

# L'ACQUA

*ESTRATTO*

**Roberto Ranzi, Eleni Maria Michailidi, Massimo Tomirotti, Luigi Bertoli**  
**IDROMETRIA DEL FIUME ADDA A LECCO DAL 1845 AL 2016**





Roberto Ranzi<sup>(a)</sup>, Eleni Maria Michailidi<sup>(a)</sup>, Massimo Tomirotti<sup>(a)</sup>, Luigi Bertoli<sup>(b)</sup>

## IDROMETRIA DEL FIUME ADDA A LECCO DAL 1845 AL 2016

## HYDROMETRY OF THE ADDA RIVER AT LECCO FROM 1845 TO 2016

La memoria espone la sintesi, rendicontata per esteso nella Pubblicazione n° 14 del Consorzio dell'Adda ed in due recenti lavori scientifici, di uno studio pluriennale che ha permesso la ricostruzione della serie dei livelli, degli afflussi e deflussi giornalieri del lago di Como a Lecco dal 1845 al 2016. La serie storica, la più estesa temporalmente per le Alpi Italiane, ha permesso di riconoscere la diminuzione dell'intensità delle piene del Lago di Como, la diminuzione dei massimi annuali delle portate giornaliere affluenti al lago e la sostanziale stazionarietà di quelle defluenti da Lecco. La regolazione operata dai serbatoi nel bacino dell'Adda prelacuale ha modificato il regime degli afflussi, mentre quella operata dalla traversa di Olginate ha permesso di modulare meglio i deflussi di magra. Si mette in evidenza l'importanza della raccolta, verifica e pubblicazione dei dati idrometrici, tema caro al Prof. Baldassare Bacchi che si vuole anche in questo modo ricordare.

**Parole chiave:** Idrometria, Fiume Adda, Lago di Como, Variazioni climatiche.

The paper summarizes the outcomes of a multi-year research activity aimed at the reconstruction of inflow and outflow daily time series for the Lake Como over the period 1845-2016 and presented in extended form in the publication n. 14 of the Adda River Authority and in two recent papers. The analysis of the above time series, which is the longest available for the Italian Alps, allowed to point out the decrease of the intensity of the floods on the lake's shores, with a decrease of the maximum daily inflows and a substantial stationarity of the maximum daily outflows from the lake. Moreover, it turns out that the regulation operated by the reservoirs upstream of the lake induced a modification of inflow regime, while the regulation operated by the Olginate barrage allowed a more favourable modulation of the low-flow discharges from the lake. The analysis presented in the paper points out the importance of collection, verification and publication of the hydrometric data, an issue which was particularly dear to Prof. Baldassare Bacchi, to whose memory this paper is dedicated.

**Keywords:** Hydrometry, Adda River, Lake Como, Climate Variability.

### 1. INTRODUZIONE

In questa memoria si rende conto in sintesi di una ricerca, anticipata in via preliminare su questa rivista (Ranzi *et al.*, 2018a), che ha permesso di ricostruire la serie dei livelli giornalieri del lago di Como registrati al limnometro della Malpensata, poi sostituito da quello di Malgrate, e dell'idrometro del Fortilizio di Lecco. Dalle misure di portata a Lavello e dalle scale di deflusso al Fortilizio di Lecco, grazie all'equazione di continuità del lago sono stati ricostruiti anche gli afflussi e i deflussi giornalieri del lago di Como dal primo gennaio del 1845 al 31 dicembre del 2016. I risultati sono esposti per esteso nel numero 14 della serie delle Pubblicazioni del Consorzio dell'Adda (Ranzi *et al.*, 2018b), memoria alla quale si rimanda per ulteriori dettagli e approfondimenti.

Nel seguito vengono illustrati prima i criteri di elaborazione dei dati relativi ai livelli idrometrici del lago, poi quelli di deflusso dall'incile del Fortilizio di Lecco e quindi i metodi di calcolo degli afflussi giornalieri che risalgono, in sostanza, al cosiddetto 'modulo Lombardini', formulato dall'insigne rappresentante della scuola idraulica lombarda che nel XIX secolo iniziò a porsi il problema della gestione delle acque dei laghi lombardi. Le indagini statistiche riprendono, estendendone il periodo di analisi, il pregevole studio di Malusardi e Moisello (2003) sugli effetti della regolazione sulle piene e le magre del lago dal 1959 al 2000 e quelli di Moisello e Vullo (2009, 2010) sulle piene massime annuali a Lecco dal 1845 al 2007. Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi

<sup>(a)</sup>DICATAM, Università degli Studi di Brescia, - email: roberto.ranzi@unibs.it; <sup>(b)</sup>Consorzio dell'Adda, Milano.

delle tendenze di lungo periodo, applicando diversi test statistici e suddividendo il periodo di analisi in quello antecedente e successivo alla regolazione, iniziata ufficialmente il primo gennaio del 1946, dopo che i lavori per il completamento della diga di Olginate si erano conclusi il 17 settembre 1944 (Nonnis, 1959). I risultati dello studio hanno prodotto una serie di livelli idrometrici, afflussi e deflussi medi giornalieri del Lago di Como chiuso all'incile di Lecco che sono stati resi di pubblico dominio nel 'repository' di dati scientifici PANGAEA (Ranzi *et al.*, 2020) per agevolare le ricerche sugli effetti della variabilità climatica sui regimi idrometrici successivamente alla fine della Piccola Era Glaciale. Tale linea di ricerca è, infatti, ancora povera di contributi, almeno in Italia, con qualche eccezione (Zanchettin *et al.*, 2008) ed è prevalentemente concentrata sul periodo successivo alla pubblicazione degli Annali idrologici (Zolezzi *et al.*, 2009; Montanari, 2012). Il tema della raccolta e pubblicazione dei dati idrologici era particolarmente caro a Baldassare Bacchi il quale, formato in questo da Ugo Majone, diffidava degli studi modellistici o statistici non supportati da solide basi osservative ed il cui grande cruccio è rimasto, dall'inizio della riorganizzazione dell'ex Servizio Idrografico, l'interruzione della pubblicazione sistematica, sul territorio nazionale, delle osservazioni idrometriche e delle loro statistiche essenziali. La memoria intende porre questa questione, non ancora risolta, all'attenzione dei servizi competenti, organizzati oggi in modo decentrato con il coordinamento centrale dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale.

## 2. LA RICOSTRUZIONE DELLE SERIE IDROMETRICHE

Le altezze giornaliere meridiane del Lago di Como sono rilevate all'idrometro del Fortilizio di Lecco (Figura 1), il cui zero idrometrico è stato rilevato alla quota di 197,395 m s.l.m. in una livellazione effettuata dall'Edison nel 1918 (Fantoli, 1921) ed è ufficialmente fissato a 197,39 m s.l.m. I dati sono disponibili nel periodo 1845 - 2016 e per il periodo 1847 - 1907 sono stati trascritti da un annuario reperito in un archivio dell'ENEL in dismissione e donato al primo autore di questa memoria. Per gli anni 1908 - 1911 i livelli al Fortilizio sono stati ricostruiti da quelli disponibili negli archivi del Consorzio relativamente al limnometro della Malpensata. Per il periodo 1912 -



Figura 1 - Mappa delle stazioni idrometriche tra l'incile del Lago di Como e la stazione di Lavello (Fonte: Google Earth. DigitalGlobe 2018, 24 luglio, 2018).

1945 i dati, raccolti dal Servizio Idrografico, erano disponibili presso l'ARPA Lombardia o pubblicati sugli Annali Idrologici. Dal 1946 sono rilevati e archiviati dal Consorzio dell'Adda. Nei periodi 1/5/1904 - 31/12/1904, 1908 - 1910, 1/1/1911 - 30/6/1911 e 1/7/1925 - 31/7/1925 i dati sono mancanti, ma sono stati ricostruiti in virtù della elevata correlazione esistente con i livelli misurati al limnometro della Malpensata, resi disponibili dal Consorzio dell'Adda. Fino all'inizio della regolazione le letture erano meridiane. Dal 1946 sono effettuate, di norma, alle ore 8. Una recente collimazione effettuata dall'Università di Brescia su incarico di ARPA Lombardia colloca la quota dello zero idrometrico della stazione del Fortilizio a 197,376 m s.l.m. Il bacino di dominio è di

4508 km<sup>2</sup> e la superficie del lago di Como in corrispondenza della quota di 199 m s.l.m. è di 145,033 km<sup>2</sup>. La quota del limite dell'area demaniale dei laghi di Como e di Mezzola, cioè quella che non viene superata dal 75% delle misure dei livelli massimi annuali in un lungo periodo di osservazione, fu fissata a 199,19 m s.l.m. dal Decreto del Min. LL.PP. n. 1377 del 17.9.1959 pubblicato sulla G.U. n° 258 del 26.10.1959. La stazione del Fortilizio è quella di riferimento della concessione per la regolazione del lago di Como. Le altezze giornaliere meridiane osservate al limnometro della Malpensata, a gradini di 10 in 10 cm, sono disponibili nel periodo 1845 - 1939; per la precisione, dal 1836 al 1879 l'idrometro era disposto sulla vicina riva della Maddalena, ma dal 1879 fu il limnometro della Malpensata, con zero idrometrico posto a 197,366 m s.l.m. in un rilievo coerente con quello dell'Edison, l'idrometro di riferimento per il lago di Como a monte di Lecco. La quota ufficiale dello zero idrometrico è fissata a 197,37 m s.l.m. Verso il 1870 vi fu un cedimento di 4 cm dell'idrometro della Maddalena (Moisello e Vullo, 2010) del quale si è tenuto conto aumentando di 4 cm i livelli misurati fino al 1869. Nei periodi 31/1/1874 - 19/2/1874, 1/3/1874 - 31/3/1874 e 1/3/1939 - 30/6/1939 i dati sono mancanti e sono stati quindi ricostruiti in base alle osservazioni al Fortilizio di Lecco. I dati delle altezze giornaliere per il limnometro di Malgrate, con zero idrometrico che fu rilevato alla quota di 197,369 m s.l.m., e ufficialmente fissato a 197,37 m s.l.m., pari a quello dell'idrometro della Malpensata, sono disponibili nel periodo 1/1/1941 - 31/12/2016; negli anni 1942 e 1945 i dati sono mancanti. Fino all'inizio della regolazione le letture erano meridiane. Dal 1946 sono effettuate, di norma, alle ore 8. Una recente collimazione effettuata dall'Università di Brescia su incarico di ARPA Lombardia colloca la quota dello zero idrometrico a 197,357 m s.l.m. I dati del limnometro di Garlate (riferimento per il lago omonimo) il cui zero idrometrico è a quota 197,24 m s.l.m. sono disponibili per il periodo 1/1/1946 - 31/12/2016, con alcune lacune i cui valori sono stati ricostruiti per interpolazione. La superficie del lago di Garlate è di 4,605 km<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda la serie delle portate di deflusso medio giornaliero al Fortilizio, i dati ufficiali disponibili coprono il periodo che va dal 1935 al 1943 e sono pubblicati sugli annali idrologici. Negli altri anni la serie dei deflussi al Fortilizio è stata ricostruita sfruttando le correlazioni esistenti con le scale di deflusso a Lecco aventi come riferimento altri idrometri che monitorano il lago. In particolare per il periodo 1845-1945 la portata al Fortilizio è stata ricostruita partendo da quella calcolata con riferimento al limnometro della Malpensata secondo la relazione (Ranzi et al., 2018a)  $Q_{\text{Fortilizio}} = 1.0025 Q_{\text{Malpensata}}$  che ha un mero significato statistico viste le diverse scale di deflusso calcolate con i livelli idrometrici del Fortilizio e di Malgrate/Malpensata. La portata  $Q_{\text{Malpensata}}$  è stata calcolata utilizzando due diverse scale di deflusso, rappresentate nella Figura 2, definite da Fantoli (1921) e valida per il periodo che va dal 1845 al 1922 e quella stabilita dall'Ufficio idrografico del Po, confermata da Citrini (1977), valida successivamente fino al 1945. I deflussi calcolati come sopra indicato sono risultati sostanzialmente identici a quelli pubblicati negli Annali Idrologici che riportavano una scala delle portate molto simile a quelle proposte da Fantoli e da Citrini. La Figura 2 è molto importante in quanto mostra che la scala di deflusso calcolata da Fantoli nel 1921 in base alle sole equazioni dinamiche delle correnti a pelo libero risulta perfettamente confermata dalle successive misure condotte dall'Ufficio Idrografico del Po dal 1923 al 1943. La scala di deflusso è in ottimo accordo, almeno fino al livello idrometrico di 2.50 m, anche con quella proposta da Lombardini (1866), a dimostrare come l'alveo dell'Adda a monte delle rapide di Lecco sia rimasto stabile almeno per ventun anni e fornendo solidi elementi a sostegno dell'ipotesi di lavoro che la sezione e la scala di deflusso siano rimaste stabili anche dal 1845 al 1923, periodo nel quale non si ha notizia che siano stati effettuati lavori di sistemazione, successivi a quelli completati nel 1844. In concomitanza con la costruzione della traversa di Olginate, dalle indagini geotecniche ef-

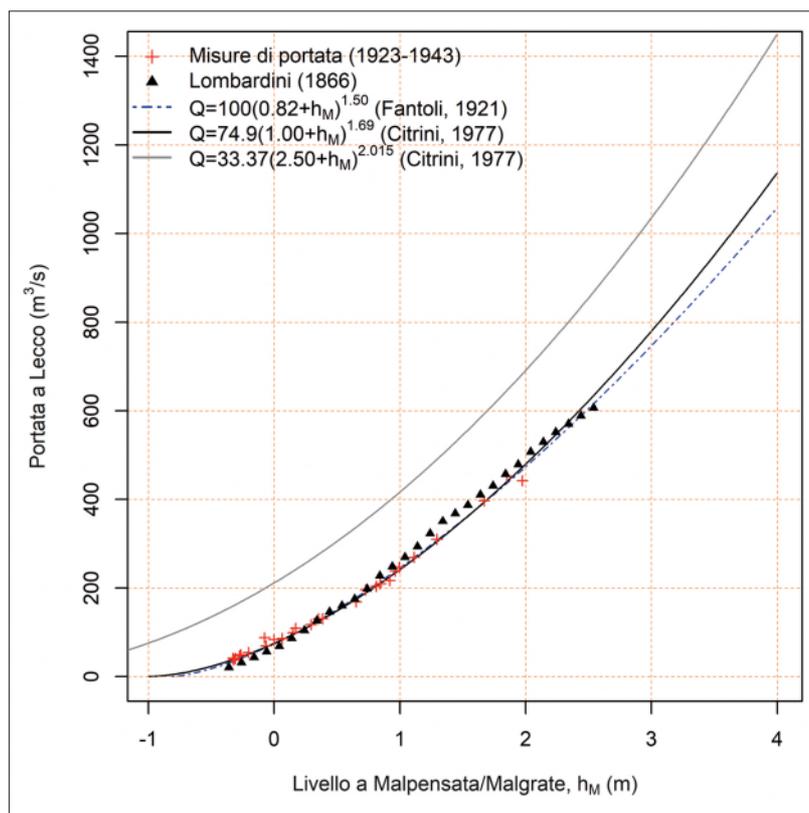


Figura 2 - Confronto fra le scale delle portate considerate nello studio e le misure di portata pubblicate negli Annali Idrologici.

fettuate in occasione delle sottofondazioni del Ponte Visconteo a Lecco, che si è dimostrato stabile dalla sua realizzazione nel 1336, si citano difficoltà ad avanzare nelle perforazioni, risultando il terreno composto da ghiaia, sabbia, ciottoli, trovanti (Bertoli, comunicazione personale). D'altronde anche *Moisello e Vullo* (2009, 2010) nella loro pregevole analisi dei massimi di portata dell'Adda a Lecco hanno assunto come valida la scala di deflusso definita da Fantoli fino al 1922 e quella stabilita dall'Ufficio Idrografico dal 1923 al 1945.

A partire dal 1946, con l'inizio della regolazione del lago per mezzo della diga di Olginate, le portate al Fortilizio sono state ottenute dalla serie delle portate medie giornaliere relative alla stazione di S. Maria di Lavello, situata a valle della diga e con bacino di dominio di 4572 km<sup>2</sup>. A tal fine si è fatto uso dell'equazione di continuità applicata al volume di controllo costituito dal bacino compreso tra il Fortilizio e Lavello comprendente il lago di Garlate, essendo nota la portata misurata a Lavello, secondo quanto spiegato in Ranzi et al. (2018a, 2018b). Nella *Figura 2* è rappresentata anche la scala di deflusso  $Q_{\text{Fortilizio}} = 33.37 (2.50 + h_M)^{2.015}$ , riportata da *Citrini* (1977) per la sezione di Lecco e calcolata in base ai livelli di Malgrate, in condizioni di 'regime attuale', cioè con paratoie della traversa di Olginate aperte e dopo i lavori di sistemazione dell'incile degli anni '40. Questa scala di deflusso mostra il significativo aumento della capacità di smaltimento delle portate dalla sezione dell'incile di Lecco, dopo la sua ricalibrazione.

Il periodo compreso tra l'1/1/1845, data di inizio del monitoraggio sistematico delle altezze idrometriche del lago, e il 31/12/1945 è definito "periodo pre-regolazione" ed è caratterizzato da un regime 'naturale', o più precisamente poco influenzato dagli invasi artificiali di monte, la cui capacità di invaso era ancora ridotta (*De Marchi*, 1970; *Malusardi e Moisello*, 2003) rispetto all'assetto attuale del bacino dell'Adda prelacuale. In tali condizioni, per il calcolo degli afflussi medi giornalieri al lago di Como nel giorno *i*-esimo, è stato applicato un metodo analitico di soluzione dell'equazione dell'invaso, supposto cilindrico, utilizzando una scala di deflusso linearizzata tra i livelli di due giorni successivi (*Ranzi et al.*, 2018b). A titolo di confronto è stato applicato anche il metodo di calcolo degli afflussi medi giornalieri, denominato anche 'modulo Lombardini' (*Lombardini*, 1866), basato sulla risoluzione alle differenze finite dell'equazione di continuità e normalmente adottato dal Consorzio per il periodo successivo al 1946. I due metodi di calcolo sono risultati in ottimo accordo.

Le portate di deflusso calcolate in questo modo sono state assunte come valore dei deflussi medi giornalieri fino al 22 ottobre 1944, quando iniziarono le prime prove della regolazione del lago; queste circostanze hanno portato a una divergenza significativa tra gli afflussi calcolati e quelli riportati nella seconda pubblicazione del Consorzio dell'Adda (pubblicazione n. 2). Inoltre si è riscontrata una forte discontinuità tra i deflussi di fine dicembre 1945 e quelli, ufficiali, di inizio 1946. Alla luce di queste considerazioni è stata considerata inaffidabile la scala di deflusso in condizioni naturali dall'autunno del 1944 e, in alternativa, si è ritenuto opportuno trovare una correlazione che legasse le portate giornaliere misurate a Fuentes con gli afflussi al lago calcolati dall'equazione di continuità per il periodo 1935-1942. In seguito sono stati calcolati, per il periodo 1943-1945, gli afflussi al lago utilizzando le portate di Fuentes e la relazione di regressione appena richiamata. Con gli afflussi giornalieri così stimati si è proceduto a stimare i deflussi al Fortilizio, utilizzando l'equazione di continuità nella quale l'incognita, in questo caso, era la portata giornaliera erogata, rinunciando, così, alla scala di deflusso del Fortilizio di Lecco. In *Ranzi et al.* (2018b) sono illustrate le incertezze di questo criterio di ricostruzione delle portate e in ogni caso, vista l'incertezza generale sul regime idraulico in questo periodo, i valori calcolati nel periodo compreso tra il 23 ottobre 1944 e il 31 dicembre 1945 vanno considerati con cautela.

Nel periodo successivo al primo gennaio 1946 è stata utilizzata l'equazione di continuità risolta con il metodo delle differenze finite considerando le altezze idrometriche a Malgrate e i deflussi medi giornalieri calcolati alla sezione del Fortilizio di Lecco. Questi ultimi sono stati ottenuti a partire dai deflussi medi giornalieri relativi alla stazione idrometrografica di Lavello e tenendo presente l'effetto di laminazione del lago di Garlate. Il Consorzio dell'Adda in maniera speditiva non considera la superficie del lago di Garlate ma come evidenziato da *Malusardi e Moisello* (2003) le differenze tra i due metodi di calcolo di afflusso sono modeste.

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

La ricostruzione della serie dei livelli idrometrici, degli afflussi e deflussi giornalieri del lago di Como in un periodo di 172 anni, permette di completare il quadro dell'idrometria del lago di Como e del regime idrologico del bacino dell'Adda prelacuale delineato da precedenti studi, anche promossi dal Consorzio dell'Adda.

Le tendenze di lungo periodo degli afflussi e dei deflussi annuali del lago mostrano una diminuzione dell'8% dei volumi tra il periodo pre-regolazione (1845-1945) e quello successivo al 1° gennaio 1946, inizio ufficiale della regolazione grazie alla traversa di Olginate, fino al 2016. La diminuzione, quantificabile in 94 millimetri rispetto alla media di 1196 mm degli afflussi al lago nel periodo antecedente la regolazione, è statisticamente significativa con livello di significatività del 5% essendo la variabile *Z* di Mann-Kendall risultata pari a -3.61 e con una pendenza stimata con lo stimatore di Theil-Sen di 129 millimetri al secolo. Questa diminuzione, che sarebbe stata addirittura del 9% in assenza del volume di 90 milioni di metri cubi derivati annualmente dal bacino dello Spòl

a partire dal 1962, visto il calo meno significativo degli afflussi meteorici nel bacino dell'Adda prelacuale (Crespi et al., 2021), si può spiegare come un effetto delle maggiori perdite per evapotraspirazione dovute all'aumento delle temperature ed all'espansione delle aree forestate. Altre possibili ragioni sono i prelievi a scopo irriguo e antibrina nei circa 2200 ettari coltivati prevalentemente a frutteto, vigneto e mais a monte del lago, e gli emungimenti dal lago per l'acquedotto brianteo e per l'acquedotto industriale di Como.

Non si notano variazioni significative nella distribuzione, nell'arco dell'anno, delle precipitazioni mensili ragguagliate sul bacino dell'Adda, con l'eccezione di una diminuzione delle precipitazioni in ottobre ed un aumento in novembre, gennaio e febbraio. La regolazione degli invasi nel bacino prelacuale e, probabilmente, il riscaldamento delle temperature dell'aria hanno, invece, comportato una regolarizzazione degli afflussi e deflussi del lago nel corso dell'anno, con un anticipo della stagione di fusione ed una restituzione dei volumi di invaso estivo e autunnale a favore di maggiori rilasci invernali, come illustrato nella Figura 3. Pur in uno scenario di ridotta disponibilità della risorsa idrica, la regolazione del lago ha permesso di compensare, in parte, l'invaso estivo nei serbatoi di monte, restituendo una parte delle 'acque nuove' alle utenze irrigue di valle, soprattutto nel mese di luglio e agosto nei quali si concentrano oggi percentuali maggiori, rispetto agli afflussi, dei deflussi annuali, risorsa pur diminuita complessivamente (Figura 4).

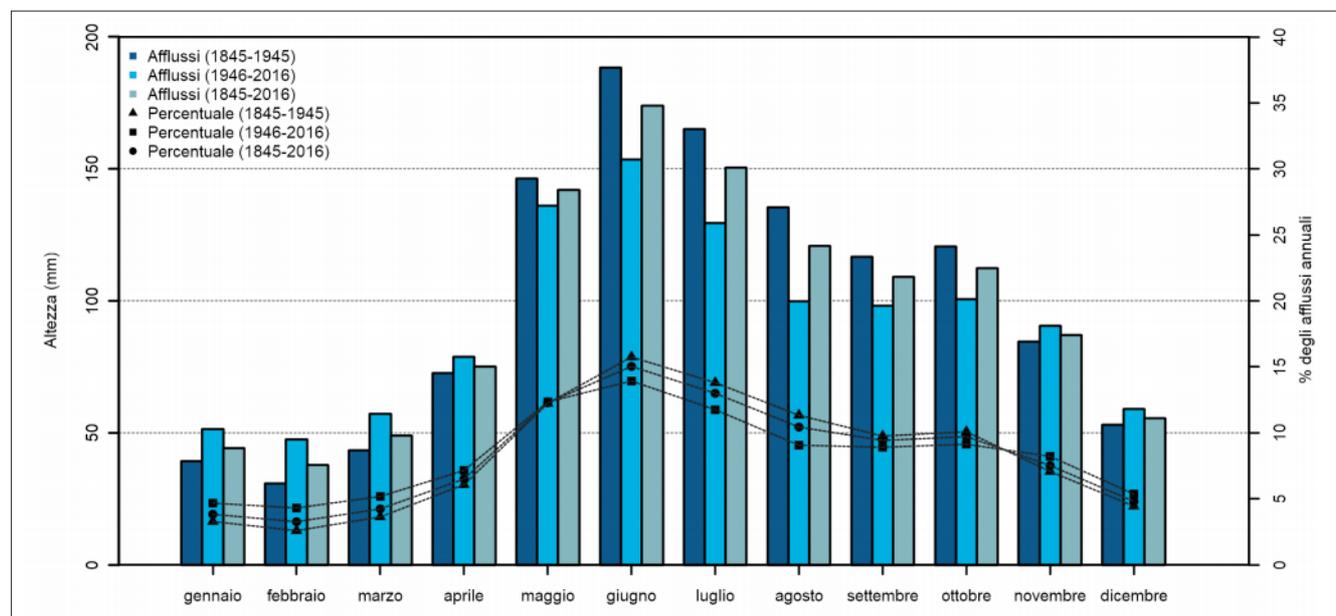


Figura 3 - Statistiche degli afflussi al lago per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

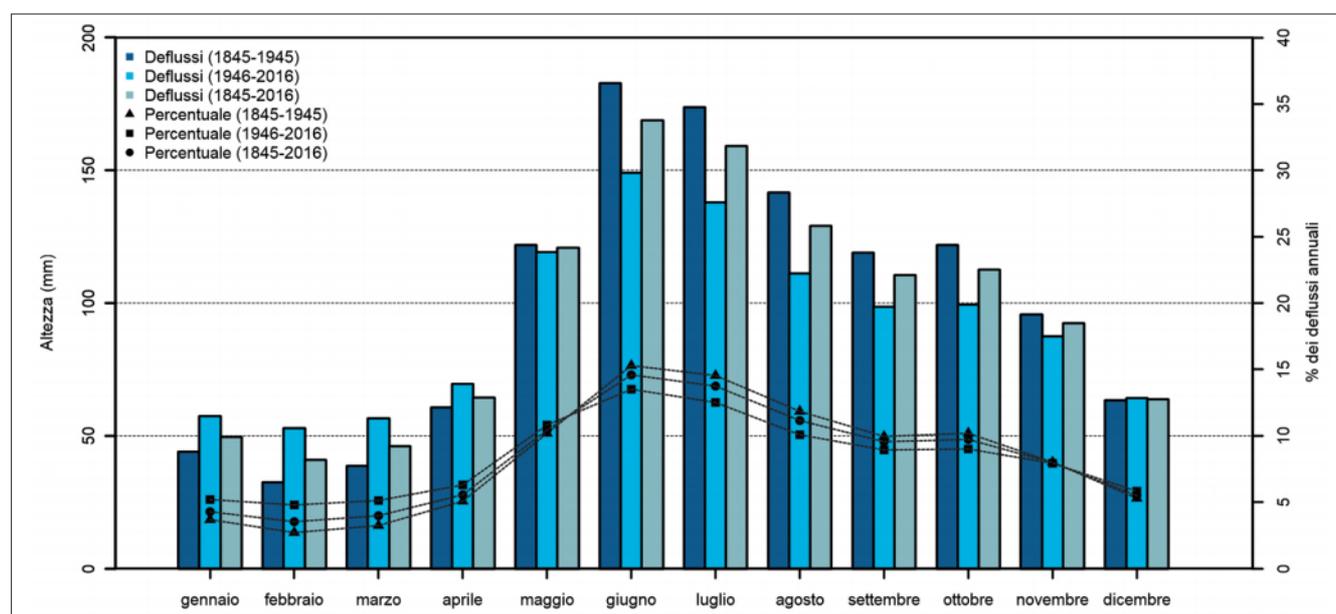


Figura 4 - Statistiche dei deflussi dal Lago di Como per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

**TABELLA I - Massimi annuali degli afflussi medi giornalieri al lago di Como**

Anno	Q (m <sup>3</sup> /s)	Data									
1845	874.2	13 nov	1891	1445.2	21 ott	1937	1130.9	17 set	1983	1351.9	22 mag
1846	1481.2	17 mag	1892	1184.1	14 ott	1938	807.8	13 giu	1984	657.5	05 set
1847	841.1	26 lug	1893	840.2	01 ott	1939	1332.7	05 ago	1985	803.3	06 ago
1848	1295.6	05 giu	1894	572.4	11 lug	1940	845.9	07 lug	1986	833.0	24 apr
1849	691.7	14 giu	1895	565.8	09 ott	1941	783.0	28 mag	1987	1868.9	18 lug
1850	926.9	15 ago	1896	1201.7	23 ott	1942	1144.5	27 set	1988	1498.8	12 ott
1851	1557.9	02 ott	1897	1200.8	19 set	1943	651.7	26 set	1989	575.9	04 apr
1852	834.1	06 ago	1898	1114.2	26 giu	1944	877.7	22 lug	1990	547.8	05 giu
1853	1111.4	15 lug	1899	644.0	16 mag	1945	800.4	09 ago	1991	1482.8	30 set
1854	796.2	08 lug	1900	1472.9	24 ago	1946	1134.5	22 giu	1992	766.0	10 set
1855	1900.1	16 giu	1901	2108.9	15 giu	1947	703.8	26 set	1993	1657.4	02 ott
1856	1156.4	31 mag	1902	656.9	13 giu	1948	977.3	19 giu	1994	996.6	14 set
1857	784.5	21 ott	1903	1229.6	29 ott	1949	445.6	05 mag	1995	489.3	13 set
1858	810.9	12 ott	1904	881.9	14 set	1950	678.8	18 mag	1996	1159.4	13 nov
1859	546.8	08 giu	1905	1060.2	26 ago	1951	1380.7	08 nov	1997	1551.7	27 giu
1860	1243.2	19 set	1906	1754.0	07 nov	1952	815.4	24 apr	1998	707.5	07 giu
1861	1641.1	26 set	1907	930.4	17 ott	1953	847.7	26 ott	1999	1270.4	20 set
1862	1915.1	05 set	1908	850.5	23 mag	1954	995.1	22 ago	2000	1425.0	14 nov
1863	1700.3	16 ott	1909	664.1	06 ott	1955	775.4	21 ott	2001	1298.1	10 giu
1864	1218.6	18 set	1910	832.5	26 giu	1956	1023.7	03 set	2002	1882.3	26 nov
1865	1126.3	30 giu	1911	1478.2	06 ott	1957	1134.8	24 giu	2003	438.6	01 nov
1866	717.2	29 ago	1912	1378.2	07 ago	1958	1019.9	01 ott	2004	741.6	01 nov
1867	729.3	29 apr	1913	817.7	09 ott	1959	872.2	28 ott	2005	246.6	09 set
1868	2535.1	03 ott	1914	1232.0	31 ott	1960	1205.8	17 set	2006	480.3	08 dic
1869	858.8	08 mag	1915	780.6	18 mag	1961	736.3	27 giu	2007	516.9	15 giu
1870	686.9	21 nov	1916	911.7	05 nov	1962	583.0	18 apr	2008	1222.0	13 lug
1871	1135.3	19 giu	1917	1335.9	30 mag	1963	1318.9	04 nov	2009	707.4	17 lug
1872	1204.2	04 ott	1918	876.1	24 set	1964	653.4	02 giu	2010	840.9	05 mag
1873	763.2	12 lug	1919	550.5	28 set	1965	1247.9	02 set	2011	889.3	18 set
1874	680.0	28 giu	1920	1418.9	21 set	1966	895.6	04 nov	2012	592.7	11 nov
1875	1173.5	18 giu	1921	531.0	28 mag	1967	570.3	16 nov	2013	907.8	23 ott
1876	996.5	10 giu	1922	715.9	12 set	1968	962.6	16 set	2014	1321.8	05 nov
1877	1207.7	31 mag	1923	1102.0	24 ott	1969	837.8	24 giu	2015	634.8	20 mag
1878	1164.6	16 ago	1924	780.4	16 ago	1970	904.2	11 set	2016	912.7	16 giu
1879	1050.8	31 mag	1925	707.2	24 set	1971	537.8	24 giu			
1880	975.0	08 ott	1926	1420.0	15 mag	1972	713.2	12 giu			
1881	442.7	10 apr	1927	1465.1	25 set	1973	1103.8	15 lug			
1882	2229.1	15 set	1928	1554.9	27 ott	1974	432.6	29 giu			
1883	681.0	20 lug	1929	558.8	10 ago	1975	753.6	16 set			
1884	483.1	04 set	1930	715.6	25 lug	1976	1805.0	03 ott			
1885	1662.3	28 set	1931	793.4	25 ott	1977	1250.5	08 ott			
1886	885.8	21 ott	1932	1031.8	21 giu	1978	813.3	22 mag			
1887	854.0	09 set	1933	1050.3	22 giu	1979	1416.6	16 ott			
1888	2334.8	10 set	1934	685.5	22 apr	1980	1505.6	09 lug			
1889	1052.2	29 ott	1935	1586.8	04 ott	1981	1290.2	18 lug			
1890	1537.2	12 lug	1936	1022.5	11 lug	1982	931.2	07 set			

I livelli lacuali minimi sono aumentati leggermente nel tempo, mentre quelli medi e, soprattutto, quelli massimi del lago tendono a diminuire, sia per effetto dei minori afflussi di piena, sia per effetto della maggior capacità di scarico a Lecco. Ne consegue che il numero e la durata degli allagamenti di Piazza Cavour a Como sono andati a diminuire, e in modo particolarmente evidente nell'ultimo quarantennio. Questo beneficio per i rivieraschi è ancora più evidente se si ipotizzasse che in passato la quota della piazza fosse stata pari a quella attuale, al netto della subsidenza manifestatasi in modo eclatante tra la fine degli anni '50 e l'inizio degli anni '90. L'aumentata capacità di scarico dall'incile del lago a Lecco ha compensato la modulazione dei livelli di piena del lago mantenendo sostanzialmente costante la tendenza media dei deflussi giornalieri massimi annuali a fronte di una diminuzione abbastanza significativa (con valore della variabile Z di Mann-Kendall pari a -1.86) degli afflussi giornalieri massimi annuali (Tab. I e Fig. 5). La gestione multi-obiettivi della diga di Olginate (Guariso et al., 1981; Tordini, 1999) si è andata perfezionando nel tempo, permettendo di rispettare con sempre maggior scrupolo i limiti della fascia di regolazione. Prendendo gli ultimi cent'anni si ha che dal 1920 al 1943 il livello di +1,20 m rispetto allo zero dell'idrometro del Fortilizio è stato superato per ben 642 giorni, cioè 26,8 volte all'anno, mentre dal 1993 al 2004 ci sono stati solo 73 giorni di superamento, cioè 6,1 all'anno e dal 2005 al 2016 0,5 giorni all'anno. Livelli inferiori a -0,50 m rispetto allo zero idrometrico del Fortilizio, mentre accaddero per 81 giorni, cioè 3,4 volte all'anno, dal 1920 al 1943, non si sono più presentati nei 24 anni compresi tra il 1993 e il 2016. Come estrema sintesi delle osservazioni idrometriche dal 1845 al 2016 la Tabella II, predisposta seguendo gli standard degli Annali Idrologici, raccoglie le informazioni essenziali sui deflussi minimi, massimi e medi giorno-

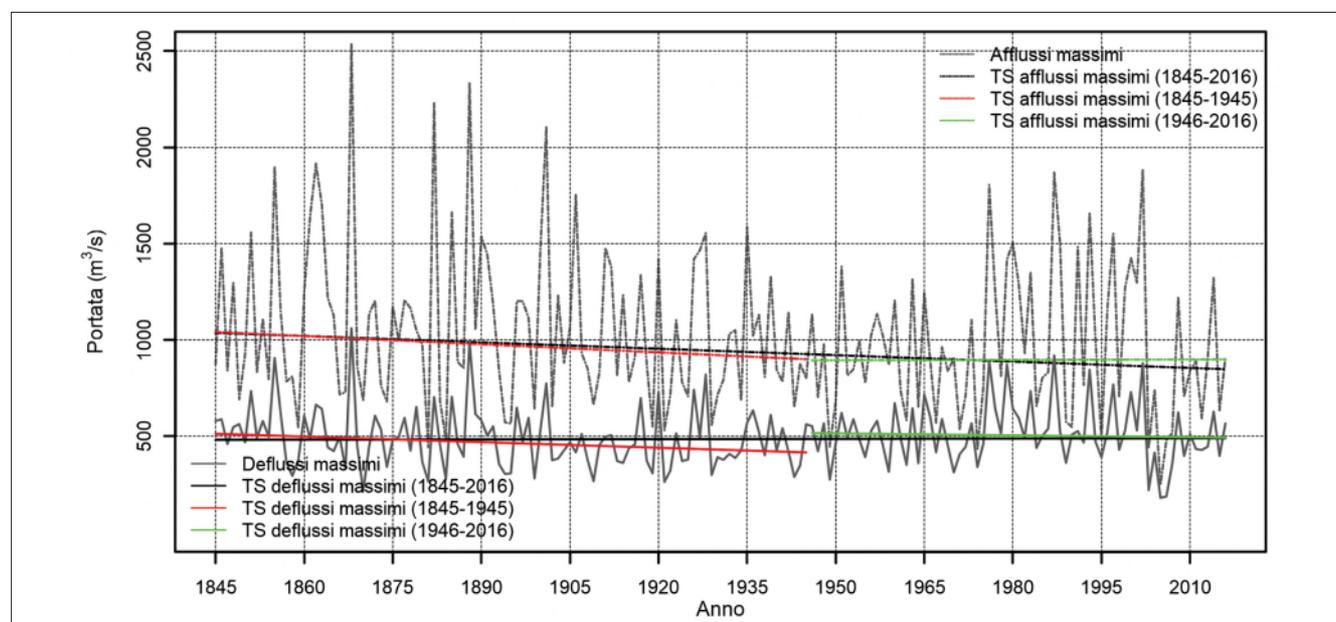


Figura 5 - Analisi dei trend, secondo lo stimatore di Theil-Sen, per i massimi annuali degli afflussi e deflussi giornalieri.

TABELLA II - Elementi caratteristici delle portate giornaliere in ingresso al lago di Como nel periodo antecedente e successivo all'inizio della regolazione alla traversa di Olginate

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1845-1945													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q massima (m³/s) . . . .	2535.1	586.6	664.8	1062.6	1086.0	1481.2	2108.9	1537.2	1472.9	2334.8	2535.1	1754.0	933.2
Q media (m³/s) . . . . .	170.8	65.9	57.1	73.0	126.1	246.2	327.5	277.7	228.0	202.8	202.8	147.0	89.4
Q minima (m³/s) . . . . .	0.4	1.9	0.4	0.4	1.6	10.1	13.1	2.4	27.4	3.5	6.9	3.8	2.9
Deflusso (mm) . . . . .	1195.6	44.0	32.4	38.7	60.7	121.8	182.8	173.8	141.6	119.0	121.9	95.7	63.3
Afflusso al Lago (mm).	1195.7	39.2	30.9	43.3	72.5	146.3	188.3	165.0	135.5	116.6	120.5	84.5	53.1
Afflusso meteor. (mm).	1339.6	47.4	45.0	80.1	115.8	150.3	135.2	139.0	138.6	147.7	163.5	113.6	63.2
Coeff. di deflusso . . .	0.89	0.83	0.69	0.54	0.63	0.97	1.39	1.19	0.98	0.79	0.74	0.74	0.84
ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1946-2016													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q massima (m³/s) . . . .	1882.3	576.0	473.4	557.9	866.4	1351.9	1551.7	1868.9	1231.3	1482.8	1805.0	1882.3	929.9
Q media (m³/s) . . . . .	157.5	86.7	87.6	96.1	137.1	229.0	267.0	218.0	168.1	170.7	169.4	157.5	99.5
Q minima (m³/s) . . . . .	1.3	5.6	8.1	1.3	19.3	31.5	45.7	30.0	22.9	3.0	8.4	1.8	3.2
Deflusso (mm) . . . . .	1102.7	57.3	52.8	56.5	69.4	119.2	148.9	138.0	111.1	98.5	99.3	87.4	64.2
Afflusso al Lago (mm).	1102.2	51.5	47.4	57.1	78.8	136.0	153.5	129.5	99.9	98.2	100.6	90.6	59.1
Afflusso meteor. (mm).	1312.7	57.4	51.6	68.9	109.6	144.7	143.9	135.1	141.6	134.0	136.0	127.5	62.3
Coeff. di deflusso . . .	0.84	0.90	0.92	0.83	0.72	0.94	1.07	0.96	0.71	0.73	0.74	0.71	0.95

lieri mensili, gli afflussi meteorici, gli afflussi e i deflussi medi mensili. La *Tabella III*, riporta i punti salienti della curva di durata delle portate. I deflussi di magra in ingresso al lago sono aumentati con l'entrata in funzione degli invasi ad uso idroelettrico nel bacino prelacuale in quanto i maggiori rilasci nel periodo invernale, quando l'energia idroelettrica è più remunerativa, vanno a sostenere le portate di magra in regime naturale che si concentrano, appunto, in inverno. Altrettanto si osserva per i deflussi dal lago, più sostenuti d'inverno per venire incontro alle analoghe esigenze delle utenze idroelettriche di valle (Ranzi *et al.* 2018b). Nel complesso il regime dei deflussi dal lago nel corso dell'anno solare risulta molto più regolare e più contenuta l'ampiezza dell'intervallo di variabilità nei diversi giorni dell'anno (Fig. 6).

DURATA DELLE PORTATE		
Giorni	1845-1945	1946-2016
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
10	523.9	462.2
30	368.9	312.4
60	280.3	235.3
91	227.1	191.6
135	173.5	151.2
182	129.6	122.0
274	67.2	82.8
355	28.3	40.6

**TABELLA III - Portate di durata assegnata in ingresso al lago di Como nel periodo antecedente e successivo all'inizio della regolazione alla traversa di Olginate**

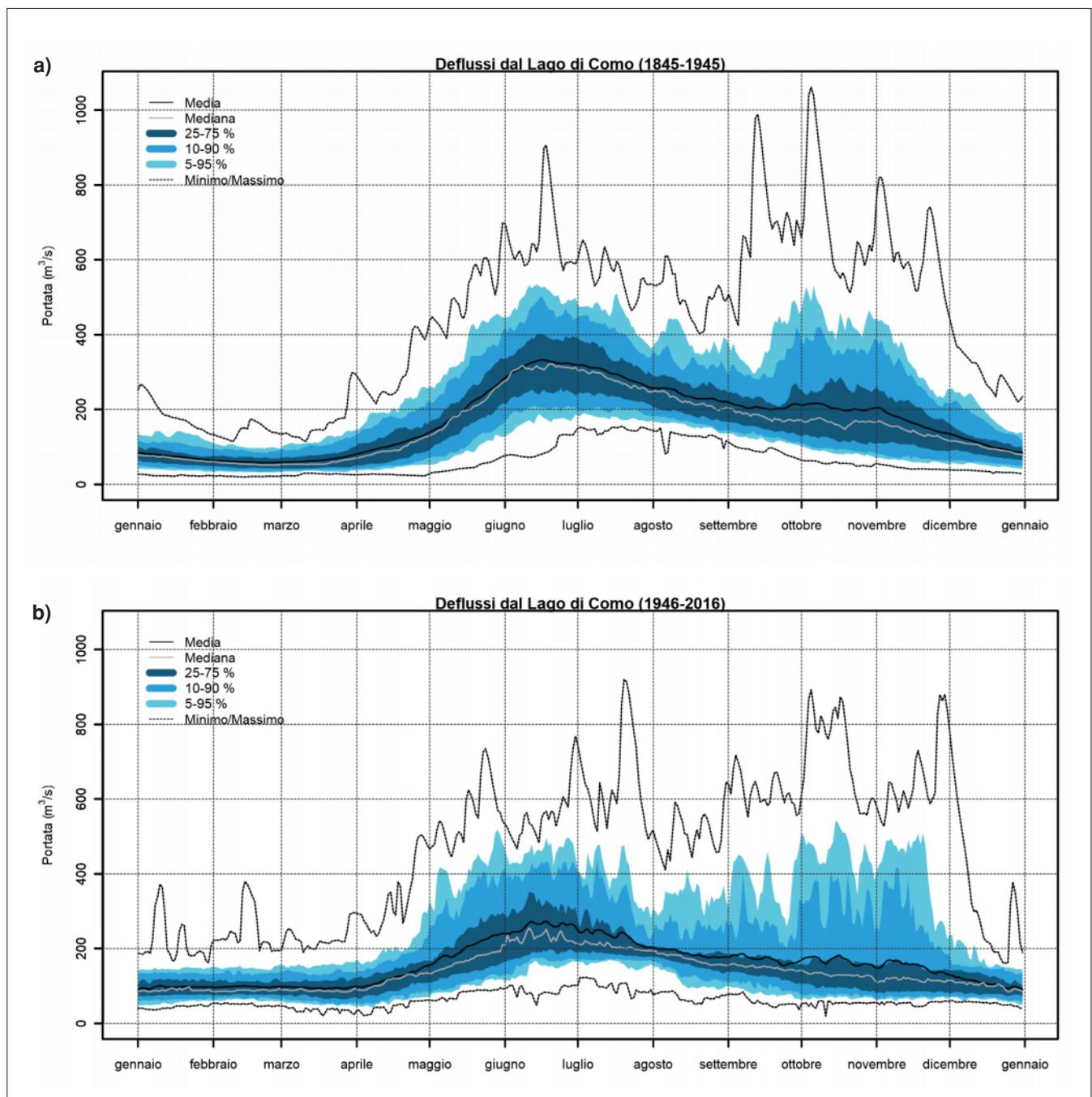


Figura 6 - Statistiche dei deflussi giornalieri dal Lago di Como, nel corso dell'anno solare, nel periodo a) antecedente e b) successivo all'inizio della regolazione operata alla traversa di Olginate.

#### 4. CONCLUSIONI

L'analisi degli afflussi e deflussi giornalieri dell'Adda al Fortilizio di Lecco e dei livelli del Lago di Como ha mostrato i benefici della regolazione grazie agli invasi prelacuali e alla gestione della diga di Olginate che si fanno risentire, rispettivamente, nella modulazione degli afflussi e dei livelli di piena del lago i cui valori massimi annuali mostrano una diminuzione nell'arco del periodo di osservazione. I deflussi giornalieri massimi annuali sono rimasti pressoché costanti dal 1845 al 2016 per effetto di una diminuzione dei livelli medi e massimi lacuali, compensata dalla maggiore capacità di scarico dell'incile ricalibrato durante i lavori degli anni '40.

L'opera di regolazione e la sua gestione hanno permesso di portare benefici sia alle utenze irrigue che a quelle idroelettriche a valle del lago che ai rivieraschi riducendo la variabilità interannuale dei deflussi e i valori delle portate di magra e di piena nel corso dell'anno. Tuttavia, la diminuzione dei volumi di afflusso al lago, causata probabilmente sia da fattori naturali che antropici, consiglia di mantenere sempre alta l'attenzione per una gestione attenta della risorsa idrica, anche grazie ai progressi scientifici e tecnologici che permettono una migliore conoscenza del bacino dell'Adda.

#### RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata effettuata nell'ambito di una convenzione con il Consorzio dell'Adda, che si ringrazia. Le analisi più recenti sono state completata anche nel quadro di un accordo di collaborazione con l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po per il progetto: "Caratterizzazione del regime di frequenza degli estremi idrologici nel distretto Po, anche considerando scenari di cambiamento climatico". Un ringraziamento postumo a Baldassare Bacchi che ha ispirato alcuni approfondimenti e suggerito alcune rianalisi dei dati idrometrici in questo studio che è stato l'ultimo al quale si è dedicato.

#### RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Citrini D.**, 1977. *Le piene del Lario e dell'Adda nel regime regolato*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 10, Milano.
- Crespi A., Brunetti M., Ranzi R., Tomirotti M., Maugeri M.**, 2021. *A multi-century meteo-hydrological analysis for the Adda river basin (Central Alps). Part I: gridded monthly precipitation (1800-2016) records*, International Journal of Climatology, 41(1), 162-180.
- De Marchi G.**, 1970. *La regolazione del lago di Como nei sei anni dal 1963 al 1968*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 8, Milano.
- Fantoli G.**, 1921. *Il Lago di Como e l'Adda emissario nella condizione idraulica odierna e nella divisata regolazione del deflusso mediante opere mobili di trattenuta e di scarico*, Hoepli, Milano.
- Guariso G., Rinaldi S., Soncini Sessa R.**, 1981. *La regolazione ottimale del lago di Como. Analisi a molti obiettivi*, L'Energia Elettrica, 58(7), 281-286.
- Lombardini E.**, 1866. *Della natura dei laghi e delle opere intese a regolare l'efflusso*, Milano, Tipografia degli ingegneri.
- Malusardi G., Moisello U.**, 2003. *Gli effetti della regolazione sulle portate dell'Adda e sulle piene del Lago di Como*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 12, Milano.
- Moisello U., Vullo F.**, 2009. *I massimi di portata dell'Adda a Lecco*, L'Acqua, 6, 9-27.
- Moisello U., Vullo F.**, 2010. *I massimi annuali di portata dell'Adda a Lecco in diversi regimi di deflusso*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 13, Milano.
- Montanari A.**, 2012. *Hydrology of the Po River: looking for changing patterns in river discharge*, Hydrology and Earth System Sciences, 16(10), 3739-3747.
- Nonnis A.**, 1959. *La regolazione del lago di Como e il Consorzio dell'Adda*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 1, Milano.
- Ranzi R., Bacchi B., Tomirotti M., Castioni C., Brunetti M., Crespi A., Maugeri M.**, 2018a. *Analisi delle tendenze di lungo termine nel regime degli afflussi meteorici e dei deflussi dell'Adda a Lecco (1845-2014)*, L'Acqua, 2, 51-60.
- Ranzi R., Bacchi B., Castioni C., Michailidi E.M., Tomirotti M., Bertoli L.**, 2018b. *Livelli idrometrici, afflussi e deflussi giornalieri del Lago di Como nel periodo 1845-2016*, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 14, Milano.
- Ranzi R., Michailidi E. M., Tomirotti M., Crespi A., Brunetti M., Maugeri M.**, 2020. *Multi-century (1800-2016) meteo-hydrological series for the Adda river basin (Central Alps)*. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.919890>.
- Ranzi R., Michailidi E. M., Tomirotti M., Crespi A., Brunetti M., Maugeri M.**, 2021. *A multi-century meteo-hydrological analysis for the Adda river basin (Central Alps). Part II: Daily runoff (1845-2016) at different scales*, International Journal of Climatology, 41(1), 181-199.
- Todini E.**, 1999. *Using phase-space modelling for inferring forecasting uncertainty in non-linear stochastic decision schemes*, Journal of Hydroinformatics, 1(2), 75-82.
- Zanchettin D., Traverso P., Tomasino M.**, 2008. *Po River discharge: a preliminary analysis of a 200-year time series*, Climatic Change, 88(3), 411-433.
- Zolezzi G., Bellin A., Bruno M.C., Maiolini B., Siviglia A.**, 2009. *Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy*. Water Resources Research, 45(12), W12421-1-W12421-15.



Una visita tecnica degli allievi del corso di Costruzioni idrauliche dell'Università di Brescia alla traversa fluviale di Olginate (LC).



L'asta idrometrica dell'idrometro del Fortilizio a Lecco.



La conca di navigazione presso la traversa di Olginate, con le porte vinciane per favorire il trasporto fluviale sull'Adda.



**Direttore Responsabile**

*Armando Brath*

direttore@idrotecnicaitaliana.it

**Comitato Tecnico-Scientifico**

*Renata Archetti*

*Lorenzo Bardelli*

*Marcello Benedini*

*Giuseppe Bortone*

*Bruno Brunone*

*Paolo Carta*

*Rosella Caruana*

*Carlo Ciaponi*

*Pierluigi Claps*

*Maria Cristina Collivignarelli*

*Bernardo De Bernardinis*

*Paolo De Girolamo*

*Roberto Deidda*

*Vittorio Di Federico*

*Renato Drusiani*

*Giorgio Federici*

*Francesco Federico*

*Marco Franchini*

*Gabriele Freni*

*Maurizio Giugni*

*Andrea Goltara*

*Salvatore Grimaldi*

*Ruggiero Jappelli*

*Goffredo La Loggia*

*Stefano Lanzoni*

*Francesco Macchione*

*Beatrice Majone*

*Antonio Massarutto*

*Mario Rosario Mazzola*

*Giovanni Menduni*

*Alberto Montanari*

*Michele Mossa*

*Francesco Napolitano*

*Francesco Puma*

*Roberto Ranzi*

*Enrico Rolle*

*Giuseppe Rossi Paradiso*

*Paolo Salandin*

*Maria Giovanna Tanda*

*Attilio Toscano*

*Lucio Ubertini*

*Massimo Veltri*

*Pasquale Versace*

**Responsabile della Redazione**

*Olimpia Arcella*

328 1205467

arcella.acqua@idrotecnicaitaliana.it

**Segretaria di Redazione**

*Caterina Porfidia*

320 7872904

acqua@idrotecnicaitaliana.it

**Impaginazione e grafica**

*PixelStudio*

*di Michele Massara*

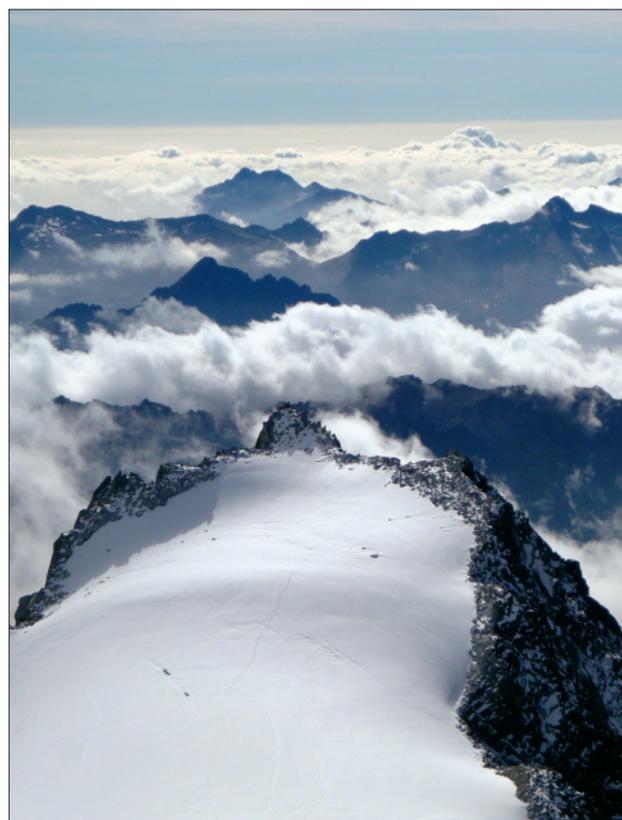
pixelstudio@fastwebnet.it

**Archivio fotografico**

*Giorgio Carlini*, ACQUE SpA, Pisa

*Mara De Donato*, GORI SpA,

Ercolano (NA)



**In copertina: Vista del Ghiacciaio dell'Adamello dalla cima del Monte Adamello. Foto di Roberto Ranzi.**

**Editore**

**Associazione Idrotecnica Italiana**

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 ROMA

www.idrotecnicaitaliana.it

e-mail: acqua@idrotecnicaitaliana.it

RIVISTA ASSOCIATA 

Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 15595 del 21 agosto 1974

Iscrizione al ROC n. 4201 del 29 agosto 2002

Spedizione in abbonamento postale 70% - ROMA

**Le opinioni e i contenuti espressi dagli Autori non impegnano la Direzione**

La riproduzione delle illustrazioni e degli articoli pubblicati dalla rivista è riservata e non può avvenire senza l'autorizzazione della Casa Editrice.

Finito di stampare nel mese di febbraio 2021 da Romana Editrice srl - Via dell'Enopolio, 37 - 00030 San Cesareo (RM)





**NOTIZIARIO A.I.I. ASSOCIAZIONE IDROTECNICA ITALIANA**

Via di Santa Teresa, 23 - 00198 Roma - Tel. 06.8845064 - E-mail: [segreteria@idrotecnicaitaliana.it](mailto:segreteria@idrotecnicaitaliana.it)

**Presidente**

Armando Brath

**Vice Presidenti**

Beatrice Majone

Andrea Mangano

**Segretario generale**

Roberto Zocchi

**Consiglieri**

Salvatore Alecci, Tonino Bernabè, Gennaro Bianco, Vincenzo Bixio, Francesco Bosco, Alberto Campisano, Angelica Catalano, Giancarlo Chiaia, Vincenzo Chieppa, Vito Antonio Copertino, Giovanni de Marinis, Renato Drusiani, Francesco Federico, Carlo Ferranti, Maurizio Ferla, Mario Fossati, Giuseppe Frega, Gabriele Freni, Massimo Gargano, Giuseppe Giordano, Maurizio Giugni, Mauro Grassi, Ruggiero Jappelli, Claudio Lopez, Giorgio Martino, Anna Maria Martuccelli, Mario Rosario Mazzola, Carlo Messina, Maria Gerarda Mocella, Nicola Montaldo, Michele Mossa, Francesco Napolitano, Matteo Nicolini, Patrizia Piro, Giovanni Ruggeri, Ornella Segnalini, Aurelia Sole, Anna Varriale, Marcello Zimbone.

**Soci sostenitori**

**PLATINUM**



**GOLD**



**SILVER**





