1 IL LAGO MAGGIORE, UN FONDOVALLE COLMATO DALL'ACQUA

Come gli altri principali laghi insubrici, il Lago Maggiore occupa una valle profondamente scavata dall'erosione fluviale prima delle grandi glaciazioni. Nato durante l'ultima deglaciazione, questo bacino lacustre molto profondo unisce diverse pianure fluvio-deltizie che sono oggi delle riserve naturali di pregio per gli ambienti golenali e palustri di particolare integrità e diversità.

Nicola Patocchi e Cristian Scapozza

Inquadramento geografico

Il **Lago Maggiore** o **Verbano** (dal latino *Verbanus lacus* di origine romana) è il più grande tra quelli della cosiddetta "regione dei tre laghi" (comprendente anche il **Lago di Lugano** o **Ceresio** e il **Lago di Como** o **Lario**) ed è il secondo lago dell'Italia sia per estensione (dopo quello di Garda) sia per profondità massima (dopo il Lario). A livello svizzero, è il quarto lago per estensione (dopo il **Lemano**, il **Bodanico** e quello di **Neuchâtel**) ma il primo per profondità massima. Un compendio delle principali caratteristiche geografiche del Lago Maggiore è presentato nella Tabella 1 (*vedi anche* Ciampittiello, 1999).

CARATTERISTICA	VALORE	NOTE
Superficie	212,16 km²	Secondo O. Marinelli, 1893-1897
Altezza media del pelo d'acqua	193,50 m slm (+0,85 m)	Secondo G. Fantoli, 1897
Perimetro	170,02 km	Secondo O. Marinelli, 1893-1897
Lunghezza massima	64,37 km	Da Magadino (CH, TI) a Sesto Calende (VA)
Larghezza massima	12 km	Tra Mergozzo (VB) e Cerro in Comune di Laveno Mombello (VA)
Larghezza media	3,90 km	
Volume	37,10 x 10^9 m³ (37,1 miliardi di m³)	Ufficio idrografico della R. Marina, 1891
Profondità massima	372 m	Tra Caldé in Comune di Castelveccana (VA) e Ghiffa (VB)
Profondità media [m]	175 m	Ufficio idrografico della Regia Marina, 1891
Numero di isole	7	Superficie complessiva 0,24 km²

Tabella 1 Principali caratteristiche geografiche del Lago Maggiore. Modificato, da: https://www.treccani.it/enciclopedia/lago-maggiore_(Enciclopedia-Italiana)/ (15.03.2021).

Table 1 Main geographical features of Lake Maggiore. Modified from: https://www.treccani.it/encyclopedia/lago-maggiore_(Encyclopedia-Italiana)/ (15.03.2021).

Figura 1 La parte più settentrionale del Lago Maggiore, caratterizzata dal delta del Fiume Ticino (sulla destra dell'immagine) che scorre nella pianura alluvionale del Piano di Magadino, in territorio elvetico; più a sinistra si nota anche la diga artificiale che sbarra la Val Verzasca. La fotografia è scattata in quota dal versante orografico sinistro del lago.

Figure 1 The most northerly part of Lake Maggiore, characterised by the Ticino River delta (on the right of the image) flowing across the alluvial plain of the Piano Magadino in Switzerland; further to the left is the man-made dam that blocks Val Verzasca. The photograph was taken from a mountain on the left bank of the lake.

Il bacino idrografico

L'ampio **bacino idrografico** del Verbano occupa 6599 km² e comprende buona parte delle **Alpi Lepontine** (bacini imbriferi dei fiumi **Ticino**, **Brenno**, **Moesa**, **Verzasca** e **Maggia** e *riva sinistra* del bacino imbrifero del Fiume **Toce**), la parte orientale delle **Alpi Pennine** (*riva destra* del bacino imbrifero del Fiume **Toce**) e le **Prealpi Luganesi** (bacino imbrifero del **Lago di Lugano** e del Fiume **Tresa**), e penetra nella parte settentrionale della **Pianura Padana**.

Lo sviluppo altitudinale del bacino idrografico è notevole e supera i 4400 m, poiché si spinge dai **193,50 m** slm dell'altezza media del pelo d'acqua fino ai **4617 m** slm del Grenzgipfel, una vetta secondaria della Punta Dufour (4634 m slm) nel massiccio del Monte Rosa.

Inquadramento climatico

Le temperature e le precipitazioni

Per la **parte settentrionale (elvetica)** del Lago Maggiore (Figura 1), dal punto di vista climatico per il **periodo 1981-2010** le temperature medie registrate a Locarno-Monti (OTL) e Magadino-Cadenazzo (MAG) – stazioni dell'Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera – sono comprese tra 11,4 e 12,4 °C, mentre la media della somma delle precipitazioni è di 1831-1897 mm/anno (Figura 2).

Le temperature mensili possono scendere di alcuni gradi sotto 0 °C nei settori con minore soleggiamento (media men-

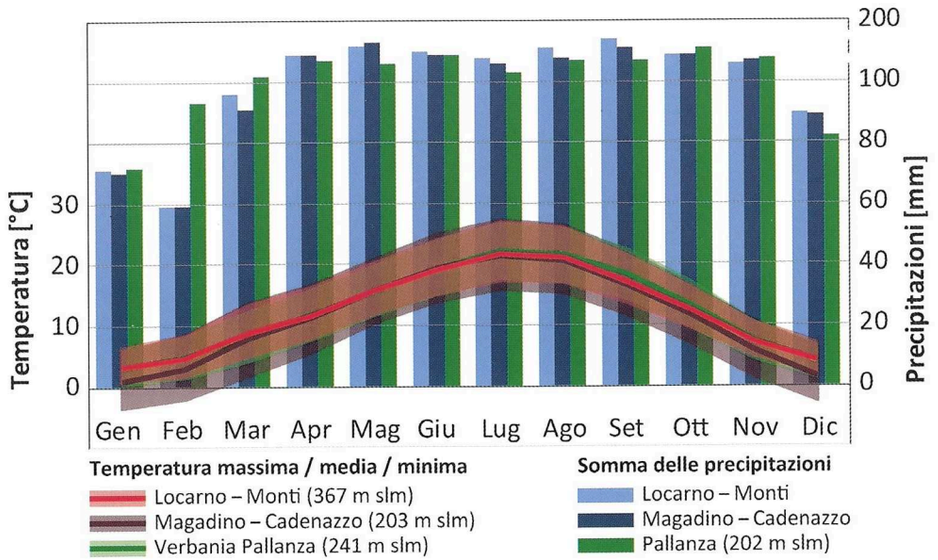


Figura 2 Diagramma ombrotermico (comprende la media trentennale delle precipitazioni e temperature mensili) delle stazioni climatiche di Locarno-Monti (2'704'172/1'114'341), Magadino-Cadenazzo (2'715'480/1'113'161) e Verbania Pallanza. Coord. CH1903+ / LV95.
Dati: Ufficio federale di meteorologia e climatologia MeteoSvizzera e ISPRA (2015).

Figure 2 Climate graph (includes thirty-year mean of the monthly rainfall and temperatures) from weather stations of Locarno-Monti (2'704'172 / 1'114'341), Magadino-Cadenazzo (2'715'480 / 1 '113'161) and Verbania Pallanza. Coord. CH1903 + / LV95.
Data: Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss and ISPRA (2015).

sile delle temperature minime di –3,4 °C a MAG per gennaio), anche se le temperature medie sono sempre positive. Il mese più freddo dal 1980 è stato quello di gennaio del 1985 a MAG (–2,0 °C), mentre il mese più caldo è stato il mese di luglio del 2015 a OTL (25,8 °C). La media mensile della temperatura massima più alta è di 27,1 °C a OTL e di ben 27,6 °C a MAG per luglio. Considerando i valori nel loro insieme, con una temperatura media annua di 12,4 °C, una media annua delle temperature massime di 16,7 °C e una media annua delle temperature minime di 8,9 °C, Locarno-Monti può essere considerato *il luogo più caldo della Svizzera* unitamente a Lugano.

Per la **parte italiana**, per la riva piemontese del Lago Maggiore sono disponibili i dati climatici di Verbania Pallanza per il **periodo 1961-1990** (ISPRA, 2015) (Figura 2). La temperatura media è di 12,4 °C (come a Locarno-Monti), mentre la media delle temperature minime è di 0,5 °C inferiore, con 8,4 °C (con la media minima mensile di gennaio a 0 °C), forse anche a causa del differente periodo di riferimento. La media annua delle temperature massime è di 16,4 °C, con il mese più caldo, luglio, che presenta una temperatura media di 22,2 °C e massima di 27,0 °C. La media della somma delle precipitazioni a Pallanza per il periodo 1951-1980 è di 1763 mm/anno (ISPRA, 2015), quindi leggermente inferiore rispetto a quanto registrato nella parte settentrionale del Lago Maggiore dalle stazioni OTL e MAG.

Un clima "perumido" e "temperato-caldo piovoso"

Secondo l'**indice di aridità** di Emmanuel De Martonne [$I = P / (T + 10)$] – calcolato sulla base della media della somma delle precipitazioni annue (P) e della temperatura media annua (T) – con i loro valori di I superiori a 60, le stazioni meteorologiche di Verbania Pallanza ($I = 78{,}59$), Locarno-Monti ($I = 84{,}69$) e Magadino-Cadenazzo ($I = 85{,}56$) presentano un **clima perumido**. Nessuno dei 12 mesi dell'anno può essere considerato né "secco", vale a dire con $P < 2T$, né "a tendenza secca", vale a dire con $2T < P < 3T$ (Bagnouls e Gaussen, 1957).

Secondo la **classificazione di Wladimir Köppen**, il clima del Lago Maggiore è quindi del tipo **Cwa**, corrispondente a un **clima temperato-caldo piovoso** (**C**) **a stagione secca nel trimestre freddo** (**w**) tipica di un **clima caldo con estate umida** (**Cw**), la cui temperatura media del mese più caldo supera i 22 °C (**a**), anche se questa è di 21,9 °C a OTL e di 21,7 °C a MAG, mentre a Verbania Pallanza è di 22,2 °C.

La storia geomorfologica

Il Lago Maggiore occupa oggi un profondo fondovalle il cui **basamento roccioso** è situato fino a 700 metri al di sotto del livello del mare attuale (Figura 3). Come gli altri principali laghi insubrici, si tratta di una **profonda incisione valliva riempita oggi di acqua**, formatasi tra la fine dell'Epoca del Miocene, da 23,03 a 5,33 Ma (Ma = *milioni di anni fa*) e l'Epoca del Pliocene (da 5,33 a 2,58 Ma), vale a dire prima del Periodo Quaternario (da 2,58 Ma a oggi), che nelle Alpi è stato segnato dalle **grandi glaciazioni dell'Epoca del Pleistocene**, da 2,58 Ma a 11,70 ka (ka = *migliaia di anni prima del 2000*).

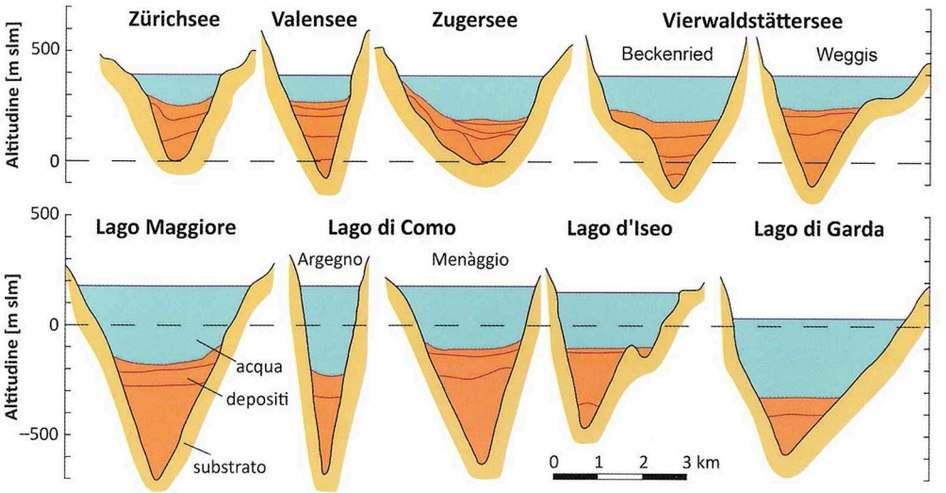


Figura 3 Profili geologici attraverso la parte più profonda di alcuni laghi del Nord (in alto) e del Sud delle Alpi (in basso). Modificato da P. G. Finckh (1978): https://doi.org/10.1016/0025-3227(78)90036-1.

Figure 3 Geological profiles across the deepest part of some lakes in the North (top) and South of the Alps (bottom). Modified by P. G. Finckh (1978): https://doi.org/10.1016/0025-3227(78)90036-1.

Prima: l'erosione fluviale

La formazione pre-quaternaria dei profondi solchi vallivi oggi occupati dai laghi insubrici è avvenuta per **erosione fluviale** accresciuta in un **contesto climatico sub-tropicale** (Scapozza e Ambrosi, 2021).

L'erosione fluviale – che ha scavato ben al di sotto del livello odierno del mare – è stata particolarmente intensa durante i ripetuti episodi di **regressione marina del Mediterraneo** avvenuti durante il Messiniano (da 7,25 a 5,33 Ma): questi episodi, detti "crisi di salinità del Messiniano", furono scatenati dalla chiusura dello Stretto di Gibilterra per ragioni tettoniche e causarono l'evaporazione quasi completa del Mediterraneo, come provano le centinaia di metri di depositi salini ritrovati sul fondo del mare. Il conseguente abbassamento del livello dell'erosione fluviale provocò la formazione di **valli e canyon**, oggi in parte sepolti, e di **superfici di erosione messiniane**, riconosciute dalle prospezioni geologiche e geofisiche (soprattutto grazie alla sismica a riflessione) realizzate sul **Piano di Magadino**, nel **Mendrisiotto**, sugli stessi **laghi insubrici** e nella **Pianura Padana**.

Dopo: l'azione dei ghiacciai

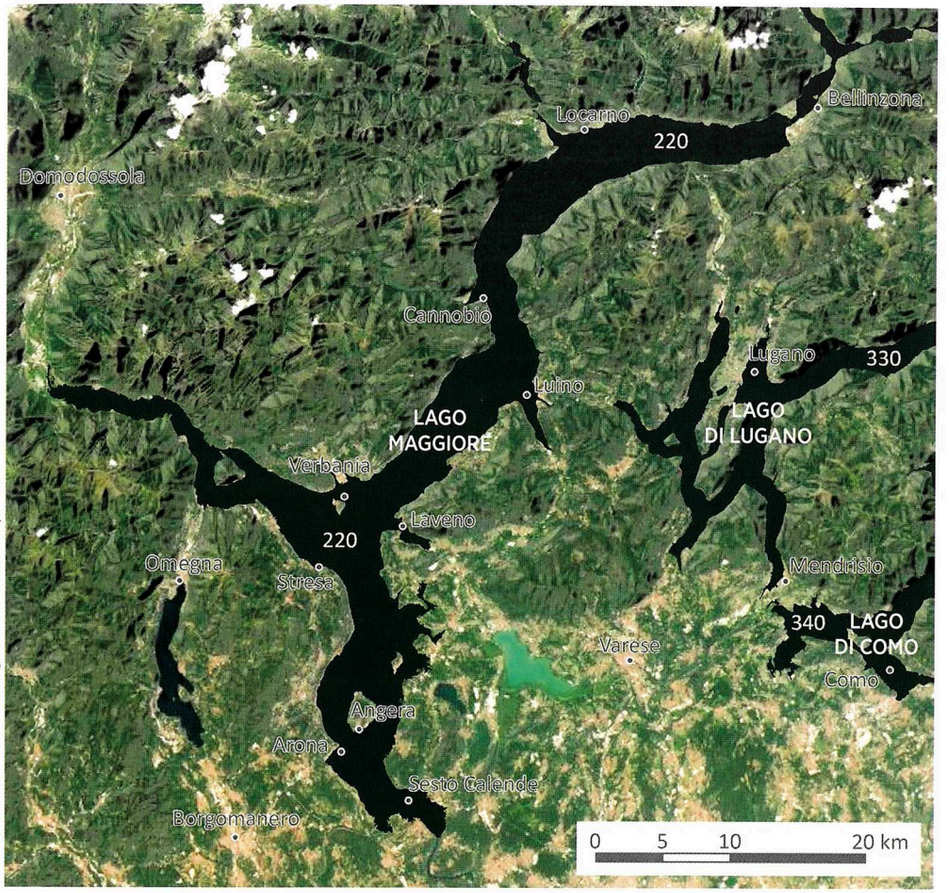
Se la valle occupata oggi dalle acque si è originata più di 5 Ma, il Lago Maggiore nella sua conformazione simile a quella attuale è nato in seguito all'**Ultima grande glaciazione**, che nel bacino del Ticino ha avuto il suo culmine durante l'**Ultimo massimo glaciale** (UMG), datato tra **25,0 ± 0,9 e 19,90 ± 0,7 ka**. Durante questo periodo, infatti, sono state depositate dal paleo-ghiacciaio del Ticino e del Toce le **morene** che sbarrano il Verbano tra Meina (NO), Arona (NO), Castelletto sopra Ticino (NO), Sesto Calende (VA) e Taino (VA). Il **fronte del ghiacciaio** durante l'Ultimo massimo glaciale era situato tra Dormello (Dormelletto, NO) e Lisanza (Sesto Calende, VA).

L'antico bacino lacustre

Il bacino lacustre **sbarrato a valle** dalle morene degli antichi ghiacciai del Ticino e del Toce è quindi andato riempiendosi – principalmente a seguito della fusione dei ghiacci – nel lasso di tempo tra la fine dell'Ultimo massimo glaciale, 19,9 ± 0,7 ka, e prima di 18,5 ka. Quest'ultima data corrisponde allo "Stadio di Cugnasco", quando il fronte del paleo-ghiacciaio del Ticino era già attestato a metà del Piano di Magadino (all'epoca occupato interamente dal Verbano) tra Cadenazzo e Cugnasco.

Il Lago Maggiore, nato dalle acque di fusione dell'ultimo ghiacciaio pleistocenico che ne ha occupato il bacino, presentava una quota massima più alta rispetto a oggi ed era di conseguenza più esteso. Al momento della deglaciazione, quando il paleo-ghiacciaio del Ticino ne occupava ancora la parte superiore (**fase glacio-lacustre**), il livello massimo raggiunto era di circa 220 m slm (+27,25 m), abbassatosi progressivamente prima a 215 m (+22,35 m), e poi a 212-210 m (+19,35/+17,35) tra 19,90 ± 0,7 ka e 15,11 ka.

Durante la **fase di massima estensione** il lago in territorio elvetico arrivava fino a Giubiasco nella Valle del Ticino e a Ponte Brolla nelle Terre di Pedemonte, allo sbocco della Valle Maggia. In territorio lombardo raggiungeva Mirandola (Brissago Valtravaglia, VA), occupava la piana alluvionale oggi tra Angera e Taino e la piana di Sesto Calende (VA). Risalendo sulla riva piemontese, occupava la zona di Castelletto sopra Ticino (NO), inglobava il Lago di Mergozzo e la pianura di Gravellona Toce (VB), risaliva la Valle d'Ossola fino a Pieve Vergonte (VB) (Figura 4).



Cartografia ed elaborazione grafica: Cristian Scapozza

Figura 4 Ricostruzione della massima estensione dei Laghi Maggiore, di Lugano e di Como (questi ultimi a quei tempi quasi comunicanti) al termine della deglaciazione dei bacini lacustri, verso 18,50 ka. Fotografia aerea: ArcGIS Online ©ESRI.

Figure 4 Reconstruction of the maximum extent of Lakes Maggiore, Lugano and Como (when the last two were almost joined at that time) at the end of the deglaciation of the lake basins, around 18.50 ka. Aerial photography: ArcGIS Online © ESRI.

Il livello delle acque nel tempo

Il **livello medio** plurisecolare del lago si abbassò progressivamente lungo tutta l'Epoca dell'Olocene (da 11,70 ka a oggi), attestandosi progressivamente verso 207-204 m slm (+14,35/+11,35 m) nel Groenlandiano (da 11,70 a 8,24 ka), scendendo a 200 m slm (+7,35 m) e poi progressivamente a 197-193 m slm (+4,35/+0,35 m) nel Nordgrippiano (da 8,24 a 4,25 ka) e fissandosi finalmente attorno ai 193 m slm (+0,35 m) verso l'inizio dell'epoca romana, all'incirca 2,0 ka (Figura 5, alla pagina successiva).

La formazione dei delta fluviali

L'abbassamento del livello lacustre medio durante l'Olocene fu accompagnato da un graduale **restringimento** del Lago Maggiore a seguito del costante **apporto detritico** che ha creato le **pianure fluvio-deltizie** alla foce dei principali affluenti del lago (Ticino

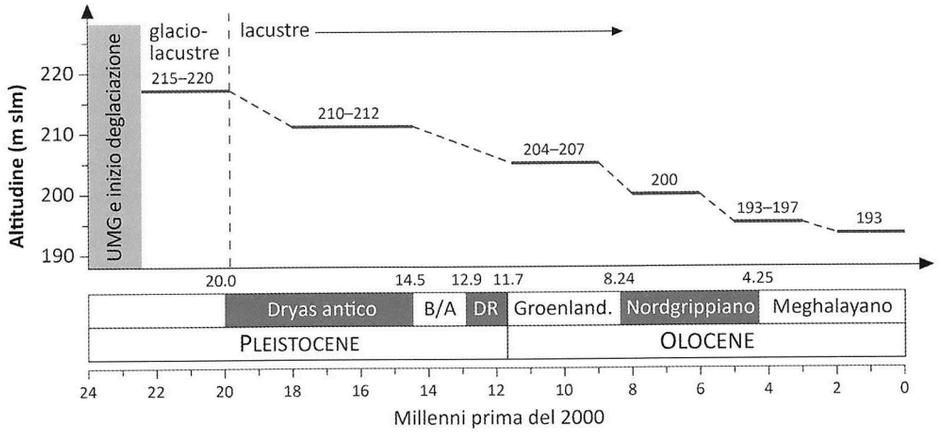


Figura 5 Evoluzione del livello medio del Lago Maggiore e quadro cronostratigrafico di riferimento dall'Ultimo massimo glaciale (UMG) a oggi. B/A: Bølling/Allerød; DR: Dryas recente; Groenland.: Groenlandiano. Quote svizzere. Modificato da C. Scapozza *et al.* (2012): https://repository.supsi.ch/2146/.

Figure 5 Evolution of the mean water level of Lake Maggiore and chronostratigraphical framework from the Last glacial maximum (LGM) to the present. B / A: Bølling / Allerød; DR: Younger Dryas; Groenland: Greenlandian. Swiss elevations. Modified from C. Scapozza *et al.* (2012): https://repository.supsi.ch/2146/.

e Verzasca, Maggia e Melezza, Toce e Tresa). La **progradazione** (cioè l'estensione progressiva della riva per accumulo di detriti alluvionali) del delta del Ticino nel Piano di Magadino nel corso dell'Olocene è stata ben documentata grazie ai numerosi sondaggi geognostici e alle datazioni al radiocarbonio di materiale organico ritrovato nei depositi fluviali (Scapozza e Czerski, 2019; Scapozza e Ambrosi, 2021).

Circa 10,75 ka il lago arrivava ancora fino a Camorino (Bellinzona), all'incirca 10 km più a monte della foce del Ticino attuale. Nel Neolitico inferiore, verso 7,22 ka all'epoca della prima colonizzazione umana a valle del lago – attestata sulla collina di Castelgrande a Bellinzona tra 7,32 e 7,07 ka – il delta terminava poco a valle della linea Cadenazzo-Gudo. Tra 3,94 e 3,63 ka iniziò a formarsi l'attuale territorio delle **Bolle di Magadino** (di cui si vede un panorama nella Figura 1), poiché il fronte del delta del Ticino si attestò a valle della linea Quartino-Riazzino.

Un sondaggio realizzato in località Castellaccio nelle Bolle di Magadino consente infine di documentare la transizione da lago aperto a piana deltizia tra il 1365 e il 1600. Facendo un rapporto tra la distanza di avanzamento del delta sul lago e la sua cronologia, ne risulta un *tasso di progradazione medio* di 1 m all'anno (10 km in 10 ka).

Lo spessore dei detriti sul fondo

Considerando tutta la lunga storia geologica del Lago Maggiore negli ultimi 5 Ma, l'apporto di **depositi fluviali, glaciali, fluvio-glaciali, glacio-lacustri e lacustri** nel periodo **pre-Quaternario e Quaternario** ha causato un riempimento detritico di più di **700 m di spessore nel punto più profondo** del Piano di Magadino (località Ramello a Cadenazzo), e di **spessore variabile tra 300 e 500 m sul fondo** del Lago Maggiore, considerando i settori di maggiore profondità e di maggiore riempimento detritico.

UN LAGO DI SBARRAMENTO E UNA STORICA INONDAZIONE CATASTROFICA

In epoca storica, il ritrovamento di parecchie tombe con oggetti in terracotta, vetri e bronzi di epoca romana a Riazzino (Locarno) indica con certezza che il **fronte del delta del Ticino** nel Lago Maggiore si trovava a quell'epoca più a valle, probabilmente tra Quartino e Magadino di Sopra in riva sinistra e tra Riazzino e Gordola in riva destra del Piano di Magadino. In riva destra, il passaggio del fronte del delta a valle di Gordola avvenne tra il 1400 e il 1490.

Il **completo interramento dell'estuario** che conduceva al porto di Gordola avvenne probabilmente quale conseguenza della celebre **Buzza di Biasca** del **1515**. Questo evento, che può essere considerato l'**inondazione più catastrofica in tempi storici** ad aver toccato il Sud delle Alpi, fu conseguenza dell'enorme **frana di crollo** prodottasi il 30 settembre **1513** sul versante occidentale del Pizzo Magn (2329 m slm, chiamato anche Monte Crenone), a monte di Biasca. Gli 85,5 milioni di m^3 del deposito di frana produssero un vasto **sbarramento** che interruppe con una diga il corso del **Brenno** causando la formazione di un **lago temporaneo** – di 4,5 km di lunghezza, 1,2 km di larghezza e un volume di 130 milioni di m^3 – che sommerse il villaggio di Malvaglia (in Comune di Serravalle) fino all'altezza di metà campanile. Il cedimento improvviso della diga di detriti, avvenuto il 20 maggio 1515, distrusse il villaggio di Biasca, inondò la città di Bellinzona (Figura A) e devastò il Piano di Magadino fino al Lago Maggiore.

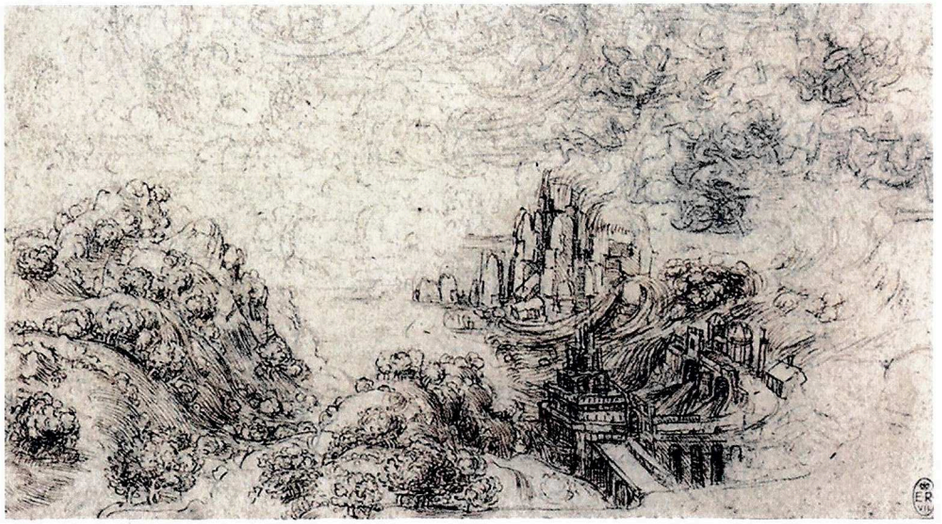


Figura A Immagine leonardesca di diluvio contenuta nel «Codice di Windsor», raffigurante con buona probabilità l'alluvione provocata dalla Buzza di Biasca a Bellinzona (Leonardo da Vinci, *Tempesta e marea montante su una baia con castello e viadotto*, 1515 circa, Castello di Windsor, Royal Library).

Figure A Typical Leonardo image of the deluge contained in the "Windsor Code", probably depicting the flood caused by the Buzza di Biasca in Bellinzona (Leonardo da Vinci, *Tempesta e marea montante su una baia con castello e viadotto*, about 1515, Windsor Castle, Royal Library).

Il regime idrologico degli immissari

La **limnologia** è lo studio delle acque lacustri e – per estensione – anche dei corsi d'acqua ad esse collegati.

Le **caratteristiche limnologiche** riguardano innanzitutto gli aspetti fisici, come il **regime idrologico**.

I quattro sottobacini principali

Il bacino idrografico del Lago Maggiore, che ha una superficie complessiva di 6599 km², è ripartito in 15 **sotto-bacini**, dei quali i quattro più importanti sono i seguenti:

1. del **Ticino** (1616 km²);
2. del **Toce**, escluso lo **Strona** (1551 km²);
3. della **Maggia** (927 km²);
4. della **Tresa**, incluso il **Lago di Lugano** (754 km²).

Questi quattro sotto-bacini (dati idrologici principali nella Tabella 2) nel complesso coprono il 73,5% della superficie totale.

Un regime con due massimi annuali. Il **regime** dei quattro affluenti principali del Lago Maggiore è di **tipo misto**, con **due massimi annuali** in maggio (giugno per Ticino e Toce) e novembre, **un minimo pronunciato** da dicembre a marzo e un **secondo minimo estivo** (fino a inizio autunno), visibili sia nei valori della media mensile delle portate nel periodo 2008-2020 (Figura 6, *in alto*) sia nell'evoluzione dei **coefficienti di Pardé** (Figura 6, *in basso*). Questo è un **coefficiente di deflusso normalizzato** che consente il confronto tra il regime di bacini idrografici diversi ed è definito come il *rapporto tra la portata media mensile e la portata media annua.*

Il massimo primaverile (e di inizio estate), con un coefficiente di Pardé compreso tra 1,7 e 2,1, è dovuto sia alla fusione nivale sia alle precipitazioni primaverili, mentre quello autunnale

CORSO D'ACQUA (STAZIONE)	PORTATA MEDIA m³/s	PORTATA MEDIA DELLA PIENA ANNUALE m³/s	PORTATA MASSIMA m³/s	DATA DELLA PORTATA MASSIMA	PERIODO DI OSSERVAZIONE
Ticino (Bellinzona)	67,6	880	1500	25/09/1927	1914-2018
Maggia (Locarno -Solduno)	22,8	1370	4500	07/08/1978	1970-2018
Toce (Candoglia, Mergozzo, VB)	70,4*	-	2600	15/10/2000	1974-2020
Tresa (Lavena Ponte Tresa, VA)	23,5	122	255	27/11/2002	1901-2018

Tabella 2 Dati idrologici principali dei quattro maggiori affluenti del Lago Maggiore.
Dati Ticino, Maggia e Tresa, Ufficio federale dell'ambiente; dati Toce, ARPA Piemonte (*media 2008–2020).

Table 2 Main hydrological data of the four main Lake Maggiore tributaries.
Data for Ticino, Maggia and Tresa, Federal Office for the Environment; Toce data, ARPA Piemonte (*average 2008-2020).

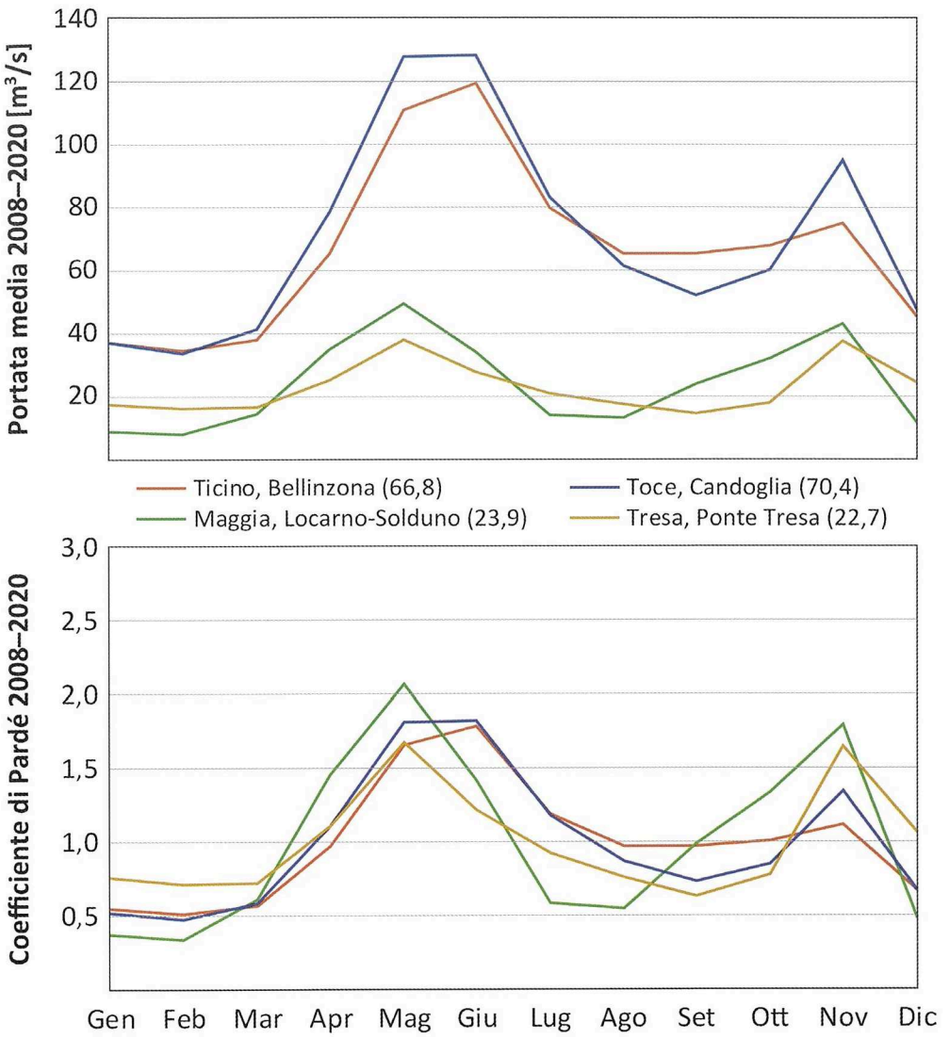


Figura 6 Evoluzione della portata media mensile (in alto) e del coefficiente di Pardé (in basso) per il periodo 2008-2020 per i quattro affluenti principali del Lago Maggiore. Il dato riportato tra parentesi si riferisce alla portata media annua. Il coefficiente di Pardé è un coefficiente di deflusso normalizzato definito dal rapporto tra la portata media mensile e la portata media annua. Proprietà dei dati (coord. CH1903+/LV95): Ticino, Bellinzona (2'721'245/1'117'025; 220 m slm); Maggia, Locarno-Solduno (2'703'100/1'113'860; 202 m slm); Tresa, Ponte Tresa (2'709'580/1'092'145; 268 m slm), Ufficio federale dell'ambiente. Toce, Candoglia (2'676'277/1'092'201; 201 m slm), ARPA Piemonte. Fonte dei dati: www.ti.ch/oasi.

Figure 6 Mean monthly runoff (top) and the Pardé coefficient (bottom) for the period 2008-2020 for the four main tributaries of Lake Maggiore. The data shown in brackets refers to the mean annual runoff. The Pardé coefficient is a normalized runoff coefficient defined by the ratio between the mean monthly runoff and the mean annual runoff. Data ownership (coord. CH1903 + / LV95): Ticino, Bellinzona (2'721'245 / 1'117'025; 220 m asl); Maggia, Locarno-Solduno (2'703'100 / 1'113'860; 202 m asl); Tresa, Ponte Tresa (2'709'580 / 1'092'145; 268 m asl), Federal Office for the Environment. Toce, Candoglia (2'676'277 / 1'092'201; 201 m asl), ARPA Piemonte
Data source: www.ti.ch/oasi.

(coefficiente di Pardé tra 1,1 e 1,8) è esclusivamente di **origine pluviale**.

- Considerata la maggiore ampiezza del picco di portata di maggio-giugno rispetto a quello di novembre, il **regime del Ticino** (fattore di 1,6) e il **regime del Toce** (fattore di 1,4) possono essere considerati **di tipo nivo-pluviale**.
- Viceversa, per la **Tresa** il **regime** è **di tipo pluvio-nivale** poiché l'ampiezza del picco autunnale è quasi marcata quanto quella del picco primaverile (fattore di 1,1).
- La **Maggia** presenta un **regime ibrido tra il nivo-pluviale puro e il pluvio-nivale puro** (fattore di 1,2 tra primavera e autunno).

Stando alla **classificazione dei 16 tipi di regime idrologico** proposta dall'Università di Berna per i corsi d'acqua, il Ticino, la Maggia e il Toce presentano un regime *pluvio-nivale meridionale*, mentre la Tresa un regime *pluviale meridionale*.

Il **regime delle precipitazioni nevose**, unitamente a quello delle piogge, costituisce quindi un parametro fondamentale nel regime di alimentazione del Lago Maggiore.

L'**apporto idrico da parte dei ghiacciai** è invece scarso, poiché questi coprono solamente una superficie compresa tra lo 0,2 e lo 0,4% dei bacini idrografici di Ticino, Maggia e Toce e sono assenti nel bacino della Tresa.

Il regime idrologico del Lago Maggiore

La regimazione naturale del lago

Il **regime dei livelli delle acque lacustri** – che naturalmente tende a riflettere quello delle precipitazioni e del loro stato (pioggia o neve) – si esprime attraverso una **doppia ciclicità** tra **inverno ed estate** con **livelli bassi**, e **primavera e autunno** con **livelli alti**.

La **fascia riparia emersa** era una componente caratterizzante il paesaggio lacustre invernale, come rilevano alcuni dipinti dell'Ottocento o dei manufatti calibrati alle quote lacustri inferiori, come il lavatoio a riva ancora oggi esistente ad Ascona e visibile nei periodi siccitosi (Figura 7).

Anche gli **studi di Jäggli** (1922) **sulla vegetazione riparia** svolti sul delta della Maggia descrivono l'esistenza di fasce vegetazionali legate alle cosiddette "spiagge basse emergenti" solo con livelli bassi del lago (*vedi anche* «Sistemi effimeri» a pag. 24).

I periodi con acque mediamente alte caratterizzano il periodo primaverile, in correlazione con la fusione delle nevi e le piogge primaverili fino ad alta quota, e quello autunnale, coincidente con il passaggio delle perturbazioni tra settembre e ottobre.

I **livelli di piena** possono toccare quote molto alte, creando un'oscillazione naturale **tra minime e massime** di **oltre 5,5 m**. Diversi fattori concorrono a determinare questo comportamento naturale, che tuttavia si avvicina a quello dei bacini artificiali:

- l'**estensione del bacino** imbrifero, che è circa 30 volte più esteso della superficie del lago;
- i **rilievi prealpini e alpini**, i quali creano un forte **effetto barriera alle perturbazioni** che si avvicinano dal bacino del Mediterraneo;
- l'intensità stessa delle precipitazioni, con relativi **tempi di corrivazione brevi** (ossia il tempo che trascorre tra la precipitazione e l'arrivo effettivo dell'acqua nel lago);
- la **ristrettezza del "canale» emissario"** a Sesto Calende, cioè il Fiume Ticino.

©Fondazione Bolle di Magadino

Figura 7 Antico lavatoio sulla riva presso il lungolago di Ascona (sul delta della Maggia) che emerge solo con livelli del lago inferiori a 192,50 m (–0,15 m), e testimonia un uso continuo calibrato a un livello del lago abituale in tempi passati.

Figure 7 The remains of an ancient wash house on the shore near the lakefront at Ascona (on the Maggia river delta) which is visible only when the lake level falls below 192.50 m (–0.15 m) It bears witness to the usual level of the lake in times past.

Esondazioni e periodi di magra. Le esondazioni del lago sulle rive abitate (con superamento della soglia 195,0 m, +2,35 m) avvengono in media ogni 19 mesi (Ambrosetti *et al.*, 1994). Le grandi esondazioni con superamento della soglia di 196 m (+3,35 m) sono avvenute una trentina di volte dal 1868 a oggi. Il massimo è stato misurato il 4 ottobre 1868: 200,23 m, +7,63 m; la seconda punta massima il 17 ottobre 2000: 197,48 m, +4,83 m (fonte dei dati: www.hydrodaten.admin.ch/it/2022.html).

Visti i brevi tempi di corrivazione, in occasione di perturbazioni estese e a passaggio lento sul bacino imbrifero, un'impressionante quantità di acqua raggiunge lo specchio del Verbano in poco tempo (*vedi* Tabella 2). Per questo motivo è possibile assistere ad **aumenti rapidi del livello del lago**. Memorabile quanto misurato tra il 2 e il 4 ottobre 2020, quando il lago è passato da quota 193,12 m (+0,48 m) a 195,42 m (+2,78 m), vale a dire un innalzamento di 2,3 m in 24 ore.

Le **magre corrispondenti a periodi di siccitosi** prolungati vedono i livelli del lago ritirarsi fino alla quota dell'incile (il punto dove si alimenta l'emissario lacustre), corrispondente a circa 192,10 m/–0,55 m (Zampaglione, 1993, minimo storico nel 1991, 99 m/–0,66 m, misurato il 17 gennaio 1922; Ciampittiello *et al.*, 2016).

Più che la punta minima, per l'ecosistema è determinante la **durata delle magre**, che può prolungarsi per diversi mesi. Nel 2003, per esempio, durante il periodo metà aprile-inizio novembre il lago rimase per ben 164 giorni al di sotto dei 193,00 m (+0,35 m). I fondali emersi in questi periodi di magra diventano habitat effimeri particolari e molto interessanti (*vedi* «Sistemi ripari e fluvio-deltizi», da pag. 21).

La gestione dei livelli del lago

La volontà di poter usufruire delle acque provenienti dai pendii sudalpini – che già in modo naturale si accumulano nei grandi laghi – affinché sia garantita la disponibilità nei periodi meno favorevoli, ha portato anche per il Verbano alla costruzione di uno sbarramento entrato in funzione nel 1943, presso Golasecca, lungo il Ticino in provincia di Varese: la **diga della Miorina** (Figura 8).

Questo manufatto permette una regolazione tale da invasare acqua nel lago nei **periodi di maggiore piovosità** (primavera e autunno) o al momento della fusione delle nevi in quota (giugno). Le disponibilità idriche accumulate – le cosiddette "acque nuove" – vengono poi erogate nei **periodi irrigui** (primaverile-estivo) e per le **utenze industriali** (maggiormente in autunno-inverno).

Un **disciplinare di concessione** del **1943** stabilisce gli estremi all'interno dei quali è possibile regolare il livello lacustre. Per le soglie massime sono stabiliti i seguenti valori:

- 193,65 m/+1,00 m dal 15 marzo al 15 novembre;
- 194,15 m/+1,50 m dal 15 novembre al 15 marzo.

A ciò corrisponde una possibilità di invaso pari a **315 milioni di m³**, che salgono a **420 milioni di m³** nel periodo invernale (www.ticinoconsorzio.it/regolazione).

Il grafico di Figura 9 visualizza i livelli medi mensili delle acque lacustri misurati *prima e dopo la costruzione della diga* della Miorina. La doppia ciclicità risulta attenuata, con il periodo invernale che vede i *livelli medi di 1 m più alti* rispetto alla situazione naturale.

La tipologia strutturale della diga **non permette regolazioni durante le fasi di piena**, per cui la sua influenza sulle punte di piena rimane significativa solamente rispetto alla quota di partenza all'inizio dell'evento piovoso. Con previsioni meteo di precipitazioni prolungate, **svasi** (rilasci di acqua) preventivi possono essere realizzati alcuni giorni prima dell'evento, ma *il margine di manovra rimane ridotto*.

©Fondazione Bolle di Magadino

Figura 8 La diga della Miorina, lungo il corso del Ticino in Comune di Golasecca (VA).

Figure 8 The Miorina dam along the Ticino river in the Municipality of Golasecca (VA).

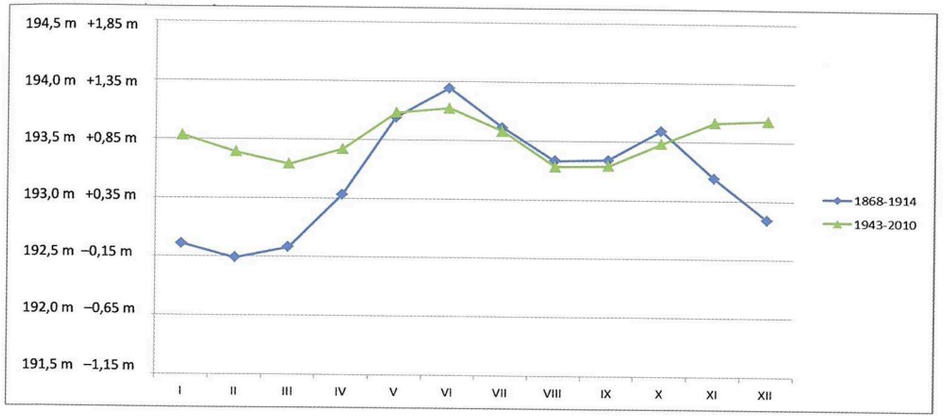


Figura 9 Confronto delle medie mensili del livello delle acque per i periodi prima e dopo la costruzione della diga della Miorina. In ordinata sono indicate le altezze in m slm: 1) con la quota in territorio elvetico e 2) rispetto allo 0 di Sesto Calende (VA).

Figure 9 Comparison of the mean monthly water level for the periods before and after the construction of the Miorina dam. The y axis indicates the heights in m asl: 1) with the height in Swiss territory and 2) compared to 0 in Sesto Calende (VA).

IL MESCOLAMENTO VERTICALE DELLE ACQUE

L'**aspetto idrodinamico** più importante per un lago subalpino profondo come il Verbano è sicuramente il **mescolamento verticale delle acque** alla fine dell'**inverno limnologico** (nello specifico, circa a fine febbraio), che assicura l'**ossigenazione** delle acque ipolimnetiche profonde. Dalla primavera avanzata fino all'autunno il lago presenta una **stratificazione** dovuta alle **differenze di temperatura e di densità** tra i diversi strati di acqua.

A causa dell'elevata profondità e delle condizioni meteorologiche caratteristiche della regione, il **mescolamento completo** delle acque del Lago Maggiore non si verifica ogni anno. Solo in caso di **inverni molto freddi e ventosi** il mescolamento risulterà completo, tuttavia l'ossigenazione degli strati profondi viene garantita almeno parzialmente dall'apporto di **ossigeno fornito dalle acque fluviali** (Figura A). Lo strato che viene rimescolato in inverno raggiunge normalmente profondità di 100-150 m (CIPAIS, 2007, 2016 limno).

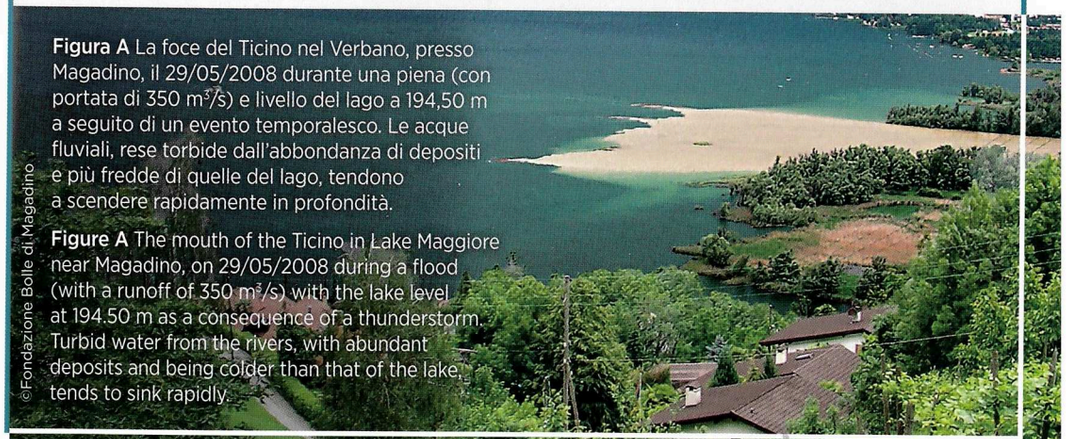


Figura A La foce del Ticino nel Verbano, presso Magadino, il 29/05/2008 durante una piena (con portata di 350 m³/s) e livello del lago a 194,50 m a seguito di un evento temporalesco. Le acque fluviali, rese torbide dall'abbondanza di depositi e più fredde di quelle del lago, tendono a scendere rapidamente in profondità.

Figure A The mouth of the Ticino in Lake Maggiore near Magadino, on 29/05/2008 during a flood (with a runoff of 350 m³/s) with the lake level at 194.50 m as a consequence of a thunderstorm. Turbid water from the rivers, with abundant deposits and being colder than that of the lake, tends to sink rapidly.

©Fondazione Bolle di Magadino

Aspetti biologici del Lago Maggiore

Qualità chimica delle acque

La **qualità chimica dell'acqua** è connotata da una forte **impronta antropica**. Questa influenza emerge sia per la presenza di **specie batteriche resistenti agli antibiotici** – sebbene in quantità non ancora critiche – sia per la **salinizzazione** dovuta all'uso del cloruro di sodio come antigelo sulle strade (CIPAIS, 2016 limno).

I contaminanti come *policlorobifenili* (PCB), *alcool isopropilico* (IPA) e *polibromodifenileteri* (PBDE) mostrano uno **stato di contaminazione** entro i limiti normativi, fatta eccezione per il *mercurio* rinvenibile in alcune specie ittiche. Il *DDT* occupa ancora oggi un ruolo particolare nel lago: questo insetticida, molto pericoloso per via della sua persistenza nell'ambiente e della tendenza ad accumularsi lungo le reti trofiche, fu prodotto a Pieve Vergonte (VB), lungo il Fiume Toce, fino al 1998. I suoli e i depositi del fiume contaminati in prossimità del vecchio stabilimento di produzione, dove il DDT si accumulava (essendo poco solubile in acqua), a ogni piena del fiume venivano mobilitati e diffusi nel lago (CIPAIS, 2019 sos).

Le concentrazioni di *DDx* (l'insieme dei metaboliti derivati dal DDT) degli ultimi anni mostrano continue fluttuazioni, strettamente legate ai fenomeni meteorologici, che sembrano indicare un non equilibrio per questi contaminanti, sebbene siano in corso importanti misure di risanamento a Pieve Vergonte.

Qualità biologica delle acque

La situazione petrografica, geomorfologica e limnologica determinerebbe naturalmente una **qualità oligotrofica** (cioè, con pochi nutrienti) delle acque del Verbano. Tuttavia, a partire dagli anni '70 del secolo scorso, la pressione antropica ha innescato un processo di **eutrofizzazione** del lago, cioè un progressivo aumento di nutrienti fino a una situazione di eccesso.

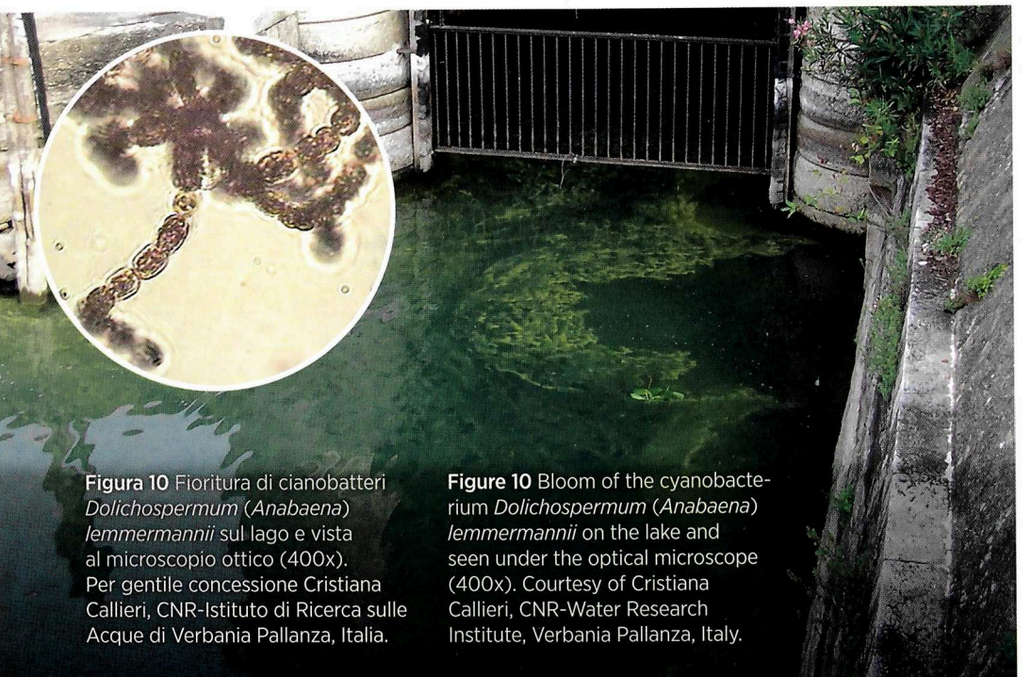


Figura 10 Fioritura di cianobatteri *Dolichospermum* (*Anabaena*) *lemmermannii* sul lago e vista al microscopio ottico (400x). Per gentile concessione Cristiana Callieri, CNR-Istituto di Ricerca sulle Acque di Verbania Pallanza, Italia.

Figure 10 Bloom of the cyanobacterium *Dolichospermum* (*Anabaena*) *lemmermannii* on the lake and seen under the optical microscope (400x). Courtesy of Cristiana Callieri, CNR-Water Research Institute, Verbania Pallanza, Italy.

Miglioramenti dagli anni '80. Successivamente, a partire dai primi anni '80, con la progressiva entrata in attività degli **impianti di trattamento delle acque reflue** e la messa in atto di **norme di controllo della dispersione dei nutrienti algali** nell'ambiente, la qualità dell'acqua dei tributari, e di conseguenza del bacino, iniziarono a migliorare, fino a raggiungere una situazione praticamente corrispondente all'obiettivo del **carico di nutrienti ammissibile** per ritrovare e mantenere condizioni oligotrofiche. Infatti, in correlazione con il processo di oligotrofizzazione del Lago Maggiore iniziato nel 1981, si può osservare come i valori medi annui del biovolume complessivo del fitoplancton e della **concentrazione della clorofilla *a*** (indice di presenza di alghe, tipiche della condizione eutrofica) siano in costante diminuzione (CIPAIS, 2007 limno).

Un equilibrio piuttosto instabile. Sebbene vi sia una forte variabilità interannuale, imputabile principalmente alle fluttuazioni idrologiche, i dati più recenti mostrano tuttavia una lieve **inversione di tendenza**. Questo cambiamento è osservabile nella diversità di **diatomee** (alghe unicellulari) e di **cianobatteri** (batteri fotosintetici), per i quali si registra una riduzione di alcune specie tipiche di acque oligotrofe e un aumento di specie a carattere meso-eutrofo (tendente all'eutrofico, cioè con molti nutrienti). Un altro indizio del cambiamento in atto si osserva negli eventi di **fioritura cianobatterica** registrati negli ultimi anni. Il volume totale annuo di fitoplancton si mantiene tuttavia nei valori di acque oligotrofe.

Il Lago Maggiore si trova quindi oggi in una situazione di **equilibrio piuttosto instabile tra oligotrofia e mesotrofia** (CIPAIS, 2016, 2019 limno).

L'aumento di nutrienti nel lago osservato recentemente non sembra essere dovuto a variazioni negli apporti di nutrienti dal bacino. Non è però ancora chiaro da dove provengano i nutrienti che stanno peggiorando nuovamente lo stato delle acque del Lago Maggiore. Le cause sarebbero da cercare nei **fattori meteo-idrologici brevi e intensi** alternati a periodi siccitosi prolungati, con **dilavamento** importante dei suoli e **liberazione di nutrienti** che raggiungono il bacino in situazione di livello basso; anche il **riscaldamento delle acque** e i cambiamenti del regime di mescolamento delle acque possono giocare un ruolo importante. Molto probabilmente, a causa di questi processi in atto, negli anni più recenti si è osservata varie volte la fioritura del cianobatterio *Dolichospermum* (*Anabaena*) *lemmermannii* (Figura 10), fenomeno che non si era mai osservato prima del 2005 nel Lago Maggiore (CIPAIS, 2016 limno; Callieri *et al.*, 2014).

Variabili meteo-climatiche e plancton. Negli anni più recenti, anche la successione delle diatomee – la componente di fitoplancton storicamente dominante per questo bacino in termini di biovolume – segnala come le dinamiche di crescita del **fitoplancton** vengano regolate principalmente dalle condizioni meteo-climatiche e non più dai fattori legati all'eutrofizzazione. La maggiore influenza delle variabili meteo-climatiche sullo **zooplancton** lacustre e la relativa dinamica stagionale è pure segnalata dalla sua successione, che presenta una maggiore e crescente variabilità interannuale. L'ampio margine di incertezza potrebbe venire interpretato come un segno di minore stabilità (CIPAIS, 2007 limno).

Flora e fauna

Situazione delle piante acquatiche. Nel lago sono state osservate un centinaio di specie di **macrofite** (piante vere e proprie) acquatiche (Lachavanne e Perfetta, 1981; CIPAIS, 2019b). Attualmente ne è stata censita una cinquantina di specie, ma poche sono abbondanti e frequenti, mentre le altre sono rare e localizzate o non più osservate da tempo (Figura 11).

Il **10% delle specie** censite è **di natura alloctona e invasiva**, in grado di ricoprire superfici estese sostituendosi alle specie native meno efficienti e rapide nell'acquisizione delle risorse (luce e nutrienti), nella crescita, nella riproduzione e nella colonizzazione di nuove aree (CIPAIS, 2019b). Ciononostante, il Verbano rimane un ecosistema importante da conservare per la presenza di diverse **specie di pregio** (specie **prioritarie di conservazione** o inserite nelle **liste rosse** delle specie a rischio di estinzione), come per esempio *Ceratophyllum demersum, Potamogeton nodosus, Ranunculus trichophyllus* e *Zannichellia palustris*. La Castagna d'acqua (*Trapa natans*), presente con la varietà *verbanensis* Cesati (frutto con due cornetti), rimane confinata nella parte Sud del lago (la popolazione più estesa si trova nella Riserva di Fondotoce, VB), così come i popolamenti interessanti di **ninfee** (per esempio il raro Nannufero o Ninfea gialla, *Nuphar lutea*) si sviluppano solo in piccole baie dalle rive tranquille ancora naturali e mancano completamente sul lago nella parte settentrionale.

Fauna aliena: pesci, molluschi e crostacei. Il problema dell'arrivo di **specie alloctone** fortemente competitive è ben presente anche per la fauna del lago. Per esempio, la presenza di **molluschi bivalvi invasivi** come la nota Cozza zebra (*Dreissena polymorpha*), *Corbicula fluminea* e *Sinanodonta woodiana*, determinano competizioni importanti con **riduzione effettiva degli habitat favorevoli per le specie autoctone** (Riccardi, 2017), provocando un danno grave, poiché il Lago Maggiore è il sito in cui si registra la **più elevata diversità di specie autoctone di bivalvi in Italia**.

La specie più abbondante e unica del genere *Unio* infeudata al Verbano è *U. elongatulus* (Figura 12), mentre sono presenti le tre specie europee di *Anodonta* (*A. anatina*, *A. cygnea* e *A. exulcerata*). Si tratta quindi di una **regione molto importante per la conservazione di molluschi**, che tuttavia stanno diminuendo in modo allarmante. La popolazione di *U. elongatulus*, una volta stabile e abbondante, negli ultimi 20 anni di monitoraggi è diminuita del 90% (CIPAIS, 2019b).

Il problema è reale anche per i **gamberi**, con la presenza puntuale di **specie alloctone** come il Gambero della Louisiana (*Procambarus clarckii*, Figura 13) e il Gambero dal segnale (*Pacifastacus leniusculus*), mentre nella parte meridionale del lago è ben insediato il Gambero americano (*Faxonius* (= *Orconectes*) *limosus*) (CIPAIS, 2019b). Gli importanti popolamenti autoctoni di Gambero dai piedi bianchi (*Austropotamobius pallipes*, Figura 13) presenti ancora in abbondanza nei canali del Piano di Magadino, per esempio, sono destinati a scomparire a causa di un fungo parassita portato dai gamberi americani. Soltanto **misure attive di conservazione** potranno evitare questa scomparsa.

L'**ittiofauna** subisce lo stesso fenomeno, poiché attualmente su 23 specie censite, quattro sono alloctone di recente introduzione e quattro sono considerate alloctone acclimatate. Le specie di pesci aliene sono tuttavia dominanti in termini di numero e di biomassa rispetto alle specie autoctone, e sono distribuite lungo tutta la colonna d'acqua, sia nella zona litorale sia in quella pelagica (CIPAIS, 2016 limno).

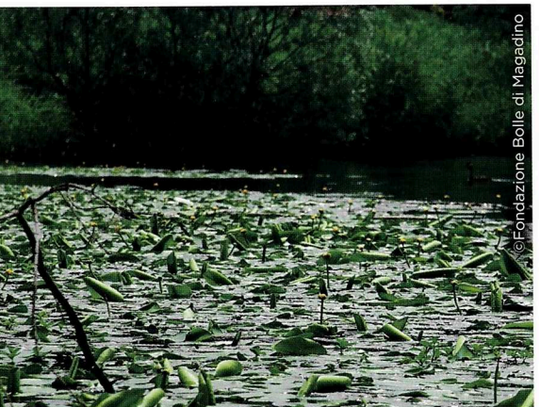
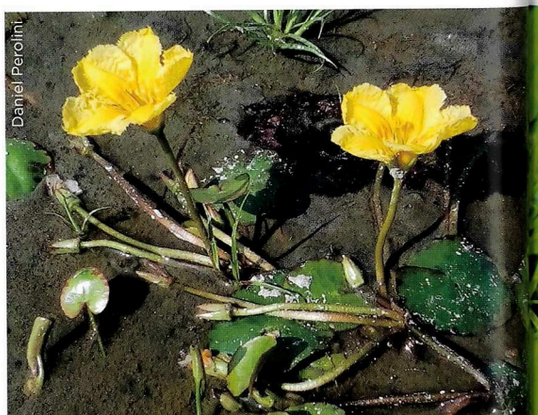


Figura 11 A sinistra, lamineto (28/06/2021); a destra fioritura di *Nymphoides peltata*, fotografati a Sabbie d'Oro, Brebbia (VA).

Figure 11 Left, aquatic vegetation (28/06/2021). Right *Nymphoides peltata*, in flower photographed in Sabbie d'Oro, Brebbia (VA).



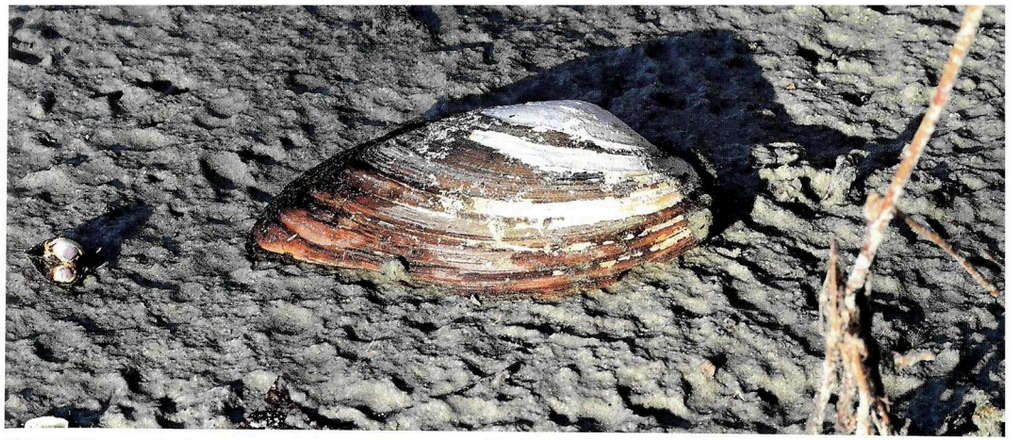


Figura 12 La conchiglia del bivalve autoctono *Unio elongatulus*, la specie più comune del Verbano (fino a 12 cm di lunghezza e 5 cm di altezza).

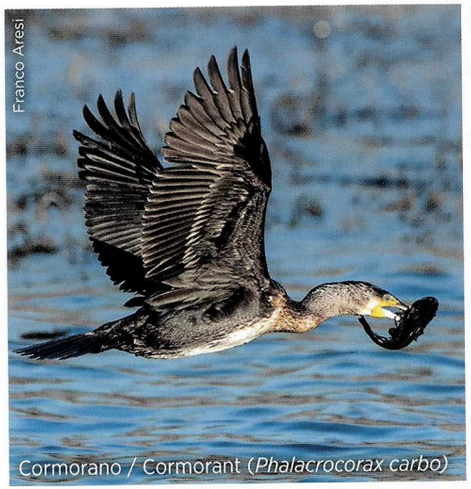
Figure 12 The shell of the native bivalve *Unio elongatulus*, the most common species of Lake Maggiore (up to 12 cm long and 5 cm high).

Figura 13 A sinistra, Gambero della Louisiana (*Procambarus clarkii*). A destra, Gambero dai piedi bianchi (*Austropotamobius pallipes*).

Figure 13 Left, Louisiana crawfish (*Procambarus clarkii*). Right, White-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*).

Le specie di uccelli ittiofagi (Figura 14) sembrano seguire le nuove opportunità trofiche offerte da questa situazione, come l'abbondanza dei popolamenti di Gardon. Non è ancora chiaro però in che modo anche le colonie di ittiofagi che gravitano sul lago, come i Cormorani, potranno influenzare gli effettivi del popolamento di pesci e le relazioni tra le diverse specie.

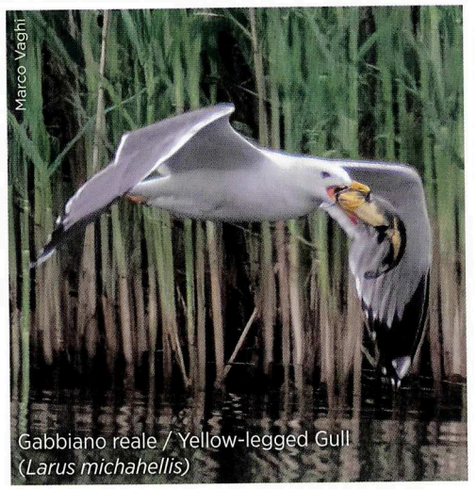
È infine di rilievo sottolineare l'importante sforzo messo in atto negli ultimi decenni per ricostituire il *continuum* del **corridoio ecologico sulla rete idrografica** che permette di ricollegare il Verbano al mare Adriatico. Questo collegamento oggi è tornato una realtà: ogni sbarramento lungo il Ticino e il Po, infatti, è stato dotato di **rampe di risalita** per la fauna ittica.


Franco Aresi

Cormorano / Cormorant (*Phalacrocorax carbo*)

Marco Vaghi

Nibbio bruno / Black Kite (*Milvus migrans*)


Marco Vaghi

Gabbiano reale / Yellow-legged Gull (*Larus michahellis*)

Gildo Cavaggioni

Tarabuso / Eurasian Bittern (*Botaurus stellaris*)

Figura 14 I Cormorani si alimentano con grande frequenza di specie ittiche alloctone del Verbano. Nibbio bruno e Gabbiano reale sono perlopiù spazzini o approfittano di pesci in cattivo stato di salute. Un Tarabuso pesca a bordo canneto.

Figure 14 Cormorants often feed on non-native fish species from the lake. Black Kite and Yellow-legged Gull are mostly scavengers or take advantage of fish in poor health. A Bittern fishes from the reeds.

Sistemi ripari e fluvio-deltizi

Origine geomorfologica

Attorno al Lago Maggiore sono presenti numerose **zone umide di particolare pregio per la biodiversità** e che occupano settori di **pianura fluvio-deltizia** di formazione recente (alcuni millenni) o sono legate alla storia geomorfologica del Verbano.

Le zone umide di origine fluvio-deltizia situate a diretto contatto con il lago si sono installate su depositi medio-fini (perlopiù *sabbia fine limosa* o *limo sabbioso*), dovuti a una **sedimentazione fluviale calma** in ambiente di piana deltizia, oppure in depositi fini (*limi inorganici e organici*) negli ambienti interessati dalle fluttuazioni stagionali del livello lacustre tipici del fronte deltizio.

Essendo situate a quote inferiori ai 200 m slm (+7,35 m), la loro formazione è avvenuta negli ultimi cinque millenni, con i settori più prossimali alla riva lacustre che si sono formati a partire dall'epoca romana, come testimoniano alcune datazioni di materiale organico in sondaggi (per esempio la datazione tra 1-210 d.C. in località Castellaccio a Magadino di Sopra, Bolle di Magadino, a 1,5 km dal lago aperto).

L'abbassamento progressivo del livello lacustre medio avvenuto nel corso dei millenni (*vedi* Figura 5) ha favorito anche la creazione di sistemi ripari in **depressioni perilacuali** (intorno al lago), emerse con la **regressione lacustre** (il ritiro/abbassamento del livello lacustre). Queste depressioni sono state probabilmente originate dall'erosione glaciale lungo terrazzi strutturali del substrato roccioso. I depositi glaciali di fondo, caratterizzati da una matrice fine (sabbia fine e limo), e gli stessi depositi lacustri/palustri di interramento progressivo dei bacini, hanno poi favorito la persistenza di ambienti parzialmente umidi.

Un discorso diverso vale per i **Lagoni di Mercurago** (NO), le cui depressioni lacustri e palustri sono localizzate tra i **cordoni morenici** depositati in riva destra del paleo-ghiacciaio del Ticino-Toce durante l'Ultimo massimo glaciale. Le datazioni delle età di esposizione della superficie di alcuni massi erratici hanno infatti permesso di stabilire che i cordoni morenici sono posteriori a 27,62 ± 7,80 ka e 25,64 ± 3,6 ka.

La parziale impermeabilizzazione del fondo, che ha consentito l'insediamento di laghi e paludi, è avvenuta a causa del lavaggio della matrice fine dei depositi glaciali per opera del ruscellamento superficiale, che ha selezionato il materiale asportando la sabbia fine e il limo e trasportandoli sul fondo delle depressioni poste tra i cordoni morenici.

Sistemi fluvio-deltizi

I sistemi fluvio-deltizi sono caratterizzati dall'incontro tra il trasporto solido dinamico dei fiumi e la massa d'acqua lacuale e combinano processi ecologici alluvionali con quelli palustri. Dove le **dighe** hanno bloccato o limitato la dinamica golenale sono diventati preponderanti i processi ecologici legati alle **successioni palustri**, specialmente dopo la costruzione della diga della Miorina nel 1943, che ha innalzato il livello medio annuale del lago di almeno 40 cm (*vedi* Figura 9).

L'aspetto più importante è la possibilità di neoformazione di nuovi ambienti litoranei o palustri, con la progradazione

del cono deltizio nel lago. Questi habitat neoformati stabiliscono un equilibrio con le situazioni regimate attuali.

Il delta della **Maggia** è senz'altro l'esempio di *sistema fluvio-deltizio attivo* più spettacolare per il Verbano (Figura 15). Ma, relativamente alle dimensioni, anche il **Ticino** immissario, il **Toce** e la **Tresa** hanno tale particolarità (se i nuovi isolotti sono tutelati e possono conservarsi). La **Verzasca**, invece, risulta oggi un *delta senza più neoformazione*, poiché la grande diga subito a monte (visibile nella fotografia della Figura 1) blocca l'apporto del materiale necessario alla sua progradazione.

Vegetazione di ripa. Sulla cosiddetta "**riva bagnata**" (dove l'acqua tocca le sponde per la maggior parte del tempo) la **zonazione vegetazionale** che si sviluppa si avvicina molto a quella classica palustre, ma senza la fascia del lamineto, poiché la violenza delle piene eradica le piantine a foglie galleggianti.

Anche il **canneto** forma dei consorzi molto vigorosi, ma *senza sviluppo di zattere a radici galleggianti*. In questo caso, se alla forza della piena del fiume si aggiunge il forte aumento possibile del livello del lago, lo sviluppo di questo tipo di habitat galleggianti diventa quasi impossibile sul Verbano, anche nelle zone palustri situate lontano dai fiumi.

Gli aspetti pedologici restano comunque caratterizzati dai fiumi, con componenti scheletriche sabbiose, ghiaiose e ciottolose, e nessun accumulo torboso. Anche per tale motivo il legame con la falda del lago è diretto e determinato dalla sola quota. Il sistema è molto sensibile e le associazioni vegetali cambiano lungo il gradiente di quota alle minime variazioni (Figura 16).

Queste caratteristiche determinano anche gli habitat palustri retrostanti il fronte, dove troviamo **praterie umide a grandi carici**, **prati umidi** e praterie a strutture fisionomiche basse su letti ghiaiosi molto filtranti (**parvocariceti**). Gli **pseudocanneti** sono formazioni quasi monospecifiche di Cannuccia di palude molto fitte ma con i piedi all'asciutto (assai diverse quindi dai canneti acquatici); sono di recente apparizione e influenzate dalle variazioni delle medie annuali dei livelli del lago. Da segnalare anche le formazioni dei settori più alti, ma sempre di tipo palustre, che se gestite regolarmente originano associazioni fitosociologiche uniche e poco descritte in letteratura: i **lischeti** a *Poa pratensis* e *Deschampsia cespitosa*, una sorta di duna sabbiosa maturata verso un prato palustre. Questo tipo di formazioni ospita molte specie botaniche rare e adattate a una nicchia ecologica molto ristretta, minacciate di estinzione proprio perché specializzate a vivere in ambienti particolari. La presenza di **habitat pionieri**, dovuti ai processi alluvionali, arricchisce e diversifica l'ecosistema, riattivando costantemente la successione ecologica: un'ottima premessa per una conservazione duratura.

Figura 15 Fronte deltizio e prodelta del Fiume Maggia (presso Locarno) il 19/05/2021, con creazione di un nuovo isolotto al centro dopo le piene di ottobre 2020.

Figure 15 Front of the delta and protodelta of the Maggia River (near Locarno) on 19/05/2021, with the creation of a new islet in the center after the floods of October 2020.

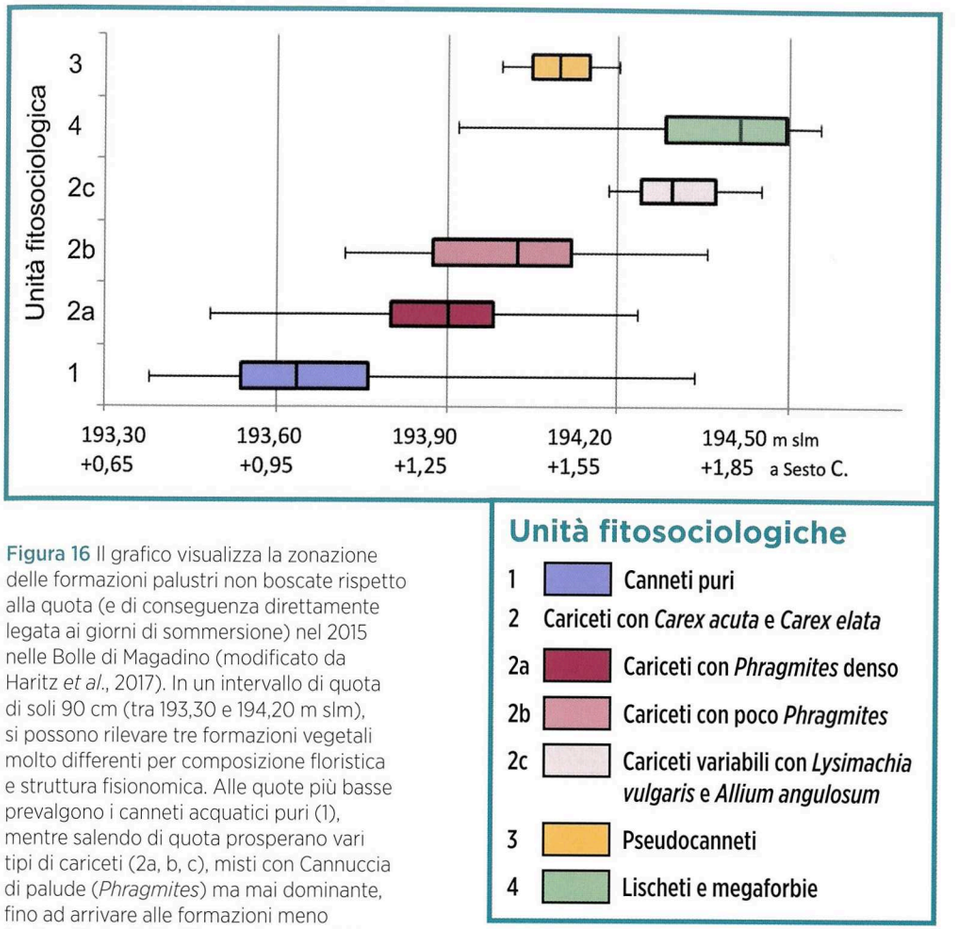


Figura 16 Il grafico visualizza la zonazione delle formazioni palustri non boscate rispetto alla quota (e di conseguenza direttamente legata ai giorni di sommersione) nel 2015 nelle Bolle di Magadino (modificato da Haritz *et al.*, 2017). In un intervallo di quota di soli 90 cm (tra 193,30 e 194,20 m slm), si possono rilevare tre formazioni vegetali molto differenti per composizione floristica e struttura fisionomica. Alle quote più basse prevalgono i canneti acquatici puri (1), mentre salendo di quota prosperano vari tipi di cariceti (2a, b, c), misti con Cannuccia di palude (*Phragmites*) ma mai dominante, fino ad arrivare alle formazioni meno fradice (lischeti, 4). Gli pseudocanneti (3) si "intrufolano" tra cariceti e lischeti.

Figure 16 Zoning of non-wooded marshes with respect to height above water-level (and, as a consequence, linked directly to the number of days the area is under water) in 2015 in the Bolle di Magadino (modified by Haritz *et al.*, 2017). Within only 90 cm (between 193.30 and 194.20 m asl), three very different plant communities are seen in terms of flower species and physical structure. At the lowest levels pure stands of reeds predominate (1). With rising ground, various types of sedge (2a, b, c) thrive, mixed in with Common Reed (*Phragmites*) which is present but never dominant until we arrive at ground that is less water-logged (rushes, 4). Reeds growing on land (3) infiltrate themselves between sedges and rushes.

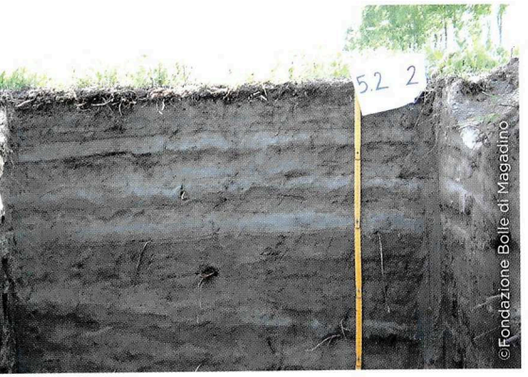


Figura 17 A sinistra, suolo alluvionale grezzo polifasico sul delta del Ticino: profondità fino alla falda di vari metri. A destra, suolo idromorfo a gley e torba eutrofa presso la palude di Sabbie d'Oro, Brebbia (VA): profondità fino alla falda 20 cm.

Figure 17 Left, alluvial soil profile deposited in several phases on the Ticino delta: depth to the water table of several meters. Right, water-logged soil with gley and eutrophic peat at the Sabbie d'Oro marsh, Brebbia (VA): depth to the water table of 20 cm.

Sistemi ripari

Nei **sistemi ripari**, caratterizzati da processi palustri, la serie successionale risulta del tutto sviluppata, **dal lamineto al bosco fradicio** di Salice bianco (*Salix alba*) o Ontano nero (*Alnus glutinosa*). A contatto con la riva bagnata ritroviamo le stesse formazioni degli spazi laterali dei delta.

Nelle parti più alte ed esterne l'**accumulo di torba** eutrofa, combinato a uno scheletro pedologico molto fine, permette la formazione di condizioni del suolo che garantiscono un carattere igrofilo alle formazioni anche con lago medio-basso. Il legame con il livello del lago non è più quindi diretto – come invece nei sistemi deltizi – e le formazioni vegetazionali più palustri sembrano riuscire a risalire il gradiente verso l'entroterra (Figura 17).

Con la *mancanza di neoformazione attiva*, questi ambienti sono **tendenzialmente più stabili**, ma proprio per questo sono molto più esposti alla presenza di **specie vegetali invasive** che trovano in questa nicchia l'habitat ottimale. È il caso di *Amorpha fruticosa*, specie di mangrovie della Florida che riesce a competere con il canneto e creare formazioni cespugliose dove prima si avevano habitat favorevoli agli abitanti del canneto. **Misure gestionali mirate** sono dunque necessarie per conservare a lungo termine tali habitat.

Tali sistemi ripari sono presenti nella parte meridionale del lago, con sviluppo più esteso della zonazione come nelle aree attorno ad Angera (Bozza, Sabbie d'Oro, Bruschera, VA) e vicino a Sesto Calende, oppure sulla sponda piemontese come formazioni di canneto (Dormelletto, NO).

Sistemi effimeri

Le forti variazioni naturali dei livelli del Verbano creano *ambienti effimeri* sia durante le esondazioni sia durante i periodi di ritiro delle acque (Figura 18). Ecologicamente si tratta di veri e propri **ecosistemi temporanei**, che possono riuscire a ospitare una cenosi (comunità di specie di un ecosistema) specifica *solo se si ripetono nel tempo con una certa frequenza*.

Specie opportuniste. Quando sono importanti ed estese, le esondazioni del lago creano ambienti acquatici dove solo poche ore prima si aveva un ambiente palustre o terrestre. Questa nicchia viene occupata da **specie opportuniste**, che sanno colonizzare velocemente il nuovo habitat (è il caso, per esempio, di alcuni coleotteri acquatici) oppure che utilizzano una forma di resistenza, sviluppandosi appena arriva l'acqua. Quest'ultimo è il caso delle uova di **zanzara** delle specie *Aedes vexans* e *A. sticticus*, che vengono depositate nel suolo fangoso appena l'esondazione si ritira e possono attendere nel suolo per anni la prossima esondazione. Per tale motivo queste specie possono dare origine a veri e propri *picchi di pullulazioni primaverili*, quando le acque del lago non trasportano con sé nessun avannotto durante le esondazioni e mancano altri antagonisti predatori, poiché fino a pochi momenti prima era un habitat asciutto. Da notare come la famigerata zanzara tigre (*Aedes albopictus*), specie antropofila, non riesca fortunatamente a colonizzare le paludi naturali, rimanendo confinata nell'area urbanizzata.

Emersione delle ripe. Nei periodi di magra, quando le acque si ritirano e il livello lacustre si abbassa, emergono i **fondali di ripa**, che vanno in secca. L'importanza di questo fenomeno dipende naturalmente dalla morfologia delle rive e si concentra maggiormente nei sistemi deltizi dove l'inabissamento delle sponde è più dolce, almeno nel fronte deltizio e nella parte superiore del prodelta. La *durata dell'emersione* permetterà o meno lo sviluppo, la colonizzazione o anche semplicemente la possibilità di accedervi per diverse specie. La *frequenza nel tempo* dell'emersione determinerà lo sviluppo di vere e proprie cenosi infeudate a questo habitat effimero.

Tali habitat sono molto rari in tutta Europa, dove ambienti naturali con queste caratteristiche sono poco frequenti, ancor di più quelli legati a laghi con dimensioni importanti. Per questo vanno considerati come delle "perle preziose" che adornano, a volte, le sponde del Verbano. Sono conosciuti da molto tempo, specialmen-

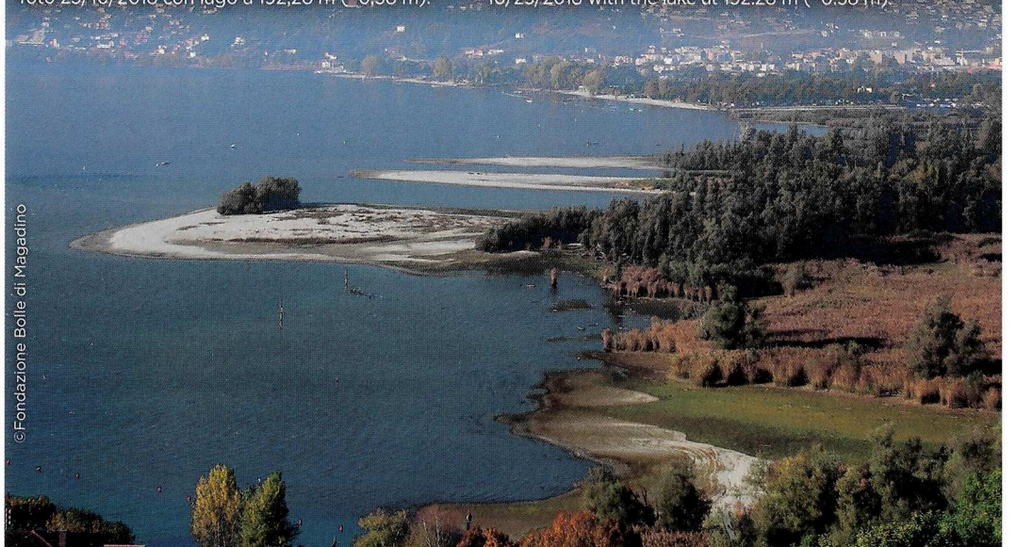


Figura 18 Litorali emersi sabbiosi sul delta e melmosi (in alto) davanti al canneto delle Bolle di Magadino (al centro a destra nella foto); la vegetazione effimera (sfumatura verde), comincia a crescere dopo 40 giorni di emersione: foto 25/10/2018 con lago a 192,28 m (-0,38 m).

Figure 18 Sandy coastline emerging from the delta (top) and muddy areas in front of the reeds of the Bolle di Magadino (center right); the ephemeral vegetation (the green haze) starts to grow 40 days after emergence: photo taken 10/25/2018 with the lake at 192.28 m (-0.38 m).

Figura 19 Quando i fondali di ripa emergono nei periodi di magra, alcuni tratti del Verbano offrono l'habitat adatto per i limicoli in migrazione, come questo Piovanello pancianera (*Calidris alpina*).

Figure 19 When river beds emerge during periods of low water levels, some stretches of Lake Maggiore provide suitable habitat for migrating waders, such as this Dunlin (*Calidris alpina*).

te dai botanici, poiché possono essere fonte di osservazioni ambite per specie molto rare e localizzate. Ma anche per l'ornitologo sono ambienti interessanti per osservare varie specie di limicoli nel periodo migratorio (Figura 19).

Lo studio più interessante su questi habitat è quello di Jäggli (1922) svolto sul delta della Maggia. Egli descrive un sistema di fasce litorali emergenti a mano a mano che il lago si abbassava. Le cosiddette "**rive basse**", come le ha definite, erano caratterizzate da «...vasti tappeti di *Littorella (uniflora)*... dove ha dominio incontrastato, è la sola specie capace, per copia e densità di individui, di formare associazioni di autonoma fisionomia. Il *Litorelletum* non prospera tuttavia che in questa angusta zona dove condizioni biologiche specialissime limitano assai la concorrenza vitale, lo difendono dagli invasori degli adiacenti territori.» [pag. 73].

La "**riva alta**", contigua a quella bassa, si arricchisce maggiormente di specie, favorite dall'insediamento precoce di un muschio, *Archidium alternifolium*, che prepara il terreno, e con l'apparizione di specie prevalentemente *ornitocòre* (cioè, la cui disseminazione è affidata proprio agli uccelli!) che per la «...singolare loro dispersione geografica generale discontinua, spesso interrotta da grandi lacune, rappresentano il fenomeno floristicamente più interessante del delta della Maggia. Sono: *Riccia ligula, Schoenoplectus supinus, Eleocharis atropurpureum, Juncus tenageja, Fimbristylis annua, Limosella aquatica*.» [pag. 174].

Purtroppo, dal 1943, la regolazione del lago tramite la diga della Miorina e l'accumulo delle cosiddette «acque nuove», hanno provocato la sommersione spesso continua su più anni di queste spiagge basse, oggi non più osservabili nella forma descritta da Jäggli (1922). Le specie più pregiate, infatti, non sono più osservate da decenni o episodicamente. Rimangono tuttavia ancora presenti diverse specie rare e preziose, che crescono e fioriscono nei sempre più lunghi periodi siccitosi con lago basso, come per esempio nel 2003.

Oggi si possono distinguere tre gruppi ecologici principali determinati dal substrato del fondale emerso e con specie botaniche caratteristiche indicatrici:

- **ghiaioso** (specie indicatrice, *Littorella uniflora*);
- **sabbioso** (specie indicatrice, *Eleocharis acicularis*);
- **melmoso** (specie indicatrici, *Cyperus fuscus, Lindernia procumbens*).

Cambiamenti in atto e conservazione

Cambiamenti climatici

Il processo di **surriscaldamento del clima** – in atto a livello planetario – sta modificando anche le **condizioni climatiche regionali**. Le conseguenze possono essere evidenziate attraverso queste tendenze (https://www.meteosvizzera.admin.ch/home/clima/i-cambiamenti-climatici-in-svizzera.html):

- estati più asciutte;
- piogge più forti e intense;
- aumento delle giornate canicolari;
- inverni con meno neve.

Acque più calde fino in profondità.

Le acque del Verbano si stanno riscaldando fino in profondità. Se questo riscaldamento – in particolare dello strato superficiale – dovesse continuare al ritmo attuale si stima che le **fioriture algali** aumenteranno del 20% e quelle dei **cianobatteri tossici** del 5% (CIPAIS, 2016 limno), influenzando le successioni fitoplanctoniche caratteristiche di questo bacino.

Con l'aumento della temperatura media in inverno e la riduzione del vento, gli eventi di circolazione totale e di rimescolamento degli strati d'acqua sono sempre meno frequenti: la profondità di mescolamento non raggiunge i 100 m dal 2013 (!). Questa situazione determina una aumentata stabilità della colonna d'acqua, una **mancanza di ossigenazione** e un **accumulo di nutrienti**, in particolare negli strati profondi (ipolimnio) (CIPAIS, 2019 limno).

Ecologia che cambia: le acque del futuro.

La situazione potrebbe anche peggiorare in futuro, dato che un aumento ulteriore della temperatura delle acque causerebbe nuovi cambiamenti nei processi idrodinamici e, di conseguenza, influenzerebbe l'ecologia degli organismi che vivono negli strati più prossimi alla superficie. Questi cambiamenti avrebbero poi **ripercussioni su tutta la rete trofica lacustre** (CIPAIS, 2007 limno).

Il cambiamento climatico attuale avrà conseguenze anche sulla **gestione e l'uso dell'acqua in futuro**. Il conflitto tra i settori della sicurezza dalle esondazioni, irrigui, industriali, naturalistici, ricreativi, potranno aggravarsi significativamente (Micotti e Weber, 2013).

Modifica dell'accordo italo-svizzero per la regolazione dei livelli

L'acqua è una risorsa preziosa, ancora di più vista la constatata tendenza all'aumento dei periodi siccitosi provocati dal surriscaldamento climatico recente. La possibilità di accumulare ulteriore acqua nei periodi piovosi per poi disporne in quelli secchi è un tema sul tavolo delle trattative sulla regolazione dei livelli lacustri.

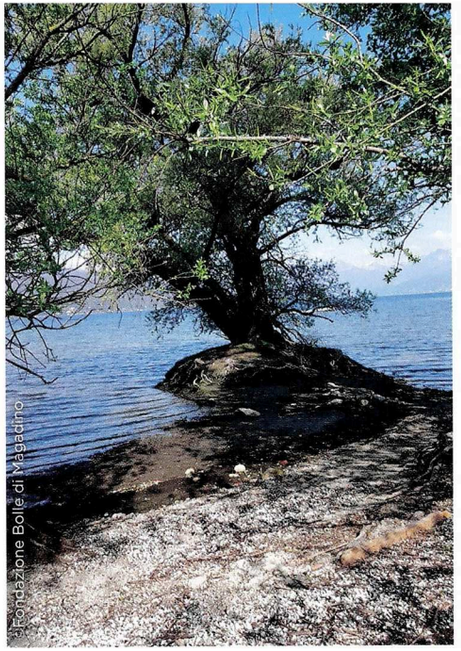


Figura 20 A sinistra, il golfo della Palude Bruschera di Angera (VA) fotografato il 01/09/2017, che mette in evidenza aree di canneto morto (sono visibili le radici non più vitali emerse). A destra, a Sabbie d'Oro, Brebbia (VA), è evidente l'erosione della riva dove non più trattenuta dalle radici dei Salici bianchi.

Figure 20 Left, the gulf of the Palude Bruschera di Angera (VA) photographed on 01/09/2017, which highlights areas of dead reeds (the exposed dead roots are visible). On the right, in Sabbie d'Oro, Brebbia (VA), shore erosion is visible where it is no longer held by the roots of the white willows.

Un difficile equilibrio tra esigenze a monte e a valle. Da sempre gli utenti a valle sono interessati in modo particolare alla produzione agricola e industriale, per cui desiderano innalzare l'estremo superiore della soglia di accumulo delle acque nuove, mentre gli utenti a monte, preoccupati per le possibili esondazioni sulle loro terre e sui centri abitati, tendono a richiederne un abbassamento.

La fascia attuale di regolazione non è più ritenuta soddisfacente, per cui sono in sperimentazione e progettazione **nuove proposte di compromesso** (Soncini Sessa, 2004; Salvetti, 2014). Un rialzo estivo, tra aprile e luglio, a +1,25 m (con punte possibili a 1,35 m) è stato per esempio realizzato sperimentalmente tra il 2015 e il 2020.

L'**innalzamento della soglia di regolazione**, in aggiunta all'intervento del 1943 (diga della Miorina), porta a un ulteriore **arretramento della linea di riva**. Nelle riserve naturali a bordo lago di fatto ciò si concretizza con la **perdita netta di superficie palustre**. Inoltre, il gradiente palustre risulta spostato verso l'entroterra, con perdita del canneto acquatico e trasformazione delle superfici palustri retrostanti la linea di riva (Figura 20), rischiando la scomparsa di biocenosi importanti e rare.

Questa perdita potrebbe essere compensata localmente dove sono presenti sistemi deltizi che permettono le neoformazioni di nuovi ambienti (crescita nel lago), se tutelati adeguatamente. Altrimenti, si tratta di una perdita assoluta di superficie protetta per conservare la biodiversità degli ambienti ripari e palustri e dei servizi ecosistemici forniti dal lago. I **biotopi** e le **rive naturali esistenti** ancora oggi sulle rive del Verbano interessano oramai solo **poco più del 7% della totalità delle sponde**.

1 Lake Maggiore, a deep flooded valley

Alison Parnell (translation and adaptation)

Geographical picture

Lake Maggiore or **Verbano** is the second largest lake in Italy both in terms of size (second to Lake Garda) and depth (after Lake of Como). Compared with Swiss lakes, it is the fourth largest lake but is, however, the deepest one. A summary of its main features is shown in Table 1. The average level of the water is 193.50 m and the highest point of the water catchment area is 4617 m.

The geomorphological history

Today Lake Maggiore occupies a deeply **incised valley** (Figure 3), which is now filled with water. It was formed by a river eroding the valley more than 5 Ma (Ma = million years ago). The lake, however, was formed after the **Last Glaciation**, when the Ticino glacier was at its greatest extent during the **Last Glacial Maximum** (LGM), between **25.0 ± 0.9 and 19.90 ± 0.7 ka** (ka = thousands of years before 2000). It was during this period, in fact, that the moraines that blocked the Ticino River were deposited. The lake basin was thus **blocked downstream** and so then filled up – mainly by meltwater. Lake Maggiore had a higher water level then and so consequently was wider (Figure 4). The **average level** of the lake gradually dropped during the Holocene (from 11.70 ka to the present), settling to around the current 193 m asl (= above sea level) towards the beginning of the Roman epoch, approximately 2.0 ka (Figure 5). At around 10.75 ka, the lake was about 10 km closer to the mountains than where the mouth of the Ticino is today. Between 3.94 and 3.63 ka the **Bolle di Magadino** began to form. A survey carried out in this place allows us to document how the open lake changed to a delta during the years 1365 to 1600 with the lake water retreating at an average rate of 1 m per year (10 km over 10 ka).

The water source of the tributaries

The 6599 km^2 water **catchment area** of Lake Maggiore is shared between **15 sub-basins**. The four most important are:

1. the River **Ticino** (1616 km^2);
2. the River **Toce**, excluding the River Strona (1551 km^2);
3. the River **Maggia** (927 km^2);
4. the River **Tresa**, including Lake of Lugano (754 km^2).

These four sub-basins (hydrological data in Table 2) account for 73.5% of the total area. The water level **regime** is **mixed**. There are **two periods when water levels are high**: in May (in June for the Ticino and Toce rivers) and November. Then there is a **pronounced drop** from December to March and a **second drop** from summer to early autumn. The high level in spring (and early summer) is mainly due to **snowmelt**, while the high level in autumn is just due to **rainfall**.

The water level regime of Lake Maggiore

High water levels of the lake regularly occur twice a year: medium-high water levels are characteristic in spring, correlating with snow melting and rain falling at high altitudes, whereas in autumn, it coincides with unsettled weather between September and

October. The **flood levels** of the lake can be very high, with a difference between **maximum and minimum** of **over 5.5 m**. Serious floods have occurred about thirty times from 1868 until the present. The maximum ever recorded was on 4th October 1868 when the water level reached 200.23 m, a rise of 7.63 m. In 1943, the construction of the **Miorina dam** along the Ticino in the province of Varese (Figure 8) allowed a reservoir to form that holds 315 million cubic metres, rising to 420 million m^3 in winter.

Biological aspects of Lake Maggiore

The **chemical quality of the water** is characterised by a strong **human influence** both for the presence of **antibiotic resistant bacteria** and to the **presence of salt** due to its use on roads. *DDT* still plays a particular role in the lake today: contaminated soils and river deposits near the old chemical production plant along the River Toce are released and spread into the lake each time the river floods.

Rock type, landforms, deposits and aquatic ecosystems effect the **water quality**. For Lake Maggiore, you would expect the water to contain very few nutrients. However, starting from the 1970s human activities triggered a process of **eutrophication** of the lake: in other words, increasing amounts of nutrients built up in the lake. Since then, as wastewater treatment plants gradually came into operation and the release of nutrients from algae into the environment was controlled, the water quality of tributaries entering the lake has started to improve. This will continue until the **water quality** is **acceptable** with the level of nutrients at a low level and consequently, a high level of oxygen in the water.

It is important to preserve the ecosystem of Lake Maggiore as there are some **valuable species** (either having a **high conservation value** or those included in the **red list** of endangered species), such as *Ceratophyllum demersum, Potamogeton nodosus, Ranunculus trichophyllus* and *Zannichellia palustris*. The Water Chestnut (*Trapa natans*) is present with the subspecies *verbanensis* Cesati (the fruit having two horns), and is confined to the southern part of the lake. There are also interesting populations of **waterlilies**, as the rare yellow Waterlily (*Nuphar lutea*) which is completely absent from the northern part of the lake (Figure 11).

The arrival of highly competitive **alien species** is also a very worrying problem for lake fauna. Lake Maggiore has **the highest diversity of native species of bivalves in Italy**, which are decreasing in an alarming way. The only species of *Unio* genus in the lake is *U. elongatulus* (Figure 12); its once stable and abundant population has decreased by 90% in the last 20 years.

The same problem is also true for **crustaceans** (Figure 13). The important native populations of **White-clawed crayfish** (*Austropotamobius pallipes*), still abundant in the Magadino plain, are destined to disappear due to a parasitic fungus carried by introduced **Louisiana crawfish**. The same thing is happening to the **fish species** in the lake. Out of the 23 species surveyed, four are recently introduced non-native species and four are considered naturalised non-native species. However, there are now more **alien fish** in the lake in terms of numbers and biomass than there are native species.

Finally, we should underline the important efforts made in recent decades to rebuild the **ecological corridor using the waterways** that allows Lake Maggiore access to the Adriatic Sea. This connection has been restored: every barrier along the Ticino and the Po has now been provided with **fish ramps**.

River banks and deltas

Around Lake Maggiore are numerous **wetlands** which are **particularly valuable for biodiversity**. They are part of the recently formed **river-deltas** (a few millennia ago) or are linked to the geomorphological history of Lake Maggiore.

The **Maggia delta** is undoubtedly the most spectacular example (Figure 15). But, due to their size, the tributary rivers Ticino, Toce and Tresa are also worth mentioning.

On the so-called "**wet bank**" (where water touches the banks for most of the time) the zones of vegetation that develop are very similar to those of a typical marsh, but without the strip of the aquatic vegetation, since the force of the floods eradicates seedlings with floating leaves. The system is very sensitive and the plant associations in these areas change along the shore with the slightest variation in water levels (Figure 16).

However, aspects of the deltas are those characterised by the rivers, being sandy, gravelly or pebbly with no accumulation of peat. These characteristics also determine the **marshy habitats** formed behind the leading edge of the delta where we find various types of **damp meadows** with large sedges and low-lying meadows overlying freely-draining gravel beds. Also noteworthy are the higher marshy areas where we find unique associations of plants: **reedbeds** with Common Meadow Grass (*Poa pratensis*) and Tufted Hair Grass (*Deschampsia cespitosa*), growing on a sort of sandy dune which matures into a **marshy meadow**. These types of habitats host many rare species of plants adapted to a very narrow ecological niche. They are constantly threatened with extinction precisely because they specialize in a particular environment.

The **riverbank ecosystems**, characterised by the formation of marshes, hold a complete series of successions ranging from **reedbeds** to the **water-logged woods** of White Willow or Black Alder. Where the delta is in contact with the shore we find the same succession of plant communities across the delta. The strong natural variations in lake water levels create temporary habitats both during floods and when the water retreats [Figure 18]. Ecologically, these are true **temporary ecosystems** which can host a specific cenosis (the community of species of an ecosystem) *only and if the environmental conditions are repeated with a certain frequency.*

On-going changes and conservation

The effects of **climate warming** are seen locally with:

- drier summers;
- heavier rainfalls;
- increase of heat waves in autumn;
- reduced winter snowfall.

If these phenomena continue at the current rate, **algal blooms** will increase by 20%, those of **toxic cyanobacteria** by 5% and there will be a **lack of oxygenation** and an **accumulation of nutrients**, especially in the deep layers of water. These changes would then have repercussions for the foodweb of the entire lake.

Users of the water from Lake Maggiore downstream of the lake (farms and industries) would like to see water levels in the lake rise, while people who live upstream of the lake is worried about their land and towns flooding want the water levels to drop. The current management regime is no longer considered to be satisfactory so new proposals are being designed and tested. Raising water levels results in a loss of the lakeshore habitats including marshes. This puts the important and rare ecosystems (biocoenosis) at risk of disappearing. The biotypes and natural lakeshores of Lake Maggiore now make up only 7% of the total lakeside.

Gruppo Insubrico di Ornitologia

Associazione Odv
Registro della Provincia di Varese
n° VA234/Sez.Civ. B

c/o Civico Museo Insubrico di Storia Naturale di Clivio e Induno Olona

Via Manzoni 21, 21050 Clivio (VA), Italia

www.gruppoinsubrico.com

Facebook: GruppoInsubricoDiOrnitologia

Ficedula

Associazione per lo studio e la conservazione degli uccelli della Svizzera italiana

Via Campo Sportivo 11
6834 Morbio Inferiore, Svizzera

0041 (0)79 207 14 07

www.ficedula.ch

Instagram: ficedula_ch

Facebook: Ficedula

Twitter: @Ficedula_Ch

Fondazione Bolle di Magadino

Ente gestore della Riserva naturale delle Bolle di Magadino

Vicolo Forte Olimpo 3
6573 Magadino, Svizzera

0041 (0)91 795 31 15

www.bolledimagadino.com

Quaderni del Gruppo Insubrico di Ornitologia 4/2022

UCCELLI
del Lago Maggiore

DA SUD A NORD: LE ZONE UMIDE, LE SPECIE ACQUATICHE, LE RICERCHE

Monica Carabella
Roberto Aletti
Walter Guenzani
Roberto Lardelli
Alison Parnell
Nicola Patocchi
Federico Pianezza
Fabio Saporetti
Chiara Scandolara

Interreg
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale
ITALIA SVIZZERA - ITALIE SUISSE - ITALIEN SCHWEIZ
PARCHI VERBANO TICINO