

Zeitschrift: Bollettino della Società ticinese di scienze naturali
Herausgeber: Società ticinese di scienze naturali
Band: 109 (2021)

Artikel: Bilancio limnologico a 14 anni dalla rinuncia della regolazione del livello del lago di Cadagno per scopi idroelettrici
Autor: Peduzzi, Sandro / Roman, Samuele / Tonolla, Mauro
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1003009>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bilancio limnologico a 14 anni dalla rinuncia della regolazione del livello del lago di Cadagno per scopi idroelettrici

Sandro Peduzzi^{1,3*}, Samuele Roman¹, Mauro Tonolla² e Raffaele Peduzzi¹

¹ Fondazione Centro Biologia Alpina Piora, Via Mirasole 22a, 6501 Bellinzona, Svizzera

² Istituto di microbiologia, SUPSI, Via Mirasole 22a, 6501 Bellinzona, Svizzera

³ Dép. F.-A. Forel des sciences de l'environnement et de l'eau, Université de Genève, 1211 Genève 4, Svizzera

* sandro.peduzzi@unige.ch

Riassunto: Il lago di Cadagno è un lago alpino meromittico d'origine naturale posto ad una quota di 1921 m s.l.m. L'invaso del Lago è stato modificato nel 1947 attraverso la costruzione di uno sbarramento artificiale di circa 3.5 m sul lato ovest che ne ha modificato il volume e la quota superficiale con un innalzamento del livello di 3 m. L'ecosistema è sede di un raro fenomeno naturale, la meromissi crenogenica, generato da un apporto continuo delle sorgenti saline profonde. Lo scopo del contributo è di tracciare un bilancio dell'andamento dello stato trofico a 14 anni dalla rinuncia all'abbassamento del livello di 3 m che significava la sottrazione di un volume di 0,72 Mio di m³ d'acqua, pari al 30% dell'invaso, e che si era protratto per 58 stagioni per alimentare lo sbarramento del Ritom in inverno. L'indagine effettuata con una campagna di misure dei parametri essenziali durante l'estate 2020 ha permesso un confronto con i dati pregressi. Abbiamo utilizzato i classici parametri limnologici per definire lo stato trofico di un corpo d'acqua: concentrazione dell'ortofosfato, conduttività elettrica, torbidità e trasparenza della colonna d'acqua. Possiamo constatare che il lago di Cadagno possiede una catena trofica più produttiva della situazione antecedente al 2006, anno in cui si è rinunciato alla regolazione del livello del Lago per scopi idroelettrici. Inoltre la stabilità del livello del Lago risulta favorevole alla fascia batterica ed alla meromissi crenogenica.

Parole chiave: bilancio trofico, lago di Cadagno, meromissi crenogenica, sfruttamento idroelettrico

Limnological evaluation 14 years after the abandon of the hydroelectric level regulation of lake Cadagno

Abstract: Lake Cadagno is a meromictic alpine lake of natural origin at 1921 m above sea level. The Lake basin was modified in 1947 with the construction of an artificial dam of about 3.5 m on the west side that has modified the volume and the surface elevation, raising the level by 3 m. The ecosystem is home to a rare natural phenomenon, the crenogenic meromixis generated by a continuous input of deep saline springs. The aim of this contribution is to draw up a balance of the trophic state after 14 seasons since the abandonment of the 3 m lowering of the level, which had lasted for 58 winter seasons to supply the Ritom dam with a volume of 0.72 million m³ of water, equal to 30% of the reservoir. The survey carried out with a campaign of measurements of essential parameters during the summer of 2020 allowed to establish a comparison with previous data. We employed the classic limnological parameters used to define the trophic state of a water body: orthophosphate concentration, conductivity, turbidity and transparency of the water column. Nowadays Lake Cadagno has a more productive trophic chain than the situation before 2006, the year in which the regulation of the lake level for hydroelectric purposes was abandoned. In addition, the stability of the lake level is favorable for the bacterial plume and the meromixis.

Keywords: Cadagno lake, hydroelectric exploitation, meromixis, trophic balance

INTRODUZIONE

Il lago di Cadagno è un lago alpino meromittico d'origine naturale posto ad una quota di 1921 m s.l.m. Il Lago, considerate le sue particolari caratteristiche e la particolare flora microbica che lo colonizza, è stato oggetto nell'ultimo trentennio di intense indagini limnologiche e microbiologiche (Tonolla et al., 2017 e Peduzzi 2012a, per una bibliografia completa e aggiornata sulle indagini pubblicate rimandiamo all'Area documenti del sito www.cadagno.ch) e di analisi effettuate in modo regolare in occasione degli *stages* effettuati a partire dall'inizio degli anni 1980 dalle Università di Ginevra e di Zurigo (Peduzzi 1990).

La rara meromissi crenogenica, la stratificazione permanente delle acque di origine geologica, si è instaurata precocemente nella storia del Lago, all'incirca 9'800 anni fa ed è una caratteristica mantenuta nel tempo fino ai giorni nostri (Ravasi et al. 2012, Del Don et al. 2001). L'invaso del lago di Cadagno è stato modificato nel 1947 attraverso la costruzione di uno sbarramento artificiale di circa 3.5 m sul lato ovest che ne ha modificato la quota superficiale da 1918 a 1921 m s.l.m, il volume di invaso da 1.70 a 2.42 km³ e la superficie da 21.7 a 25.8 ha (Peduzzi et al., 1998).

Il volume del Lago eccedente la quota naturale, pari a 720'000 m³, è stato sfruttato a scopi idroelettrici durante il periodo invernale, dal 1947 al 2006 (prima stagio-

ne invernale senza svuotamento: fine 2006-2007). La caratteristica principale del Lago, la meromissi crenogenica, costituita da due strati d'acqua di diversa densità e non miscibili, si è mantenuta sul lungo periodo e in tempi recenti, sia durante la gestione artificiale dei livelli del lago, protrattasi per quasi 60 anni, sia negli ultimi 14 anni, dal 2006 ad oggi.

In una nota precedente avevamo discusso il disagio fisiologico dei pesci durante la stagione invernale, quando il livello del lago veniva abbassato di 3 metri (Tonolla et al. 1988). In particolare l'abbassamento del livello di 3 metri provocava la perdita del 30% del volume estivo di acqua ossigenata. Dal raffronto tra i dati estivi e invernali risulta che in inverno a causa del parziale svuotamento del Lago veniva messa a secco una superficie spondale pari a 4.1 ha che diventava di fatto una superficie biologicamente sterile.

La presente indagine, attraverso la campagna di misure durante l'estate del 2020 e il confronto con i dati pregressi (1988-2019) disponibili presso il Centro di Biologia Alpina (CBA) e l'Istituto di microbiologia della SUPSI, ha l'obiettivo di tracciare un primo bilancio dello stato trofico del Lago durante la quattordicesima stagione estiva dall'abbandono dell'abbassamento artificiale.

L'indagine considera e analizza i parametri fisico-chimici di base che definiscono la trofia di un corpo d'acqua, in particolare le concentrazioni di ortofosfato, e alcuni parametri essenziali del corpo d'acqua che permettono di descriverne la meromissi, quali la conducibilità elettrica e la concentrazione di idrogeno solforato. L'indagine propone anche delle considerazioni qualitative sulla vegetazione spondale (emersa e sommersa) oggi osservabile sulla fascia litorale in precedenza messa a secco ogni inverno dal 1947 al 2006. Esse sono basate sulle osservazioni dell'estate del 2020 e su informazioni desumibili da immagini e da studi pregressi precedenti l'innalzamento del Lago (Koch, 1928).

MATERIALI E METODI

I dati pregressi (1988-2019) sono tratti da ricerche pubblicate su riviste scientifiche durante l'ultimo trentennio e da altre indagini a scopi a scientifici e didattici svolte al CBA. Al fine di avere dati comparabili i prelievi dell'estate 2020 sono stati eseguiti nel punto di massima profondità del lago, corrispondente a 21 m. Per mezzo di una sonda multiparametrica (SST CTD 925, Sea and Sun Technologies GmbH, Trappenkamp, Germany) equipaggiata con differenti sensori, sono stati misurati profondità, torbidità, ossigeno disciolto, conducibilità elettrica (Sea and Sun Technologies GmbH), clorofilla A, ficocianina (Turner Cyclops, San José, CA USA). All'altezza del sensore della torbidità è collegato il sistema di campionamento. Quest'ultimo è composto da un tubo di Tygon della lunghezza di 25m e diametro interno di 6 mm, collegato alla pompa di aspirazione (Liquiport KNF Lab, KNF Neuberger Inc., Trenton NJ, USA). Sono stati prelevati quattro campioni alle profondità di 6, 10, 16, 18 m e un ultimo campione è stato prelevato nel punto di massima

torbidità del lago, tra i 11 e 13 m. Il campionamento è stato effettuato durante la prima discesa della sonda lungo la colonna d'acqua tra le 10:00 e le 12:00 del mattino nei giorni 1, 14, 20 luglio, 10 agosto e 29 settembre 2020. Per ogni profondità desiderata l'acqua è stata pompata tramite il tubo di Tygon, il volume morto del tubo corrispondente ad 1 L è stato scartato ed in seguito sono stati riempiti: una provetta da 50 ml in modo che non rimanesse aria all'interno, ed una provetta contenente 0.8 ml di acetato di zinco con 10 ml di acqua pompata. I campioni, dopo filtrazione a 0.22 µm, sono stati conservati a 4°C al buio fino all'analisi in laboratorio.

L'analisi del fosforo-ortofosfato è stata eseguita utilizzando il test colorimetrico della Merck (Phosphate Test 0.010-5.00 mg/l, Merck KGaA, Germany) leggendo i risultati sul fotometro abbinato (Spectroquant Pharo 100, Merck KGaA).

Il 10 agosto è anche stato eseguito il rilevamento qualitativo della vegetazione acquatica sulla fascia litorale nord del Lago.

RISULTATI E DISCUSSIONE

I dati della conducibilità elettrica del 2020 indicano che il Lago di Cadagno resta caratterizzato da una stratificazione permanente delle acque governata dalle differenze nelle concentrazioni in sali disciolti tra le parti profonde e superficiali del Lago. I valori della conducibilità elettrica indicano una concentrazione in sali disciolti nel monimolinio significativamente maggiore rispetto al mixolimnio: a 6 m (mixolimnio) i valori variano tra i 115 e 133 µS cm⁻¹, mentre a 18 m (monimolinio) osserviamo dei valori tra i 220 e i 240 µS cm⁻¹. In tutti i dati pregressi analizzati è stato osservato lo stesso andamento della conducibilità lungo la colonna d'acqua. A metà anni 1980 e ad inizio 1990, a 18 m di profondità, sono riportati valori leggermente superiori, rispettivamente fino a 300 µS cm⁻¹ e fino a 400 µS cm⁻¹ (Peduzzi et al., 1998). Mentre nell'agosto del 2017 possiamo riportare valori di 130 µS cm⁻¹ nel mixolimnio e valori di 220 µS cm⁻¹ nel monimolinio.

Nel 2020 i valori massimi di torbidità presentano dei picchi tra i 12 e i 13 m di profondità con valori compresi tra i 15 e i 29 FTU (Formazine Turbidity Unit), valori che rispecchiano quanto osservato prima del 2020. Il 29 settembre 2020 i valori massimi delle ficocianine si situano a 12.5 m, quindi circa 0.5 m al di sopra il picco di torbidità. Questi valori confermano la presenza, immediatamente sopra la densa fascia batterica che opera la fotosintesi anossigenica nel Lago, di altri organismi unicellulari che, al contrario, operano la fotosintesi ossigenica.

Torbidità e ficocianine indicano che la stratificazione è, come in passato, associata allo sviluppo di una complessa e densa comunità microbica nella fascia di transizione fisico-chimica del Lago. Come descritto in precedenza il chemocline è sede di una rilevante produzione primaria dovuta alla presenza di solfobatteri autotrofi quali *Choromatum okenii*, *Thiodictyon syntrophicum*, *Thiocystis cadagnonensis* e *T. chemoclinalis* (Peduzzi et



Figura 1: Foto aerea con drone del Lago di Cadagno nel luglio del 2018, lungo la sponda sud è intuibile la presenza di vegetazione acquatica sommersa (foto: Prof. Mc Ginnis Università di Ginevra).

al., 2011-2012b) ma anche di fitoflagellati del genere *Cryptomonas* (Camacho et al., 2001) o di cianobatteri, entrambi contenenti ficocianine. La produzione primaria del chemocline (10-14 m) contribuisce in maniera importante, fino al 50% del totale, al bilancio e alle possibilità di trasferimento di energia dal monimolimnio e chemocline verso il mixolimnio (Bertoni & Callieri, 1999; Camacho et al. 2001). Il ruolo e la composizione della comunità dei microorganismi fotosintetici aerobici sopra la fascia batterica è un aspetto ancora da approfondire.

Nel 2020 il fosforo-ortofosfato era presente in concentrazioni molto variabili lungo la colonna d'acqua. Nello strato superficiale ossigenato, da 0 m fino a circa 10-12 m, i suoi valori sono inferiori o appena superiori a 10 $\mu\text{g/l}$, come il primo luglio 2020 dove abbiamo misurato 15 $\mu\text{g/l}$ mentre nello strato profondo anossico i valori variano da un minimo di 70-80 $\mu\text{g/l}$ di P-PO_4^{2-} per i mesi di luglio e agosto fino ad un massimo di 195 $\mu\text{g/l}$ misurato a 18 m di profondità il 29 settembre 2020.

Il parametro caratterizza quindi in modo differenziato gli stati trofici del mixolimnio e del monimolimnio. I valori di P-PO_4 misurati nel 2020 confermano lo stato oligo-mesotrofico dello strato superficiale del Lago, mentre lo strato profondo presenta una situazione, oltre che di anossia, di eutrofia importante. Le concentrazioni di ortofosfato misurate nel 2020 sono comparabili e dello stesso ordine di grandezza della maggior parte degli anni analizzati dal 1988 al 2019, quando nel mixolimnio abbiamo in genere delle concentrazioni trascurabili e sempre al di sotto dei 10 $\mu\text{g/l}$ con alcuni picchi attorno ai 15 $\mu\text{g/l}$ di P-PO_4^{2-} (situazione di meso-oligotrofia), mentre le forti concentrazioni di P-PO_4^{2-} (fino a 192 $\mu\text{g/l}$) nel monimolimnio corrispondono ad uno stato di eutrofia. I valori di trasparenza della colonna d'acqua misurati con il disco di Secchi a metà

luglio tra il 1996 e il 2020 oscillano tra i 6 m e gli 8 m. I dati pregressi a nostra disposizione non indicano una tendenza al cambiamento degli ortofosfati e della trasparenza nel Lago.

Se da un lato il generale stato trofico e la struttura del Lago sono confermati, ad esempio dalla stratificazione permanente associata ad un'importante sviluppo di popolazioni batteriche legate al ciclo dello zolfo (Fig. 2), d'altro lato per alcuni parametri potrebbe essere in corso un cambiamento. Il lavoro di master di Tiffay (2014) che prende in considerazione tutti i parametri fisico-chimici raccolti tra gli anni dal 1992 al 2012 segnala ad esempio una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni dei solfati e della conducibilità per i tre stati, così come una leggera tendenza all'abbassamento del pH in superficie e all'aumento delle profondità alle quali inizia l'anossia. Quest'ultima tendenza potrebbe corrispondere ad un aumento delle profondità alle quali si sviluppa la fascia batterica operante la fotosintesi anossigenica nel Lago.

In futuro sarà quindi opportuno mantenere la serie di dati storici e procedere ad un confronto completo e approfondito con l'insieme dei dati pregressi a disposizione e verificare se vi sono tendenze e/o cambiamenti statisticamente significativi da segnalare.

Sulla base delle osservazioni qualitative degli ambienti litorali, sia sommersi che emersi, constatiamo un'estensione della presenza di vegetazione acquatica sulle sponde rispetto agli anni antecedenti l'abbandono dell'abbassamento invernale (Fig. 1). Piante acquatiche e associazioni vegetali già osservate e descritte in passato da Koch (1928) e la cui presenza è desumibile anche dalle rare immagini del Lago antecedenti l'innalzamento. Koch descrive in modo esteso e preciso le associazioni vegetali sulle sponde del Lago e riporta la presenza di complessi mosaici di vegetazione umida, cariceti (*Caricetum inflatae alpinum*) e frammenti di

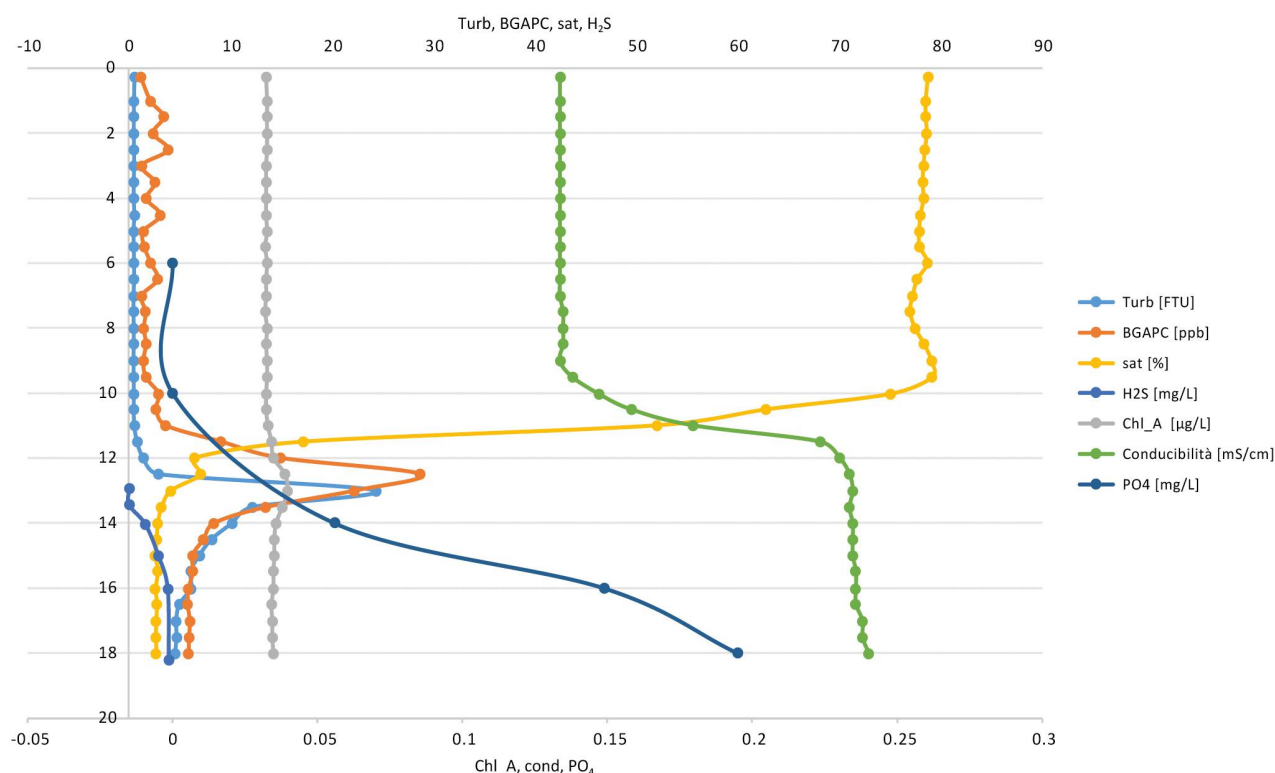


Figura 2: Lago di Cadagno, profilo dei parametri fisico-chimici di base lungo la colonna d'acqua (0-18 m) nel punto di massima profondità del lago il 29.09.2021. Sono illustrati: Conduttività elettrica (mS/cm), idrogeno solforato - H₂S (mg/l), saturazione in ossigeno (%), ortofosfati P-PO₄ (µg/l), Clorofilla A (Chl_A µg/l), ficocianine (BGAPC in ppb), torbidità (FTU). Profondità del disco di Secchi: 7.5 m.

potameti (*Potamogeton filiformis*), sulle sponde nord in corrispondenza della torbiera di *Cadagno di Dentro*, sulla sponda sud e attorno all'emissario del Lago. Sarebbe di grande interesse poter procedere con un rilievo della vegetazione che si sta sviluppando sul litorale e poter fare un confronto con le specie segnalate nei rilievi botanici storici di Koch.

La diffusa presenza di vegetazione sommersa sulle sponde del Lago indica che la stabilità del livello permette un'accresciuta produzione primaria nella fascia litorale (Fig. 3). Si può supporre, che essa possa portare ad una modifica della già ricca rete trofica del Cadagno, con quantità maggiori di energia a disposizione per i livelli trofici superiori nella parte ossigenata del Lago. Sono circa 4.1 ha di "nuove" superfici di fondali ora sommerse in permanenza, da considerare nella fascia trofica, e che quindi permettono l'impianto di ulteriore vegetazione acquatica.

Riteniamo pure che la presenza di vegetazione spondale (emersa e sommersa) porti alla formazione di un habitat supplementare e di zone rifugio a beneficio di numerosi organismi acquatici, compresa l'ittiofauna. Il lago di Cadagno, per quanto attiene alle fasce litorali, è oggi più produttivo rispetto alla situazione antecedente il 2006. Questo potrebbe ripercuotersi al vertice della catena alimentare e modificare i già sorprendenti valori di resa piscicola, da 24 fino a 32 kg/ha di inizio anni 1970 (Marrer 1975) e confermati nell'indagine di Tonolla et al. (1988). Dal 2007 la comunità ittica dispone inoltre di un maggior volume d'acqua contenente ossigeno durante l'inverno.

Possiamo infine ipotizzare che la maggior stabilità delle masse d'acqua, monimolimnio, chemocline e mixolimnio, immiscibili tra loro, porti ad uno sviluppo non perturbato e ad una maggior stabilità anche delle comunità microbiche che proliferano nel chemocline.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia la Fondazione Centro di Biologia Alpina e l'Istituto di microbiologia della SUPSI per il sostegno logistico e in termini di risorse umane e finanziarie.

RIFERENZE BIBLIOGRAFICHE

- Bertoni R. & Callieri C. 1999. Peculiarità del ciclo del carbonio organico nel lago di Cadagno. Bollettino della Società ticinese di scienze naturali, 87: 71-72.
- Camacho A., Erez J., Chicote A., Florin M., Squires M.M., Lehmann C. & Bachofen R. 2001. Microbial microstratification inorganic carbon photoassimilation and dark carbon fixation at the chemocline of the meromictic Lake Cadagno (Switzerland) and its relevance to the food web. Aquat. Sci. 63: 91-106.
- Del Don C., Hanselmann K. W., Peduzzi R. & Bachofen R. 2001. The meromictic alpine Lake Cadagno: orographical and biogeochemical description. Aquat. Sci. 63: 70-90.
- Koch W. 1928. Die höhere Vegetation der subalpinen Seen und Mooregebiete des Val Piora. Schweiz. Zeitschr. Hydrol. IV, He: 131-175.

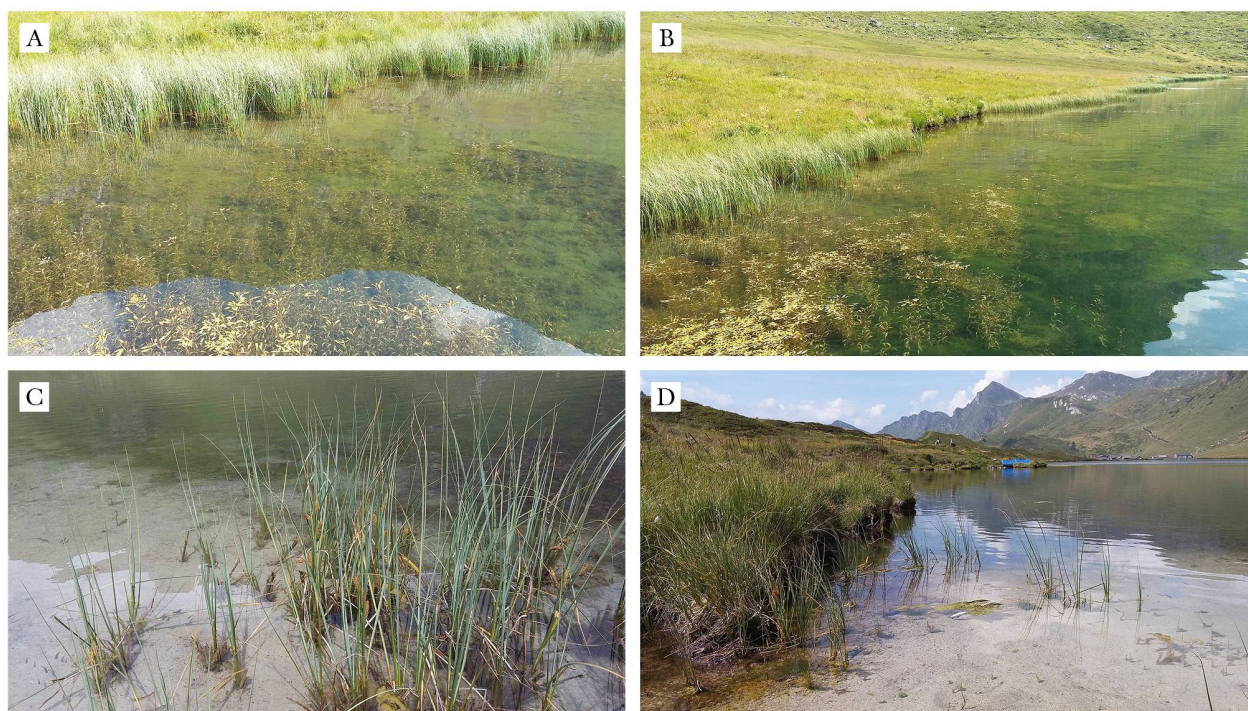


Figura 3: Rive del Lago di Cadagno il 10.08.2020 con vegetazione sommersa ed emersa. *Potamogeton* spp. e *Carex* spp. nella parte centro nord di riva sotto la torbiera di Cadagno di dentro (A) La presenza di piante acquatiche si estende lungo tutto il tratto di sponda della torbiera (B) *Carex* sp. a sud-est del Lago (C) La presenza frammentaria è da segnalare su tutta la sponda sud (D). Malgrado non si dispongano di rilievi quantitativi, estensione delle superfici e rilievo botanico completo, è fuor di dubbio che le piante acquatiche nella fascia litorale siano in netta progressione dall'abbandono dello sfruttamento idroelettrico del Lago. In precedenza le piante acquatiche sommerse erano pressoché assenti, mentre la presenza di cariceti lungo la sponda che costeggia la torbiera era solo sporadica.

- Peduzzi R. 1990. Etude d'un filtre bactérien retenant les composés toxiques et trophogènes dans un lac alpin (lac de Cadagno, massif du St. Gothard). Cahier de la Faculté des sciences, Univ. Genève, 20: 121-133.
- Peduzzi R., Bachofen R. & Tonolla M. 1998. Lake Cadagno: a meromictic alpine lake. Documenta dell'Istituto Italiano di Irobiologia. 151 pp.
- Peduzzi S., Welsh A., Peduzzi R., Hahn D. & Tononolla M. 2011. *Thiocystis chemodinalis* sp. nov. and *Thiocystis cadagnonensis* sp. nov., isolated from the chemocline of meromictic Lake Cadagno, Switzerland. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 61(7): 1682-1687.
- Peduzzi S. 2012a. Appendice-Ricerche sul Lago Cadagno pubblicate nel periodo 1998-2012 su riviste scientifiche internazionali *peer reviewed*. Memorie della Società ticinese di scienze naturali e del Museo cantonale di storia naturale, vol. 11, pp. 75-76.
- Peduzzi S., Storelli N., Welsh A., Peduzzi R., Hahn D., Perret X. & Tonolla M. 2012b. *Candidatus* "Thiodictyon syntrophicum", sp. nov., a new purple sulfur bacterium isolated from the chemocline of Lake Cadagno forming aggregates and specific associations with *Desulfocapsa* sp. Syst. Appl. Microbiol. 35: 139-44.
- Ravasi D.F., Peduzzi S., Guidi V., Peduzzi R., Wirth S.B., Gilli A. & Tonolla M. 2012. Development of a real-time PCR method for the detection of fossil 16S rDNA fragments of phototrophic sulfur bacteria in the sediments of Lake Cadagno. Geobiology. 10(3): 196-204.
- Tiffay M.C. 2014. Etude des variations des paramètres physiques, chimiques et biologiques du lac de Cadagno (Tessin, CH) en réponse aux changements climatiques. Maitrise universitaire en sciences de l'environnement, Univ. Genève, 98 pp.
- Marrer H. 1975. Zur fischereilichen Bewirtschaftung meromiktischer Alpenseen (Lago Cadagno, Kanton Tessin). Schweiz. Zeitschr. Hydrol. Vol. 37, Fasc. 2: 213-219.
- Tonolla M., Del Don C., Boscolo P. & Peduzzi R. 1988. The problem of fish management in an artificially regulated meromictic lake; Lago di Cadagno (Canton Tessin-Switzerland). Riv. Ital. Acquacoltura. 23: 57-68.
- Tonolla M., Storelli S., Danza F., Ravasi D., Peduzzi S., Posth N.R., Cox R.P., Jørgensen M.F., Gregersen L.H. Daughbjerg N & Frigaard N.-U. 2017. Chapter 8. Special study: Lake Cadagno in Ecology of Meromictic Lakes. Gulati, R. D., Zadereev, E. S., Degermendzhi, A. G. (Eds.), Springer Verlag. 155-186.

