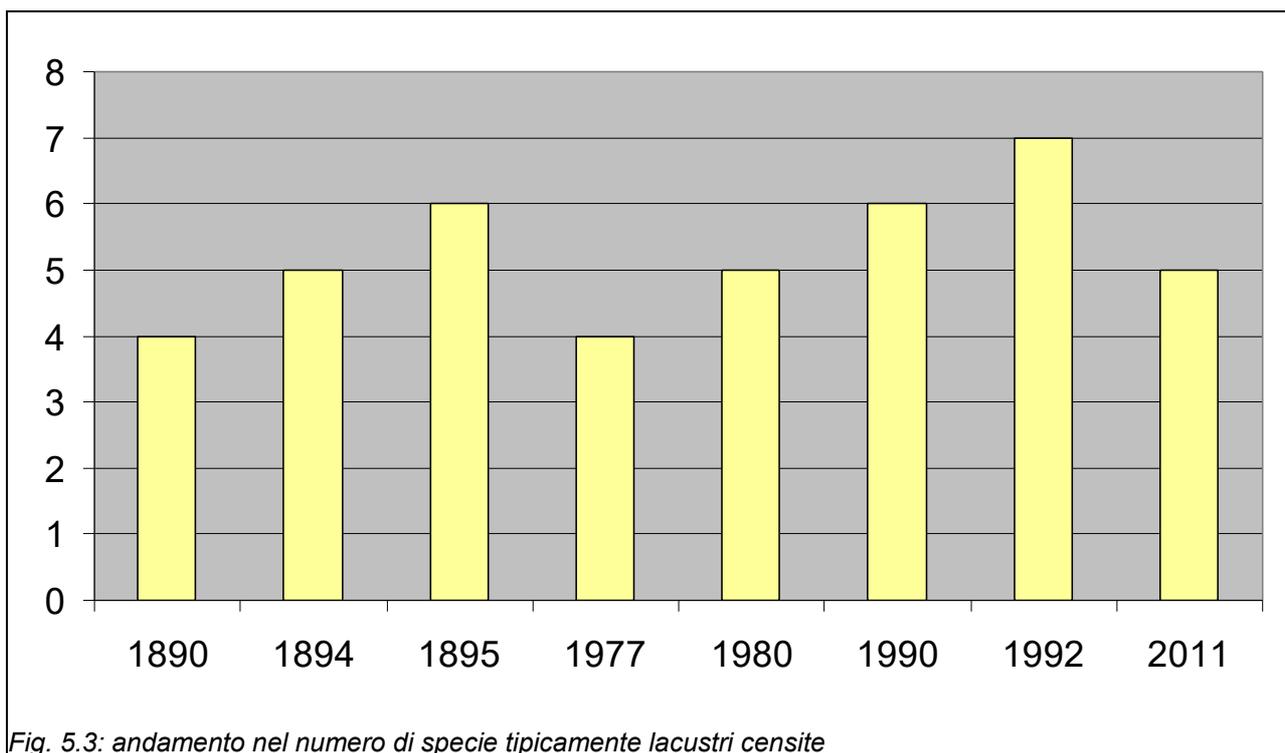


Fig. 5.3: andamento nel numero di specie tipicamente lacustri censite

Otto delle specie riportate in bibliografia sono prettamente lacustri (fig. 5.3); una di queste, l'agone, risulta scomparsa dopo la messa in funzione della centrale.

Sette specie sono tipicamente frigofile (fig. 5.4); sei di queste risultano comparse dopo la messa in funzione della centrale.

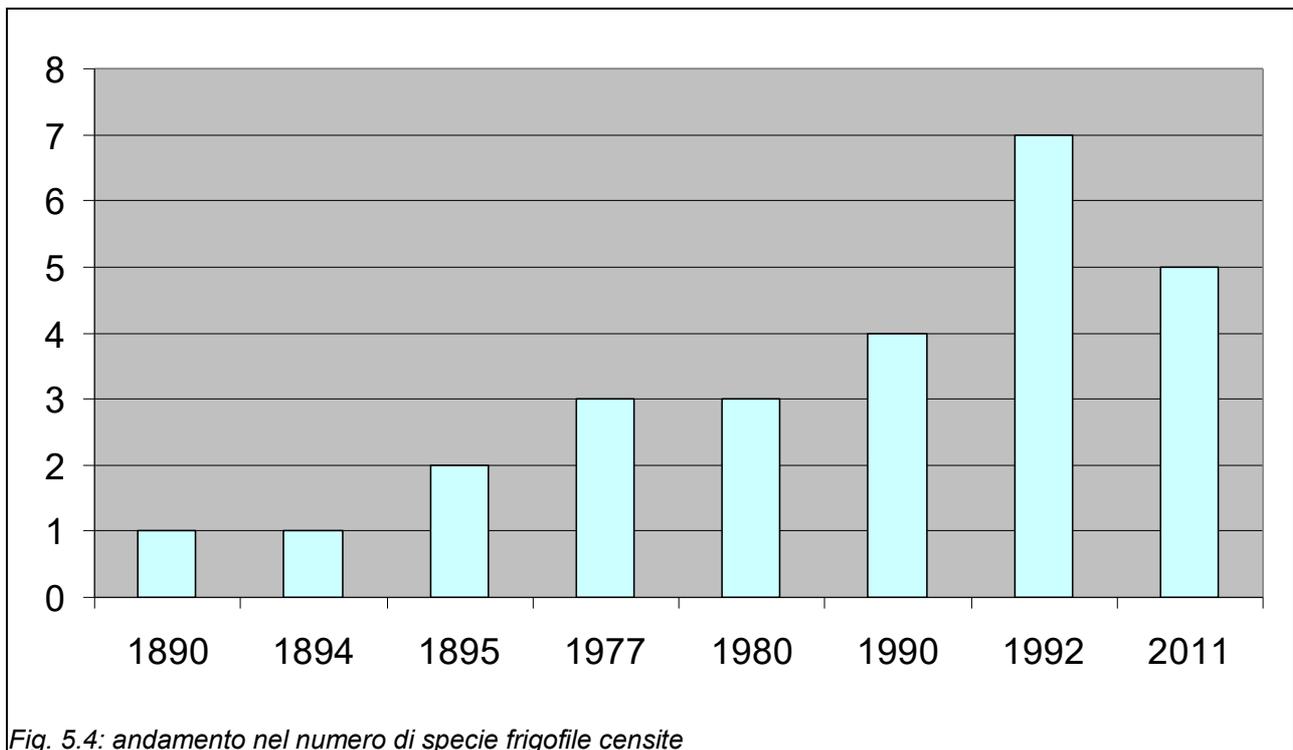


Fig. 5.4: andamento nel numero di specie frigofile censite

Due ciprinidi reofili, barbo e gobione, di acqua moderatamente calda risultano scomparsi dopo la messa in funzione della centrale. Viceversa due ciprinidi reofili, vairone e sanguinerola, di acqua moderatamente fredda compaiono dopo la messa in funzione della centrale.

Stime quantitative dell'ittiofauna presente sono presenti in un unico documento, peraltro il più recente, relativo all'ittiofauna del lago (2011); mancano completamente dati quantitativi relativi al periodo antecedente.

È possibile una stima della produzione ittica in funzione della concentrazione attuale di P ed una simulazione della stessa a differenti concentrazioni di P od a confronto con laghi con caratteristiche simili non alterati dalla presenza di una centrale. Tali stime sono riportate nei paragrafi successivi.

	Trota fario	Trota iridea	Trota marmorata	Temolo	Barbo	Cavedano	Sanguinerola	Vairone	Scazzone
Rio Schiasazze	X	X							
Emissario lago		X							
T. Leale			X	X	X	X			X
T. Palar	X								
F. Tagliamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tab. 5.2 Specie ittiche presenti nel reticolo idrografico del lago

Per quanto riguarda il reticolo idrografico di cui il lago di Cavazzo fa parte, costituito da fiume Tagliamento, torrente Leale e rio Schiasazze, sono riportati in bibliografia i seguenti dati (Tab. 5.2, Ceschia, Giorgetti, 1980, Edipower, 2016).

5.3 Sopralluogo e campionamenti dell'ittiofauna

Nei giorni 30 e 31 marzo del 2023 è stato condotto un sopralluogo sul lago di Cavazzo e sul bacino idrografico afferente (rio Schiasazze e rio da Cout) e drenante il bacino (attuale emissario, rio Palar, torrente Leale, fiume Tagliamento).

Il giorno 30/3 sono stati visitati alcuni siti sul lago: sponda nord, in corrispondenza dello scarico della centrale e dell'immissione del rio Schiasazze, sponda sud in corrispondenza dell'uscita dell'emissario. Inoltre sono stati condotti sopralluoghi sul rio Schiasazze per un ampio tratto dall'immissione nel lago a monte per circa 500 m, sul rio da Cout a monte dell'immissione nel lago, sull'attuale emissario del lago in corrispondenza dell'ingresso in galleria dello stesso ed a valle, presso la confluenza con il torrente Leale, sul vecchio emissario del lago, rio Palar, presso il vecchio punto di uscita dal lago, sul torrente Leale, a monte dell'immissione del canale di uscita dal lago. I sopralluoghi sono stati condotti con i funzionari della Regione FVG e con il dott. Fabrizio Merati, incaricato per la caratterizzazione chimica.

Il giorno 31/3 sono invece stati condotti campionamenti qualitativi dell'ittiofauna in cinque siti del reticolo idrografico afferente e drenante le acque del lago.

Gli esiti dei sopralluoghi permettono di effettuare alcune considerazioni preliminari. Si conferma la spiccata oligotrofia del lago, per la quale si rimanda alla relazione del dott. Merati, responsabile della caratterizzazione chimica.

Il lago si configura per caratteristiche ambientali come un piccolo/medio lago naturale della fascia subalpina, alterato dal punto di vista idrologico per l'immissione di acque fredde dal reticolo idrografico del medio/alto Tagliamento; il tratto apicale e terminale, a bassa profondità, hanno una ridotta fascia litoranea parzialmente occupata da canneto e fondale con copertura macrofitica; gran parte del lago ha viceversa rive con forte acclività e profondità accentuata.

Dal punto di vista ittologico la comunità attesa per un ambiente con simili caratteristiche (alterate dalla presenza della centrale), assimilabili a quelle di un lago alpino in quota, è costituita da specie moderatamente frigofile (salmonidi,

ciprinidi di acqua fredda).

La presenza dell'immissario rio Schiasazze agevolmente percorribile per alcune centinaia di metri a monte del lago, con substrato ghiaioso, permette la riproduzione di specie reofile (salmonidi, ciprinidi, cottidi).

La zona litoranea, con presenza di vegetazione acquatica, può consentire, viceversa, la presenza di specie fitofile tipiche di acque più temperate, che necessitano di macrofite per la riproduzione; per queste specie il fattore limitante è sicuramente la temperatura dell'acqua, attualmente piuttosto fredda per la fisiologia di molte di queste.

La parte settentrionale del lago, dal punto di vista delle alterazioni antropiche, è caratterizzata dalla presenza della centrale e del suo scarico, dell'oleodotto, del tracciato autostradale. La parte meridionale e la sponda ovest presentano una modesta urbanizzazione.

L'immissario rio Schiasazze è un corpo idrico di modesta portata, pianeggiante per circa 500 m a monte della confluenza nel lago, con un incremento della pendenza dall'abitato di Somplago a monte.

Il tratto prossimo all'ingresso nel lago è poco antropizzato, con buona copertura vegetale, ma la presenza di una consistente copertura perifitica ed algale suggerisce carichi organici sostenuti per la presenza di scarichi civili e zootecnici (presenza di una trofocultura).

Potenzialmente questo tratto presenta caratteristiche di un corso d'acqua colonizzabile da popolazioni miste salmonicole/ciprinicole.

Presso l'abitato di Somplago il corpo idrico è rettificato, con piccole briglie superabili dall'ittiofauna in fase di morbida e sponde in cemento; in questo tratto il corpo idrico acquisisce caratteristiche proprie di un piccolo torrente montano, con comunità ittica attesa costituita da salmonidi e cottidi.

Il rio da Cout è un piccolo immissario del lago, confluyente nella parte meridionale; il corso d'acqua è in asciutta totale nell'ultimo tratto, fortemente alterato per la presenza di difese spondali e briglie; alcune centinaia di metri a monte dell'immissione nel lago è presente una portata di pochi litri al secondo.

È potenzialmente colonizzabile da salmonidi/cottidi, ma non in continuità con il lago dal punto di vista ideologico e morfologico, per la presenza di ostacoli artificiali che ne impediscono la risalita.

L'attuale emissario del lago è un canale artificiale in gran parte in galleria, cementificato, ma con fondale parzialmente naturale e con copertura macrofita; confluisce nel torrente Leale con una traversa non valicabile da parte dell'ittiofauna, in corrispondenza di una centrale idroelettrica.

Potenzialmente colonizzabile dall'ittiofauna nel suo decorso a cielo aperto, in particolare da salmonidi (trote, temoli) è, di fatto, presumibilmente percorribile solo da ittiofauna in discesa dal lago e non da specie ittiche in risalita dal torrente Leale.

Il torrente Leale è un corpo idrico di modesta portata, artificialmente incrementata a valle dell'immissione dell'emissario del lago di Cavazzo; dall'immissione a valle è parzialmente canalizzato e rettificato, con substrato naturale; prima dell'immissione nel fiume Tagliamento è presente una centrale idroelettrica, con traversa di derivazione dotata di scala di risalita (passaggio tecnico) per l'ittiofauna; dall'immissione dell'emissario del lago di Cavazzo a monte il Leale è un torrente con caratteristiche naturali a moderata acclività.

La fauna ittica attesa è mista salmonicola/ciprinicola, con lo scazzone come specie di accompagnamento.

I campionamenti dell'ittiofauna specifici, effettuati il 31/3 con la collaborazione del dott. Bertoli dell'Università di Trieste, hanno parzialmente confermato le attese.

Le stazioni campionate sono cinque:

SCH01: rio Schiasazze, in località Somplago

SCH02: rio Schiasazze, a monte dell'ingresso nel lago

LEA01: torrente Leale, a monte dell'immissione dell'emissario del lago

LEA02: torrente Leale, a valle dell'immissione dell'emissario del lago

TAG01: fiume Tagliamento, a valle della confluenza con il Leale

Nella tab. 5.3 sono riportati i principali parametri idromorfologici rilevati, mentre nella tab. 5.4 sono indicate le specie ittiche rinvenute nei cinque siti campionati.

	SCH01	SCH02	LEA01	LEA02	TAG01
Lunghezza (m)	170	140	200	150	400
Larghezza media (m)	4,5	8	10	20	40
Profondità massima (m)	130	60	150	180	>200
Profondità media (m)	40	30	40	80	40
Substrato prevalente*	4	3	3	4	3
Raschi (%)	10	10	20	80	80
Piane (%)	60	90			
Buche (%)	30		80	20	20
*Legenda composizione del substrato					
cemento prevalente: 0, fango con limo prevalente (<0.02 mm): 1, sabbia e ghiaia fine prevalente (fino a 16 mm): 2, ghiaia fine e grossolana prevalente (tra 2 e 64 mm): 3, ghiaia grossolana e ciottoli prevalenti (tra 64 e 256 mm): 4, ciottoli e massi prevalenti (tra 25.6 e 100 cm): 5					

Tab. 5.3: parametri idromorfologici nei cinque siti campionati

	SCH01	SCH02	LEA01	LEA02	TAG01
<i>Anguilla anguilla</i>			X	X	
<i>Barbus plebejus</i>					X
<i>Cottus gobio</i>	X	X	X	X	X
<i>Padogobius bonelli</i>					X
<i>Perca fluviatilis</i>				X	
<i>Phoxinus lumaireul</i>			X		X
<i>Salmo marmoratus</i>	X				
<i>Salmo trutta</i>	X	X		X	
<i>S. marmoratus</i> X <i>S. trutta</i>	X		X		X
<i>Telestes muticellus</i>			X	X	X

Tab. 5.4: specie ittiche rinvenute nei cinque siti campionati



Fig. 5.5: torrente Leale, LEA01



Fig. 5.6: torrente Leale, LEA02

I risultati sintetici indicano per il torrente Leale (fig. 5.5 e 5.6) la presenza di una

comunità ittica mista (salmonidi, ciprinidi e cottidi), al di sotto delle attese per quanto riguarda la densità ittica, per la presenza di popolazioni non strutturate di salmonidi (trota marmorata) e per l'assenza del temolo.



Fig. 5.7: Fiume Tagliamento, TAG01

Analoghe considerazioni valgono per il fiume Tagliamento, campionato a valle della confluenza con il Leale (fig. 5.7), popolato da sporadici ibridi di marmorata, da ciprinidi reofili e dallo scazzone.

Discorso particolare merita il rio Schiasazze: presso l'abitato di Somplago (fig. 5.8), in un tratto di bandita di pesca, è risultato popolato da una comunità ittica relativamente abbondante costituita da trote marmorate (fig. 5.9), ibridi (anche di grossa taglia), trote fario e scazzoni; la popolazione di salmonidi non è strutturata; sono presenti riproduttori e numerosi giovani dell'anno; in questo tratto sono ancora visibili alcune freghe; è riferita da personale locale la risalita di riproduttori di trote dal sottostante lago di Cavazzo, nonostante la presenza di piccole briglie a valle.



Fig. 5.8: Rio Schiasazze, **SCH01**



Fig. 5.9: Rio Schiasazze, *Salmo marmoratus*

Nel tratto presso l'immissione nel lago (fig. 5.10) la fauna ittica è simile al tratto a

monte, ma le densità sono molto ridotte; anche qui è stata rilevata la presenza di giovani dell'anno di trota.



Fig. 5.10: Rio Schiasazze, SCH02

5.4 Modificazione della comunità ittica del lago a seguito dell'entrata in funzione della centrale

In base a quanto osservato ed all'esame dei dati reperiti in bibliografia, dal punto di vista ittiologico si possono fare le seguenti considerazioni.

Attualmente il lago di Cavazzo appare biologicamente scollegato dal reticolo idrografico del Tagliamento/Leale, pur veicolando, attraverso di esso, gran parte della portata del Tagliamento derivata più a monte nel collettore principale attraverso il Leale.

L'ittiofauna presente nel lago può percorrere l'emissario verso valle, ma la risalita dal Leale all'emissario e da qui al lago è preclusa dalla presenza di una traversa invalicabile presso l'immissione nel Leale (fig. 5.11), oltre che dalla canalizzazione dell'emissario e dal suo percorso in gran parte in galleria.

Qualora fosse dimostrabile che l'ittiofauna è in grado di risalire in un tratto in galleria (evento questo che non trova conforto in bibliografia) la riconnessione con il sistema

Tagliamento-Leale potrebbe essere ripristinata con la messa in opera di un passaggio per pesci nel tratto terminale dell'emissario.



Fig. 5.11: emissario del lago, traversa invalicabile presso l'immissione nel Leale

Alcuni pesci possono forse raggiungere il lago di Cavazzo attraverso la canalizzazione che lo congiunge al soprastante lago di Ambiesta, anche se il percorso attraverso tubazioni e turbine risulta complesso e non privo di rischi per i pesci.

La comunità ittica del lago è sicuramente alterata rispetto alla comunità originaria, a seguito della messa in funzione della centrale di Somplago.

Da una comunità tipica di lago subalpino mesotrofico (ciprinidi reofili e limnofili/fitofili, salmonidi, esocidi) è virata verso una comunità a dominanza di specie di acqua fredda (salmonidi, in particolare), con alcune specie d'immissione (trote fario, trote iridee, coregoni, come testimoniato nei numerosi campionamenti condotti dopo la messa in funzione della centrale).

La produttività del lago è inoltre molto bassa, come evidenziato dai dati dei campionamenti e dalle proiezioni in funzione dei parametri chimici riscontrati.

La presenza di un immissario perenne (il rio Schiasazze), con accettabili

caratteristiche idromorfologiche, permette la riproduzione delle specie frigofile (trote, scazzoni) presenti nel lago.

L'esame dei dati relativi ai campionamenti effettuati a partire dal 1890 non sembra evidenziare un impatto particolare sulle specie presenti nel lago, dal punto di vista qualitativo.

Dopo una fase susseguente alla messa in opera della centrale, in cui si assiste ad una lieve riduzione del numero di specie presenti, si verifica un incremento del numero di specie censite a partire dal 1990, con una caduta nel numero di taxa campionati nell'ultimo campionamento del 2011.

Un esame più approfondito delle caratteristiche delle specie rinvenute nel corso degli anni di osservazione permettere di rilevare come a partire dalla messa in funzione della centrale:

- aumenta il numero di specie alloctone introdotte per la pesca, in particolare salmoniformi;
- scompaiono tre specie autoctone (agone, gobione, lampreda), una delle quali (il gobione) di acque moderatamente calde;
- compaiono sei specie frigofile o moderatamente frigofile, quattro delle quali (trota marmorata, scazzone, sanguinerola e vairone) autoctone;
- le specie autoctone tipicamente lacustri (alborella, cavedano, scardola, tinca e triotto e spinarello) rinvenute prima della costruzione della centrale vengono censite anche dopo la costruzione della stessa, nonostante alcune di esse (scardola, tinca e triotto) siano tipiche di ambienti lacustri e fluviali con valori termici più elevati.

In sintesi, la messa in funzione della centrale da una parte ha portato alla scomparsa di alcune specie autoctone, una delle quali, l'agone, tipica degli ambienti lacustri subalpini del nord Italia, e questo è sicuramente un aspetto negativo; dall'altra ha portato alla comparsa di specie con caratteristiche diverse, alcune delle quali sicuramente immesse (salmoniformi, pesce persico), altre probabilmente giunte al lago dagli immissari, dove forse un tempo erano segregate per caratteristiche termiche non adatte all'interno del bacino.

Da un punto di vista conservazionistico, un banale raffronto del numero di specie autoctone ed endemiche segnalate prima e dopo la costruzione della centrale indica la presenza di 10 specie autoctone, sei delle quali endemiche prima della

costruzione della centrale e di 12 specie autoctone, sette delle quali endemiche dopo la messa in funzione della centrale. Il bilancio è quindi lievemente favorevole alla messa in opera della centrale.

L'ingresso di acque fredde ha comportato la possibilità per specie di acque fredde di colonizzare il lago, utilizzando per la riproduzione gli immissari (rio Schiasazze, in particolare) e nel contempo il mantenimento nella zona apicale del lago, meno interessata dall'ingresso di acqua fredda dalla centrale, di zone con regimi termici più favorevoli ha consentito il mantenimento di popolazioni sicuramente non abbondanti quanto prima della costruzione della centrale di specie di acqua più calda, che in questa zona molto probabilmente riescono a riprodursi.

Un aspetto sicuramente negativo legato alla messa in funzione della centrale è la diminuzione dell'apporto di fosforo al lago con conseguenze sulla produttività del lago che risulta dal modello teorico assimilabile a quella di un lago alpino di alta quota.

Le stime di produzione annuale in funzione della concentrazione di fosforo rilevata nel corso delle indagini chimiche (1,6 µg/l) indicano, per l'ittiofauna, una capacità portante annua pari a circa 41 kg/ha, molto bassa e tipica di laghi fortemente oligotrofici. La capacità portante annua per il lago si attesta su valori totali di circa 48 quintali/annui.

La stima di biomassa ittica effettuata da Aquaprogram (1992, 2011) attraverso campionamenti quantitativi effettuati con reti ed elettropesca, conduce ad un valore complessivo di biomassa ittica presente nel lago compresa tra 29 (±23) quintali e quasi 39 (±30) quintali di fauna ittica.

Il valore teorico naturale per il fosforo per i laghi naturali mesotrofici è compreso, in base a Indici morfoedafici, tra 13 µg/l (minimo) e 28 µg/l (massimo), corrispondenti ad una capacità portante ittica teorica annua pari rispettivamente a poco più di 124 kg/ha e 188 kg/ha (da 3 a 4/5 volte la produzione attuale).

Un incremento del valore del fosforo dalle concentrazioni attuali a quelli di riferimento per laghi con livelli di trofia medi potrebbe portare ad una capacità portante totale compresa tra 144 e 219 quintali/annui.

La produttività attuale è inconciliabile con un'attività di sfruttamento dell'ittiofauna (pesca professionale) ed è anche un parziale ostacolo per lo sviluppo della pesca dilettantistica, anche in considerazione del fatto che l'attuale normativa comunitaria

e nazionale impedisce o limita fortemente l'immissione di specie alloctone (salmonidi, in particolare) idonee viste le attuali caratteristiche del lago; in pratica l'unica specie salmonicola utilizzabile in questo caso sarebbe la trota marmorata, specie autoctona ed endemica.

5.5 Indicazioni relative ad interventi mirati per incrementare le comunità ittiche

Dal punto di vista ittiologico si suggeriscono alcuni interventi che potrebbero incrementare le comunità ittiche del lago:

5.5.1 Recupero della connettività con il Leale (e con il Tagliamento)

Questo intervento è auspicabile per permettere l'eventuale risalita di pesci fino al lago, come avveniva prima della messa in opera della centrale, seppur, in limitati periodi dell'anno.

Ciò andrebbe attuato principalmente attraverso il ripristino del vecchio emissario (rio Schiasazze) nel torrente Palar, immissario del Leale, garantendo ad esso una portata continua, svincolata dalle oscillazioni del lago, anche relativamente modesta (1 m³); va comunque verificato se gli attuali livelli minimi del lago (quota minima dell'attuale emissario - 192,3) sono compatibili con l'incile del vecchio emissario;

5.5.2 Messa in opera di un passaggio per pesci sull'emissario del lago

Andrebbe valutata l'opportunità di prevedere un passaggio per pesci sulla traversa presente sull'attuale emissario del lago, in corrispondenza del suo ingresso nel Leale, soprattutto nell'impossibilità di riattivare la connessione con il Leale attraverso il vecchio emissario naturale.

Prima della messa in opera di tale passaggio sarebbe necessario verificare l'effettiva possibilità di raggiungere il lago da aperte dell'ittiofauna, mediante interventi di cattura, marcatura e ricattura con l'uso di pit tags.

5.5.3 Verifica dell'attuale efficacia ed efficienza del passaggio per pesci

Sulla seconda traversa di derivazione presente sul Leale, prima

dell'immissione nel Tagliamento, il non rinvenimento di adulti di salmonidi (in particolare trote marmorate) e ciprinidi (barbi, in particolare) nel tratto campionato potrebbe indicare un non corretto funzionamento del passaggio per pesci.

In funzione di una possibile riconnessione del lago al sistema Leale-Tagliamento andrebbe verificata l'efficienza del passaggio per pesci attraverso interventi di cattura, marcatura e ricattura con l'uso di pit tags.

5.6 Considerazioni finali di ordine generale

Il lago di Cavazzo, allo stato attuale così come in passato, pur nelle sue peculiarità, non può essere visto come un'entità a se stante, completamente svincolata dal sistema idrico del Tagliamento di cui fa parte.

Ogni proposta di modifica della situazione attuale, con attuazione di opere che prevedano mitigazione o rimozione totale del contributo di acque fredde ed oligotrofiche derivanti dall'alto Tagliamento e progetti che prevedano lo sfruttamento delle acque a valle dello stesso deve tenere conto che il sistema non è avulso dal suo recettore, che rappresenta un ambiente fondamentale dal punto di vista dell'idrofauna, con specie importanti dal punto di vista conservazionistico.

In relazione a quest'ultimo punto, qualunque proposta relativa alla gestione del lago e del suo effluente va valutata attentamente, ciò anche e soprattutto in riferimento alla realizzazione del nuovo canale irriguo del Consorzio di Bonifica Friulana; un intervento di questo genere non può prescindere dalla valutazione dell'eventuale riordino delle utenze, idroelettriche ed irrigue, del medio Tagliamento.

Dal punto di vista della gestione della comunità ittica, come più sopra descritto, questa, qualunque sia la scelta per quanto riguarda lo scarico della centrale e qualunque sia la conseguente evoluzione del lago, deve attenersi all'attuale impianto normativo che prevede la gestione delle comunità ittiche in funzione del solo utilizzo di specie autoctone, promuovendo nel contempo la remissione di quelle alloctone di particolare invasività.

5.7 Bibliografia consultata

[1] Aquaprogram s.r.l., 1992. *Caratterizzazione ittiofaunistica del lago di Cavazzo*

(UD). Enel

- [2] Ceschia G., Giorgetti G., Sabbadini A., Chiussi E., 1984. *Studio-ricerca sul lago di Gavazzo e su alcuni corsi d'acqua del suo bacino idrografico*. Comunità Montana del Gemonese, 44 pp.
- [3] EDIPOWER, 2016. *Bacino di Ambiesta. Rimozione selettiva del sedimento. Monitoraggio degli effetti delle operazioni*. 162 pp.
- [4] Marinelli, 1894. *Studi sul lago di Cavazzo in Friuli*. Estratto Bol. Soc. Geol. Ital., 1-46.
- [5] Paradisi S., 1992. *La pesca nel lago*. Il lago di Cavazzo e la sua valle. Comune di Bordano, 138-149.
- [6] Politecnico di Torino, Università di Trieste, Aquaprogram s.r.l., 2011. *Progetto Impianto Idroelettrico di Somplago (UD) Risultati indagine conoscitiva preliminare*. Edipower, 21-40
- [7] Specchi M, Miccoli E. *Indagini su alcuni laghi del Friuli Venezia Giulia. Osservazioni preliminari sul lago di Cavazzo*. E.T.P., Udine.
- [8] Senna A., 1890. *Escursione zoologica due laghi friulani*. Boll. Soc. Entomol. Ital., 22, 93-107.
- [9] Tellini A., 1895. *I pesci e la pesca d'acqua dolce in Friuli*. Ann. R. Ist. Tecn. Udine, 2,12.

6. CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE DEL LAGO

6.1 Variazione del regime termico nel lago indotto dall'impianto di Somplago

Questa analisi utilizza i dati disponibili circa la dinamica termica attuale del lago di Cavazzo e quella precedente al nuovo regime idrologico artificiale del lago. In particolare sono stati considerati i dati di temperatura storici: dal 1893 al 1897, riportati da Pironio (1989), recenti 1971-72 (Pironio 1989) e quelli attuali (monitoraggi ARPA Friuli: anni 2012-13-17-21).

6.1.1 Dati storici

In tabella 6.1 sono riportati i dati storici dell'evoluzione termica del lago di Cavazzo.

Prof. (m)	23/02/1897	17/04/1895	25/07/1894	06/08/1893	03/09/1895	17/10/1894
0	4,0	8,0	22,2	21,0	21,8	12,6
6	3,6	7,2	21,0	20,3	20,9	12,5
10	3,7	7,1	15,7	17,2	20,5	12,4
20	3,7	6,9	8,0	8,4	7,6	10,0
Fondo	3,9	6,0	7,2	7,4	6,9	7,4
Prof. (m)			30/07/1896	25/08/1894	23/09/1897	23/10/1895
0			22,6	20,7	17,2	12,2
6			21,8	19,0	16,8	12,2
10			17,1	18,0	16,4	12,2
20			8,1	8,4	9,1	11,7
Fondo			7,0	7,4	8,0	7,0
Prof. (m)			25/07/1897			
0			22,7			
6			18,0			
10			11,0			0,0
20						
Fondo						

Tab. 6.1

I valori sono disponibili per i mesi di febbraio, aprile, luglio agosto, settembre e ottobre.

Al fine di disporre di dati relativi ad un anno solare sono stati utilizzati i valori mensili dell'anno di misurazione (in caso di un solo dato) e la media dei valori misurati in

quel mese in caso di più anni di rilevamento.

Nella tabella 6.2 viene riportata la dinamica termica annuale calcolata come sopra indicato.

Prof. (m)	Feb	Apr	Lug	Ago	Set	Ott
0	4,0	8,0	22,5	20,9	19,5	12,4
6	3,6	7,2	20,3	19,7	18,9	12,4
10	3,7	7,1	16,9	17,6	18,5	12,3
20	3,7	6,9	9,0	8,4	8,4	10,9
Fondo	3,9	6,0	7,1	7,4	7,5	7,2
Media	3,78	7,04	15,17	14,78	14,52	11,02
Dev. St.	0,16	0,72	6,81	6,40	6,06	2,23

Tab. 6.2

Il grafico di fig. 6.1 descrive la dinamica termica così ottenuta.

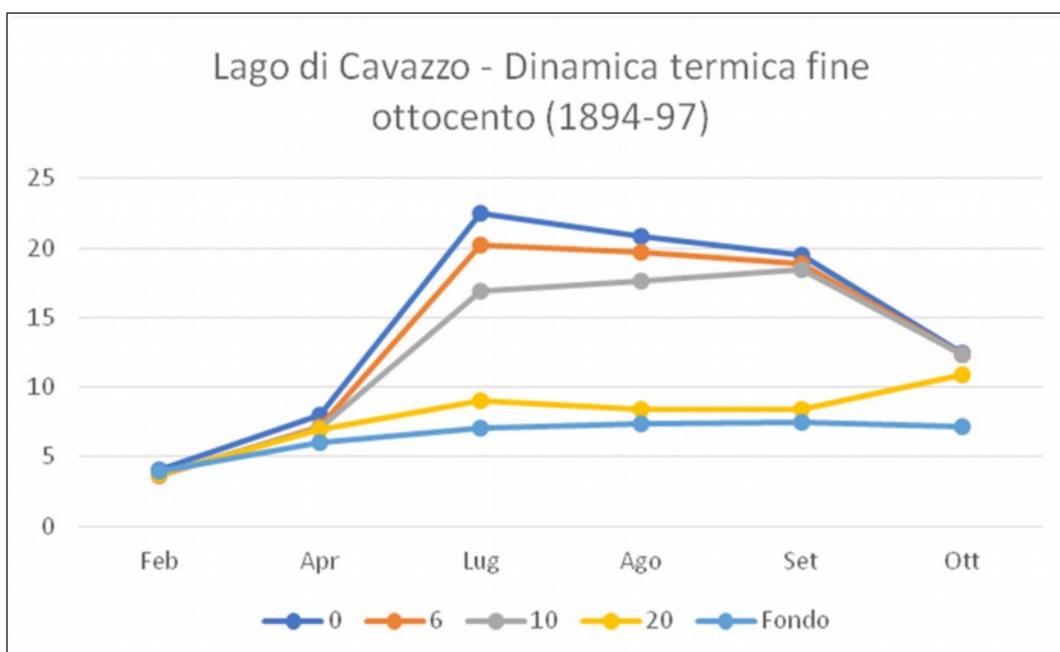


Fig. 6.1

Nel mese di febbraio il lago di trova nella condizione di pieno rimescolamento (gradiente superficie-fondo pari a $0,1^{\circ}\text{C}$) e con temperatura media sulla colonna d'acqua pari a $3,78^{\circ}\text{C}$, si rileva tra i 6 m ed il fondo una stratificazione termica inversa a testimonianza di un processo di raffreddamento della massa lacustre ancora in corso.

Nel mese di aprile la condizione di stratificazione termica risulta già istaurata, il

gradiente superficie-fondo (2°C) appare ancora modesto ed il termoclino difficile da individuare. Il riscaldamento della massa lacustre interessa anche lo strato di fondo. Nel mese di luglio si raggiunge la massima condizione di stratificazione termica (gradiente superficie-fondo pari a $15,4^{\circ}\text{C}$), il termoclino si colloca tra i 6 ed i 10 m. Nello strato epilimnico (al di sopra dei 6 m) la temperatura supera i 20°C raggiungendo il $22,2^{\circ}\text{C}$ presso la superficie.

Nei rilevamenti di agosto e settembre è possibile evidenziare il progressivo approfondimento del termoclino con estensione della zona omogenea epilimnica; il gradiente termico risulta pari a $13,6^{\circ}\text{C}$ ad agosto e a $14,9^{\circ}\text{C}$ a settembre.

A ottobre il termoclino scende attorno ai 20 m con gradiente termico superficie-fondo pari a $5,4^{\circ}\text{C}$ per effetto del consistente raffreddamento delle acque superficiali.

Sulla base dei dati disponibili, la dinamica termica del lago di Cavazzo, prima delle modifiche apportate dallo scarico delle acque della centrale di Somplago, appare quella tipica di un lago monomittico di aree temperate con periodo di destratificazione termica compresa tra i mesi di novembre e marzo. Netta appare la separazione termica tra zona epilimnica e zona ipolimnica.

Condizione recente

La condizione termica recente è ben rappresentata dai dati raccolti nel corso del biennio 1971-72 (tab. 6.3). Anche in questo caso i dati sono stati elaborati al fine di avere un andamento tipo di un anno solare (tab. 6.4 e grafico di fig. 6.2).

Le temperature di fine gennaio appaiono sostanzialmente uguali a quelle misurate a febbraio a fine ottocento.

A fine marzo il bacino appare ancora sostanzialmente destratificato (gradiente superficie-fondo = $0,3^{\circ}\text{C}$) con aumento della temperatura della massa d'acqua di circa 3°C rispetto a fine gennaio.

Ad aprile la stratificazione termica appare ancora modesta (gradiente superficie-fondo pari a $1,2^{\circ}\text{C}$), con una situazione ancora simile a quella di fine 800.

A giugno il gradiente superficie fondo appare ancora modesto ($1,6^{\circ}\text{C}$).

Prof (m)	29/01/1972	30/03/1972	14/04/1972	21/05/1972	03/06/1972	30/07/1972	08/08/1971	30/09/1971	27/10/1971	27/11/1971	27/12/1971
0	3,8	7,2	8,2	10,2	9,9	13,5	16,6	12,7	10,8	6,5	4,8
6	4	6,9	7,4	8,9	9,1	11,7	13,8	12,4	10,4	6,2	5
10	4	6,9	7,4	8,8	8,9	11,1	13,3	11,9	10,4	6,2	5,4
20	4	6,8	7,3	8,6	8,6	10,6	11,4	11,6		6,1	5,2
f	4	6,8	7,2		8,3	10	10,6	11,5	10,3	6	5,3
Prof (m)			29/04/1972	05/05/1972		10/07/1972	18/08/1971	07/09/1971			
0			8,8	9,6		15	18,2	14			
6			7,6	8,4		12,6	13,6	12,9			
10			7,5	8,2		11,2	12,9	12,4			
20			7,5	8,1		10,6	11,4	12,1			
f			7,4	8		10	10,7	11,5			
Prof (m)						05/07/1971	18/08/1972				
0						15	16,5				
6						11	13,8				
10						10,6	12,9				
20						10,5	11,4				
f							18/08/1972				
Prof (m)							16,7				
0							14				
6							13				
10							11,4				
20											
f											

Tab. 6.3

Prof (m)	Gen	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0	3,8	7,2	8,5	9,9	9,9	14,5	17,0	13,4	10,8	6,5	4,8
6	4	6,9	8,7	8,7	9,1	11,8	13,8	12,7	10,4	6,2	5
10	4	6,9	8,5	8,5	8,9	11,0	13,0	12,2	10,4	6,2	5,4
20	4	6,8	7,4	8,4	8,6	10,6	12,2	11,85		6,1	5,2
f	4	6,8	7,3	8,0	8,3	10,2	11,0	11,5	10,3	6	5,3
Media	4,0	6,9	8,1	8,7	9,0	11,6	13,4	12,3	10,5	6,2	5,1
Dev st	0,1	0,2	0,7	0,7	0,6	1,7	2,3	0,7	0,2	0,2	0,2

Tab. 6.4

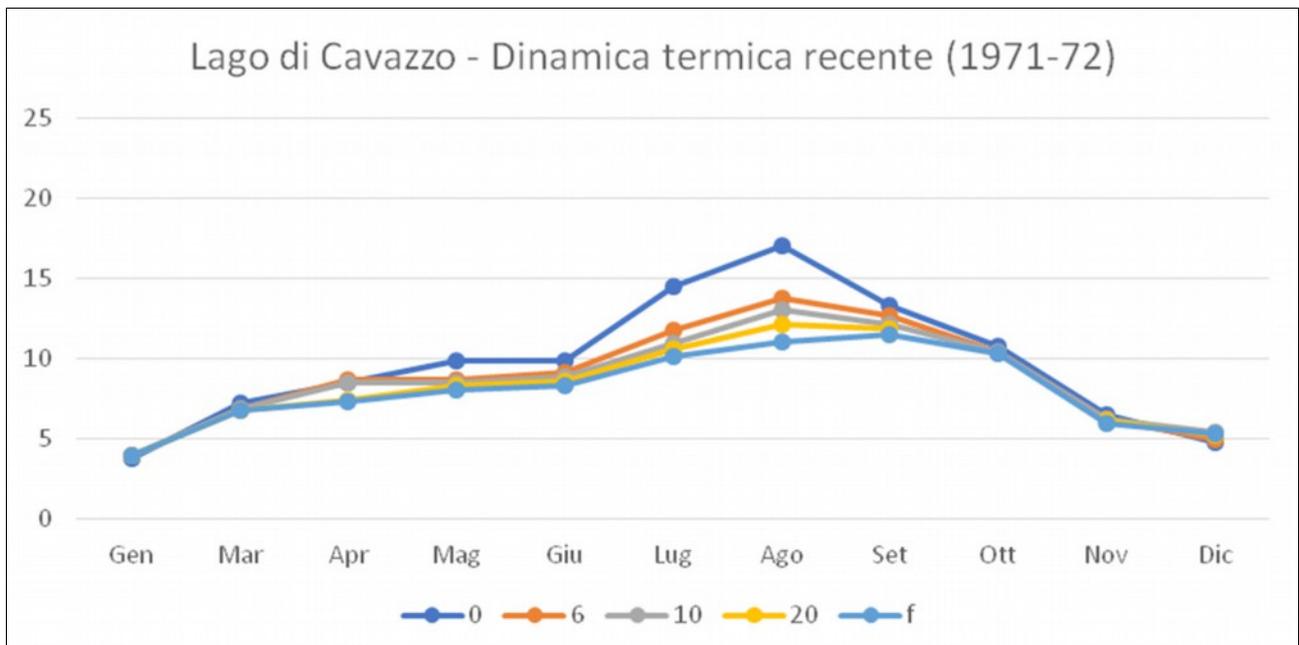


Fig. 6.2

A fine luglio (gradiente termico superficie-fondo pari a $4,3^{\circ}\text{C}$), le temperature superficiali appaiono nettamente inferiori rispetto alla condizione storica ($14,5$ contro i $22,5^{\circ}\text{C}$); nello strato sottostante della colonna d'acqua la stratificazione termica appare molto contenuta con variazioni di $1,6^{\circ}\text{C}$ tra i 6 metri ed il fondo.

Nel mese di agosto (gradiente termico superficie-fondo pari a 6°C), viene registrato il valore massimo di temperatura superficiale (17°C) mentre la differenziazione termica nello strato sottostante appare ancora molto contenuta con variazioni di $2,3^{\circ}\text{C}$ tra i 6 metri ed il fondo.

Nel mese di settembre la temperatura superficiale ($13,4^{\circ}\text{C}$) appare ancora nettamente inferiore rispetto al dato storico ($19,5^{\circ}\text{C}$) mentre nello strato sottostante il differenziale termico appare ulteriormente ridotto con variazioni di $1,2^{\circ}\text{C}$ tra i 6 metri ed il fondo.

A partire da ottobre viene registrata la condizione di destratificazione termica (temperatura media sulla colonna d'acqua di $10,5^{\circ}\text{C}$ cui segue il progressivo raffreddamento della massa lacustre (T media a novembre $6,2^{\circ}\text{C}$ e $5,1$ a dicembre). Nella nuova situazione è quindi possibile verificare una contrazione dello strato epilimnico, un suo netto abbassamento di temperatura nel corso della stagione estiva ed una sostanziale omogeneità dello strato sottostante con innalzamento delle temperature ipolimniche e accorciamento della fase di stratificazione termica.

6.1.2 Situazione attuale

La condizione termica attuale è stata valutata in base ai dati di monitoraggio raccolti da ARPA Friuli nel periodo 2012-2021.

In questo caso i dati disponibili (tab. 6.5) riguardano solo la superficie, il fondo ed un punto intermedio sulla colonna d'acqua a profondità non indicata.

Come nei casi precedenti i dati disponibili sono stati ricondotti ad un anno solare (tab. 6.6) esemplificato nel grafico di fig. 6.3.

Prof	20/02/2013	15/03/2017	17/04/2012	29/05/2012	31/07/2017	22/08/2012	18/09/2012	03/10/2013	27/11/2013	21/12/2021
Sup	4,1	6,9	9,4	13,5	20,1	15,7	13,8	12,7	7,2	7
Int	4,2	6,1	7,7	8,9	18,7	8,5	10,3		7,2	7,6
F	4,5	5,6	7	7,2	16,5	7,7	8	7,8	6,6	8,1
					21/07/2021				18/11/2021	
	17/02/2021		29/04/2013	27/05/2013	16,6		13/09/2017		8,9	
Sup	5		10,3	8,9	9,4		12,5		8,7	
Int	4,8		6,6	7,1	7,2		10,6		8,7	
F	5,2		5,8	5,9			7,7		23/11/2017	
			12/04/2017	25/05/2017					7,6	
Sup			15,2	13,8					7,5	
Int			12,1	8					7,3	
F			11,6	6,8						
			28/04/2021	31/05/2021						
Sup			9,3	11,6						
Int			7,4	8,8						
Fondo			6,8	6,8						

Tab. 6.5

Prof.	feb	mar	apr	mag	lug	ago	set	ott	nov	dic
Sup	4,6	6,9	11,1	12,0	18,4	15,7	13,2	12,7	7,9	7,0
Int	4,5	6,1	8,5	8,2	14,1	8,5	10,5		7,8	7,6
Fon	4,9	5,6	7,8	6,7	11,9	7,7	7,9	7,8	7,5	8,1
Media	4,6	6,2	9,1	8,9	14,8	10,6	10,5	10,3	7,7	7,6
Dev st	0,2	0,7	1,7	2,7	3,3	4,4	2,7	3,5	0,2	0,6

Tab. 6.6

Le temperature rilevate a febbraio, in condizioni di destratificazione termica risultano superiori di circa un grado rispetto alle corrispettive della fine dell'ottocento.

La condizione di stratificazione termica viene raggiunta in aprile con gradiente termico superficie fondo pari a 2°C uguale a quello registrato a fine ottocento.

A luglio la condizione di stratificazione termica appare evidente con discreto gradiente superficie-fondo (6,5°C), sebbene nettamente inferiore rispetto al dato storico (17°C); si evidenzia, in particolare, l'anomala situazione di fine luglio 2017 in cui si registra un insolito e consistente aumento di temperatura che coinvolge tutti gli strati (aumento nello strato superficiale da maggio di 6,6°C e di 9,3°C in quello di fondo).

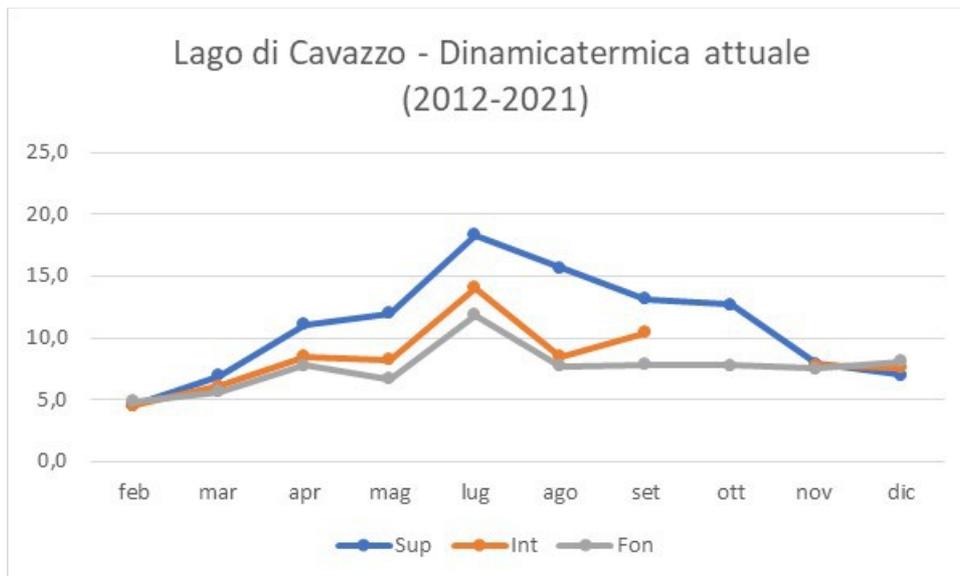


Fig. 6.3

Ad agosto si rileva condizione simile a quella degli anni '70 con uno strato epilimnico limitato ed una sostanziale omogeneità nello strato sottostante (differenza termica tra strato intermedio e di fondo pari a 0,8°C.

A settembre la condizione termica si modifica con netta separazione tra superficie 13,2°C, zona intermedia 10,5°C e fondo 7,8°C.

A ottobre la situazione termica sembra tornare a rispecchiare il quadro di fine ottocento mentre in novembre e dicembre la condizione di isotermità si affianca ad un modesto calo di temperatura rispetto agli anni '70 (temperatura media nella massa d'acqua pari a 7,7°C a novembre e a 7,6°C a dicembre).

L'attuale situazione conferma l'abbassamento delle temperature epilimniche sebbene apparentemente in parte compensate dalla nota evoluzione climatica.

Si evidenzia anche la presenza di temporanee ma consistenti perturbazioni termiche nello strato ipolimnico ed intermedio.

6.2 Caratteristiche chimico-fisiche

6.2.1 Determinazione del nutriente limitante

Questa analisi è basata sui dati bibliografici di monitoraggio chimico eseguiti al fine della determinazione del nutriente limitante il livello trofico del lago, del livello trofico naturale teorico e del livello trofico attuale.

Con riferimento all'individuazione del nutriente limitante l'analisi si è concentrata sui

dati disponibili relativi ai parametri azoto e fosforo: se infatti nella stragrande maggioranza degli ambienti lacustri è il fosforo a rappresentare il nutriente limitante la produzione primaria, vi sono casi in cui è l'azoto a svolgere questo ruolo. Più in particolare viene riconosciuta una condizione con limitazione da azoto quando il rapporto tra azoto inorganico ($N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3$) e fosforo ortofosfato ($P-PO_4$) sia inferiore a 5, una condizione con limitazione da fosforo quando il rapporto tra azoto inorganico ($N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3$) e fosforo ortofosfato ($P-PO_4$) sia superiore a 10 ed una soluzione bilanciata quando il rapporto tra azoto inorganico ($N-NH_4 + N-NO_2 + N-NO_3$) e fosforo ortofosfato ($P-PO_4$) sia compreso tra 5 e 10. Nel caso del lago di Cavazzo sono stati utilizzati i dati relativi al monitoraggio ARPA Friuli (periodo 2012-2021).

Nel caso specifico per il calcolo N/P sono state utilizzate solo le misurazioni riportate in valore assoluto.

Sotto tale aspetto è stato possibile utilizzare solo le misure di nitrati e di fosforo totale e solo per i risultati delle analisi in cui entrambi i parametri sono stati espressi in valore assoluto.

I valori di nitrati sono stati convertiti in valore di azoto nitrico dividendo i pesi dei primi per il fattore 4,42857.

Poiché i nitrati rappresentano solo una frazione, anche se prevalente dell'azoto inorganico ed il fosforo ortofosfato una frazione del fosforo totale il rapporto $N-NO_3/P_{tot}$ è da considerarsi una sottostima del rapporto azoto inorganico fosforo ortofosfato.

Nella tab. 6.7 sono riportati i risultati dell'elaborazione condotta.

In totale sono stati calcolati 44 rapporti N/P. In tutte le occasioni il valore del rapporto è risultato superiore a 10 in un intervallo compreso tra 88,44 e 1120 (media 193,29, sd 279,54).

In base ai dati disponibili il fosforo appare come il nutriente limitante del livello trofico del lago di Cavazzo.

	NO3	N-NO3	Ptot	Strato	N-NO3/Ptot
Data	ug/l	ug/l	ug/l		
17/04/2012	1993	450,0323	2,52	f	179
17/04/2012	2878	649,871	2,58	s	252
12/05/2012	2391	539,9032	1,7	f	318
12/05/2012	2701	609,9032	2,16	s	282
22/08/2012	2081	469,9032	2,73	f	172
22/08/2012	2081	469,9032	3,27	s	144
18/09/2012	2303	520,0323	5,7	f	91
18/09/2012	2347	529,9677	5,7	i	93
18/09/2012	2613	590,0323	2,48	s	238
21/11/2012	2214	499,9355	3,77	i	133
21/11/2012	2258	509,871	3,83	s	133
20/02/2013	2303	520,0323	1	f	520
20/02/2013	2125	479,8387	1,14	i	421
20/02/2013	2391	539,9032	1,67	s	323
10/03/2013	2347	529,9677	2,54	f	209
10/03/2013	2214	499,9355	5,08	i	98
10/03/2013	2214	499,9355	1,98	s	252
29/04/2013	2613	590,0323	2,23	f	265
29/04/2013	2657	599,9677	2	i	300
29/04/2013	2834	639,9355	3,14	s	204
27/05/2013	2303	520,0323	3,06	f	170
27/05/2013	2347	529,9677	3,3	i	161
27/05/2013	2480	560	2,88	s	194
27/11/2013	2480	560	2,51		223
27/11/2013	2435	549,8387	1,57		350
28/11/2013	2435	549,8387	4,3		128
15/03/2017	2040	460,6452	1	f	461
15/03/2017	2170	490	1	i	490
15/03/2017	2480	560	0,5	s	1120
25/05/2017	1990	449,3548	3	i	150
25/05/2017	2210	499,0323	1	s	499
31/07/2017	2170	490	4	f	123
31/07/2017	2350	530,6452	6	i	88
31/07/2017	2300	519,3548	1	s	519
13/09/2017	2390	539,6774	5	f	108
13/09/2017	2350	530,6452	6	i	88
13/09/2017	2440	550,9677	6	s	92
23/11/2017	2350	530,6452	0,5		1061
23/11/2017	2390	539,6774	0,5		1079
23/11/2017	2350	530,6452	0,5		1061
04/12/2017	2260	510,3226	2	f	255
04/12/2017	2260	510,3226	4	i	128
04/12/2017	2170	490	1	s	490

Tab. 6.7

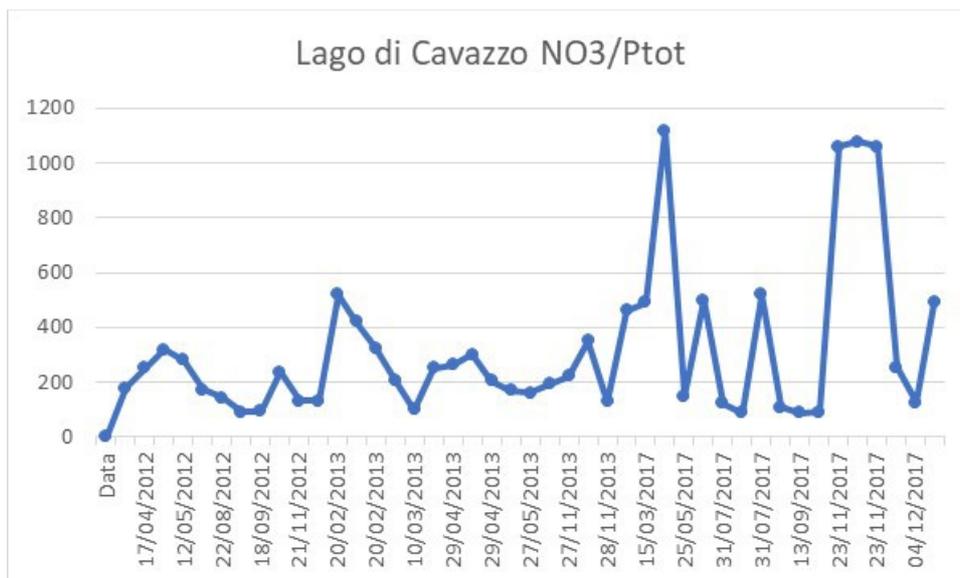


Fig. 6.4

6.2.2 Livello trofico attuale

Stabilito che il fosforo rappresenta il nutriente limitante il livello trofico del lago di Cavazzo, la concentrazione del fosforo totale al termine del periodo circolazione invernale può essere utilizzato per la valutazione del livello trofico del lago.

La concentrazione media del P_{tot} rilevata al mese di febbraio, calcolata come media aritmetica delle concentrazioni di fosforo totale al termine del periodo di circolazione del 2021 risulta pari a **1,66 µg/l**.

Di seguito la tabella di valutazione dello stato trofico di un lago in base alla concentrazione di fosforo totale al termine della circolazione invernale.

STATO TROFICO	P _{tot} . ug/l	STATO TROFICO	STATO TROFICO
Ultra-oligotrofo	≤ 4.0	Ultra-oligotrofo	Ultra-oligotrofo
Oligotrofo	≤ 10.0	Oligotrofo	Oligotrofo
Mesotrofo	10-35	Mesotrofo	Mesotrofo
Eutrofo	35-100	Eutrofo	Eutrofo
Iper-eutrofo o Iperetrofo	≥ 100	Iper-eutrofo o Iperetrofo	Iper-eutrofo o Iperetrofo

In base a quanto sopra il livello trofico attuale del lago di Cavazzo è quello di ultra-oligotrofia.

6.2.3 Determinazione del livello trofico naturale teorico

Il calcolo del livello trofico naturale teorico sempre basato sulla concentrazione di P_{tot} è stato calcolato mediante gli indici morfo-edafici. Sotto tale aspetto l'intervallo di concentrazione naturale teorica di P_{tot} viene prevista in base a conducibilità elettrica o alcalinità al termine del periodo di destratificazione termica e profondità media attraverso le seguenti formule:

$$\log P = 0,87 + (0.27 \pm 0.11)\log \text{MEI}_{\text{cond}}$$

$$\log P = 1,48 + (0,33 \pm 0,09) \log \text{MEI}_{\text{alc}}$$

$$\text{MEI}_{\text{cond}} = \text{cond} (\mu\text{S}/\text{cm}) \text{ a } 20^\circ\text{C}/\text{profondità media (m)}.$$

$$\text{MEI}_{\text{alc}} = \text{alc (meq)}/\text{profondità media (m)}.$$

I dati utilizzati di conducibilità elettrica e di alcalinità per il lago di Cavazzo sono

quelli ARPA del periodo di destratificazione 2021 (mesi di febbraio e novembre).

- Conducibilità elettrica media = 602,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Alcalinità media = 143,33 mg/l

Il valore di profondità media considerato 19,13 m è quello riportato nel documento *“lago di Cavazzo - Relazione rilievo morfobatimetrico 2019”* prodotto da Graia per A2A.

I valori di conducibilità elettrica restituiscono una concentrazione naturale teorica di fosforo compresa tra **13 e 28 $\mu\text{g}/\text{l}$** .

I valori di alcalinità restituiscono una concentrazione naturale teorica di fosforo compresa tra **14 e 21 $\mu\text{g}/\text{l}$** .

Entrambi i metodi individuano quindi il livello naturale teorico del lago di Cavazzo in quello di mesotrofia.

6.3 Uscita di campo

L'attività è stata svolta al termine del periodo di destratificazione termica.

La stazione di campionamento è stata individuata all'interno dell'area di massima profondità del lago di Cavazzo.

I campionamenti a lago sono stati preceduti dalla misura della pressione barometrica, mediante barometro WTW e della trasparenza, mediante Disco di Secchi.

I prelievi lungo la colonna d'acqua sono stati eseguiti mediante bottiglia Van Dorn alle profondità di metri 0, 5, 10, 20, 30 e fondo (34 m).

Sui campioni raccolti sono stati misurati immediatamente i seguenti parametri.

- **Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)**
- **Ossigeno disciolto (mg/l) e % saturazione ossigeno (mediante ossimetro Ysi 550 A).**
- **pH (mediante phmetro Hanna 9025 previa calibrazione nell'intervallo di pH 7.01-10.01).**
- **conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) a 25°C (mediante conduttivimetro XS 110).**
- **In assenza di ossigeno misura di potenziale red/ox e acido solfidrico.**
- Campioni di acqua, conservati in bottiglie di polietilene, sono stati utilizzati

nella stessa giornata per la misura spettrofotometrica della concentrazione di fosforo totale (mediante spettrofotometro Hach 2010 previa digestione con persolfato di potassio a 105°C e successiva reazione colorimetrica mediante reagente PhosVer3).

6.3.1 Esiti dei prelievi

I prelievi a lago sono stati effettuati all'interno dell'area di massima profondità del bacino (profondità massima alla stazione di campionamento 34 m).

In tab. 6.8 sono riportati i risultati delle analisi effettuate.

Lago di Cavazzo - 30/03/2023- SD: 6,8 m - Bp 1008 mbar - Coperto									
St: S1	St: S1	Temp.	O2	O2	pH	Red/ox	Cond.	H2S	Ptot
S1 m Profondità (m)	Profondità (m)	°C	mg/l	% sat.	unità	mV	uS/cm 20°C	mg/l	Ug/l
S1 m 0	0	8,4	12,5	107	8	>0	780	0	3
S1 m 5	5	8,6	12,8	104	8,3	>0	796	0	3
S1 m 10	10	8,5	12,2	93	8,2	>0	813	0	4
S1 m 20	20	7,4	12,4	82	8,2	>0	829	0	2
S1 m 30	30	7,2	12,5	75	8,1	>0	847	0	6
S1 m 34	34	7,1	12,4	71	8,1	>0	851	0	5

Tab. 6.8

Il 30/03/2023 il lago di Cavazzo si trova al termine del periodo naturale di destratificazione termica: gradiente termico superficie/fondo pari a 1,3°C.

I valori di temperatura evidenziano una curva eterograda positiva con picco a 5 m a testimonianza di un rimescolamento delle acque che interessa ancora oltre 10 m della colonna d'acqua. Lo strato del termoclino si colloca tra i 10 ed i 20 m.

I valori di ossigeno risultano superiori ai 12 mg/l all'interno dell'intera massa lacustre e descrivono sulla colonna d'acqua una curva eterograda positiva con picco a 5 m (12,8 mg/l), attribuibile ad attività fotosintetica.

I valori di pH sulla colonna d'acqua descrivono parimenti una curva eterograda positiva con picco a 5 m a conferma di una maggiore attività fotosintetica.

I valori di conducibilità elettrica sulla colonna d'acqua appaiono in progressivo aumento procedendo dalla superficie verso il fondo.

Il potenziale di ossido-riduzione risulta positivo sull'intera colonna.

Le concentrazioni di fosforo totale risultano estremamente modeste (valori compresi tra 2 e 6 µg/l) con massimi compresi tra 5 ed i 6 µg/l nello strato 30-34 m.

La trasparenza appare consistente.

6.3.2 Concentrazione del fosforo calcolata

La concentrazione media ponderata del fosforo totale è stata calcolata nel seguente modo.

Moltiplicando il volume di uno strato di profondità per il valore medio della concentrazione di fosforo totale ai due estremi dello strato è stato ottenuto il quantitativo di nutriente presente nello strato.

Sommando il quantitativo di fosforo totale presente in ogni strato si è ottenuto il quantitativo complessivo di fosforo presente nella massa lacustre.

Dividendo il quantitativo complessivo di fosforo totale per la volumetria del lago si è ottenuta la media ponderata del nutriente.

Il valore medio espresso in mg/m³ corrisponde a quello espresso in µg/l.

In tab. 6.9 sono riportati i calcoli effettuati.

Lago di Cavazzo 30/03/2023				
Strato (m)	m ³	Ptot (mg)	Profondità	P tot (mg/m ³)
da 0 a 5	5775000	17325000	m 0	3
da 5 a 10	4940000	17290000	m 5	3
da 10 a 20	7860000	23580000	m 10	4
da 20 a 30	5325000	21300000	m 20	2
da 30 fondo	750000	4125000	m 30	6
Totale	24650000	83620000	m 45	5
Media Ptot (ug/l)	3,4			

Tab. 6.9

La concentrazione media ponderata del fosforo totale nella massa lacustre rilevata a fine marzo 2023 (3,4 µg/l), appare in linea con i dati storici.

Sulla base delle elaborazioni condotte la carenza di fosforo della situazione attuale rispetto alla concentrazione naturale attesa si attesta tra 9,6 ed i 24,6 µg/l.

6.4 **Valutazioni conclusive**

In base a quanto indicato in OECD, 1982 – *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*, la concentrazione di fosforo può essere messa in relazione con la produzione primaria di un lago temperato attraverso l'equazione:

$$\text{Produzione primaria} = 31,1 (\text{Fosforo})^{0,54}$$

con la produzione primaria espressa in g di Carbonio per m² per anno e il Fosforo

espresso in mg/m^3 .

In base a tale formula la produzione primaria naturale teorica del lago di Cavazzo (valori di fosforo tra 13 e 28 mg/m^3) si sarebbe attestata tra i 124 ed i 188 g/m^2 per anno contro gli attuali 41 g/m^2 per anno.

Poiché la produzione primaria rappresenta l'elemento di base per definire la capacità portante degli anelli successivi della catena alimentare i dati disponibili evidenziano che la biomassa sostenibile della rete dei consumatori nella situazione trofica attuale si si sarebbe ridotta ad un terzo fino ad oltre un quarto rispetto alla condizione teorica naturale.

7. CARATTERISTICHE DEL FONDALE

L'evoluzione delle caratteristiche del fondale del lago di Cavazzo, come di qualsiasi bacino, rispecchia l'andamento dei processi di sedimentazione dei materiali provenienti dal bacino idrografico e della deposizione di spoglie organiche degli organismi vegetali ed animali presenti.

A seguito della presenza dell'impianto idroelettrico le due componenti hanno avuto una sostanziale modifica evolutiva.

A seguito del processo di oligotrofizzazione del bacino la produttività del lago è stata notevolmente ridotta.

Considerando una concentrazione naturale di fosforo compresa in un intervallo di 13 – 28 mg/m³ (emerso come nutriente limitante principale del lago di Cavazzo), prima dall'avvio della centrale. La produzione primaria avrebbe dovuto attestarsi tra i 124 ed i 188 g/m² di carbonio per anno contro gli attuali 41 g/m². Tale evoluzione si traduce in una sensibile riduzione della sedimentazione organica.

Con riferimento agli studi geologico/geofisici che hanno interessato il bacino del lago di Cavazzo, prima nel maggio del 2015 e poi nel maggio del 2018, relazionati successivamente dal Dottor Luca Gasperini dell'Ismar-CNR, è stato evidenziato come campionamenti recenti e descritti all'interno della Relazione Finale del Tavolo, effettuati con profondità fino ad una sessantina di centimetri hanno fatto rilevare spessori annuali di sedimentazione compresi tra i sette ed i dieci millimetri in localizzazioni prossime al depocentro, ed intorno ai due millimetri in prossimità della sponda più lontana dallo scarico della centrale.

Sulla base di tali dati lo studio geologico/geofisico ha valutato una deposizione media pari a 3,50 millimetri all'anno sul fondale delle sponde e di 7,50 millimetri in prossimità del depocentro.

La natura dei sedimenti provenienti dallo scarico della centrale è rappresentata da limi e limi finissimi in sospensione la cui presenza, in ragione dei quantitativi immessi nel lago dal 1956 ad oggi, caratterizza l'attuale fondale del lago di Cavazzo.

8. SVILUPPO TURISTICO E ATTIVITÀ RICREATIVE

Di seguito si è proceduto a stimare la quantità di servizi ecosistemici di ricreazione forniti dall'area vasta del lago di Cavazzo, con l'obiettivo di indicare possibili azioni atte a favorire una maggiore fruizione dell'area e ad incentivare una maggiore attrattività turistica grazie anche ad una futura gestione territoriale indirizzata a promuovere, da una parte, una maggiore naturalità del lago e, dall'altra, a creare maggiori opportunità per i turisti di recarsi in modo eco sostenibile nell'area. In questo contesto, si dovrebbe mirare a sviluppare infrastrutture e servizi di trasporto sostenibile, promuovere attività legate al turismo ecologico e offrire esperienze specifiche che permettano ai visitatori di apprezzare in modo significativo il sistema lago. L'obiettivo ultimo è quello di preservare questo prezioso ambiente naturale mentre si apre a un turismo responsabile che contribuisca alla conservazione a lungo termine dell'ecosistema lacustre e alla crescita sostenibile della regione. L'analisi che segue prende in considerazione l'area vasta dei tre comuni e non si limita al solo lago, poiché il tipo di metodologia proposta richiede la valutazione dei punti di accesso, delle strade di grande comunicazione, della densità di popolazione e delle aree protette presenti, al fine di contestualizzare la situazione relativa al punto di interesse.

8.1 Metodi

Il Servizio Ecosistemico di Ricreazione (SER) è uno dei benefici culturali più rilevanti e riconosciuti prodotti dagli ecosistemi grazie anche alla sua importanza economica per le comunità locali e nazionali e le relative attività commerciali. Il SER include attività come passeggiare in un bosco alpino, pedalare lungo un fiume, rilassarsi in un parco urbano; esperienze che beneficiano gli individui e le società in termini di benessere fisico e mentale, favoriscono la connessione sociale e contribuiscono al miglioramento della qualità di vita e altri valori intangibili. Mappare e quantificare il SER e in generale i SEC per fornire supporto alle decisioni pianificatorie è una sfida aperta a causa della natura intangibile di questi SE e dal loro forte legame con la dimensione sociale e soggettiva (Burkhard et al., 2017). In questo senso, fino ad oggi c'è stato un grande interesse nella ricerca delle

preferenze ricreative delle persone che guidano la domanda di questo SE e nella pianificazione e gestione del turismo all'aria aperta. Per la quantificazione del SER, si è fatto ricorso ad un approccio standardizzato ma allo stesso tempo flessibile definito ARIES (ARIES team, 2022). L'ARTificial Intelligence for ES (ARIES) utilizza una Intelligenza Artificiale per selezionare le componenti di modellistica più appropriate da un ampio spettro di modelli, da semplici a complessi, per mappare i SE a diverse scale (Villa et al., 2014). Il modello ARIES per valutare la ricreazione all'aperto si ispira al modello ESTIMAP sviluppato da Peracchini et al. (2014) e quantifica domanda e offerta di ricreativa utilizzando valori classificati. Per SE di ricreazione all'aperto si intendono tutti quei contributi forniti dagli ambienti naturali in termini di possibilità ricreative e di svago e di attività svolte della società umana. Il modello rappresenta pratiche giornaliere come camminare, correre, andare in bicicletta, fare picnic, osservare la flora e la fauna, o più semplicemente godersi la natura, ma esclude attività più propriamente legate al turismo che presuppongono lunghi spostamenti. Sia modelli che dati sono stati consultati e modificati attraverso l'ambiente integrato di sviluppo free e open-source Knowledge Laboratory (k.LAB Control Center versione 1.4) (ARIES team, 2022), mentre i risultati sono stati visualizzati e scaricati attraverso il web-explorer della piattaforma.

8.1.1 Calcolo dell'Offerta Ricreativa

Il modello assume che tutti gli ecosistemi, inclusi quelli naturali, seminaturali e quelli gestiti intensivamente dall'uomo, sono potenziali fornitori di opportunità ricreative, sebbene la loro capacità dipenda da caratteristiche ambientali legate alle preferenze ricreative delle persone e dall'impatto umano sulla loro naturalità. Il potenziale ricreativo basato sulla naturalità segue questo ragionamento: (1) minore l'impatto umano sul territorio, maggiore il valore in termini di potenziale ricreativo; (2) le aree protette, le riserve e i parchi naturali indicano una alta capacità ricreativa; e (3) le vette e i corpi idrici, inclusi fiumi e laghi esercitano una particolare attrazione sulle aree limitrofe (Paracchini et al., 2014). Il modello calcola l'offerta ricreativa mediante una funzione moltiplicativa di naturalità e densità di siti ricreativi. Il tasso di naturalità è calcolato riclassificando le tipologie di copertura del suolo secondo i punteggi di emerobia di Paracchini et al. (2014). Tali punteggi sono derivati da fonti

di letteratura e vanno da 0 a 7, con valori più alti associati ad una maggiore influenza umana e/o intensità di utilizzo del suolo. Nella modalità di default del modello la densità di elementi naturali attrattivi è calcolata mediante distanza euclidea da (1) aree protette (estratte dal Database Globale delle Aree Protette; UNEP-WCMC e IUCN, 2020), (2) vette montane (estratte a partire da dati di quota nell'area di studio, Robinson et al. 2014), (3) corpi idrici (Corine Land Cover 2018). La densità ricreativa, in questo senso, è misura della distanza reciproca tra i siti ricreativi; in altre parole, una volta combinata con la naturalità per ottenere il punteggio di offerta fornirà valori alti laddove sono presenti più siti ricreativi vicini tra loro.

La risoluzione spaziale per sviluppare l'analisi è stata impostata a 100 m, un compromesso tra la diversa risoluzione dei dati utilizzati, e i dati globali disponibili nella libreria di ARIES sono stati sostituiti con dati locali per migliorare la qualità dei risultati. La mappa Corine Land Cover 2018 è stata sostituita con la mappa LUISA (Batista & Pigaiani, 2021) (ris. spaziale: 50 m). Le categorie della mappa LUISA sono state riclassificate per associarle i punteggi di emerobia.

I dati per calcolare la distanza dai siti ricreativi sono stati reperiti dalla piattaforma IRDAT <http://irdat.regione.fvg.it/consultatore-dati-ambientali-territoriali/home?language=it>. Per le aree protette, il Database Globale delle Aree Protette (UNEP-WCMC e IUCN, 2020) è stato sostituito con le Aree Protette Regionali calcolate mediante sovrapposizione di:

- Parchi e riserve naturali nazionali o regionali (2018)
- ZPS e SIC regionali della rete Natura 2000 (2018)
- Biotopi regionali (2020)

I dati di quota con una risoluzione spaziale di 90 m sono stati ricavati dal dato Robinson et al. (2014) della libreria ARIES e le vette sono state estratte sommando i massimi di quota estratti in un intorno di 8 km di raggio con una soglia minima di 500 m di differenza di quota con il punto più basso (senza modificare il modello ARIES). I dati globali di fiumi e laghi sono stati sostituiti con i dati delle principali aste fluviali (MOLAND 2003) e dai corpi idrici superficiali della Regione (2021).

L'offerta ricreativa è stata calcolata mediante una funzione moltiplicativa Cobb-Douglas di naturalità e di densità di siti di ricreazione, basata sulla distanza tra i siti naturali ricreativi attrattivi:

Offerta ricreativa = naturalità^{1,5} * vicinanza dei siti di ricreazione^{0,25} [tra 0 e 1]

dove 1,5 e 0,25 sono i fattori moltiplicativi che descrivono la forma e la scala della funzione non-simmetrica preimpostati nel modello ARIES. L'indicatore di offerta è stato reso adimensionale mediante riscalatura lineare tra i valori 0 e 1 sulla base del valore minimo e massimo.

8.1.2 Calcolo dello Spettro delle Opportunità Ricreative

Le persone possono beneficiare delle opportunità offerte dalla natura per le attività ricreative solo se riescono a raggiungerle. Il SOR è stato scelto come metodo per mappare i diversi livelli di servizio disponibili in base alla loro prossimità alle persone. La fig. 8.1 mostra la logica del modello SOR adattato. Nella prima parte, si valuta la capacità di un gruppo di paesaggi nel fornire opportunità per le attività ricreative all'aperto (E, Offerta ricreativa), così come descritto precedentemente. Questa capacità varia in base alla presenza di due aspetti chiave: il grado di naturalità (C), calcolato associando un punteggio di naturalità (B) a ciascuna classe di copertura e uso del suolo (A), e la presenza di aree ricreative (D), identificate come specchi d'acqua (laghi e fiumi) montagne e aree protette. Il modello calcola poi le distanze euclidee dalle aree urbane (H) e dalle infrastrutture di trasporto (I). Quest'ultima è stata calcolata come media pesata (G) delle distanze dalle infrastrutture (F, ciclabili, stazioni, strade comunali e provinciali). Le due mappe H e I vengono quindi combinate per ottenere una mappa di prossimità (M), che dipende da specifici parametri di prossimità (L). Viene quindi calcolata una mappa finale delle opportunità ricreative (SOR) (O) mediante una tabulazione incrociata tra la mappa di offerta (E) e la mappa di prossimità (M) utilizzando un quarto set di parametri (N) con soglie per il grado di opportunità ricreative fornite dalla natura e il grado di prossimità e distanza. I parametri B, G, L e N sono derivati da dati di letteratura (Zulian et al. 2013, Paracchini et al. 2014, Cortinovis &

Geneletti, 2018).

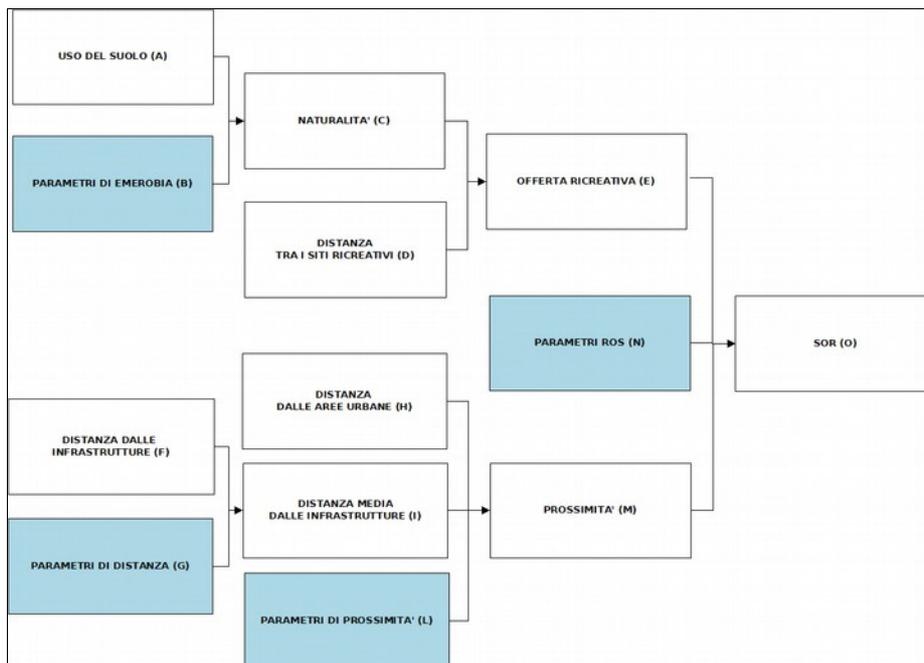


Fig. 8.1: dati di input e framework

La lontananza e la vicinanza sono state affrontate nella seconda fase dell'analisi (F-M), al fine di valutare come il beneficio di ricreazione possa essere offerto alle persone. La distanza dalle diverse infrastrutture di trasporto e dalle aree residenziali è stata utilizzata come input. Le informazioni sulla rete stradale sono fornite dal database regionale "irdat" <http://irdat.regione.fvg.it/consultatore-dati-ambientali-territoriali/home?language=it>. Includono:

- Strade comunali e provinciali (Grafo delle principali strade regionali 2006)
- Vie ciclabili esistenti (Ciclovie PPR 2018)
- Vie ciclabili in progetto (Ciclovie RECIR 2023)
- Stazioni ferroviarie attive
- Stazioni CIMR (Centri di Interscambio Modale Regionali) che favoriscono l'interscambio tra i servizi di trasporto pubblico di differenti modalità

Le informazioni sulle aree residenziali sono state ricavate dalla mappa LUISA (Batista & Pigaiani, 2021) (ris. spaziale: 50 m) selezionando le aree residenziali ad alta, media, bassa e molto bassa intensità (codice 1111, 1121, 1122, 1123) con

superficie superiore ai 25 ettari come proposto in Zulian et al. (2013).

La prossimità è stata valutata combinando le informazioni di distanza dalle infrastrutture di trasporto (accessibilità) e dalle aree urbane (lontananza) mediante cross-tabulazione. La distanza dalle infrastrutture di trasporto è stata calcolata come media pesata della distanza dalle strade provinciali, comunali, dalle stazioni e dalle ciclovie sulla base dei punteggi definiti da Cortinovia & Geneletti (2018) (tab. 8.1). I punteggi sono stati raccolti attraverso un questionario online da un gruppo di esperti selezionati in uno studio locale sulla città di Trento.

Infrastruttura d'accesso	Tipologia	Punteggio
Strada provinciale	linea	0.7
Strada comunale	linea	0.8
Ciclovie	linea	0.9
Stazione	punto	0.8

Tab. 8.1: parametri di distanza (Cortinovia & Geneletti, 2018)

Il SOR finale è stato calcolato attraverso una tabulazione incrociata tra l'offerta ricreativa e la zonizzazione in termini di lontananza e accessibilità. L'offerta di ricreazione è stata classificata in tre classi alta, media e bassa, definendo soglie derivate dall'analisi della distribuzione dei dati e aggregando le informazioni su lontananza e accessibilità in tre classi: (facilmente accessibile, accessibile e non facilmente accessibile) (tab. 8.2). Le classi di offerta identificano aree con bassa-media-alta disponibilità di ricreazione: la bassa disponibilità è caratteristica delle aree coltivate, la media disponibilità è caratteristica della vegetazione permanente (come pascoli, colture permanenti, foreste gestite), l'alta disponibilità è tipica soprattutto delle aree protette e delle foreste caratterizzate da un alto grado di naturalità. La mappa SOR prodotta ha un totale di 9 possibili combinazioni. All'area urbana, caratterizzata da una nota bassa offerta e elevata prossimità, è stato attribuito un valore 0 di classe.

		Offerta ricreativa		
		1	2	3
		<0.47	0.47-0.73	>0.73
Pro ssi mit à	1 Vicino	1	4	7
	2 Prossimo	1	4	7
	3 Lontano	2	5	8
	4 Remoto	3	6	9
	5 Molto remoto	3	6	9

0	Urbano
1	Offerta bassa, facilmente accessibile
2	Offerta bassa, accessibile
3	Offerta bassa, non facilmente accessibile
4	Offerta media, facilmente accessibile
5	Offerta media, accessibile
6	Offerta media, non facilmente accessibile
7	Offerta alta, facilmente accessibile
8	Offerta alta, accessibile
9	Offerta alta, non facilmente accessibile

Tab. 8.2: parametri per il calcolo del SOR

8.2 Risultati

Come si osserva in fig. 8.2, l'area dei tre comuni, grazie all'eterogeneità ambientale che la caratterizza e alla presenza del lago di Cavazzo, presenta un'offerta ricreativa mediamente alta, con l'esclusione dei centri abitati e del tessuto urbano. Anche la presenza dell'alveo del fiume Tagliamento costituisce un elemento che genera un innalzamento dell'offerta ricreativa in aree non distanti dal lago stesso, insieme alla presenza del SIC IT3320015 "Media Valle del Tagliamento" e del Biotopo Regionale "Forra del Torrente Leale", che occupano rispettivamente la porzione meridionale e centrale del comune di Trasaghis. Si fa notare che le superfici dei corpi idrici non sono state incluse nel calcolo di offerta poiché considerate fisicamente inaccessibili alla ricreazione. Tuttavia, i corpi idrici, tramite opportuna codifica, sono stati interpretati come oggetti altamente attrattivi rispetto alle aree limitrofe dal modello. L'analisi di prossimità, che prende in considerazione la distanza dell'area di studio rispetto ai medi e grandi centri urbani e alle vie di comunicazione, assegna al lago di Cavazzo e all'area di studio un livello di accessibilità intermedio. Il modello ha preso in considerazione, oltre alle principali arterie di comunicazione, anche la presenza delle ciclovie, sia realizzate che previste (dati estratti dal Piano Paesaggistico Regionale), ed il loro livello (regionale e di ambito). Proprio per il lago di Cavazzo si osserva in figura 8.3 la prevista ciclovia n° A6 inserita all'interno del piano provinciale piste ciclabili della Provincia di Udine: questa direttrice futura si inserirà a sud sul percorso ciclabile regionale FVG 6 (già realizzato) e a nord con i segmenti della stessa ciclovia

ancora non ultimata. A questi percorsi considerati si aggiungono, in parte in sovrapposizione con la ciclovia A6, il Cammino delle Abazie (cammini religiosi) e, nel comune di Bordano, i due sentieri legati alla Grande Guerra (Monte Festa dalla Sella di Interneppo e I forti e il sistema difensivo del Friuli). L'insieme di questi elementi e la loro realizzazione, è quindi elemento positivo che può consentire un maggiore accesso rispetto all'offerta ricreativa del territorio e alla fruizione del lago, ed elemento in grado di generare un incremento del flusso turistico nell'area. Ne deriva uno spettro delle opportunità ricreative classificato nella categoria "offerta alta ed accessibile", che considera già integrati i progetti futuri di sviluppo della mobilità lenta e sostenibile nel territorio. Utilizzando il modello proposto, possibili elementi per incrementare lo spettro dell'offerta ricreativa, direttamente legata ad una maggiore fruizione di questo servizio ecosistemico e del flusso tra domanda ed offerta, sono relativi all'incremento dei seguenti parametri:

1. ulteriore sviluppo e maggiore connessione della rete della mobilità lenta e sostenibile: oltre alla realizzazione dei progetti previsti, è possibile auspicare un incremento delle possibili vie di accesso al lago attraverso ciclovie e sentieri, un potenziamento delle stesse (attraverso, ad esempio, la cartellonistica o specifiche azioni divulgative e pubblicitarie) ed una maggiore connessione tra i vari segmenti sentieristici già esistenti.
2. diminuire le distanze tra le aree protette istituendone di nuove: le riserve naturali, i biotopi e i siti della rete Natura 2000 (ZSC e ZPS) rappresentano elementi del territorio in grado di incentivare la presenza di un turismo ecosostenibile presenti su un determinato territorio e generare benefici economici significativi per le comunità locali (Gupta et al. 2023). La loro concentrazione, così come la distanza tra un sito e l'altro, è quindi legata ad una maggiore o minore presenza di turisti, fruizione dell'offerta e indotto economico. Nell'area di studio sono molte le possibili azioni che possono essere intraprese da questo punto di vista e che possono riguardare la protezione di habitat ed ecosistemi di particolare interesse, a cominciare dal lago stesso, attualmente non incluso nella lista dei siti Natura 2000 né delle aree Ramsar. Allo stesso modo, è auspicabile l'istituzione di un certo livello di protezione per altri siti di enorme valenza naturalistica qui presenti, come ad esempio le paludi di Vuarbis e das Fontanas menzionate precedentemente.

Questo tipo di iniziativa richiede maggiori studi sul territorio atti ad approfondire le conoscenze sulla presenza e la distribuzione delle specie e degli habitat di interesse comunitario.

3. Valorizzazione dell'ecomuseo Val del lago e del connesso Parco botanico.

I comuni del lago di Cavazzo ospitano strutture di rilevante importanza per la conoscenza del territorio e delle sue peculiarità naturalistiche. Tra queste hanno un ruolo di primaria importanza l'Ecomuseo Val del lago ed il connesso Parco Botanico di Internoppo, percorso territoriale indirizzato alla conoscenza delle caratteristiche vegetazionali e geologiche della valle. A queste due strutture si aggiunge la vicina Casa delle Farfalle, nel comune di Bordano. Nel complesso, le strutture possono avere una forte attrattività verso un pubblico sensibile alle tematiche ambientali, e potrebbero ancor di più giovare di una maggiore fruizione se opportunamente inserite in percorsi didattici a livello regionale. Da questo punto di vista, le sopracitate strutture costituiscono infatti veri e propri laboratori didattici per le scuole di ogni grado ed ordine della Regione Friuli Venezia Giulia e andrebbero opportunamente promosse in collaborazione con l'Ufficio Scolastico Regionale. Importante, considerata anche la disponibilità di aule informatiche e collezioni naturalistiche qui presenti, la possibilità di creare specifiche convenzioni con le università regionali (Trieste e Udine) ed i corsi di studio maggiormente attinenti (Scienze naturali, geologiche, biologiche e antropologiche) per poter svolgere attività e viaggi di istruzione sul campo, come, ad esempio, si realizzano nel vicino Comune di Paluzza (grazie alla presenza del centro CESFAM) e che hanno un importante ruolo nell'aumentare la conoscenza del territorio, oltre che da un punto di vista economico (nel momento in cui si coinvolgono le strutture ricettive presenti, soprattutto nei periodi di bassa stagione). Questo tipo di iniziativa ha costi relativamente contenuti in quanto si inserisce parzialmente nei finanziamenti previsti a livello universitario per i viaggi di istruzione, e può comportare campagne annuali di raccolta dati utili a monitorare lo stato dell'ambiente. Con la stessa finalità, attraverso specifiche convenzioni, possono essere coinvolte università estere con l'ulteriore obiettivo, oltre quanto già discusso, di realizzare progetti europei che inseriscano il "laboratorio lago" al centro di azioni di sostenibilità ambientale.

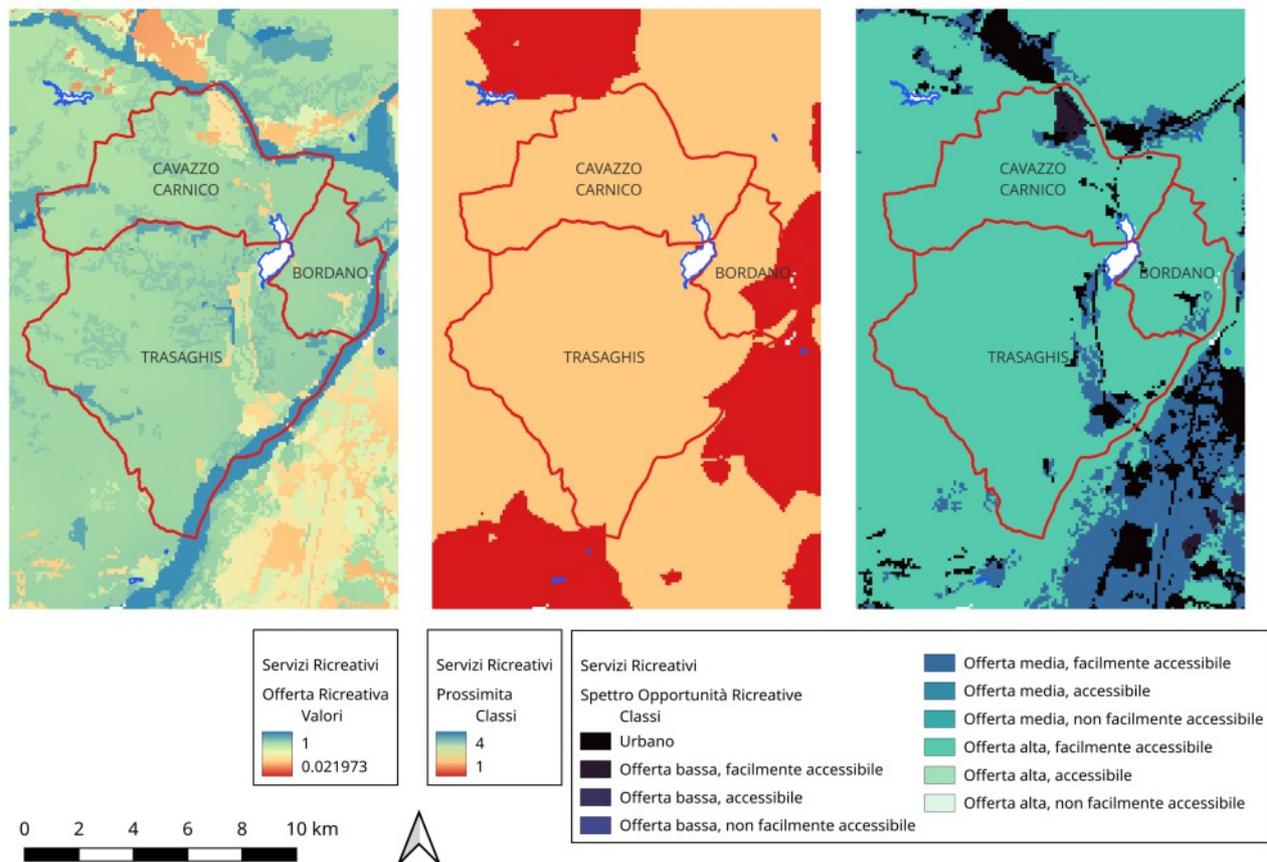


Fig. 8.2: mappe dell'offerta ricreativa, della prossimità e dello spettro delle opportunità ricreative relative ai tre comuni Cavazzo Carnico, Bordano e Trasaghis.

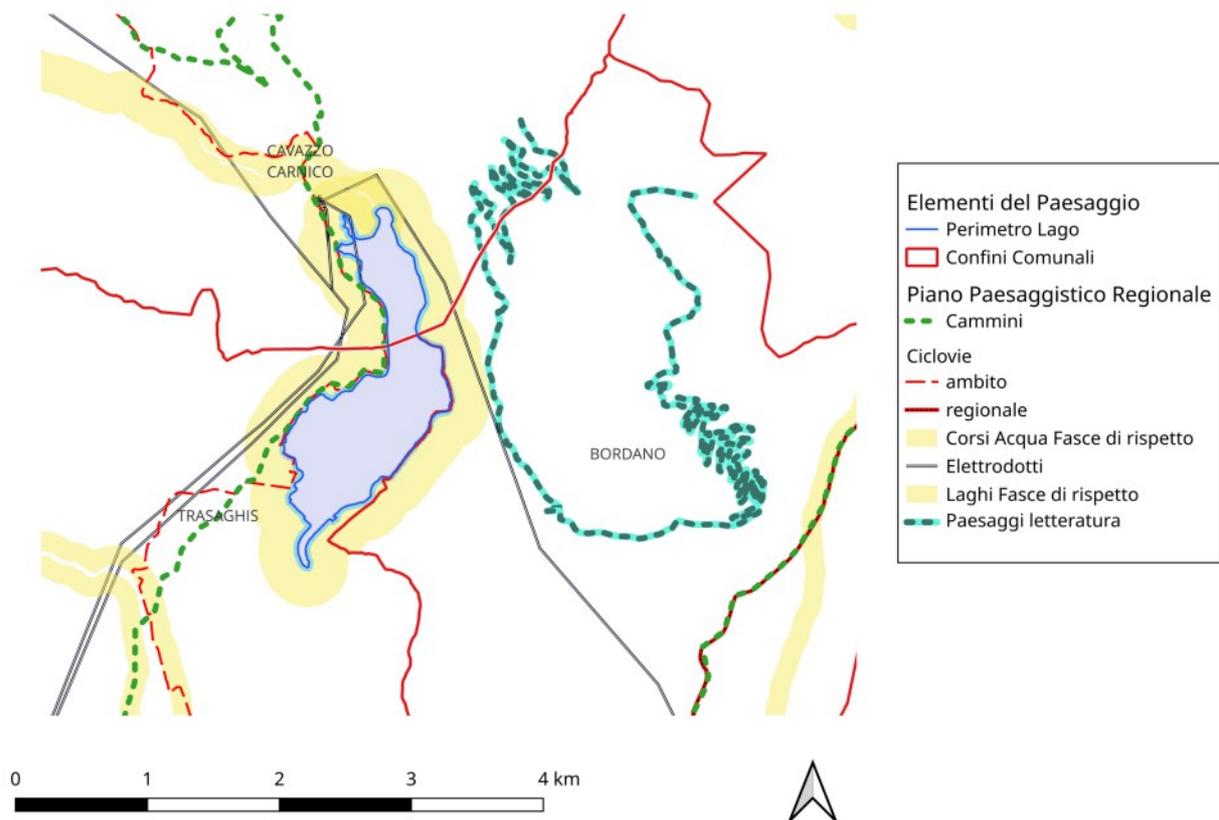


Fig. 8.3: ciclovie (realizzate e previste) e percorsi storico-artistici-culturali nell'area del lago di Cavazzo (dal Piano Paesaggistico Regionale)

8.3 Attività professionali e turistiche legate all'ittiofauna

Pesca professionale e pesca sportiva sono e sono state in passato le principali attività antropiche di uso e sfruttamento dell'ittiofauna.

Per quanto riguarda la prima, essa ha poco significato nel 2023, in considerazione della composizione e consistenza della comunità ittica attuale e di quella pregressa. Quella attuale, pur essendo composta da specie pregiate (salmoniformi, percidi) è fortemente condizionata dai valori di produzione, come più sopra accennato molto bassi, e dal fatto che gran parte delle specie presenti sono sostenute da immissioni e non risultato della produzione naturale del lago.

Quella pregressa è caratterizzata da specie di scarso interesse professionale, in quanto costituita in prevalenza da specie ciprinicole di scarso valore commerciale.

La pesca professionale degli anni antecedenti la costruzione della centrale di Somplago era probabilmente destinata ad un forte consumo interno ai fini dell'auto sostentamento o poco più, più che a fini di profitto, come nel caso dell'attuale pesca

professionale dei grandi laghi subalpini.

Per quanto riguarda, invece, la pesca sportiva dilettantistica, questa ha rivestito un ruolo ricreativo e sociale molto importante nella seconda metà del secolo scorso, ruolo che è andato scemando nel XXI secolo, con il radicale mutamento delle abitudini dei cittadini.

Alla pesca sportiva sono purtroppo associate radicali modificazioni delle comunità ittiche nei nostri ambienti acquatici, in piccola parte dovute ad un eccessivo sfruttamento della risorsa, in gran parte ad un uso improprio dei ripopolamenti, utilizzando specie alloctone la cui introduzione, un tempo non normata, è oggi soggetta a vincoli ben precisi derivanti dall'applicazione di normative europee.

Come testimoniato dall'evoluzione della comunità ittica del lago nel tempo, sono ben visibili gli esiti dovuti alle immissioni che hanno comportato l'introduzione di salmonidi (trota fario, trota iridea, salmerino), coregonidi (lavarello), percidi (persico reale), ciprinidi (carpa) e ictaluridi (pesce gatto).

Tutte queste specie sono estranee alla fauna autoctona del lago e, come tali, la loro gestione dovrebbe comportarne il controllo e rimozione a favore della fauna locale.

Allo stato attuale le uniche specie di cui dovrebbe essere previsto il potenziamento ai fini conservazionistici sono quelle autoctone rinvenute e rinvenibili nel bacino: anguilla, alborella, cavedano, sanguinerola, scardola, tinca, triotto, vairone, scazzone, spinarello e trota marmorata.

Di queste, alcune (anguilla, cavedano, tinca, trota marmorata) sono sicuramente d'interesse alieutico e se ne potrebbe prevedere il potenziamento attraverso attività ittiogeniche operate a livello di bacino idrografico, come peraltro già effettuato dall'incubatoio di Somplago gestito da ETP per la trota marmorata.

Per lampreda padana ed agone si potrebbero valutare interventi di reintroduzione nel lago. La prima ha una forte importanza ai fini conservazionistici, il secondo costituisce un'importante specie ittica nelle catene trofiche dei laghi del nord Italia.

8.4 Bibliografia

ARIES team (2022). Technology for 21-century ecosystem services science. Disponibile a: <https://aries.integratedmodelling.org/technology/>

Burkhard B, Maes J. (2017) Mapping Ecosystem Services. Advanced Books; e12837

Cortinovis C, Geneletti D (2018) Mapping and assessing ecosystem services to support urban planning: A case study on brownfield regeneration in Trento, Italy. *One Ecosystem* 3: e25477. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e25477>

Fuleky, P. (2006). Anatomy of a Cobb-Douglas Type Production/Utility Function in Three Dimensions. Mimeo, University of Washington, September 2006. Disponibile a: <http://www2.hawaii.edu/~fuleky/anatomy/anatomy.html>

Geurs, K.T., van Eck, J.R. (2001). Accessibility measures: review and applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-use Transportation Scenarios, And Related Social and Economic Impact. Disponibile a: <https://rivm.openrepository.com/handle/10029/259808>

Gupta A, Zhu H, Bhammar H, Earley E, Filipski M, Narain U, Spencer P, Whitney E, Taylor JE (2023). Economic impact of nature-based tourism. *PLoS One*. 18(4):e0282912. doi: 10.1371/journal.pone.0282912. PMID: 37043462; PMCID: PMC10096494.

Haines-Young R & Potschin-Young, M (2013) The Common International Classification for Ecosystem Services (CICES). Disponibile da: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Nelson, A., (2008) Travel Time to Major Cities: A Global Map of Accessibility. Office for Official Publications of the European Communities. Disponibile a: <https://research.utwente.nl/en/publications/travel-time-to-major-cities-a-global-map-of-accessibility-poster->

Villa, F. et al. (2014). A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLOS ONE*: 9(3):e91001

Zulian G, Paracchini M, Maes J, Lique Garcia M. (2013). ESTIMAP: Ecosystem services mapping at European scale. EUR 26474. Luxembourg (Luxembourg): Publications Office of the European Union. JRC87585

9. BILANCIO DEL CARBONIO

9.1 Introduzione

Il sequestro e stoccaggio di carbonio (C) è forse il Servizio Ecosistemico (SE) più ampiamente riconosciuto e sicuramente il più quantificato tra i cosiddetti SE di regolazione e mantenimento (MA 2005, Haines & Potschin 2013). Gli ecosistemi sono in grado di regolare il clima globale scambiando gas serra come il biossido di carbonio (CO₂) con l'atmosfera. Foreste, praterie, torbiere e altri ecosistemi stoccano carbonio (C) nella biomassa vegetale e nel suolo (detti "pool" di carbonio) come conseguenza dei processi fotosintetici in atto, sequestrando CO₂ dall'atmosfera dove agisce come gas serra contribuendo al riscaldamento globale (EEA, 2020). Questo Servizio Ecosistemico è comunemente misurato mediante due indicatori, come C sequestrato e come C stoccato. Si tratta di una cosiddetta misura dinamica di "flusso di SE" che incrocia l'offerta di un SE prodotto dagli ecosistemi con la domanda richiesta dall'Uomo (Burkhard, 2017). Nel caso del sequestro di C si ipotizza che tutta l'offerta del SE (ossia la fornitura di un servizio da parte di un particolare ecosistema a prescindere dal suo utilizzo) sia assorbita dalla domanda (il bisogno di SE da parte della società), per cui la totalità del C sequestrato globalmente corrisponde al flusso di benefici in termini di regolazione climatica che arriva alle nostre società. Per stoccaggio di carbonio si intende invece la totalità di C stoccato in ciascun pool misurato ad un dato tempo (Mg C ha⁻¹). In questo caso si tratta di una misura più semplice da misurare, in quanto statica, che corrisponde al risultato complessivo di un lungo processo di sequestro di C. Qui il C stoccato negli ecosistemi viene interpretato come "SE potenziale" e si quantifica ipotizzando che il C torni in atmosfera sottoforma di CO₂. Questo secondo indicatore è comunemente impiegato per valutare gli effetti della gestione del territorio sul SE di sequestro e stoccaggio di C. In altre parole, disturbare o modificare gli ecosistemi che forniscono questo SE con incendi, inquinanti o più comunemente tramite cambio di uso o copertura del suolo può comportare il rilascio di grandi quantità di CO₂. Al contrario, altri cambiamenti di gestione del territorio come la riforestazione o pratiche di agricoltura alternative possono portare ad una maggiore capacità di

stoccaggio di CO₂. Tra le metodologie di quantificazione e mappatura dei SE più moderne e facili da riprodurre ci sono i cosiddetti “framework di modellizzazione trasferibili” (Burkhard, 2017). Questi metodi propongono un approccio di quantificazione standardizzato, implementato in software, strumenti e librerie per quantificare facilmente più SE.

9.2 Metodologia utilizzata per il calcolo del C nell’area del lago di Cavazzo (area di studio)

Lo strumento di modellistica spazialmente esplicito Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) è stato usato per stimare e mappare il SE di stoccaggio di carbonio nell’area di studio definita in precedenza (Tallis et al. 2008, <http://invest.ecoinformatics.org/>). Il modello InVEST Carbon Storage utilizza una mappa di uso di suolo e dati sul C stoccato in 4 pool (biomassa epigea, biomassa ipogea, suolo e materia organica morta) per stimare la totalità del C accumulato attualmente in un determinato ecosistema. La biomassa epigea comprende la biomassa viva delle piante sopra il suolo (tronco, radici, rami, foglie...), la biomassa ipogea include il sistema radicale delle piante mentre la materia organica del suolo è il maggiore pool di C terrestre e comprende materia organica in decomposizione insieme ai microrganismi del suolo. Infine, la materia organica morta include la lettiera e il legno morto, sia abbattuto che ancora in piedi. Il modello aggrega le quantità di carbonio di questi pool a seconda della categoria di uso o copertura del suolo e produce mappe di C stoccato per ciascun pool e di accumulo complessivo.

I dati di C espressi come tonnellate di C su ettaro (Mg C ha⁻¹) nella biomassa epigea e ipogea, nel suolo e nella materia organica morta sono stati reperiti da numerose fonti bibliografiche e da inventari nazionali ed europei. Questi dati sono stati aggregati e interpolati da InVEST sulle categorie della Carta Natura (2021) presenti nell’area di studio, una volta che queste sono state convertite in una mappa raster con una risoluzione spaziale di 100 m. La Carta Natura, disponibile ad una scala 1:25.000, riporta tutti gli ecosistemi naturali e non della Regione Friuli Venezia Giulia in accordo con la nomenclatura Corine Biotopes, identificando e classificando in modo gerarchico diversi habitat (per l’area di studio gli ecosistemi

presenti sono riportati in Tabella 9.1). I dati per gli ecosistemi acquatici (CBC 22, 24.2), sono stati ricavati dalle stime di C per gli ecosistemi europei (EEA, 2020). Tale report Europeo considera il solo C fissato biologicamente, cosiddetto Blue Carbon, nella componente biotica (piante, animali) e nel sedimento. Per queste categorie i dati di C sono stati ricondotti al pool del suolo poiché, in accordo con EEA (2020), nei corpi idrici lo scambio tra i pool di C è pari a 0 a causa della crescita e morte annuale delle piante e la maggioranza del C è stoccato nel sedimento. I dati per la vegetazione delle ghiaie e delle sabbie del corso dei fiumi (CBC 24.2, 24.3) e delle aree agricole (CBC 83.2) sono stati presi dall’Inventario dei Gas Serra dell’IPCC (IPCC 2019) e dall’Inventario Svizzero dei Gas Serra (Swiss confederation, 2020). I dati per le praterie e prati (34, 36, 38) sono stati presi dall’Inventario dei Gas Serra dell’IPCC (IPCC 2019) e i dati per le foreste (CBC 4) dall’Inventario Nazionale delle Foreste (CREA 2005). Mentre per le aree attrezzate e parchi urbani (CBC 85.1) i dati di C sono stati presi da diversi articoli scientifici (si veda Tabella 9.2 per dettagli). Il carbonio nel pool di biomassa ipogea è stato derivato da quello della biomassa epigea mediante rapporti forniti dall’IPCC (IPCC 2003). Le informazioni sulla zona ecologica e la tipologia di suolo regionale per attribuire i valori di C sono stati presi dai report FAO, rispettivamente da FAO (2010) e FAO (1992). Il contributo dei coltivi (CBC 82.3) è stato considerato solo per il pool del C nel suolo, trascurando le altre componenti dove il C viene periodicamente rimosso o rapidamente decomposto (Alberti et al. 2010). I valori per le aree cementate della Categoria Corine Biotopes 8 sono considerati pari a zero poiché decisamente limitati nella capacità di sequestrare e stoccare carbonio. I riferimenti dettagliati sui dati ricavati per ciascuna CBC sono disponibili in Tabella 9.2.

Tab. 9.1: Ecosistemi classificati secondo il Corine Biotopes per i quali è stata effettuata la stima del C.

L1 - Codice Corine Biotopes	Descrizione L1	L2 - Codice Corine Biotopes	Descrizione L2	L2+ - Codice Corine Biotopes	Descrizione L2+
2	Acque non marine	22	Acque ferme	22.1	Acque ferme prive di vegetazione
				22.2	Sponde lacustri non vegetate
		24	Acque correnti	24.21	Greti privi di vegetazione
3	Cespuglieti e praterie	31	Brughiere e cespuglieti	31.48	Brughiere calcifile montane e alpine ad Ericacee
				31.8B	Cespuglieti e siepi submediterranei

				<i>sudorientali</i>			
				31.8C	Cespuglieti a <i>Corylus avellana</i>		
		34	<i>Pascoli calcarei secchi e steppe</i>	34.752b	<i>Prati aridi submediterranei xerofili planiziali e prealpini</i>		
		36	<i>Praterie alpine e subalpine</i>	36.413a	<i>Pascoli montani delle Alpi orientali a Carex austroalpina</i>		
				36.52	<i>Prati pingui e degradati delle alte quote</i>		
		38	<i>Praterie mesofite</i>	38.2	<i>Prati da sfalcio planiziali e collinari</i>		
4	Foreste			41.1C3a	<i>Faggete calcifile iliriche submontane</i>		
				41.1C3b	<i>Faggete calcifile iliriche montane</i>		
				41.39	<i>Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo</i>		
				41.59	<i>Foreste acidofile di querce dell'Italia orientale</i>		
				41.731	<i>Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale</i>		
				41.81	<i>Boschi di Ostrya carpinifolia</i>		
				41.9	<i>Castagneti</i>		
				41.B3	<i>Betuleti montani e subalpini</i>		
				42	<i>Boschi di conifere</i>	42.611	<i>Pinete pioniere delle Alpi orientali di pino nero e pino silvestre</i>
				44	<i>Boschi e cespuglieti alluviali e umidi</i>	44.13	<i>Gallerie ripariali e boschi palustri a Salix alba</i>
						44.614	<i>Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico</i>
		5	<i>Torbiere e paludi</i>	53	<i>Vegetazione delle sponde delle paludi</i>	53.11	<i>Canneti a Phragmites australis</i>
6	<i>Rupi ghiaioni e sabbie</i>	61	<i>Ghiaioni</i>	61.31	<i>Ghiaioni termofili perialpini calcarei</i>		
		62	<i>Rupi</i>	62.15a	<i>Rupi calcaree montane</i>		
8	<i>Coltivi ed aree costruite</i>	82	<i>Coltivi</i>	82.3	<i>Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi</i>		
		85	<i>Parchi urbani e giardini</i>	85.1	<i>Grandi Parchi</i>		
		86	<i>Città, paesi e siti industriali</i>	86.1	<i>Città, Centri abitati</i>		
		89	<i>Lagune industriali bacini e canali</i>	89.2	<i>Bacini e canali artificiali delle acque dolci</i>		

Tab. 9.2: valori di C utilizzati per il calcolo delle componenti

Categoria Corine Biotopes	Descrizione	A Carbonio Epigeo [Mg C ha-1]	B Carbonio Ipogeo [Mg C ha-1]	C Carbonio nel suolo [Mg C ha-1]	D Carbonio nella lettiera [Mg C ha-1]	Bibliografia
22.1	Acque ferme	0,00	0,00	37,00	0,00	(1)

<i>prive di vegetazione</i>						
22.2	<i>Sponde lacustri non vegetate</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
24.21	<i>Greti privi di vegetazione</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
31.48	<i>Brughiere calcifile montane e alpine ad Ericacee</i>	5,34	15,11	64,00	5,70	(2) A B (3) C D
31.8B	<i>Cespuglieti e siepi submediterranei sudorientali</i>	5,34	15,11	64,00	5,70	(2) A B (3) C D
31.8C	<i>Cespuglieti a Corylus avellana</i>	5,34	15,11	64,00	5,70	(2) A B (3) C D
34.752b	<i>Prati aridi submediterranei xerofili pianiziali e prealpini</i>	2,01	1,27	64,00	0,00	(3.1) A B (3) C D
36.413a	<i>Pascoli montani delle Alpi orientali a Carex austroalpina</i>	2,01	1,27	64,00	0,00	(3.1) A B (3) C D
36.52	<i>Prati pingui e degradati delle alte quote</i>	2,01	1,27	64,00	0,00	(3.1) A B (3) C D
38.2	<i>Prati da sfalcio pianiziali e collinari</i>	2,01	1,27	64,00	0,00	(3.1) A B (3) C D
41.1C3a	<i>Faggete calcifile illiriche submontane</i>	98,35	25,57	59,00	8,35	(4)
41.1C3b	<i>Faggete calcifile illiriche montane</i>	98,35	25,57	59,00	8,35	(4)
41.39	<i>Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo</i>	53,05	13,79	86,50	4,30	(4)
41.59	<i>Foreste acidofile di querce dell'Italia orientale</i>	44,10	11,47	61,50	7,90	(4)
41.731	<i>Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro- settentrionale</i>	44,10	11,47	61,50	7,90	(4)
41.81	<i>Boschi di Ostrya carpinifolia</i>	40,35	10,49	71,90	5,05	(4)
41.9	<i>Castagneti</i>	90,55	23,54	86,90	9,40	(4)
41.B3	<i>Betuleti montani e subalpini</i>	53,05	13,79	86,50	4,30	(4)
42.611	<i>Pinete pioniere delle Alpi orientali di pino nero e pino silvestre</i>	56,50	18,08	81,80	4,35	(4)
44.13	<i>Gallerie ripariali e boschi palustri a Salix alba</i>	20,20	5,25	107,10	4,75	(4)

44.614	<i>Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico</i>	20,20	5,25	107,10	4,75	(4)
53.11	<i>Canneti a Phragmites australis</i>	2,52	3,98	64,00	0,00	(2) A B (3) C D
61.31	<i>Ghiaioni termofili perialpini calcarei</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
62.15a	<i>Rupi calcaree montane</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
82.3	<i>Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi</i>	0	0	64,00	0	(3)
85.1	<i>Grandi Parchi</i>	12,82	36,50	79,00	0,00	(5) A B (6) C
86.1	<i>Città, Centri abitati</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	
89.2	<i>Bacini e canali artificiali delle acque dolci</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	

(1) EEA (2020) Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems: a lever for nature restoration? A quick scan for terrestrial and marine EUNIS habitat types. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Disponibile a: <https://www.eea.europa.eu/publications/carbon-stocks-and-sequestration-rates/carbon-stocks-and-sequestration-in>

(2) Swiss confederation (2020) Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2018. National Inventory Report. Bern, Switzerland. Disponibile a: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/greenhouse-gas-inventory.html>

(3) IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Switzerland. Dati di C in Volume 4 Ch02 2.2 per lettiera e legno morto e in Ch02 2.3 per il suolo. Disponibile a: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

(3.1) IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2003) Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Dati di C per la biomassa epigea in Ch03 3.4.2. Disponibile a: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>

(4) CREA – Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (2005) Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Disponibile a: <https://www.sian.it/inventarioforestale/index.do>

(5) Choudhury, M.A.M.; Marcheggiani, E.; Despini, F.; Costanzini, S.; Rossi, P.; Galli, A.; Teggi, S. Urban Tree Species Identification and Carbon Stock Mapping for Urban Green Planning and Management. *Forests* 2020, 11, 1226. <https://doi.org/10.3390/f11111226>

(6) Canedoli, C., Ferrè, C., El Khair, D.A. et al. Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks. *Urban Ecosyst* 23, 159–171 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00901-6>.

9.3 Risultati

Nell'area di studio, la maggior quantità di C stoccato nella biomassa, epigea o ipogea, è associata alle aree forestate dominate da specie di *Fagus sylvatica* e di *Fraxinus excelsior*. I valori più alti sono associati alle faggete calcifile illiriche montane e submontane e ai castagneti (98.35 – 90.55 Mg C ha⁻¹ per il pool epigeo e 25.57 – 23.54 Mg C ha⁻¹ per l'ipogeo, rispettivamente), dove in accordo con CREA (2005) le parcelle forestali sono particolarmente dense e mature. Valori medi, tra 56.50 e i 20 Mg C ha⁻¹ per il pool epigeo e tra 18.08 e 5 Mg C ha⁻¹ per

l'ipogeo, sono in tutte le altre tipologie forestali che domina l'area, incluse le gallerie ripariali di pioppo italico. Valori bassi tra 0 e 15 Mg C ha⁻¹ per entrambi i pool, caratterizzano i cespuglieti a nocciolo, le brughiere calcifile e i canneti a *Phragmites australis*. Valori pari a 0 sono stati attribuiti, oltre che alle aree urbane, anche in corrispondenza dei letti dei fiumi e nelle aree occupate dalle acque del lago, dove il C considerato è invece stoccato nel sedimento. Il C stoccato nel suolo ha i valori più alti, circa 107 Mg C ha⁻¹ nelle formazioni delle boscaglie ripariali caratterizzate da pioppi e salici. Questo ecosistema è particolarmente efficiente nell'intrappolare la materia organica sospesa durante le inondazioni e le variazioni periodiche del livello delle acque (Mcleod et al. 2011). Tra gli altri ecosistemi forestali, valori sopra gli 80 Mg C ha⁻¹ si hanno in corrispondenza delle foreste di castagno e nei betulleti, di specie igrofile e nelle formazioni caratterizzate da frassino e nocciolo. Valori relativamente bassi da 60 a 85 Mg C ha⁻¹, sono nelle rimanenti tipologie forestali e nelle aree coltivate. Valori pari a 0 sono associati alle categorie non vegetate (città, rupi, ghiaioni e canali artificiali). Infine, il C stoccato nella materia organica morta, sebbene con valori ridotti, riflette le mappe di C stoccato nei pool epigeo e ipogeo. I valori più alti, pari a circa 10 Mg C ha⁻¹ sono presenti nelle foreste di castagno dove la grande quantità, densità e acidità della lettiera favorisce una decomposizione lenta e dunque una maggiore permanenza del C in questo pool. Valori bassi, tra 0 e 4 Mg C ha⁻¹, sono presenti nelle piantagioni, dove la biomassa persa è periodicamente rimossa. Infine, considerando l'accumulo di C complessivo in tutti i pool sopraccitati, sono le foreste di *Fagus sylvatica* e *Castanea sativa* a stoccare il maggior quantitativo di carbonio, con valori sopra i 190 Mg C ha⁻¹.

Sulla base dei valori stimati e appena descritti per i singoli ecosistemi, sono state calcolate le tonnellate totali di C stoccato nell'area di studio, per ciascun pool e in funzione delle superfici complessive occupate dagli habitat Corine Biotopes. Le mappe di stoccaggio sono mostrate in figura 9.1 mentre l'associato dato quantitativo è presentato in tabella 9.3.

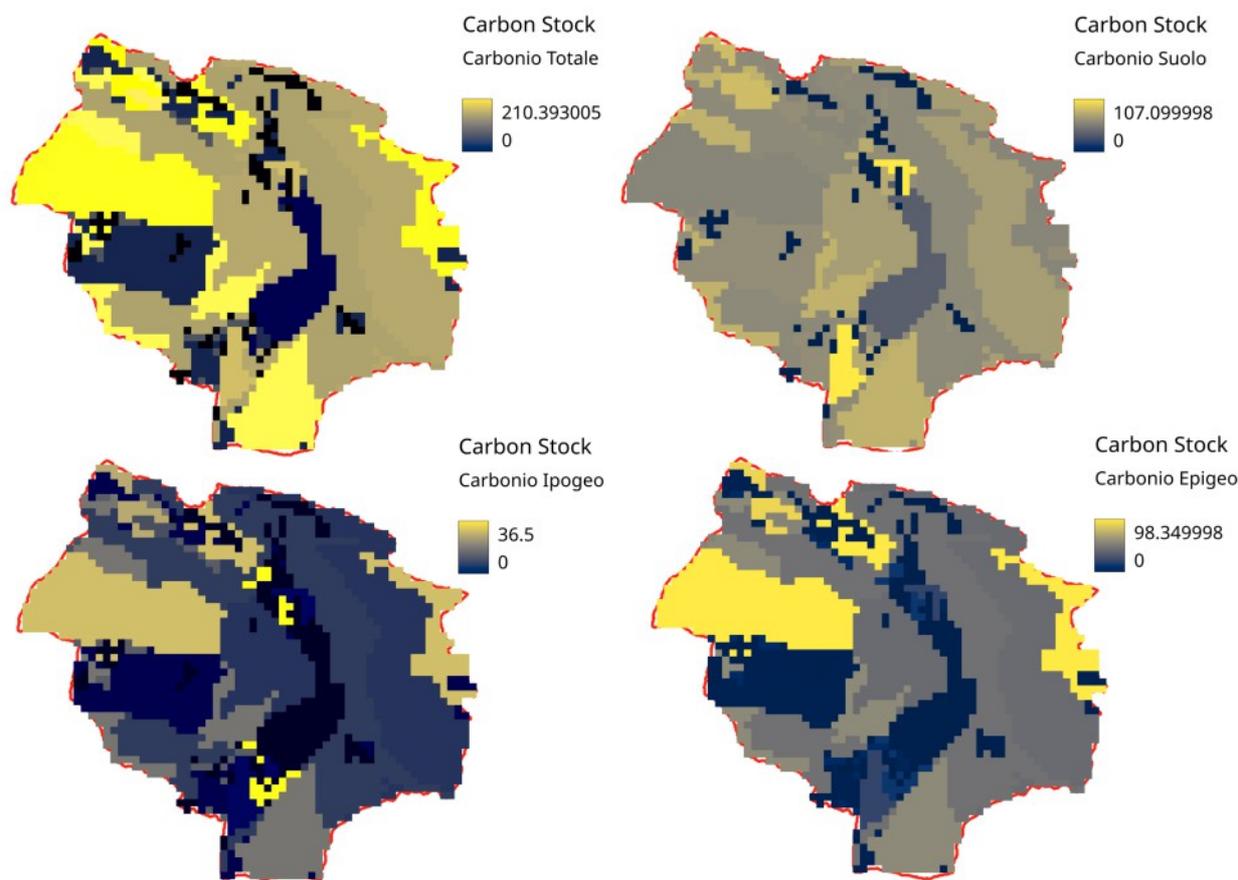


Fig. 9.1: mappe di stima del Carbonio, suddivisa nei diversi compartimenti, per l'area del bacino idrografico che insiste sul lago di Cavazzo

Tab. 9.3: Quantitativi di C stoccato nelle varie componenti (suolo, epigeo, ipogeo, lettiera e totale) suddiviso per ecosistemi presenti nell'area di studio del Lago dei Tre Comuni.

Categoria Corine Biotopes	Descrizione	Somma C Totale [Mg C ha-1]	C Suolo Totale [Mg C ha-1]	C Epigeo Totale [Mg C ha-1]	C Ipogeo Totale [Mg C ha-1]	C Lettiera Totale [Mg C ha-1]
22.1	Acque ferme prive di vegetazione	4329,00	4329,00	0,00	0,00	0,00
22.2	Sponde lacustri non vegetate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24.21	Greti privi di vegetazione	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
31.48	Brughiere calcifile montane e alpine ad Ericacee	811,35	576,00	48,05	136,00	51,30
31.8B	Cespuglieti e siepi submediterranei sudorientali	991,65	704,00	58,73	166,22	62,70
31.8C	Cespuglieti a <i>Corylus avellana</i>	811,35	576,00	48,05	136,00	51,30
34.752b	Prati aridi submediterranei xerofili planiziali e prealpini	134,55	128,00	2,54	4,01	0,00
36.413a	Pascoli montani delle Alpi orientali a <i>Carex austroalpina</i>	10562,02	10048,00	199,23	314,79	0,00

36.52	Prati pingui e degradati delle alte quote	470,92	448,00	8,88	14,04	0,00
38.2	Prati da sfalcio planiziali e collinari	4574,63	4352,00	86,29	136,34	0,00
41.1C3a	Faggete calcifile illiriche submontane	50878,08	15694,00	26161,10	6801,89	2221,10
41.1C3b	Faggete calcifile illiriche montane	18362,02	5664,00	9441,60	2454,82	801,60
41.39	Formazioni postcolturali a frassino maggiore e nocciolo	1576,43	865,00	530,50	137,93	43,00
41.59	Foreste acidofile di querce dell'Italia orientale	1249,66	615,00	441,00	114,66	79,00
41.731	Querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale	66107,01	32533,50	23328,90	6065,51	4179,10
41.81	Boschi di <i>Ostrya carpinifolia</i>	59678,40	33577,30	18843,45	4899,30	2358,35
41.9	Castagneti	5680,61	2346,30	2444,85	635,66	253,80
41.B3	Betuleti montani e subalpini	315,29	173,00	106,10	27,59	8,60
42.611	Pinete pioniere delle Alpi orientali di pino nero e pino silvestre	40503,96	20613,60	14238,00	4556,16	1096,20
44.13	Gallerie ripariali e boschi palustri a <i>Salix alba</i>	1510,32	1178,10	222,20	57,77	52,25
44.614	Boscaglie ripariali a galleria di pioppo italico	4393,66	3427,20	646,40	168,06	152,00
53.11	Canneti a <i>Phragmites australis</i>	493,50	448,00	17,64	27,86	0,00
61.31	Ghiaioni termofili perialpini calcarei	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
62.15a	Rupi calcaree montane	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
82.3	Colture di tipo estensivo e sistemi agricoli complessi	1024,00	1024,00	0,00	0,00	0,00
85.1	Grandi Parchi	3721,41	2291,00	371,91	1058,50	0,00
86.1	Città, Centri abitati	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
89.2	Bacini e canali artificiali delle acque dolci	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Risulta che le faggete, considerare complessivamente, rappresentano le foreste in grado di stoccare la maggior quantità di carbonio (circa il 25% delle 278.179 tonnellate totali), seguite dalle quercete (24%) e dagli ostrieti (21%), le due tipologie forestali più diffuse in prossimità del lago. La quantità di C stoccata nel sedimento del lago costituisce l'1.5% del C totale.

Come considerazione generale, si può concludere che la quantità di C stoccato dagli ecosistemi nell'area analizzata risulta alta, grazie alla diffusa presenza di habitat forestali ampiamente estesa e una ridotta urbanizzazione. Si possono comunque individuare, anche in un'ottica di sviluppo di azioni di mitigazione ai cambiamenti climatici, modalità ed interventi per aumentare la quantità di C stoccata. Come da quanto appena discusso, le formazioni boschive igrofile hanno una grande capacità di accumulo di C, oltre a fornire altri importanti servizi ecosistemici legati alla qualità delle acque e alla biodiversità. Esistono ampie zone di pertinenza del lago, situate nell'area del canale emissario artificiale e del vecchio emissario (rio Schiasazze) nel torrente Palar che sono attualmente fortemente modificati dall'azione dell'uomo, privi di vegetazione (cementificate in corrispondenza del canale artificiale), mantenuti a prato sfalciato (in corrispondenza delle aree ricreative e del campo sportivo sulla via Interneppo – porzione meridionale del lago) o con un pioppeto di probabile impianto (figg. 9.2, 9.3, 9.4 9.5). Queste aree rappresentano luoghi ideali dove poter effettuare delle opere di rinaturalizzazione e ripristino di una vegetazione igrofila di boscaglie ripariali in mosaicatura con patch di vegetazione spondicola di acque lentamente fluenti o stagnanti dominate dal magnocariceto. Tale intervento si pone in linea con il recupero della connettività del lago con il torrente Leale, come azione prevista per l'ittiofauna.



Fig. 9.2: condizione attuale degli argini cementificati all'imbocco del canale emissario artificiale del lago



Fig. 9.3: prato gestito con sfalci periodici in corrispondenza del campo sportivo



Fig. 9.4: prati sfalciati in prossimità del ponte di Via Interneppo



Fig. 9.5: praterie sfalciate al margine della pioppeta a Populus nigra

Inoltre, tutti gli ulteriori interventi atti a favorire condizioni ambientali più favorevole e stabili per la formazione delle fasce macrofitiche attualmente assenti o compromesse, sono da considerarsi positive nel fornire un aumento dello stock di carbonio immagazzinato nella componente vegetale.

9.4 CO₂ evitata

L'analisi dello stock di carbonio totale immagazzinato all'interno dei 4 pool esaminati conduce ad una stima totale di C pari a 278179 tonnellate. In una valutazione complessiva, andrebbe considerata anche la quantità di produzione evitata e non immessa in atmosfera di CO₂ grazie all'energia idroelettrica fornita annualmente dal funzionamento della centrale di Somplago.

Se si esprime l'energia prodotta in chilowattora (kWh) si può scrivere:

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Ai fini della valutazione dell'energia primaria equivalente si tiene conto del

rendimento delle macchine termiche che producono energia bruciando combustibili fossili, rapportato al rendimento degli impianti idroelettrici.

Pertanto l'equivalenza diventa:

1 kWh (idroelettrico) = 9,2 MJ (termici da olio combustibile)

Il potere calorifico inferiore dell'olio combustibile è 9.800 kcal/kg = 41,0 MJ/kg.

La CO₂ prodotta dalla combustione di 1 kg di olio è pari a 3,2 kg, da cui si ottiene una produzione di 78 g di CO₂ per ogni MJ di energia prodotta da olio combustibile¹.

Si calcola pertanto che ogni kWh prodotto per via idroelettrica riduce l'emissione in atmosfera di $9,2 \times 0,078 = 0,72$ kg di CO₂, quantità che somma a 720 tonnellate per ogni GWh di energia idroelettrica prodotta.

Considerando che la centrale ha una produzione media annua di circa 400 GWh, si ottiene quindi un valore di 288.000 tonnellate annue.

9.5 Commento

Come nota metodologica a margine, si vuole ricordare che i metodi per mappare i SE, incluso i SE di sequestro e stoccaggio di carbonio, possono essere raggruppati in 3 categorie principali con complessità crescente. Nella forma più semplice, detta di Livello 1, vengono usati dati comunemente accessibili e i SE sono mappati direttamente sulle mappe di copertura e uso del suolo, per cui ogni categoria ha un unico valore del servizio ecosistemico. Nel Livello 2 vengono incorporati dati di dettaglio dell'area di studio per migliorare l'accuratezza e la precisione del Livello 1, infine nelle metodologie di Livello 3 sono integrati veri e propri modelli che simulano i processi sia biologici che fisici che avvengono nell'ecosistema. Il framework qui proposto utilizzando la modellizzazione InVEST consente di valutare il SE di stoccaggio di C mediante un approccio di Livello 2. L'organizzazione del dato di input (cioè del C stoccato nei diversi pool) è l'aspetto più complesso del modello e, a seconda del dato e della sua disponibilità, può rivelarsi oneroso in termini di tempo di sviluppo. Mentre le informazioni relative alla copertura/uso del suolo possono essere anche molto dettagliate, la bibliografia disponibile per approssimare i valori di C per queste categorie è spesso molto generale o assente. Basti pensare che il primo tentativo di stima di questo SE per

¹ Dato sostanzialmente in linea con la Decisione della Commissione UE 2001/405/CE, che fornisce per l'olio combustibile un valore orientativo compreso tra 74 e 77.

l'Europa è stato pubblicato soltanto recentemente, nel Novembre 2020 (EEA, 2020). Nel caso dell'analisi effettuata per il Lago dei Tre Comuni, InVEST è stato utilizzato come strumento per una quantificazione del C stoccato in area di studio ampia; solo per le categorie di foresta (CBC 4) si sono potuti utilizzare dati di dettaglio che utilizzano le caratteristiche regionali (Livello 2), per le restanti categorie si sono utilizzati inventari di altri Stati (Swiss confederation, 2020) o linee guida sovranazionali (EEA, 2020; IPCC) (Livello 1). Una quantificazione più accurata e specifica richiederebbe ulteriori approfondimenti e una raccolta di informazioni dettagliate sulla qualità e funzionalità degli habitat qui presenti. In conclusione, quindi, le stime effettuate e le mappe prodotte devono essere considerate come un supporto per informare sullo stato del territorio analizzato, a supporto della gestione e della pianificazione.

9.6 Bibliografia

Alberti G, Delle Vedove G, Zuliani M, Peressotti A, Castaldi S, Zerbi G (2010). Changes in CO₂ emissions after crop conversion from continuous maize to alfalfa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 136: 139–147.

Burkhard B, Maes J. (2017) *Mapping Ecosystem Services*. Advanced Books; e12837

CREA – Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (2005) *Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio*. Disponibile a: <https://www.sian.it/inventarioforestale/index.do>

EEA – European Environment Agency (2020) *Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems: a lever for nature restoration? A quick scan for terrestrial and marine EUNIS habitat types*. Wageningen Environmental Research, Wageningen. Disponibile a: <https://www.eea.europa.eu/publications/carbon-stocks-and-sequestration-rates/carbon-stocks-and-sequestration-in>

FAO - Food and Agriculture Organization (1992). *Soil map of the world – Europe*. Disponibile da: <https://www.fao.org/home/en/>

FAO - Food and Agriculture Organization (2010) *Global Ecological Zones for FAO Forest Reporting 2010 Update*. Forest Resources Assessment Working Paper 179 Disponibile da: <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/c4ce1aec-7b11-516e-a9c0-ca2ee01b505d/>

Haines-Young R & Potschin-Young, M (2013) The Common International Classification for Ecosystem Services (CICES). Disponibile da: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Disponibile da: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf.html>

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC, Switzerland. Disponibile da: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

MA – Millenium Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. A report of the millenium ecosystem assessement. Island Press, Washington, DC.

Mcleod, E., Chmura, G.L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C.M., Lovelock, C.E., Schlesinger, W.H. and Silliman, B.R. (2011), A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9: 552-560. <https://doi.org/10.1890/110004>

Swiss confederation (2020) Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2018. National Inventory Report. Bern, Switzerland. Disponibile da: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/greenhouse-gas-inventory.html>

Tallis HT, Ricketts T, Ennaanay D, Nelson E, Vigerstol K, Mendoza G, Wolny S, Olwero N, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D (2008) InVEST 1.003 beta User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford

10. GESTIONE DEL MATERIALE FINE

Il tema del materiale fine in ingresso è sicuramente rilevante nel contesto complessivo della presente indagine conoscitiva sulla “salute” del lago di Cavazzo, e questo per un motivo molto semplice: il suo interrimento è un fenomeno irreversibile (il materiale depositato non può essere asportato, se non a fronte di costi proibitivi), che nella misura in cui viene incrementato nella sua consistenza dagli apporti provenienti dalla centrale di Somplago, comporta un'accelerazione nella riduzione del volume dello specchio d'acqua, e di conseguenza l'avvicinarsi del momento in cui tale volume sarà azzerato.

Anche il tema della torbidità dell'acqua e delle sue conseguenze a carico dell'ecosistema acquatico viene trattato in questa sede, dato che i due fenomeni sono strettamente collegati.

10.1 Meccanismi di introduzione del materiale fine al lago

Il materiale solido afferente al lago può avere due origini:

- 1) naturale, proveniente dai corsi d'acqua che versano nel lago e dai versanti
- 2) artificiale, proveniente dallo scarico della centrale di Somplago

In merito agli **apporti naturali**: i rii e i corsi d'acqua che dai versanti si gettano nel lago contribuiscono in varia misura all'apporto naturale di materiale in ingresso; il fenomeno è però almeno in parte limitato dalle opere di regimazione idraulica realizzati in alcuni di essi. Inoltre sul versante destro, caratterizzato dalla presenza di roccia affiorante, e sponde ripide, sono state posizionate quasi ovunque opere di protezione dalla caduta dei massi, a protezione della strada litoranea, costituite da barriere elastoplastiche di trattenuta e reti in aderenza, atte a trattenere il materiale a pezzatura più grossa.

Al paragrafo 10.3 è descritta una valutazione del trasporto solido che consente di stimare l'apporto medio annuo al lago.

Quanto agli **apporti artificiali**: in linea generale l'acqua che alimenta gli impianti idroelettrici deve necessariamente essere “pulita”, cioè per quanto possibile priva di

materiale fine trascinato che può nuocere, a lungo termine, sull'efficienza dei componenti, in particolare le giranti. Per questo è di primario interesse per il proprietario dell'impianto che l'apporto di materiale fine sia il più possibile limitato.

L'impianto di Somplago utilizza le acque del bacino a regolazione giornaliera di Verzegnis, che a loro volta provengono da bacini imbriferi allacciati dell'alto Tagliamento, tra i quali quello sbarrato dalla diga di Lumiei, a regolazione stagionale, che alimenta la centrale di Ampezzo. Questi due bacini operano essenzialmente come desabbiatori; ma anche le opere di presa non regolate sono tutte dotate di impianto di pretrattamento per la rimozione selettiva del materiale solido proveniente dai corsi d'acqua captati.

Si osserva inoltre che il sistema derivatorio che alimenta il bacino di Verzegnis presenta diverse opere a sifone in sottopasso del Tagliamento e anche del Degano, che in presenza di acque limacciose provenienti da monte andrebbero frequentemente incontro ad intasamenti.

Un punto particolarmente importante dell'impianto è l'imbocco del condotto che dal bacino di Verzegnis porta le acque alla galleria verticale di alimentazione della centrale di Somplago.

La diga dell'Ambiesta è stata costruita negli anni 1955-1957 dalla SADE, e presenta una struttura ad arco a doppia curvatura. Il bacino originato dalla diga ha un volume utile di 3,6 milioni di m³, e svolge una funzione di regolazione giornaliera e settimanale delle acque provenienti dall'alto Tagliamento e dal Torrente Degano destinate ad alimentare la centrale di Somplago.

L'altezza della diga è di 58,63 metri. Il coronamento della diga si trova a quota 486,50 m s.l.m., mentre il piede del paramento di monte è a quota 430,00 m; lo scarico di esaurimento si trova a quota 432 m s.l.m., mentre lo scarico di fondo è a quota 435 m s.l.m. (le ultime due quote sono desunte dai disegni della diga).

L'opera di presa è posta a quota 446,284 m s.l.m., pertanto oltre 16 metri più in alto del piede della diga.

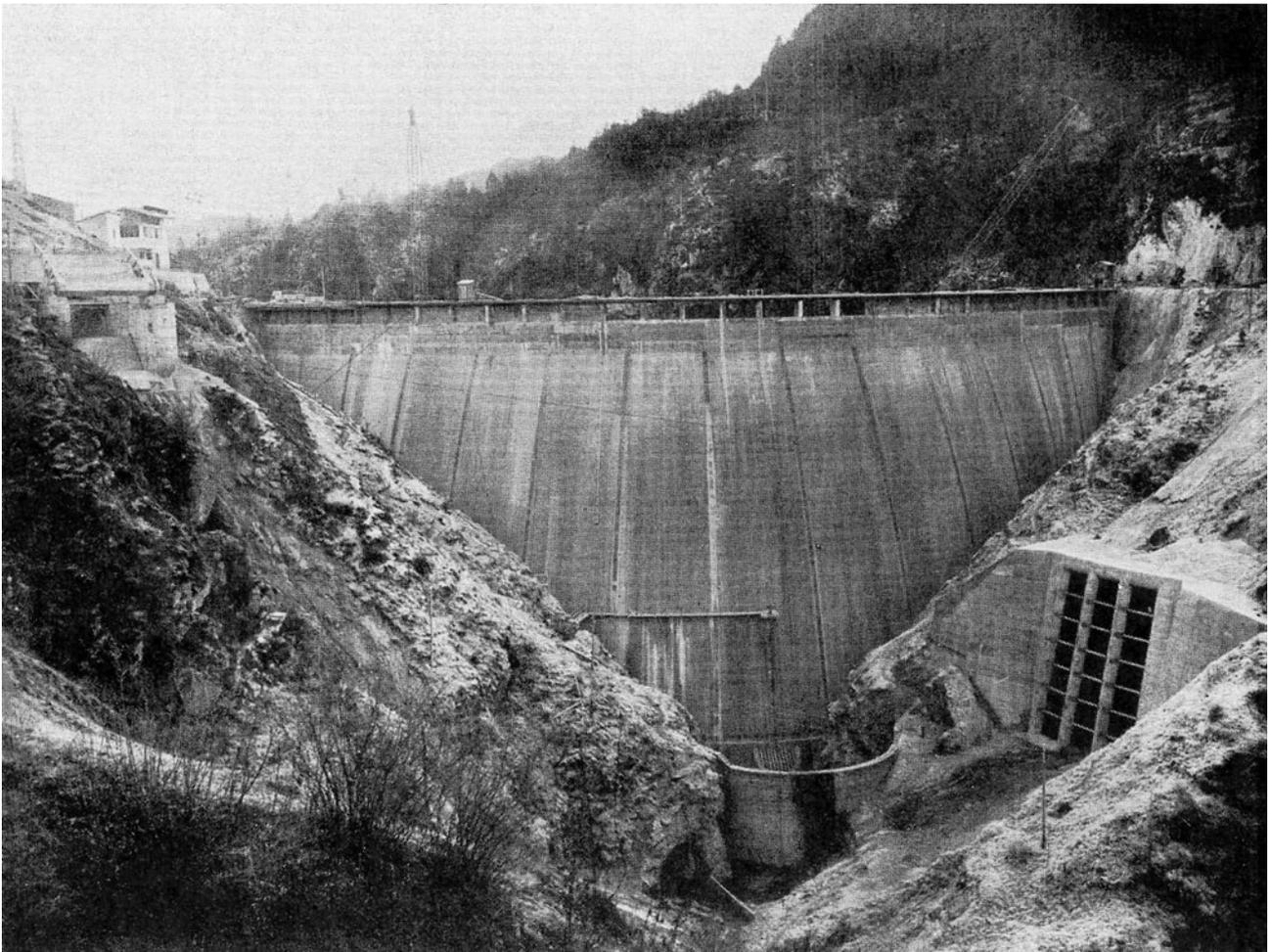


Fig. 10.1: la diga dell'Ambiesta. In basso a destra si nota l'imbocco di presa.

Quest'ultimo dato è importante perché il materiale fine in arrivo al lago è impedito nel suo accesso all'imbocco (a destra nella foto), in quanto è destinato a depositarsi decisamente più in basso. Gli sfangamenti periodici del lago (l'ultimo di cui si ha notizia è stato effettuato a fine 2014) hanno in genere lo scopo di garantire la pervietà degli scarichi di fondo e di esaurimento, di modo che proprio l'area prospiciente il paramento di monte, dove è presente anche l'opera di presa, viene tenuta libera da detriti. Va anche ricordato che l'apporto di materiale fine avviene in minima parte dal bacino imbrifero direttamente allacciato, la cui superficie è pari a circa 9 km². Pertanto anche in condizioni di piogge particolarmente abbondanti il materiale in arrivo allo sbarramento non sarebbe in grado di raggiungere il livello dell'imbocco.

Il materiale che è in grado di raggiungere l'imbocco è composto in realtà da particelle talmente fini da non consentirne la sedimentazione, e pertanto rimanere in sospensione nell'acqua che perviene al lago di Cavazzo e ne causa

l'intorbidimento.

Nel contesto di un intervento di rimozione selettiva del sedimento nel bacino dell'Ambiesta effettuato da Edipower a fine 2014, è stato commissionato a Graia un monitoraggio in continuo di tipo chimico-fisico che prevedeva anche la misurazione della torbidità. Una delle sonde turbidimetriche è stata posizionata nel lago di Cavazzo, ed ha monitorato la concentrazione dei solidi sospesi nel periodo tra il 02/10/2014 ed il 16/12/2014.

I valori rilevati sono stati prossimi a zero per tutto il periodo, eccezion fatta per due episodi collegati il primo a piogge consistenti (800 mm complessivi di pioggia registrati ad Alesso tra il giorno 4 e il giorno 18 novembre) ed il secondo probabilmente ad una frana occorsa nella zona.

Questo monitoraggio conferma quanto registrato già nella pratica: la presenza di solidi sospesi è avvertita solo in occasione di piogge abbondanti, come quella occorsa i giorni 10 e 11 maggio 2023, di cui si dà conto più avanti.

In tali circostanze l'acqua scaricata dalla centrale forma un pennacchio biancastro che può arrivare a coprire buona parte della superficie del lago, con un successivo lento ripristino delle condizioni normali di acque limpide, favorito dal rapido ricambio delle acque generato dal funzionamento dell'impianto. Non è facilmente stimabile né la quantità di materiale in arrivo per effetto di questo meccanismo, né la quota parte che viene scaricata dal canale emissario.

Indipendentemente dalle quantità, il fenomeno dell'interrimento da materiale in sospensione proveniente dalla centrale, oltre all'intorbidimento, è comunque in grado di creare problematiche all'ecosistema lacuale: le hanno segnalate i ricercatori dell'Istituto di scienze marine del CNR di Bologna (Ismar-CNR), evidenziando che il fondale viene ricoperto di una lamina fangosa per cui le sostanze organiche vanno in anossia e, in quantità ridotte, producono gas metano. Gli studiosi confermano che l'apporto periodico di sedimenti estranei al bacino lacustre avviene sotto forma di colate durante le piene del Tagliamento, quando la centrale turbinata acque limacciose, ma avvisa che tale apporto provoca una specie di sterilizzazione del fondo, che impedisce alla vita di proliferare sul fondo del lago.

10.2 Velocità di sedimentazione nel lago

Al fine di valutare l'evoluzione della quantità di materiale totale

(naturale+artificiale) sedimentato, l'approccio che dà certamente risultati più sicuri in termini di grado di confidenza è la misura diretta del volume del lago mediante rilievo batimetrico del bacino, che rileva in ogni punto della superficie bagnata dal lago la profondità del fondo.

A partire dal rilievo batimetrico è possibile tracciare il diagramma denominato curva dei volumi, ovvero la curva che ad ogni quota topografica associa il volume d'acqua presente nel lago.

L'interpolazione del dato di profondità rilevato in un numero adeguato di punti del lago (maggiore è l'infittimento dei punti, più precisa potrà essere l'interpolazione) consente di individuare le curve isobate, cioè le curve (chiuse) ad uguale profondità, e dalla misura della superficie racchiusa in ciascuna isobata si ottiene il diagramma delle superfici, da cui per integrazione si ricava la curva dei volumi.

L'esecuzione del rilievo batimetrico, chiaramente non banale per un lago di queste dimensioni, se effettuato a distanza di alcuni anni, consente di confrontare le curve dei volumi in tempi diversi e così stimare il volume del materiale sedimentato nel lasso temporale che intercorre tra le diverse misurazioni.

Dalla lettura del materiale disponibile risultano effettuati i rilievi batimetrici del lago di Cavazzo indicati in tab. 10.1:

Anno	Esecutore
1893	O. Marinelli
1959	SADE
1972	Pironio
1977	Miccoli e Specchi
2011	Graia
2015	Ismar-CNR
2018	Ismar-CNR
2019	Graia

Tab. 10.1

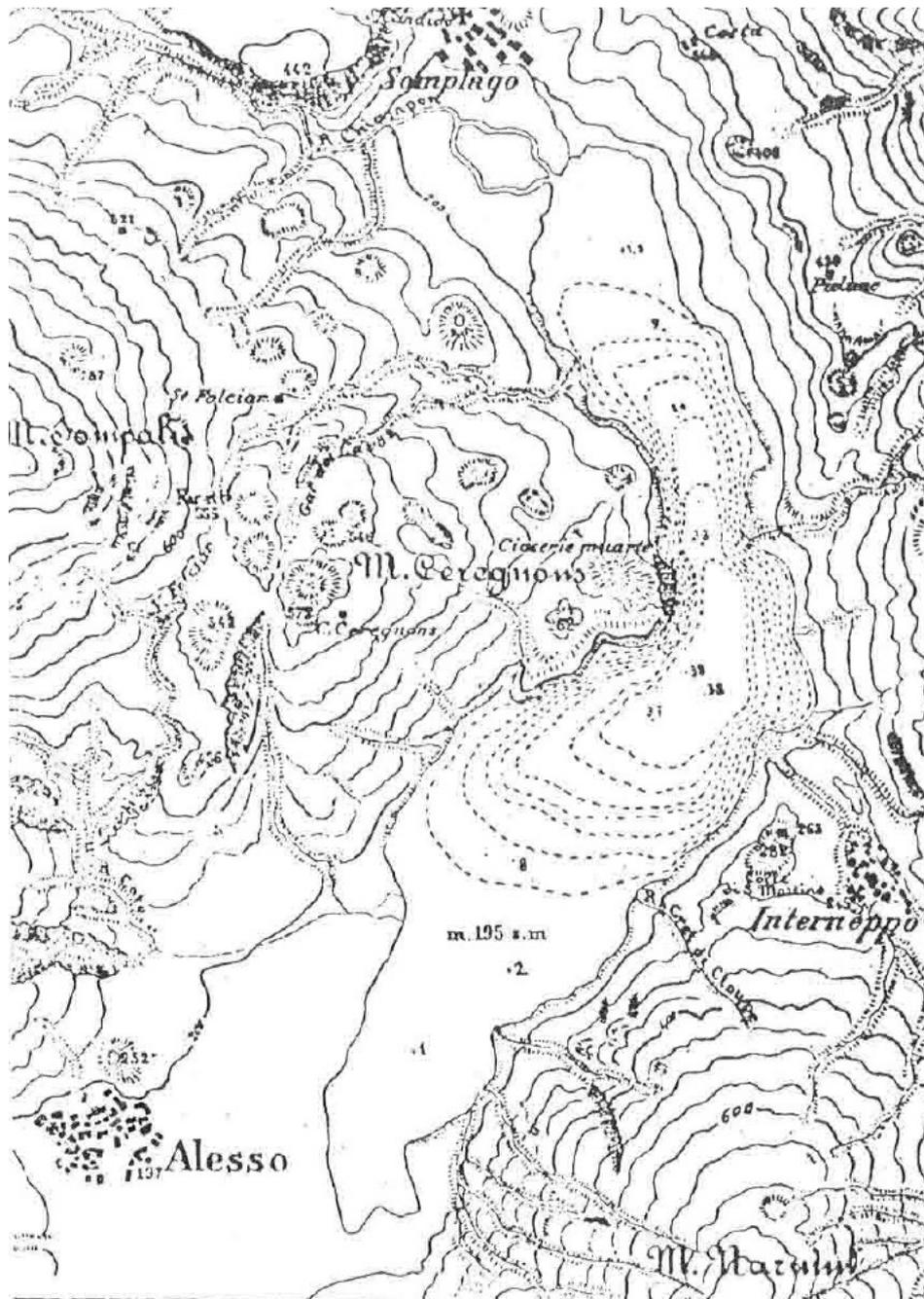


Fig. 10.2: la prima batimetria del 1893, pubblicata da Olinto Marinelli

Garzon² ha effettuato una prima elaborazione sulla base delle batimetrie fino a quel momento disponibili, confrontando in particolare il rilievo SADE (che lui data 1956) e quello di Miccoli e Specchi del 1977.

Da tale raffronto emergerebbe una differenza di volumi pari a 2.687.000 m³ riferito alla quota di 194,40 m s.l.m, a cui corrisponderebbe una velocità di sedimentazione di 134.000 m³/anno, pari a 115 mm/anno “spalmati” sulla superficie del lago.

Il rilievo SADE utilizza isobate a scansione 1 metro, mentre quello del 1977

² Ing. Franco Garzon – Perizia di valutazione del progetto Edipower, gennaio 2011

presenta isobate ogni 5 metri, e non riporta indicazioni sulle quote assolute.

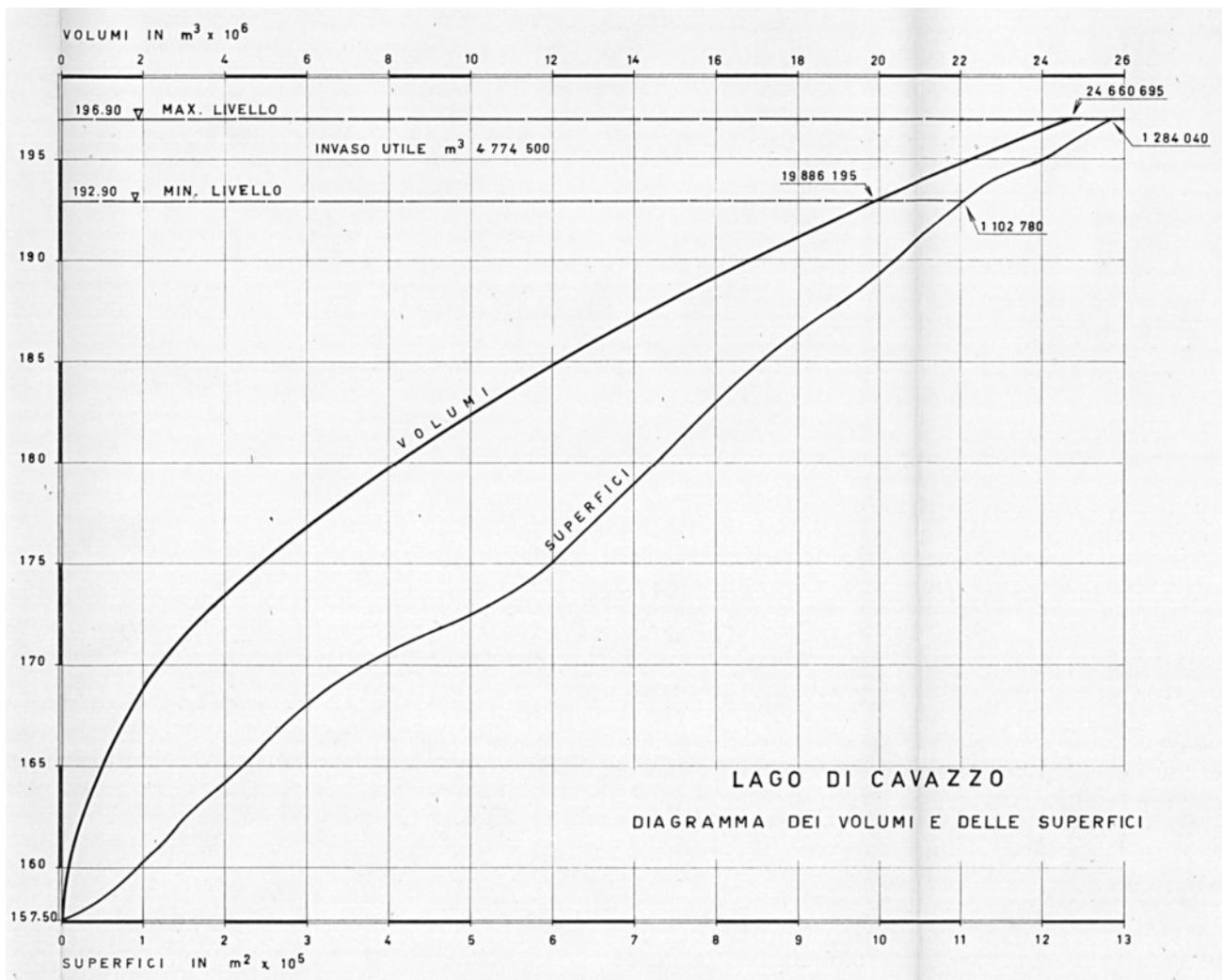


Fig. 10.3: curva dei volumi SADE, 1959.

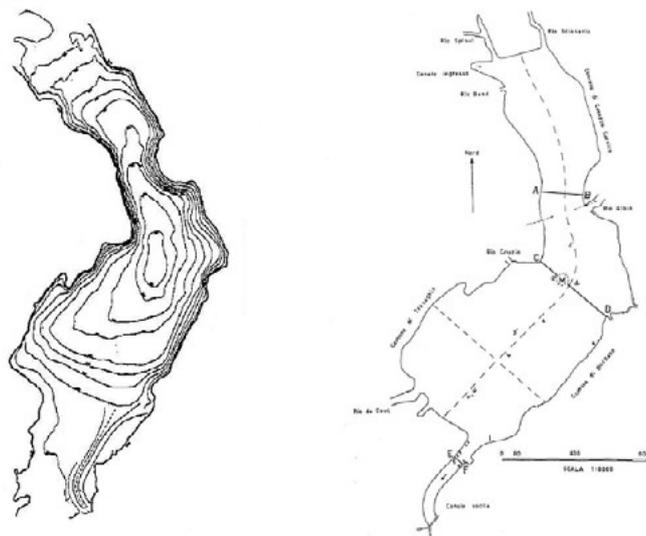


Fig. 10.4: batimetria di Miccoli e Specchi, 1977

Dato che le due curve delle superfici risultano traslate l'una rispetto all'altra, per tutte le profondità, di 3 metri, anche in considerazione dei lavori svolti successivamente si ritiene che ci sia un errore di indicazione della quota assoluta nel rilievo del 1977. Ove così non fosse si dovrebbe accettare l'ipotesi poco credibile di un "materasso" dello spessore costante di 3 metri su tutto il fondale di materiale sedimentato nel corso di 20 anni, che proiettato nel 2023, sarebbe evoluto a circa 10 metri. Tutti i rilievi effettuati recentemente hanno smentito questa analisi. Su richiesta dell'allora proprietario dell'impianto di Somplago, Edipower, lo studio Graia di Varese ha effettuato nel 2011 una prima campagna batimetrica con ecoscandaglio. A questa ne è seguita una seconda nel 2019, sempre con la medesima tecnologia, commissionata da A2A, nel frattempo intervenuta al precedente concessionario. Le due batimetrie ottenute sono state messe a confronto tra loro e con quella originaria di SADE. Il confronto è riportato in fig. 10.5.

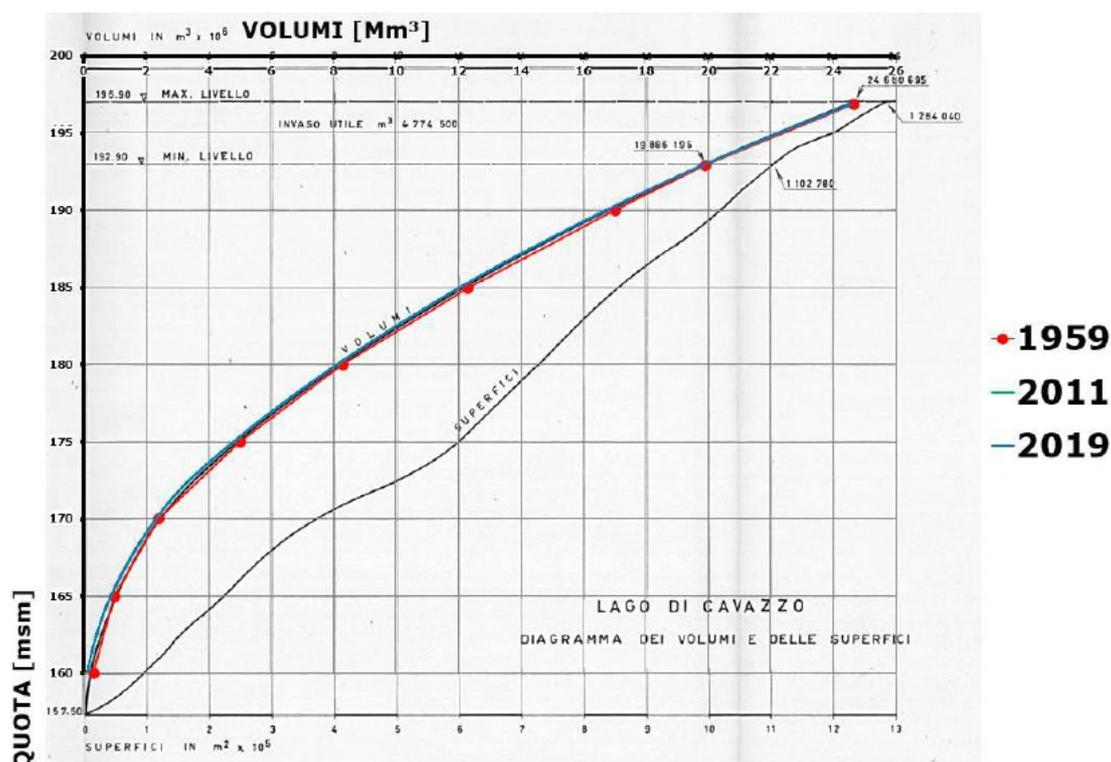


Fig. 10.5: confronto tra le batimetrie SADE (1959) e Graia (2011 e 2019)

Nella tabella 10.2 si riportano i valori dei volumi nei diversi periodi alla quota di 195,50 m s.l.m.

Rilievo	Volume (m ³)
SADE 1959	22.990.000
Edipower 2011 (Graia)	22.866.000
A2A 2019 (Graia)	22.833.000

Tab. 10.2

Il confronto fra i due rilievi più recenti porta ad una perdita di volume idrico, quindi ad un aumento del sedimento presente, di 33.000 m³; tale valore, che rappresenta lo 0,14% del volume complessivo disponibile nel lago di Cavazzo, mediato sul periodo intercorso fra i due rilievi, consente di stimare un apporto medio annuo di sedimenti di circa 4.100 m³/anno. Tale apporto complessivo negli otto anni corrisponde ad una deposizione media di circa 3 cm sulla superficie complessiva del bacino lacustre (<4 mm/anno). Se però si estende il confronto all'intero periodo 1959-2019, il tasso di deposizione annua scende a 2.600 m³/anno.

Le indagini eseguite da Graia, pur non avendo questo preciso fine, rendono in ogni caso possibile anche la comparazione spaziale dei due rilievi, evidenziando le aree dove si sono osservate variazioni, localizzate per lo più nella sponda meridionale del lago, interessata dall'apporto solido del Rio da Cout. Da ciò gli autori dei due rilievi concludono che al pur ridotto incremento di materiale sedimentato nel lago concorrono almeno in parte cause naturali.

Il Servizio Gestione Risorse Idriche (SGRI) della Regione Friuli Venezia Giulia, a partire dalle mappe batimetriche vettoriali prodotte da Graia, ha effettuato una rielaborazione volta ad evidenziare le zone in erosione e le zone in deposito dal confronto tra i due rilievi. Il risultato è riportato in figura, dove i valori negativi (dal giallo al verde) rappresentano le zone di erosione, mentre quelli positivi (dall'arancione al rosso) rappresentano le zone di accumulo. Una fascia buffer di 30 metri a bordo sponda è stata eliminata in quanto dai risultati ottenuti si è valutato che in quella fascia i valori sono più probabilmente riconducibili alle condizioni di rilievo e di successiva rielaborazione.

Si conferma una zona di maggior deposito verso sud. Le differenze sono in un range compreso tra -2,40 metri e +1,66 metri. I volumi risultano diminuiti di 80.000 m³, ovvero circa 10.150 m³ all'anno.

Secondo Graia la differenza tra gli 80.000 m³ ottenuti dal SGRI e i 33.000 m³ di Graia sono dovuti al doppio passaggio vettoriale-raster, che porta necessariamente a qualche imprecisione aggiuntiva. Si aggiunge qui che almeno in parte potrebbe influire sull'esito l'eliminazione della fascia buffer, che contiene proprio i punti a maggiore erosione. Sia Graia che SGRI in ogni caso concordano sul fatto che le due batimetrie erano state effettuate allo scopo di valutare la curva dei volumi e la sua evoluzione nel tempo, e non per sovrapporle fra loro.

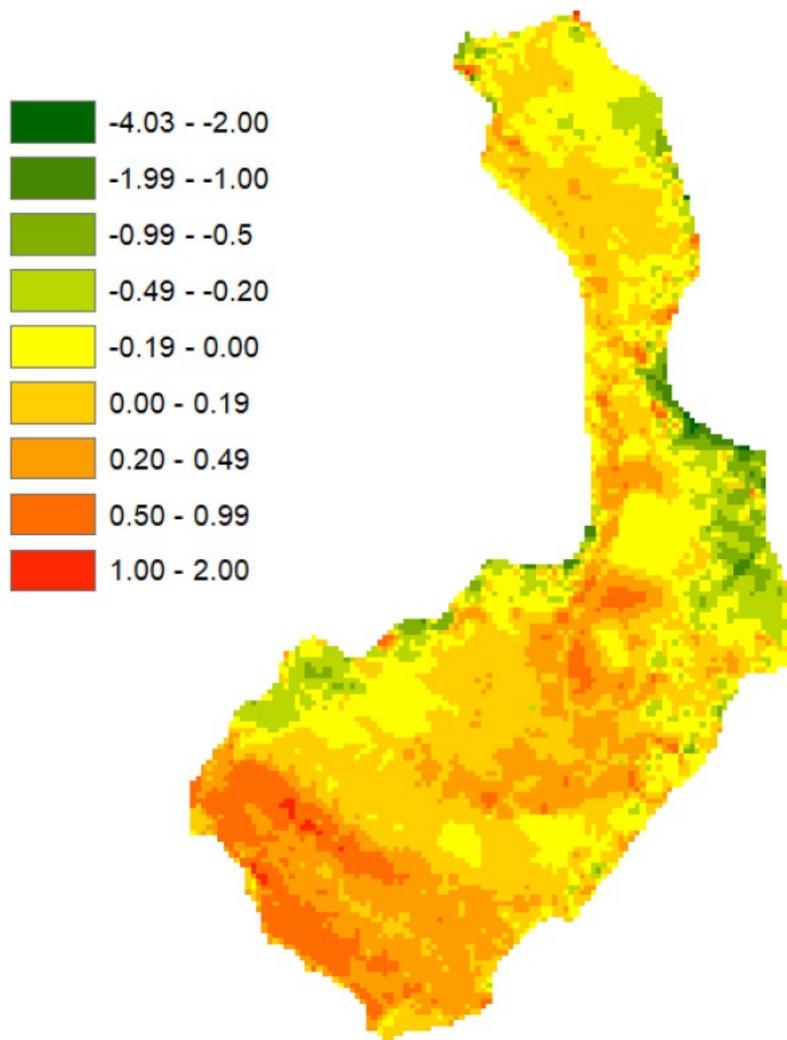


Fig. 10.6: rappresentazione grafica della rielaborazione SGRI

Nel 2015 l'Ismar-CNR di Bologna ha condotto un primo rilievo geofisico-geologico del lago di Garda, fra il resto, a compilare una mappa morfo-batimetrica di dettaglio del fondale e una mappa di spessore e della distribuzione superficiale dei sedimenti, nonché a stimare la velocità di sedimentazione e la natura dei sedimenti lacustri nella porzione più superficiale della successione stratigrafica.

Il rilievo del fondale del lago è stato effettuato mediante ecoscandaglio, ed ha prodotto la mappa morfo-batimetrica speditiva riprodotta nella figura 10.7 con intervallo tra le isobate pari a 5 metri.

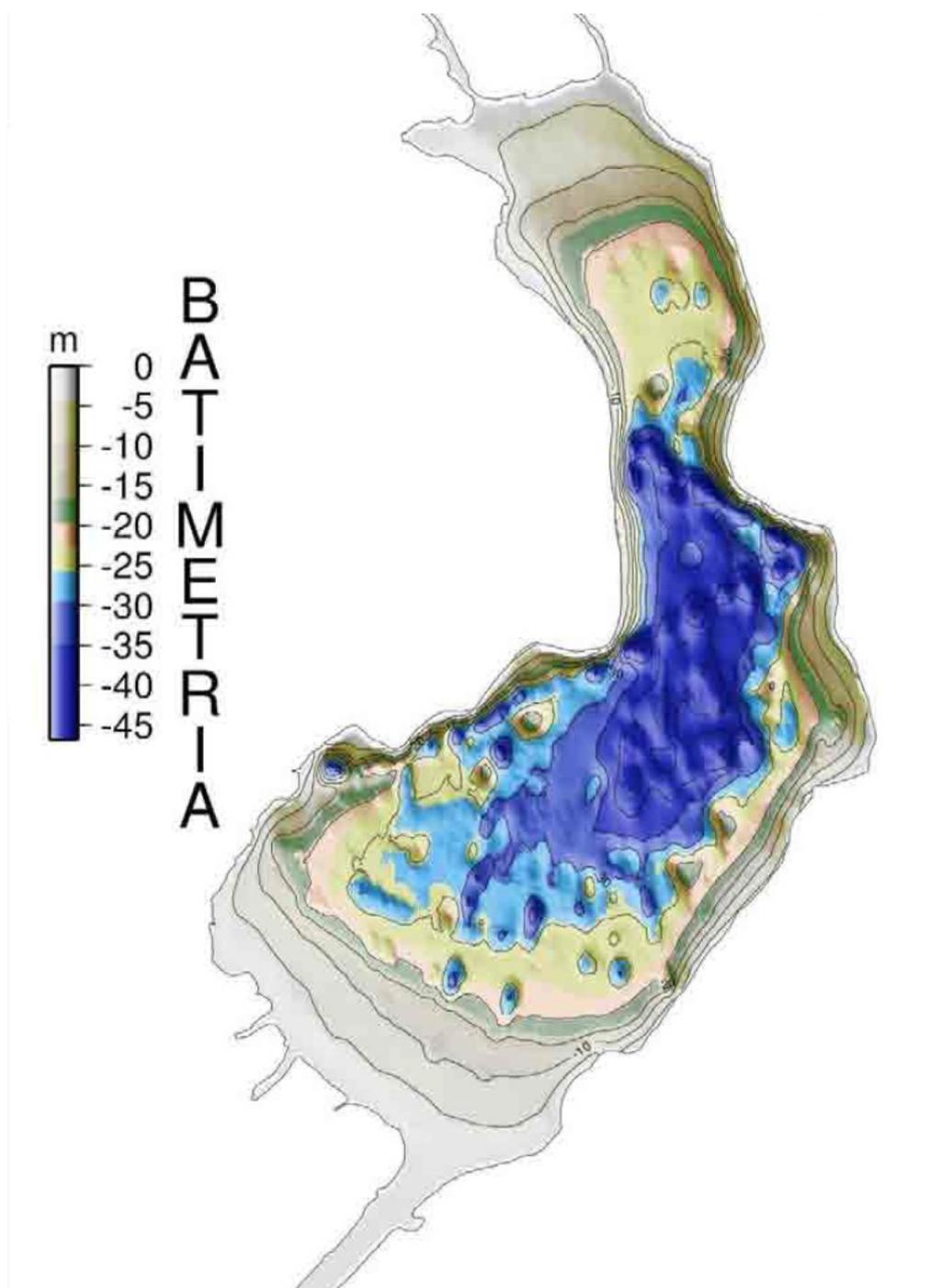


Fig. 10.7: prima batimetria Ismar-CNR (2015)

Un secondo rilievo è stato condotto nel 2018. La griglia digitale batimetrica corrispondente, ottenuta con ecoscandaglio multi-beam interferometrico, è rappresentata nella seguente figura a scala di colori.

Curva dei volumi

dedotta da mappa batimetrica Ismar-CNR

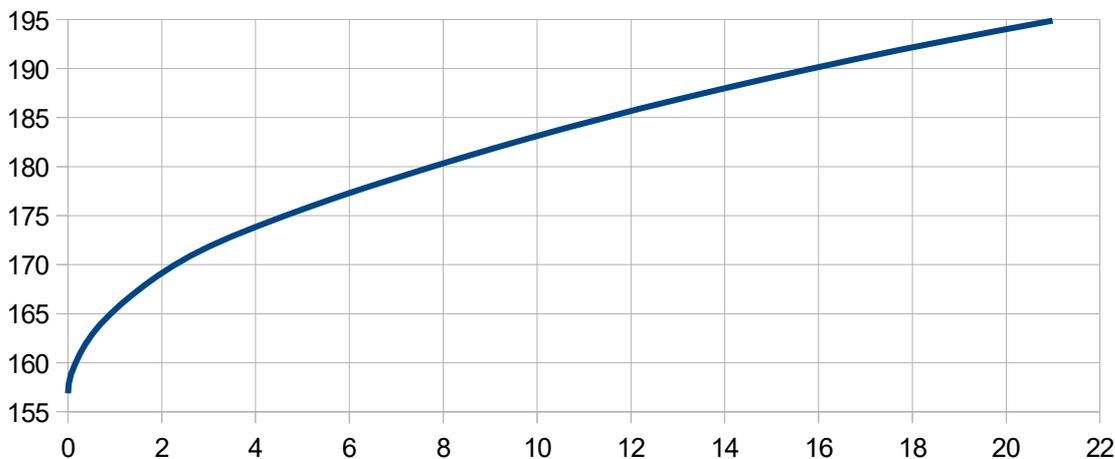


Fig. 10.9: curva dei volumi da batimetria Ismar-CNR del 2015

Nel report finale del Tavolo Tecnico del Laboratorio Lago dei Tre Comuni viene stimata la velocità di sedimentazione con un approccio totalmente diverso da quello visto finora, ovvero l'analisi delle carote sedimentarie estratte dal lago durante la campagna del 2015. Lo studio è da considerarsi preliminare e presenta ampi margini di errore.

Emergono i seguenti valori:

- 1) Carota CAV-06 (parte settentrionale): Tasso di sedimentazione recente 7 mm/anno, > 10 mm/anno per quella più antica
- 2) Carota CAV-04 (parte meridionale): Tasso di sedimentazione recente 2 mm/anno
- 3) Carota CAV-03 (parte centrale): Tasso di sedimentazione recente 3 mm/anno

In base a questi risultati lo studio conclude che la velocità di sedimentazione varia tra 3,5 mm/anno e 7,5 mm/anno andando dalle sponde verso il centro del lago.

Se si volesse considerare una velocità di sedimentazione media tra i due valori estremi, pari a 5,5 mm/anno, il volume annuo sedimentato ammonterebbe a circa 6.400 m³/anno, un valore intermedio alle valutazioni riportate in precedenza da parte di Graia e SGRI. Mediando invece tra i risultati delle tre carote si otterrebbe una velocità di 4 mm/anno, ovvero 4.700 m³/anno.

In conclusione: se si esclude il rilievo Ismar-CNR del 2015, che peraltro è definito

“speditivo”, i risultati più significativi mostrano valori di sedimentazione media annua che concordano nella sostanza, al di là delle imprecisioni che questo dato necessariamente comporta, come mostrato nella tabella riassuntiva seguente.

Autore	Sedimentazione totale media (m ³ /anno)
Graia 1959-2019	2.600
Graia 2011-2019	4.100
SGRI	10.150
Ismar-CNR 2015	20.350
Ismar-CNR (stima)	6.400
Ismar-CNR (carote)	4.700

Sulla base delle conoscenze attuali, ricomprendendo il dato riferito alla batimetria 2015, si può concludere che la sedimentazione totale si aggira intorno a 8.000 m³/anno (valore medio tra le stime), ma la sua stima varia nel range tra 2.500 e 20.000 m³/anno.

10.3 Trasporto solido

Per stimare l'apporto solido medio annuo possiamo utilizzare un metodo induttivo, che si serve di misurazioni dell'apporto solido stimato in particolari sezioni di bacini imbriferi analoghi a quello di studio, in genere chiusi da sbarramenti artificiali che consentono di misurare l'interrimento progressivo.

F. Mosetti, in uno studio del 1988³ riguardante proprio il lago di Cavazzo, parla di un valore medio di carattere assolutamente generale riguardante l'ambito alpino, pari a 500 m³/anno di materiale per ogni km² di superficie del bacino imbrifero di riferimento.

Riferendosi quindi a realtà più locali e vicine a quella in esame prende in considerazione il lago artificiale di Barcis, per il quale era stato ricavato un apporto unitario di 293 m³/anno sulla base di batimetrie effettuate nel 1955 e nel 1962.

³ F. Mosetti – Considerazioni idrogeologiche sul lago di Cavazzo, o dei Tre Comuni – Quaderni ETP, n. 16 – Udine, 1988

Per i bacini artificiali dell'asta del Fiume Meduna sono stati condotti dei rilievi batimetrici recenti, e dal confronto tra la volumetria attuale e quella originaria si sono ricavati i seguenti valori:

Invaso di Ca' Zul	828 m ³ /anno/km ²
Invaso di Ca' Selva	1.519 m ³ /anno/km ²
Invaso di Ponte Racli	465 m ³ /anno/km ²
Dato complessivo	722 m ³ /anno/km ²

che testimoniano l'eterogeneità dei tassi di interrimento, con una possibile dipendenza dall'altitudine media del bacino, oltre ovviamente alla consistenza geologica dei versanti.

Va detto, inoltre, che sul bilancio del materiale solido trasportato dai corsi d'acqua per cause naturali incidono fortemente gli eventi di piena più rari, che possono incrementare fortemente il dato cumulato, incidendo sulla media. La piena del 1966, che è ricordata ancora oggi in Friuli Venezia Giulia, ha probabilmente contribuito all'innalzamento di alcuni dei valori sopra riportati.

In conclusione, anche in considerazione della bassa quota del bacino e della presenza di opere di regimazione idraulica, si può attribuire al tasso di interrimento teorico per il bacino del lago di Cavazzo (20,5 km² di superficie) un valore compreso tra 200 e 500 m³/anno, ovvero un apporto complessivo compreso tra 4.000 e 10.000 m³/anno.

La stima del trasporto solido in base alle formule correnti, che come noto per il loro carattere generale forniscono stime diversificate anche per più ordini di grandezza, sono state scartate in quanto tenderebbero a sovrastimare il fenomeno, anche perché studiate per rilevare i fenomeni concomitanti ad eventi di piena (quindi i valori massimi di trasporto, ad essi correlati), e non al tasso di apporto medio.

10.4 Ricostruzione dell'evento di maggio 2023

Durante i sopralluoghi effettuati in situ si è assistito, a partire dalle ore 10 del 12 maggio 2023⁴, al verificarsi di un fenomeno di intorbidimento della superficie del lago, conseguente alle forti piogge cadute a partire dal giorno precedente.

Il colore dell'acqua, ordinariamente turchese intenso, si è trasformato in lattiginoso,

⁴ Ora di inizio sopralluogo.

a partire dallo scarico della centrale con propagazione sulla parte settentrionale, fino alla sponda orientale, ma “confinata” nel lembo più a nord del lago, presumibilmente dalle immissioni provenienti dal Rio Schiasazze, esenti da materiale in sospensione; la parte più a sud invece era interessata da un fenomeno analogo, anche se di minore intensità, probabilmente determinato dall'immissione di acque torbide provenienti dal Rio da Cout. Alcune ore dopo i primi riscontri il fenomeno mostrava un'attenuazione; nei giorni successivi il lago ha ripreso il suo colore normale.

Da questi riscontri appare:

- assolutamente certa la provenienza di acqua torbida dallo scarico della centrale;
- presumibile un analogo fenomeno provocato dal Rio da Cout;
- presumibile che le particelle in sospensione non siano pervenute allo scarico, ma si siano lentamente depositate sul fondale.



Fig. 10.10: scarico della centrale



Fig. 10.11: particolare che evidenzia la particolare opacità dell'acqua causata dal materiale in sospensione

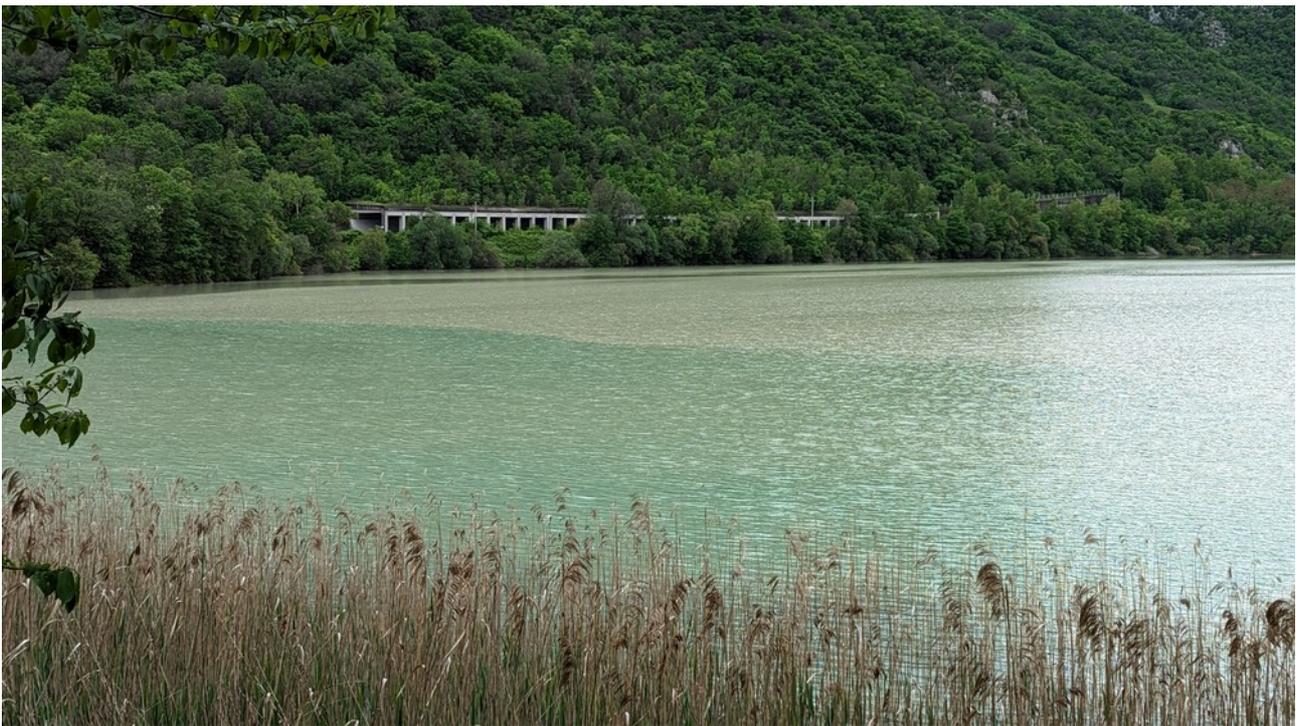


Fig. 10.12: il "confinamento" a nord causato dalle acque limpide provenienti dal Rio Schiasazze

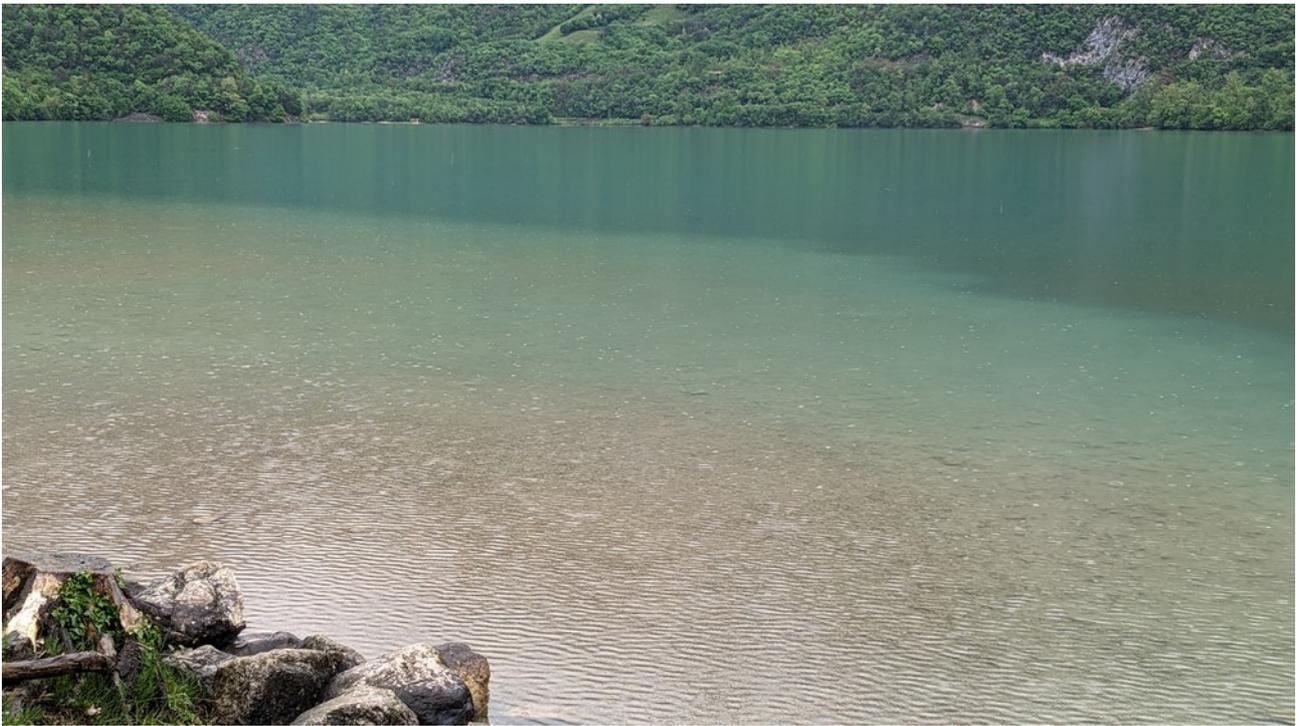


Fig. 10.13: l'intorbidimento causato dal Rio da Cout



Fig. 10.14: evoluzione del fenomeno – Foto scattate alle 12.20 e alle 15.55 del 12 maggio 2023

10.4.1 Analisi delle piogge

L'evento del 10-11 maggio ha interessato tutto il bacino dell'alto Tagliamento con piogge consistenti.

Sono stati presi in considerazione i dati di alcuni pluviometri, che ben rappresentano il bacino imbrifero che alimenta il bacino di Verzegnis:

- Forni di Sopra
- Comeglians
- Forni Avoltri

- Casera Pieltnis
- Sella Chianzutan
- Alesso

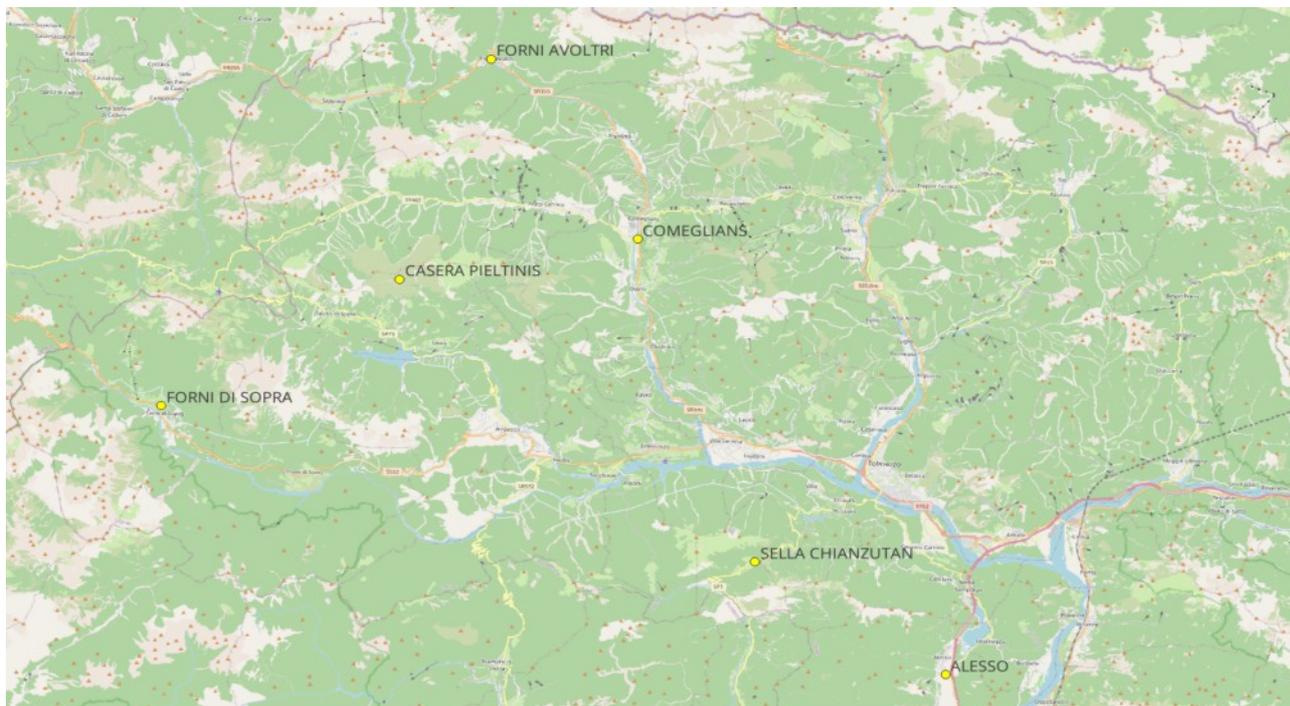


Fig. 10.15: la rete dei pluviometri della regione FVG nel bacino dell'alto e medio Tagliamento – in rosso le stazioni selezionate per l'analisi pluviometrica

Il pluviogramma di queste stazioni è piuttosto uniforme fra le varie stazioni, con inizio nelle prime ore del 10 maggio, e termine nelle prime ore del giorno 12. Il picco orario è caduto, per tutte le stazioni, il giorno 11.

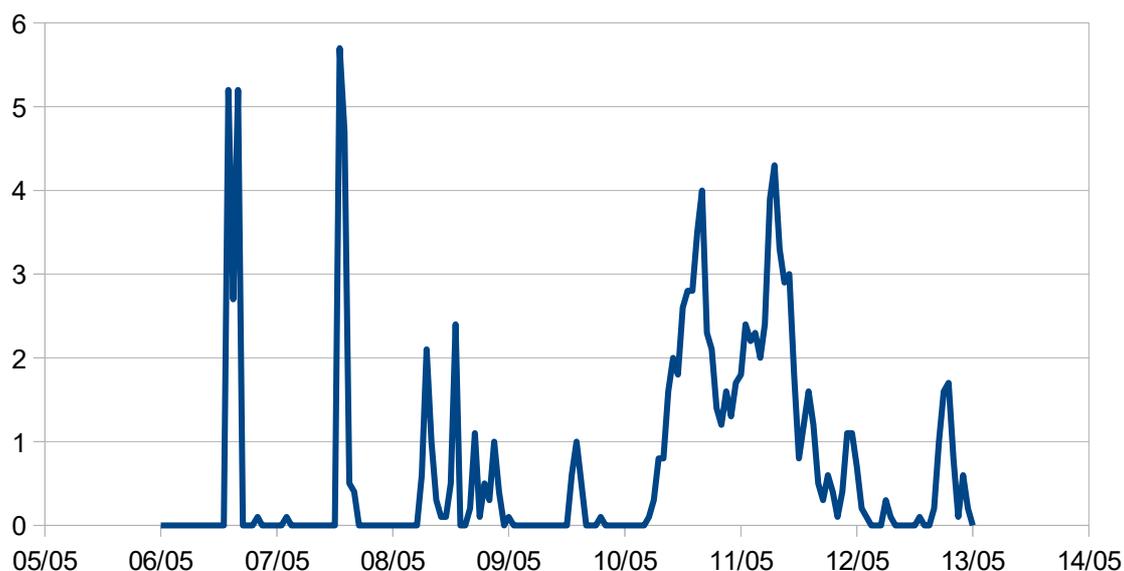


Fig. 10.16: pluviogramma a Forni di Sopra

La massima intensità si attesta tra i 3 e i 4 mm/h.

La pioggia cumulata giornaliera è massima per il giorno 11, e varia tra i 18 e i 51,2 mm; la media dei 6 pluviometri è pari a 32,9 mm.

La pioggia caduta nei giorni 8 e 9 maggio, di intensità massima oraria paragonabile, ma nettamente inferiore per il dato cumulato giornaliero non ha comportato fenomeni visibili al lago di Cavazzo nei giorni successivi, segno questo che l'intorbidimento parrebbe necessitare di piogge prolungate.

Dall'analisi dei dati storici per le 6 stazioni pluviometriche emerge che la pioggia media ha superato il valore dell'11 maggio (32,9 mm) mediamente per circa 15 eventi di pioggia all'anno.

10.4.2 Valutazione dell'evento

Appare evidente l'incapacità da parte del superiore lago di Verzegnis di trattenere le particelle più fini, tramite sedimentazione, in occasione delle piogge più importanti. Questo non perché non sia possibile la sedimentazione in questo lago, quanto perché il tempo intercorrente tra l'immissione da monte e l'ingresso alla presa subacquea è troppo breve perché tale sedimentazione si completi.

Se ne deduce che il fenomeno in questi casi sarebbe sicuramente attenuato, se non addirittura eliminato, se si adottassero dei provvedimenti atti ad aumentare il tempo

di permanenza dell'acqua torbida al lago di Verzegnis.

10.5 Conclusioni

Il materiale finissimo in sospensione in arrivo dalla centrale di Somplago crea torbidità ma non apporta volumi di materiale sedimentato consistente, sia per la sua scarsa concentrazione, sia perché proprio la sua difficoltà a depositarsi fa sì che una buona parte (anche se non quantificabile) sia esitata insieme alla fase liquida allo scarico del lago e non permanga al suo interno.

Le stime effettuate portano ad affermare che la sedimentazione totale è dell'ordine dei 6.000 m³/anno ma questo valore, da intendersi come medio, in base alle varie stime oscilla tra i 4.000 e i 10.000 m³/anno. L'apporto naturale, che è una frazione di quello totale, pur con un maggior grado di incertezza, è stato stimato del medesimo ordine di grandezza: per differenza se ne desume che l'apporto dalla centrale, in termini volumetrici, è trascurabile.

Al fine di aumentare il grado di confidenza della stima sarebbe opportuno disporre delle batimetrie rilevate da Ismar-CNR, per metterle a confronto tra loro e con quelle prodotte da Graia.

11. RICOSTRUZIONE DELLE PORTATE NATURALI IN INGRESSO AL LAGO

11.1 Analisi pluviometrica

11.1.1 Caratterizzazione climatica generale

Il regime pluviometrico del bacino di interesse è di tipo sublitorale alpino, con valori massimi registrati in primavera ed in autunno e minimi in inverno ed in estate. Le precipitazioni cumulate risultano particolarmente significative se confrontate con quelle medie dell'area subalpina italiana, sia concentrando l'analisi su base annuale, sia limitandosi ad intervalli temporali dell'ordine dei 2-3 giorni. La piovosità media annua è compresa tra 2.100 mm e 2.500 mm, come visualizzato in Fig. 11.1, che rappresenta la carta delle isoiete regionale relativa al periodo di osservazione 1991-2020, pubblicata sul sito di Arpa FVG nella pagina “*Il Clima del FVG*”:

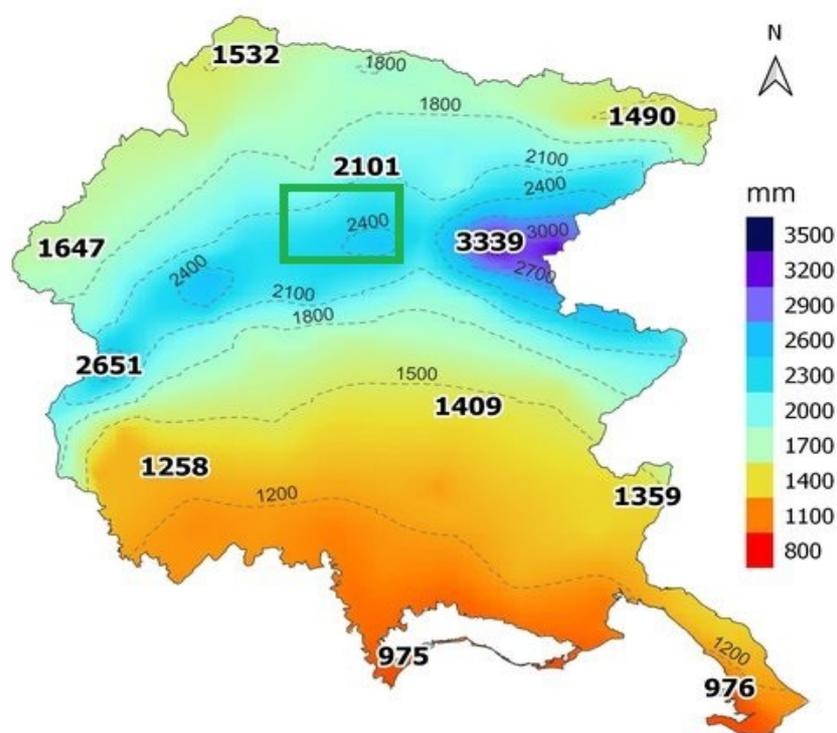


Fig. 11.1 - Carta delle isoiete della Regione Friuli, con indicazione in verde dell'area di interesse

Lo “*Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli*”

Venezia Giulia – Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Primo Report marzo 2018”, prodotto da Arpa FVG, evidenzia una variazione climatica in Regione riguardante principalmente le temperature ed in secondo luogo le precipitazioni.

Nonostante ciò, in base alle risultanze degli approfondimenti congiunti realizzati dalle Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell’Ambiente (ARPA e APPA) e dai Centri Funzionali di riferimento delle Regioni centro-settentrionali italiane all’interno progetto ARCIS, in cui sono stati analizzati i dati di pioggia giornaliera relativi al periodo 1961-2015 di stazioni dell’Italia settentrionale (tra le quali n. 90 stazioni friulane), in quasi tutta la Regione si è verificata una riduzione delle piovosità nel periodo primaverile e nel periodo estivo, con diminuzione del numero di giorni piovosi. Durante l’autunno il trend risulta, invece, lievemente positivo, mentre d’inverno si evidenzia un comportamento diverso a seconda della zona di riferimento.

Il dato di precipitazione annuale nella parte occidentale della Regione è in lievissima crescita, mentre nelle zone orientali si registra una tendenziale ed apprezzabile diminuzione della piovosità.

Ai fini del presente approfondimento, si ritiene corretto procedere all’analisi dei dati pluviometrici disponibili relativi alle stazioni di registrazione dislocate sul territorio con specifico riferimento agli ultimi 25 anni. Tale periodo, infatti, risulta statisticamente significativo, ma anche rappresentativo di una fase durante la quale il cambiamento climatico era certamente già in atto.

11.1.2 Afflussi registrati

All’interno del perimetro del bacino afferente al lago di Cavazzo non sono disponibili stazioni di rilevamento delle precipitazioni.

Per tale ragione, si ritiene di considerare i dati relativi a n. 6 stazioni installate nelle immediate vicinanze del bacino stesso:

1. Alesso (periodo 1998-2022 – 213 m s.l.m.);
2. Gemona del Friuli (periodo 1998-2022 – 307 m s.l.m.);
3. Osoppo (periodo 2002-2022 – 172 m s.l.m.);
4. San Francesco (periodo 1998-2022 – 389 m s.l.m.);
5. Sella Chianzutan (periodo 2002-2022 – 954 m s.l.m.);
6. Tolmezzo (periodo 2005-2022 – 314 m s.l.m.).

Come si vede dalla Fig. 11.2, la stazione pluviometrica di Tolmezzo trova collocazione circa 7 km a nord del bacino afferente al lago, mentre quelle di Sella Chianzutan e di San Francesco sono poste circa 6 km ad ovest. I punti di misura di Gemona del Friuli e Osoppo, invece, si trovano a sud del lago, a distanze comprese tra 6 km e 8 km dallo stesso. Infine, la stazione di Alesso consente di rilevare la piovosità sostanzialmente in corrispondenza del lago di Cavazzo.



Fig. 11.2 - Stazioni meteorologiche nell'intorno dell'area di interesse, al di fuori del bacino afferente

I dati disponibili, soprattutto in virtù della loro numerosità (essendo relativi ad un intervallo temporale minimo di 18 e massimo di 25 anni) sono caratterizzati da un'ottima significatività e da una qualità che consente un'analisi statistica accurata. Anche le lacune, inevitabili considerata l'ampiezza del periodo di registrazione, sono limitate a pochi giorni consecutivi: l'unica eccezione in tal senso è rappresentata dalla stazione pluviometrica di Alesso, che non ha monitorato i valori di pioggia giornaliera nel periodo compreso tra il 08.07.2003 ed il 19.08.2005. A partire da tutti i valori misurati dalle n. 6 stazioni pluviometriche citate, lo scrivente ha quindi provveduto a ricavare, per ciascuna di esse, le piovosità medie mensili. Nel seguito si rappresentano graficamente i valori ottenuti, operando una

suddivisione tra la prima e la seconda parte dell'anno al solo fine di rendere più apprezzabili le differenze tra le rilevazioni. In Tab. 11.1 sono indicati i valori medi mensili calcolati per ciascuna stazione.

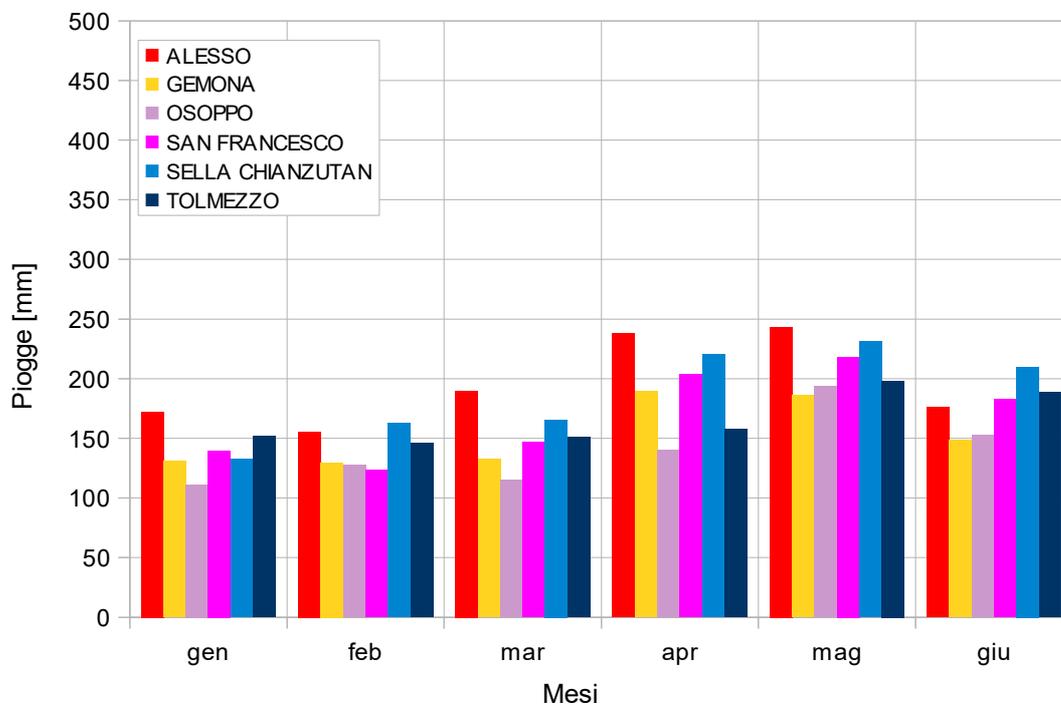


Fig. 11.3 - Dati mensili di piovosità presso le stazioni di misura [mm]. Periodo gennaio-giugno

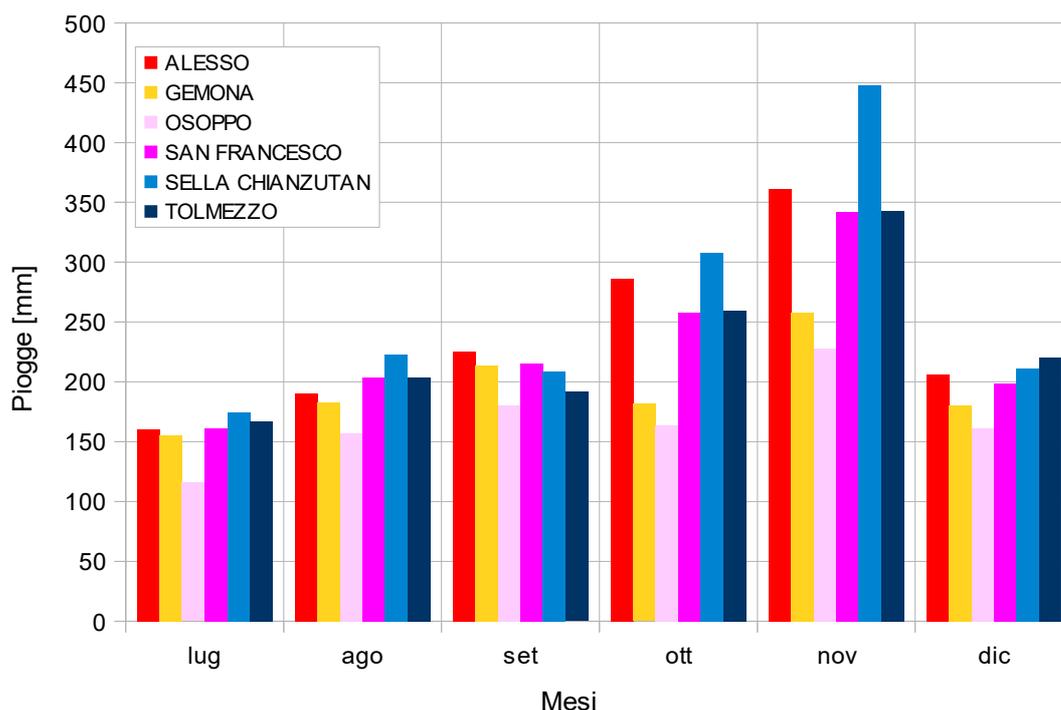


Fig. 11.4 - Dati mensili di piovosità presso le stazioni di misura [mm]. Periodo luglio-dicembre

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT
Alesso	172	156	190	238	243	176	161	190	225	286	361	206	2605
Gemona	131	130	132	189	186	149	156	183	214	181	258	180	2089
Osoppo	111	128	115	140	194	153	116	157	181	163	228	161	1845
S.Francesco	140	124	147	204	218	183	161	204	215	258	342	189	2393
Sella C.	133	163	166	221	231	210	175	223	209	308	448	211	2696
Tolmezzo	152	146	151	158	198	189	167	204	192	259	343	220	2378

Tab. 11.1 - Afflussi medi mensili [mm] registrati in corrispondenza delle stazioni di interesse

I regimi pluviometrici delle stazioni considerate risultano sostanzialmente sovrapponibili, evidenziando:

- valori minimi annui durante la stagione invernale, quando la piovosità cumulata media mensile non supera mai i 200 mm;
- un primo picco primaverile tipico del mese di maggio, compreso tra 200 mm e 250 mm a seconda della stazione di riferimento;
- una nuova diminuzione della piovosità durante l'estate, con valori minimi concentrati principalmente nel mese di luglio;
- un secondo picco autunnale, molto più consistente del primo, caratteristico

del mese di novembre, con precipitazioni cumulate diverse a seconda della stazione.

La variabilità stagionale risulta accentuata in corrispondenza delle stazioni di Sella Chianzutan, di Alesso e di San Francesco, laddove soprattutto a novembre si registrano piogge comprese tra 340 mm e 448 mm. Già in corrispondenza di Tolmezzo, al netto del picco autunnale di 343 mm, l'andamento appare decisamente più appiattito. Procedendo verso sud (stazioni di Gemona del Friuli ed Osoppo) la stagionalità tende a risultare sempre meno evidente, con valori compresi sempre tra 110 mm e 260 mm.

Naturalmente sulla variabilità della distribuzione delle precipitazioni assumono un ruolo fondamentale la quota altimetrica e la posizione geografica, che influenzano le circolazione delle correnti d'aria umida in arrivo nell'area di interesse. A titolo esemplificativo, infatti, si ritiene che:

- l'elevata piovosità registrata presso Sella Chianzutan sia da imputare in parte alla sua collocazione a quasi 1.000 m s.l.m.;
- l'altrettanto elevata piovosità ad Alesso possa essere connessa con la sua vicinanza al lago di Cavazzo;
- le minori precipitazioni e la limitata variabilità delle stesse in corrispondenza di Osoppo siano legate al suo posizionamento in area di pianura, ad una certa distanza dai rilievi.

Non è presente, invece, una correlazione diretta, più facilmente identificabile, delle precipitazioni in funzione della quota.

11.1.3 Piovosità calcolata

Le n. 6 stazioni considerate, dal punto di vista strettamente geografico, sono piuttosto omogeneamente distribuite sul territorio attorno al bacino di alimentazione del lago di Cavazzo. Inoltre, vista la presenza di n. 1 stazione definibile come “montana” (Sella Chianzutan), di n. 1 stazione definibile come “di pianura” (Osoppo) e di altre stazioni “intermedie”, esse risultano ben rappresentative delle caratteristiche del bacino stesso.

Per le ragioni esposte, al fine di determinare l'andamento pluviometrico medio si procede con il calcolo, giorno per giorno, della media delle precipitazioni giornaliere misurate presso ciascuna delle stazioni utilizzate. I valori ottenuti vengono

raggruppati a costituire le piovosità medie mensili rappresentate ed esplicitate nella figura e nella tabella seguenti:

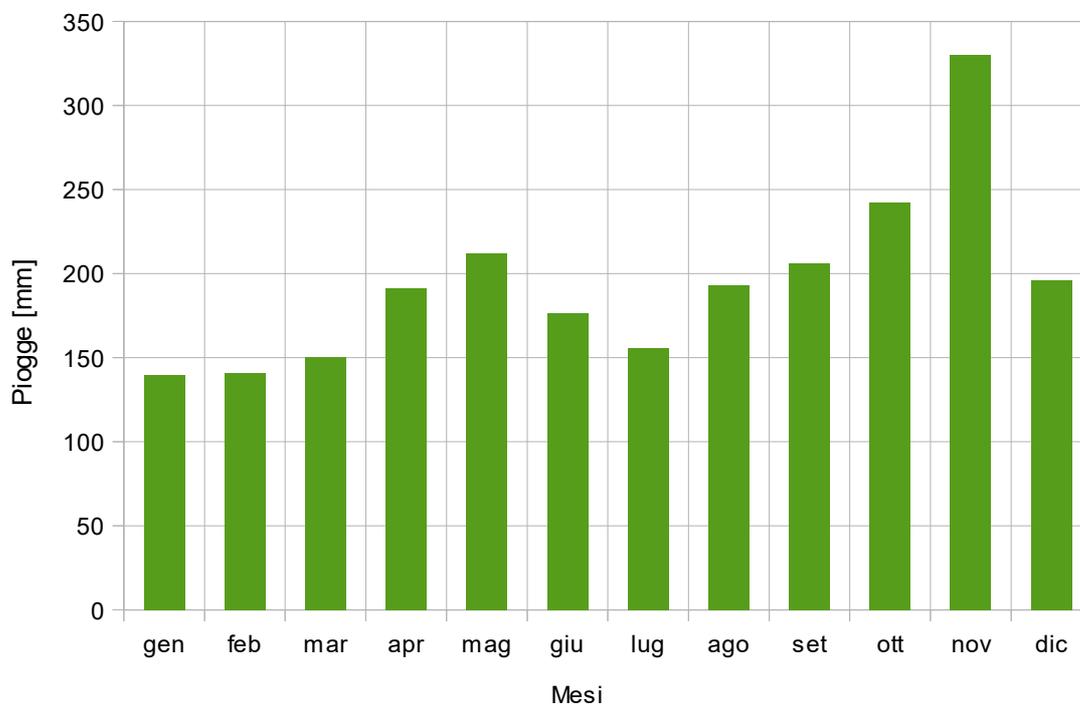


Fig. 11.5 - Dati mensili di precipitazione calcolati per il bacino afferente al lago di Cavazzo

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT
Bacino	140	141	150	191	212	175	156	193	206	243	330	196	2334

Tab. 11.2 - Afflussi medi mensili calcolati per il bacino afferente al lago di Cavazzo

Il regime pluviometrico ottenuto risulta ovviamente in linea con quanto descritto al paragrafo precedente, con minimi tipici dei periodi invernale ed estivo e massimi durante il mese di maggio e, soprattutto, di novembre.

La piovosità totale è sostanzialmente corrispondente a quelle registrate a San Francesco e a Tolmezzo ed inferiore rispetto a quella di Alesso (- 271 mm). Il significato di tale differenza è legato al fatto che la stazione di Alesso fornisce un dato puntuale, mentre il calcolo effettuato consente di definire un valore mediato su tutta la superficie di bacino afferente.

In altre parole, se la piovosità sulla superficie del lago di Cavazzo (pari a 1,28 km²) può essere assunta pari a quella registrata presso la stazione di Alesso, e quindi di

2.605 mm, la piovosità media distribuita su tutto il bacino afferente (di superficie pari a circa 20,46 km²) risulta inferiore e pari a 2.334 mm.

11.2 Apporti superficiali al lago

11.2.1 Metodologia adottata

All'interno del bacino di alimentazione del lago di Cavazzo non sono presenti stazioni idrometriche, né stazioni di misura delle portate defluenti. Non risulta quindi possibile la definizione diretta, tramite dati di monitoraggio, del contributo degli immissari.

Non essendo disponibili vere e proprie formule di regionalizzazione, valide sul territorio regionale, si ritiene opportuno fare ricorso a quanto contenuto nel documento *“Elaborazione dei dati idrologici del bacino del Tagliamento”*, predisposto dall'ing. Mario Tonini del Compartimento di Venezia dell'ENEL e pubblicato sulla rivista *“L'Energia Elettrica – 1966 – Fascicolo n. 3”*.

In tale studio, grazie all'analisi dei dati idrologici provenienti dalle stazioni del Magistrato delle Acque di Venezia e dalle stazioni installate dalla Società Adriatica di Elettricità, si giungeva alla determinazione della distribuzione spaziale sul territorio del bacino del Tagliamento del coefficiente di deflusso, parametro che esprime la percentuale di afflusso che si trasforma in deflusso superficiale lungo i corsi d'acqua.

Lo scrivente intende quindi effettuare la trasformazione afflussi-deflussi, a partire dai dati di precipitazione ricavati al paragrafo precedente, ottenendo l'andamento cronologico delle portate immesse nel lago di Cavazzo nell'anno idrologico medio. In pratica, la formula applicata per il calcolo della portata media annua in [m³/s] è la seguente:

$$Q_{MED} = \frac{C_D \cdot A_{MED} \cdot S}{n} \quad [11.1]$$

dove:

- C_D = coefficiente di deflusso [-];
- A_{MED} = pioggia cumulata annua [m];
- S = superficie di bacino [m²];
- n = numero di secondi in un anno [sec].

In seguito, utilizzando ancora le informazioni reperite all'interno dello studio condotto dall'ing. Tonini, si intende ricostruire la curva di durata delle portate.

11.2.2 Coefficiente di deflusso

La “*Carta geologica della Regione Friuli Venezia Giulia*” in scala 1:150.000 individua per il territorio regionale, oltre alla sismicità, alle tessiture ed e ai movimenti in atto, le caratteristiche delle formazioni geologiche che compongono il substrato.

La Fig. 11.6 riporta un estratto della rappresentazione, con sovrapposizione del perimetro del bacino di riferimento e legenda relativa alle coperture quaternarie (individuati in cartografia con i numeri 21, 23, 25, 27 e 28). Per quanto riguarda le formazioni facenti capo alla successione mesozoica, vengono indicati con:

- 10a: calcari rossi ed ammoniti, calcari marnosi, argilliti e tufiti, calcari nodulari selciferi, arenarie e siltiti tufacee, depositi terrigeno-tufitici e piroclastici, calcareniti e calciruditi grigie alternate a peliti marnose bruno nerastre: depositi di bacino;
- 13c: dolomie chiare e dolomie stromatolitiche organizzate in cicli peritidali, brecce dolomitiche, intercalazioni di dolomie laminate scure, ricche in sostanza organica;
- 15a: calcari micritici grigi alternati a calcari stromatolitici, calcari oolitici biancastri e calcari a oncoidi: depositi di piattaforma e di margine;
- 16b: calcari micritici e calcareniti con abbondante selce policroma, calcari nodulari con selce rossa e ammoniti, calcari micritici a frattura concoide con selce grigio scura o biancastra, calcituditi bioclastiche, calcareniti grossolane, calcari micritici grigi con selce scura: depositi di scarpata-bacino;
- 17a: marne e calcari marnosi rossastri e grigi a frattura scagliosa, debolmente nodulari; locali brecce ed olistoliti carbonatici: depositi di bacino.

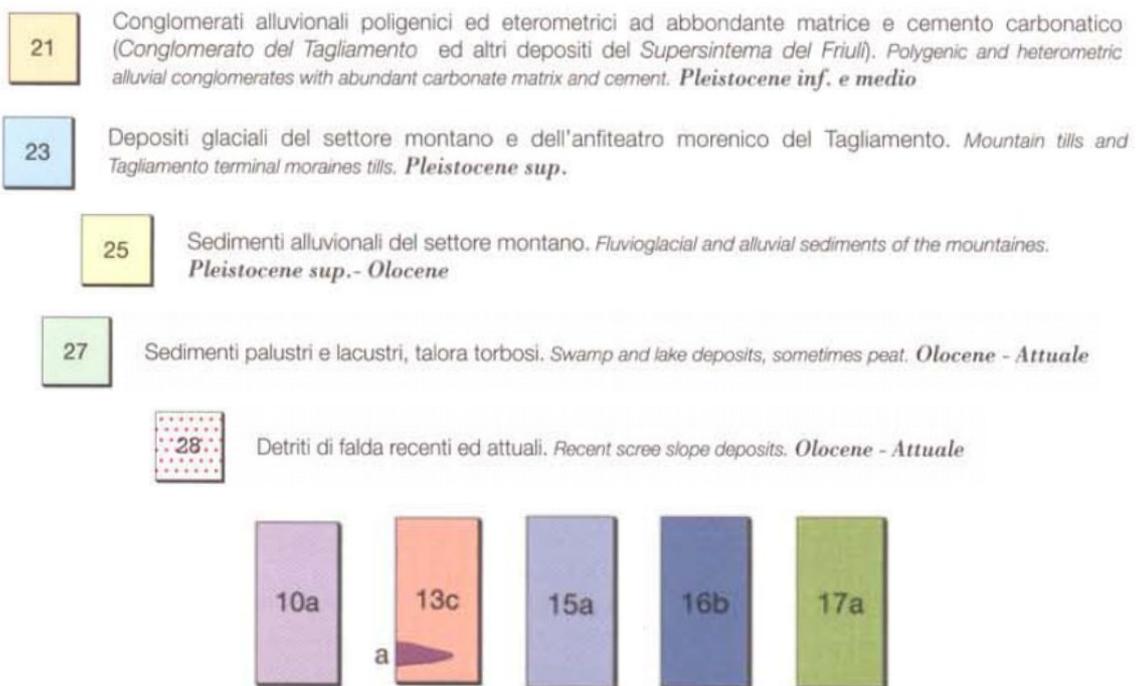
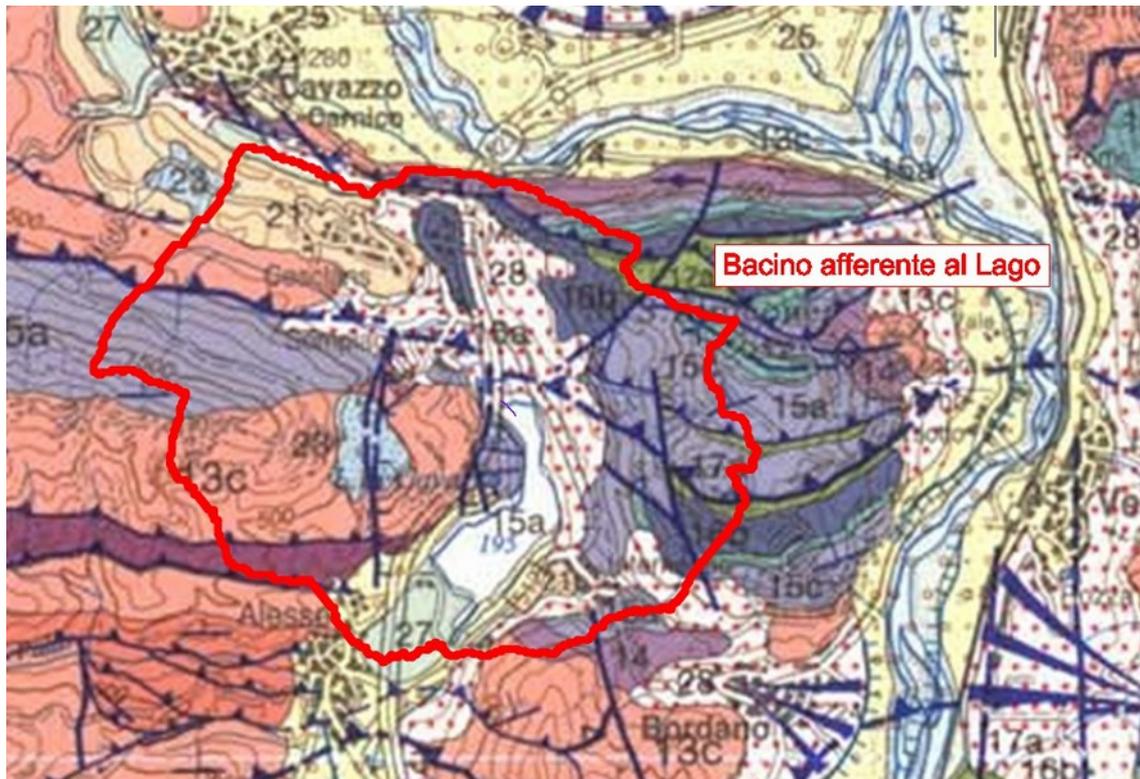


Fig. 11.6 - Area del bacino afferente al lago di Cavazzo con caratteristiche geologiche.

In estrema sintesi, semplificando quanto riportato in cartografia, il bacino può essere schematizzato suddividendolo in n. 3 categorie:

- il versante ovest, caratterizzata dalla prevalenza di un complesso litologico a bassa permeabilità come la dolomia;

- il versante est, dove si riscontra la presenza di calcari, a maggiore permeabilità;
- la porzione centrale, caratterizzata da depositi quaternari (ed eventualmente da calcari micritici, proprio in corrispondenza del lago di Cavazzo).

In merito agli apporti sorgentizi, si ritiene che essi siano trascurabili, come testimoniato anche dal dott. Vittorio Fabiani (1946) all'interno del documento *“Il lago di Cavazzo”*, nel quale si legge *“Gli apporti sorgentizi, inoltre, sono di entità minima o piccola importanza”*,

In virtù di quanto esposto, considerando i coefficienti di deflusso indicati nel succitato documento *“Elaborazione dei dati idrologici del bacino del Tagliamento”*, si ritiene di applicare:

- $C_D = 0,75$, ai versanti e all'area alluvionale afferente al lago di Cavazzo;
- $C_D = 1,00$, al lago stesso.

La media pesata con le rispettive superfici dei due valori indicati porta ad assumere un coefficiente di deflusso C_D pari a 0,766.

11.2.3 Superficie di bacino

La superficie di bacino afferente al lago di Cavazzo viene perimetrata grazie all'ausilio del Digital Elevation Model disponibile sul territorio della Regione Friuli Venezia Giulia, discretizzato con celle avente dimensione 20×20 m. L'individuazione della linea dello spartiacque superficiale è possibile, sulla base dei dati altimetrici disponibili, utilizzando specifici strumenti di analisi in ambiente Grass e processandoli mediante il software QGis.

La delimitazione consente di ottenere una superficie di bacino, calcolata in prossimità dell'emissario del lago di Cavazzo, pari a $20,46 \text{ km}^2$; di questi, $1,28 \text{ km}^2$ sono occupati dal lago stesso.

La figura seguente mostra il risultato della perimetrazione, rappresentato sulla base della Carta Tecnica Regionale in scala 1:25.000:

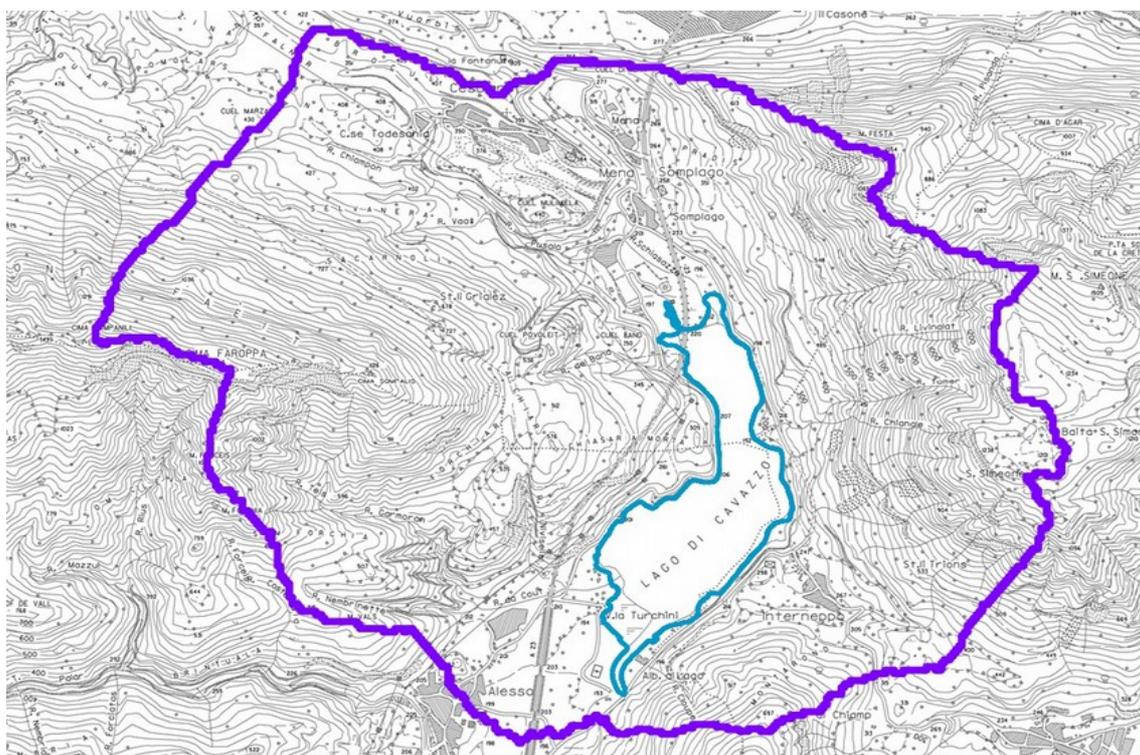


Fig. 11.7 - Perimetrazione del bacino di alimentazione del lago di Cavazzo (in viola) su C.T.R.

11.2.4 Portata media annua

Considerando un coefficiente di deflusso pari a 0,766, un afflusso medio annuo di 2.334 mm, una superficie di bacino di 20,46 km² ed il numero di secondi in un anno (pari a 31.536.000), si calcola una portata media annua proveniente dal bacino afferente di 1,16 m³/s.

Il contributo per unità di superficie, ottenuto dividendo tale portata per la superficie, è pari a 57 l/s/km².

Tale dato è coerente con quanto riportato nel Piano Regionale di Tutela delle Acque, ed in particolare nell'Allegato 3.3 alle Norme di Attuazione, denominato "*Carta della portata specifica e degli apporti puntiformi*" (finalizzata al calcolo del Deflusso Minimo Vitale), dove viene indicata per l'area in esame una portata specifica di 60 l/s/km².

11.2.5 Curva di durata delle portate

Come anticipato, il documento dell'ing. Tonini fornisce, per numerosi sottobacini facenti capo al bacino del Fiume Tagliamento, le curve di durata delle

portate disponibili adimensionalizzate rispetto alla portata media annua.

I sottobacini più vicini rispetto a quello oggetto di indagine sono relativi al Torrente Comugna alla confluenza con il Torrente Arzino e allo stesso Torrente Arzino presso Ponte Armistizio. La tabella seguente riporta i valori individuati dall'ing. Tonini nell'elaborato citato, nonché i valori medi:

D [gg]	10	30	60	91	121	152	182	212	243	274	304	324	355	365
Comugna	3,50	2,37	1,56	1,16	0,95	0,78	0,68	0,61	0,56	0,49	0,49	0,38	0,31	0,26
Arzino	3,40	2,24	1,60	1,15	0,96	0,80	0,71	0,63	0,57	0,50	0,45	0,39	0,33	0,25
MED	3,45	2,31	1,58	1,16	0,96	0,79	0,70	0,62	0,57	0,50	0,46	0,39	0,32	0,26

Tab. 11.3 - Curva di durata delle portate adimensionalizzate rispetto al valore medio [-].

Dal prodotto dei valori medi per la portata ricavata al paragrafo precedente si ottiene la curva di durata discreta delle portate afferenti al lago di Cavazzo.

D [gg]	10	30	60	91	121	152	182	212	243	274	304	324	355	365
	4,000	2,673	1,832	1,339	1,107	0,916	0,806	0,719	0,655	0,574	0,533	0,446	0,371	0,296

Tab. 11.4 - Curva di durata delle portate per il bacino in esame [m^3/s].

Una portata minima annua di $0,295 m^3/s$ presuppone un deflusso costantemente presente almeno nei principali rii del bacino, anche durante i periodi maggiormente critici. Stante il comportamento fortemente impulsivo di tali corsi d'acqua, vista anche la ridotta superficie di bacino sotteso da ciascuno di essi, ed i cambiamenti climatici in atto, che producono lunghi periodi di assenza totale di precipitazioni, si segnala che tale valore della Q_{365} potrebbe sovrastimare il reale deflusso superficiale soprattutto durante i periodi in cui la temperatura e l'evapotraspirazione sono elevate.

D'altro canto, è opportuno sottolineare che già il dott. Fabiani nel 1946 (nel documento "Il lago di Cavazzo") rilevava la presenza di infiltrazioni nel subalveo dei corpi idrici minori del reticolo, così da rendere pressoché nullo il loro deflusso superficiale durante l'estate nei tratti a minore pendenza del loro percorso. Tale deflusso ipodermico, riscontrabile ancora oggi, riemerge più a valle, proprio in prossimità del lago.

In definitiva, la curva di durata calcolata, pur non rappresentando perfettamente, nei periodi critici, l'andamento dei deflussi superficiali dei rii che alimentano il lago, consente comunque una stima corretta degli apporti complessivi (superficiali+ipodermici) provenienti dal bacino afferente.

In ogni caso, interpolando la curva discreta mediante la seguente funzione logaritmica (in cui Q è la portata e g indica il giorno dell'anno):

$$Q=0,875 \cdot \ln(g)+5,438 \quad [11.2]$$

si giunge alla determinazione della curva di durata delle portate continua, visualizzata in figura seguente:

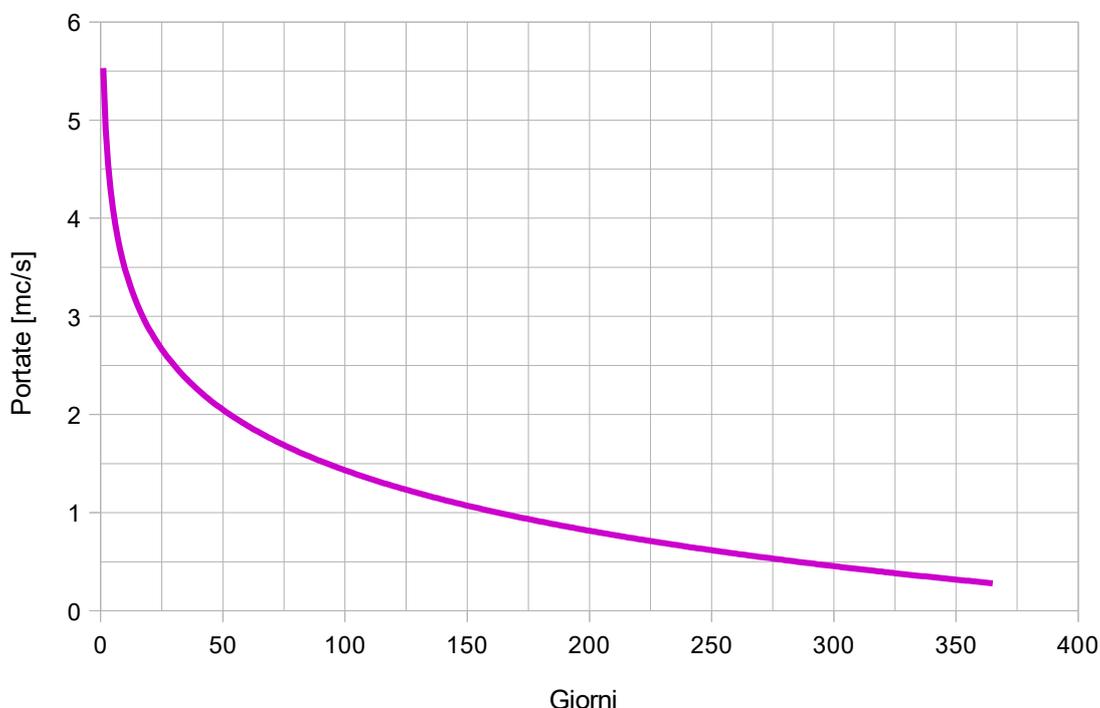


Fig. 11.8 - Curva di durata delle portate afferenti al lago di Cavazzo

11.2.6 Andamento cronologico

Nell'area posta nell'intorno del territorio di interesse non sono disponibili stazioni di misura della portata defluente che possano consentire una ricostruzione giornaliera "per similitudine idrologica" dell'andamento cronologico delle portate afferenti al lago di Cavazzo. Anche le elaborazioni dell'ing. Tonini non consentono di valutare la stagionalità delle portate visualizzate in Fig. 11.8.

Per giungere comunque ad un'analisi della variabilità degli apporti superficiali

durante il corso dell'anno, si procede a partire dai dati pluviometrici medi mensili ricavati in Fig. 11.5, applicando per ciascun mese la seguente formula:

$$Q_{MED.M} = \frac{A_{MED.M}}{A_{MED.A}} \cdot Q_{MED.A} \quad [11.3]$$

dove:

- $Q_{MED.M}$ = portata media mensile [m^3/s];
- $Q_{MED.A}$ = portata media annua [m^3/s];
- $A_{MED.M}$ = pioggia mensile del singolo mese [mm];
- $A_{MED.A}$ = pioggia annua mediata sui mesi dell'anno [mm].

Considerando la portata media annua di $1,160 m^3/s$ e la pioggia annua di $2.334 mm$, che mediata sui 12 mesi determina un termine $A_{MED.A}$ di $195 mm$, si ottiene quanto segue:

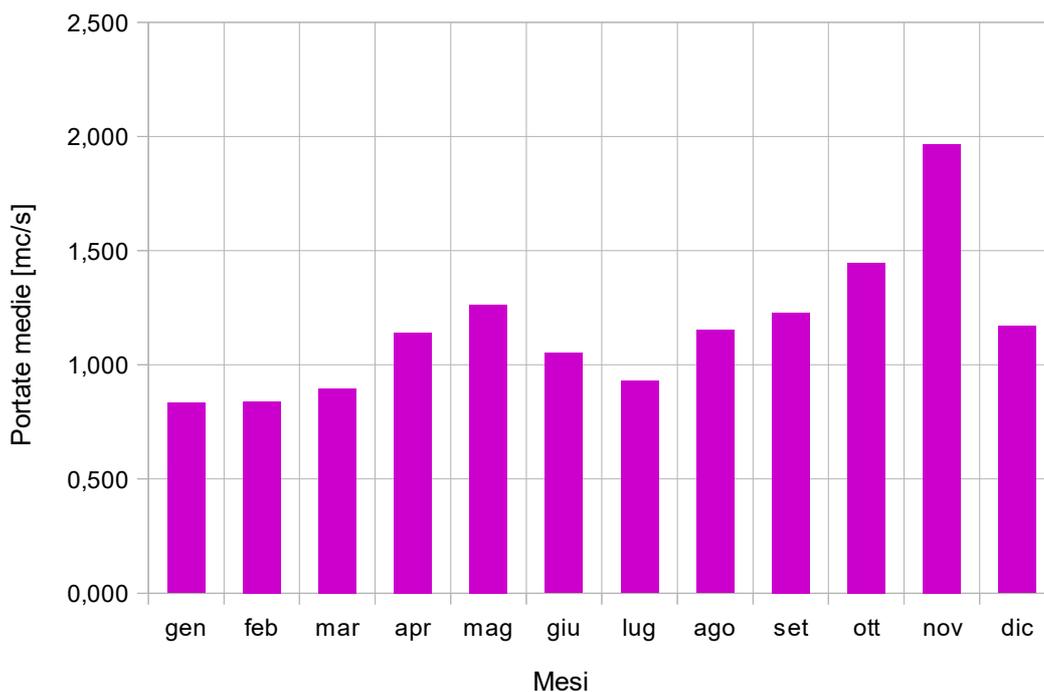


Fig. 11.9 - Dati mensili di portata calcolati per il bacino afferente al lago di Cavazzo.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
Bacino	0,834	0,840	0,895	1,141	1,263	1,052	0,929	1,152	1,227	1,446	1,967	1,169	1,160

Tab. 11.5 - Deflussi medi mensili calcolati per il bacino afferente al lago di Cavazzo [m^3/s].

Gli apporti sono quindi concentrati principalmente durante i mesi primaverili ed

autunnali, mentre sono di entità decisamente inferiore principalmente nei mesi di gennaio, febbraio, marzo e luglio (al di sotto della soglia di 1 m³/s). Nei mesi estivi il valore medio mensile risulta decisamente superiore rispetto alla Q₃₆₅ della curva di durata, probabilmente in virtù dei fenomeni temporaleschi, che pur concentrando gli afflussi entro poche ore contribuiscono fortemente ad elevare il dato medio mensile di piovosità e quindi di portata.

11.3 Bilancio idrologico attuale del lago

11.3.1 Equazione di continuità

Il bilancio idrologico del lago di Cavazzo è legato alla soluzione della seguente equazione di continuità:

$$Q_{IN.LAGO} - Q_{OUT.LAGO} = \frac{\Delta V_{LAGO}}{\Delta t} \quad [11.4]$$

in cui:

- $Q_{IN.lago}$ = portata in ingresso al lago [m³/s];
- $Q_{OUT.lago}$ = portata in uscita dal lago [m³/s];
- ΔV_{lago} = variazioni di volume del lago, legate all' "effetto invaso" [m³];
- Δt = intervallo temporale entro il quale viene applicata l'equazione [sec].

Nel caso specifico, la portata in ingresso può essere ottenuta dalla sommatoria dei seguenti termini:

- $Q_{IN..IMP}$ = portata scaricata dall'impianto idroelettrico di A2A tramite il canale immissario nella porzione nord-occidentale del lago [m³/s];
- $Q_{IN.BAC}$ = portata naturale proveniente dal bacino afferente al lago, calcolata al paragrafo precedente [m³/s];
- $Q_{IN.TAG}$ = portata di infiltrazione subalvea proveniente dal Fiume Tagliamento, situato a pochi chilometri di distanza [m³/s]

Analogamente, anche la portata in uscita può essere scomposta nei seguenti addendi:

- $Q_{OUT..IMP}$ = portata defluente nel canale emissario collocato nella porzione sud-orientale del lago [m³/s];
- $Q_{OUT.EVA}$ = portata di evaporazione dal lago [m³/s];
- $Q_{OUT.LEA}$ = portata di infiltrazione subalvea in direzione del Torrente Leale,

posto anch'esso a breve distanza [m³/s].

Indicando con H_{Iago} la quota sul livello del mare del lago [m s.l.m.] e con S la corrispondente superficie bagnata [m²], l'equazione [11.4] si trasforma nella seguente:

$$Q_{\text{IN.IMP}} + Q_{\text{IN.BAC}} + Q_{\text{IN.TAG}} - Q_{\text{OUT.IMP}} - Q_{\text{OUT.EVA}} - Q_{\text{OUT.LEA}} = \frac{\Delta H_{\text{LAGO}} \cdot S}{\Delta t} \quad [11.5]$$

La presente trattazione ha lo scopo di giungere alla ricostruzione del bilancio idrologico attuale ricavando i termini dell'equazione sulla base dei dati disponibili.

11.3.2 Portate monitorate

La Società titolare del sistema idroelettrico del Fiume Tagliamento ha eseguito il monitoraggio in continuo, a partire dal 01.01.2008, delle portate giornaliere in ingresso nel lago di Cavazzo tramite il canale immissario ($Q_{\text{IN.IMP}}$) e delle portate giornaliere in uscita dallo stesso tramite il canale emissario ($Q_{\text{OUT.IMP}}$).

I dati presentano una numerosità sicuramente significativa dal punto di vista statistico, essendo molto limitate le lacune, concentrate in pochi giorni. L'andamento dei valori misurati ed il confronto tra i dati in ingresso ed in uscita dal lago non sembra evidenziare errori sistematici o discontinuità particolari nelle rilevazioni.

Pertanto, le portate possono essere raggruppate su base mensile e mediate su tutti gli anni di osservazione; contestualmente, si calcola la differenza tra i due valori.

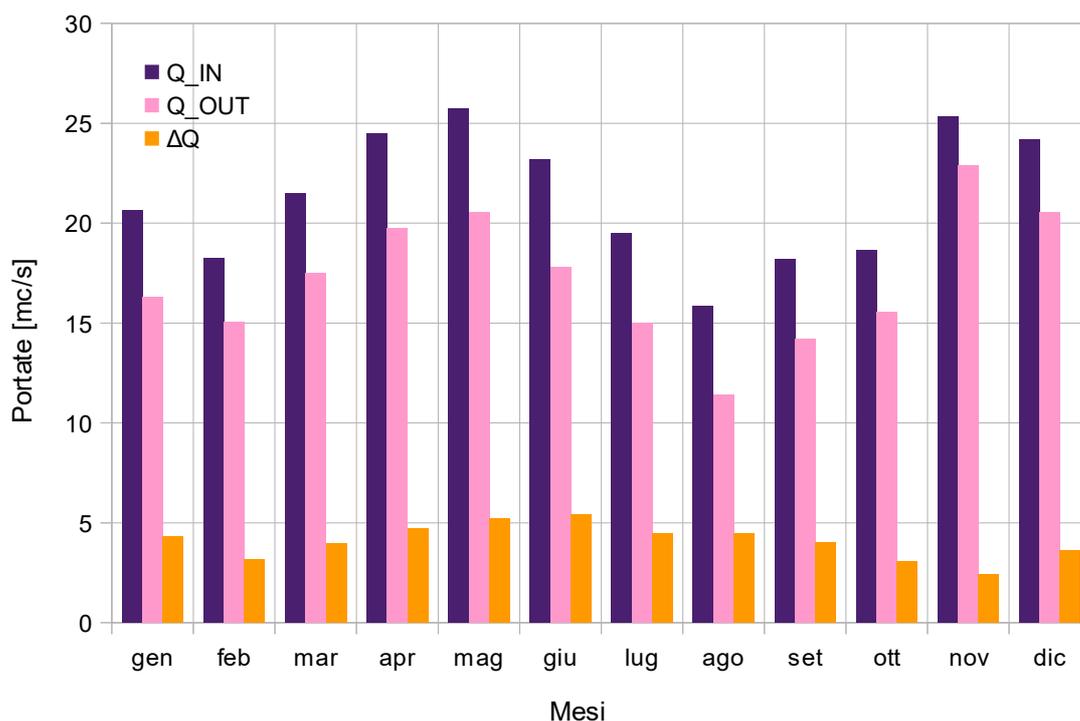


Fig. 11.10 - Portate mensili in ingresso (Q_IN) e in uscita (Q_OUT) dal lago e loro differenza (ΔQ)

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
Q_{IN}.IMP	20,66	18,24	21,50	24,47	25,76	23,19	19,51	15,84	18,21	18,64	25,33	24,18	21,68
Q_{OUT}.IMP	16,32	15,07	17,52	19,77	20,55	17,80	15,02	11,39	14,18	15,57	22,91	20,55	17,54
ΔQ	4,342	3,172	3,979	4,703	5,210	5,393	4,486	4,448	4,021	3,069	2,418	3,627	4,147

Tab. 11.6 - Deflussi medi mensili in ingresso e in uscita dal lago e loro differenze [m^3/s].

Le medesime portate possono essere raggruppate anche per anno, calcolando per ciascuno di essi le medesime grandezze:

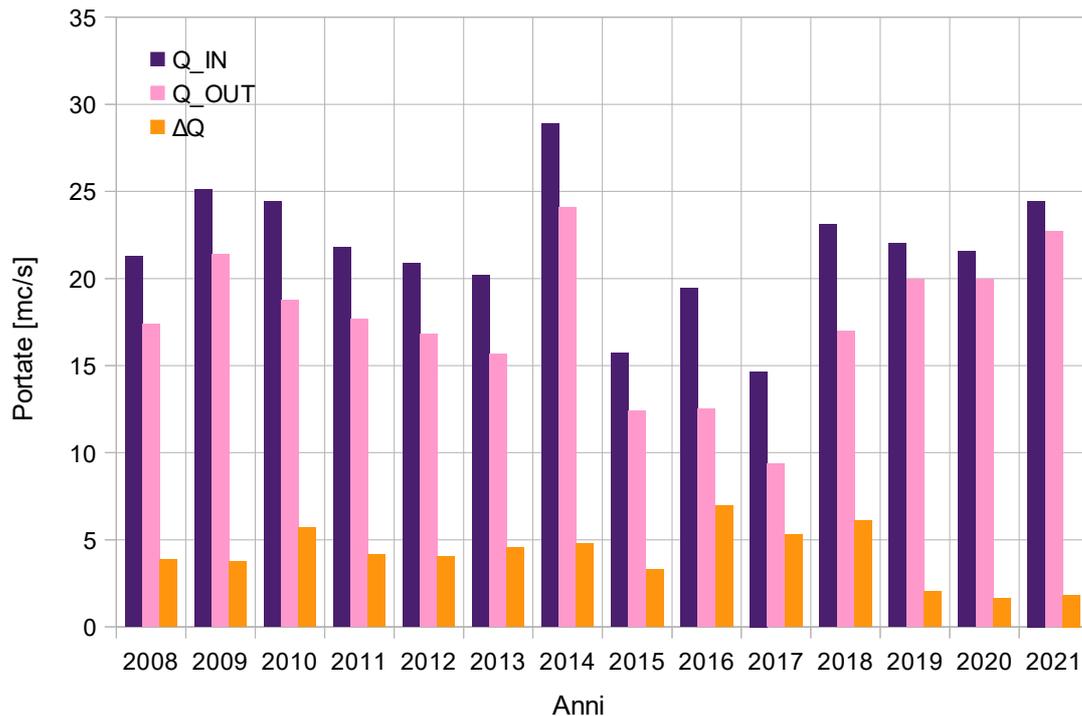


Fig. 11.11 - Portate annue in ingresso (Q_IN) e in uscita (Q_OUT) dal lago e loro differenza (ΔQ)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	MED
Q_{IN.IMP}	21,26	25,12	24,44	21,79	20,89	20,20	28,89	15,72	19,44	14,67	23,11	22,03	21,51	24,45	21,68
Q_{OUT.IMP}	17,37	21,40	18,74	17,65	16,83	15,66	24,09	12,42	12,50	9,38	16,98	19,97	19,96	22,68	17,54
ΔQ	3,883	3,722	5,701	4,146	4,059	4,539	4,793	3,297	6,935	5,286	6,132	2,059	1,628	1,833	4,147

Tab. 11.7 - Deflussi annui in ingresso e in uscita dal lago e loro differenze [m^3/s]

Dalle rappresentazioni si riscontra un saldo sempre negativo e talvolta molto consistente tra le portate in ingresso e le portate in uscita. Dal punto di vista quantitativo, tali differenze oscillano tra un minimo di 1,628 m^3/s ed un massimo di 6,935 m^3/s , attestandosi su di un valore mediato su gli anni di osservazione di 4,147 m^3/s .

In base all'analisi dei dati disponibili, le differenze non dovrebbero essere imputabili (se non in minima parte) ad errori sistematici dei misuratori.

Infatti, ipotizzando, per assurdo, che il sensore della portata in uscita sia stato affetto durante tutto il periodo 2008-2021 da un errore sistematico, ovvero che abbia rilevato una portata media di 17,54 m^3/s anziché 21,68 m^3/s (portata in ingresso), l'errore generato sarebbe stato del 23%, decisamente troppo elevato per

qualsiasi tipologia di misuratore. Inoltre, normalmente i sensori utilizzati per dette rilevazioni mostrano un errore proporzionale all'entità della portata misurata, fatto che, invece, non sembra palesarsi per la circostanza in esame.

In virtù delle considerazioni esposte, assunte come affidabili le misurazioni effettuate, ragionando su base annua è possibile sostituire la differenza misurata nell'equazione [11.5], ottenendo:

$$4,147 + Q_{IN.BAC} + Q_{IN.TAG} - Q_{OUT.EVA} - Q_{OUT.LEA} = \frac{\Delta H_{LAGO} \cdot S}{\Delta t} \quad [11.6]$$

11.3.3 Livelli monitorati

La medesima Società che gestisce il sistema idroelettrico dispone, per gli anni compresi tra il 2015 ed il 2022 (suddivisi tra il periodo 2015-2020 ed il periodo 2021-2022), dei dati di livello idrico relativi al lago di Cavazzo.

Chiaramente le modalità di gestione dell'impianto idroelettrico, che produce “per fasce orarie” determina delle oscillazioni del pelo libero.

In realtà, tali variazioni risultano limitate ad un valore massimo di circa 1,00 m, essendo la quota idrica del lago compresa tra un massimo di 195,20 m s.l.m. ed un minimo di 194,20 m s.l.m. (salvo un'unica eccezione di brevissima durata). Nel seguito si presentano i grafici relativi al periodo 2015-2020 e al periodo 2021-2022.

In merito a tale biennio, rielaborando i dati disponibili su base mensile, si ottengono oscillazioni ancora più contenute. Si segnala che le quote medie mensili rappresentate in Fig. 11.14 sono inferiori rispetto alla quota di regolazione media ordinaria (194,90 m s.l.m.), presumibilmente a causa della particolare scarsità idrica che ha riguardato il periodo oggetto di analisi e soprattutto il 2022 (caratterizzato da piovosità più che dimezzate rispetto alla media).

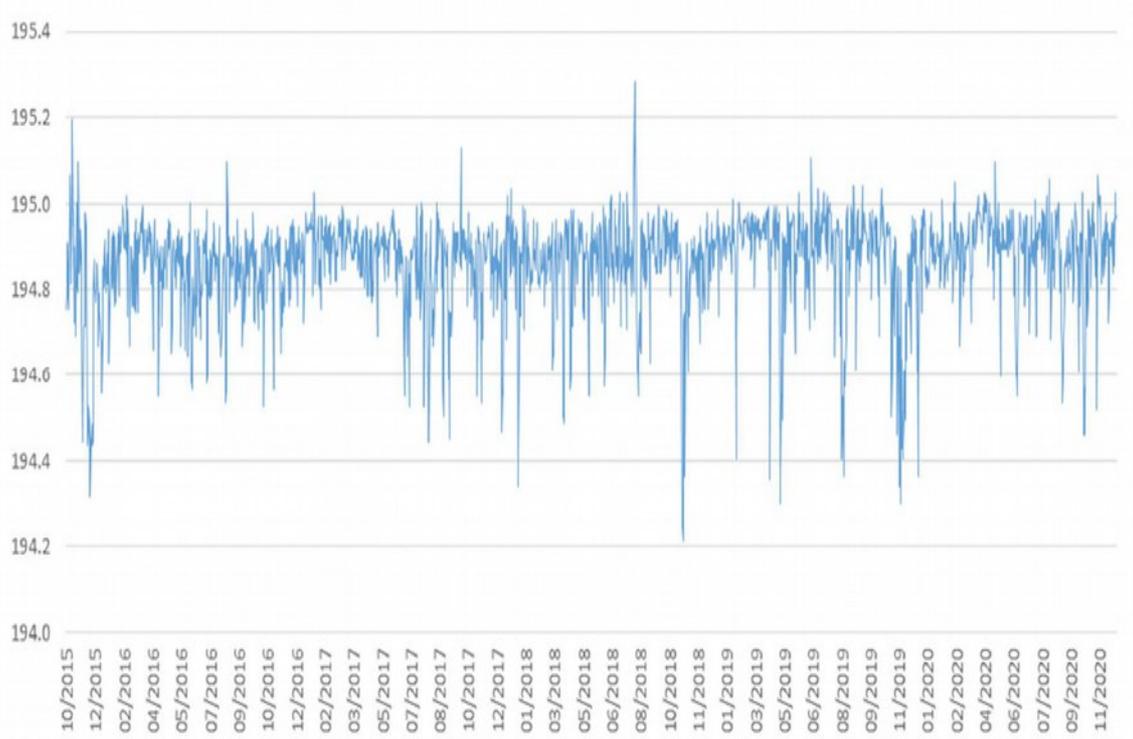


Fig. 11.12 - Quote idriche nel lago di Cavazzo negli anni 2015-2020

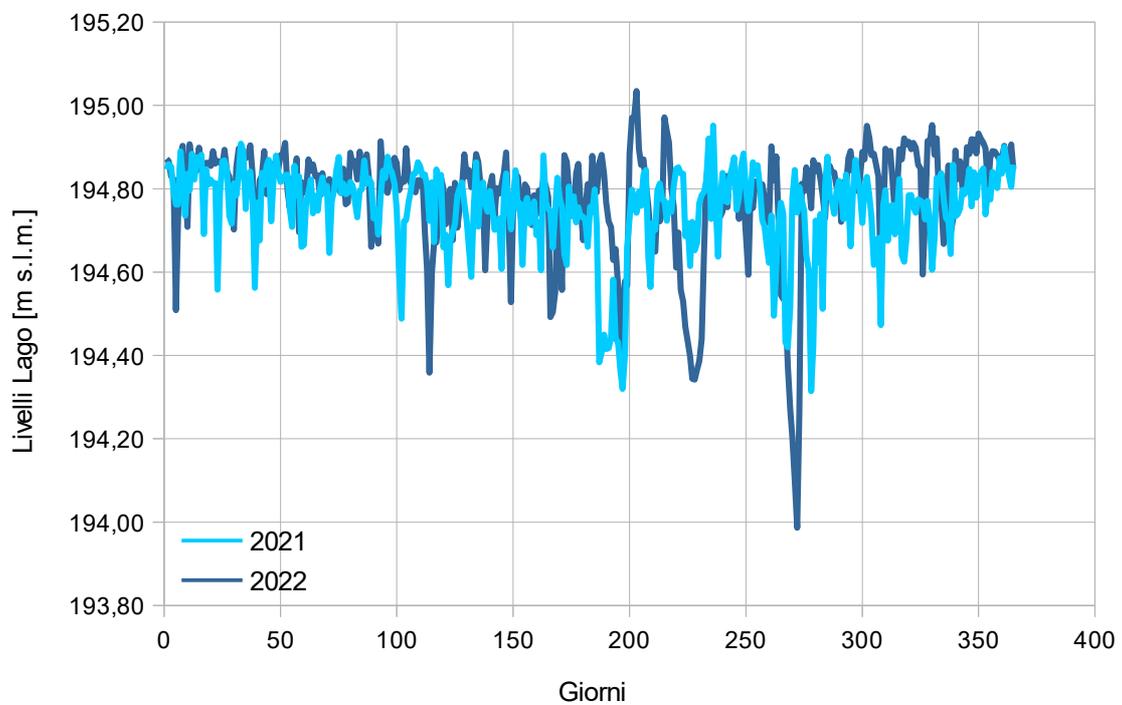


Fig. 11.13 - Quote idriche nel lago di Cavazzo negli anni 2021 e 2022

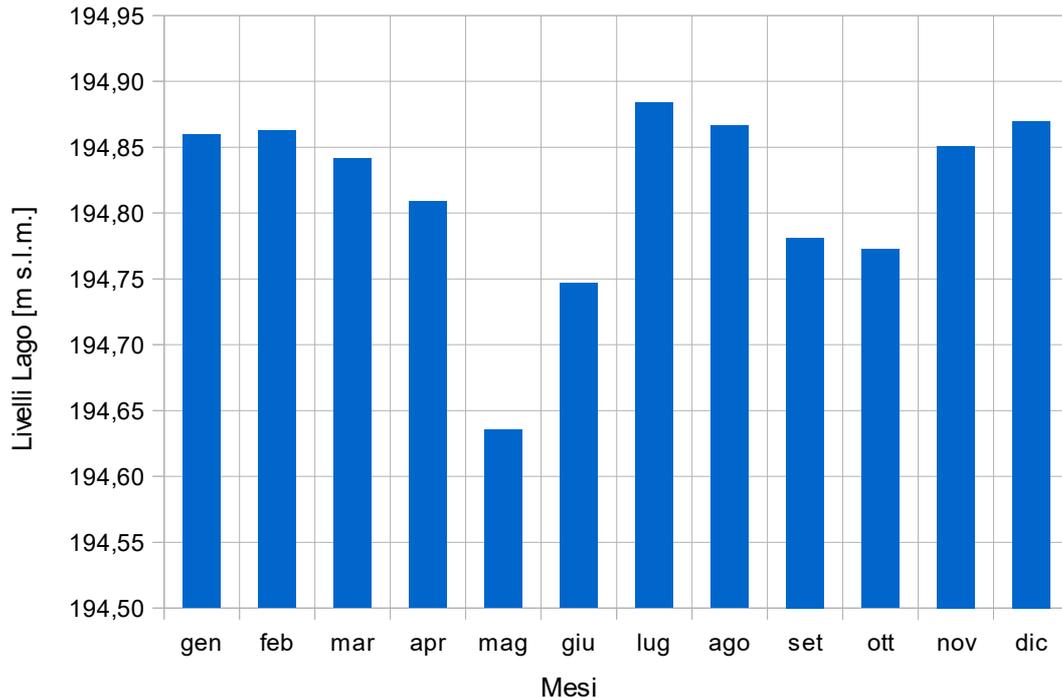


Fig. 11.14 - Quote idriche medie mensili mediate sugli anni di osservazione 2021 e 2022.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
H_{lago}	194,96	194,86	194,84	194,81	194,64	194,75	194,88	194,87	194,78	194,77	194,85	194,87	194,77

Tab. 11.8 - Quote idriche del lago di Cavazzo medie mensili, mediate tra gli anni 2021 e 2022 [m s.l.m.].

In ogni caso, integrando l'equazione di continuità su di un intervallo temporale Δt sufficientemente lungo (come su base annua), la gestione operata consente di mantenere una quota idrica mediamente costante, ovvero $\Delta H_{\text{lago}} = 0$. L'espressione originaria, quindi, si semplifica, diventando:

$$4,147 + Q_{\text{IN.BAC}} + Q_{\text{IN.TAG}} - Q_{\text{OUT.EVA}} - Q_{\text{OUT.LEA}} = 0 \quad [11.7]$$

11.3.4 Apporti naturali

La portata media annua proveniente dai versanti del bacino di alimentazione del lago di Cavazzo è stata calcolata in $1,160 \text{ m}^3/\text{s}$, per cui l'equazione di continuità si trasforma come segue:

$$5,307 + Q_{\text{IN.TAG}} - Q_{\text{OUT.EVA}} - Q_{\text{OUT.LEA}} = 0 \quad [11.8]$$

11.3.5 Perdite per evaporazione

La consistente superficie del lago di Cavazzo (pari a 1,28 km²) induce a considerare come non trascurabili le perdite legate all'evaporazione dalla sua superficie libera. Si tratta, naturalmente, di un fenomeno concentrato soprattutto nei mesi caratterizzati da una temperatura maggiore.

Il calcolo dell'evaporazione massima non può che essere basato su formule empiriche, valutate da studiosi della materia e riportate in articoli scientifici riconosciuti a livello internazionale. Per la presente analisi, si fa ricorso alla seguente Formula di Hargreaves:

$$ET_G = 0,0023 \cdot R_0 \cdot \sqrt{\Delta T} \cdot (T + 17,8) \quad [11.9]$$

in cui:

- ET_G = evaporazione media giornaliera [mm/g];
- ΔT = escursione termica giorno-notte [°C];
- T = temperatura media giornaliera [°C];
- R_0 = altezza di evaporazione equivalente alla radiazione extratmosferica per il sito ed il giorno di interesse [mm/g].

L'ultimo parametro viene calcolato in base alle seguenti relazioni individuate dall'autore nello svolgimento del suo metodo:

$$R_0 = 458 \cdot G_{SC} \cdot d_R \cdot (\omega_S \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_S) \quad [11.9.A]$$

$$d_R = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J\right) \quad [11.9.B]$$

$$\delta = 0,409 \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{365} \cdot J - 1,39\right) \quad [11.9.C]$$

$$J = 30,42 \cdot M - 15,23 \quad [11.9.D]$$

$$\omega_S = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad [11.9.E]$$

in cui:

- G_{SC} = costante solare = 0,082 [MJ / m²min];
- M = numero del mese di riferimento;
- ϕ = latitudine del punto di interesse = 0,797 rad.

I dati di temperatura da inserire nell'espressione sperimentale sono ricavati facendo riferimento alla stazione termometrica di Alesso, localizzata nel medesimo punto di quella utilizzata per i calcoli di cui al paragrafo 11.1.2 , quindi posta a brevissima

distanza dal lago.

L'evaporazione media giornaliera calcolata è rappresentativa del singolo mese; la portata idrica evaporata viene ricavata moltiplicando il termine ET_G per la superficie del lago (1,28 km²).

I risultati ottenuti su base media mensile sono riportati nella tabella e nel grafico seguenti:

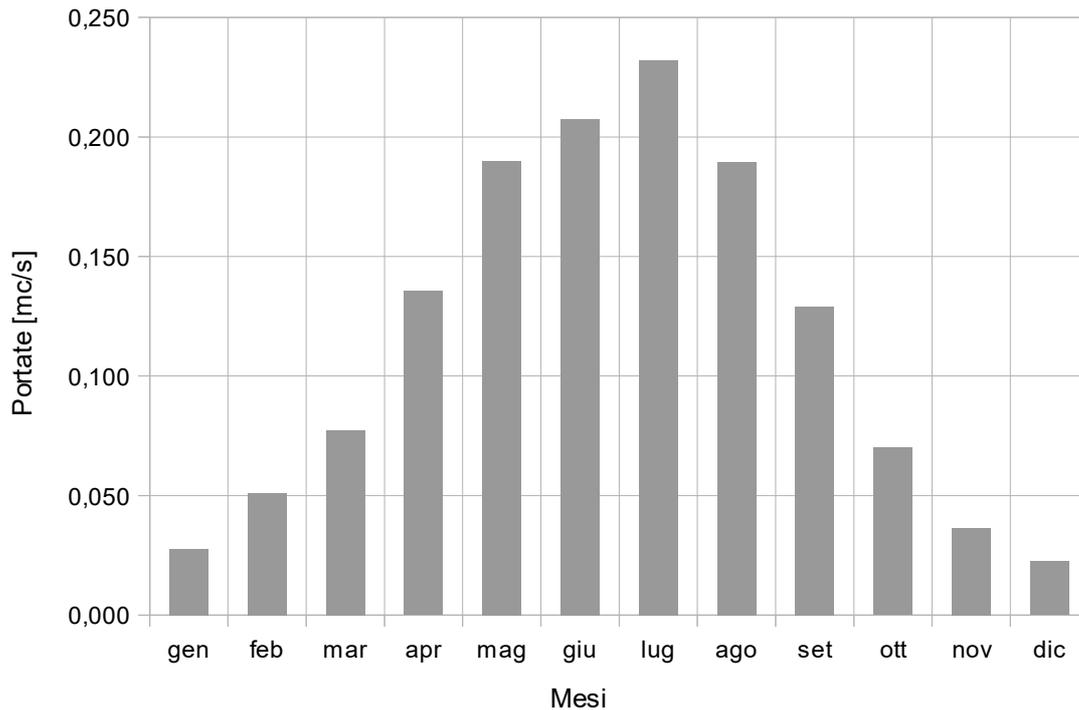


Fig. 11.15 - Stima delle perdite per evaporazione dal lago di Cavazzo [m³/s]

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
T_{MIN}	-1	0	3	7	11	15	16	16	13	9	4	0	8
T_{MAX}	7	10	12	18	23	26	29	28	24	18	12	7	18
ET	0,028	0,051	0,077	0,136	0,190	0,207	0,232	0,189	0,129	0,070	0,036	0,023	0,114

Tab. 11.9 - Temperature medie mensili massime e minime ad Alesso [°C] e perdite per evaporazione [m³/s]

Il valore medio annuo ottenuto, pari a 0,114 m³/s, viene confrontato con quello ottenibile dall'applicazione di un'altra formula sperimentale come quella di Visentini (1935-1938), verificata empiricamente in corrispondenza di specchi d'acqua italiani posti a quota inferiore a 200 m s.l.m.:

$$ET_{MA} - 75 \cdot T_{MA} \quad [11.10]$$

in cui:

- ET_{MA} = evaporazione media annua [mm/anno];
- T_{MA} = temperatura media annua [°C].

Con una temperatura media annua calcolata in base ai dati riferiti alla stazione di Alesso pari a 12,98°C, si ottiene una portata di appena 0,040 m³/s.

In definitiva, si tratta comunque di perdite piuttosto limitate, di un ordine di grandezza inferiore rispetto all'entità della differenza riscontrata tra la portata in ingresso e la portata in uscita registrata dai sensori installati dalla Società Concessionaria degli impianti idroelettrici. L'equazione di continuità, considerando anche le perdite per evaporazione calcolate con la Formula di Hargreaves (più recente e completa), diventa pertanto:

$$Q_{IN.TAG} - Q_{OUT.LEA} = -5,193 \quad [11.11]$$

11.3.6 Perdite per infiltrazioni

La [11.11] mostra un saldo negativo tra le portate di infiltrazione che provengono dal bacino del Fiume Tagliamento e le portate che si infiltrano in direzione del Torrente Leale. In mancanza di altre possibili spiegazioni, si deve accettare l'ipotesi che le perdite nel substrato del lago superino mediamente di 5,193 m³/s gli apporti subalvei provenienti dal corso d'acqua principale del territorio. In passato, numerosi studiosi indagarono entrambi i fenomeni, appurando la presenza di numerose sorgenti subacquee di alimentazione del lago (denominate "polle" dal dott. Fabiani nel documento "*Il lago di Cavazzo*"), e di deflussi sotterranei all'interno dell'ammasso poroso, ma nessuno di essi fu in grado di avvicinarsi ad una loro definizione in termini di portata.

In effetti, per la quantificazione precisa dei deflussi sotterranei, con identificazione dei valori numerici da associare alle grandezze $Q_{IN.TAG}$ e $Q_{OUT.LEA}$, si renderebbe necessaria la realizzazione di un modello complesso di circolazione idrica sotterranea, con approfondimenti in sito per la valutazione della permeabilità, da estendere a tutto il territorio compreso, appunto, tra il Fiume Tagliamento ed il Torrente Leale.

In aggiunta, potrebbe risultare molto utile procedere all'implementazione del

sistema delle misurazioni, con introduzione di ulteriori sensori dislocati quanto meno in corrispondenza degli immissari principali del lago di Cavazzo. Una taratura ancora più frequente rispetto allo stato attuale dei misuratori già installati, infine, sgombrerebbe il campo da eventuali imprecisioni nella determinazione delle portate.

In assenza di una “quantificazione precisa”, al momento risulta già molto significativo il dato delle infiltrazioni ottenuto nell'espressione [11.11], che al netto delle tolleranze dei misuratori e delle ipotesi assunte per la stima delle portate naturali e dell'evaporazione, risulta di entità molto consistente.

Del resto, come anticipato in Fig. 11.6, il lago di Cavazzo si trova in un'area caratterizzata da un substrato costituito da calcari che la Carta geologica della Regione Friuli definisce precisamente come segue:

Calcari micritici grigi alternati a calcari stromatolitici, in strati dm organizzati in cicli peritidali; calcari oolitici biancastri e calcari a oncoidi (*Calcari Grigi del Friuli, Calcare di Stolaz, Calcari a Crinoidi*); depositi di piattaforma e di margine. *Grey micritic limestones alternating with stromatolitic limestones, in dm-thick shallowing upward beds; whitish oolitic and oncoidal limestones: shallow water carbonate platform and margin platform deposits. Giurassico inf.*

Fig. 11.16 - Definizione dei calcari del substrato del lago di Cavazzo, estratta dalla Carta geologica.

Si tratta quindi di rocce carbonatiche, entro le quali la permeabilità è piuttosto elevata, tali da poter giustificare valori di infiltrazione di tali proporzioni.

11.4 Comportamento del lago in caso di mancati apporti dall'impianto

11.4.1 Comportamento del lago prima della realizzazione dell'impianto

In una fase precedente rispetto alla realizzazione dell'impianto idroelettrico attualmente di proprietà della Società A2A, gli apporti idrici al lago di Cavazzo erano legati solo ai contributi dei corsi d'acqua del bacino afferente, come ad esempio il Rio Schiasazze ed il Rio da Cout. Non era presente un vero e proprio emissario del lago, bensì solamente uno sfioratore posto lungo la sponda meridionale che alimentava un canale scolmatore, attivato esclusivamente durante il corso degli eventi di piena.

Se ne deduce che, in condizioni ordinarie, la totalità della portata in ingresso al lago tendeva a disperdersi per infiltrazione ed evaporazione.

La prima analisi in merito a detto fenomeno fu pubblicata nel 1892 dal Prof. Olinto

Marinelli (Professore di geografia, Presidente della Società Alpina Friulana e Direttore della Rivista Geografica Italiana), che all'interno della Rivista *"In Alto – Cronaca bimestrale della Società Alpina Friulana – Anno 3° – N° 2 del 01.03.1892"* descrisse il comportamento del lago nei seguenti termini.

"La differenza di livello fra le magre e le massime piene raggiunge i 4 o 5 metri. Nelle grandi piene, le acque del lago sormontano la briglia, che lo chiude a valle ed allora formano un grosso filo d'acqua della profondità anche di un metro, che per un letto in gran parte ghiaioso, di solito asciutto, si versa nel Melò. In tal caso le onde del lago, di solito tranquille palesano un movimento da nord a sud abbastanza sensibile e che può divenir pericoloso per le sdruscite barche di Somplago ed Alesso. Durante le massime magre, delle porzioni considerevoli di fondo fangoso, rimangono asciutte, specialmente alle due estremità del lago, producendo così emanazioni palustri dannose alla salute (sic!). Sarebbe quindi utile che si togliesse questo inconveniente, regolando l'emissario del lago. Negli inverni più rigidi il lago di Cavazzo si copre d'una crosta di ghiaccio, di un certo spessore, fenomeno che si produsse anche l'inverno scorso, 1891-92".

Nel documento *"Il lago di Cavazzo"* del dott. Fabiani del 1946 (già citato in precedenza), si evidenziava un'oscillazione massima del lago pari a 6 m.

Anche l'ing. Di Bra, in un articolo pubblicato sulla Rivista *"L'Energia Elettrica (edizione n. 5 del 1968)"*, dedicato proprio alla costruzione della centrale idroelettrica di Somplago, confermava che *"Il lago non aveva un vero e proprio emissario, bensì un canale sfioratore che entrava in funzione solamente in occasione di grandi piene, poiché normalmente l'acqua si disperdeva attraverso il fondo e soprattutto lungo le sponde"*.

Le oscillazioni di livello nel lago di Cavazzo prima della realizzazione dell'impianto furono monitorate nel periodo precedente la realizzazione della centrale idroelettrica di Somplago da parte del Servizio Idrografico Mareografico Nazionale (SIMN), che aveva installato allo scopo la stazione di Internepo. I dati disponibili del SIMN mostrano un andamento del livello molto variabile a seconda dell'anno idrologico di riferimento, comunque con differenze molto rilevanti tra il valore minimo ed il valore massimo annuo.

Si riportano nel seguito della trattazione gli estratti relativi all'andamento cronologico dei livelli negli anni dal 1935 al 1938 e i dati giornalieri dell'anno 1957, dai quali si

rilevano:

- per gli anni 1935 e 1937, picchi positivi a marzo, maggio, ottobre e novembre e valori minimi ad agosto e settembre;
- per gli anni 1936 e 1957, picchi molto più contenuti ed un andamento tendenzialmente decrescente da inizio a fine anno;
- per l'anno 1938, un comportamento intermedio tra le prime due casistiche, con trend negativo consistente del livello nella prima parte dell'anno e successivi picchi positivi a maggio e novembre.

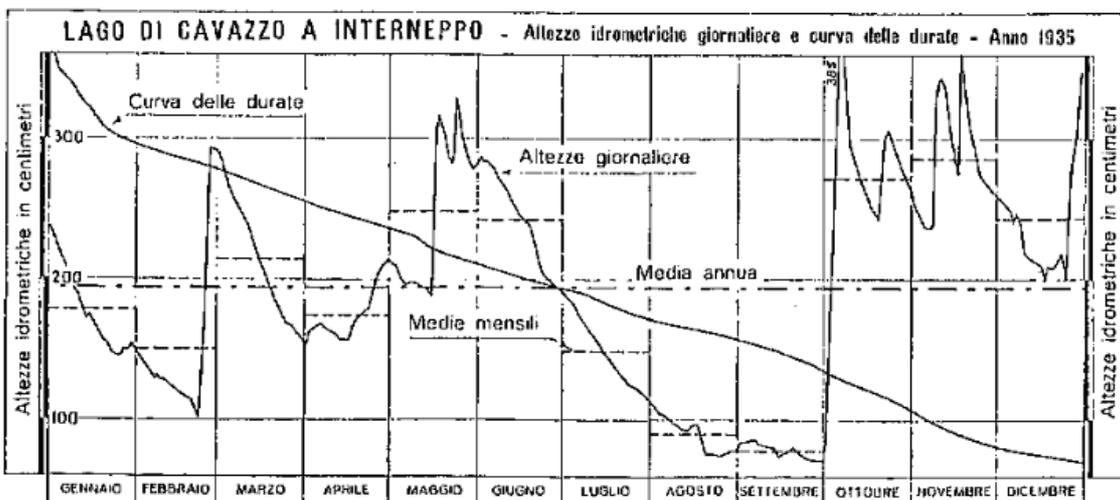


Fig. 11.17 - Andamento del livello nel lago nel 1935.

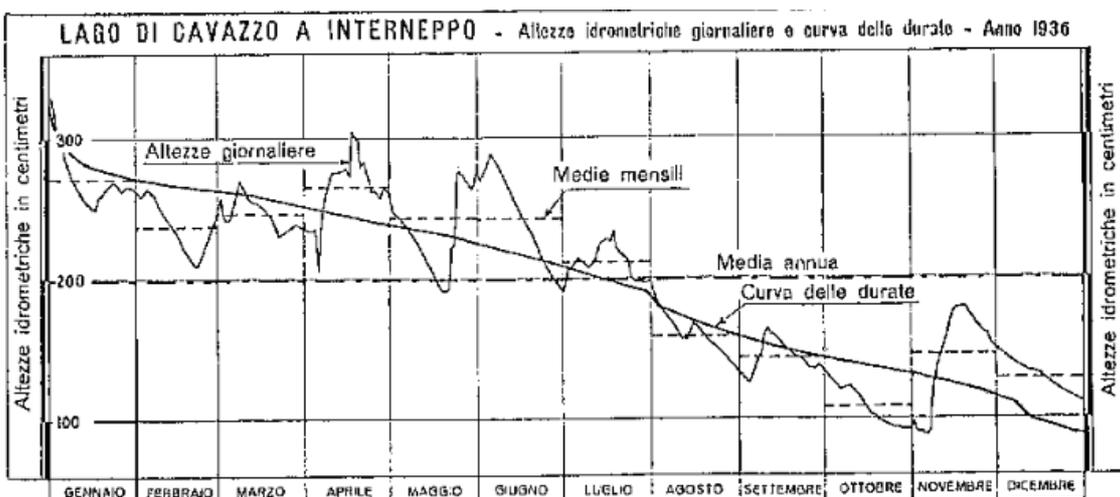


Fig. 11.18 - Andamento del livello nel lago nel 1936.

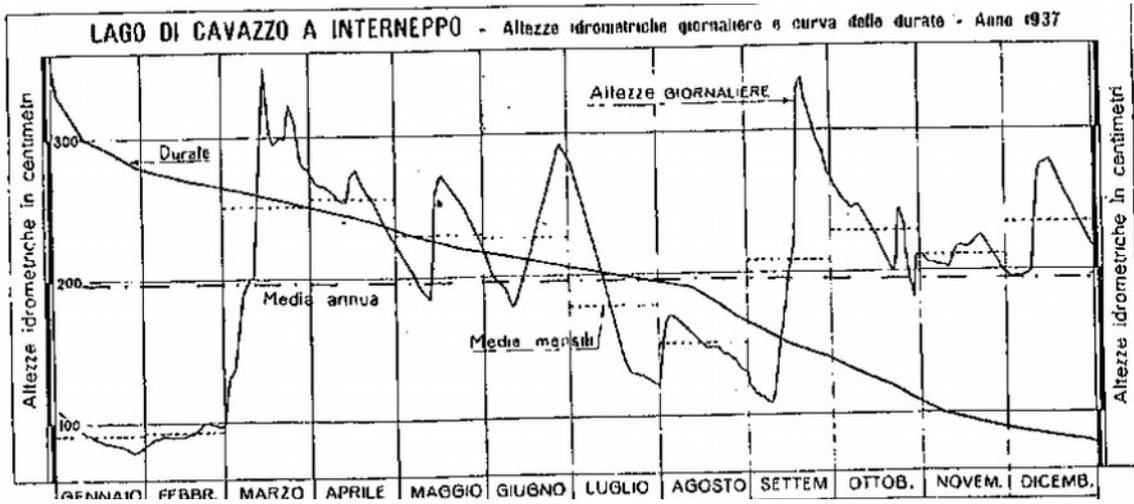


Fig. 11.19 - Andamento del livello nel lago nel 1937.

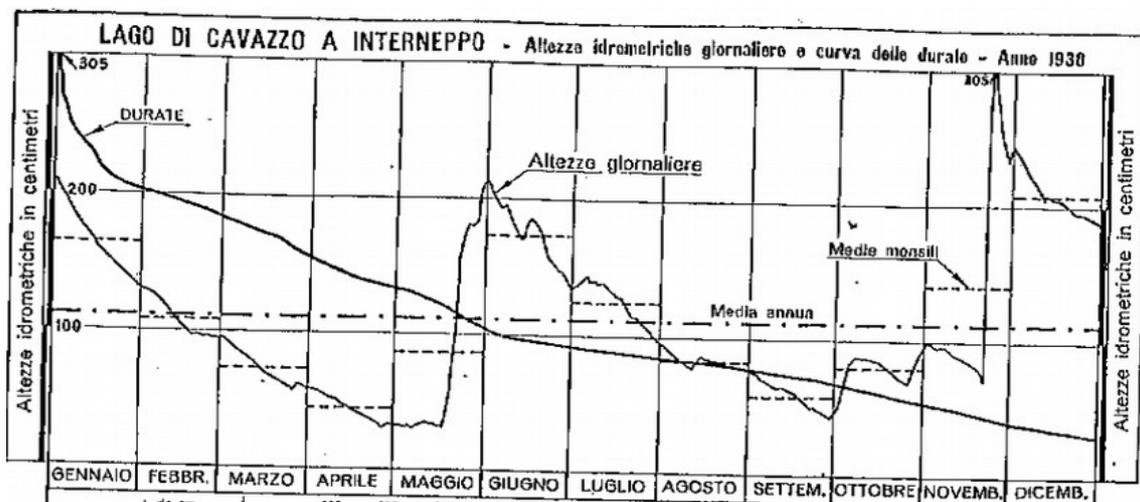


Fig. 11.20 - Andamento del livello nel lago nel 1938.

Tabella I. — Osservazioni idrometriche giornaliere (cm)

Bacino: TAGLIAMENTO											
Stazione: LAGO DI CAVAZZO ad ALESSO (m 193.00 s. m.)											
G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
84	111	289	280	189	-65	-44	-65	-139	-149	-169	-185
89	134	287	282	135	-66	-45	-78	-137	-146	-162	-170
110	159	284	280	88	-64	-49	-93	-147	-147	-155	-8
127	190	284	282	42	-62	-45	-103	-149	-145	-158	-45
130	227	283	283	-4	-58	-51	-104	-152	-143	-152	-160
131	254	281	283	-6	-52	-58	-102	-150	-142	-150	-165
130	281	278	285	-10	-55	-41	-100	-156	-144	-146	-168
129	307	275	283	-13	-49	-43	-106	-152	-145	-149	-170
129	301	272	285	-23	-53	-45	-104	-150	-142	-151	-163
128	271	269	290	-22	-56	-50	-108	-148	-143	-153	-171
128	254	271	300	-42	-58	-54	-101	-146	-147	-149	-175
127	260	274	320	-60	-55	-62	-103	-149	-146	-150	-178
126	270	275	345	-53	-50	-70	-101	-143	-160	-154	-180
126	282	280	340	-54	-41	-79	-106	-145	-155	-156	-185
125	299	290	241	-55	-35	-78	-108	-147	-150	-153	-187
124	280	292	295	-55	-11	-75	-101	-149	-153	-190	-185
123	284	294	340	-56	-9	-70	-117	-143	-149	-205	-179
122	271	298	200	-57	-11	-73	-110	-139	-151	-190	-180
119	260	232	160	-56	-15	-71	-108	-138	-152	-187	-175
117	265	302	169	-59	-23	-70	-112	-144	-150	-185	-172
115	267	306	124	-58	-28	-68	-109	-147	-153	-185	-170
114	269	310	101	-42	-25	-65	-111	-150	-149	-187	-173
113	281	314	91	-40	-19	-67	-113	-152	-149	-182	-175
112	281	289	79	-45	-23	-63	-118	-153	-152	-170	-178
112	285	283	59	-48	-25	-61	-118	-154	-175	-185	-171
110	290	268	63	-54	-29	-65	-115	-152	-180	-174	-176
108	283	269	118	-58	-35	-63	-112	-149	-194	-192	-160
107	282	271	129	-62	-38	-67	-116	-150	-197	-185	-150
108		273	136	-65	-40	-64	-114	-152	-195	-187	-164
109		276	144	-65	-46	-61	-112	-150	-194	-191	-166
110		278		-66		-60	-111		-182		-170
117	257	282	220	-27	-40	-61	-106	-148	-157	-170	-163
Media annua: 0											

Fig. 11.21 - Livelli registrati presso il lago di Cavazzo nel 1957.

Per indagare le forzanti che determinarono tale comportamento del lago di Cavazzo, molto diverso a seconda degli anni, si analizzano i valori di piovosità registrati nel medesimo periodo presso la stazione pluviometrica di Alesso, già utilizzata per le elaborazioni al paragrafo 11.1.2 . La rappresentazione seguente identifica i dati mensili e quindi l'andamento cronologico delle piogge:

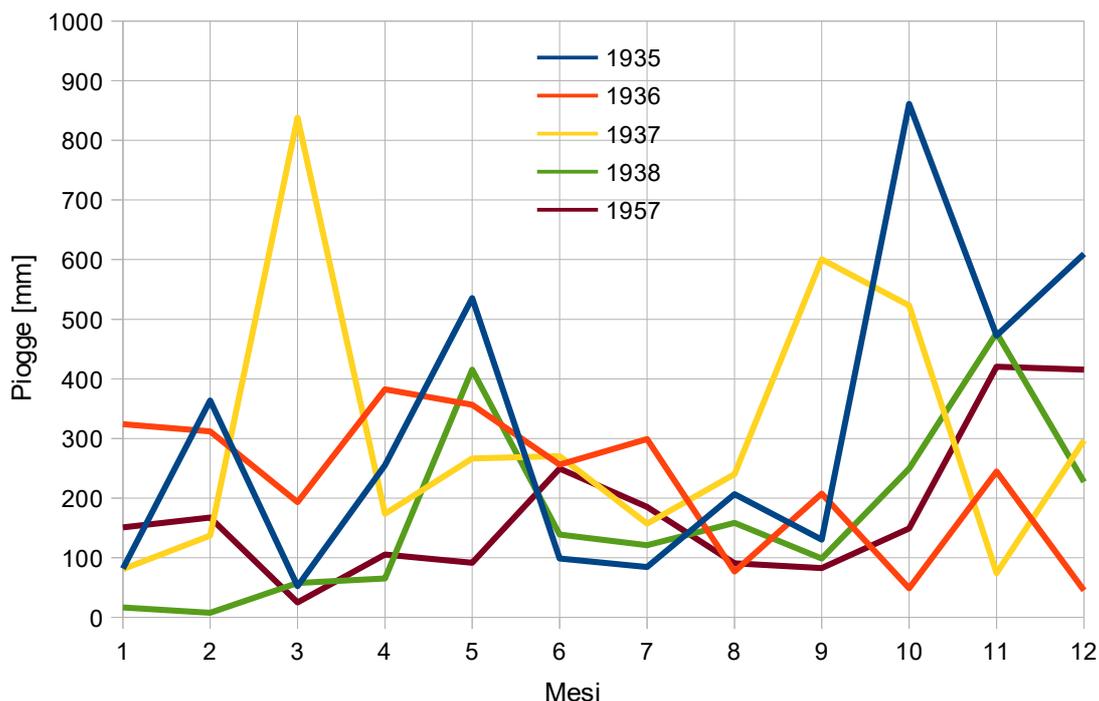


Fig. 11.22 - Pioffe mensili ad Alesso negli anni 1935-1938 e 1957.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	TOT
1935	82	364	52	255	535	98	84	206	130	861	473	610	3751
1936	323	312	193	382	356	256	299	77	207	49	244	45	2745
1937	81	137	838	174	266	270	157	240	601	523	74	297	3658
1938	17	7	58	65	416	139	121	158	98	249	477	227	2032
1957	151	167	25	105	92	249	185	90	83	149	420	415	2132

Tab. 11.10 - Piovosità media mensile registrata ad Alesso negli anni indicati [mm].

I grafici del Servizio Idrografico e la tabella delle piovosità mostrano una correlazione piuttosto evidente, dal momento che:

- gli anni 1935 e 1937 furono quelli nettamente più piovosi (afflusso maggiore di 3.600 mm annui), con valori massimi mensili talvolta superiori a 800 mm, capaci di giustificare i picchi riscontrati nei livelli (si noti, a titolo di esempio, la perfetta corrispondenza tra i picchi di piovosità e livello nel settembre 1937 e nell'ottobre 1935);
- gli anni 1936 e 1957 risultarono più scarsi in termini di precipitazioni, con valori modesti per diversi mesi consecutivi nell'estate-autunno 1936 e dall'inverno all'estate del 1957, determinando una decrescita progressiva del

livello nel lago;

- l'anno 1938 fu quello caratterizzato dalla piovosità annua minima tra i 5 anni considerati, ma presentando picchi consistenti (maggiori di 400 mm) nei mesi di maggio e novembre, determinò aumenti temporanei non indifferenti del livello nel lago.

Dal confronto emerge, in sintesi, che negli anni caratterizzati da elevata piovosità (con valori cumulati annui superiori a 3.600 mm) gli apporti furono tali da superare le perdite per evaporazione ed infiltrazione, determinando livelli crescenti nel lago, mentre negli anni a piovosità inferiore (compresa tra 2.000 e 2.700 mm) il lago subì progressivamente un abbassamento del livello della sua superficie libera.

Si segnala, infine, che l'anno 1957 risulta particolarmente significativo perché, sulla base dei dati a disposizione, rappresenta quello caratterizzato dalla massima escursione registrata, compresa tra i + 282 cm medi mensili del mese di marzo e i -170 cm del mese di novembre, per un totale di 4,52 m:

11.4.2 Comportamento del lago in periodi di fermo impianto

Durante il corso dell'estate 2003, particolarmente siccitosa, la centrale idroelettrica di Somplago rimase per un lungo periodo totalmente inattiva.

Sulla base della documentazione consultata, parrebbe di intuire che entro tale intervallo temporale il canale emissario del lago attualmente esistente (interessato dal transito della " $Q_{OUT.IMP}$ citata in precedenza) non sia mai stato alimentato con una portata idrica.

Anche in questa circostanza si verificò un abbassamento del livello del lago di Cavazzo, evidentemente legato alle perdite per infiltrazione ed evaporazione. Non sono disponibili misurazioni delle quote idriche raggiunte dall'acqua durante il periodo segnalato.

11.4.3 Simulazione del comportamento del lago allo stato attuale

La simulazione viene effettuata ipotizzando che l'impianto idroelettrico della Società A2A non sia in funzione, ovvero che la portata in ingresso $Q_{IN.IMP}$ e la portata in uscita $Q_{OUT.IMP}$ siano nulle. Indicando con il termine ΔQ le perdite per evaporazione e per infiltrazione, l'equazione di continuità [11.5] diventa la seguente:

$$Q_{IN.BAC} + \Delta Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{\Delta H_{LAGO} \cdot S}{\Delta t} \quad [11.12]$$

Le portate medie mensili di apporto dal bacino afferente al lago ($Q_{IN.BAC}$) sono state ricavate al paragrafo 11.2.6 .

In merito alle portate medie mensili relative alle perdite (ΔQ), esse sono assunte pari a quelle medie su tutti gli anni di osservazione, indicate al paragrafo 11.3.2 in Tab. 11.6, legate a misurazioni effettuate in corrispondenza di livelli oscillanti al massimo tra le quote 195,20 m s.l.m. e 194,20 m s.l.m. (non più di 1 m di escursione).

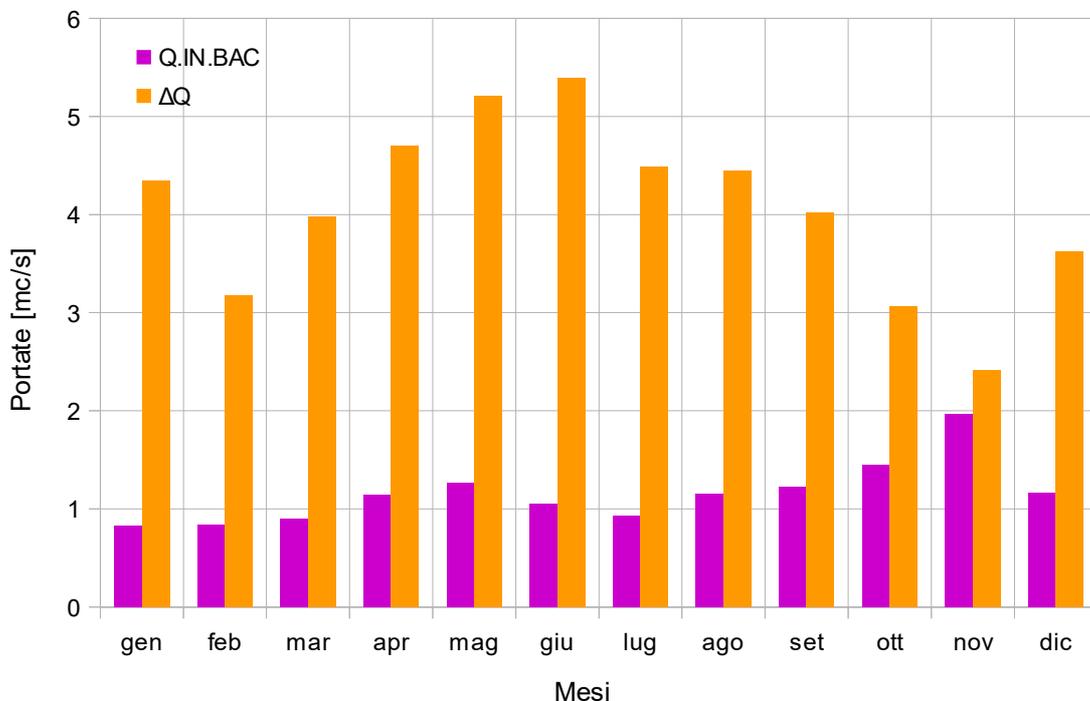


Fig. 11.23 - Confronto tra portate naturali in ingresso al lago e perdite [m³/s]

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
$Q_{IN.BAC}$	0,834	0,840	0,895	1,141	1,263	1,052	0,929	1,152	1,227	1,446	1,967	1,169	1,160
ΔQ	4,342	3,172	3,979	4,703	5,210	5,393	4,486	4,448	4,021	3,069	2,418	3,627	4,147

Tab. 11.11 - Confronto tra portate naturali in ingresso al lago e perdite [m³/s]

Ovviamente tale assunzione risulta valida solamente nel caso in cui le perdite siano indipendenti dalla quota idrica del pelo libero del lago di Cavazzo. È invece

possibile, ma non verificabile allo stato attuale, che esse possano ridursi al diminuire della quota idrica del lago, laddove tale quota risulti decisamente inferiore rispetto al range individuato nel periodo di misurazione.

Dal confronto tra $Q_{IN.BAC}$ e ΔQ , come visualizzato in Fig. 11.22 e Tab. 11.11 e come anticipato al paragrafo 11.3.6, le perdite per evaporazione ed infiltrazione risulterebbero sicuramente prevalenti in termini quantitativi rispetto agli apporti superficiali a partire dal bacino afferente: inevitabilmente il lago, in assenza di immissioni dall'impianto idroelettrico, subirebbe una perdita di volume ΔV e quindi un abbassamento del livello del pelo libero.

Il calcolo del termine ΔV avviene considerando un intervallo temporale Δt scelto pari ad 1 mese.

I volumi idrici "persi" dal lago a 1 mese dall'interruzione del deflusso proveniente dall'impianto idroelettrico sarebbero quindi i seguenti:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
ΔV	9,398	5,643	8,261	9,233	10,572	11,252	9,53	8,828	7,242	4,347	1,170	6,584	8,002

Tab. 11.12 - Confronto tra portate naturali in ingresso al lago e perdite [milioni di m^3].

Nota la curva dei volumi del lago (legame funzionale tra la quota idrica e la superficie bagnata), si può ottenere la variazione di livello ΔH_{lago} e la relativa quota assoluta H_{lago} , al termine del periodo, ipotizzando una condizione iniziale in cui la quota del pelo libero è pari a 194,90 m s.l.m..

Naturalmente, anche la riduzione del livello sarebbe proporzionale alla differenza tra le perdite e gli apporti. A titolo di esempio, nel mese di novembre le elevate piovosità e le ridotte perdite riscontrate consentirebbero di minimizzare il fenomeno, mentre a giugno si verificherebbe la condizione opposta.

Si ricavano, in conclusione, gli abbassamenti del livello del lago nell'arco di 1 mese, compresi tra un minimo di 0,99 m ed un massimo di 11,10 m, nonché le quote assolute raggiunte dalla superficie libera.

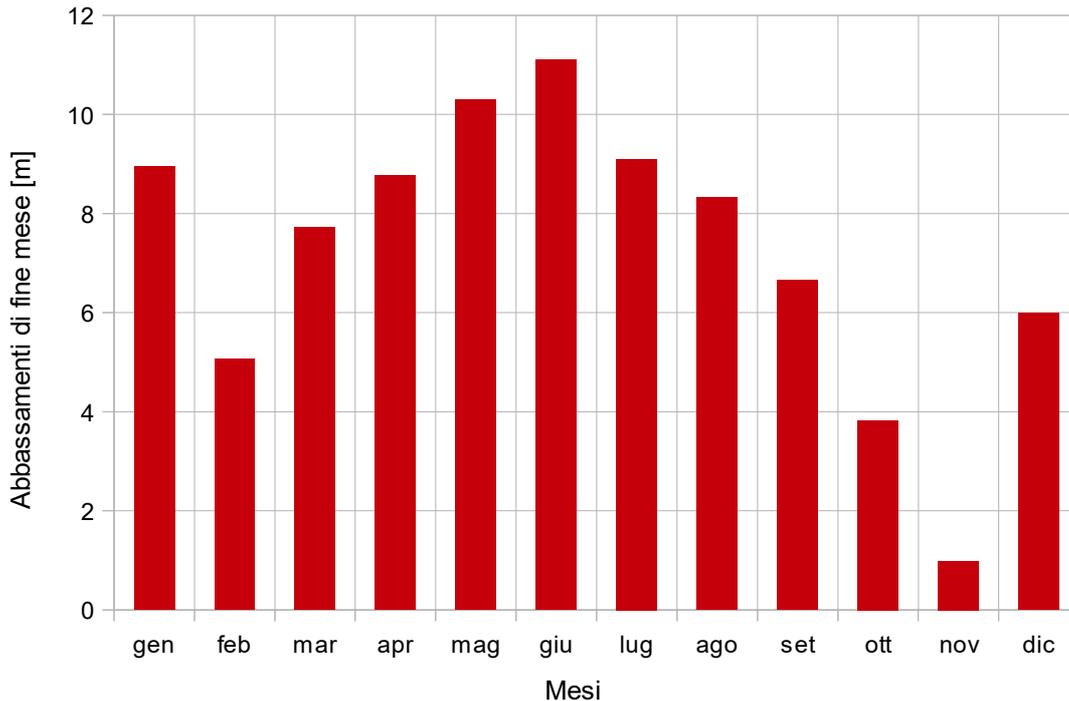


Fig. 11.24 - Abbassamenti di livello nel lago dopo 1 mese di assenza degli apporti provenienti dall'impianto

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	MED
ΔH_{lago}	8,96	5,06	7,72	8,77	10,30	11,10	9,10	8,33	6,66	3,03	0,99	5,99	7,45
H_{lago}	185,94	189,84	187,18	186,13	184,60	183,80	185,80	186,57	188,24	191,07	193,91	188,91	187,45

Tab. 11.13 - Abbassamenti e quote idriche nel lago dopo 1 mese di $Q_{IN,IMP} = 0$ [m e m s.l.m.]

11.5 Considerazioni conclusive

Nell'ipotesi semplificativa che le perdite per infiltrazione si mantengano costanti anche a fronte di una quota idrica nel lago decisamente inferiore rispetto a quelle di ordinaria regolazione ad opera del gestore dell'impianto idroelettrico, in assenza di apporti per circa 30 giorni consecutivi dalla centrale di Somplago il corpo idrico subirebbe diminuzioni del livello molto consistenti. Tali riduzioni risulterebbero più marcate nei mesi primaverili ed estivi e meno rilevanti nel periodo autunnale. In generale, la tendenza del lago in presenza dei soli apporti provenienti dai corsi d'acqua superficiali facenti parte del bacino afferente, determinati da un afflusso medio annuo stimato di 2.334 mm, sarebbe quella di un progressivo svuotamento. Tale valutazione è almeno parzialmente coerente con quanto emerso dall'analisi dei dati registrati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale nella fase ante-

operam (prima della realizzazione dell'impianto idroelettrico): all'epoca delle rilevazioni appariva evidente il comportamento del lago, il quale innalzava il proprio livello durante gli anni di piovosità "elevata" (superiore a 3.600 mm), e subiva importanti abbassamenti durante gli anni di piovosità "ordinaria", ovvero compresa nel range 2.000-2.700 mm, entro il quale si colloca il valore dell'afflusso medio annuo attuale stimato.

D'altro canto, è necessario sottolineare che negli anni "ante-operam" caratterizzati da una piovosità di entità paragonabile con quella attuale, gli abbassamenti del bacino lacustre risultavano piuttosto inferiori rispetto a quelli evidenziati in Fig. 11.24: l'oscillazione massima registrata fu inferiore a 5 m, a fronte degli oltre 11 m (nell'arco di un solo mese) oggetto di simulazione.

A parità di afflussi meteorici, la spiegazione di tale fatto può essere ricondotta ad una maggiore infiltrazione rispetto al passato nel substrato nel lago o ad una diminuzione degli apporti dal Tagliamento (oppure, eventualmente, ad entrambi i fenomeni).

In merito alla prima possibile causa, non si ha notizia di eventi che abbiano incrementato la permeabilità del mezzo poroso entro il quale defluisce la portata proveniente dal lago.

Sul secondo punto sono opportune alcune riflessioni, partendo dal principio per cui le infiltrazioni idriche in ingresso al lago, alimentanti le "polle" subacquee citate in precedenza, sono legate alle portate idriche superficiali del Fiume Tagliamento.

Il sistema idroelettrico realizzato nella porzione alta della valle del Tagliamento in una data successiva rispetto alle osservazioni del SIMN, si compone di numerose opere di derivazione anche su torrenti minori, affluenti del corso d'acqua principale. Non essendo prevista, per un lungo tratto, alcuna restituzione dell'acqua prelevata, nel Fiume Tagliamento si verifica un ammanco netto di portata superficiale, il quale probabilmente determina la riduzione delle infiltrazioni subalvee e quindi degli apporti delle "polle". In sostanza, rispetto alle osservazioni degli anni compresi tra il 1935 e il 1957, la realizzazione delle strutture e delle infrastrutture per la produzione energetica comportò una modifica della circolazione idrica superficiale e quindi sotterranea, alterandone gli equilibri.

Si precisa che la simulazione condotta non ha tenuto conto (e non avrebbe potuto farlo, in mancanza di dati) delle eventuali maggiori infiltrazioni a partire dal

Tagliamento conseguenti alle maggiori portate naturali che defluirebbero nello stesso in assenza di derivazione dalle opere di presa di monte da parte del sistema idroelettrico, ovvero in caso di spegnimento della centrale di Somplago. È comunque da segnalare che la risposta in termini di apporti ipodermici al lago di Cavazzo di un mancato prelievo a monte avverrebbe sicuramente in tempi superiori al mese considerato.

In ogni caso, si ritiene che la ricostruzione prospettata, estesa in quest'ultimo paragrafo alla scala spaziale dell'intero bacino del Tagliamento, possa fornire una spiegazione del perché, allo stato attuale, il lago di Cavazzo non potrebbe “sopravvivere” in assenza degli apporti provenienti dallo scarico degli impianti idroelettrici dell'alto Tagliamento.

12. CONCLUSIONI

Si riassumono qui di seguito i risultati principali dell'analisi preliminare.

Gli studi effettuati hanno rilevato un **netto cambiamento nelle condizioni del lago**; tale cambiamento coinvolge:

1. temperatura dell'acqua e livello trofico
2. specie ittiofaunistiche e pescosità
3. vegetazione ripariale
4. fruibilità ricreativa e turistica
5. torbidità e caratteristiche del sedimento
6. idrologia e livello del lago

Gli studi hanno anche accertato, con un ottimo grado di evidenza, che **tale cambiamento è avvenuto a partire dagli anni in cui è stato realizzato l'impianto di Somplago, ed è stato determinato, per tutte le componenti in elenco, dal funzionamento dell'impianto stesso.**

In merito alle singole componenti si è rilevato che:

- la temperatura dell'acqua si è notevolmente abbassata, in particolare nel periodo estivo (§ 6.1);
- il livello trofico è decisamente diminuito (§ 6.2.2), al punto che il lago può essere classificato come ultraoligotrofico;
- la comunità ittica si è modificata, virando verso specie frigofile, ed è diminuita fortemente la biomassa complessiva, e di conseguenza la pescosità del lago (§ 5.4);
- analogo effetto, per quanto riguarda le specie, è stato riscontrato sulla vegetazione acquatica, mentre sulla biomassa complessiva non ci sono stime precise (§ 4.4.5);
- l'elevata torbidità del lago riguarda dei transitori, frequenti ma limitati nel tempo, legati agli eventi di pioggia abbondante nei bacini derivati a monte dell'invaso di Verzegnis (§ 10.4), mentre in condizioni ordinarie il lago presenta un buon grado di limpidezza (§ 6.3.1 e § 10.1);
- la fruibilità a fini ricreativi e turistici è limitata dalla diminuzione della temperatura dell'acqua già citata, che dissuade i potenziali frequentatori dalla

balneazione, e dalla pesca sportiva a causa della diminuzione della biomassa (§ 8.2);

- la velocità di sedimentazione non ha subito accelerazioni evidenti (§ 10.2) ma il deposito di materiale ultra fine ha generato condizioni di anossia sul fondale (§ 10.1);
- il flusso idrico immesso nel lago dalla centrale di Somplago ha diminuito fortemente il tempo di ricambio del lago, impedendo possibili fenomeni di eutrofizzazione (§ 6.2.2);
- la misura in continuo delle portate in ingresso e in uscita dal lago effettuata nell'arco degli ultimi 15 anni da Edipower prima ed A2A dopo, ha evidenziato un bilancio idrologico del lago fortemente in negativo, probabilmente causato dalla diminuzione dei deflussi nell'alveo del medio Tagliamento, con conseguente depauperamento della falda che un tempo alimentava il lago (§ 11.5); queste perdite sono appianate dagli apporti di centrale, cosicché si è creata una sorta di simbiosi tra la centrale e il lago;
- il livello nel lago, un tempo variabile in un range ampio (5-6 metri), viene ora mantenuto sensibilmente costante, con diminuzione ad 1 metro (§ 11.3.3).