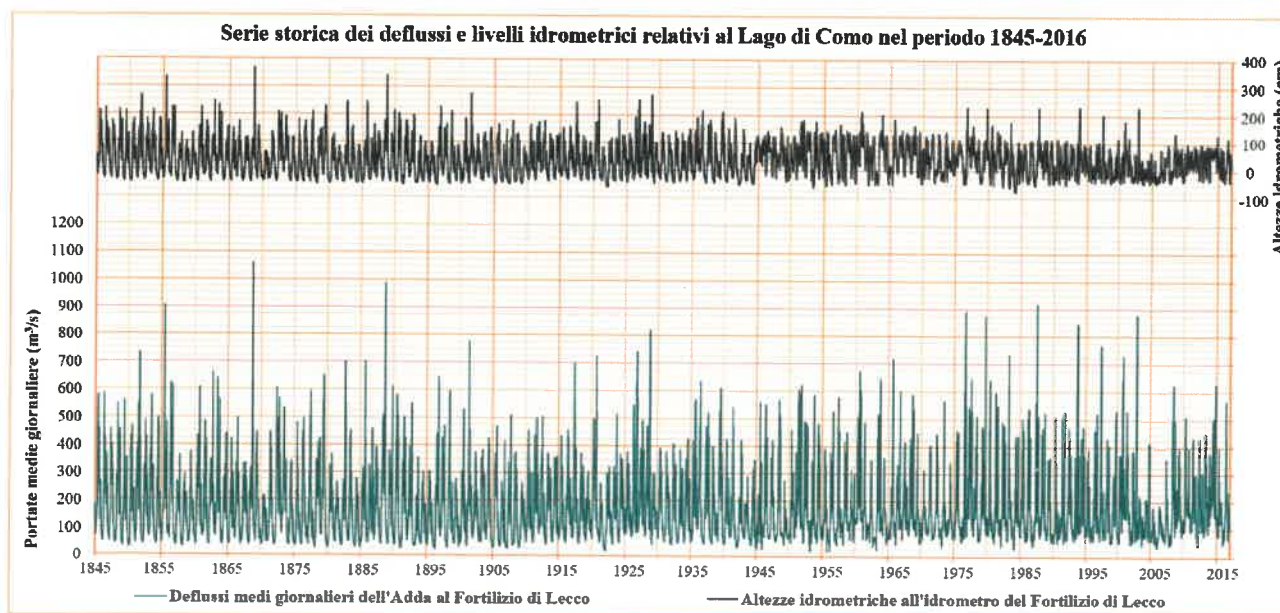


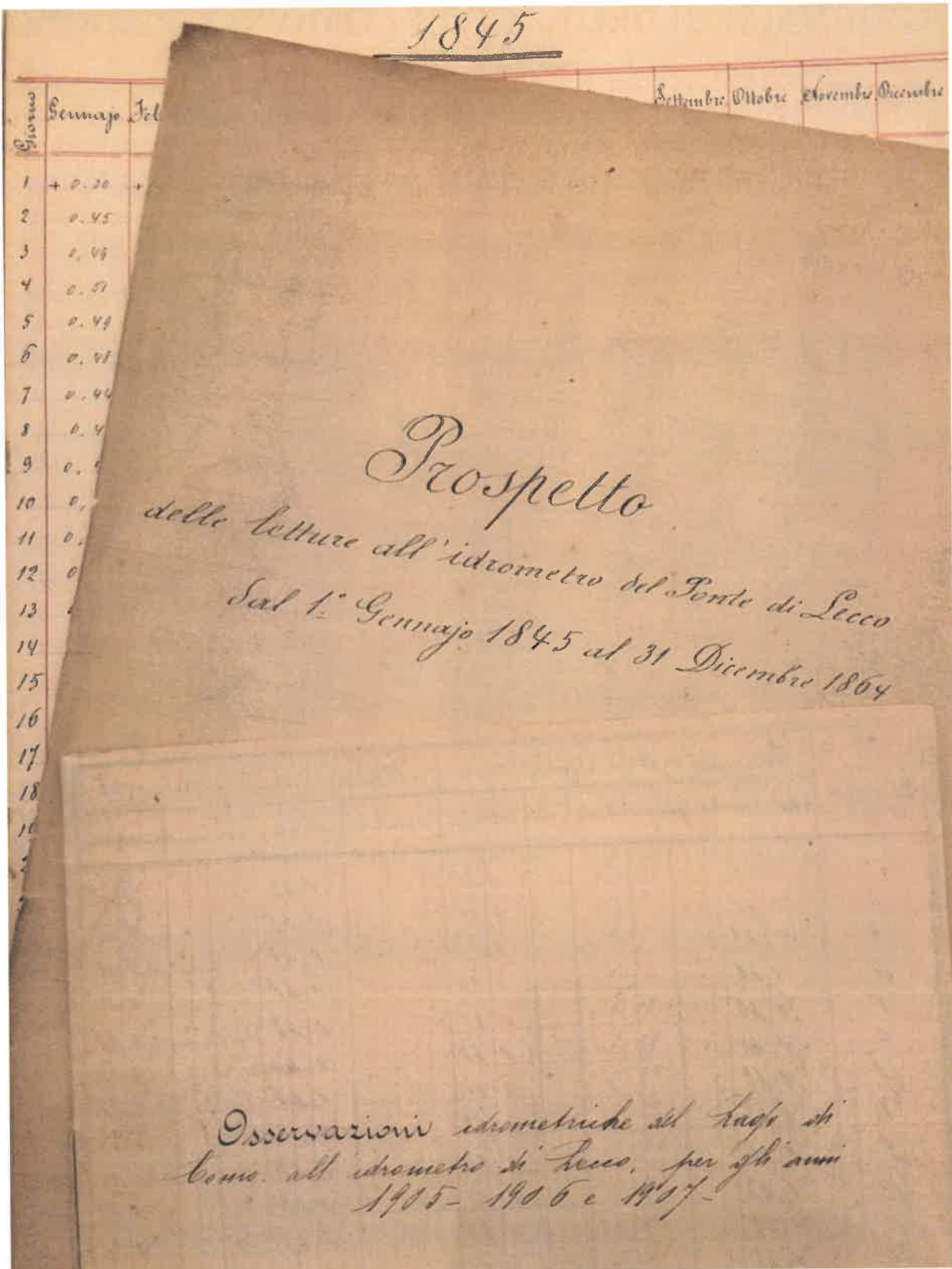
LIVELLI IDROMETRICI, AFFLUSSI E DEFLUSSI GIORNALIERI DEL LAGO DI COMO NEL PERIODO 1845-2016

Roberto Ranzi, Baldassare Bacchi, Camilla Castioni,
Eleni Maria Michailidi, Massimo Tomirotti, Luigi Bertoli



CONSORZIO DELL'ADDA

PUBBLICAZIONE N° 14 - MILANO 2018



L'Annuario delle letture all'idrometro del Fortilizio di Lecco, dal quale ha preso spunto questo studio

Figure del frontespizio: la stazione idrometrografica di Malgrate (in alto) e la serie dei livelli idrometrici giornalieri e dei deflussi osservati all'idrometro del Fortilizio di Lecco (in basso).

CONSORZIO DELL'ADDA

MILANO 2018

**LIVELLI IDROMETRICI, AFFLUSSI E DEFLUSSI
GIORNALIERI DEL LAGO DI COMO NEL PERIODO
1845-2016**

**ROBERTO RANZI¹, BALDASSARE BACCHI¹, CAMILLA CASTIONI¹,
ELENI MARIA MICHAILIDI¹, MASSIMO TOMIROTTI¹, LUIGI BERTOLI²**

¹Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura,
Territorio, Ambiente e di Matematica

²Consorzio dell'Adda

Presentazione

Quello che andiamo a presentare è il più recente coordinamento delle serie storiche di rilevamento idrologico idraulico che riguardano il Lario e l'Adda. Tutte le precedenti Amministrazioni succedutesi nel tempo, fin dalla costituzione di questo Consorzio nel 1945, hanno prodotto degli importanti resoconti statistici, tuttavia, in questa occasione, il lavoro che viene presentato assume un valore, a mio personale giudizio, per molte ragioni particolarmente significativo, ne cito solo due:

- La prima per la qualità della elaborazione che, penso di non sbagliare, risulti unica nella raccolta, analisi e interpretazione di un lungo periodo di osservazione di oltre 170 anni, eseguito dal qualificatissimo gruppo di lavoro dell'Università di Brescia.
- La seconda per le risultanze delle interpretazioni che confermano, su base scientifica e valutazioni di rigore inconfutabile, quali benefici abbia comportato la regolazione del lago con la diga di Olginate, benefici indubitabili per le utilizzazioni produttive irrigue ed idroelettriche (che se ne assumono i relativi oneri) ma altrettanto indubitabili per il così detto territorio e relativo ambiente che se ne avvantaggia rispetto al passato (prima del 1945) complessivamente; questa è una considerazione definitiva ed incontestabile.

Ovviamente non è la sola presenza della grande struttura di sbarramento idrico che determina utilità, occorre saperla esercire e mantenere con capacità tecnico-scientifiche di alto livello indispensabili oggi per produrre una regolazione necessariamente previsionale, pur con tutte le difficoltà che comporta attualmente il confronto spesso impari con le forze naturali in una tendenza, ormai nota, di fluttuazioni sempre più intense a cui l'opera regolatrice può solo opporsi, come mitigazione di un danno che risulterebbe ben superiore, e ciò non è poco.

Non intendo entrare nei dettagli tecnici che seguiranno con abbondanza di informazioni, posso tuttavia esprimere la soddisfazione mia e del CdA perché il presente importante lavoro evidenzia quanto il nostro Ente abbia ben lavorato, producendo significativi vantaggi a tutti i portatori di interesse che indirettamente o meno gravitano nell'universo del fiume Adda e del lago di Como.

Esterno quindi i più sentiti ringraziamenti tanto al qualificato gruppo universitario coordinato dal Prof. Roberto Ranzi, quanto al personale consortile che all'uopo ha collaborato, in primis al Direttore ing. Luigi Bertoli.

Dobbiamo augurarci che quanto prodotto, non si limiti alla pur importante traduzione scientifica ed operativa, ma trasferisca con la più ampia estensione, la fondamentale e totale importanza della funzione che svolge il Consorzio dell'Adda.

Milano, dicembre 2018

IL PRESIDENTE
del Consorzio dell'Adda
Ettore Grecchi

Ormai le pubblicazioni del Consorzio dell'Adda non sono più un diario e cronaca della regolazione ma sono importanti studi scientifici. La pubblicazione 14 è un estratto di un più complesso e approfondito lavoro dell'equipe del prof. Roberto Ranzi dell'Università degli Studi di Brescia da cui si sono sviluppati anche articoli per riviste specialistiche.

Il Consorzio dell'Adda, consapevole dell'importante ruolo della regolazione del lago di Como dovuto alla diga di Olginate che ha costruito e gestisce da oltre 70 anni, vuole contribuire alla diffusione delle conoscenze che possano desumersi dall'analisi di serie lunghe di dati idrologici. Tali serie temporali (fra le più lunghe a livello internazionale) permettono di fare valutazioni sul comportamento idrologico naturale e/o antropico del bacino dell'Adda con considerazioni anche sul possibile cambiamento climatico

La soddisfazione nel vedere i risultati di studi scientifici sta nel trovare confermato come la regolazione ha portato a significativi vantaggi alla vita dell'uomo: ad esempio dalla tabella 20 si nota come siano diminuiti i massimi di livello del lago (meno allagamenti) mentre dalle tabelle 30-31-32 si scopre come le portate di magra dell'Adda sublacuale sono più alte di prima della regolazione e quindi con siccità meno gravi.

Milano, dicembre 2018

IL DIRETTORE
del Consorzio dell'Adda
Ing. Luigi Bertoli

Prefazione

Al caro amico Baldo, con affetto

Confesso di aver provato un timore reverenziale nell'affrontare gli studi preparatori e, assieme ai miei coautori, la redazione di questa monografia la quattordicesima della serie delle pubblicazioni del Consorzio dell'Adda. Della gestione del lago di Como e della progettazione delle opere di regolazione si sono occupati, infatti, alcuni dei 'giganti' dell'idraulica lombarda e italiana: Elia Lombardini, Gaudenzio Fantoli, Giulio De Marchi, Duilio Citrini, solo per citarne alcuni. E riuscire a dire qualcosa di nuovo e di utile sull'idrologia dell'Adda e del lago di Como appariva opera ardua, dato l'impietoso confronto. L'incoraggiamento a proseguire è venuto dalla convinzione che, in ogni caso, il rendere disponibile al Consorzio e al pubblico la serie storica completa dei livelli, degli afflussi e dei deflussi giornalieri del lago di Como dal 1845 al 2016 avrebbe aggiunto un tassello di conoscenza sul sistema lariano comunque apprezzabile.

Lo spunto per il lavoro è nato dalla donazione, da parte di un amico, di un annuario cartaceo con annotati i livelli giornalieri osservati all'idrometro del Fortilizio di Lecco dal 1845 al 1907: la sua trascrizione ha permesso di completare alcune lacune e correggere diversi errori dei livelli osservati, e pubblicati, al limnometro della Malpensata e poi di Malgrate. Pur con qualche incertezza sulla qualità dei dati nel periodo dei lavori per la costruzione della traversa di Olginate, la qualità del sistema di monitoraggio e delle misure idrometriche dà serie garanzie sull'affidabilità delle serie elaborate e delle analisi statistiche condotte. Potrebbe essere sufficiente consultare la figura 3.2, che confronta la scala di deflusso dell'Adda a Lecco formulata da Fantoli nel 1921 a partire da sole considerazioni sulla dinamica delle correnti a pelo libero, perfettamente confermata dalle successive misure effettuate dall'Ufficio Idrografico del Po dal 1923 al 1943, per convincere il lettore che si dispone ora di una delle serie idrometriche tra le più lunghe ed affidabili nella letteratura tecnico-scientifica, non solo italiana.

La supervisione attenta e competente del Direttore del Consorzio, ing. Luigi Bertoli, che qui desidero ringraziare in modo particolare, è una ulteriore assicurazione. Mettiamo quindi a disposizione dei lettori le nostre considerazioni sulla diminuzione dei deflussi medi annuali, sui benefici indotti dalla regolazione nel ridurre la frequenza e l'intensità dei colmi di piena del lago, nel sostenere le portate di magra e nel rendere disponibili i volumi delle 'acque nuove' per le esigenze delle utenze irrigue ed idroelettriche che furono all'origine, più di un secolo fa, dei progetti per la regolazione del lago di Como.

Brescia, dicembre 2018

Il responsabile scientifico della convenzione di ricerca

Prof. Roberto Ranzi

Indice

Prefazione.....	6
Sommario.....	8
1. Controllo di qualità delle serie temporali delle altezze, degli afflussi e dei deflussi dell'Adda a Lecco.....	10
1.1 Dati di altezza idrometrica.....	11
1.2 Dati di portata.....	12
2. Elaborazioni dei dati idrometrici.....	12
2.1 Altezza idrometrica al Fortilizio di Lecco.....	12
2.2 Altezza idrometrica alla Malpensata e a Malgrate.....	13
3. Portata media giornaliera al Fortilizio.....	15
4. Gli afflussi al lago.....	18
4.1 Periodo non regolato: 01/01/1845 - 31/12/1945.....	18
4.2. Periodo regolato: 01/01/1946 - 31/12/2016.....	22
5. Analisi statistica delle serie temporali dei livelli idrometrici, degli afflussi meteorici, degli afflussi e dei deflussi dell'Adda a Lecco.....	23
5.1 Le serie temporali.....	23
5.2 I livelli idrometrici minimi e massimi al Fortilizio e Malgrate.....	27
5.3 Le portate di piena dell'Adda.....	28
5.4 Le magre dell'Adda.....	29
6. Conclusioni.....	31
7. Ringraziamenti.....	32
8. Bibliografia citata.....	33
9. Appendice A: Tabelle.....	37
10. Appendice B: Figure.....	64

Sommario

Il clima di una determinata località geografica potrebbe essere definito come il complesso di valori medi delle varie variabili idrometeorologiche che si possono osservare in quella stessa località, o regione geografica, caratterizzandone gli aspetti idro-meteorologici. Perciò esso spesso viene, per così dire, rappresentato attraverso le medie mensili di un periodo sufficientemente lungo, di norma trent'anni, delle temperature dell'aria, delle piogge, dei deflussi, del livello dei corpi idrici dell'umidità assoluta e relativa, e così via. Si possono poi effettuare delle elaborazioni più sofisticate, come la stima della frequenza degli estremi, delle analisi sulla periodicità di certi cicli apparenti, sulla persistenza di valori sistematicamente maggiori o minori delle tendenze medie.

Se guardiamo ad archi temporali secolari, o plurisecolari, ci si accorge che il clima è tutt'altro che un insieme di grandezze mediamente fisse e stazionarie. Esse invece sono continuamente variabili potendosi, a rigore, parlare di 'cambiamento climatico' o 'variabilità climatica' permanente. E' ben noto, esistendone sia documentazione storica scritta, sia i resti geo-fito-pedologici, che durante la conquista romana della fascia nord-africana, e per gran parte del periodo successivo, tutta la fascia che circonda il Mediterraneo, estesa per decine di chilometri verso l'interno, era piovosa e fertilissima, mentre nella Britannia di allora si coltivava la vite. Così come è noto il periodo relativamente caldo del cosiddetto 'ottimo climatico' medioevale, quando nell'area occupata oggi dal ghiacciaio di Solda, nel gruppo dell'Ortles, crescevano i larici, poi travolti dall'avanzata dello stesso ghiacciaio nella 'Piccola Età Glaciale', il periodo freddo terminato verso la metà del XIX secolo.

Perciò il dibattito tra i fautori scientifici del 'perenne cambiamento' dei caratteri climatici (Milly *et al.*, 2008) o della loro sostanziale 'variabilità nella stazionarietà' (Montanari e Koutsoyiannis, 2014) ha un senso nel momento in cui si disponga, da un lato, di serie temporali estese temporalmente ed affidabili dei parametri fisici di interesse e dall'altro di un quadro chiaro dei fattori di origine antropica che possano aver concorso alla variabilità dei sistemi naturali oggetto di indagine, come i bacini idrografici. Il cosiddetto 'cambiamento climatico' è sulla bocca di tutti, e a volte a sproposito, proprio perché, per la prima volta nei quasi cinque miliardi di anni di esistenza del pianeta Terra, il cambiamento sta avvenendo anche per cause non naturali, bensì antropiche (IPCC, 2013, 2014). L'uomo, con la sua tecnologia e la sua arroganza, a detta dei più seri climatologi, sta producendo modifiche accelerate del clima e il deterioramento dell'idrosfera e dell'atmosfera a livelli tali che, forse, si è passato il punto di non ritorno.

Se la comunità dei climatologi e dei meteorologi si è cimentata da decenni nella raccolta, condivisione ed elaborazione di dati meteorologici su orizzonti plurisecolari in ampie aree geografiche transnazionali (Auer *et al.*, 2007; Brunetti *et al.* 2009), non altrettanto si può dire in merito al coordinamento nella raccolta, distribuzione ed analisi di dati idrologici. La frammentazione geografica dei bacini idrografici in diversi ambiti amministrativi spesso transnazionali o transregionali, e le difficoltà incontrate nel coordinamento dei servizi idrografici preposti a questo compito hanno probabilmente ostacolato il lavoro degli studiosi. Vi sono alcune notabili eccezioni: un importante studio a scala europea ha permesso di individuare la variazione non tanto dell'intensità delle piene, quanto della loro distribuzione stagionale in Europa (Blöschl *et al.*, 2017), nell'ultimo cinquantennio. Su *et al.* (2018) hanno recentemente pubblicato i risultati dell'analisi dei trend nel periodo 1948-2004 dei deflussi mensili ed annuali di 916 fiumi che sfociano negli oceani mostrando che per 120 di essi i trend sono positivi, mentre per 51 sono negativi con significatività statistica del 5%. Sono, tuttavia, rari gli studi che risalgano a ritroso, nella loro analisi, fino alla metà del XIX secolo quando si colloca la fine della Piccola Età Glaciale. Per i bacini italiani, a conoscenza degli

autori, per il fiume Po a Pontelagoscuro Zanchettin *et al.* (2008a, 2008b) hanno ricostruito una serie di deflussi giornalieri che risale all'inizio del XIX secolo, lasciando qualche dubbio sull'affidabilità della scala di deflusso per quel periodo. Analisi più dettagliate si sono focalizzate sulla variabilità del regime idrologico del principale fiume italiano nel periodo successivo al 1920 (Montanari, 2012). Anche per l'Adige l'analisi della variabilità delle portate giornaliere si è focalizzato sul periodo successivo al 1923, coincidente con la pubblicazione dei dati da parte dell'Ufficio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia (Zolezzi *et al.* 2009). Per portare un contributo alle conoscenze sulla variabilità dei deflussi superficiali dei fiumi italiani su un orizzonte plurisecolare è iniziata da alcuni anni all'Università di Brescia una ricerca focalizzata sui corsi d'acqua delle Alpi Centrali italiane, dall'Adige al Ticino, che ha prodotto i primi risultati (Ranzi *et al.*, 2017, 2018), mostrando una diminuzione dei deflussi più marcata di quella delle precipitazioni.

In questa memoria che aggiunge un nuovo tassello, il quattordicesimo, alla serie delle Pubblicazioni del Consorzio dell'Adda, si rende conto in dettaglio di una di queste ricerche 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 deflussi giornalieri del lago di Como dal primo gennaio del 1845 al 31 dicembre del 2016.

Nel seguito, dopo la descrizione della fase di raccolta, correzione e integrazione dei dati, vengono illustrati prima i criteri di elaborazione dei dati dei 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 successive 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. Rispetto agli studi precedenti, in questa pubblicazione si aggiunge l'analisi, estesa ad un periodo di 172 anni di dati giornalieri, dei regimi mensili degli afflussi e dei deflussi dal lago, del coefficiente di deflusso, delle curve di durata delle 'tenute idrometriche' e delle portate, delle portate minime di durata assegnata, identificando le distribuzioni di probabilità che meglio si adattano ai dati e stimandone i parametri. Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi 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).

Gli autori auspicano che l'analisi di grafici e tabelle permetta di riconoscere, in base a dati oggettivi, come la regolazione del lago, dopo oltre settant'anni di esercizio, abbia nel complesso permesso di raggiungere gli obiettivi che i suoi ispiratori *ante litteram* come Elia Lombardini, gli ideatori e progettisti come Gaudenzio Fantoli, i responsabili della gestione per molti anni, come Giulio De Marchi, e studiosi come Duilio Citrini avevano ben presenti, cercando di soddisfare con equilibrio le esigenze delle utenze irrigue e idroelettriche a valle del lago, che avevano promosso l'istituzione del Consorzio dell'Adda, avendo ben presenti le aspettative di sicurezza dei rivieraschi, in primis gli abitanti di Como. Si può ben dire che siano stati rispettati sia lo spirito che la lettera del disciplinare di concessione della costruzione, manutenzione ed esercizio dell'opera regolatrice del lago di Como, firmato il 12 gennaio 1942, con la concessione poi assentita con il Regio Decreto del 19 aprile 1942.

1. Controllo di qualità delle serie temporali delle altezze, degli afflussi e dei deflussi dell'Adda a Lecco

La prima e fondamentale fase dello studio è consistita nel controllo di qualità dei dati disponibili, nella correzione di probabili errori di lettura, digitazione, trascrizione e ricostruzione dei dati lacunosi o mancanti. Nel seguito si elencano i dati raccolti, rappresentati anche, per una visione sinottica, nella tabella di consistenza riportata all'inizio nell'Appendice A. Ci sono brevi periodi non specificati in dettaglio in cui i dati sono mancanti per le stazioni indicate: le lacune sono evidenziate, con opportune campiture colorate, nella tabella di consistenza allegata.

Le posizioni del limnimetro della riva della Malpensata, del limnimetro e del successivo limnigrafo di Malgrate, dell'idrometro e del successivo idrometrografo del Fortilizio di Lecco, del limnigrafo di Garlate e dell'idrometrografo di S. Maria di Lavello sono riportate nella Fig. 1.1 e nella Tabella 1, mentre in copertina e nella quarta di copertina sono riportate le immagini relative ad alcune delle stazioni idrometriche principali.



Fig. 1.1 Mappa delle stazioni idrometriche al lago di Como (Fonte: Google Earth. Lago di Como, Italia. 45°49'25" N 9°23'31" E, Alt 14.11 km. DigitalGlobe 2018, 24 luglio, 2018).

1.1 Dati di altezza idrometrica

Stazione idrometrica del Fortilizio

Le altezze giornaliere meridiane sono rilevate all'idrometro del Fortilizio di Lecco, 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). La quota ufficiale dello zero idrometrico è fissata a *197,39 m s.l.m.* (Pieri, 1958) e i dati sono disponibili nel periodo 1845 – 2016. In parte sono stati trascritti da un annuario, relativo al periodo 1845-1907, reperito in un archivio dell'ENEL in dismissione e donato al primo autore di questa memoria. In parte sono pubblicati sugli Annali idrologici dell'Ufficio Idrografico del Po e 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. 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 km² e la superficie del lago di Como in corrispondenza della quota di 199 m s.l.m. è di 145,033 km². 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 concessione per la regolazione del lago di Como. La Tabella 2 (riferita a Malgrate) mostra i valori di portata e altezza idrometrica per la piena ordinaria che risulterebbero dall'analisi dei dati raccolti.

Stazione limnometrica della Malpensata e Maddalena (non più esistente)

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.

Stazione limnometrica di Malgrate (dal 1941 ad oggi)

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 considerata a *197,37 m s.l.m.*, pari a quella 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.

Stazione limnometrica di Garlate

I dati del limnometro di Garlate (riferimento per il lago omonimo) il cui zero idrometrico è a quota di *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, come detto in seguito, per interpolazione. La superficie del lago di Garlate è di 4,605 km².

Idrometri della traversa di Olginate

A monte ed a valle della traversa di Olginate, che sottende un bacino imbrifero di 4552 km² di superficie, sono installati due idrometri, oggi situati entrambi in sinistra idrografica, utilizzati per la regolazione dello sbarramento. I dati non sono però stati utilizzati in questo studio.

1.2 Dati di portata

Stazione idrometrografica di Lavello

Per il periodo 1/1/1946-31/12/2016 il Consorzio dell'Adda ha fornito la serie completa dei deflussi medi giornalieri misurati a Lavello e quella degli afflussi, espressi in metri cubi al secondo, calcolati in base all'equazione dell'invaso risolta alle differenze finite a scala giornaliera. Lo zero idrometrico dell'idrometrografo installato nel 1968 a monte del ponte ferroviario in sostituzione di quello posto in opera 450 m a valle nel 1946, è a quota di 193,39 m s.l.m. e la recente collimazione effettuata per ARPA Lombardia colloca lo zero a quota di 193,246 m s.l.m. Il bacino sotteso è di 4572 km².

Stazione idrometrografica di Fuentes

La stazione dell'Adda a Fuentes è situata allo sbocco della Valtellina, poco a monte dell'ingresso del fiume nel lago di Como. Per il periodo 1935-1945 i dati sono pubblicati sugli Annali Idrologici dell'Ufficio Idrografico del Po. Secondo questa fonte il bacino di dominio misura 2598 km² di superficie.

2. Elaborazioni dei dati idrometrici

2.1 Altezza idrometrica al Fortilizio di Lecco

Nel caso dell'altezza idrometrica al Fortilizio, i dati mancanti (1/5/1904-31/12/1904, 1/1/1908-30/6/1911, 1/7/1925-31/7/1925) sono stati ricostruiti in base alla correlazione lineare individuata con le altezze idrometriche alla Malpensata nel periodo che va dal 1845 al 1907. Tale correlazione è stata utilizzata anche per il periodo 1/7/1925- 31/7/1925 in quanto il 98% dei dati da ricostruire ricade negli anni in cui è stata stimata la correlazione lineare o comunque in prossimità di quel periodo. La formula di regressione è stata ricavata da una prima regressione lineare utilizzando tutti i dati del periodo dal 1845 al 1907; in seguito è stata scelta una fascia di accettabilità con scarto di ± 50 cm (Fig. 2.1) che ha permesso di eliminare alcuni dati palesemente errati, e che sono stati successivamente corretti, per poi effettuare una seconda regressione lineare che ha portato alla seguente relazione

$$h_{\text{Fortilizio}} = 0.935 h_{\text{Malpensata}} - 0.160 \quad (2.1)$$

Ogni punto al di fuori della fascia è stato successivamente analizzato confrontando le misure di livello al Fortilizio ed alla Malpensata e valutando l'opportunità di tenere il dato originale o sostituirlo con quello ricostruito. I dati del 22/09/1868, 04/10/1868, 22/04/1876 e 10/09/1888 ricadono fuori dalla fascia, ma analizzando il trend dei valori nei giorni precedenti e successivi si è verificato che questi dati si trovano in periodi di piena in cui l'altezza idrometrica cresce molto velocemente e pertanto è possibile che una misura sfasata temporalmente abbia portato alla lettura di un dato all'apparenza anomalo. Per questi casi si è deciso di mantenere il dato originale sia alla Malpensata che al Fortilizio.

Altri dati riguardanti la stazione della Malpensata, ricadenti fuori della fascia di accettabilità, furono già notati anche nello studio di Fantoli (1921) e si è deciso quindi di correggerli come verrà illustrato nel paragrafo successivo. Inoltre sono stati corretti i dati che risultavano anomali rispetto al trend dei valori dei giorni adiacenti.

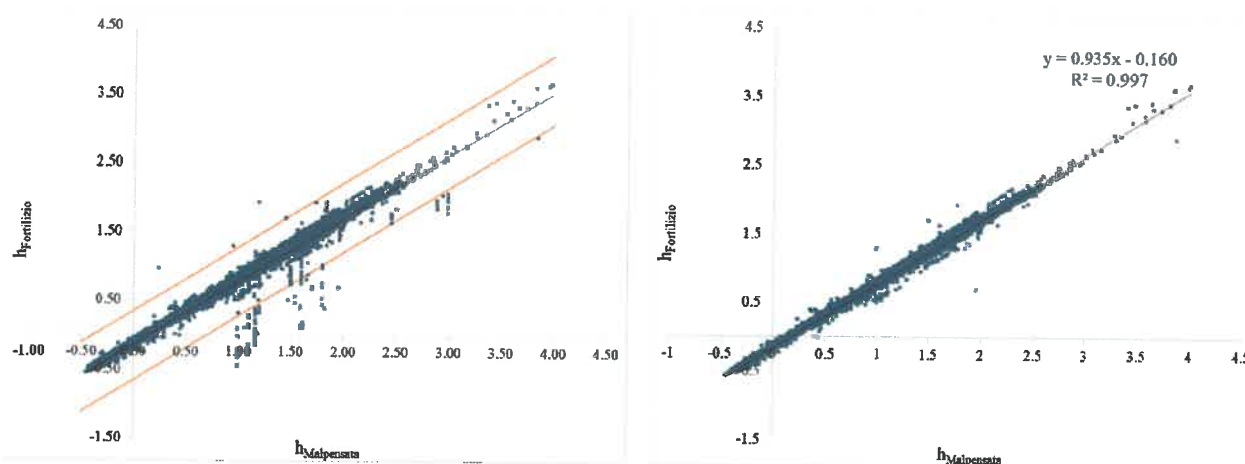


Fig. 2.1 Regressione lineare tra i dati grezzi di altezza idrometrica a Malpensata e Fortilizio: a sinistra con le linee della fascia di accettabilità con scarto di ± 50 cm; a destra dopo la rimozione dei dati ricadenti all'esterno della fascia.

2.2 Altezza idrometrica alla Malpensata e a Malgrate

Per questo lavoro si è considerata la serie del limnometro di Malgrate come continuazione della serie di quello della Malpensata. Analizzando i dati si può subito notare che per alcuni periodi, soprattutto prima dell'inizio della regolazione, il dato è mancante o incompleto. Inoltre confrontando i valori d'altezza idrometrica alla Malpensata-Malgrate e quelli al Fortilizio si può notare che le osservazioni in alcuni periodi, soprattutto negli anni compresi tra il 1871 e il 1874, sono errate o comunque dubbie.

Questa anomalia dei dati alla Malpensata fu già evidenziata da Fantoli (1921) che rilevò, per esempio, come la massima altezza meridiana del 1872 non fosse rappresentata dai 2,99 m del 16 ottobre (ritenuti eccessivi) bensì dai 2,52 m del 24 maggio. Lo stesso autore mise in evidenza come per l'anno 1874 i mesi di febbraio e marzo siano lacunosi e le osservazioni di gennaio e aprile dubbie (Fig. 2.2). Pertanto si è deciso di considerare come massima altezza meridiana non il valore del 13 aprile ma quello del 17 agosto, in accordo con quanto riportato nella Tab. IV di Moisello e Vullo (2010).

Va tenuto poi conto, come accennato, del cedimento di 4 cm dell'idrometro della Malpensata avvenuto dopo il 1869, e pertanto le altezze misurate dal 1845 al 1869 sono state aumentate di 4 cm rendendo così i dati omogenei rispetto allo zero idrometrico del limnometro della Malpensata successivo al 1869.

Occorre poi notare che i massimi annuali delle altezze meridiane a Malgrate negli anni dal 1940 al 1945 risultano piuttosto incerti, sia per le difficoltà legate alle vicende belliche, sia a causa dei grandi lavori per la regolazione del lago di Como e alla regolazione in esercizio provvisorio. In particolare l'anno 1945 presenta l'anomalia di un'altezza massima meridiana a Malgrate molto vicina a quella del Fortilizio, probabilmente perché i lavori per la sistemazione della rapida di Lecco e per il consolidamento del Ponte Visconteo alterarono le altezze all'idrometro del Fortilizio (Moisello e Vullo, 2010), o per effetto del rigurgito operato dalle paratoie, ormai in funzione.

Per ricostruire i dati mancanti (31/1/1874-19/2/1874, 1/3/1874-31/3/1874, 1/3/1939-30/6/1939 e anni 1940, 1942 e 1945) è stata utilizzata la relazione inversa dell'equazione 2.1 che lega le altezze alla Malpensata-Malgrate a quelle del Fortilizio:

$$h_{Malpensata} = 1.070 h_{Fortilizio} + 0.171 \quad , \quad (2.2)$$

di forma analitica simile a quella proposta da Citrini e riportata anche da Moisello e Vullo (2010).

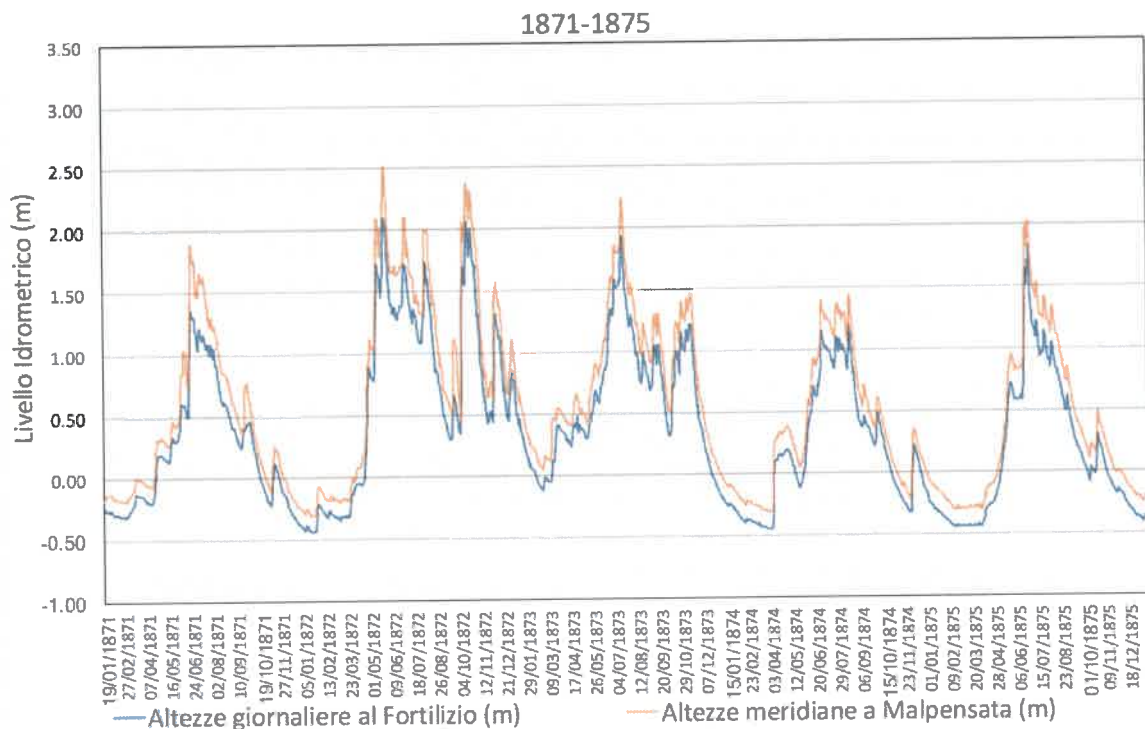
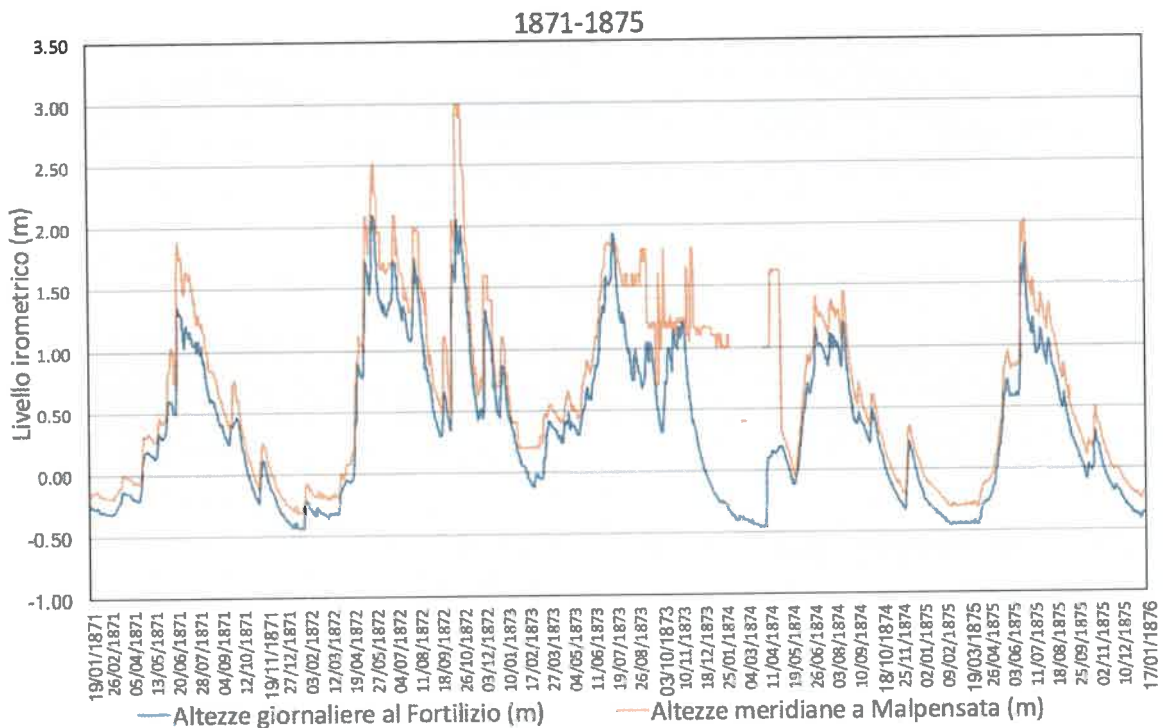


Fig. 2.2 Esempio di valori mancanti o incerti (in alto) e stessa serie dei livelli idrometrici dopo le correzioni, (in basso) per il periodo 1871-1875.

Anche in questo caso si è proceduto con una prima esclusione dei dati poco affidabili utilizzando le fasce di accettabilità come descritto in precedenza. I dati ricadenti fuori dalla fascia di accettabilità e ricostruiti dai livelli al Fortilizio si collocano in un arco relativamente concentrato di tempo, tra il 1872 e il 1876. Infine, dividendo l'intero periodo in intervalli temporali di 5 anni si è effettuato un controllo visivo (Fig. 2.2) delle altezze idrometriche; nei casi in cui si sono presentate anomalie dell'andamento delle altezze il dato è stato verificato ed eventualmente corretto basandosi sull'altezza del Fortilizio oppure sul trend dei giorni immediatamente precedenti o successivi.

Dalla Tavola che rappresenta le serie idrometriche, allegata in fondo alla pubblicazione, si nota che dopo l'anno 1945 le differenze delle altezze idrometriche fra le stazioni di Fortilizio e di Malgrate tendono a diminuire. Questo fatto è dovuto all'effetto di rigurgito che esercitano le paratoie della diga di Olginate sul profilo idraulico del lago di Garlate, fino a Lecco.

3. Portata media giornaliera al Fortilizio

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 alla Malpensata secondo la relazione (Goatelli, 2015; Ranzi *et al.*, 2016, 2018)

$$Q_{\text{Fortilizio}} = 1.0025 * Q_{\text{Malpensata}} \quad , \quad (3.1)$$

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 alla Malpensata è stata calcolata utilizzando due diverse scale di deflusso:

$$Q_{\text{Malpensata}} = 100(0.82 + h_{\text{Malpensata}})^{1.5} \quad , \quad (3.2)$$

definita da Fantoli (1921) e valida per il periodo che va dal 1845 al 1922 e

$$Q_{\text{Malpensata}} = 74.9(h_{\text{Malpensata o Malgrate}} + 1)^{1.69} \quad , \quad (3.3)$$

stabilita dall'Ufficio idrografico del Po e confermata da Citrini (1977). Nell'equazione 3.3, che è stata adottata per il periodo 1923-1945, " $h_{\text{Malpensata o Malgrate}}$ " sta ad indicare che fino al 1941 si deve utilizzare l'altezza misurata alla Malpensata, mentre successivamente si utilizza quella di Malgrate.

I deflussi calcolati come sopra indicato sono risultati sostanzialmente identici a quelli riportati negli annali idrologici.

Dal 1923 al 1930 si potrebbe anche sfruttare la scala delle portate al Fortilizio, disponibile in forma analitica e pubblicata sugli Annali Idrologici, definita come:

$$Q_{\text{Fortilizio}} = 66.9292(h_{\text{Fortilizio}} + 1.2)^{1.9} \quad . \quad (3.4)$$

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 km². 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. Il deflusso dall'incile di Lecco contribuisce all'afflusso complessivo al bacino del lago di Garlate per il quale vale l'equazione di continuità:

$$q_a = q_e + S \frac{dh}{dt} \quad (3.5)$$

dove S , q_a e q_e indicano la superficie del lago di Garlate, di 4.605 km², l'afflusso e il deflusso relativi al volume di controllo (Ranzi *et al.*, 2018). La portata di afflusso è data da quella defluita da Lecco, q_L , sommata all'afflusso netto al bacino del lago di Garlate, q_G . L'afflusso al bacino intermedio tra Lecco e Lavello, al netto delle perdite dal subalveo, è stato assunto pari all'1,75‰ dei deflussi al Fortilizio essendo stato riscontrato che, in media, vale la relazione

$$Q_{\text{Fortilizio}} = \frac{Q_{\text{Lavello}}}{1.00175} \quad (3.6)$$

stabilita sulla base dei dati relativi al periodo 1946-1950, per il quale si avevano le informazioni relative ad entrambe le stazioni. L'adeguatezza delle scale delle portate date dalle equazioni 3.3 e 3.4 è evidenziata dal confronto con le numerose misure di portata pubblicate negli annali idrologici dell'Ufficio Idrografico del Po (Fig. 3.1 e 3.2). Il valore del livello relativo al 27/4/1938, pari a 0.465 m, è certamente errato ed è stato sostituito con -0.465 m.

Nella Fig. 3.2 è rappresentata anche la scala di deflusso, 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.

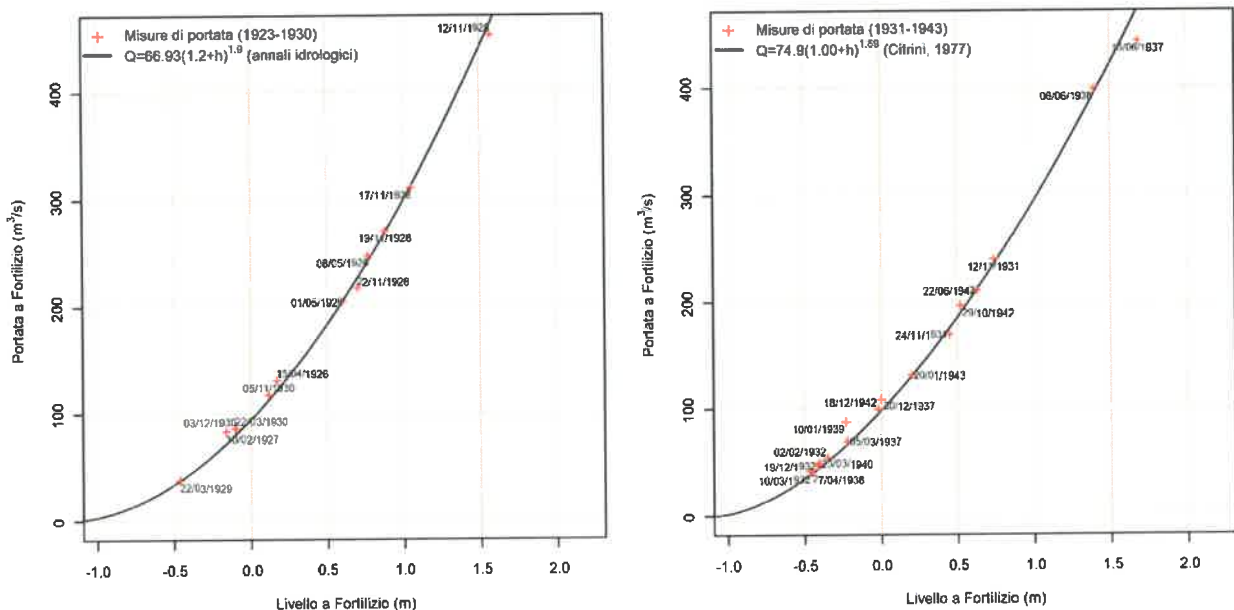


Fig. 3.1 Confronto fra misure di portata pubblicate negli annali idrologici del Ufficio Idrografico del Po e le corrispondenti scale delle portate.

L'equazione assume l'espressione:

$$Q_{\text{Lecco}} = 33.37(h_{\text{Malgrate}} + 2.5)^{2.015} \quad (3.7)$$

ed è confrontata con le scale di deflusso in regime naturale, prima dei lavori. Nel confronto con l'equazione (3.4) i livelli idrometrici misurati al Fortilizio, h_F , sono riportati a quelli di Malpensata/Malgrate, h_M , tramite l'equazione (2.2). La scala di deflusso (3.7) in "regime attuale" (Citrini, 1977) mostra il significativo aumento della capacità di smaltimento delle portate dalla sezione dell'incile di Lecco, dopo la sua ricalibrazione. La figura è molto importante in quanto dimostra come la scala di deflusso calcolata da Fantoli nel 1921 in base alle sole equazioni dinamiche delle correnti a pelo libero sono state perfettamente confermate dalle successive misure condotte dall'Ufficio Idrografico del Po dal 1923 al 1943. Dimostra anche come l'alveo dell'Adda a monte delle rapide di Lecco sia rimasto stabile almeno per ventun anni e fornisce quindi dei concreti elementi a sostegno dell'ipotesi di lavoro che la sezione sia rimasta stabile 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. 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 (eq. 3.2) fino al 1922 e quella stabilita dall'Ufficio Idrografico (eq. 3.3) dal 1923 al 1945. Pertanto la scala di deflusso (3.2) è stata ritenuta valida anche per il periodo 1845-1922.

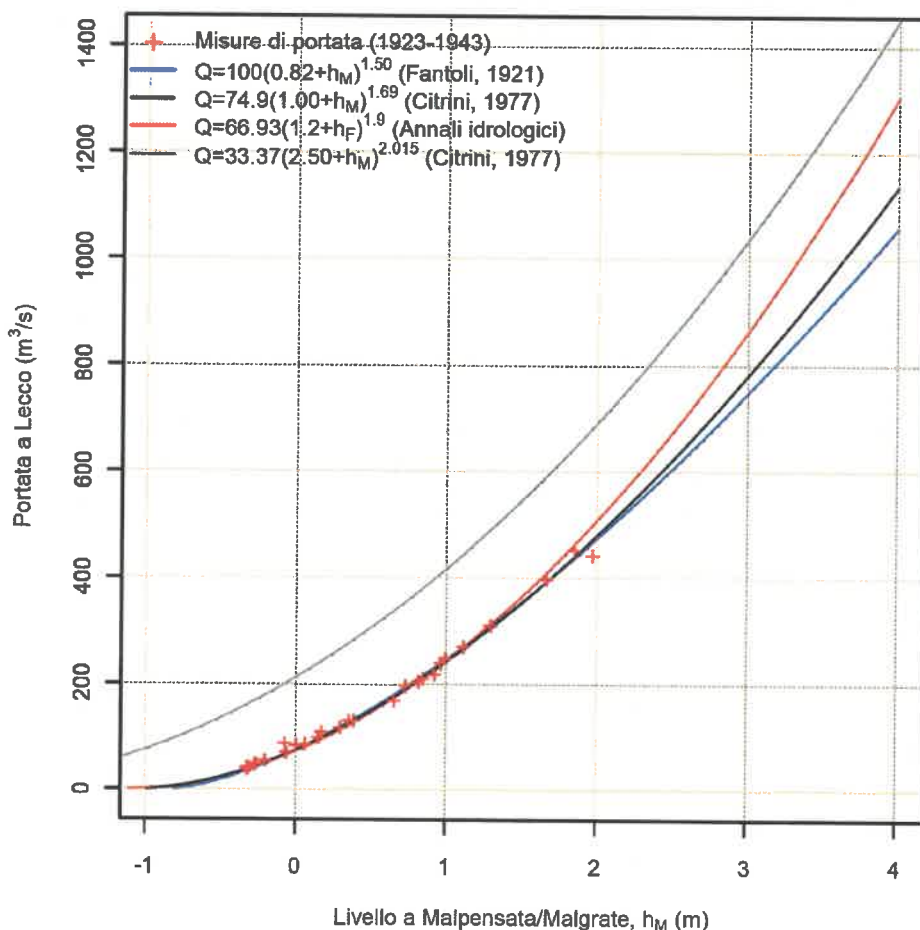


Fig. 3.2 Confronto fra le scale delle portate date dalle equazioni 3.2, 3.3, 3.4 e 3.7 e le misure di portata pubblicate negli annali idrologici.

4. Gli afflussi al lago

4.1 Periodo non regolato: 01/01/1845 - 31/12/1945

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 (Pieri, 1958; Malusardi e Moisello, 2003) rispetto a quello nell'assetto attuale del bacino dell'Adda prelacuale, illustrato nelle Figg. 4.1 e 10.1. In tali condizioni per il calcolo degli afflussi medi giornalieri al lago di Como nel giorno i -esimo, $Q_{in,i}$, è stato applicato un metodo analitico di soluzione dell'equazione dell'invaso, con W volume invasato:

$$\frac{dW}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t) \quad \text{per } t \in [t_i=i\Delta t, t_{i+1}=(i+1)\Delta t] \quad , \quad (4.1)$$

essendo noti il livello iniziale e finale nell'intervallo $h_i=h(t_i)$ e $h_{i+1}=h(t_{i+1})$ e utilizzando una scala di deflusso $Q_{out}(h(t))$ linearizzata tra i livelli h_i e h_{i+1} . A titolo di confronto è stato applicato anche il metodo di calcolo degli afflussi medi giornalieri basato sulla risoluzione alle differenze finite dell'equazione 4.1, normalmente adottato dal Consorzio per il periodo successivo al 1946. Questo metodo, denominato anche 'modulo Lombardini' (Lombardini, 1866), permette il calcolo degli afflussi netti, medi giornalieri, comprensivi delle perdite per evaporazione dal lago, $Q_{in,i}$, essendo noti i deflussi medi giornalieri nel giorno i -esimo, $Q_{out,i}$, assunti pari a quelli defluiti dall'istante della misura h_i del giorno i -esimo a quello della misura h_{i+1} nel giorno successivo,

$$Q_{in,i} = \frac{W_{i+1}-W_i}{\Delta t} + Q_{out,i} = S \frac{h_{i+1}-h_i}{\Delta t} + Q_{out,i} \quad , \quad (4.2)$$

essendo S la superficie del lago. Per la soluzione analitica dell'equazione 4.1 e numerica tramite l'equazione 4.2 si è scelto di utilizzare la serie delle altezze meridiane $h(t)$ registrate all'idrometro di Malpensata-Malgrate poiché l'idrometro del Fortilizio risente della chiamata allo sbocco (Consorzio dell'Adda, 1958).

Nonostante alcune prove per la regolazione del lago siano iniziate già nell'autunno del 1944 (Nonnis, 1959), si assume come data ufficiale per l'inizio della regolazione il primo gennaio del 1946. È possibile, quindi, calcolare la portata di deflusso applicando le scale delle portate definite per la sezione della Malpensata-Malgrate e riportate al Fortilizio (vedi Eq. 3.1, 3.2 e 3.3).

Per calcolare gli afflussi si è ipotizzato che il lago si comporti come un invaso lineare cilindrico, in cui le portate di afflusso e quelle di deflusso siano legate dalla variazione di volume di invaso nel lago, proporzionale alla variazione dell'altezza idrometrica registrata alle stazioni della Malpensata e di Malgrate e moltiplicata per la superficie dello specchio liquido.

Si assume che il serbatoio abbia una dimensione tale da rendere trascurabili, rispetto al passo temporale giornaliero di calcolo, i tempi di traslazione della portata di ciascun immissario all'opera di sbarramento (Soncini Sessa, 2004). Allo stesso modo è stato trascurato l'effetto delle sesse, anche perché è difficile, se non impossibile, recuperare le informazioni meteorologiche e idrometriche di dettaglio che potrebbero eventualmente permettere di correggere tale effetto nell'intero periodo compreso tra il 1845 e il 2016. Queste due semplificazioni sarebbero comunque meritevoli di qualche ulteriore approfondimento, alla luce delle conoscenze sul regime delle sesse nel lago di Como (Caloi e Spadea, 1958) e della raccolta di dati sperimentali con frequenze sempre più fini.

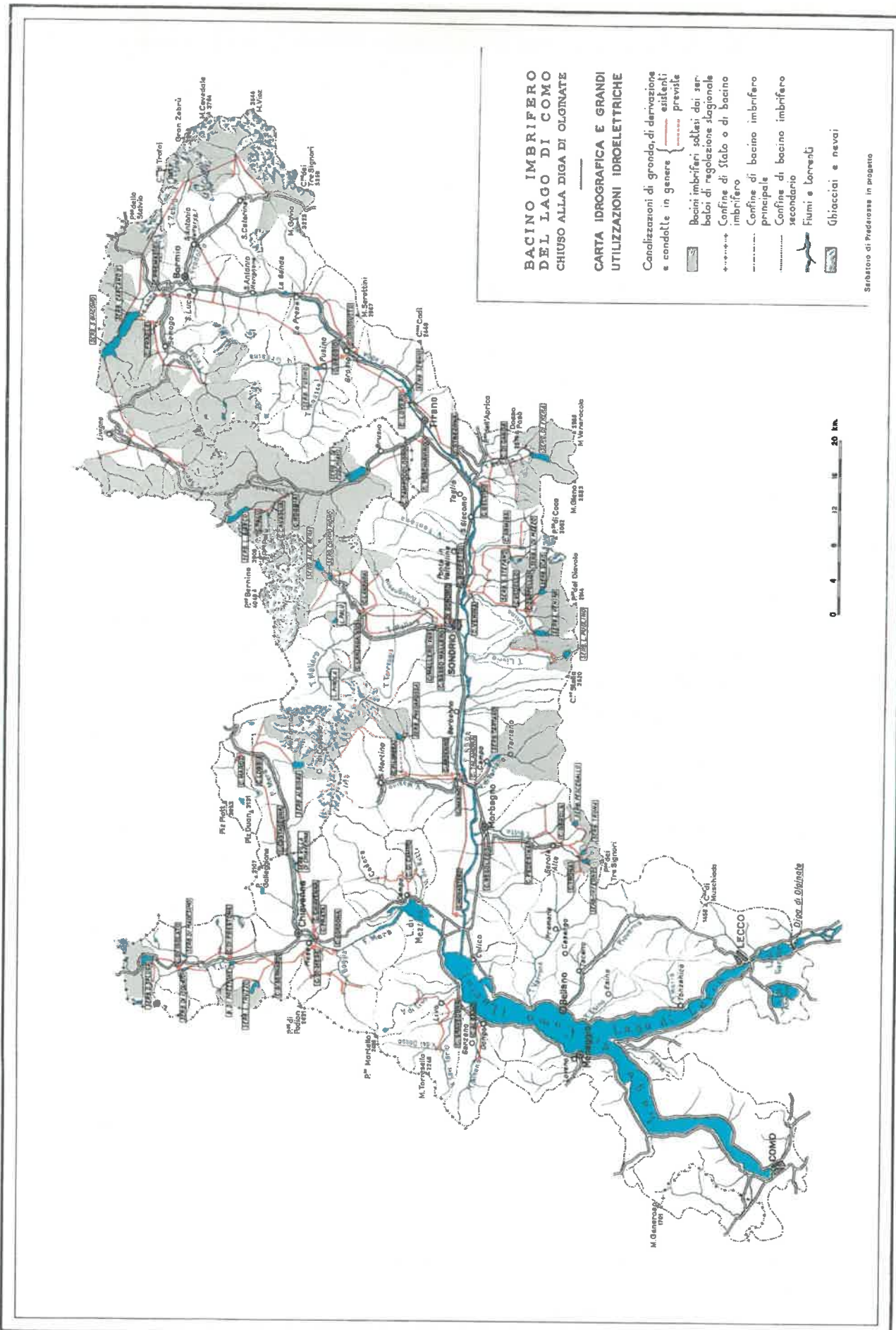


Fig. 4.1 Corografia del bacino dell'Adda a monte del lago di Como (da De Marchi, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n° 8, 1970).

La superficie del lago, S , è considerata pari a 145 km^2 e costante al variare dell'altezza idrometrica, semplificazione, questa, quasi sempre adottata sino ad oggi. Essendo l'area indipendente dal livello h , il lago è assunto essere un serbatoio cilindrico in cui lo specchio d'acqua sia in ogni istante orizzontale, definendo la relazione che lega il livello misurato in un punto e il volume invasato:

$$W = S * h \quad (4.3)$$

La scala di deflusso è stata linearizzata a tratti attraverso l'equazione $q=q^*+\beta h$ rappresentata nella Fig. 4.2.

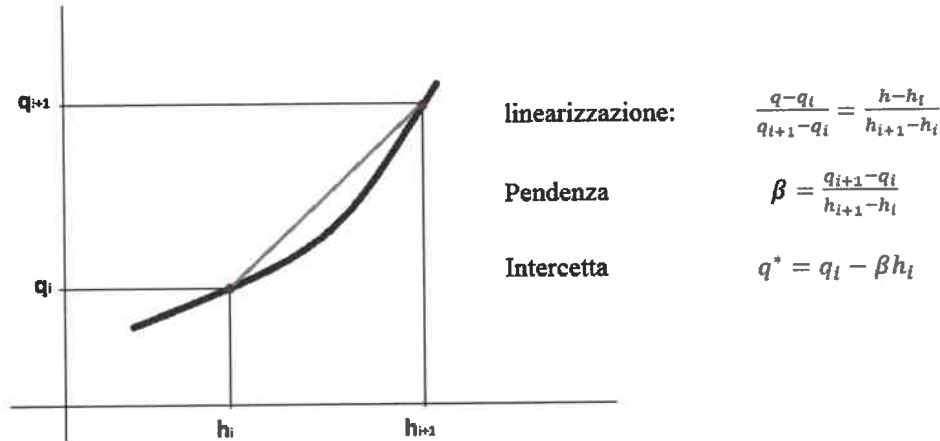


Fig. 4.2 Linearizzazione a tratti della scala di deflusso.

I termini q_i e q_{i+1} rappresentano la portata erogata istantaneamente riferita alla misura, meridiana fino al 1945, nel giorno considerato e nel giorno seguente, mentre h_i e h_{i+1} rappresentano le altezze idrometriche corrispondenti. Da questa linearizzazione a tratti si ottiene l'equazione che descrive i deflussi al variare del livello idrometrico, essendo q_i la portata corrispondente al livello iniziale h_i :

$$Q_{out}(h) = q_i + \beta(h - h_i) = q_* + \beta h \quad (q_* = q_i - \beta h_i) \quad (4.4)$$

Sostituendo nell'equazione di continuità il deflusso istantaneo Q_{out} espresso attraverso l'equazione 4.4, si ottiene un'equazione differenziale risolvibile analiticamente (De Marchi, 1920).

Per risolvere l'equazione è necessario imporre delle ipotesi sull'andamento delle portate di afflusso $Q_{in}(t)$; in particolare si può ipotizzare che rimangano costanti nell'intervallo di tempo considerato $[t_i, t_{i+1})$ e pari alla media \bar{Q}_a . In questa ipotesi, si ottiene la seguente soluzione dell'equazione differenziale:

$$h(t) = h_i e^{-k\Delta t} + (1 - e^{-k\Delta t}) \left(\frac{\bar{Q}_a - q_i + \beta h_i}{\beta} \right) \quad (4.5)$$

Quindi:

$$\bar{Q}_a = \frac{Q_{out}(t_{i+1}) - q_0 e^{-k\Delta t}}{1 - e^{-k\Delta t}} \quad (4.6)$$

dove h_i e q_i rappresentano rispettivamente l'altezza idrometrica e la portata di deflusso all'istante iniziale dell'intervallo $[t_i, t_{i+1})$, β è la pendenza della scala di deflusso linearizzata e k è la costante dell'invaso lineare, definita come $k = \beta S$.

La portata media di deflusso nell'intervallo $[t_i, t_{i+1})$ vale

$$\bar{Q}_{out} = q_* + \beta \left(\frac{h_{i+1} - h_i e^{-k\Delta t}}{1 - e^{-k\Delta t}} \right) + \frac{S}{\Delta t} (h_i - h_{i+1}) \quad (4.7)$$

Le portate di deflusso calcolate con l'equazione 4.7 sono state assunte come valore dei deflussi medi giornalieri fino al 22 ottobre 1944, per quanto verrà esposto nel seguito. Nei casi in cui il termine \bar{Q}_a è risultato negativo sia per il metodo analitico che per quello alle differenze finite, si è proceduto prima ad un controllo dell'altezza relativa: probabili errori, per effetto dell'incertezza nelle misure di livello in condizioni di magra, sono stati corretti come descritto in precedenza, altrimenti il valore della portata è stato sostituito con una media calcolata su tre giorni (centrata nel giorno con valore negativo) o, per valori ancora negativi, su 5 giorni (casi molto rari). I due metodi hanno prodotto risultati che comportano una leggera sottostima del metodo alle differenze finite rispetto alla soluzione analitica, solo per le portate più elevate.

Va precisato che durante il periodo 1943-1945 furono eseguiti lavori di consolidamento del Ponte Visconteo e nell'autunno 1944 iniziarono le prime prove della regolazione del lago; queste circostanze hanno portato a una divergenza significativa tra gli afflussi calcolati come precedentemente spiegato e i valori di afflusso riportati da Pieri (1958). 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 richiamata in precedenza. Con gli afflussi giornalieri così stimati si è proceduto a stimare i deflussi al Fortilizio, utilizzando l'equazione di continuità (4.2) nella quale l'incognita, in questo caso, è la portata giornaliera erogata Q_{out} , evitando così di utilizzare la scala delle portate del Fortilizio di Lecco. Nella Fig. 4.4 si osserva che l'andamento calcolato con la scala delle portate si può considerare attendibile fino al 23 ottobre 1944; dopo questa data, che corrisponde con il periodo di inizio delle manovre di regolazione sperimentali (Nonnis, 1959), si nota la significativa divergenza tra le due serie e quindi la scala di deflusso (3.3) non viene più considerata valida. Pertanto la correlazione trovata in precedenza è stata ricalcolata per il periodo che va dal 1935 al 23 ottobre 1944 (Fig. 4.3) trovando, infine, i nuovi afflussi giornalieri al lago $Q_a = 1.7213 Q_{Fuentes}$ e poi, dall'equazione di continuità, i deflussi dal suo incile a Lecco. Nei casi in cui i deflussi sono risultati negativi, i rispettivi valori sono stati sostituiti con la media calcolata su 5 o 9 giorni. Infine si è potuta constatare la somiglianza tra i valori così ottenuti e quelli riportati da Pieri (1958) ($\sim 60 \text{ m}^3/\text{sec}$ dal 30 novembre al 19 dicembre 1945) e, in media, un buon accordo con le misure di portata effettuate a Lavello in una decina di giorni del 1945. 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.

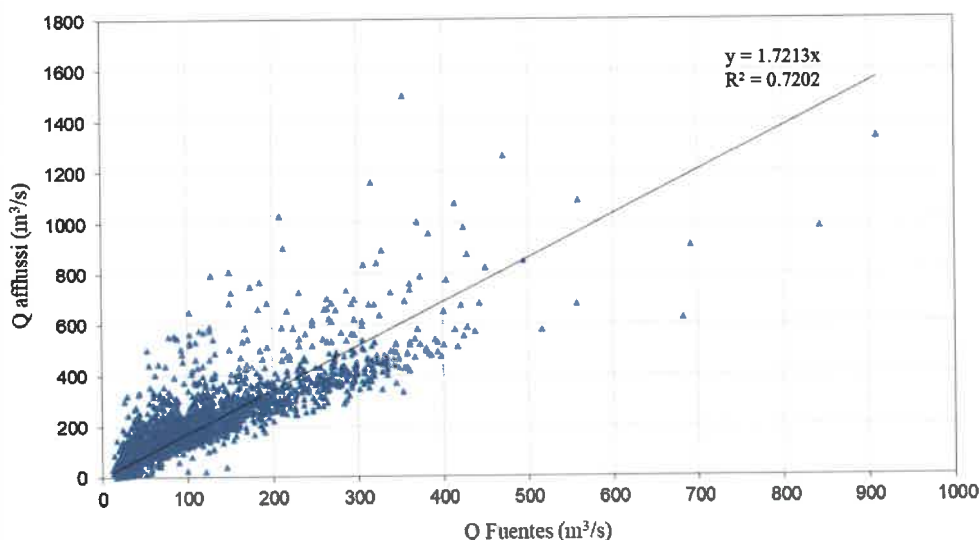


Fig. 4.3 Correlazione fra gli afflussi a Fuentes e afflussi calcolati dalla equazione di continuità nel periodo 1/1/1935-23/10/1944.

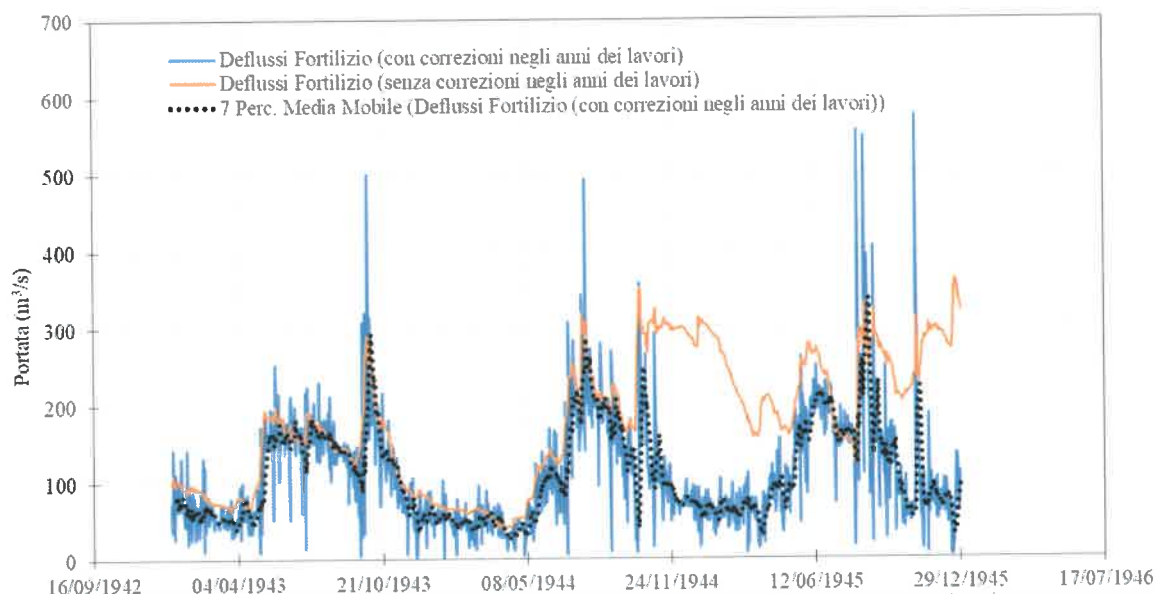


Fig. 4.4 Confronto dei deflussi calcolati dalla scala delle portate e dopo la correzione nel periodo 1943-1945.

4.2. Periodo regolato: 01/01/1946 - 31/12/2016

In questo periodo è stata utilizzata l'equazione di continuità 4.2 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, come descritto dalle equazioni 3.5 e 3.6. Vale la pena di osservare che, essendo noti i deflussi medi giornalieri a Lavello e assumendo il lago di geometria assimilabile a quella di un serbatoio cilindrico, la 4.2 fornisce una soluzione esatta dell'equazione di continuità per il calcolo degli afflussi medi giornalieri in ingresso al lago di Como. Il Consorzio 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.

5. Analisi statistica delle serie temporali dei livelli idrometrici, degli afflussi meteorici, degli afflussi e dei deflussi dell'Adda a Lecco

5.1 Le serie temporali

5.1.1 Analisi della stagionalità delle serie

Le medie e le mediane, le fasce comprese tra i percentili del 25%-75%, 10%-90% e 5%-95%, che sono indici della variabilità interannuale, e i minimi e massimi stagionali dei valori dei livelli, degli afflussi e dei deflussi dal lago sono rappresentati dalla Fig. 10.2 alla Fig. 10.4 per i tre periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016. I periodi di analisi sono stati così divisi non solo in quanto dal 1946 è iniziata la regolazione, ma anche perché prima della fine della guerra il volume totale degli invasi idroelettrici a monte del lago di Como era ancora limitato, ed inferiore al 20% della capacità di invaso attuale, sostanzialmente invariata rispetto ai 514,9 milioni di metri cubi riportati da Citrini (1977), come mostrato nella Fig. 10.1. Si riconosce come il livello medio cominci a crescere all'inizio di marzo, per raggiungere un massimo verso la metà di giugno (Fig. 10.2). Dopo l'inizio della regolazione è leggermente più marcato un massimo secondario dei livelli, in novembre. Poiché il livello è influenzato dall'efflusso allo sbocco, che dal 1946 è regolato artificialmente, un'idea più chiara del regime idrologico naturale si può ottenere dai grafici relativi degli afflussi al lago (Fig. 10.3).

Sia gli afflussi che i deflussi (dalla Fig. 10.3 alla 10.5) presentano un comportamento simile ai livelli per quanto riguarda la media; i percentili degli afflussi mostrano una maggiore variabilità visto che quella dei livelli e dei deflussi è attenuata dalla laminazione operata dal lago.

Relativamente agli stessi periodi di indagine, sono stati costruiti i grafici ad istogrammi (Fig. 10.6 e Fig. 10.7) degli afflussi meteorici, degli afflussi al lago e dei deflussi mensili, tutti espressi in millimetri. Gli afflussi e i deflussi per il periodo pre-regolazione hanno un valore di portata media annua pari a 170,8 m³/s; nel periodo regolato la media vale, invece, 157,5 m³/s (v. Tabella 3) che comprende, a partire dal maggio 1963 (De Marchi, 1970), i volumi derivati dalla gronda dello Spöl, in base al disciplinare di concessione del 12 gennaio 1962. Questa diminuzione dell'8% circa, che diventa del 9% considerando la portata media di 155,3 m³/s che si ottiene sottraendo i 90 milioni di metri cubi annuali assentiti per la derivazione dal 1963, è di un certo rilievo e l'individuazione delle possibili cause merita senz'altro degli approfondimenti. Il deflusso medio corrisponde ad un contributo specifico di 34,9 l/s/km², valore prossimo ai 33,9 l/s/km² che la Regione Lombardia (1999, 2006) ha calcolato per la sezione di Fuentes, a monte del lago. I valori superiori alla media si collocano nei mesi tra aprile e novembre. Il valore massimo degli afflussi giornalieri nel periodo 1845-1945 è pari a 2535 m³/s e si è verificato il 3 ottobre del 1868, mentre per il periodo successivo alla regolazione è di 1882 m³/s affluiti al lago il 26 novembre del 2002.

Dal confronto dei grafici (Fig. 10.7) per il periodo pre-regolazione e per il periodo regolato, si osserva che gli afflussi meteorici non hanno subito grandi variazioni, mentre gli afflussi medi mensili sono diminuiti da maggio ad ottobre e aumentati nei mesi freddi di gennaio, febbraio, marzo, aprile, novembre e dicembre, per effetto dell'utilizzo a scopi idroelettrici dei volumi invasati in estate e autunno. E' noto, infatti, che i serbatoi alpini esercitano un effetto sensibile sugli afflussi al lago, immagazzinando acqua in estate e rilasciandola in inverno a beneficio degli impianti idroelettrici nel bacino prelacuale (Malusardi e Moisello, 2003). L'effetto di laminazione si fa sentire, seppur in modo meno marcato, nella modulazione delle piene (De Marchi, 1970; Citrini, 1973; Malusardi e Moisello,

2003), il cui volume, almeno per quelle maggiori, è comunque più elevato rispetto alla capacità d'invaso dei serbatoi (Moisello e Vullo, 2009).

Gli afflussi meteorici, invece, calcolati come illustrato da Crespi *et al.* (2018) e Ranzi *et al.* (2018), sono rimasti praticamente inalterati, nella loro distribuzione mensile, nei periodi pre- e post-regolazione, con l'eccezione del mese di ottobre, nel quale la precipitazione è diminuita da 164 a 136 mm (Fig. 10.6). Si può notare che la precipitazione media annua sia rimasta sostanzialmente costante nel confronto tra il periodo pre-regolazione e quello regolato, con valori pari a 1340 e 1313 mm, rispettivamente. I corrispondenti valori dell'afflusso al lago, comprendenti la derivazione dal Torrente Spöl, sono pari a 1196 e 1102 mm, in diminuzione.

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso si osserva un incremento tra il periodo pre-regolazione e quello regolato nei mesi di febbraio e marzo e una notevole diminuzione in giugno, luglio ed agosto (Fig. 10.6). Questo fenomeno sta ad indicare il diminuito contributo della fusione dei nevai e dei ghiacciai e l'influenza dei serbatoi alpini realizzati a partire dagli anni '20 (Fig. 10.1), con l'invaso dei deflussi nei periodi delle morbide primaverili ed estive. In particolare, nel periodo pre-regolazione la media stagionale degli afflussi al lago inizia ad aumentare negli ultimi giorni di gennaio raggiungendo il massimo a fine maggio per poi diminuire, stabilizzandosi verso fine agosto, e decrescere di nuovo negli ultimi due mesi, come si vede anche dalla media stagionale a scala mensile (Fig. 10.5). Il comportamento sopra descritto è legato alle stagioni piovose primaverile e autunnale e alla fusione dei nevai e ghiacciai (Bocchiola *et al.*, 2018). Il periodo post-regolazione presenta un comportamento simile, ma caratterizzato da una minore variabilità complessiva. Come riportato precedentemente, questo fatto può essere collegato alla gestione dei serbatoi a monte del lago.

5.1.2 Curve delle durate idrometriche e delle portate

La curva delle durate delle portate (CDP) e la curva delle durate idrometriche (in passato denominata anche 'curva delle tenute idrometriche') forniscono la frequenza, espressa in giorni di un anno di riferimento, con la quale un certo valore di portata o di livello è stato uguagliato o superato in un periodo fissato. Nella Fig. 10.8, che riporta anche le frequenze delle portate di afflusso divise per classi di valori con ampiezza di 20 m³/s e le medie mensili e annuali dei deflussi, è riportato un esempio per l'anno 1845. La curva di durata media in un periodo può essere espressa in due modi distinti: a) la CDP nel periodo di registrazione e b) la CDP mediana annuale (Fig. 10.9). Per costruire la prima curva la serie di dati giornalieri è stata ordinata in ordine decrescente assegnando ad ogni portata un indice i con $i=1,2,\dots,N$ dove N è la numerosità del campione. La durata D , espressa in giorni, corrispondente a ciascuna portata è ottenuta applicando la formula:

$$D = \frac{i}{N} 365$$

La CDP del periodo di registrazione è molto sensibile a estremi che possono verificarsi in certi anni (Vogel e Fennessey, 1995). Questo inconveniente può essere superato attraverso la CDP mediana annuale, con l'ulteriore vantaggio che in tal caso risulta possibile anche la costruzione degli intervalli di confidenza non-parametrici. In sostanza la CDP mediana rappresenta la distribuzione della portata media giornaliera in un anno tipico o "mediano" e la sua interpretazione non è influenzata da osservazioni di anni anormalmente umidi o secchi (Vogel e Fennessey, 1995). La CDP mediana annuale è ottenuta calcolando la CDP in ogni anno come descritto precedentemente e calcolando la mediana per ogni valore di durata. In modo analogo si calcolano anche gli estremi dell'intervallo di confidenza.

In Fig. 10.10 sono mostrate le CDP per gli afflussi al lago e per i deflussi a scala giornaliera (ottenute attraverso entrambe le modalità sopra descritte) per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

È interessante osservare, a riprova di quanto detto precedentemente, che le CDP del periodo di registrazione e mediana annuale danno risultati molto simili, tranne che per le durate elevate, dove la seconda assume valori più elevati rispetto alla prima. Per quanto riguarda i deflussi si nota che per le durate intermedie (comprese tra 35 e 160 giorni) la CDP del periodo post-regolazione presenta pendenza minore come conseguenza della regolazione del lago.

5.1.3 Le altezze idrometriche giornaliere e gli allagamenti della piazza Cavour a Como

L'effetto più problematico delle piene del lago di Como è molto evidente quando si considerano gli allagamenti storici della Piazza Cavour a Como, alcuni dei quali ben documentati. Per questo motivo, assumendo l'attuale quota della piazza posta a 198,47 m s.l.m. (1,10 m sullo zero idrometrico di Malgrate) in base a recenti rilievi topografici, si è determinato il numero dei giorni consecutivi nei quali questa quota è stata superata dal livello del lago in ogni anno e il numero degli eventi di allagamento all'anno. Come si vede dalla Fig. 10.11, in questo ipotetico scenario il numero dei giorni di allagamento che sarebbero stati osservati in passato risulta irrealisticamente elevato, per effetto della subsidenza di Piazza Cavour. Come riportato da Malusardi e Moisello (2003) che hanno ipotizzato una subsidenza stabilizzatasi a quota +1,20 m rispetto allo zero di Malgrate, tale fenomeno è iniziato prima del 1959 e si è sostanzialmente fermato ai inizi degli anni '90. In particolare dal 1955 fino al 2000 il livello si è abbassato di circa 65 cm, mentre nel periodo fra il 1965 e il 1975 il fenomeno era particolarmente intenso.

Perciò, oltre che fissare per lo studio degli allagamenti un livello costante pari a 198,47 m s.l.m. (corrispondente a +1,10 m rispetto a Malpensata/Malgrate), si è considerato anche un livello variabile nel tempo, pari a 199,22 m s.l.m. (+1,85 m) dal 1845 al 1965 e a 198,47 m s.l.m. (+1,10 m) dopo il 1975; nel periodo intermedio si è assunto un valore di soglia variabile linearmente col tempo. La minima distanza temporale fra due allagamenti distinti è stato fissato pari ad un giorno. Nella Fig. 10.11 sono riportati anche i risultati ottenuti tenendo conto dell'effetto della subsidenza come sopra descritto. Come si vede, si registra in questo caso una notevole diminuzione sia nel numero degli allagamenti che nel numero dei giorni di allagamento. In particolare si possono evidenziare quattro distinti periodi: dal 1845 al 1941, dal 1942 al 1975, dal 1976 al 2000 e dal 2000 fino al 2016. In questi periodi, assumendo una quota della piazza variabile nel tempo come è in effetti accaduto, si alternano, rispettivamente, numero di allagamenti e di giorni di allagamento prima elevati, poi limitati, nuovamente elevati e, infine, trascurabili. Queste alternanze possono essere spiegate dalla combinazione di quattro cause: nel primo periodo, non regolato, la capacità di smaltimento delle portate elevate era limitata dalla sezione di sbocco del lago che è aumentata dopo i lavori di sistemazione dell'incile, permettendo così l'abbassamento dei livelli massimi del lago durante le piene di media intensità (v. Fig. 3.2 ed equazione 3.7). Dopo il 1975 si è osservato un ventennio caratterizzato da piene intense al quale è succeduto un periodo di minore severità dei massimi eventi alluvionali. Un terzo fattore è la subsidenza della piazza Cavour, che è una concausa dei più frequenti e duraturi allagamenti successivi al 1975. Le minori criticità dell'ultimo periodo sono spiegabili anche da una accorta regolazione dell'opera di sbarramento, resa possibile anche grazie sistemi integrati di regolazione con monitoraggi e previsione meteo-idrologica diventati più efficaci rispetto al passato. Si segnala, comunque, che i risultati relativi al periodo precedente al 1955 devono essere interpretati con una certa cautela non essendo disponibili dati precisi e aggiornati sulla quota di Piazza Cavour.

5.1.4 Cumulate degli afflussi meteorici mensili, degli afflussi e deflussi del lago

Per una prima analisi qualitativa delle serie di interesse, sono state calcolate le cumulate degli afflussi meteorici mensili, risultato di uno studio condotto da Crespi *et al.* (2018) e Ranzi *et al.* (2018), oltre che degli afflussi e deflussi del lago (Fig. 10.12 e Fig. 10.13). Mettendo a confronto le cumulate degli afflussi meteorici e degli afflussi al lago in un grafico a doppia cumulata si ottiene una distribuzione di punti che si discosta poco dalla retta di miglior adattamento (retta rossa nella Fig. 10.13), con pendenza di 0,88 che ha il significato di coefficiente di deflusso medio annuale. Non si osservano grandi variazioni che sarebbero segno di non-stazionarietà. L'unica variazione osservabile si verifica in corrispondenza del periodo successivo al 1961 quando la doppia cumulata inizia a staccarsi dalla retta di migliore adattamento e gli afflussi meteorici, cioè le precipitazioni ragguagliate sul bacino imbrifero, crescono più rapidamente degli afflussi al lago rispetto al periodo precedente.

5.1.5 Analisi dei trend degli afflussi meteorici, degli afflussi e deflussi del lago

L'analisi delle tendenze di lungo termine negli afflussi meteorici, afflussi e deflussi dell'Adda a Lecco è stata effettuata sulla base delle serie aggregate a scala annuale per l'intero periodo di osservazione, costituito dai 172 anni compresi tra il 1845 e il 2016 (Tabella 4 e Tabella 5). Il bacino può essere considerato soggetto a limitate variazioni di carattere antropico fino al 1945, mentre, come già ricordato, dal 1946 il lago è regolato tramite lo sbarramento di Olginate (in realtà modifiche alle portate effluenti erano osservabili già a partire dalla fine del 1944 a seguito dei lavori di completamento della diga). Inoltre molti serbatoi a scopo idroelettrico sono stati costruiti a monte del lago di Como, per un valore della capacità utile complessiva che alla fine del decennio 1960-1970 era prossima agli attuali $515 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Nelle elaborazioni è stato utilizzato il test di Mann-Kendall (MK) adottando un livello di significatività $\alpha=0.05$ (Kendall, 1970); la regione critica del test MK è data perciò dall'intervallo $1.96 \leq |Z_{MK}|$. I risultati ottenuti nell'analisi di queste serie sono raccolti nella Tabella 6 e nella Tabella 7. La pendenza delle rette di regressione è stata valutata in base allo stimatore non parametrico Theil-Sen (Sen, 1968; Theil, 1950a, 1950b, 1950c; Hollander *et al.*, 2014).

L'analisi è stata condotta esaminando tre differenti periodi: 1845-1945 (corrispondente a condizioni sostanzialmente indisturbate del bacino), 1946-2016 (caratterizzato dalla presenza della regolazione del lago e dei serbatoi artificiali a monte, anche se l'effetto di questi ultimi sul deflusso totale annuo può essere ritenuto trascurabile) e 1845-2016 (intero periodo di osservazione). I risultati sono illustrati nella Fig. 10.14. Si ricorda che a partire dal 1963 un volume annuale di $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, corrispondente a un volume specifico di 20 mm sul bacino dell'Adda a Lecco, viene derivato verso il bacino dell'Adda da quello del Torrente Spöl, affluente dell'Inn. Questo volume è stato sottratto dagli afflussi al lago annualmente per l'analisi dei trend (Figg. 10.15, 10.16 e 10.17). In tutti i casi i trend degli afflussi meteorici e afflussi sono concordi (decescenti nel periodo 1845-1945, crescenti dopo il 1946 e decrescenti nell'intero periodo 1845-2016). Con riferimento al prefissato valore $\alpha=0.05$, il trend risulta significativo solo per gli afflussi nei periodi 1845-1945 e 1845-2016 (pendenze TS=-183 e -129 mm/secolo, rispettivamente), come riportato nella Tabella 7. I trend decrescenti degli afflussi al lago nei periodi 1845-1945 e 1845-2016 sono più marcati rispetto a quelli degli afflussi meteorici (pari a -89 e -49 mm/secolo nei due periodi indicati). La tendenza all'aumento degli afflussi al lago nel periodo 1946-2016, sebbene non significativo statisticamente, risulta abbastanza simile a quello degli afflussi meteorici (rispettivamente di 78 e 82 mm/secolo). La significativa diminuzione degli afflussi al lago nel lungo periodo conferma i risultati ottenuti per altri bacini delle Alpi italiane: vista la diminuzione meno significativa, dal punto di vista statistico, degli afflussi meteorici nel bacino dell'Adda prelacuale e la diminuzione del coefficiente di deflusso (del 7% in un orizzonte secolare), la riduzione più marcata degli afflussi al lago si può spiegare come un effetto delle maggiori perdite

per evapotraspirazione dovute all'aumento delle temperature ed all'espansione delle aree forestate, in analogia alle risultanze di alcuni studi condotti dagli scriventi nel vicino bacino dell'Adige (Ranzi *et al.*, 2017). 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, a partire dalla fine degli anni '80 e per l'acquedotto industriale di Como, a partire dalla fine degli anni '70. Questi ultimi usi acquedottistici ammontano oggi a circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$, con restituzioni che avvengono prevalentemente fuori dal bacino chiuso ad Olginate.

5.1.6. Adattamento di alcune distribuzioni di probabilità per gli afflussi e deflussi del lago

Per inferire i parametri delle distribuzioni di probabilità idonee a rappresentare le curve di durata delle portate sono stati scelti i diagrammi L-moments (Hosking, 1990) le cui stime sono più affidabili rispetto a quelle dei momenti ordinari, specificamente per serie molto lunghe, come quelle delle portate medie giornaliere, che di solito sono caratterizzate da una notevole asimmetria (Vogel e Fennessey, 1993). Le funzioni scelte per rappresentare gli afflussi e deflussi giornalieri del lago sono: Lognormale a 3 parametri (Lognormale-3), Pareto generalizzata (GPA), GEV, Pearson-III, Gamma e Gumbel (Kottegoda e Rosso, 1997); tali distribuzioni sono quelle generalmente utilizzate in questo tipo di analisi (Claps e Fiorentino, 1997; Blum *et al.*, 2017). Per gli afflussi al lago, dall'esame dei diagrammi degli L-moments e delle carte probabilistiche, si è visto che la Lognormale-3 – ridotta però ad una Lognormale a 2 parametri (Lognormale-2) per evitare valori negativi della variabile – sembra la più adeguata (Fig. 10.18), soprattutto relativamente al periodo 1845-1945, per interpolare i dati; in effetti la Lognormale-2 è stata utilizzata come distribuzione di riferimento anche nell'ambito di modelli di stima regionale delle CDP (Castellarin *et al.*, 2004). Nel caso in esame essa assume il significato più di funzione interpolare che di vera e propria distribuzione di probabilità. Stimati i suoi parametri, $\mu_{\log}=4.83$ e $\sigma_{\log}=0.74$, si può esplicitare la curva di durata degli afflussi giornalieri nel regime pre-regolazione, in funzione dei quantili di una variabile normale standard $\Phi^I(F)$:

$$x(D) = \exp[0.74 \Phi^{-1}(1 - D/365) + 4.83] \quad (5.1)$$

Per il periodo 1946-2016 la funzione GEV (Jenkinson, 1955) mostra un migliore adattamento per valori di probabilità di non superamento comprese tra 0.99 al 0.999. Per il periodo 1845-1945 i quantili della funzione Lognormale-2 e GEV sono molto simili, ma per probabilità di non superamento maggiori di 0.999 la prima si adatta meglio alle osservazioni empiriche.

Per quanto riguarda i deflussi per i periodi 1946-2016 e 1845-2016 la distribuzione empirica appare abbastanza irregolare, a causa della regolazione, che introduce nella serie un elemento di non-stazionarietà. Inoltre la ciclo-stazionarietà della serie delle portate giornaliere, indotta dal ciclo delle stagioni, suggerisce una certa cautela nell'adottare un'unica distribuzione per questa variabile idrologica. Si è, infatti, riscontrato un miglior adattamento alle portate di durata assegnata adottando una curva di durata di tipo Lognormale, previa standardizzazione degli afflussi medi giornalieri rispetto alla media e alla deviazione standard mensili.

5.2 I livelli idrometrici minimi e massimi al Fortilizio e Malgrate

I valori minimi e massimi annuali dei livelli del lago misurati a Fortilizio e Malgrate, riportati dalla Tabella 8 alla Tabella 11, risentono in modo apprezzabile della discontinuità introdotta a partire dal 1946 dalla sistemazione dell'incile del lago e dalla regolazione ad opera della traversa di Olginate.

Le statistiche dei minimi livelli idrometrici (Tabella 12), risentono della maggiore capacità di scarico del lago, e delle manovre di regolazione alla diga che in regime di magra non sono sempre prevedibili,

dipendendo anche dalla domanda irrigua e idroelettrica di valle. Il risultato evidenziato dalla Fig. 10.19 mostra una diminuzione significativa nel lungo periodo, ma un leggero aumento nei due sottoperiodi. Tale effetto, anomalo solo in apparenza, è dovuto ad una accentuata diminuzione media dei livelli minimi del lago successivamente al 1946, come mostrano le statistiche dei livelli medi e minimi registrati a Malpensata/Malgrate riportate dalla Tabella 12 alla Tabella 19. Questa diminuzione media è anche dovuta alla scelta operata in un breve periodo all'inizio degli anni '80 nel quale è stata concessa, a titolo sperimentale, una deroga al valore minimo della fascia di regolazione, fissato in -0,50 m all'idrometro del Fortilizio nel decreto di concessione del 1942, per valutarne i possibili benefici per gli allagamenti a Como.

Anche i massimi annuali dei livelli idrometrici giornalieri risentono della maggiore capacità di smaltimento, rispetto alle condizioni naturali pre-regolazione (Fig. 3.2), di portate elevate a parità di livelli nel lago, con paratoie completamente sollevate, come avviene durante le piene. Questa condizione ha comportato, come osservato da numerosi autori, la diminuzione dei livelli massimi nel periodo post-regolazione. Ne consegue che qualunque sia la tendenza internamente a ciascun periodo, il trend complessivo è naturale che sia in diminuzione. Le statistiche riportate nella Tabella 20 e nella Tabella 21 confermano questo risultato prevedibile evidenziando una diminuzione molto significativa nel lungo periodo e che comunque accompagna le tendenze in diminuzione già significative dei livelli massimi osservata in ciascun sottoperiodo (Fig. 10.20).

5.3 Le portate di piena dell'Adda

Assumendo, come ipotesi di lavoro, che le serie delle portate massime annuali siano stazionarie, la media dei massimi annuali degli afflussi giornalieri è $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ e la deviazione standard $403 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tabella 24), mentre il massimo è di $2535 \text{ m}^3/\text{s}$ (3 ottobre 1868). La media dei deflussi giornalieri massimi annuali, invece, (ipotizzando trascurabile l'effetto della regolazione operata dalla diga) è $501 \text{ m}^3/\text{s}$ e la deviazione standard $157 \text{ m}^3/\text{s}$; il massimo deflusso è pari a $1061 \text{ m}^3/\text{s}$ (5 ottobre 1868). La maggioranza dei massimi degli afflussi, nel lungo periodo, si verifica nei mesi di settembre e ottobre, nei quali si osserva il 20% dei casi dei massimi annuali, come mostrato nella Fig. 10.21, segue giugno con più del 15%, mentre le massime piene non accadono mai in gennaio, febbraio e marzo. Per i deflussi la maggioranza dei massimi ricade in giugno (più del 30% dei casi), seguono luglio e ottobre.

5.3.1. Analisi dei trend dei massimi

I risultati dell'analisi del trend dei massimi sono mostrati nella Fig. 10.22 che permette il confronto tra gli afflussi e i deflussi giornalieri massimi annuali. Come per gli afflussi medi annuali il trend degli afflussi giornalieri massimi annuali è decrescente nel periodo 1845-1945, crescente dopo il 1946 e decrescente nell'intero periodo 1845-2016. Va però sottolineato come queste tendenze non risultino significative statisticamente con riferimento al prefissato valore $\alpha=0.05$ per nessuno dei tre periodi, con pendenze $TS=-140$, 7 e $-110 \text{ m}^3/\text{s}/\text{secolo}$ rispettivamente (Tabella 25). Il trend dei deflussi giornalieri massimi annuali, invece, risulta decrescente sia nel periodo anteriore che in quello posteriore all'inizio della regolazione; fatto apparentemente singolare, la tendenza è leggermente crescente nell'intero periodo 1845-2016. In nessuno dei tre periodi, tuttavia, le pendenze delle rette di regressione (-96 , -33 e $5 \text{ m}^3/\text{s}/\text{secolo}$, rispettivamente) sono significative statisticamente. Il trend negativo dei deflussi massimi annuali per il periodo post-regolazione risulta attenuato rispetto al periodo pre-regolazione (Fig. 10.23). Citrini (1977) ha studiato l'effetto della regolazione del lago sui deflussi ed ha concluso che le portate erogate in regime regolato sono più elevate rispetto a quelle in regime naturale, a causa dell'incremento intervenuto nella capacità di portata dell'incile e la gestione

più attenta ai livelli massimi del lago per limitare il rischio di allagamenti a Como e gli obiettivi delle utenze di valle (Guariso *et al.*, 1981; Todini, 1999). Questo fatto può costituire una spiegazione della circostanza sopra richiamata. Come è stato già evidenziato precedentemente, la diminuzione degli afflussi massimi annuali nel lungo periodo - anche se non significativa - può essere legata all'effetto di laminazione operato dai serbatoi idroelettrici a monte del lago. L'effetto combinato della laminazione dei serbatoi di monte con l'aumento della capacità di scarico della sezione regolata risulta in una sostanziale stazionarietà dei colmi delle portate massime annuali di deflusso dal lago.

5.3.2. Adattamento di distribuzioni degli afflussi e dei deflussi massimi annuali del lago

Per rappresentare i massimi annuali degli afflussi al lago e dei deflussi si sono utilizzate essenzialmente le seguenti distribuzioni: Lognormale-3, Pareto generalizzata (GPA), GEV, Pearson-III, Gamma e Gumbel. Sono state considerate anche le distribuzioni MG (Majone *et al.*, 2005), valida per periodi di ritorno maggiori di 30 anni, e TCEV (Penta *et al.*, 1978; Rossi e Versace, 1982; Rossi *et al.*, 1984), impiegate in Italia soprattutto per analisi regionali, ambito nel quale anche la GEV trova comunque larga applicazione (De Michele e Rosso, 2001). Per gli afflussi, dall'analisi dei diagrammi degli L-moments e degli andamenti delle distribuzioni sulla carta probabilistica di Gumbel appare che la distribuzione Pearson-III sia la più adeguata, soprattutto per la sua capacità di riprodurre i quantili più alti, ma anche le distribuzioni Lognormale, di Gumbel, Gamma, MG interpretano bene la variabilità dei dati sperimentali (Fig. 10.27).

Il confronto con le distribuzioni TCEV e GEV non ha però evidenziato particolari miglioramenti e a fronte invece della maggiore difficoltà di stima dei parametri della TCEV da effettuare con il metodo della massima verosimiglianza. In effetti, principalmente per gli afflussi del periodo 1845-2016, la GEV e la TCEV danno risultati quasi identici, probabilmente a causa della mancanza di outliers particolarmente significativi, ad eccezione del dato dell'alluvione del 1868.

Sui deflussi massimi annuali agisce, invece, la non stazionarietà dovuta alla regolazione, sebbene i relativi effetti possano essere considerati relativamente modesti in quanto le paratoie durante le piene rimangono aperte. Tuttavia, deve essere evidenziato che la regolazione operata dalla diga ha qualche effetto, soprattutto per valori nella fascia media di portate (da 300 a 600 m³/s) - come risulta anche dall'andamento delle frequenze di non superamento empiriche - mentre l'influenza sulle portate maggiori è trascurabile, come osservato da Moisello e Vullo (2009).

Le distribuzioni che possono interpretare nel modo migliore i deflussi massimi annuali sono, in tutti i tre periodi analizzati, la Lognormale-3, la Pearson-III, e la Gumbel. La GEV è risultata limitata superiormente e per questo è preferibile escluderla. Nell'analisi dei periodi 1845-2016 e 1946-2016 la Lognormale-3 è stata trasformata in una Lognormale-2 senza perdita apprezzabile della qualità dell'adattamento. Si fa notare che sono stati eseguiti i test di migliore adattamento del X^2 e di Kolmogorov-Smirnov, che sono superati per tutte le distribuzioni considerate in corrispondenza di un livello di significatività pari a $\alpha=0.05$.

I quantili delle distribuzioni teoriche sono stati riportati nella Tabella 26 e nella Tabella 27, rispettivamente per i massimi annuali degli afflussi e dei deflussi medi giornalieri.

5.4 Le magre dell'Adda

Nel caso degli afflussi al lago, i minimi annuali e delle portate con durata di 355 giorni sono risultati estremamente bassi. D'altra parte, poiché gli afflussi sono stati ricostruiti a partire dai deflussi e dai livelli del lago tramite l'equazione di continuità, l'incertezza può risultare in queste condizioni di

entità paragonabile a quella dei valori calcolati. Ipotizzando una incertezza di un centimetro nelle misure dei livelli del lago si ottiene, sotto alcune ragionevoli ipotesi semplificative, che l'incertezza nel calcolo degli afflussi sia di circa 24 m³/s. Statistiche su valori di afflusso giornaliero inferiori a questo valore non hanno, quindi, molto significato. Tale considerazione ha suggerito di rinunciare al calcolo degli afflussi minimi annuali e di quelli di durata di 355 giorni, mentre maggiormente significative sono le portate medie di afflusso con durata di 5 o più giorni consecutivi la cui incertezza di stima è dell'ordine di alcuni metri cubi al secondo.

5.4.1. Analisi dei trend dei minimi

L'effetto antropico è più evidente sulle magre che sulle piene poiché in presenza di regolazione il volume d'acqua viene invasato nei periodi di abbondanza e rilasciato nei periodi di necessità o di scarsità idrica. Per cui, sia per gli afflussi che per i deflussi relativi all'intero periodo 1845-2016 e per il periodo pre-regolazione, si osserva un trend crescente e statisticamente significativo per quasi tutti gli indici di magra precedentemente definiti (dalla Tabella 28 alla Tabella 30), come illustrato dalla Fig. 10.24 alla Fig. 10.26.

Per il periodo 1845-1945 i minimi annui dei deflussi medi in 5, 7 e 10 giorni e di durata di 274 e 355 giorni mostrano un trend in aumento, ma non significativo, così come avviene per le magre degli afflussi, con l'eccezione degli afflussi medi in 7 e 5 giorni, in aumento appena significativo.

Nel periodo 1946-2016 i valori minimi annui delle portate di afflusso e deflusso medie in 5, 7 e 10 giorni e di durata di 274 e 355 giorni non mostrano trend apprezzabili, con l'eccezione della tendenza della portata di 274 giorni, crescente e significativa, con pendenza TS di 19 m³/s/secolo.

Sostanzialmente c'è un accordo generale fra i trend calcolati per i diversi indici di magra e fra afflussi e deflussi, sia dal punto di vista del segno che dei rispettivi valori.

5.4.2 Distribuzioni di probabilità per le portate di magra

Per l'analisi dei minimi si sono scelte le distribuzioni Lognormale-3, Weibull-3, Pearson-III (Fugazza e Moisello, 1978; Kotegoda e Natale, 1994), Gamma e Gumbel, il cui adattamento è illustrato nella Fig. 10.28. Quasi tutte le distribuzioni forniscono un adattamento soddisfacente. In generale, la Lognormale-3 (che spesso si riduce ad una Lognormale-2) fornisce i migliori risultati per tutti i casi, con alcune eccezioni, per le quali meglio si presta la distribuzione Gamma. In tanti casi la distribuzione Pearson-III si riduce ad una Gamma. Per i minimi annuali dei deflussi medi in 5, 7 e 10 giorni consecutivi ma anche per i deflussi annuali di 355 giorni la distribuzione di Gumbel può sostituire quella Lognormale con 2 o 3 parametri.

I quantili delle distribuzioni teoriche per alcuni indici di magra, tanto degli afflussi che dei deflussi, sono stati riportati dalla Tabella 34 alla Tabella 37 e i parametri delle distribuzioni sono riportati nella Tabella 38. Per i valori dei quantili sia degli afflussi che dei deflussi di magra si osserva un notevole aumento nel periodo 1946-2016, dopo la realizzazione dei serbatoi alpini e l'entrata in funzione della traversa di Olginate, come osservato in precedenza. Si sottolinea che sono stati eseguiti i test di migliore adattamento del χ^2 e di Kolmogorov-Smirnov, che risultano superati con un livello di significatività pari a $\alpha=0.05$ da tutte le distribuzioni considerate (salvo qualche raro caso).

Ulteriori analisi statistiche di dettaglio non riportate in questa memoria sono consultabili in un rapporto tecnico a disposizione del Consorzio dell'Adda.

6. Conclusioni

La ricostruzione della serie dei livelli idrometrici, degli afflussi e deflussi giornalieri del lago di Como in un periodo di 172 anni, resa possibile dal reperimento di un annuario delle effemeridi del lago di Como all'idrometro del Fortilizio di Lecco, 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. Questa diminuzione, che sarebbe stata addirittura del 9% in assenza del volume di 90 milioni di metri cubi derivati annualmente dal bacino dello Spöl a partire dal 1962, visto il calo meno significativo degli afflussi meteorici nel bacino dell'Adda prelacuale, 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 leggera 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. 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 che in passato della risorsa idrica annuale disponibile, pur diminuita complessivamente.

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. La gestione della diga di Olginate si è andata perfezionando nel tempo, permettendo di rispettare con sempre maggior scrupolo i limiti della fascia di regolazione. 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 una tabella predisposta seguendo gli standard degli Annali Idrologici e riportata come ultima tabella nell'Allegato A

raccoglie le informazioni essenziali sulla fisiografia del bacino dell'Adda, sui deflussi minimi, massimi e medi giornalieri mensili, gli afflussi meteorici, gli afflussi e i deflussi medi mensili, oltre alla curva di durata delle portate ed alle scale di deflusso in forma tabellare.

La distribuzione delle portate giornaliere nell'arco dell'anno rende manifesto un appiattimento della curva di durata delle portate dal periodo pre-regolazione a quello in regime regolato. La funzione Lognormale può essere adottata per interpolare in modo conveniente le curve di durata delle portate.

Alcuni benefici della regolazione grazie agli invasi prelacuali e la gestione della diga di Olginate si fanno risentire nella modulazione degli afflussi e dei deflussi massimi annuali. I primi mostrano una diminuzione nell'arco del periodo di osservazione, mentre i secondi sono rimasti pressoché costanti dal 1845 al 2016 per effetto di una diminuzione dei livelli medi lacuali compensata dalla maggiore capacità di scarico dell'incile ricalibrato durante i lavori degli anni '40.

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.

Per le magre la funzione di distribuzione Lognormale e Gamma sono quelle che meglio interpretano le osservazioni.

Dall'analisi dei dati elaborati ne consegue che 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. Tuttavia la diminuzione, messa in evidenza dallo studio, dei volumi di afflusso al lago, causata probabilmente sia da cause naturali che antropiche, 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.

7. Ringraziamenti

Si ringraziano i tecnici ed il personale del Consorzio dell'Adda per i dati raccolti con continuità, che hanno permesso di effettuare le analisi qui esposte. L'ing. Galeati aveva fornito al primo autore una copia degli annuari delle antiche osservazioni all'idrometro del Fortilizio conservati in archivi dell'ex ENEL CRIS di Mestre in fase di dismissione: questo dono prezioso ha stimolato lo sviluppo di questa ricerca, iniziata con una tesi di laurea magistrale svolta all'Università di Brescia da Federica Goatelli e poi perfezionata da Camilla Castioni. Dati idrometrici del periodo antecedente la regolazione sono stati forniti anche dall'ARPA Lombardia che si ringrazia. Per l'analisi statistica sono stati utilizzati il software R (R Core Team, 2017) e i seguenti pacchetti: hydroTSM (Zambrano-Bigiarini, 2017), lfstat (Koffler *et al.*, 2016) lmomco (Asquith, 2017), modifiedmk (Patakamuri, 2017).

8. Bibliografia citata

- Asquith, W.H. (2017), *lmomco-L-moments, censored L-moments, trimmed L-moments, L-comoments, and many distributions*, R package ver. 2.2.9, Texas Tech University, Lubbock, Texas.
- Auer, I, Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schoener, W., Ungersboeck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J-M., Begert, M., Mueller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z., Nieplova, E. (2007), HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27:17–46.
- Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G.T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., Harrigan, S., Kireeva, M., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kohnová, S., Koskela, J.J., Ledvinka, O., Macdonald, N., Mavrova-Guirguinova, M., Mediero, L., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Murphy, C., Osuch, M., Ovcharuk, V., Radevski, I., Rogger, M., Salinas, J.L., Sauquet, E., Šraj, M., Szolgay, J., Viglione, A., Volpi, E., Wilson, D., Zaimi, K., Živković, N. (2017), Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), 588-590.
- Blum, A.G., Archfield, S.A. and Vogel R.M. (2017), On the probability distribution of daily streamflow in the United States, *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 3093-3103.
- Bocchiola, D., Soncini, A., Diolaiuti, G., Smiraglia, C., Mauro, V., Franzini C., Meinardi, A. (2018), Idrostelvio: un network idrometrico per il Parco dello Stelvio Lombardo 2011-2015, *L'Acqua*, 4, 45-58.
- Brunetti, M., Lentini, G., Maugeri, M., Nanni, T., Auer, I., Böhm, R., Schöner, W. (2009), Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis. *International Journal of Climatology*, 29(15):2197–2225.
- Caloi, P., Spadea, M.C. (1958), *Le sesse del lago di Como. Parte I*. *Annals of Geophysics*, 11(3-4), 191-198.
- Castellarin, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A., Brath, A. (2004), Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins, *Advances in Water Resources*, 27, 953–965.
- Citrini, D. (1977), *Le piene del Lario e dell'Adda nel regime regolato*, Milano, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 10.
- Claps, P., Fiorentino, M. (1997), Probabilistic flow duration curves for use in environmental planning and management. In: *Integrated approach to environmental data management systems*, pp. 255-266, Springer, Dordrecht.
- Consorzio dell'Adda (1958), *La regolazione del Lago di Como nel primo decennio di esercizio 1946-1955*, Milano
- Crespi, A., Brunetti, M., Maugeri, M., Ranzi, R., Tomirotti, M. (2018), 1845–2016 gridded dataset of monthly precipitation over the upper Adda river basin: a comparison with runoff series. *Advances in Science and Research*, 15, 173-181.

- De Marchi, G. (1920), Sul regime idraulico dei laghi ed, in particolare, di quello del Garda, *Giornale del Genio Civile*, 48(2).
- De Marchi, G. (1970), La regolazione del lago di Como nei sei anni dal 1963 al 1968, Milano, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 8.
- De Michele, C., Rosso, R. (2001), Uncertainty assessment of regionalized flood frequency estimates, *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(6), 453-459.
- 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.
- Fugazza, M., Moisello, U. (1978), Portate di magra del Fiume Po, *L'Energia Elettrica*, 7-8, 340-350.
- Goatelli, F. (2015), Analisi delle serie idrometriche dell'Adda a Lecco dal 1845 al 2014 nel contesto della variabilità climatica, Tesi di laurea, Brescia.
- 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.
- Hollander, M., Wolfe, D.A., Chicken, E. (2014), *Nonparametric Statistical Methods*, 3a Edizione. Wiley & Sons, New York, USA.
- Hosking, J.R.M. (1990), L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 52(1), 105-124.
- IPCC (2013), Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jenkinson, A. F. (1955), The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) value of meteorological elements, *Q. J. Royal Meteorol. Soc.*, Vol. 81, 157-171.
- Kendall M.G. (1970), Rank correlation methods. 4th Edition. Griffin, London.
- Koffler, D., Gauster, T., Laaha, G. (2016), *lfstat: Calculation of Low Flow Statistics for Daily Stream Flow Data*. R package version 0.9.4. <https://CRAN.R-project.org/package=lfstat>
- Kottegoda, N.T., Natale L. (1994), Two-component log-normal distribution of irrigation-affected low flows, *Journal of Hydrology*, 158, 187-199.
- Kottegoda, N.T., Rosso, R. (1997), *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, McGraw-Hill.

- Lombardini, E. (1866), *Della natura dei laghi e delle opere intese a regolare l'efflusso*, Milano, Tipografia degli ingegneri.
- Majone, U., Mignosa, P., Tomirotti, M. (2005), Sulla stima delle piene di progetto, *L'Acqua*, 4, 25-44.
- 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. 13, Milano.
- Milly, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., e Stouffer, R. J. (2008), Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319(5863), 573-574.
- 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.
- Montanari, A., Koutsoyiannis, D. (2014), Modeling and mitigating natural hazards: Stationarity is immortal!. *Water Resources Research*, 50(12), 9748-9756.
- Nonnis, A. (1959), *La regolazione del lago di Como e il Consorzio dell'Adda*, Milano, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 1, 642 p.
- Patakamuri, S.K. (2017), modifiedmk: Modified Mann Kendall Trend Tests. R package version 0.1.1., <https://CRAN.R-project.org/package=modifiedmk>
- Penta, A., Silvagni, G., Versace P. (1978), *Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena*, Atti dell'incontro di studio "Estremi idrologici e modelli di previsione", Perugia.
- Pieri, G. (1958), *La regolazione del lago di Como nel primo decennio di esercizio 1946-1955*, Milano, Consorzio dell'Adda, Pubblicazione n. 2, 142 p.
- R Core Team (2017), *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>.
- Ranzi, R., Tomirotti, M., Goatelli, F., Brunetti, M., Crespi, A., and Maugeri, M. (2016), *Analisi delle tendenze di lungo termine nel regime degli afflussi meteorici e dei deflussi dell'Adda a Lecco (1845-2014)*. IDRA2016 - Atti del XXXV Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 14-16 Settembre 2016, Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Scuola di Ingegneria e Architettura Università di Bologna, 379-382.
- Ranzi, R., Caronna, P., Tomirotti, M. (2017), *Impact of climatic and land use changes on riverflows in the Southern Alps*, Sustainable water resources planning and management under climate change, edito da E. Kolokytha, S. Oishi, R.S.V. Teegavarapu, Springer, Singapore, pp. 61-83.
- Ranzi, R., Bacchi, B., Tomirotti, M., Castioni, C., Brunetti, M., Crespi, A., Maugeri, M. (2018), *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.

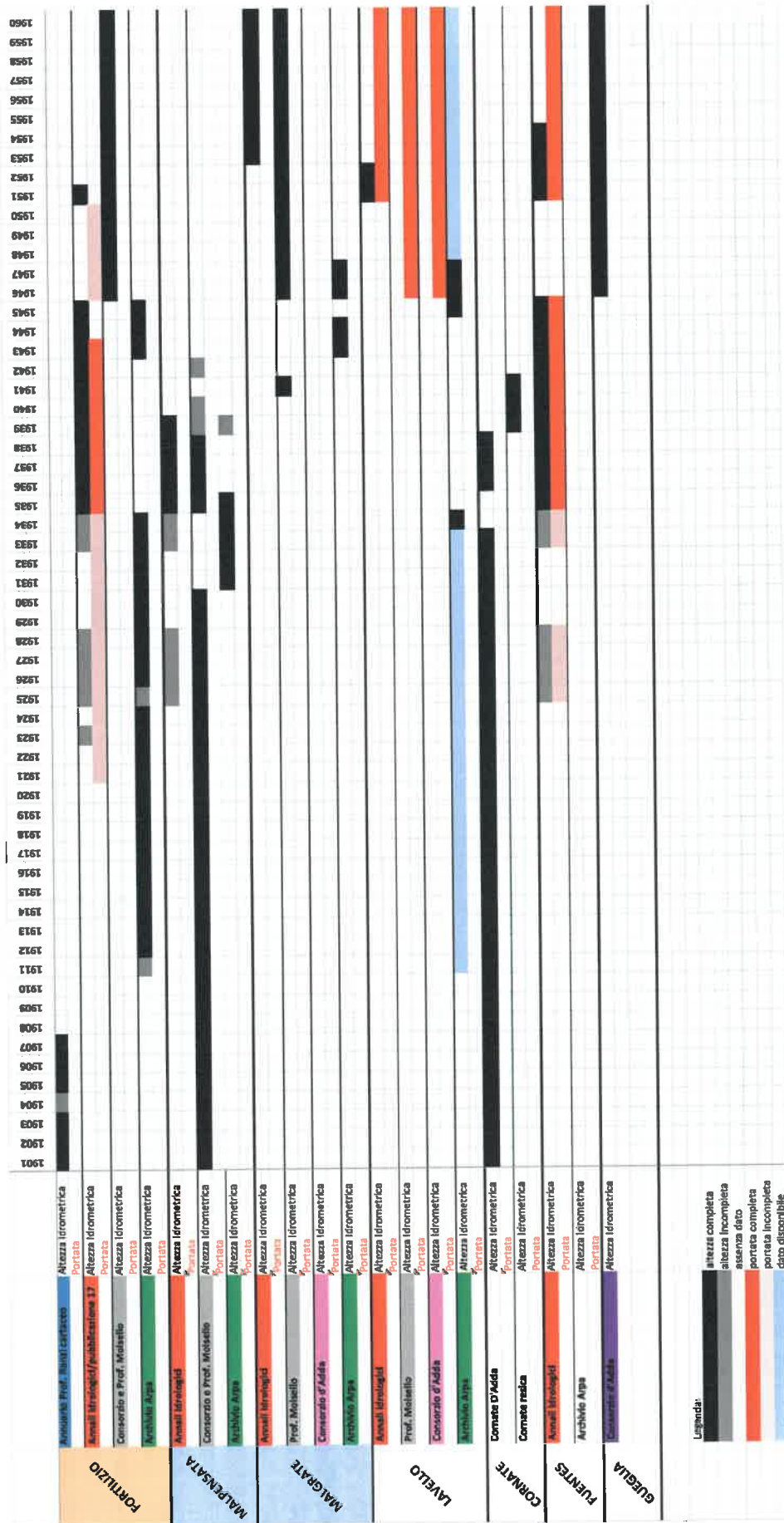
- Regione Lombardia (1999), *Disponibilità ed ottimizzazione nell'uso della risorsa idrica: parametri per lo sfruttamento idroelettrico*, Quaderni Regionali di Ricerca n. 33, Milano.
- Regione Lombardia (2006), *Programma di Tutela e Uso delle Acque*, Allegato 2 alla Relazione Generale, Milano.
- Rossi, F., Versace, P. (1982), *Criteri e metodi per l'analisi statistica delle piene*, CNR-P.F. conservazione del suolo, n. 165, 63-130.
- Rossi, F., Fiorentino, M., Versace, P. (1984), *Two component extreme value distribution for flood frequency analysis*, *Water Resour. Res.*, 20(7), 847-856.
- Sen, P.K. (1968), *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
- Soncini Sessa R. (2004), *Pianificazione e gestione delle risorse idriche. MODSS per decisioni integrate e partecipate*, McGraw-Hill, Milano.
- Su, L., Miao, C., Kong, D., Duan, Q., Lei, X., Hou, Q., Li, H. (2018), *Long-term trends in global river flow and the causal relationships between river flow and ocean signals*. *Journal of Hydrology*, 563, 818-833.
- Theil, H. (1950a), *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I*. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Series A*, 53, 386-392.
- Theil, H. (1950b), *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, II*. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Series A*, 53, 521-525.
- Theil, H. (1950c), *A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, III*. *Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen Series A*, 53, 1397-1412.
- Todini, E. (1999), *Using phase-space modelling for inferring forecasting uncertainty in non-linear stochastic decision schemes*, *Journal of Hydroinformatics*, 1(2), 75-82.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M. (1993), *L moment Diagrams should replace product moment diagrams*, *Water Resour. Res.*, 29, 1745-1752.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M. (1995), *Flow Duration Curves II*, *Water Resour. Bull.*, 31, 1029-1039.
- Zambrano-Bigiarini, M. (2017), *hydroTSM: Time Series Management, Analysis and Interpolation for Hydrological Modelling*, R package version 0.5-1.
- Zanchettin, D., Traverso, P. e Tomasino, M. (2008a). *Po River discharge: a preliminary analysis of a 200-year time series*, *Climatic Change*, 88(3), 411-433.
- Zanchettin, D., Rubino, A., Traverso, P., e Tomasino, M. (2008b). *Impact of variations in solar activity on hydrological decadal pattern in Northern Italy*, *Journal of Geophysical Research*, 113, D12102.
- Zolezzi, G., Bellin, A., Bruno, M.C., Maiolini, B., e Siviglia, A. (2009), *Assessing hydrological alterations at multiple temporal scales: Adige River, Italy*. *Water Resources Research* 45(12): W12421-1-W12421-15.

9. Appendice A: Tabelle

Tabella di consistenza dei dati idrometrici disponibili

Località	Fonte	Periodo	Consistenza
FORTULIZIO	Annuario Ingeg. Anni 1845-1850	1845-1850	Altezza idrometrica
	Portata	1845-1850	Portata
	Annali Idrometrici/pubblicazione 17	1851-1859	Altezza idrometrica
	Portata	1851-1859	Portata
	Consorzio a Prof. Molisello	1860-1869	Altezza idrometrica
	Portata	1860-1869	Portata
	Archivio Arpa	1870-1879	Altezza idrometrica
	Portata	1870-1879	Portata
	Annali Idrometrici	1880-1889	Altezza idrometrica
	Portata	1880-1889	Portata
MALPENSATA	Consorzio a Prof. Molisello	1890-1899	Altezza idrometrica
	Portata	1890-1899	Portata
	Archivio Arpa	1900-1909	Altezza idrometrica
	Portata	1900-1909	Portata
	Annali Idrometrici	1910-1919	Altezza idrometrica
	Portata	1910-1919	Portata
	Prof. Molisello	1920-1929	Altezza idrometrica
	Portata	1920-1929	Portata
	Consorzio d'Adda	1930-1939	Altezza idrometrica
	Portata	1930-1939	Portata
MARGATE	Archivio Arpa	1940-1949	Altezza idrometrica
	Portata	1940-1949	Portata
	Annali Idrometrici	1950-1959	Altezza idrometrica
	Portata	1950-1959	Portata
	Prof. Molisello	1960-1969	Altezza idrometrica
	Portata	1960-1969	Portata
	Consorzio d'Adda	1970-1979	Altezza idrometrica
	Portata	1970-1979	Portata
	Annali Idrometrici	1980-1989	Altezza idrometrica
	Portata	1980-1989	Portata
LAVELLO	Prof. Molisello	1990-1999	Altezza idrometrica
	Portata	1990-1999	Portata
	Consorzio d'Adda	2000-2009	Altezza idrometrica
	Portata	2000-2009	Portata
	Archivio Arpa	2010-2019	Altezza idrometrica
	Portata	2010-2019	Portata
	Annali Idrometrici	2020-2029	Altezza idrometrica
	Portata	2020-2029	Portata
	Consorzio d'Adda	2030-2039	Altezza idrometrica
	Portata	2030-2039	Portata
CORNATE	Comasè D'Adda	2040-2049	Altezza idrometrica
	Portata	2040-2049	Portata
	Comasè resica	2050-2059	Altezza idrometrica
	Portata	2050-2059	Portata
	Annali Idrometrici	2060-2069	Altezza idrometrica
	Portata	2060-2069	Portata
	Archivio Arpa	2070-2079	Altezza idrometrica
	Portata	2070-2079	Portata
	Consorzio d'Adda	2080-2089	Altezza idrometrica
	Portata	2080-2089	Portata
FIENTES	Archivio Arpa	2090-2099	Altezza idrometrica
	Portata	2090-2099	Portata
	Consorzio d'Adda	2100-2109	Altezza idrometrica
	Portata	2100-2109	Portata
	Annali Idrometrici	2110-2119	Altezza idrometrica
	Portata	2110-2119	Portata
	Archivio Arpa	2120-2129	Altezza idrometrica
	Portata	2120-2129	Portata
	Consorzio d'Adda	2130-2139	Altezza idrometrica
	Portata	2130-2139	Portata
GUGLIA	Consorzio d'Adda	2140-2149	Altezza idrometrica
	Portata	2140-2149	Portata
	Annali Idrometrici	2150-2159	Altezza idrometrica
	Portata	2150-2159	Portata
	Archivio Arpa	2160-2169	Altezza idrometrica
	Portata	2160-2169	Portata
	Consorzio d'Adda	2170-2179	Altezza idrometrica
	Portata	2170-2179	Portata
	Annali Idrometrici	2180-2189	Altezza idrometrica
	Portata	2180-2189	Portata

Legenda:
 Altezza completa
 Altezza incompleta
 Assenza dato
 Portata completa
 Portata incompleta
 Dato disponibile



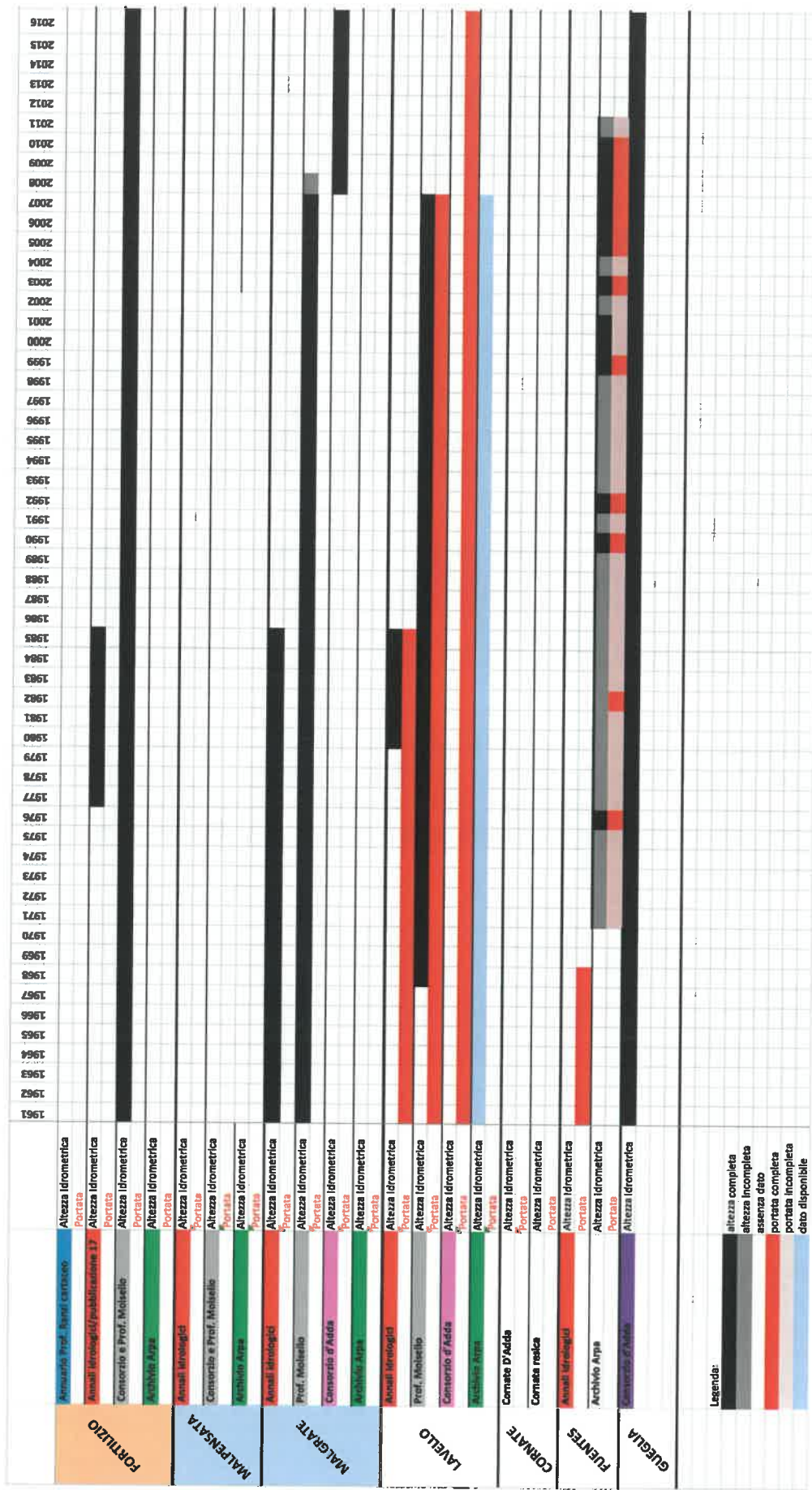


Tabella 1. Coordinate (WGS84) delle stazioni al lago di Como.

	Nord	Est
Malgrate	45°51'19"	9°22'28"
Fortilizio	45°50'52,81"	9°23'34,81"
Garlate	45°49'27,19"	9°23'44,54"
Olginate monte	45°48'21,91"	9°24'51,10"
Olginate valle	45°48'13,69"	9°24'54,47"
Lavello	45°47'22"	9°25'48"
Lavello vecchio	45°47'5,06"	9°26'2,97"
Malpensata	45°51'31,76"	9°23'5,79"

Tabella 2. Valori di portata e di altezza idrometrica rispetto allo zero del limnometro di Malgrate (197,37 m s.l.m.m.) per la piena ordinaria. La quota del limite della zona demaniale dei laghi di Como e di Mezzola è stata fissata a 199,19 m s.l.m.m. con Decreto del Min. LL.PP. n. 1377 del 17.9.1959 pubblicato sulla G.U. n° 258 del 26.10.1959.

	1845-1945	1946-2016	1845-2016
Q_{ord} (m³/s)	1243.2	1249.2	1248.6
h_{ord} (m)	2.42	1.87	2.16
h_{ord} (m s.l.m.m.)	199.79	199.24	199.53

Tabella 3. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi delle portate medie giornaliere di afflusso e di deflusso dal lago di Como per i periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016. Tra parentesi i valori medi delle portate di afflusso e deflusso che si ottengono sottraendo il volume annuale di 90 milioni di metri cubi di concessione per la derivazione dalla gronda dello Spöl.

	Afflussi			Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	62822	36889	25933	62822	36889	25933
μ (m³/s)	165.3 (164.5)	170.8	157.5 (155.4)	165.3 (164.5)	170.8	157.5 (155.4)
σ (m³/s)	141.1	149.8	127.4	109.7	115.9	99.6
CV (-)	0.85	0.88	0.81	0.66	0.68	0.63
γ (-)	3.2	2.9	3.7	1.6	1.2	2.2
κ (-)	19.8	17.6	23.9	3.4	2.0	6.9

Tabella 4. Afflussi annuali (mm) al Lago di Como. Dall'anno 1963 compreso sono stati sottratti dagli afflussi calcolati 20 mm di deflusso annuale corrispondenti alla derivazione dal Torrente Spöl.

Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)
1845	1600	1891	1293	1937	1469	1983	1180
1846	1480	1892	1267	1938	929	1984	1058
1847	1242	1893	679	1939	1577	1985	1119
1848	1565	1894	882	1940	1028	1986	1208
1849	1156	1895	924	1941	1206	1987	1284
1850	1210	1896	1245	1942	888	1988	1115
1851	1670	1897	1211	1943	890	1989	919
1852	1267	1898	1257	1944	924	1990	809
1853	1375	1899	824	1945	777	1991	980
1854	1091	1900	1091	1946	1135	1992	1137
1855	1616	1901	1357	1947	1023	1993	1251
1856	1653	1902	1123	1948	1088	1994	1173
1857	1003	1903	1196	1949	704	1995	828
1858	956	1904	1080	1950	1012	1996	1046
1859	1040	1905	1162	1951	1749	1997	1042
1860	1494	1906	856	1952	1132	1998	1066
1861	1148	1907	983	1953	958	1999	1192
1862	1270	1908	977	1954	1066	2000	1457
1863	1516	1909	863	1955	885	2001	1423
1864	1106	1910	1216	1956	978	2002	1184
1865	1087	1911	1302	1957	1009	2003	780
1866	1264	1912	1276	1958	1101	2004	869
1867	1162	1913	1210	1959	963	2005	581
1868	1374	1914	1221	1960	1777	2006	741
1869	1111	1915	1144	1961	1069	2007	728
1870	729	1916	1428	1962	786	2008	1326
1871	958	1917	1470	1963	1310	2009	1141
1872	1822	1918	1121	1964	897	2010	1268
1873	1492	1919	1029	1965	1084	2011	1086
1874	930	1920	1574	1966	1120	2012	1028
1875	960	1921	683	1967	1129	2013	1160
1876	1270	1922	982	1968	1245	2014	1641
1877	1302	1923	1202	1969	920	2015	997
1878	1325	1924	1143	1970	926	2016	1036
1879	1438	1925	1194	1971	1001		
1880	1085	1926	1632	1972	978		
1881	916	1927	1457	1973	838		
1882	1261	1928	1477	1974	853		
1883	1166	1929	988	1975	1168		
1884	761	1930	1154	1976	1136		
1885	1210	1931	1143	1977	1754		
1886	1083	1932	1074	1978	1115		
1887	1186	1933	1012	1979	1287		
1888	1764	1934	1275	1980	974		
1889	1301	1935	1378	1981	1086		
1890	1249	1936	1363	1982	1070		

Tabella 5. Deflussi annuali (mm) al Lago di Como. Dall'anno 1963 compreso sono stati sottratti dai deflussi calcolati 20 mm di deflusso annuale corrispondenti alla derivazione dal Torrente Spöl.

Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)	Anno	Q (mm)
1845	1611	1891	1280	1937	1459	1983	1217
1846	1476	1892	1277	1938	932	1984	1038
1847	1251	1893	677	1939	1565	1985	1132
1848	1559	1894	886	1940	1027	1986	1212
1849	1160	1895	921	1941	1213	1987	1260
1850	1202	1896	1233	1942	873	1988	1124
1851	1672	1897	1225	1943	896	1989	911
1852	1258	1898	1248	1944	886	1990	796
1853	1386	1899	837	1945	825	1991	997
1854	1088	1900	1081	1946	1151	1992	1130
1855	1615	1901	1351	1947	1033	1993	1246
1856	1656	1902	1132	1948	1078	1994	1183
1857	1006	1903	1190	1949	695	1995	836
1858	954	1904	1088	1950	1010	1996	1031
1859	1040	1905	1158	1951	1742	1997	1051
1860	1484	1906	857	1952	1157	1998	1075
1861	1161	1907	978	1953	954	1999	1184
1862	1265	1908	987	1954	1049	2000	1433
1863	1517	1909	846	1955	923	2001	1458
1864	1102	1910	1210	1956	967	2002	1152
1865	1085	1911	1305	1957	980	2003	797
1866	1279	1912	1287	1958	1099	2004	875
1867	1148	1913	1209	1959	964	2005	592
1868	1365	1914	1215	1960	1777	2006	717
1869	1117	1915	1147	1961	1080	2007	748
1870	731	1916	1418	1962	817	2008	1296
1871	965	1917	1487	1963	1267	2009	1142
1872	1774	1918	1118	1964	929	2010	1266
1873	1522	1919	1027	1965	1073	2011	1106
1874	932	1920	1572	1966	1108	2012	1020
1875	964	1921	699	1967	1134	2013	1148
1876	1262	1922	952	1968	1243	2014	1647
1877	1308	1923	1210	1969	925	2015	1026
1878	1311	1924	1150	1970	933	2016	1021
1879	1455	1925	1192	1971	1015		
1880	1071	1926	1627	1972	981		
1881	919	1927	1453	1973	823		
1882	1256	1928	1483	1974	852		
1883	1176	1929	984	1975	1163		
1884	768	1930	1161	1976	1130		
1885	1201	1931	1147	1977	1773		
1886	1058	1932	1074	1978	1129		
1887	1211	1933	1009	1979	1255		
1888	1760	1934	1272	1980	990		
1889	1305	1935	1356	1981	1084		
1890	1258	1936	1397	1982	1062		

Tabella 6. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi degli afflussi e deflussi annuali (mm) relativi al Lago di Como per i tre periodi. Tra parentesi i valori che si ottengono sottraendo il volume annuale di 90 milioni di metri cubi di concessione per la derivazione dalla gronda dello Spöl.

	Afflussi			Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (mm)	1157 (1151)	1196	1102 (1088)	1157 (1151)	1196	1103 (1088)
σ (mm)	241	243	230	240	241	228
CV (-)	0.21	0.20	0.21	0.21	0.20	0.21
γ (-)	0.47	0.21	0.89	0.48	0.20	0.94
κ (-)	0.14	-0.30	1.49	0.13	-0.41	1.69

Tabella 7. Valori della variabile Z_{MK} di Mann-Kendall, pendenza di Theil-Sen e valore-p del trend per i periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016 degli afflussi meteorici, degli afflussi annuali e del coefficiente di deflusso (sottraendo il volume di derivazione dal T. Spöl); i trend significativi (con livello di significatività di 5 %) sono evidenziati in grassetto.

		Z_{MK}	Theil-Sen (mm a ⁻¹)	valore-p
Afflussi meteorici	1845-1945	-1.07	-0.89	0.29
	1946-2016	0.55	0.82	0.59
	1845-2016	-1.25	-0.49	0.21
Afflussi	1845-1945	-2.13	-1.83	0.03
	1946-2016	0.68	0.78	0.49
	1845-2016	-3.61	-1.29	0.00
			(a ⁻¹)	
Coeff. di deflusso (-)	1845-1945	-1.95	-0.0006	0.05
	1946-2016	-0.59	-0.0003	0.56
	1845-2016	-4.60	-0.0007	0.00

Tabella 8. Massimi annui delle altezze idrometriche giornaliere alla stazione del Fortilizio di Lecco.

Anno	Altezza massima a Fortilizio (m)	Data	Anno	Altezza massima a Fortilizio (m)	Data	Anno	Altezza massima a Fortilizio (m)	Data	Anno	Altezza massima a Fortilizio (m)	Data
1845	2.12	24/06	1888	3.40	13/09	1931	1.31	01/06	1974	1.14	18/07
1846	2.22	20/05	1889	2.15	01/11	1932	1.44	23/06	1975	1.14	16/06
1847	1.76	31/05	1890	2.06	14/07	1933	1.35	26/06	1976	2.29	05/10
1848	2.16	10/06	1891	1.78	24/08	1934	1.49	02/09	1977	1.66	01/09
1849	2.12	18/06	1892	1.98	16/10	1935	1.93	07/10	1978	1.18	07/07
1850	1.82	26/08	1893	1.22	08/10	1936	2.16	12/07	1979	2.29	18/10
1851	2.67	05/10	1894	1.01	17/07	1937	1.84	22/09	1980	1.69	10/07
1852	1.85	14/08	1895	1.01	09/06	1938	1.40	15/06	1981	1.47	28/05
1853	2.13	17/07	1896	2.29	25/10	1939	2.11	07/08	1982	1.16	13/06
1854	1.85	10/07	1897	1.67	21/09	1940	1.52	10/07	1983	1.80	24/05
1855	3.36	17/06	1898	2.12	29/06	1941	1.90	14/06	1984	1.10	14/07
1856	2.26	02/06	1899	0.93	04/07	1942	1.50	29/09	1985	1.05	03/07
1857	1.33	27/10	1900	1.87	28/08	1943	1.00	30/09	1986	1.11	30/05
1858	1.03	31/07	1901	2.76	17/06	1944	1.25	15/11	1987	2.29	21/07
1859	1.34	12/06	1902	1.29	17/06	1945	1.27	23/12	1988	1.15	15/10
1860	2.24	03/10	1903	1.35	07/07	1946	1.44	24/06	1989	1.13	23/06
1861	1.75	09/07	1904	1.53	12/06	1947	1.24	19/04	1990	1.19	06/06
1862	2.48	08/09	1905	1.67	30/08	1948	1.58	21/06	1991	1.14	02/10
1863	2.34	13/06	1906	1.47	10/11	1949	1.26	04/06	1992	1.02	05/07
1864	1.57	29/10	1907	1.8	19/10	1950	1.26	17/06	1993	2.33	15/10
1865	1.49	04/08	1908	1.34	21/07	1951	1.84	22/11	1994	0.97	07/07
1866	1.76	07/07	1909	0.87	11/07	1952	1.45	19/06	1995	0.98	02/07
1867	1.18	23/09	1910	1.65	28/06	1953	1.78	29/10	1996	1.06	16/11
1868	3.67	06/10	1911	1.75	10/10	1954	1.39	24/08	1997	2.06	01/07
1869	1.59	23/05	1912	1.8	09/08	1955	1.44	11/06	1998	0.87	04/07
1870	0.65	11/08	1913	1.32	07/06	1956	1.48	04/09	1999	1.19	27/10
1871	1.36	21/06	1914	1.35	02/11	1957	1.68	26/06	2000	1.83	18/11
1872	2.10	23/05	1915	1.55	01/06	1958	1.46	29/05	2001	1.22	12/06
1873	1.93	15/07	1916	1.61	05/06	1959	1.32	30/05	2002	2.31	28/11
1874	1.19	16/08	1917	2.46	01/06	1960	2.14	21/09	2003	0.65	01/01
1875	1.83	27/06	1918	1.24	19/06	1961	1.42	10/06	2004	0.69	03/11
1876	1.76	27/06	1919	1.02	10/07	1962	1.27	20/06	2005	0.45	04/06
1877	2.12	18/07	1920	2.53	25/09	1963	2.04	07/11	2006	0.78	25/05
1878	1.50	01/12	1921	0.84	30/05	1964	1.31	04/06	2007	0.96	12/06
1879	2.29	03/07	1922	1.16	13/09	1965	1.87	04/09	2008	1.37	15/07
1880	1.28	18/09	1923	1.85	29/10	1966	1.47	05/11	2009	0.90	08/07
1881	0.86	29/06	1924	1.29	28/05	1967	1.40	04/07	2010	0.98	14/05
1882	2.47	21/09	1925	1.34	14/06	1968	1.64	17/09	2011	0.94	18/06
1883	1.60	23/07	1926	2.54	23/11	1969	1.45	25/06	2012	0.99	10/06
1884	0.91	09/06	1927	1.75	27/09	1970	1.28	27/06	2013	0.95	17/06
1885	2.46	29/09	1928	2.73	03/11	1971	1.36	25/06	2014	1.27	16/11
1886	1.63	13/11	1929	1.01	15/06	1972	1.36	13/06	2015	0.88	19/06
1887	1.36	18/06	1930	1.38	30/06	1973	1.41	19/07	2016	1.19	18/06

Tabella 9. Massimi annui delle altezze idrometriche giornaliere alla stazione di Malpensata/Malgrate.

Anno	Altezza massima a Malpensata-Malgrate (m)	Data	Anno	Altezza massima (cont.)	Data	Anno	Altezza massima (cont.)	Data	Anno	Altezza massima (cont.)	Data
1845	2.40	24/06	1888	3.82	13/09	1931	1.60	01/06	1974	1.21	07/07
1846	2.44	20/05	1889	2.55	01/11	1932	1.73	23/06	1975	1.31	18/06
1847	1.94	31/05	1890	2.44	14/07	1933	1.65	27/06	1976	2.60	05/10
1848	2.29	10/06	1891	2.11	24/08	1934	1.80	02/09	1977	1.93	01/09
1849	2.36	18/06	1892	2.31	16/10	1935	2.32	08/10	1978	1.45	06/07
1850	2.01	26/08	1893	1.52	08/10	1936	2.55	12/07	1979	2.62	18/10
1851	3.01	05/10	1894	1.28	17/07	1937	2.16	22/09	1980	1.98	10/07
1852	2.09	14/08	1895	1.29	09/06	1938	1.70	14/06	1981	1.73	28/05
1853	2.42	17/07	1896	2.66	25/10	1939	2.46	07/08	1982	1.41	13/06
1854	2.10	10/07	1897	2.00	21/09	1940	1.80	10/07	1983	2.10	24/05
1855	3.58	18/06	1898	2.47	29/06	1941	2.24	14/06	1984	1.18	14/07
1856	2.57	07/06	1899	1.18	04/07	1942	1.78	29/09	1985	1.22	08/06
1857	1.54	27/10	1900	2.23	28/08	1943	1.22	30/09	1986	1.38	30/05
1858	1.24	31/07	1901	3.16	17/06	1944	1.49	12/10	1987	2.64	21/07
1859	1.60	12/06	1902	1.59	16/06	1945	1.53	23/12	1988	1.40	15/10
1860	2.54	03/10	1903	1.64	07/07	1946	1.99	24/06	1989	1.18	23/06
1861	2.05	09/07	1904	1.81	12/06	1947	1.41	10/07	1990	1.34	07/06
1862	2.74	08/09	1905	2.00	30/08	1948	2.05	21/06	1991	1.38	01/10
1863	2.69	13/06	1906	1.79	10/11	1949	1.36	03/06	1992	1.17	05/07
1864	1.87	28/10	1907	2.15	19/10	1950	1.43	27/05	1993	2.64	15/10
1865	1.79	04/08	1908	1.60	21/07	1951	2.09	13/11	1994	1.16	16/09
1866	2.09	07/07	1909	1.10	11/07	1952	1.67	27/10	1995	1.14	04/07
1867	1.41	06/06	1910	1.94	28/06	1953	2.03	30/10	1996	1.31	16/11
1868	4.01	06/10	1911	2.11	10/10	1954	1.53	12/06	1997	2.34	01/07
1869	1.90	01/06	1912	2.12	08/08	1955	1.56	11/06	1998	1.06	09/06
1870	0.86	11/08	1913	1.58	07/06	1956	1.78	04/09	1999	1.43	27/10
1871	1.89	21/06	1914	1.53	02/11	1957	2.00	26/06	2000	2.09	18/11
1872	2.52	24/05	1915	1.86	01/06	1958	1.59	30/05	2001	1.50	12/06
1873	2.24	15/07	1916	1.94	05/06	1959	1.39	30/05	2002	2.62	28/11
1874	1.44	17/08	1917	2.86	01/06	1960	2.41	21/09	2003	0.69	01/01
1875	2.03	25/06	1918	1.58	19/06	1961	1.59	28/06	2004	0.93	03/11
1876	2.09	12/06	1919	1.30	10/07	1962	1.36	21/06	2005	0.50	04/06
1877	2.47	18/07	1920	2.93	25/09	1963	2.32	07/11	2006	0.79	24/05
1878	1.80	30/11	1921	1.08	30/05	1964	1.43	04/06	2007	1.06	16/06
1879	2.67	03/07	1922	1.36	13/09	1965	2.17	04/09	2008	1.60	15/07
1880	1.56	17/09	1923	2.15	29/10	1966	1.70	06/11	2009	0.99	10/06
1881	1.11	29/06	1924	1.58	28/05	1967	1.46	04/07	2010	1.24	14/05
1882	2.87	21/09	1925	1.61	14/06	1968	1.81	17/09	2011	1.17	19/06
1883	1.94	23/07	1926	2.89	23/11	1969	1.57	25/06	2012	1.08	11/06
1884	1.17	09/06	1927	2.05	27/09	1970	1.36	27/06	2013	1.13	01/05
1885	2.85	29/09	1928	3.14	03/11	1971	1.46	25/06	2014	1.57	17/11
1886	1.95	13/11	1929	1.28	15/06	1972	1.48	14/06	2015	0.95	21/05
1887	1.67	18/06	1930	1.66	29/06	1973	1.68	19/07	2016	1.47	18/06

Tabella 10. Minimi annui delle altezze idrometriche giornaliere alla stazione del Fortilizio.

Anno	h_{\min} (m) a Fortilizio	Data	Anno	h_{\min} (m) a Fortilizio	Data	Anno	h_{\min} (m) a Fortilizio	Data	Anno	h_{\min} (m) a Fortilizio	Data
1845	-0.19	08/03	1891	-0.54	17/02	1937	-0.45	26/02	1983	-0.72	13/12
1846	-0.33	04/03	1892	-0.29	30/12	1938	-0.47	28/04	1984	-0.77	15/02
1847	-0.31	16/03	1893	-0.51	21/02	1939	-0.31	02/04	1985	-0.43	28/12
1848	-0.38	31/01	1894	-0.45	12/03	1940	-0.42	25/03	1986	-0.53	29/12
1849	-0.44	19/03	1895	-0.48	01/03	1941	-0.41	31/12	1987	-0.54	05/01
1850	-0.48	01/04	1896	-0.56	23/04	1942	-0.53	19/02	1988	-0.24	06/04
1851	-0.36	10/03	1897	-0.40	30/12	1943	-0.37	25/03	1989	-0.48	21/02
1852	-0.41	20/03	1898	-0.52	18/02	1944	-0.51	30/03	1990	-0.42	13/09
1853	-0.21	28/02	1899	-0.52	22/12	1945	0.17	06/08	1991	-0.50	09/09
1854	-0.43	08/04	1900	-0.46	01/01	1946	-0.18	26/02	1992	-0.26	30/03
1855	-0.35	31/01	1901	-0.51	01/03	1947	-0.29	23/09	1993	-0.43	23/08
1856	-0.29	03/04	1902	-0.34	28/12	1948	0.06	22/04	1994	-0.13	30/08
1857	-0.46	17/03	1903	-0.39	26/03	1949	-0.39	06/04	1995	-0.38	05/09
1858	-0.49	27/02	1904	-0.35	29/12	1950	-0.30	11/11	1996	-0.42	21/03
1859	-0.38	29/01	1905	-0.52	14/02	1951	0.03	22/10	1997	-0.38	21/04
1860	-0.45	27/02	1906	-0.46	25/02	1952	-0.24	26/03	1998	-0.42	01/09
1861	-0.31	31/12	1907	-0.53	30/03	1953	-0.61	18/05	1999	-0.33	22/02
1862	-0.45	15/02	1908	-0.45	18/03	1954	-0.28	05/04	2000	-0.41	20/03
1863	-0.20	04/03	1909	-0.52	09/02	1955	-0.57	30/04	2001	-0.38	17/12
1864	-0.43	19/02	1910	-0.36	19/02	1956	-0.53	12/03	2002	-0.38	02/10
1865	-0.44	01/04	1911	-0.37	17/03	1957	-0.44	16/03	2003	-0.45	27/08
1866	-0.44	28/12	1912	-0.16	31/12	1958	-0.53	26/03	2004	-0.45	13/08
1867	-0.46	08/01	1913	-0.41	04/03	1959	-0.44	19/10	2005	-0.45	08/08
1868	-0.47	01/04	1914	-0.33	10/02	1960	0.19	09/05	2006	-0.37	02/01
1869	-0.37	09/03	1915	-0.24	03/12	1961	-0.52	30/09	2007	-0.40	19/11
1870	-0.43	11/02	1916	-0.34	22/02	1962	-0.52	24/09	2008	-0.27	02/01
1871	-0.40	30/12	1917	-0.25	31/12	1963	-0.52	05/03	2009	-0.36	20/10
1872	-0.44	16/01	1918	-0.36	24/02	1964	-0.47	29/09	2010	-0.07	26/03
1873	-0.14	31/12	1919	-0.34	20/03	1965	-0.52	04/05	2011	0.04	04/09
1874	-0.45	26/03	1920	-0.35	02/03	1966	-0.08	10/02	2012	-0.33	24/09
1875	-0.45	16/02	1921	-0.50	31/12	1967	-0.17	07/03	2013	-0.34	23/08
1876	-0.47	03/03	1922	-0.62	15/01	1968	-0.07	20/03	2014	0.02	11/10
1877	-0.45	16/03	1923	-0.41	30/03	1969	-0.46	31/10	2015	-0.37	31/12
1878	-0.54	21/03	1924	-0.38	19/03	1970	-0.26	23/03	2016	-0.40	09/01
1879	-0.40	30/12	1925	-0.43	10/02	1971	-0.43	03/11			
1880	-0.50	05/02	1926	-0.34	28/01	1972	-0.32	25/10			
1881	-0.38	18/03	1927	-0.27	20/02	1973	-0.36	28/02			
1882	-0.47	22/02	1928	-0.29	25/02	1974	-0.12	27/08			
1883	-0.35	29/03	1929	-0.48	09/04	1975	0.18	09/03			
1884	-0.50	31/03	1930	-0.32	10/03	1976	-0.48	15/07			
1885	-0.51	28/01	1931	-0.42	31/01	1977	0.15	18/04			
1886	-0.40	13/03	1932	-0.45	26/02	1978	-0.42	17/10			
1887	-0.31	03/03	1933	-0.40	27/02	1979	-0.26	09/01			
1888	-0.43	08/02	1934	-0.39	19/02	1980	-0.53	14/10			
1889	-0.43	07/03	1935	-0.33	17/02	1981	-0.02	09/03			
1890	-0.46	11/03	1936	-0.33	30/12	1982	-0.56	09/03			

Tabella 11. Minimi annui delle altezze idrometriche giornaliere alla stazione di Malpensata/Malgrate.

Anno	h_{\min} (m) a Mlp./Mlg.	Data	Anno	h_{\min} (m) a Mlp./Mlg.	Data	Anno	h_{\min} (m) a Mlp./Mlg.	Data	Anno	h_{\min} (m) a Mlp./Mlg.	Data
1845	-0.03	08/03	1891	-0.42	28/02	1937	-0.27	25/02	1983	-0.66	12/12
1846	-0.2	02/03	1892	-0.15	19/02	1938	-0.28	29/04	1984	-0.71	13/02
1847	-0.18	25/03	1893	-0.35	21/02	1939	-0.16	02/04	1985	-0.4	27/12
1848	-0.24	31/01	1894	-0.27	09/03	1940	-0.28	25/03	1986	-0.51	28/12
1849	-0.34	20/03	1895	-0.31	08/03	1941	-0.2	30/12	1987	-0.53	08/01
1850	-0.38	29/03	1896	-0.45	27/04	1942	-0.4	19/02	1988	-0.2	06/04
1851	-0.24	10/03	1897	-0.22	30/12	1943	-0.09	25/03	1989	-0.47	21/02
1852	-0.29	20/03	1898	-0.37	20/02	1944	-0.3	29/03	1990	-0.4	17/09
1853	-0.07	28/02	1899	-0.36	23/12	1945	0.35	06/08	1991	-0.47	09/09
1854	-0.3	08/04	1900	-0.3	01/01	1946	0.04	27/02	1992	-0.25	23/03
1855	-0.21	31/01	1901	-0.33	24/02	1947	-0.1	23/09	1993	-0.36	23/08
1856	-0.12	02/04	1902	-0.16	28/12	1948	0.19	22/04	1994	-0.06	29/08
1857	-0.32	17/03	1903	-0.22	20/03	1949	-0.3	04/04	1995	-0.33	07/09
1858	-0.35	26/02	1904	-0.2	29/12	1950	-0.25	11/11	1996	-0.36	22/03
1859	-0.23	29/01	1905	-0.38	15/02	1951	0.1	22/10	1997	-0.36	06/10
1860	-0.3	27/02	1906	-0.34	25/02	1952	-0.19	26/03	1998	-0.34	01/09
1861	-0.13	31/12	1907	-0.42	30/03	1953	-0.53	18/05	1999	-0.3	21/02
1862	-0.31	14/03	1908	-0.31	18/03	1954	-0.24	05/04	2000	-0.37	20/03
1863	-0.03	04/03	1909	-0.39	09/02	1955	-0.46	29/04	2001	-0.35	17/12
1864	-0.29	19/02	1910	-0.21	19/02	1956	-0.49	12/03	2002	-0.32	01/10
1865	-0.26	04/03	1911	-0.22	17/03	1957	-0.4	16/03	2003	-0.39	28/08
1866	-0.28	29/12	1912	-0.03	31/12	1958	-0.46	26/03	2004	-0.35	10/09
1867	-0.3	08/01	1913	-0.27	04/03	1959	-0.41	19/10	2005	-0.4	19/08
1868	-0.29	27/03	1914	-0.19	10/02	1960	0.24	09/05	2006	-0.37	02/01
1869	-0.19	07/03	1915	-0.1	07/02	1961	-0.43	30/09	2007	-0.39	19/11
1870	-0.3	10/02	1916	-0.21	22/02	1962	-0.46	20/09	2008	-0.27	02/01
1871	-0.27	31/12	1917	-0.11	31/12	1963	-0.48	05/03	2009	-0.35	20/10
1872	-0.31	14/01	1918	-0.23	24/02	1964	-0.41	01/10	2010	-0.03	25/03
1873	0.02	31/12	1919	-0.15	20/03	1965	-0.46	04/05	2011	0.09	15/03
1874	-0.31	26/03	1920	-0.1	04/03	1966	-0.05	11/02	2012	-0.3	24/09
1875	-0.31	17/02	1921	-0.39	31/12	1967	-0.12	06/03	2013	-0.29	30/09
1876	-0.31	16/02	1922	-0.49	14/02	1968	-0.02	21/03	2014	0.09	10/10
1877	-0.3	16/03	1923	-0.28	30/03	1969	-0.43	31/10	2015	-0.37	31/12
1878	-0.41	22/03	1924	-0.23	19/03	1970	-0.23	23/03	2016	-0.38	05/01
1879	-0.25	30/12	1925	0.01	06/01	1971	-0.4	03/11			
1880	-0.37	07/02	1926	-0.04	29/01	1972	-0.23	26/10			
1881	-0.22	21/03	1927	0.08	21/02	1973	-0.29	28/02			
1882	-0.33	23/02	1928	-0.02	27/02	1974	-0.06	31/08			
1883	-0.19	02/04	1929	-0.29	08/04	1975	0.21	09/03			
1884	-0.37	04/04	1930	-0.1	07/03	1976	-0.41	21/04			
1885	-0.39	31/01	1931	-0.18	15/02	1977	0.19	18/04			
1886	-0.24	13/03	1932	-0.29	29/02	1978	-0.39	11/12			
1887	-0.15	02/03	1933	-0.24	02/03	1979	-0.24	03/01			
1888	-0.27	11/02	1934	-0.22	19/02	1980	-0.47	14/10			
1889	-0.27	08/03	1935	-0.18	18/02	1981	0	09/03			
1890	-0.3	12/03	1936	-0.15	27/12	1982	-0.47	10/03			

Tabella 12. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei minimi annuali dei livelli idrometrici a Fortilizio e Malpensata per i tre periodi considerati.

	Fortilizio			Malpensata/Malgrate		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m)	-0.37	-0.40	-0.34	-0.26	-0.24	-0.29
σ (m)	0.16	0.11	0.20	0.17	0.13	0.21
CV (-)	0.42	0.27	0.60	0.64	0.53	0.73
γ (-)	1.38	1.73	0.78	0.80	1.29	0.83
κ (-)	2.71	6.54	0.23	1.26	3.59	0.08

Tabella 13. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei livelli idrometrici giornalieri a Fortilizio e Malpensata per i periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016.

	Fortilizio			Malpensata/Malgrate		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	62822	36889	25933	62822	36889	25933
μ (m)	0.37	0.34	0.40	0.52	0.55	0.47
σ (m)	0.55	0.59	0.50	0.59	0.62	0.53
CV (-)	1.50	1.70	1.24	1.13	1.13	1.12
γ (-)	0.47	0.65	0.14	0.57	0.66	0.23
κ (-)	-0.20	0.03	-0.81	0.04	0.07	-0.62

Tabella 14. Minimi annuali delle altezze idrometriche medie in 10 giorni consecutivi a Malpensata/Malgrate.

Anno	h (m) d=10 a Malp./Malg.	Anno	h (m) d=10 a Malp./Malg.	Anno	h (m) d=10 a Malp./Malg.	Anno	h (m) d=10 a Malp./Malg.
1845	0.00	1891	-0.42	1937	-0.26	1983	-0.64
1846	-0.19	1892	-0.15	1938	-0.26	1984	-0.70
1847	-0.17	1893	-0.34	1939	-0.15	1985	-0.38
1848	-0.23	1894	-0.27	1940	-0.27	1986	-0.51
1849	-0.33	1895	-0.30	1941	-0.23	1987	-0.52
1850	-0.37	1896	-0.44	1942	-0.39	1988	-0.16
1851	-0.24	1897	-0.20	1943	-0.06	1989	-0.45
1852	-0.29	1898	-0.36	1944	-0.30	1990	-0.39
1853	-0.06	1899	-0.35	1945	0.45	1991	-0.41
1854	-0.29	1900	-0.21	1946	0.07	1992	-0.22
1855	-0.18	1901	-0.33	1947	-0.07	1993	-0.28
1856	-0.10	1902	-0.14	1948	0.21	1994	-0.03
1857	-0.31	1903	-0.22	1949	-0.29	1995	-0.27
1858	-0.34	1904	-0.21	1950	-0.22	1996	-0.34
1859	-0.22	1905	-0.38	1951	0.19	1997	-0.33
1860	-0.29	1906	-0.33	1952	-0.18	1998	-0.29
1861	-0.14	1907	-0.42	1953	-0.48	1999	-0.29
1862	-0.30	1908	-0.29	1954	-0.20	2000	-0.34
1863	-0.02	1909	-0.37	1955	-0.43	2001	-0.32
1864	-0.27	1910	-0.20	1956	-0.47	2002	-0.31
1865	-0.26	1911	-0.21	1957	-0.38	2003	-0.37
1866	-0.28	1912	-0.03	1958	-0.44	2004	-0.34
1867	-0.29	1913	-0.27	1959	-0.37	2005	-0.37
1868	-0.29	1914	-0.18	1960	0.28	2006	-0.36
1869	-0.18	1915	-0.08	1961	-0.41	2007	-0.37
1870	-0.28	1916	-0.19	1962	-0.45	2008	-0.24
1871	-0.27	1917	-0.11	1963	-0.47	2009	-0.32
1872	-0.31	1918	-0.23	1964	-0.37	2010	0.04
1873	0.02	1919	-0.13	1965	-0.45	2011	0.12
1874	-0.31	1920	-0.08	1966	-0.04	2012	-0.26
1875	-0.30	1921	-0.39	1967	-0.08	2013	-0.28
1876	-0.31	1922	-0.48	1968	0.03	2014	0.16
1877	-0.28	1923	-0.28	1969	-0.42	2015	-0.36
1878	-0.40	1924	-0.22	1970	-0.19	2016	-0.37
1879	-0.25	1925	0.03	1971	-0.38		
1880	-0.36	1926	-0.03	1972	-0.18		
1881	-0.22	1927	0.09	1973	-0.28		
1882	-0.32	1928	0.00	1974	-0.03		
1883	-0.18	1929	-0.27	1975	0.25		
1884	-0.36	1930	-0.08	1976	-0.39		
1885	-0.38	1931	-0.15	1977	0.21		
1886	-0.23	1932	-0.29	1978	-0.36		
1887	-0.15	1933	-0.22	1979	-0.24		
1888	-0.26	1934	-0.22	1980	-0.40		
1889	-0.26	1935	-0.17	1981	0.01		
1890	-0.29	1936	-0.16	1982	-0.46		

Tabella 15. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei valori annuali dei livelli idrometrici con durata di 355 giorni al Fortilizio e Malpensata/Malgrate per i periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016.

	Fortilizio			Malpensata/Malgrate		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m)	-0.33	-0.37	-0.28	-0.22	-0.21	-0.24
σ (m)	0.17	0.12	0.21	0.18	0.14	0.22
CV (-)	0.51	0.32	0.77	0.80	0.66	0.94
γ (-)	1.54	2.14	0.84	1.08	1.68	0.88
κ (-)	3.11	9.77	0.31	2.04	6.14	0.12

Tabella 16. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei minimi annui dei livelli idrometrici medi in 10 giorni consecutivi al Fortilizio e Malpensata/Malgrate per i tre periodi.

	Fortilizio			Malpensata/Malgrate		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m)	-0.35	-0.39	-0.31	-0.24	-0.23	-0.26
σ (m)	0.16	0.11	0.21	0.17	0.13	0.22
CV (-)	0.46	0.29	0.68	0.71	0.57	0.83
γ (-)	1.49	2.08	0.79	0.97	1.60	0.83
κ (-)	3.06	9.36	0.29	1.81	5.62	0.06

Tabella 17. Quantili empirici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 150 anni) per i minimi annuali dei livelli idrometrici (m) a Fortilizio e Malpensata.

	Fortilizio			Malpensata		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Q5	-0.48	-0.48	-0.52	-0.39	-0.33	-0.46
Q10	-0.52	-0.52	-0.53	-0.45	-0.38	-0.48
Q20	-0.54	-0.53	-0.57	-0.47	-0.41	-0.53
Q50	-0.62	-0.56	-0.77	-0.53	-0.45	-0.71
Q100	-0.72	-0.62	-	-0.66	-0.49	-
Q150	-0.77	-	-	-0.71	-	-

Tabella 18. Quantili empirici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 150 anni) dei livelli idrometrici annuali di durata di 355 giorni a Fortilizio e Malpensata.

	Fortilizio			Malpensata		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Q5	-0.46	-0.46	-0.45	-0.35	-0.30	-0.40
Q10	-0.49	-0.50	-0.48	-0.41	-0.35	-0.45
Q20	-0.51	-0.51	-0.51	-0.44	-0.39	-0.46
Q50	-0.61	-0.55	-0.74	-0.50	-0.43	-0.68
Q100	-0.68	-0.61	-	-0.62	-0.47	-
Q150	-0.74	-	-	-0.68	-	-

Tabella 19. Quantili empirici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 150 anni) per i minimi annuali dei livelli idrometrici medi in 10 giorni consecutivi a Fortilizio e Malpensata.

	Fortilizio			Malpensata		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Q5	-0.46	-0.47	-0.46	-0.37	-0.33	-0.42
Q10	-0.51	-0.51	-0.51	-0.42	-0.37	-0.47
Q20	-0.53	-0.52	-0.54	-0.46	-0.40	-0.51
Q50	-0.61	-0.56	-0.76	-0.52	-0.44	-0.70
Q100	-0.70	-0.61	-	-0.64	-0.48	-
Q150	-0.76	-	-	-0.70	-	-

Tabella 20. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei massimi annuali dei livelli idrometrici giornalieri a Fortilizio e Malpensata per i tre periodi.

	Fortilizio			Malpensata/Malgrate		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m)	1.58	1.73	1.36	1.84	2.03	1.57
σ (m)	0.54	0.57	0.42	0.60	0.60	0.48
CV (-)	0.34	0.33	0.31	0.33	0.30	0.31
γ (-)	0.90	0.82	0.61	0.73	0.74	0.54
κ (-)	1.21	0.95	-0.02	0.73	0.69	-0.17

Tabella 21. Quantili empirici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 150 anni) per i massimi annuali dei livelli idrometrici (m) a Fortilizio e Malpensata.

	Fortilizio			Malpensata		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Q5	2.06	2.16	1.69	2.34	2.52	2.03
Q10	2.29	2.47	2.06	2.64	2.86	2.34
Q20	2.48	2.73	2.29	2.87	3.14	2.62
Q50	3.36	3.40	2.33	3.58	3.82	2.64
Q100	3.40	3.67	-	3.82	4.01	-
Q150	3.67	-	-	4.01	-	-

Tabella 22. Massimi annuali degli afflussi medi giornalieri al lago di Como.

Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /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			

Tabella 23. Massimi annuali dei deflussi medi giornalieri dal lago di Como.

Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data
1845	579.3	24 giu	1891	502.8	24 ago	1937	523.4	22 set	1983	734.6	24 mag
1846	588.7	20 mag	1892	551.3	15 ott	1938	401.0	14 giu	1984	439.4	06 ott
1847	459.7	31 mag	1893	355.3	08 ott	1939	610.3	06 ago	1985	502.8	08 giu
1848	547.2	09 giu	1894	304.0	16 lug	1940	425.7	09 lug	1986	539.9	29 mag
1849	563.3	17 giu	1895	307.3	09 giu	1941	541.7	14 giu	1987	919.8	20 lug
1850	468.3	26 ago	1896	648.1	24 ott	1942	421.5	29 set	1988	523.7	15 ott
1851	734.4	04 ott	1897	471.1	20 set	1943	289.0	30 set	1989	361.5	12 lug
1852	491.4	13 ago	1898	595.6	28 giu	1944	349.7	11 ott	1990	508.8	08 giu
1853	579.1	17 lug	1899	280.4	03 lug	1945	562.1	10 ago	1991	526.9	01 ott
1854	496.3	10 lug	1900	531.3	28 ago	1946	552.3	23 giu	1992	467.0	06 lug
1855	905.9	18 giu	1901	774.6	17 giu	1947	421.9	11 lug	1993	845.1	15 ott
1856	624.3	07 giu	1902	375.1	16 giu	1948	566.9	20 giu	1994	471.0	16 set
1857	362.3	27 ott	1903	384.4	07 lug	1949	274.7	06 mag	1995	391.8	04 lug
1858	294.3	30 lug	1904	426.3	12 giu	1950	461.4	28 mag	1996	520.9	18 nov
1859	375.0	12 giu	1905	468.6	29 ago	1951	621.2	12 nov	1997	768.4	30 giu
1860	607.6	03 ott	1906	416.8	09 nov	1952	491.4	20 giu	1998	429.8	09 giu
1861	486.1	09 lug	1907	511.9	18 ott	1953	588.4	29 ott	1999	530.7	26 ott
1862	663.8	07 set	1908	376.3	20 lug	1954	484.4	12 giu	2000	729.6	18 nov
1863	642.0	13 giu	1909	266.7	11 lug	1955	391.8	11 giu	2001	530.1	12 giu
1864	442.3	28 ott	1910	454.6	28 giu	1956	528.0	04 set	2002	879.6	29 nov
1865	422.7	04 ago	1911	497.8	09 ott	1957	579.5	25 giu	2003	219.9	15 mag
1866	497.6	07 lug	1912	505.4	08 ago	1958	451.8	14 ott	2004	414.9	03 nov
1867	333.8	22 set	1913	371.5	07 giu	1959	315.9	30 giu	2005	180.5	13 giu
1868	1061.0	05 ott	1914	361.1	02 nov	1960	671.5	20 set	2006	187.3	13 giu
1869	446.1	31 mag	1915	437.4	31 mag	1961	488.8	28 giu	2007	357.5	15 giu
1870	215.4	10 ago	1916	457.1	05 giu	1962	351.4	21 giu	2008	623.4	15 lug
1871	447.2	21 giu	1917	697.9	31 mag	1963	645.0	06 nov	2009	397.8	27 mag
1872	606.3	24 mag	1918	372.7	19 giu	1964	360.2	04 giu	2010	512.0	13 mag
1873	535.4	15 lug	1919	307.2	10 lug	1965	717.2	04 set	2011	433.9	20 lug
1874	340.6	17 ago	1920	726.5	25 set	1966	601.4	06 nov	2012	428.7	12 giu
1875	481.0	25 giu	1921	262.6	30 mag	1967	416.8	07 ago	2013	445.9	20 mag
1876	496.3	12 giu	1922	321.5	13 set	1968	589.6	18 set	2014	627.9	16 nov
1877	595.6	17 lug	1923	514.9	29 ott	1969	450.4	25 giu	2015	397.9	21 mag
1878	425.1	30 nov	1924	371.3	28 mag	1970	312.5	19 giu	2016	567.0	18 giu
1879	652.2	03 lug	1925	378.7	13 giu	1971	407.0	26 giu			
1880	366.9	17 set	1926	740.7	23 nov	1972	445.0	14 giu			
1881	265.7	28 giu	1927	492.9	27 set	1973	567.0	18 lug			
1882	703.2	21 set	1928	820.4	02 nov	1974	340.3	29 giu			
1883	454.6	23 lug	1929	298.9	15 giu	1975	461.3	18 giu			
1884	278.2	09 giu	1930	391.1	28 giu	1976	891.8	05 ott			
1885	704.8	29 set	1931	377.5	01 giu	1977	644.9	31 ago			
1886	459.7	12 nov	1932	408.7	22 giu	1978	511.4	06 lug			
1887	393.9	18 giu	1933	387.4	26 giu	1979	872.8	17 ott			
1888	988.7	13 set	1934	426.6	01 set	1980	642.9	10 lug			
1889	614.8	31 ott	1935	569.1	07 ott	1981	595.0	27 mag			
1890	582.2	13 lug	1936	634.2	12 lug	1982	490.6	12 giu			

Tabella 24. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei massimi annuali degli afflussi e dei deflussi medi giornalieri del lago di Como per i tre periodi.

	Afflussi			Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m ³ /s)	1030.0	1075.0	965.5	500.9	490.5	515.8
σ (m ³ /s)	403.1	418.9	372.9	157.2	156.3	158.4
CV (-)	0.39	0.39	0.39	0.31	0.32	0.31
γ (-)	0.9	1.1	0.5	0.8	1.0	0.5
κ (-)	1.0	1.2	-0.4	0.9	1.4	0.3

Tabella 25. Statistica di Mann-Kendall, pendenza di Theil-Sen e valore-p del trend per i tre periodi dei massimi annuali degli afflussi e dei deflussi.

		Z_{MK}	Theil-Sen (m ³ s ⁻¹ a ⁻¹)	valore-p
Afflussi	1845-1945	-1.32	-1.40	0.19
	1946-2016	0.04	0.07	0.97
	1845-2016	-1.86	-1.10	0.06
Deflussi	1845-1945	-1.83	-0.96	0.07
	1946-2016	-0.30	-0.33	0.77
	1845-2016	0.19	0.05	0.85

Tabella 26. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) per gli afflussi massimi annuali (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Afflussi (1845-2016)			Afflussi (1845-1945)			Afflussi (1946-2016)		
	Pears3	Logn3	Gumbel	Pears3	Logn3	Gumbel	Pears3	Logn3	Gumbel
Q5	1334	1322	1324	1380	1366	1377	1264	1244	1247
Q10	1575	1567	1564	1643	1629	1623	1475	1479	1476
Q20	1797	1802	1793	1892	1888	1859	1665	1706	1695
Q50	2075	2110	2091	2207	2234	2164	1897	2004	1980
Q100	2277	2343	2313	2439	2503	2393	2062	2230	2193
Q200	2473	2580	2535	2666	2779	2621	2220	2460	2405
Q500	2726	2899	2828	2960	3159	2921	2422	2771	2685

Tabella 27. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) per i deflussi massimi annuali (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Deflussi (1845-2016)			Deflussi (1845-1945)			Deflussi (1946-2016)		
	Pears3	Logn3	Gumbel	Pears3	Logn3	Gumbel	Pears3	Logn3	Gumbel
Q5	623	619	616	609	606	604	641	636	632
Q10	710	709	709	699	697	697	725	727	727
Q20	789	793	799	782	782	785	800	811	818
Q50	885	899	915	885	891	900	890	919	936
Q100	954	978	1002	959	972	986	954	998	1024
Q200	1020	1056	1089	1031	1054	1072	1015	1076	1112
Q500	1104	1159	1203	1123	1161	1185	1092	1180	1228

Tabella 28. Minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi degli afflussi al Lago di Como.

Anno	Q (m ³ /s)- d=10	Anno	Q (m ³ /s)- d=10	Anno	Q (m ³ /s)- d=10	Anno	Q (m ³ /s)- d=10
1845	64.1	1891	22.9	1937	38.2	1983	47.6
1846	42.0	1892	43.1	1938	38.2	1984	54.7
1847	46.9	1893	29.9	1939	48.0	1985	52.1
1848	37.6	1894	37.0	1940	37.8	1986	36.9
1849	24.7	1895	30.1	1941	34.6	1987	38.5
1850	24.3	1896	19.0	1942	28.1	1988	53.9
1851	35.1	1897	40.5	1943	51.7	1989	50.8
1852	33.3	1898	22.6	1944	29.5	1990	52.2
1853	54.5	1899	25.8	1945	36.7	1991	45.5
1854	31.7	1900	36.0	1946	46.1	1992	49.4
1855	37.8	1901	25.8	1947	35.5	1993	60.9
1856	54.0	1902	44.9	1948	53.1	1994	67.0
1857	29.7	1903	39.3	1949	33.5	1995	57.0
1858	27.6	1904	34.1	1950	48.7	1996	56.0
1859	37.5	1905	25.5	1951	83.3	1997	59.2
1860	30.4	1906	28.4	1952	46.2	1998	57.2
1861	42.2	1907	19.3	1953	47.8	1999	52.3
1862	33.4	1908	30.5	1954	46.8	2000	50.0
1863	53.4	1909	23.5	1955	49.3	2001	46.5
1864	33.5	1910	37.0	1956	36.9	2002	47.8
1865	30.2	1911	44.1	1957	55.6	2003	52.5
1866	34.7	1912	61.6	1958	54.1	2004	55.2
1867	35.6	1913	37.0	1959	53.8	2005	34.6
1868	33.0	1914	46.5	1960	71.9	2006	33.5
1869	41.5	1915	50.4	1961	75.8	2007	35.1
1870	30.8	1916	43.0	1962	45.2	2008	48.8
1871	32.3	1917	47.4	1963	46.3	2009	68.4
1872	29.2	1918	41.6	1964	67.4	2010	65.4
1873	58.0	1919	47.3	1965	55.0	2011	76.6
1874	33.4	1920	54.8	1966	66.0	2012	46.1
1875	29.3	1921	16.2	1967	72.8	2013	73.1
1876	31.1	1922	12.5	1968	68.3	2014	107.4
1877	30.7	1923	35.4	1969	58.6	2015	39.7
1878	23.2	1924	38.6	1970	65.9	2016	45.9
1879	34.3	1925	61.9	1971	61.0		
1880	26.1	1926	60.4	1972	65.6		
1881	41.8	1927	75.3	1973	51.3		
1882	28.2	1928	66.7	1974	57.0		
1883	44.1	1929	37.7	1975	57.9		
1884	27.4	1930	55.6	1976	59.5		
1885	24.1	1931	41.8	1977	67.1		
1886	33.8	1932	36.9	1978	62.6		
1887	50.0	1933	43.0	1979	59.1		
1888	34.7	1934	43.6	1980	50.1		
1889	37.3	1935	46.5	1981	54.6		
1890	33.2	1936	47.8	1982	75.3		

Tabella 29. Minimi annuali dei deflussi medi giornalieri dal lago di Como.

Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data	Anno	Q (m ³ /s)	Data
1845	71.1	07 mar	1891	25.4	28 feb	1937	44.1	25 feb	1983	59.2	12 mar
1846	48.9	02 mar	1892	55.0	31 dic	1938	43.1	29 apr	1984	30.2	10 mar
1847	51.3	25 mar	1893	32.8	20 feb	1939	56.5	01 apr	1985	57.9	23 dic
1848	44.3	31 gen	1894	40.9	09 mar	1940	43.8	24 mar	1986	40.1	31 dic
1849	33.9	19 mar	1895	36.5	08 mar	1941	47.4	31 dic	1987	38.8	12 gen
1850	29.3	29 mar	1896	22.6	27 apr	1942	32.1	19 feb	1988	70.6	01 feb
1851	44.3	10 mar	1897	47.2	29 dic	1943	65.2	24 mar	1989	53.9	16 ott
1852	38.7	20 mar	1898	30.3	20 feb	1944	41.1	29 mar	1990	51.5	24 mar
1853	65.1	07 mar	1899	31.3	23 dic	1945	28.6	19 dic	1991	52.9	11 set
1854	37.6	08 apr	1900	38.1	01 gen	1946	71.4	08 apr	1992	62.9	14 mar
1855	47.8	31 gen	1901	34.4	24 feb	1947	57.4	27 dic	1993	60.2	18 apr
1856	59.3	01 apr	1902	53.8	28 dic	1948	56.9	08 gen	1994	74.0	29 dic
1857	35.4	17 mar	1903	46.6	20 mar	1949	43.4	05 apr	1995	58.9	26 nov
1858	32.3	26 feb	1904	48.9	29 dic	1950	50.9	09 apr	1996	59.6	17 apr
1859	45.4	29 gen	1905	29.3	15 feb	1951	76.3	01 gen	1997	59.1	20 apr
1860	38.7	13 mar	1906	33.3	25 feb	1952	49.3	27 mar	1998	52.1	30 dic
1861	57.5	31 dic	1907	25.4	30 mar	1953	20.6	04 apr	1999	51.7	09 gen
1862	37.0	13 mar	1908	36.5	18 mar	1954	49.0	10 apr	2000	51.9	25 mar
1863	70.4	04 mar	1909	28.3	09 feb	1955	19.0	11 ott	2001	47.8	30 dic
1864	38.7	19 feb	1910	47.8	19 feb	1956	20.0	18 mar	2002	47.9	06 gen
1865	42.0	04 mar	1911	46.6	17 mar	1957	41.8	22 apr	2003	42.5	20 set
1866	39.8	29 dic	1912	70.4	31 dic	1958	44.1	02 apr	2004	59.5	03 ott
1867	37.6	08 gen	1913	40.9	04 mar	1959	56.4	31 ott	2005	43.9	31 dic
1868	38.7	27 mar	1914	50.1	10 feb	1960	116.7	06 gen	2006	35.8	08 gen
1869	50.1	07 mar	1915	61.2	07 feb	1961	62.8	22 ott	2007	44.4	30 dic
1870	37.6	10 feb	1916	48.3	21 feb	1962	36.6	30 set	2008	44.7	01 gen
1871	40.3	31 dic	1917	60.0	31 dic	1963	24.0	31 mar	2009	76.5	19 ott
1872	36.5	14 gen	1918	45.4	24 feb	1964	45.7	04 ott	2010	92.2	05 mar
1873	76.6	31 dic	1919	55.0	20 mar	1965	65.0	12 mag	2011	88.9	31 dic
1874	36.5	26 mar	1920	61.9	03 mar	1966	44.3	26 mar	2012	45.2	08 apr
1875	36.5	17 feb	1921	27.8	31 dic	1967	62.8	18 mar	2013	79.0	02 mar
1876	36.5	19 feb	1922	19.4	13 feb	1968	79.6	17 feb	2014	147.1	03 ott
1877	37.6	16 mar	1923	43.1	30 mar	1969	48.8	09 nov	2015	49.0	31 dic
1878	26.8	21 mar	1924	48.3	19 mar	1970	58.4	29 mar	2016	47.3	03 gen
1879	42.6	31 dic	1925	76.4	06 gen	1971	63.8	01 nov			
1880	30.3	07 feb	1926	70.1	29 gen	1972	70.8	01 gen			
1881	46.6	23 mar	1927	85.5	21 feb	1973	36.0	07 apr			
1882	34.4	23 feb	1928	72.6	27 feb	1974	68.6	01 nov			
1883	50.1	02 apr	1929	42.6	07 apr	1975	66.7	14 mar			
1884	30.3	04 apr	1930	63.4	16 mar	1976	54.9	27 mar			
1885	28.8	30 gen	1931	53.7	15 feb	1977	76.1	08 gen			
1886	44.3	13 mar	1932	42.1	29 feb	1978	59.1	23 dic			
1887	55.0	02 mar	1933	47.7	01 mar	1979	61.4	02 gen			
1888	40.9	11 feb	1934	49.3	19 feb	1980	69.9	31 dic			
1889	40.9	08 mar	1935	53.7	18 feb	1981	50.7	14 mar			
1890	37.6	12 mar	1936	57.0	31 dic	1982	39.4	28 mar			

Tabella 30. Minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi dei deflussi dal Lago di Como al Fortilizio di Lecco.

Anno	Q (m ³ /s) – d=10	Anno	Q (m ³ /s) – d=10	Anno	Q (m ³ /s) – d=10	Anno	Q (m ³ /s) – d=10
1845	74.9	1891	25.6	1937	45.7	1983	69.7
1846	50.1	1892	54.8	1938	44.9	1984	37.2
1847	52.1	1893	33.6	1939	57.6	1985	59.7
1848	45.6	1894	41.5	1940	44.6	1986	42.1
1849	35.0	1895	37.7	1941	47.7	1987	40.2
1850	30.1	1896	23.4	1942	32.8	1988	72.3
1851	44.7	1897	49.5	1943	68.1	1989	54.5
1852	38.7	1898	31.7	1944	41.4	1990	55.2
1853	66.3	1899	31.9	1945	44.9	1991	61.1
1854	38.5	1900	47.7	1946	71.3	1992	69.5
1855	51.8	1901	34.9	1947	58.0	1993	60.9
1856	61.1	1902	56.0	1948	57.7	1994	74.4
1857	36.8	1903	46.9	1949	44.0	1995	60.5
1858	32.9	1904	47.0	1950	65.0	1996	60.7
1859	47.4	1905	29.5	1951	99.0	1997	61.8
1860	38.7	1906	34.8	1952	50.7	1998	54.6
1861	56.3	1907	25.8	1953	30.1	1999	52.6
1862	37.6	1908	38.6	1954	67.7	2000	54.4
1863	72.2	1909	30.0	1955	69.8	2001	48.7
1864	41.1	1910	49.2	1956	33.4	2002	48.7
1865	42.2	1911	47.3	1957	55.2	2003	48.4
1866	39.6	1912	69.9	1958	53.5	2004	61.2
1867	38.6	1913	41.1	1959	70.2	2005	44.9
1868	38.9	1914	51.1	1960	117.2	2006	38.0
1869	51.0	1915	63.3	1961	76.7	2007	45.9
1870	39.7	1916	50.7	1962	55.0	2008	45.4
1871	40.7	1917	59.2	1963	39.1	2009	79.3
1872	36.6	1918	46.1	1964	67.9	2010	93.8
1873	75.9	1919	57.3	1965	69.1	2011	93.1
1874	36.8	1920	63.8	1966	70.8	2012	47.3
1875	38.0	1921	27.9	1967	104.7	2013	80.2
1876	37.0	1922	20.1	1968	92.0	2014	148.5
1877	39.7	1923	43.1	1969	58.3	2015	52.7
1878	27.8	1924	49.9	1970	83.7	2016	48.3
1879	42.9	1925	78.9	1971	68.2		
1880	31.0	1926	71.1	1972	72.6		
1881	46.9	1927	87.4	1973	44.2		
1882	35.8	1928	74.8	1974	79.3		
1883	51.1	1929	44.8	1975	80.3		
1884	31.1	1930	64.7	1976	68.5		
1885	29.7	1931	56.8	1977	90.6		
1886	45.6	1932	42.6	1978	61.7		
1887	55.3	1933	49.0	1979	63.1		
1888	42.2	1934	49.8	1980	75.5		
1889	42.2	1935	54.8	1981	58.1		
1890	38.5	1936	55.8	1982	53.9		

Tabella 31. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei minimi annuali dei deflussi giornalieri dal Lago di Como per i periodi 1845-2016, 1845-1945 e 1946-2016.

	Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71
μ (m ³ /s)	49.5	44.8	56.3
σ (m ³ /s)	17.3	13.1	20.1
CV (-)	0.35	0.29	0.36
γ (-)	1.6	0.7	1.5
κ (-)	5.8	0.3	5.1

Tabella 32. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei valori annuali delle portate con durata di 355 giorni dei deflussi dal Lago di Como per i tre periodi.

	Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71
μ (m ³ /s)	55.7	47.9	66.8
σ (m ³ /s)	18.8	14.1	19.2
CV (-)	0.34	0.29	0.29
γ (-)	1.2	0.7	1.5
κ (-)	3.1	0.2	3.7

Tabella 33. Numerosità, media, deviazione standard, coefficiente di variazione, asimmetria e curtosi dei minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi degli afflussi e dei deflussi del Lago di Como per i tre periodi.

	Afflussi			Deflussi		
	1845-2016	1845-1945	1946-2016	1845-2016	1845-1945	1946-2016
Numerosità	172	101	71	172	101	71
μ (m ³ /s)	45.0	37.8	55.3	53.4	46.0	64.0
σ (m ³ /s)	14.8	11.5	12.9	18.6	13.2	20.0
CV (-)	0.33	0.30	0.23	0.35	0.29	0.31
γ (-)	0.6	0.7	1.0	1.4	0.7	1.4
κ (-)	0.9	0.5	2.3	3.6	0.4	3.3

Tabella 34. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) per i deflussi minimi annuali (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Deflussi (1845-2016)			Deflussi (1845-1945)			Deflussi (1946-2016)		
	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3
Q5	35.6	35.5	35.5	33.6	33.6	33.7	40.5	40.4	40.4
Q10	30.8	30.1	28.5	29.7	29.1	27.8	35.1	34.3	32.5
Q20	27.4	26.1	23.1	26.9	25.7	23.1	31.2	29.7	26.4
Q50	23.9	22.0	17.6	24.0	22.2	18.2	27.3	25.1	20.1
Q100	21.9	19.6	14.4	22.3	20.1	15.2	24.9	22.3	16.4
Q200	20.2	17.5	11.7	20.9	18.3	12.7	23.0	20.0	13.4
Q500	18.3	15.2	9.0	19.3	16.2	10.1	20.8	17.4	10.2

Tabella 35. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) dei valori annuali dei deflussi giornalieri di durata di 355 giorni (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Deflussi (1845-2016)			Deflussi (1845-1945)			Deflussi (1946-2016)		
	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3
Q5	40.2	40.1	40.1	35.9	35.9	36.0	51.5	51.5	51.7
Q10	34.9	34.0	32.3	31.8	31.0	29.7	47.1	45.1	43.4
Q20	31.0	29.5	26.2	28.9	27.4	24.6	44.0	40.4	36.7
Q50	27.2	25.0	20.0	26.0	23.7	19.4	41.2	35.4	29.5
Q100	24.9	22.2	16.4	24.2	21.4	16.2	39.5	32.3	25.1
Q200	23.0	19.9	13.4	22.8	19.4	13.5	38.2	29.7	21.3
Q500	20.9	17.4	10.3	21.2	17.2	10.7	36.7	26.7	17.2

Tabella 36. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) dei minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi degli afflussi (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Deflussi (1845-2016)			Deflussi (1845-1945)			Deflussi (1946-2016)		
	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3
Q5	32.3	32.2	32.2	28.0	28.0	28.1	44.5	44.5	44.8
Q10	27.9	27.3	25.9	24.6	24.1	23.0	40.4	39.9	38.7
Q20	24.8	23.6	20.9	22.0	21.2	19.0	37.3	36.4	33.6
Q50	21.7	19.9	15.9	19.5	18.2	14.8	34.1	32.7	28.0
Q100	19.8	17.7	13.0	17.9	16.4	12.3	32.2	30.4	24.4
Q200	18.2	15.8	10.6	16.7	14.8	10.2	30.5	28.3	21.3
Q500	16.5	13.7	8.1	15.2	13.1	8.0	28.6	26.0	17.8

Tabella 37. Quantili teorici (periodi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) dei minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi dei deflussi (m³/s) calcolati dalle distribuzioni con il migliore adattamento.

	Deflussi (1845-2016)			Deflussi (1845-1945)			Deflussi (1946-2016)		
	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3	Logn3	Gamma	Weibull3
Q5	38.2	38.2	38.2	34.8	34.8	34.9	47.8	47.7	47.9
Q10	33.3	32.2	30.6	30.8	30.2	28.9	42.6	41.2	39.3
Q20	29.9	27.9	24.7	27.9	26.8	24.2	38.9	36.3	32.6
Q50	26.5	23.5	18.7	25.0	23.2	19.1	35.2	31.3	25.6
Q100	24.5	20.8	15.2	23.3	21.1	16.1	33.1	28.2	21.3
Q200	22.8	18.6	12.4	21.8	19.2	13.5	31.4	25.6	17.8
Q500	21.0	16.1	9.5	20.2	17.1	10.7	29.5	22.7	14.0

Tabella 38. Parametri delle distribuzioni e valori di χ^2 e Kolmogorov-Smirnov goodness-of fit test con i loro valori p per i minimi annuali della portata media in 10 giorni degli afflussi e dei deflussi (m^3/s) relativi al Lago di Como.

	Distribuzioni	Par1	Par2	Par3	χ^2	p	KS	p
Afflussi (1845-2016)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	0.00	3.75	0.33	16.60	0.27	0.07	0.42
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	44.98	14.85	0.61	15.83	0.32	0.05	0.72
	Gumbel (ξ, α)	38.08	11.95		17.23	0.25	0.07	0.32
	Gamma (α, β)	9.14	4.92		15.73	0.32	0.05	0.75
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	50.06	3.41	20.99	0.10	0.08	0.25
Afflussi (1845-1945)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	0.00	3.59	0.30	10.94	0.45	0.05	0.97
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	37.75	11.48	0.81	11.29	0.43	0.05	0.94
	Gumbel (ξ, α)	32.46	9.16		11.00	0.44	0.05	0.92
	Gamma (α, β)	11.01	3.43		11.42	0.40	0.07	0.75
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	41.79	3.77	16.53	0.11	0.11	0.15
Afflussi (1946-2016)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	3.39	3.92	0.24	11.04	0.27	0.09	0.60
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	55.25	12.63	0.72	10.87	0.28	0.09	0.55
	Gumbel (ξ, α)	49.41	10.12		13.49	0.14	0.09	0.59
	Gamma (α, β)	19.50	2.83		10.60	0.30	0.09	0.58
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	60.10	5.11	13.93	0.13	0.11	0.40
Deflussi (1845-2016)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	6.04	3.79	0.38	11.81	0.65	0.04	0.98
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	53.42	18.24	1.10	12.29	0.58	0.04	0.98
	Gumbel (ξ, α)	45.17	14.30		11.61	0.63	0.03	0.99
	Gamma (α, β)	9.00	5.94		12.71	0.55	0.05	0.81
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	59.48	3.38	20.75	0.11	0.09	0.14
Deflussi (1845-1945)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	3.40	3.70	0.31	10.56	0.49	0.05	0.97
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	46.00	13.31	0.91	10.88	0.45	0.05	0.93
	Gumbel (ξ, α)	39.91	10.56		10.32	0.50	0.05	0.97
	Gamma (α, β)	12.32	3.73		11.97	0.37	0.06	0.85
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	50.75	4.00	21.33	0.03	0.10	0.25
Deflussi (1946-2016)	Lognormal-3 (ζ, μ, σ)	13.56	3.85	0.38	10.60	0.31	0.06	0.98
	Pearson-3 (μ, σ, γ)	63.98	19.47	1.11	11.18	0.26	0.07	0.92
	Gumbel (ξ, α)	55.17	15.26		10.33	0.31	0.05	0.99
	Gamma (α, β)	11.39	5.62		10.77	0.28	0.07	0.87
	Weibull-3 (ζ, β, δ)	0.00	70.75	3.84	14.11	0.12	0.11	0.31

CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE: Bacino di dominio km² 4508 di cui km² 65 di aree glaciali e km² 145 di aree lacuali naturali. Serbatoi artificiali m³ 515x10⁶ di cui m³ 101x10⁶ in territorio Svizzero. Altitudini: max. 4050 m s.m. (Pizzo Bernina); media 1569 m s.m. Distanza dalla confluenza col Po km 148. Inizio osservazioni: gennaio 1845; inizio misure: gennaio 1845. Quota zero idrom. appross. 197.39 m s.m.. Altezze idrometriche: max. m 3.67 (06 ott. 1868); minima m -0.77 (15 feb. 1984). Portate: max. m³/s 2535 (03 ott. 1868); minima m³/s 0.4 (22 feb. 1865); media m³/s 165.3 (1845-2016) (1).

NOTE: (1) Portate di deflusso in ingresso al lago di Como ragguagliate al bacino chiuso all'incile del lago all'idrometro del Fortilizio a Lecco. (2) Deflussi regolati dal 1946 alla diga di Olginate con capacità max di reg. pari a m³ 254 x 10⁶ e comprensivi di m³ 90 x 10⁶ derivati annualmente dal T. Spöl mediante il canale AEM dal 1963. (3) Scala delle portate tabellata proveniente dall'Annale Idrologico del 1943 per l'Adda a Lecco (sezione Parma). (4) Scala di deflusso nel regime attuale (1946-2016) (Citrini, 1977).

PORTATE MEDIE GIORNALIERE in m ³ /s												
GIORNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	49.5	84.9	74.9	32.9	86.1	140.6	254.7	126.4	56.1	81.3	146.7	73.9
2	66.8	101.2	74.8	74.3	117.3	158.2	315.8	107.0	53.9	66.4	121.3	73.6
3	74.5	50.3	32.6	142.2	131.5	105.7	363.8	76.9	88.2	109.5	96.3	118.3
4	66.4	32.7	31.1	94.2	122.0	162.5	246.7	107.6	77.0	336.0	64.0	108.6
5	60.6	83.6	72.8	119.7	128.7	547.8	255.8	90.8	75.8	114.5	92.9	100.4
6	49.8	83.9	73.6	144.6	93.3	535.0	181.7	142.7	57.5	93.1	109.7	106.4
7	40.9	67.1	64.9	85.3	119.4	360.2	175.3	85.3	122.3	67.4	101.5	84.6
8	84.4	66.6	82.0	174.0	125.8	542.4	149.7	92.6	39.9	87.7	101.5	97.8
9	66.8	75.5	80.3	180.2	130.2	312.0	189.7	96.2	42.3	72.1	79.2	170.4
10	67.5	57.5	64.3	138.2	108.9	239.5	195.5	102.4	80.0	89.4	75.5	192.8
11	74.9	48.7	22.7	138.5	131.1	180.8	165.1	83.5	41.6	80.8	49.8	144.6
12	75.2	91.4	75.5	76.9	114.9	267.6	189.7	100.8	66.2	98.1	101.5	135.5
13	40.8	84.2	75.5	70.8	115.7	233.2	166.0	64.3	45.1	102.8	92.5	137.4
14	30.9	67.5	92.3	109.5	115.8	216.6	156.5	147.5	71.8	39.9	93.1	89.8
15	64.9	85.2	75.5	74.6	179.6	176.7	137.8	84.1	44.1	74.9	119.0	89.5
16	65.2	58.9	61.4	53.7	149.0	147.2	176.0	130.6	26.8	172.0	82.7	63.7
17	73.9	58.0	55.9	128.4	184.3	147.2	168.0	114.5	78.2	369.0	58.0	105.1
18	65.2	39.5	48.3	102.7	159.7	245.3	150.2	42.3	57.4	330.5	66.4	107.1
19	82.0	66.5	82.0	129.3	168.8	167.9	169.5	43.1	42.3	210.5	59.5	116.3
20	22.2	92.0	56.8	141.8	157.9	410.5	152.3	101.1	64.3	133.9	94.1	107.4
21	48.3	66.5	82.0	75.8	174.8	331.3	143.9	95.1	72.3	65.3	172.9	85.4
22	65.4	66.9	65.7	117.4	175.8	302.2	116.6	66.4	19.2	125.4	373.9	75.9
23	74.3	74.9	83.1	127.9	212.0	243.9	153.5	77.4	209.9	116.0	258.1	67.8
24	74.8	49.3	51.5	110.6	345.3	221.1	137.8	103.0	88.9	117.9	163.5	50.2
25	74.3	39.5	26.7	61.1	281.8	223.6	170.8	72.0	74.3	118.6	301.0	67.1
26	91.6	73.6	94.8	94.1	170.2	221.4	168.8	132.9	66.8	118.7	198.7	58.2
27	39.9	74.2	55.0	102.8	179.7	286.2	125.8	97.8	75.2	110.6	164.3	84.4
28	75.1	74.0	100.7	59.7	141.5	278.2	117.0	89.0	69.7	127.3	146.8	83.1
29	100.2	75.5	84.7	154.3	266.9	280.1	153.3	63.3	38.3	137.6	147.0	34.1
30	109.8	83.9	85.4	163.7	161.3	161.3	127.8	177.7		120.3		59.6
31	84.6	42.0										

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 1990													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q massima (m ³ /s)	547.8	109.8	101.2	100.7	180.2	345.3	547.8	363.8	177.7	209.9	369.0	373.9	192.8
Q media (m ³ /s)	118.3	66.5	68.4	66.4	104.4	154.9	265.1	176.9	96.9	66.4	130.1	129.3	94.8
Q minima (m ³ /s)	19.2	22.2	32.7	22.7	32.9	86.1	105.7	107.5	42.3	19.2	39.9	49.8	34.1
Deflusso (mm)	815.8	45.3	42.8	40.9	47.2	64.7	148.2	129.7	77.2	40.6	51.1	59.7	68.5
Afflusso al Lago (mm).	828.8	39.5	36.7	39.4	60.0	92.0	152.4	105.1	57.6	38.2	77.3	74.4	56.3
Afflusso meteor. (mm).	1146.1	39.0	45.2	9.6	141.2	82.8	219.6	77.0	76.4	66.6	179.7	151.9	57.2
Coeffic. di deflusso . . .	0.72	1.01	0.81	4.10	0.42	1.11	0.69	1.37	0.75	0.57	0.43	0.49	0.98

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1845-2016													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q massima (m ³ /s)	2535.1	586.6	664.8	1062.6	1086.0	1481.2	2108.9	1868.9	1472.9	2334.8	2535.1	1882.3	933.2
Q media (m ³ /s)	165.3	74.5	69.7	82.5	130.7	239.1	302.5	253.1	203.3	189.6	189.0	151.3	93.5
Q minima (m ³ /s)	0.4	1.9	0.4	0.4	1.6	10.1	13.1	2.4	22.9	3.0	6.9	1.8	2.9
Deflusso (mm)	1157.3	49.5	40.8	46.0	64.3	120.7	168.8	159.0	129.0	110.5	112.6	92.3	63.7
Afflusso al Lago (mm).	1157.1	44.3	37.7	49.0	75.1	142.0	173.9	150.4	120.8	109.0	112.3	87.0	55.6
Afflusso meteor. (mm).	1328.5	51.6	47.7	75.5	113.3	148.0	138.8	137.4	139.9	142.1	152.2	119.3	62.9
Coeffic. di deflusso . . .	0.87	0.86	0.79	0.65	0.66	0.96	1.25	1.09	0.86	0.77	0.74	0.73	0.88

DURATA DELLE PORTATE		
Giorni	1845-1945	1946-2016
	m ³ /s	m ³ /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

SCALA NUMERICA DELLE PORTATE					
Altezza Idrometrica m	1845-1945 (3)	1946-2016 (4)	Altezza Idrometrica m	1845-1945 (3)	1946-2016 (4)
	Portata m ³ /s	Portata m ³ /s		Portata m ³ /s	Portata m ³ /s
-0.40	48.0	184.1	0.20	131.0	294.7
-0.30	58.5	200.7	0.30	148.0	315.6
-0.20	70.7	218.0	0.40	167.0	337.3
-0.10	84.0	236.1	0.50	186.0	359.8
0.00	98.5	254.9	0.70	229.0	406.8
0.10	114.0	274.4	1.00	299.0	482.8

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1845-1945

	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settem.	Ottobre	Novem.	Dicem.
Q massima (m ³ /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 (m ³ /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 (m ³ /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
Coeffic. 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 (m ³ /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 (m ³ /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 (m ³ /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
Coeffic. 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

10. Appendice B: Figure

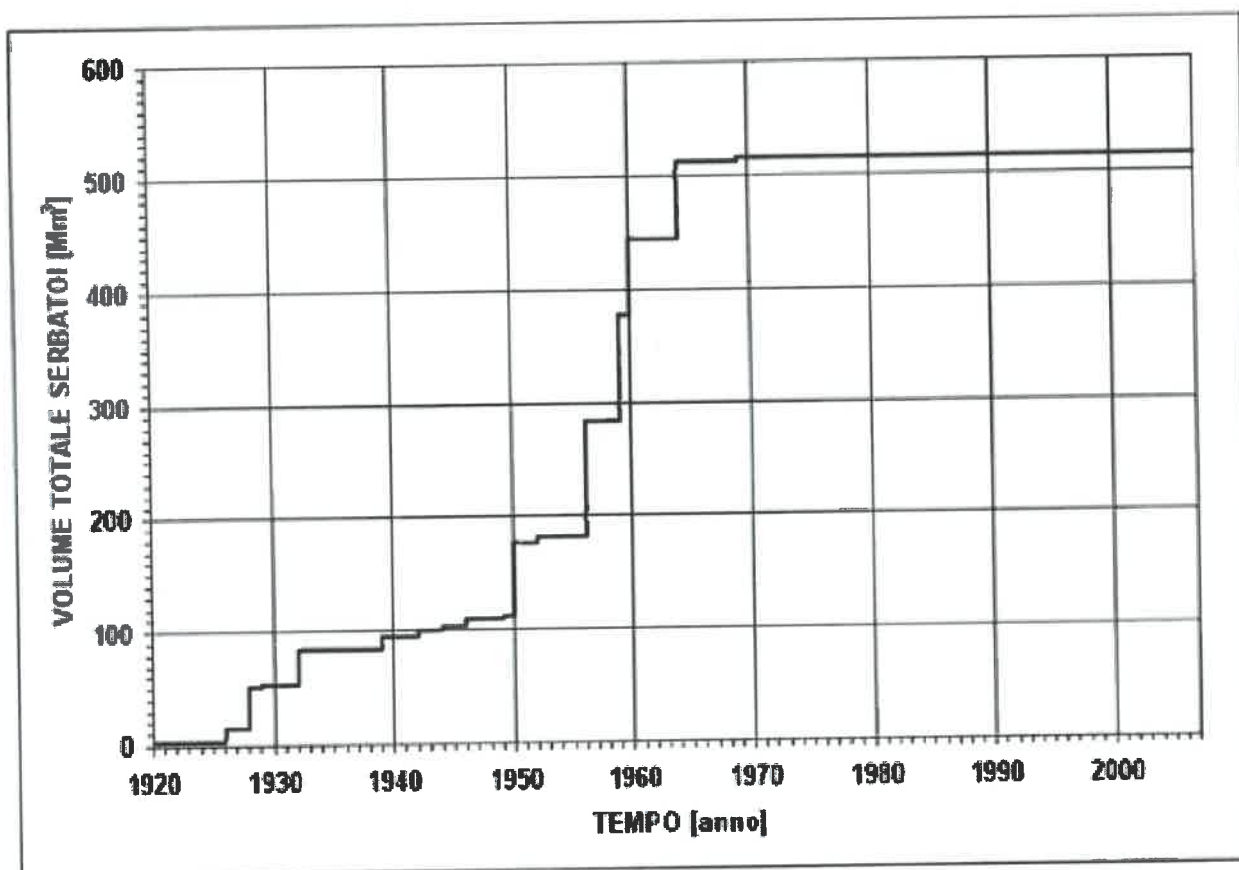


Fig. 10.1 Volume totale di capacità di invaso dei serbatoi alpini nel bacino dell'Adda prelacuale (da Moisello e Vullo, 2010).

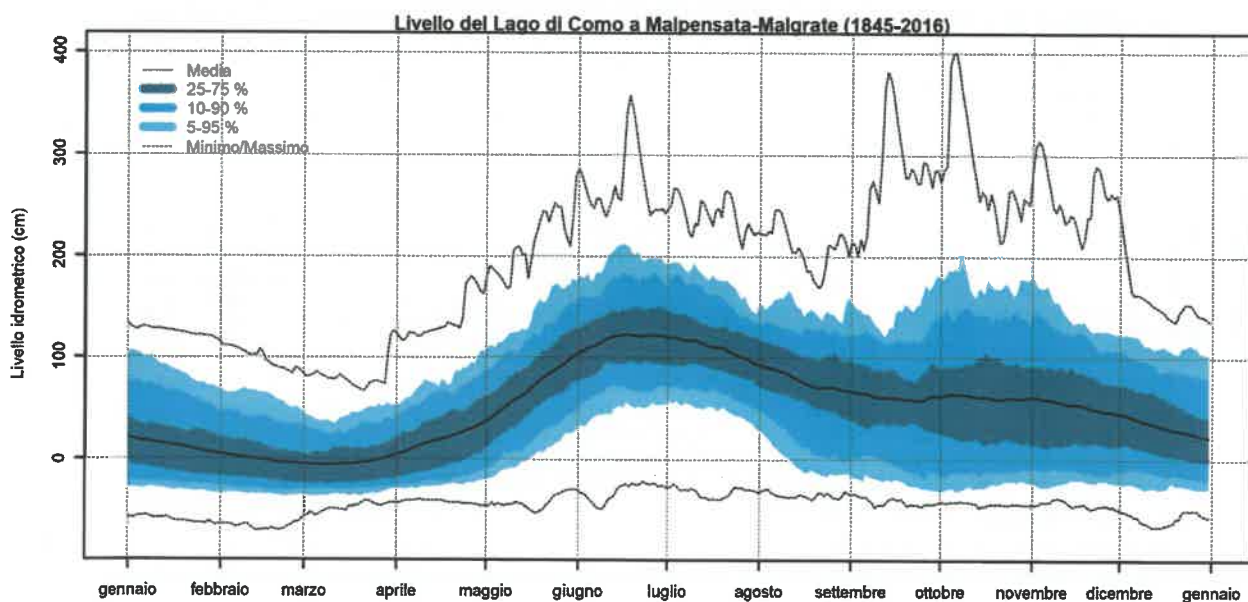
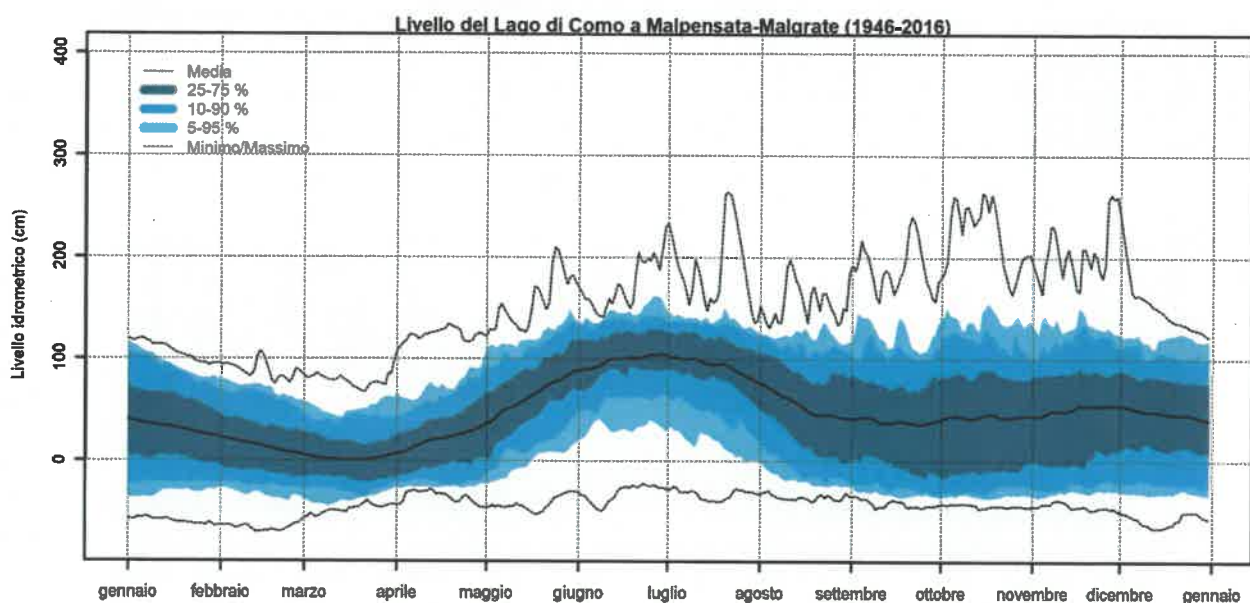
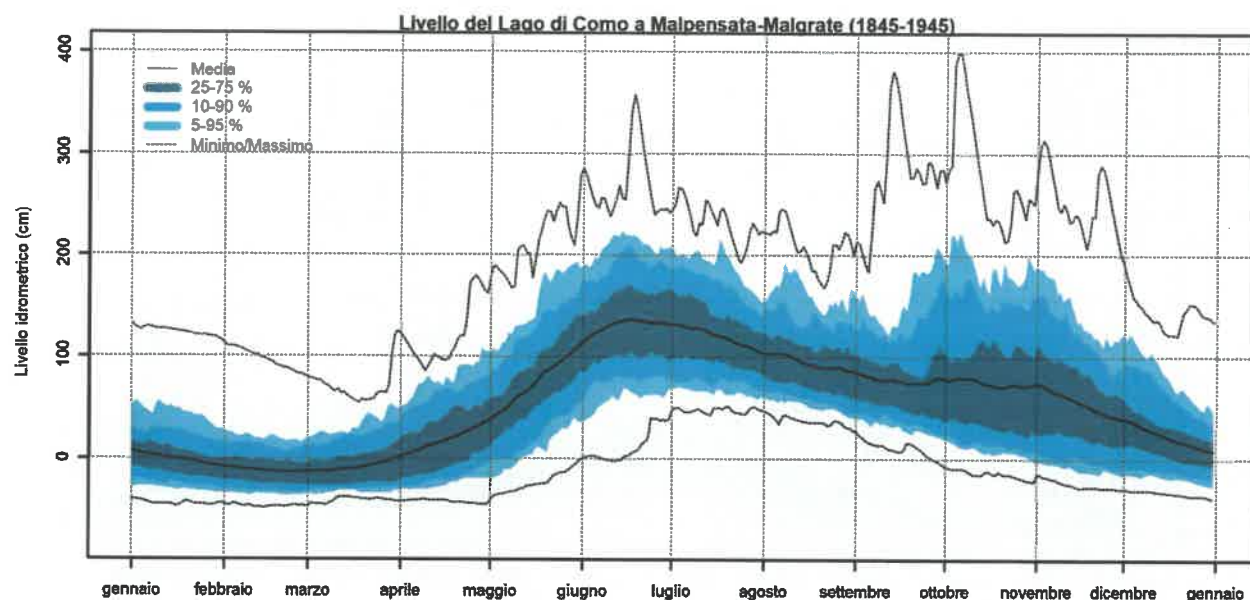


Fig. 10.2 Statistiche dei livelli stagionali del Lago di Como ai limnimetri di Malgrate e Malpensata.

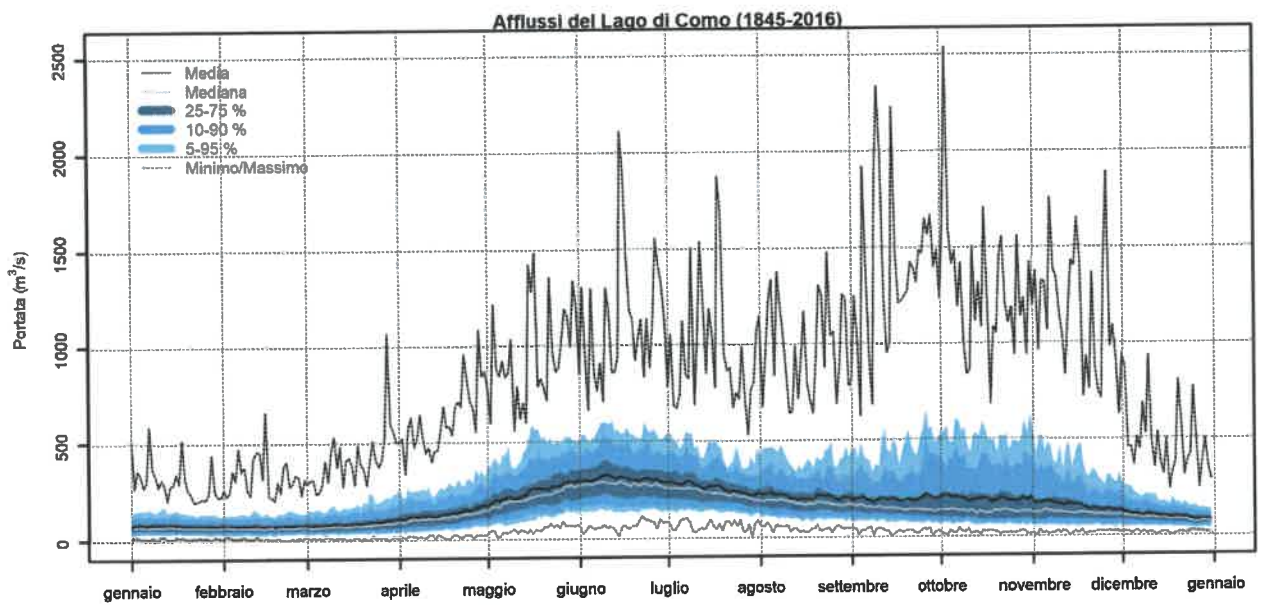
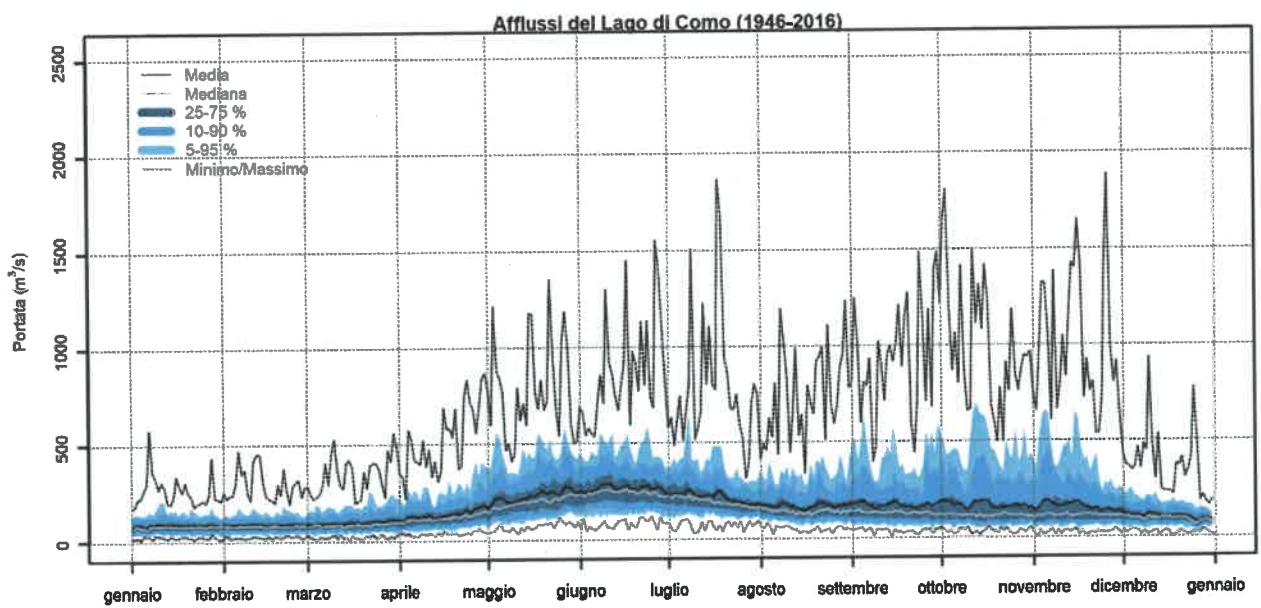
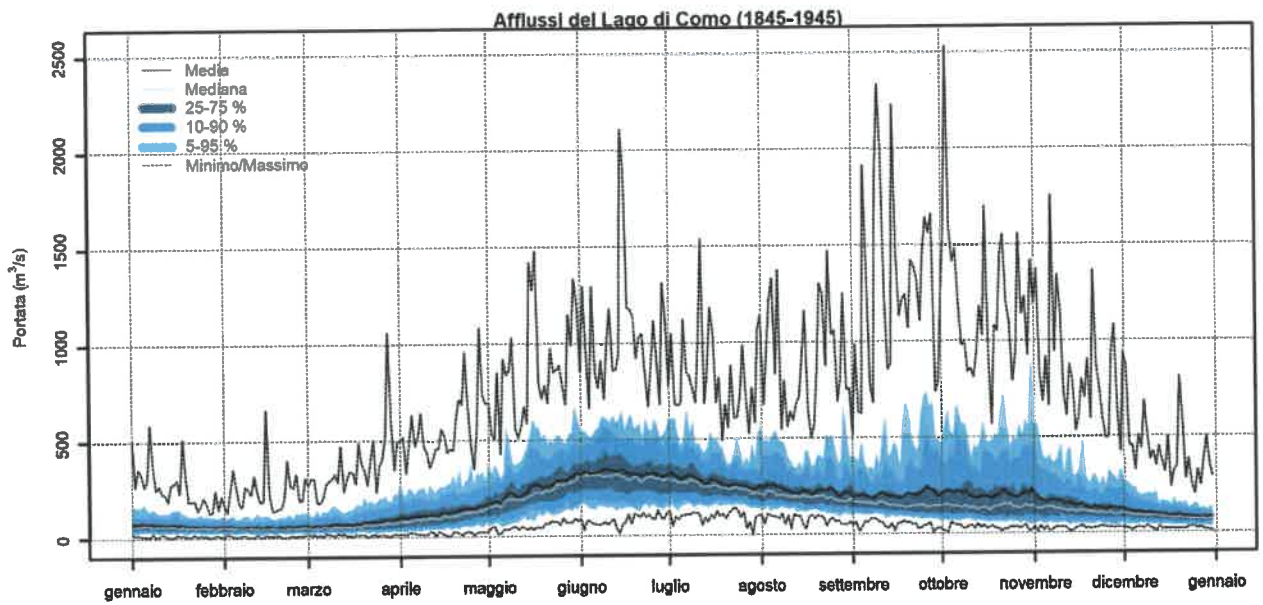


Fig. 10.3 Statistiche degli afflussi stagionali al Lago di Como.

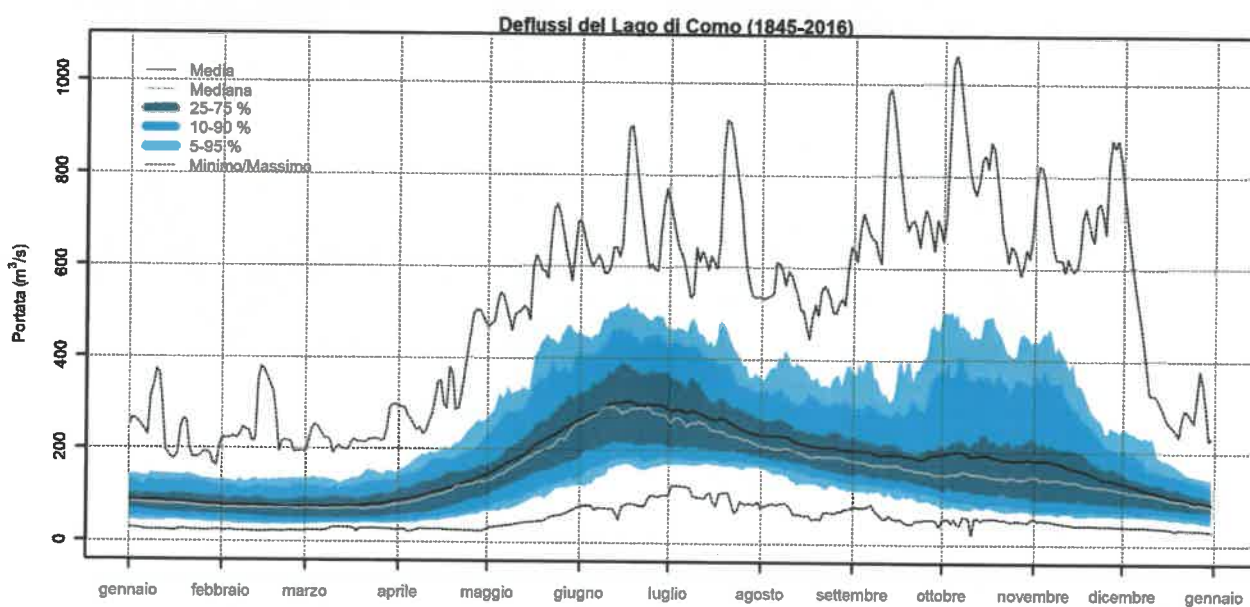
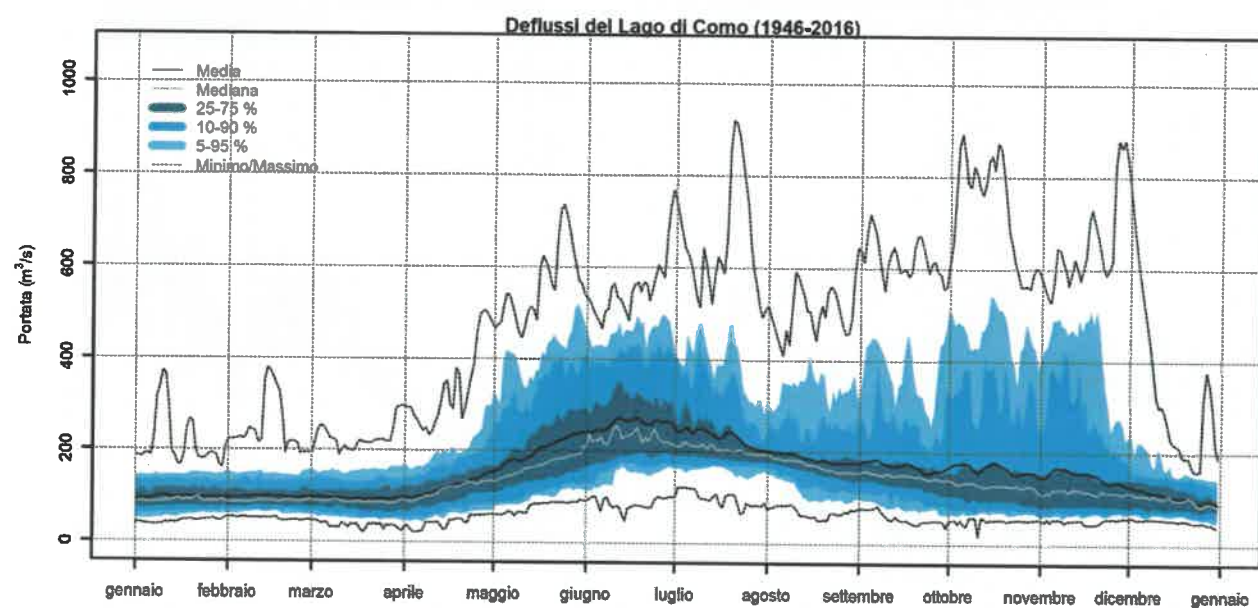
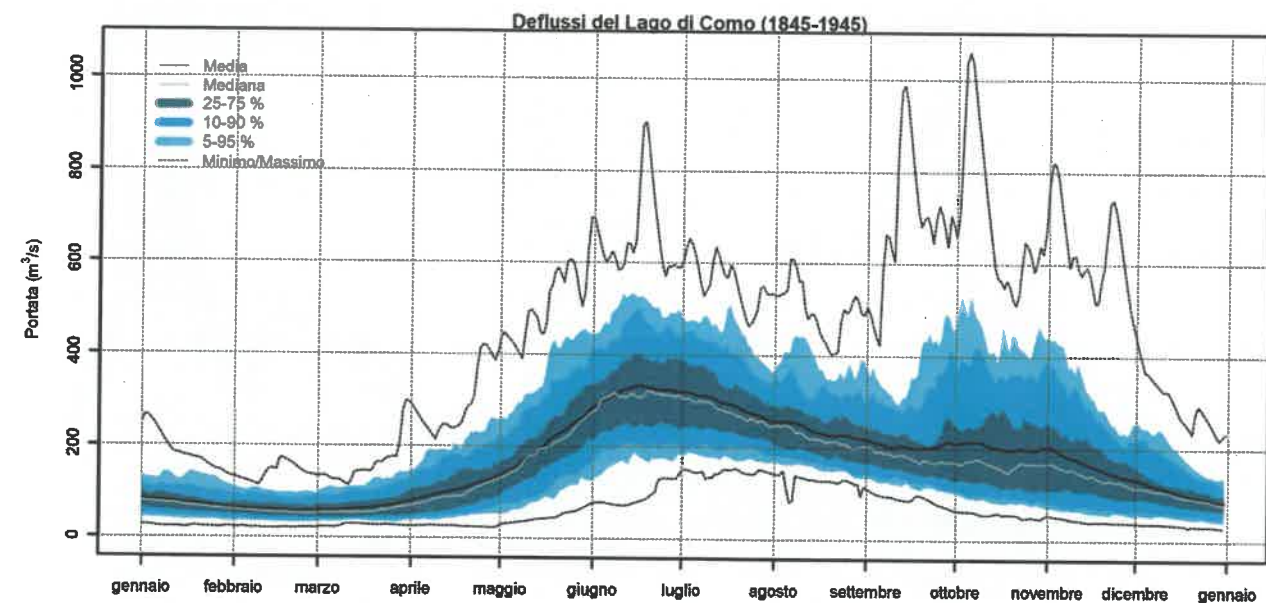


Fig. 10.4 Statistiche dei deflussi stagionali dal Lago di Como.

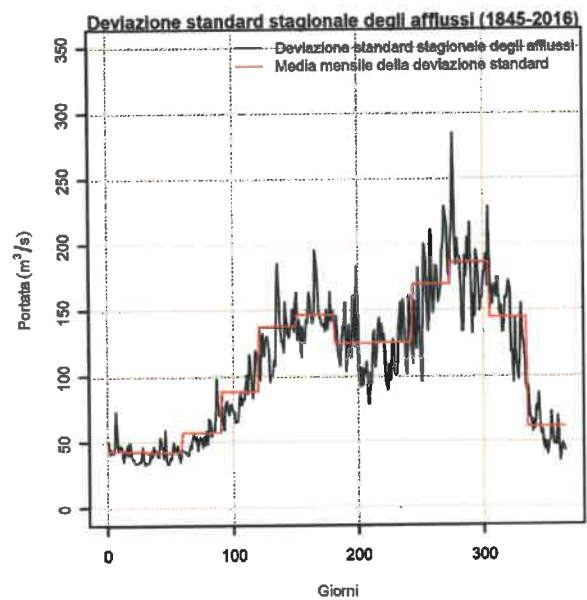
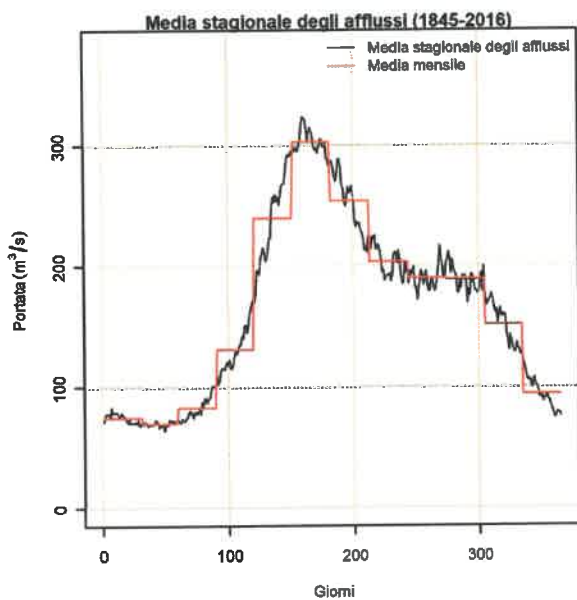
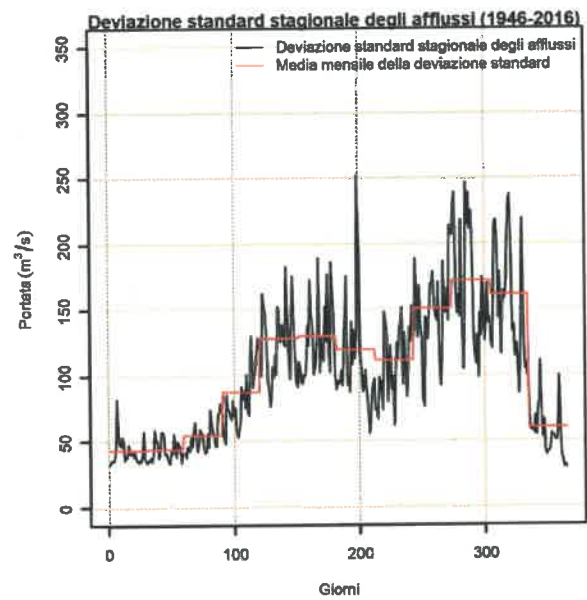
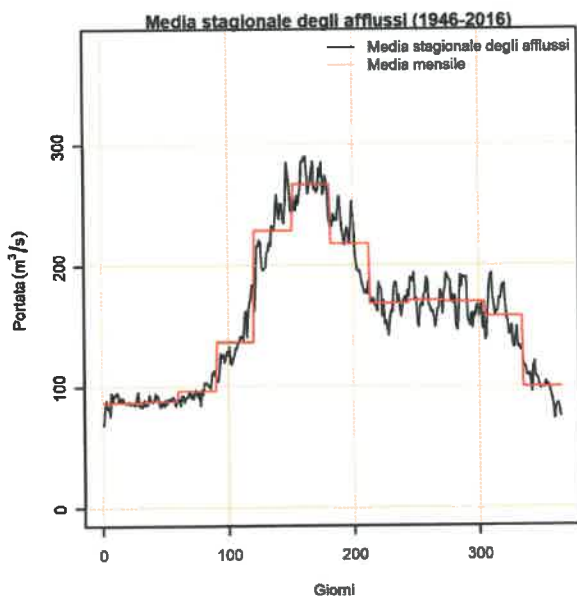
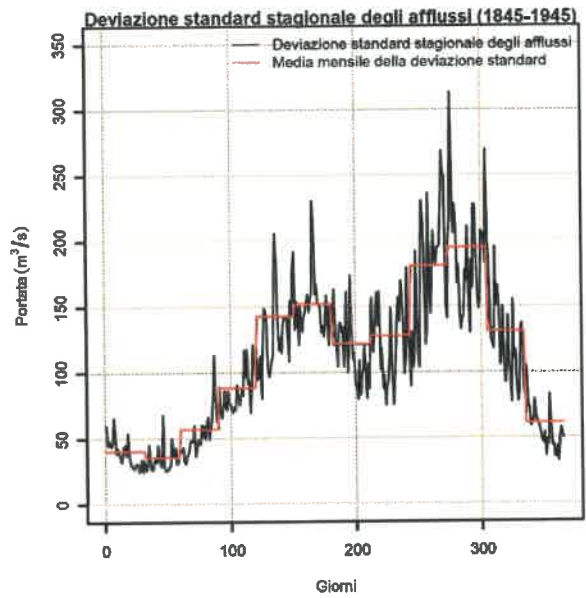
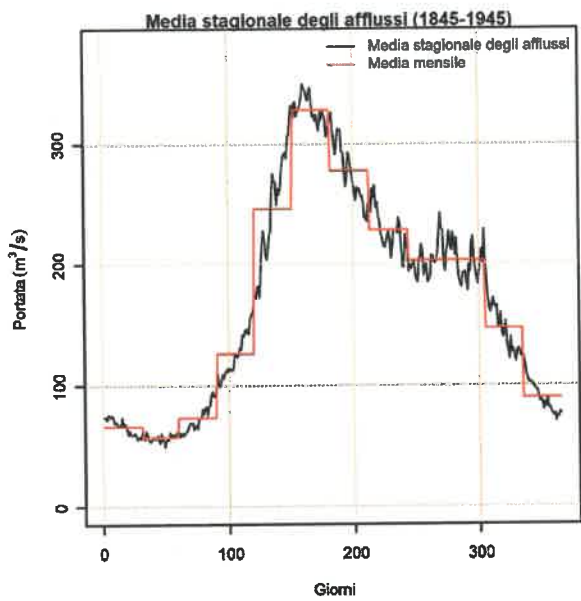


Fig. 10.5 Media e deviazione standard stagionale degli afflussi per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

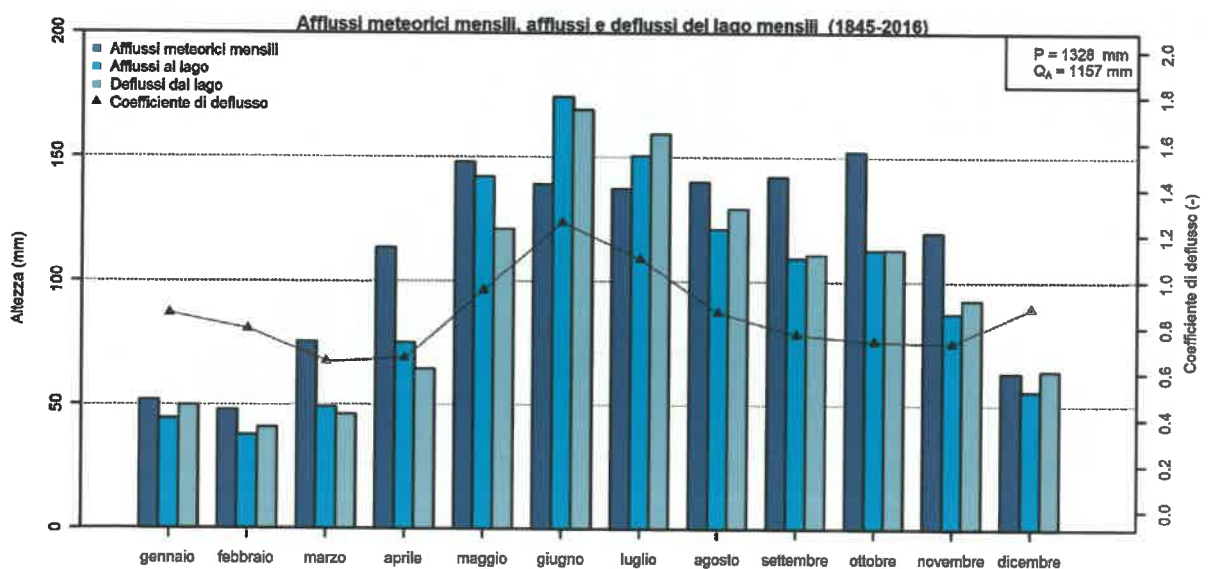
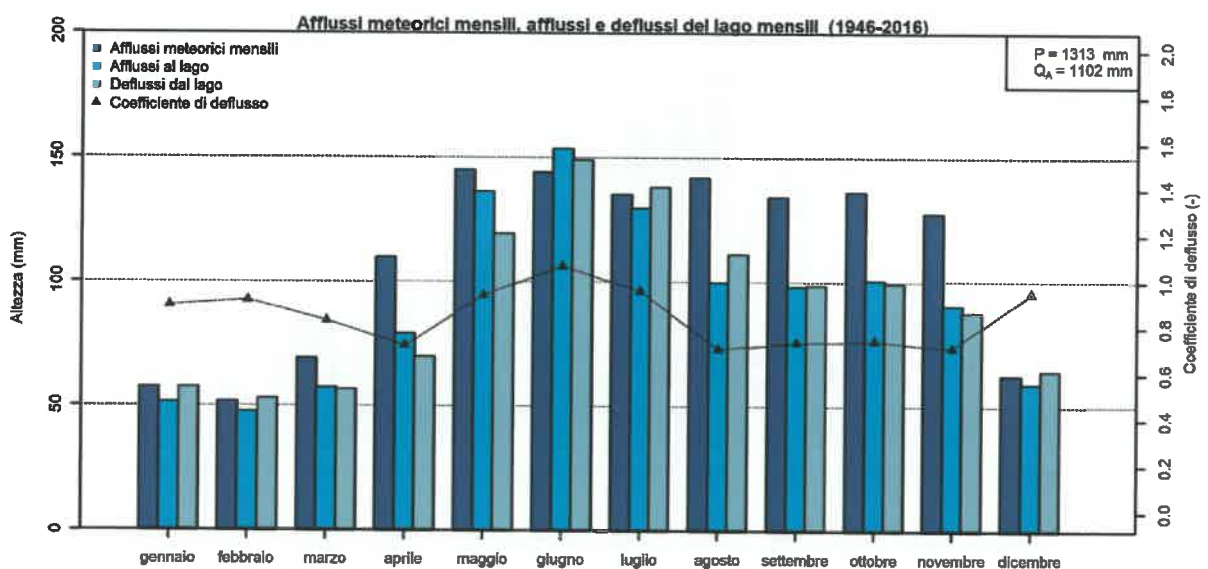
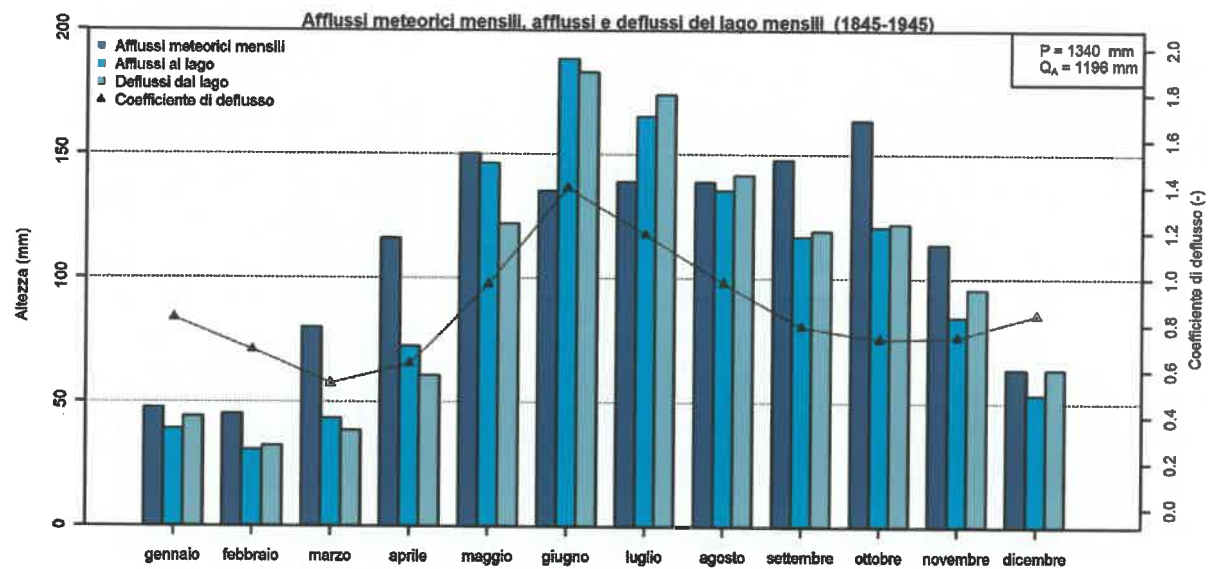


Fig. 10.6 Regime degli afflussi meteorici, afflussi al lago e deflussi e coefficiente di deflusso mensile per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

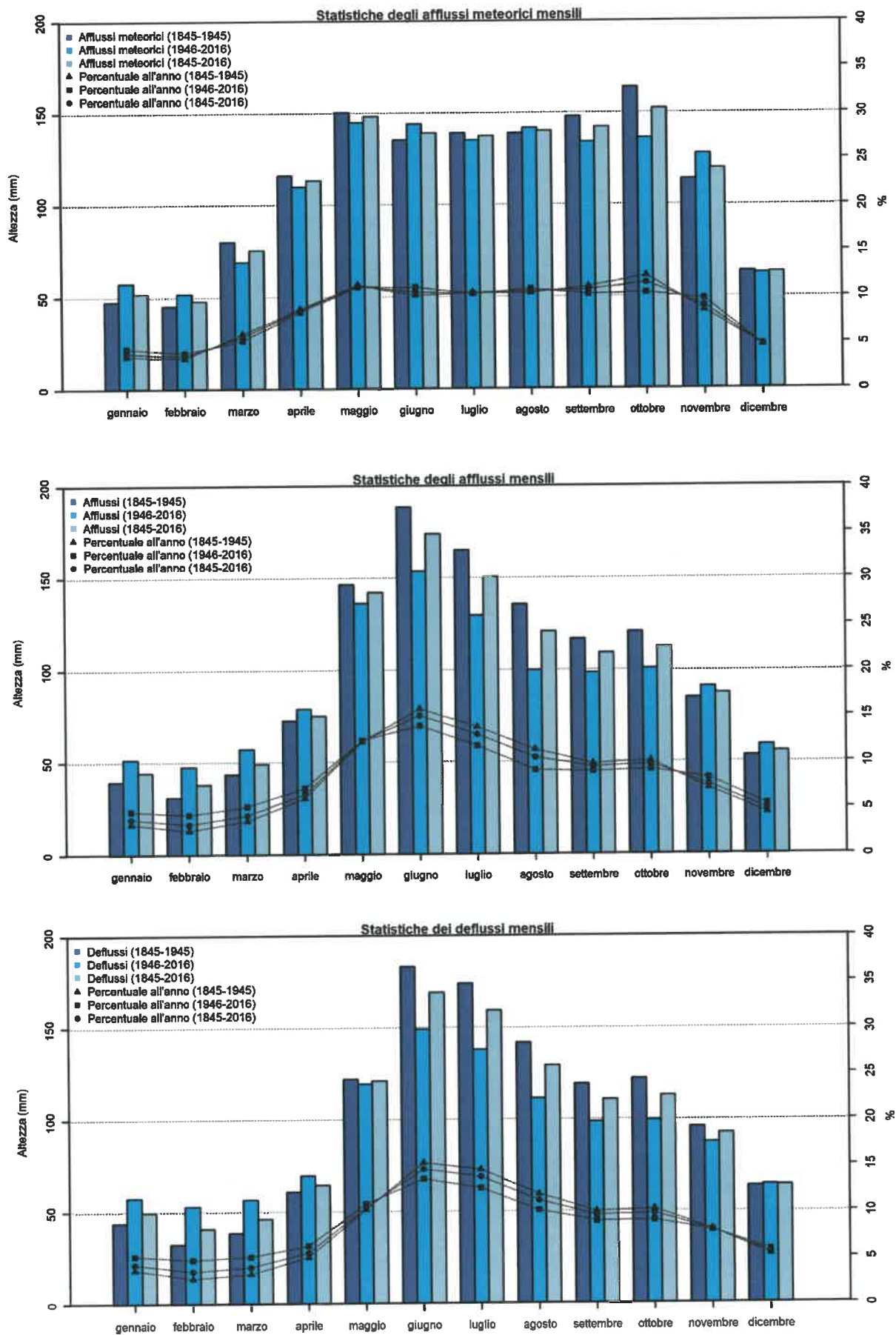


Fig. 10.7 Statistiche degli afflussi meteorici, afflussi al lago e dei deflussi dal lago per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

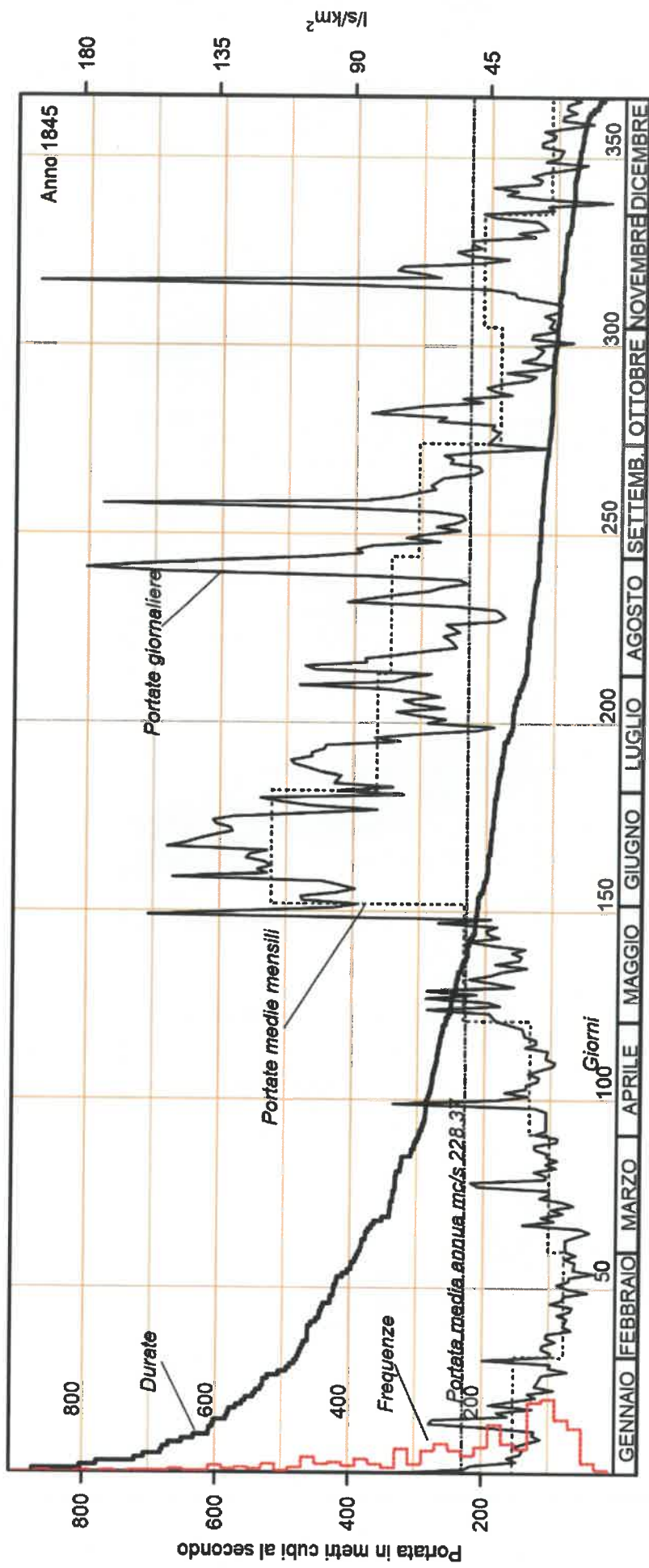


Fig. 10.8 Portate di afflusso giornaliere, curva di durata delle portate, frequenze delle portate, portate medie mensili e annuale per l'anno di inizio delle osservazioni, il 1845.

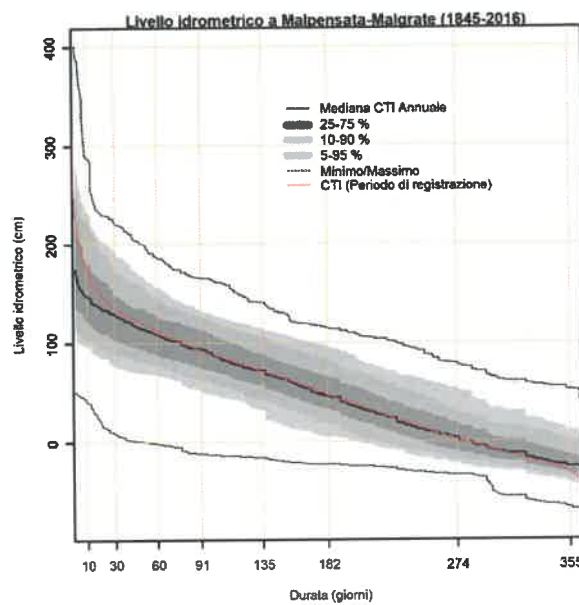
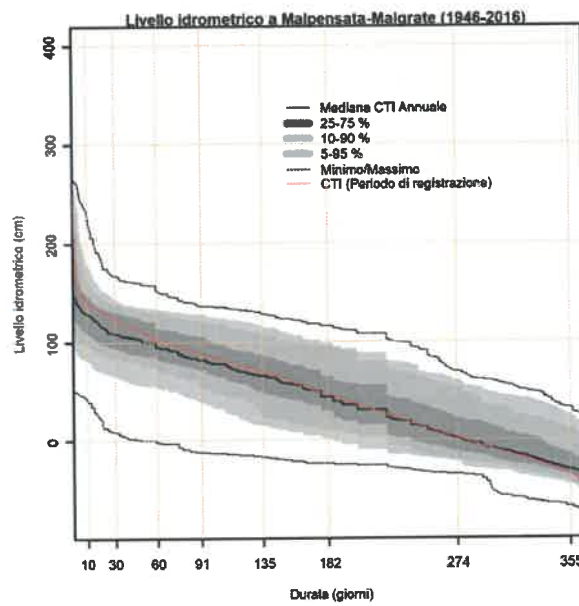
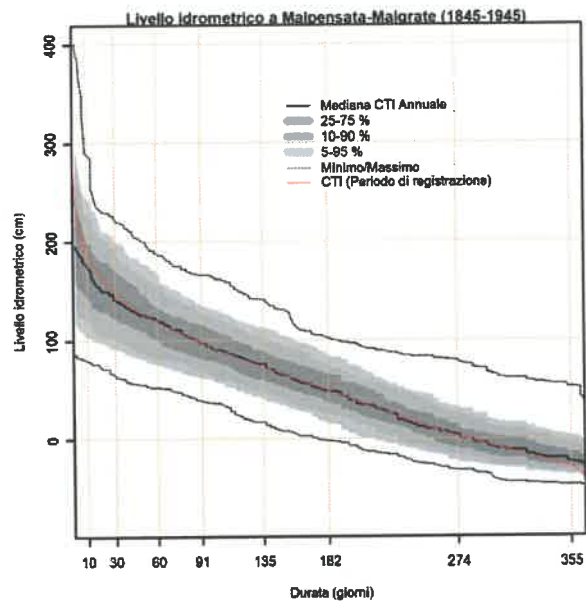


Fig. 10.9 Curve delle durate idrometriche per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016. I valori centrali sono calcolati dalle frequenze nel periodo di registrazione o dai valori mediani dei vari anni.

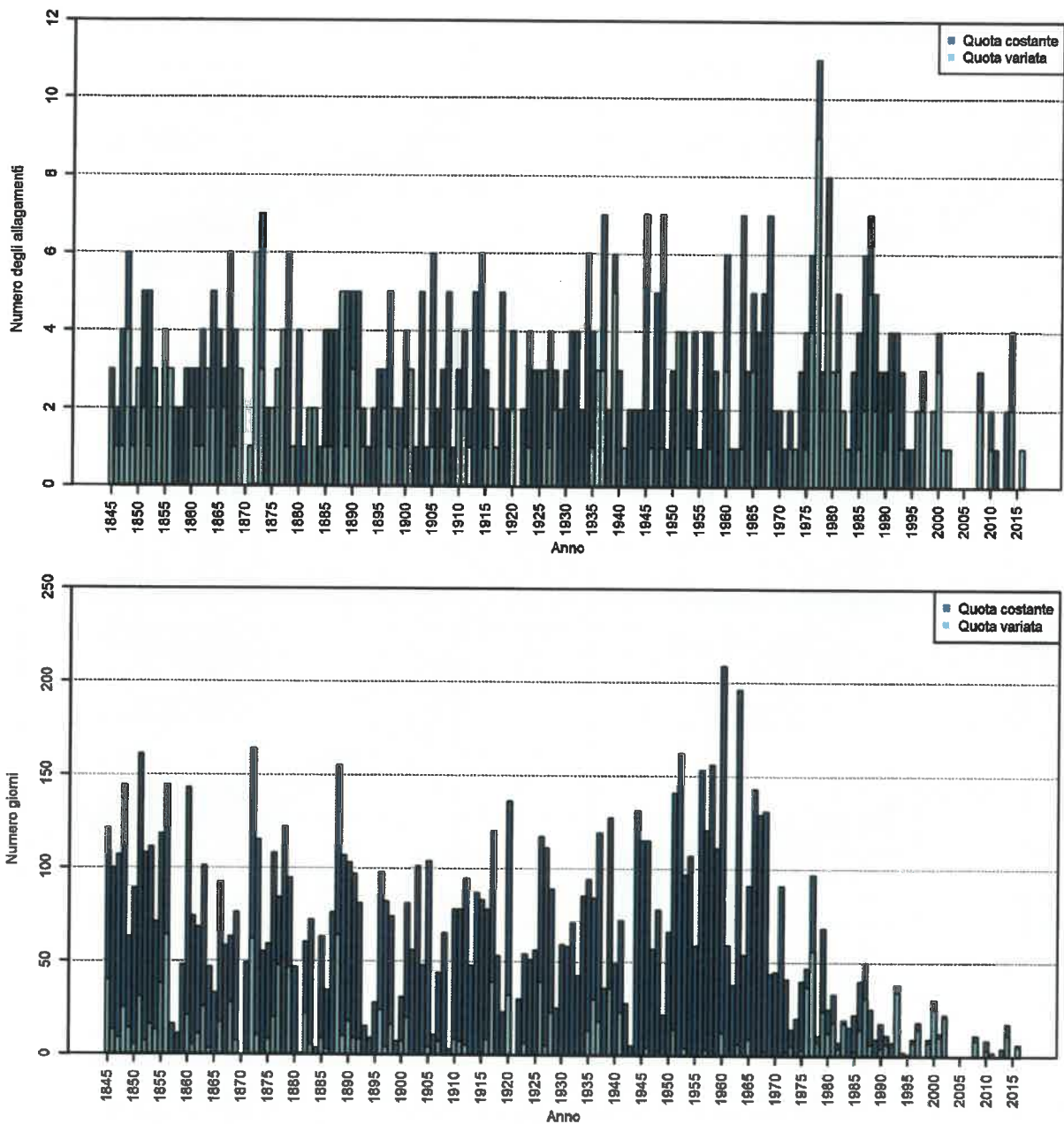


Fig. 10.11 Numero annuale dei superamenti e dei giorni di superamento della quota di Piazza Cavour a Como assunta costante e pari a +1,10 m rispetto all'idrometro di Malgrate (quota attuale) e variabile (+1,85 fino al 1965, +1,20 dopo il 1975 e decrescente linearmente nel periodo intermedio).

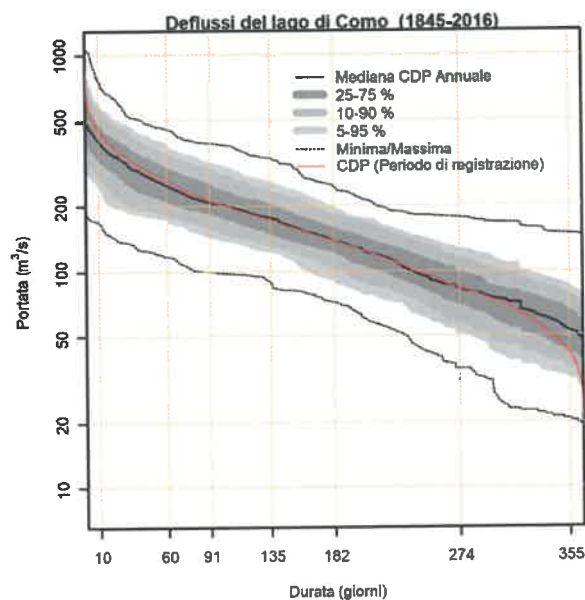
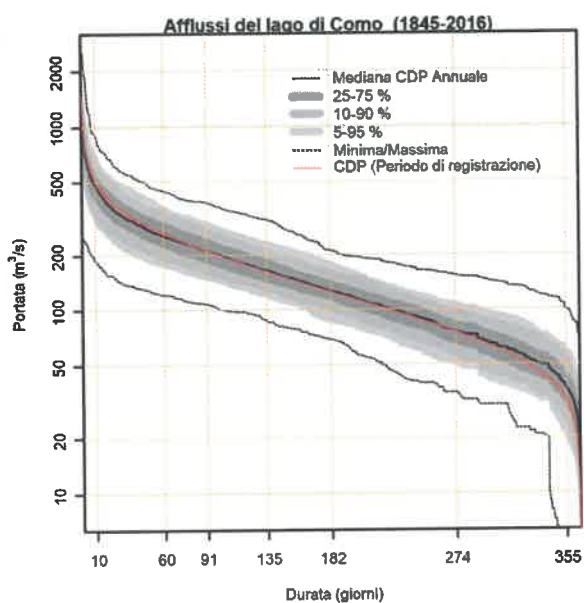
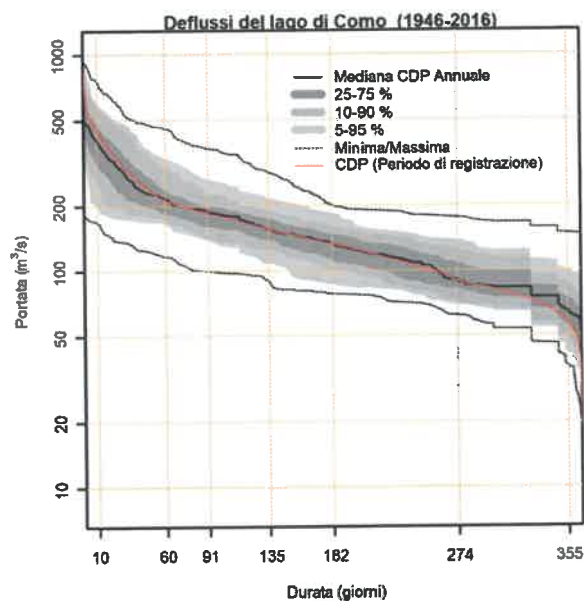
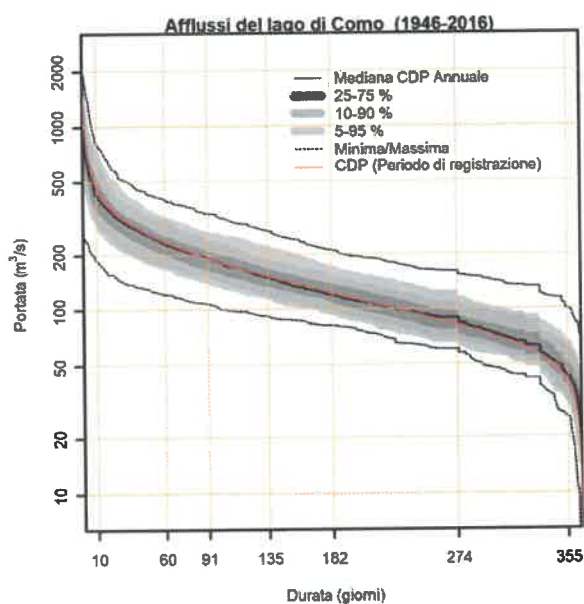
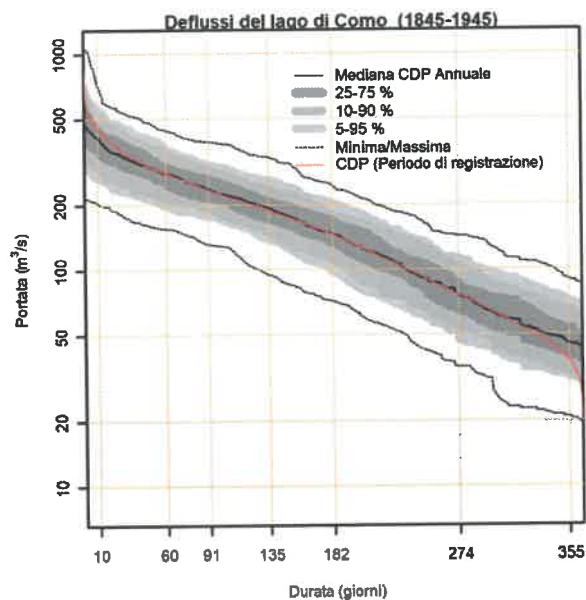
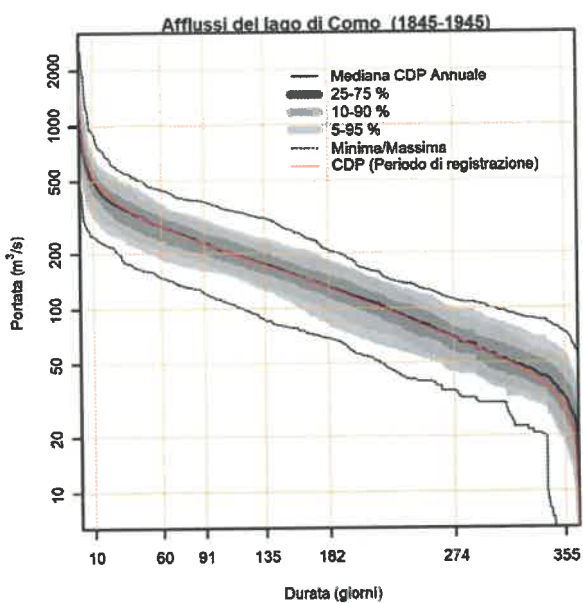


Fig. 10.10 Curve delle durate delle portate di afflusso e deflusso per i periodi pre- e post-regolazione e per il periodo complessivo.

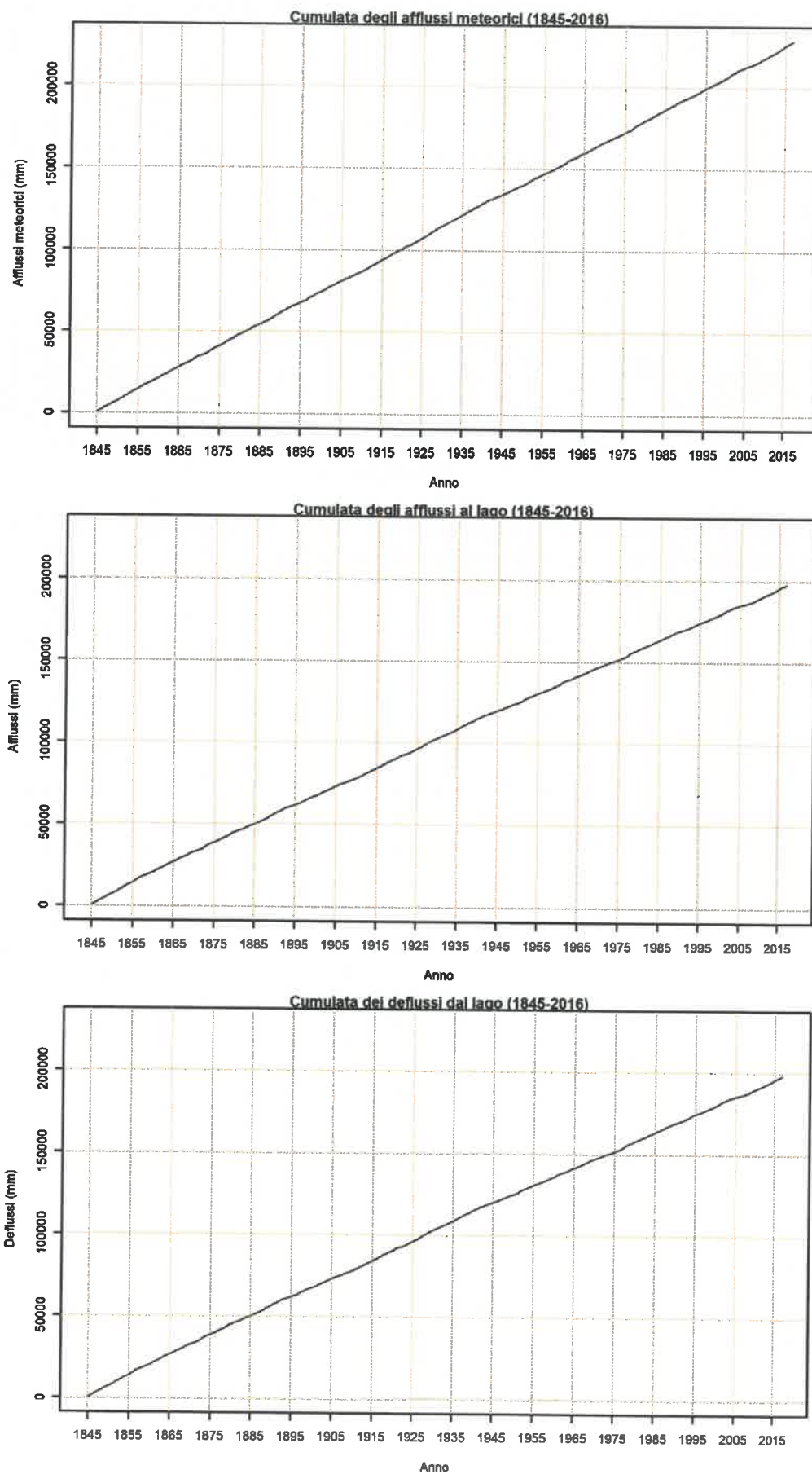


Fig. 10.12 Cumulata degli afflussi meteorici, e degli afflussi e deflussi relativi al lago di Como, avendo sottratto il contributo del T. Spöl.

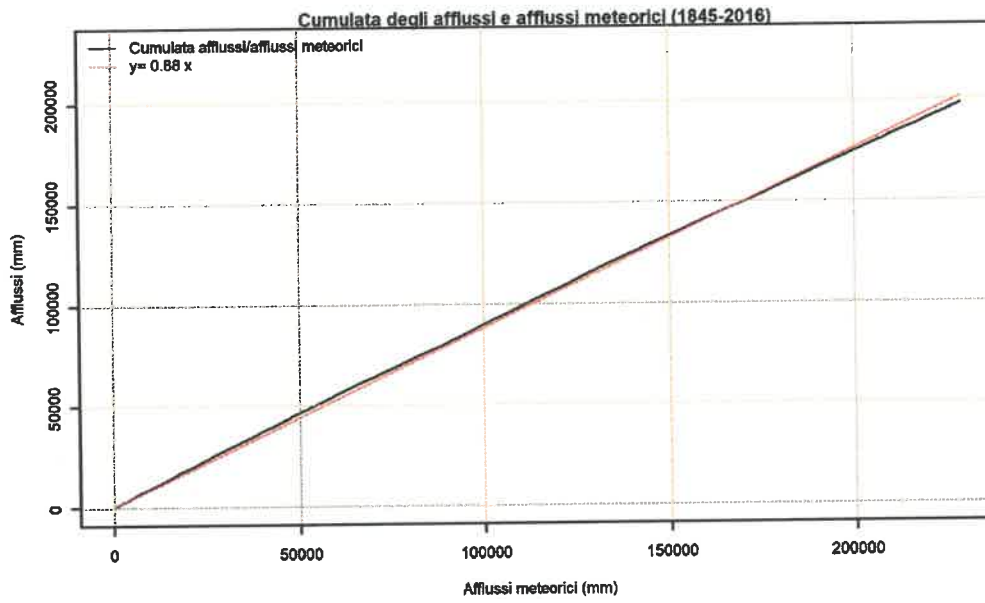


Fig. 10.13 Doppia cumulata degli afflussi, avendo sottratto il contributo del T. Spöl e degli afflussi meteorici; la pendenza esprime il coefficiente di deflusso medio.

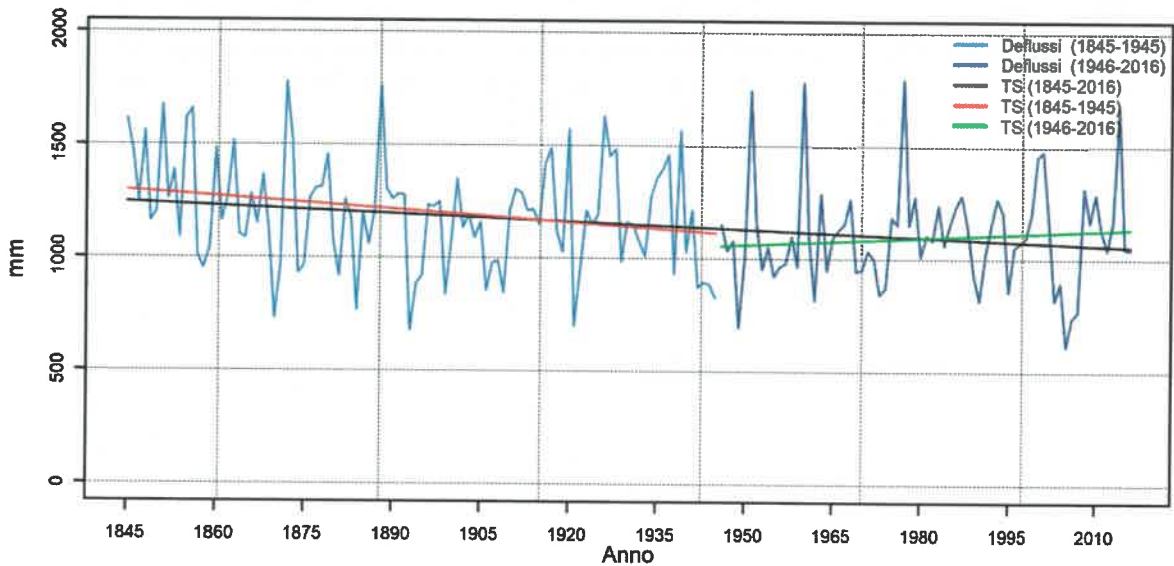
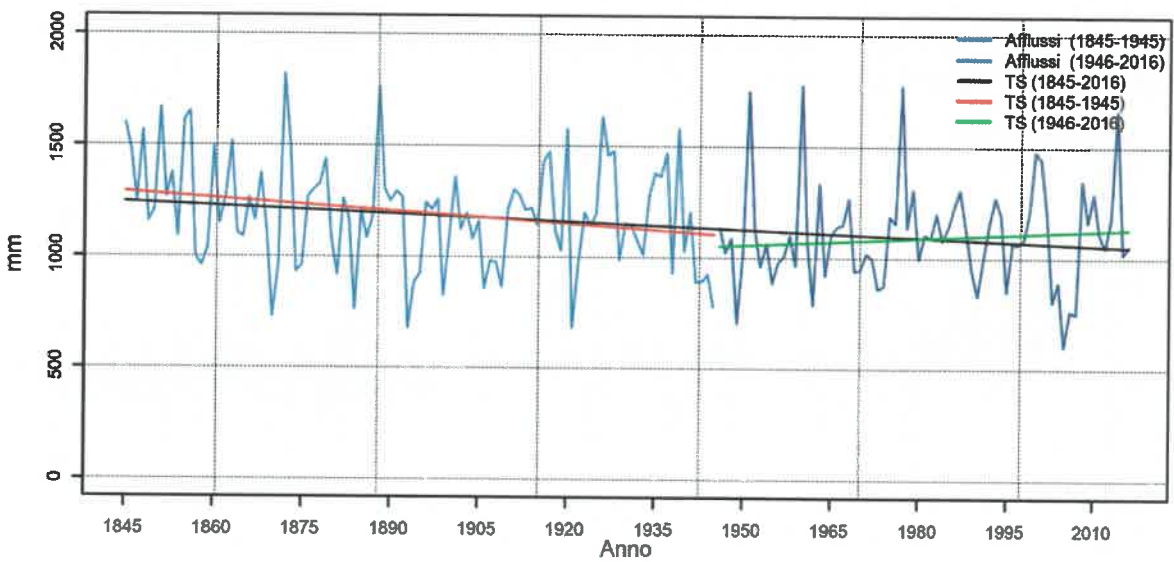
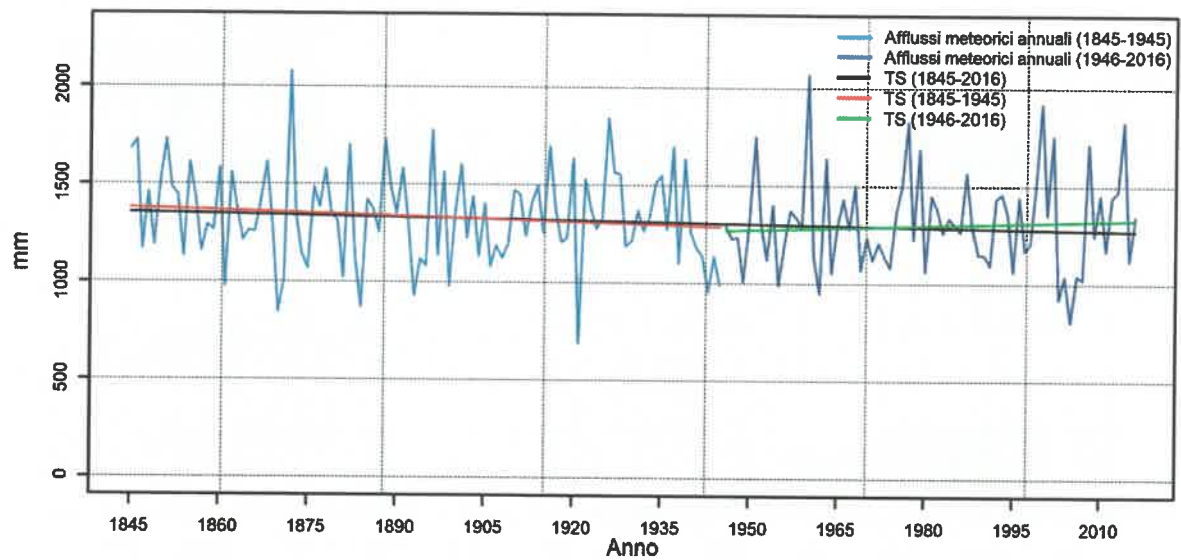


Fig. 10.14 Trend (Theil-Sen) degli afflussi meteorici, afflussi al lago e dei deflussi dal lago annuali per i periodi 1845-1945, 1946-2016 e 1845-2016.

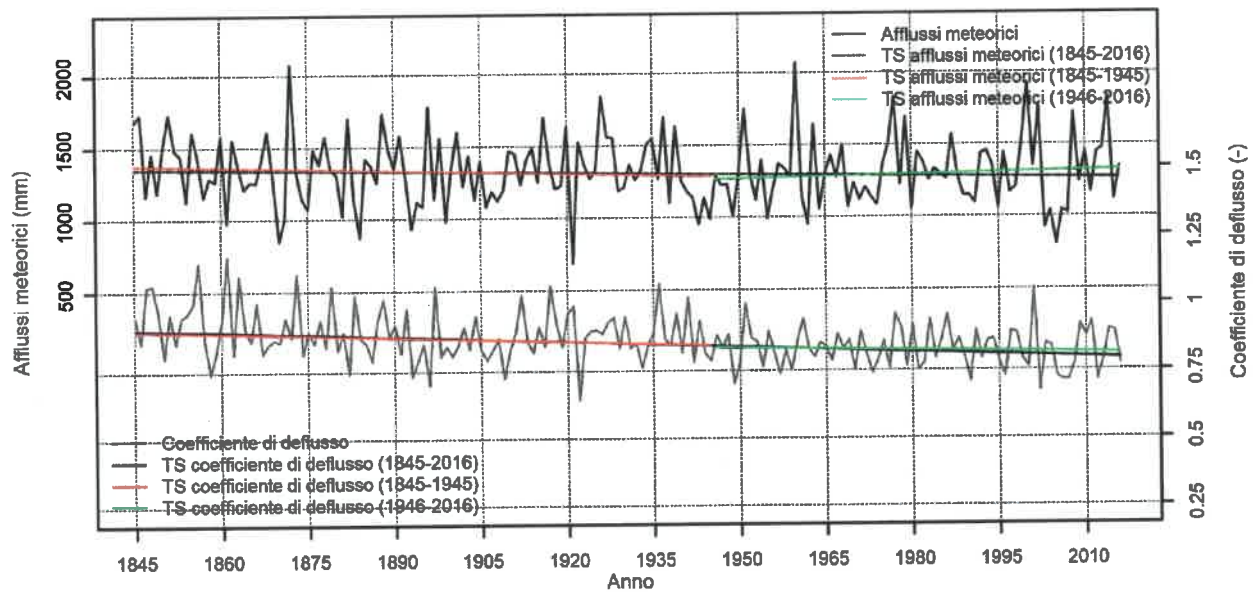


Fig. 10.15 Afflussi meteorici e coefficiente di deflusso annuale avendo sottratto il contributo del T. Spöl e analisi dei trend (Theil-Sen).

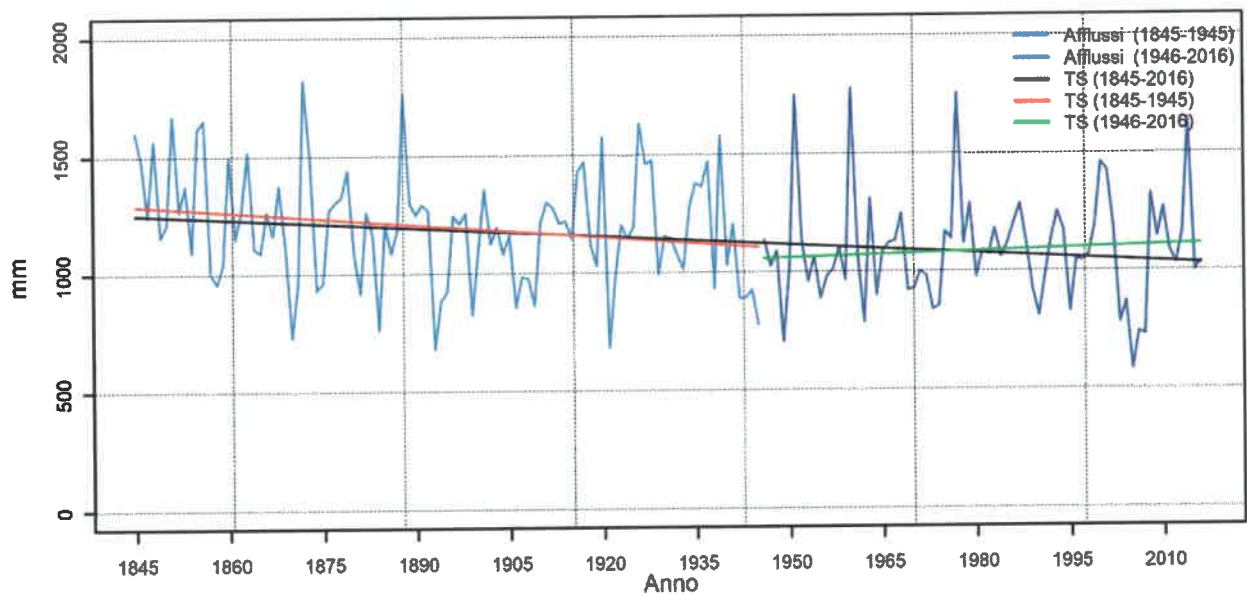


Fig. 10.16 Trend (Theil-Sen) degli afflussi al lago avendo sottratto 20 mm di volume di derivazione dal T. Spöl dal 1963.

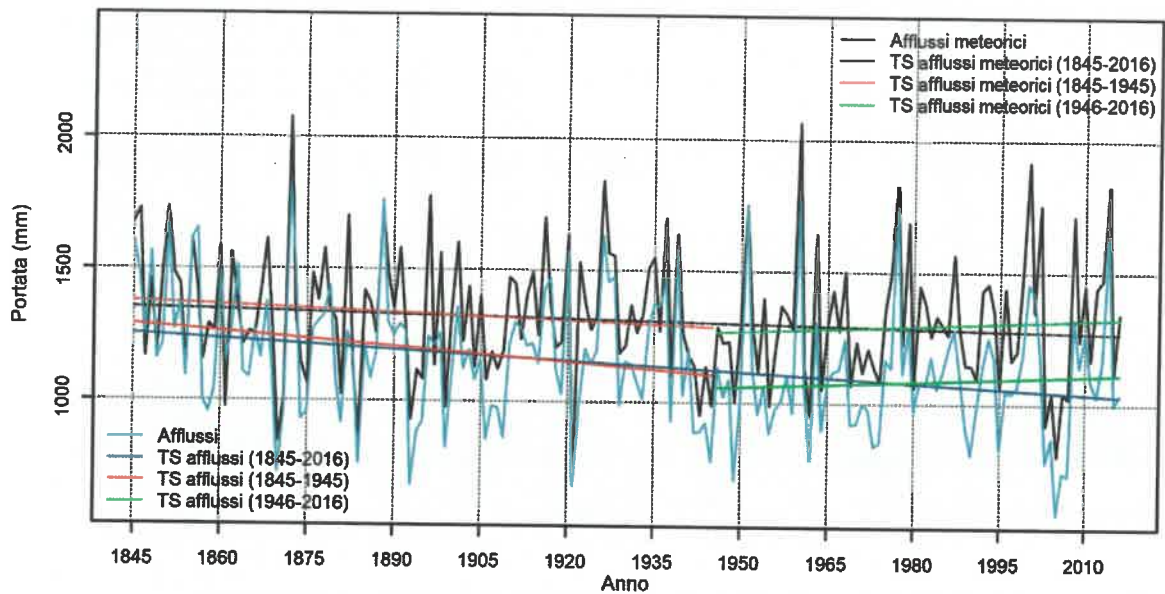


Fig. 10.17 Afflussi meteorici e afflussi annuali al lago avendo sottratto dal 1963 20 mm di volume di derivazione dal T. Spöl.

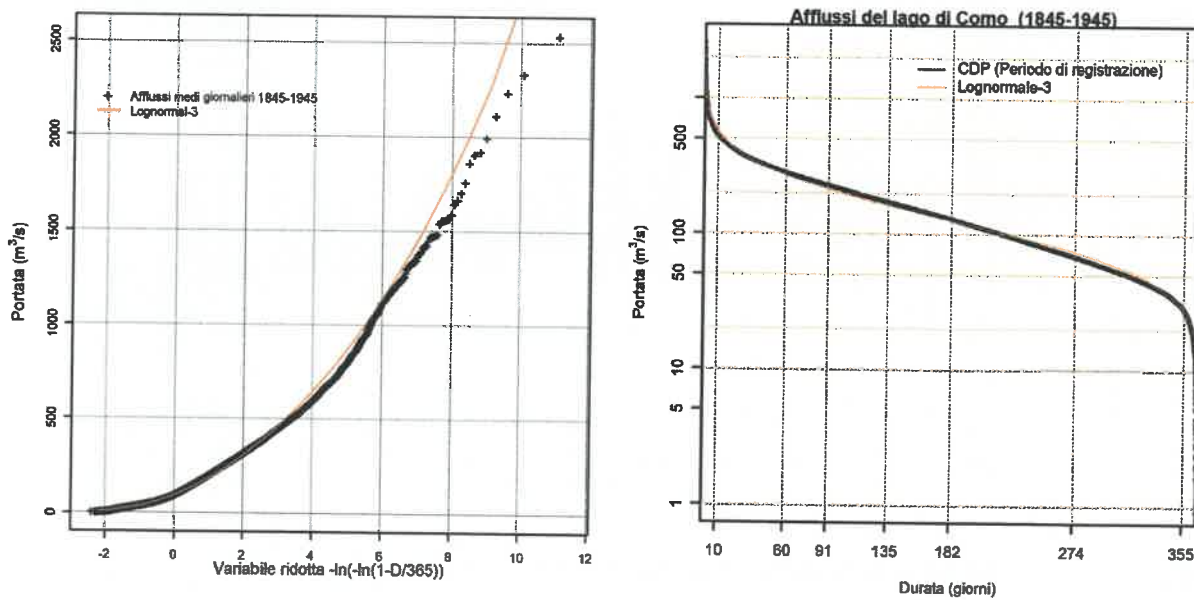


Fig. 10.18 Confronto, a sinistra, della distribuzione empirica (formula di Gringorten) e teorica (L-momenti) degli afflussi medi giornalieri. Sulla destra la curva di durata delle portate di afflusso per il periodo pre-regolazione.

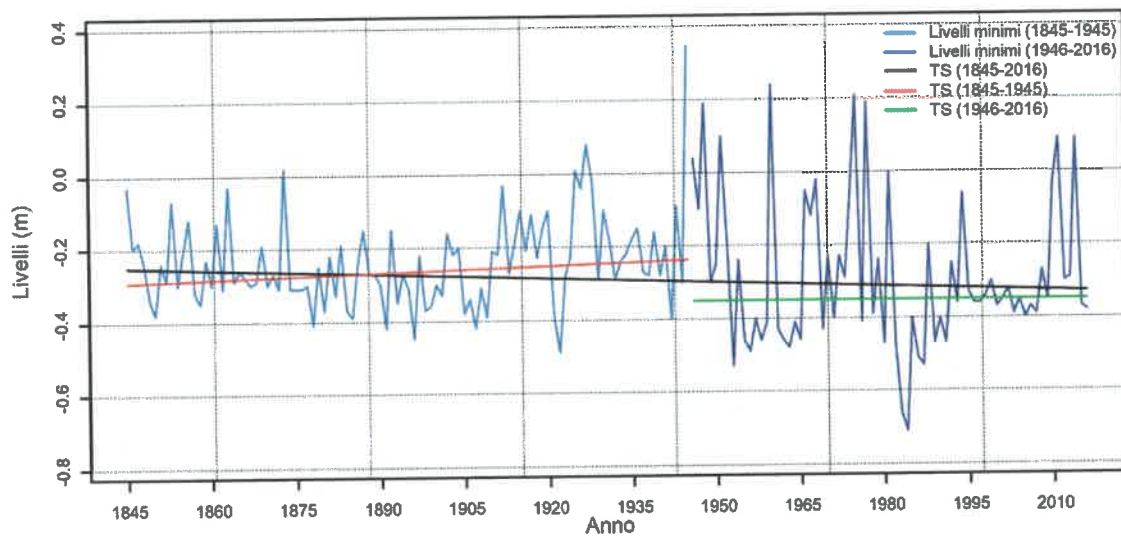


Fig. 10.19 Trend (Theil-Sen) dei minimi annuali dei livelli idrometrici a Malgrate.

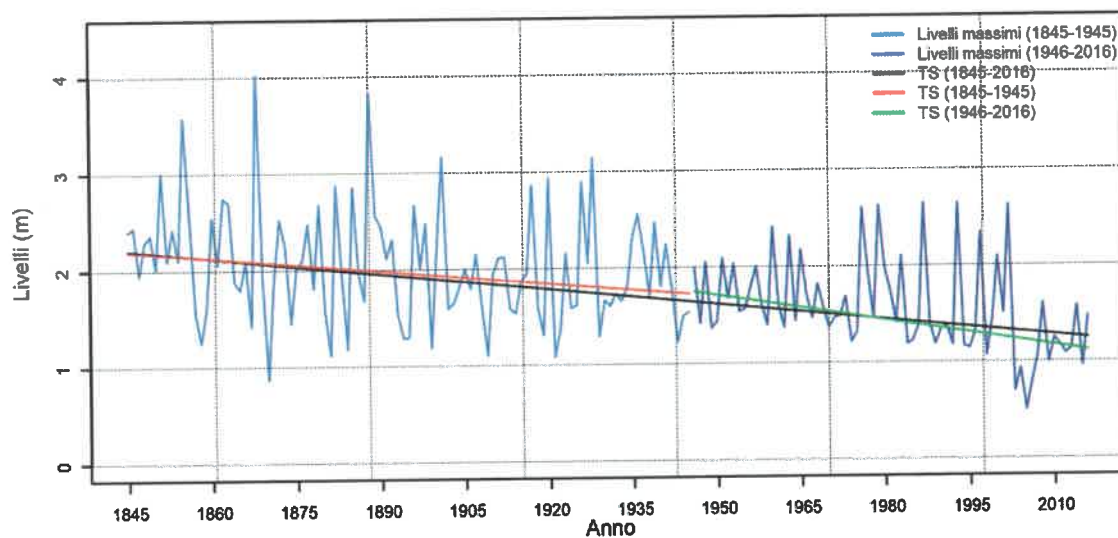


Fig. 10.20 Trend (Theil-Sen) dei massimi annuali dei livelli idrometrici a Malgrate.

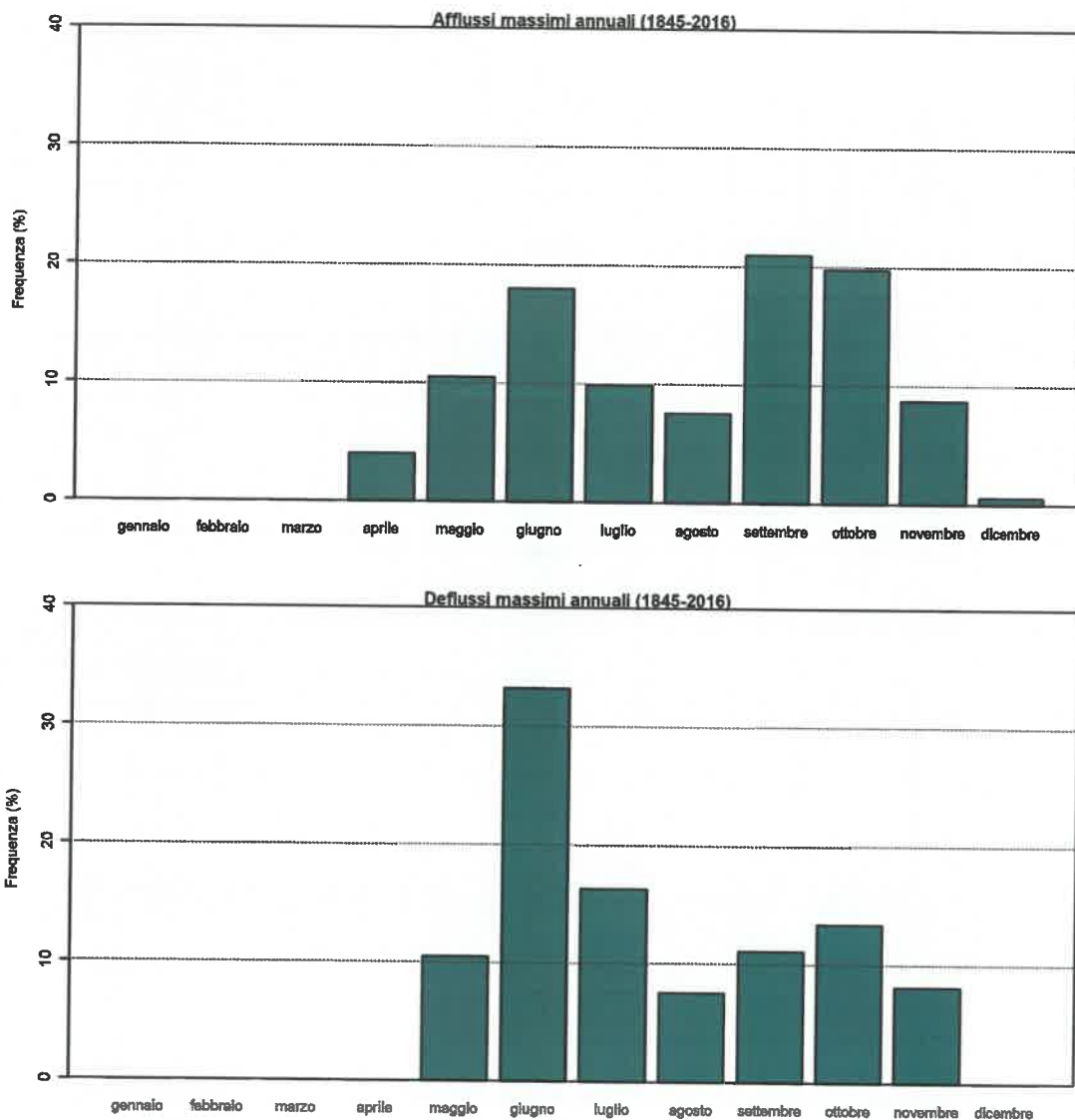


Fig. 10.21 Distribuzione percentuale del numero dei massimi annuali degli afflussi e dei deflussi giornalieri nei diversi mesi dell'anno.

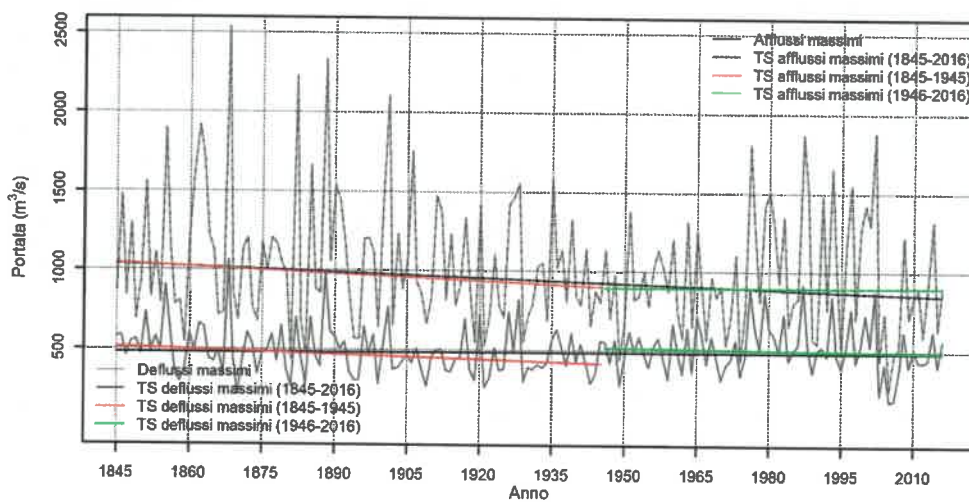


Fig. 10.22 Analisi congiunta dei trend (Theil-Sen) per i massimi annuali degli afflussi e deflussi giornalieri.

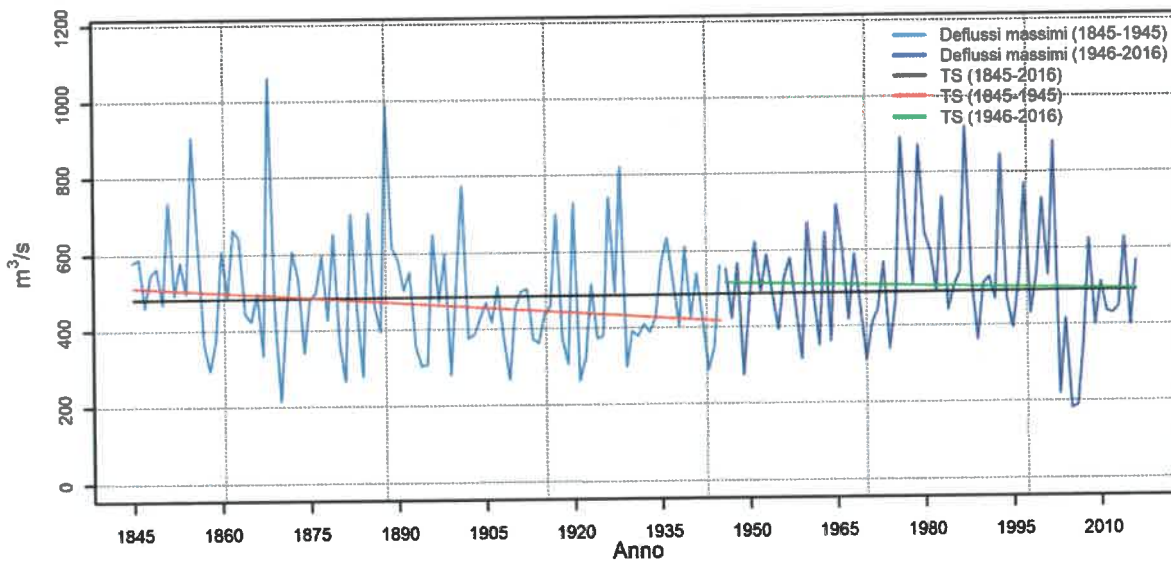
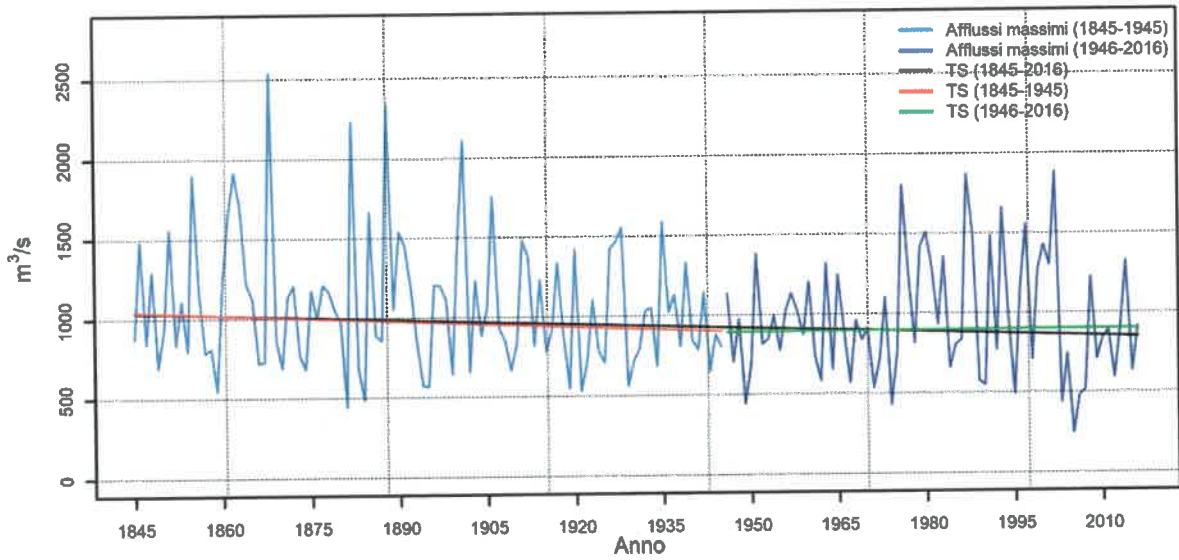


Fig. 10.23 Trend (Theil-Sen) dei massimi annuali degli afflussi e dei deflussi giornalieri dal lago.

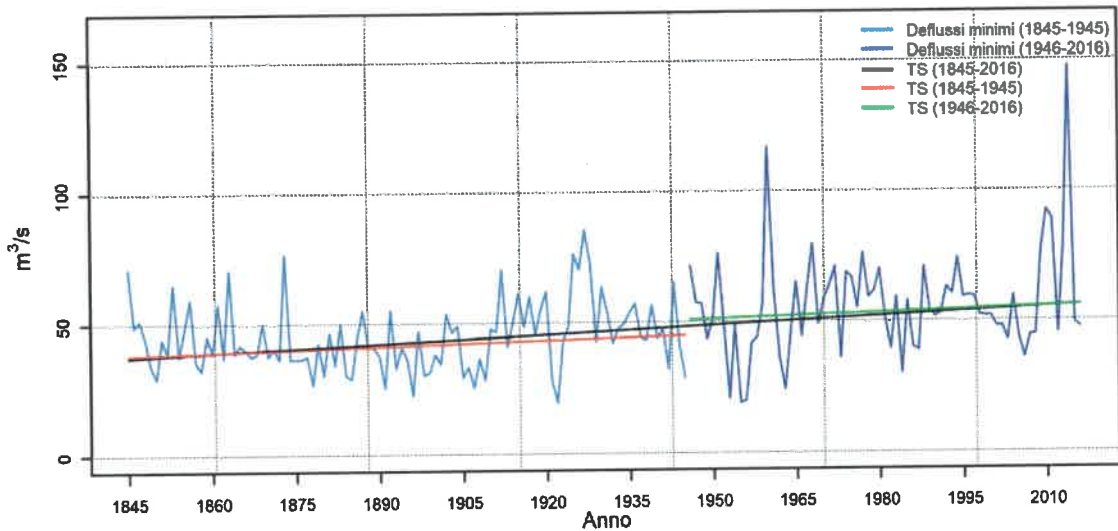


Fig. 10.24 Trend (Theil-Sen) dei minimi annuali dei deflussi dal lago di Como.

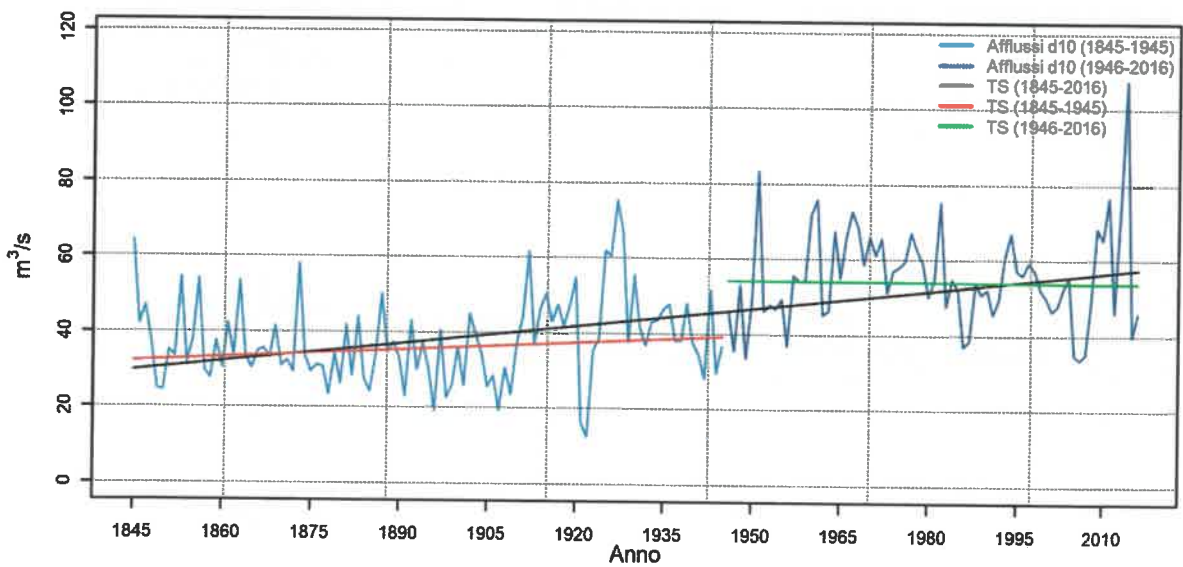
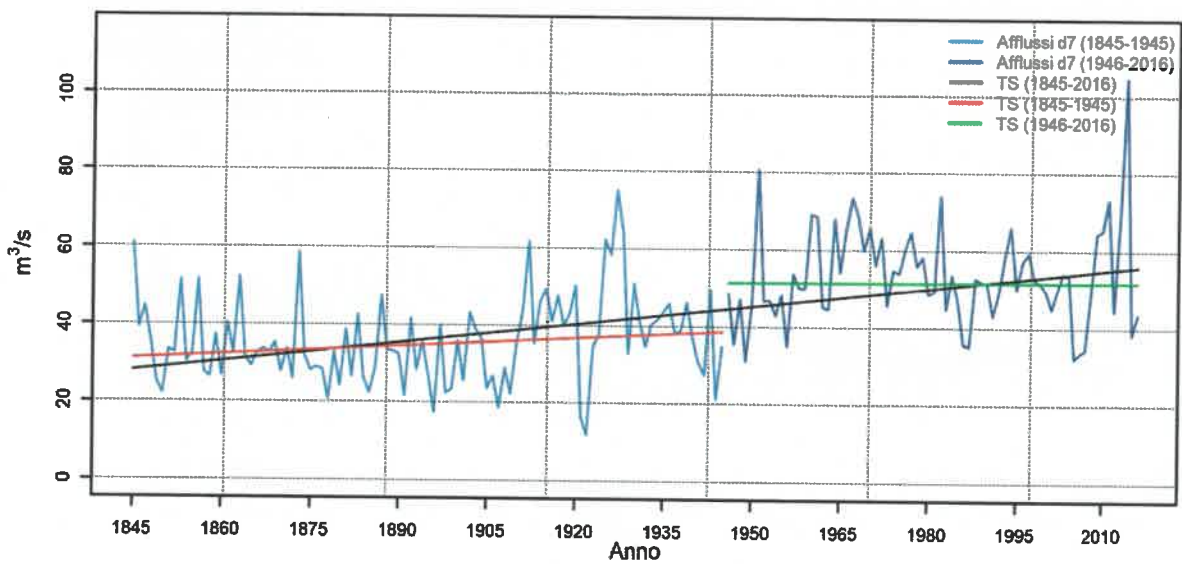
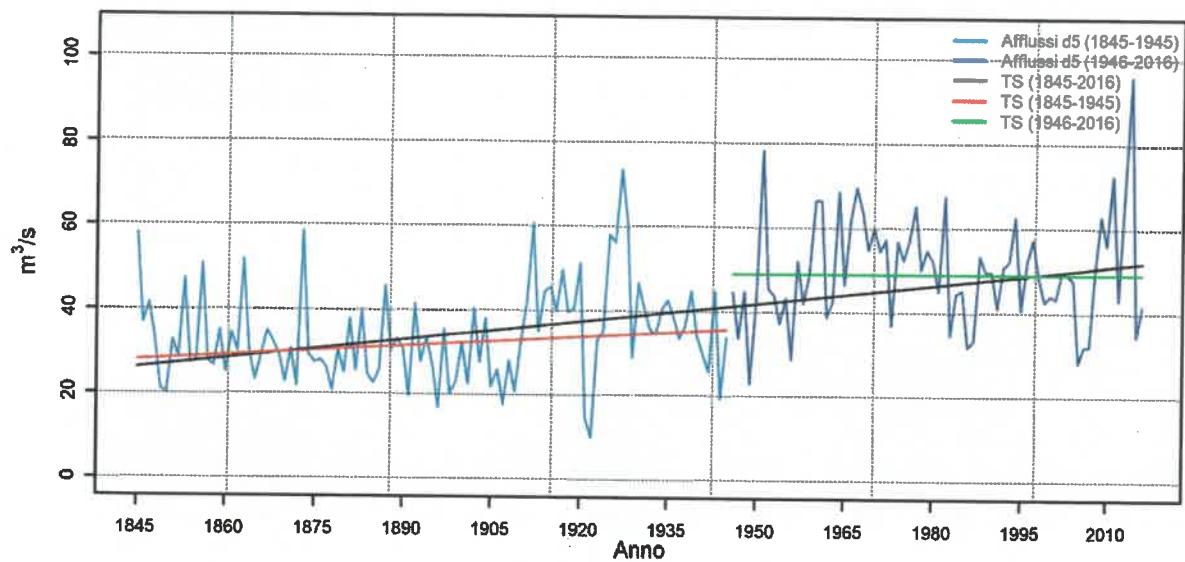


Fig. 10.25 Trend (Theil-Sen) dei minimi annuali della portata media di afflusso in 5, 7 e 10 giorni consecutivi.

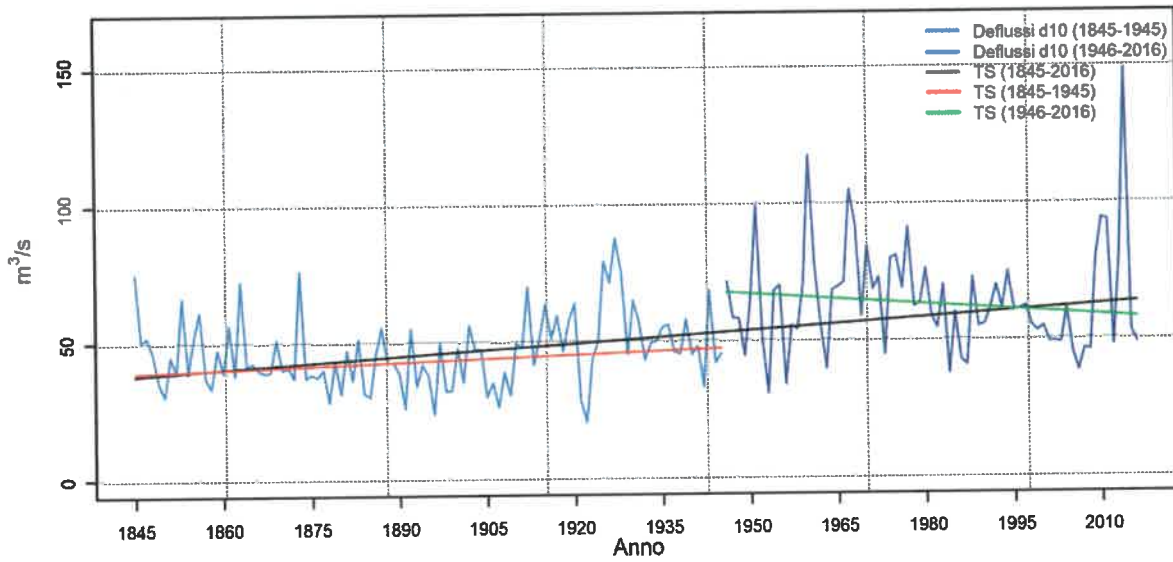
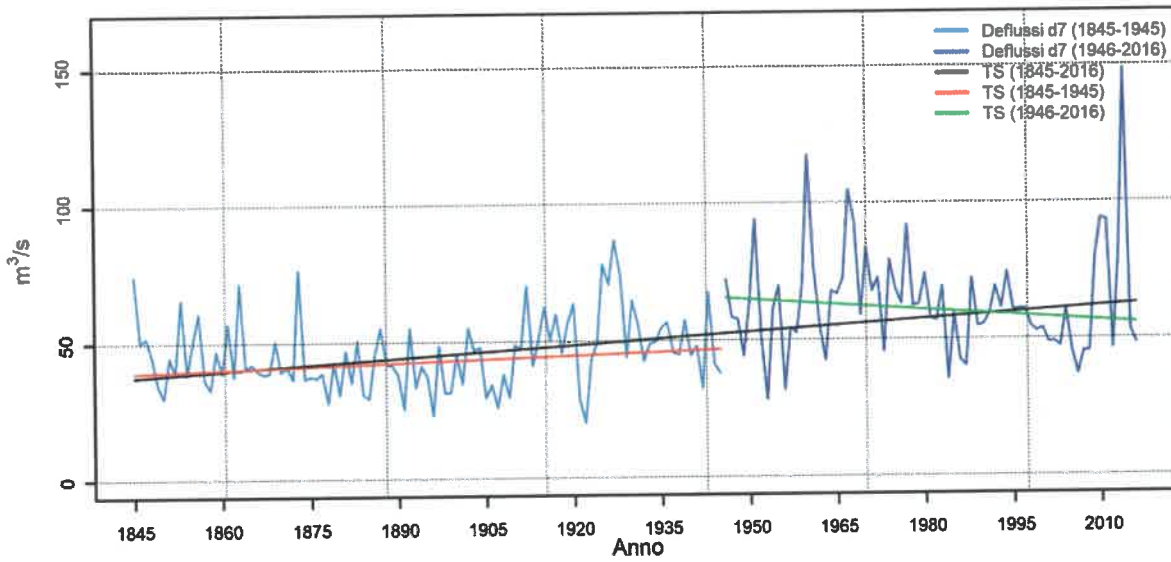
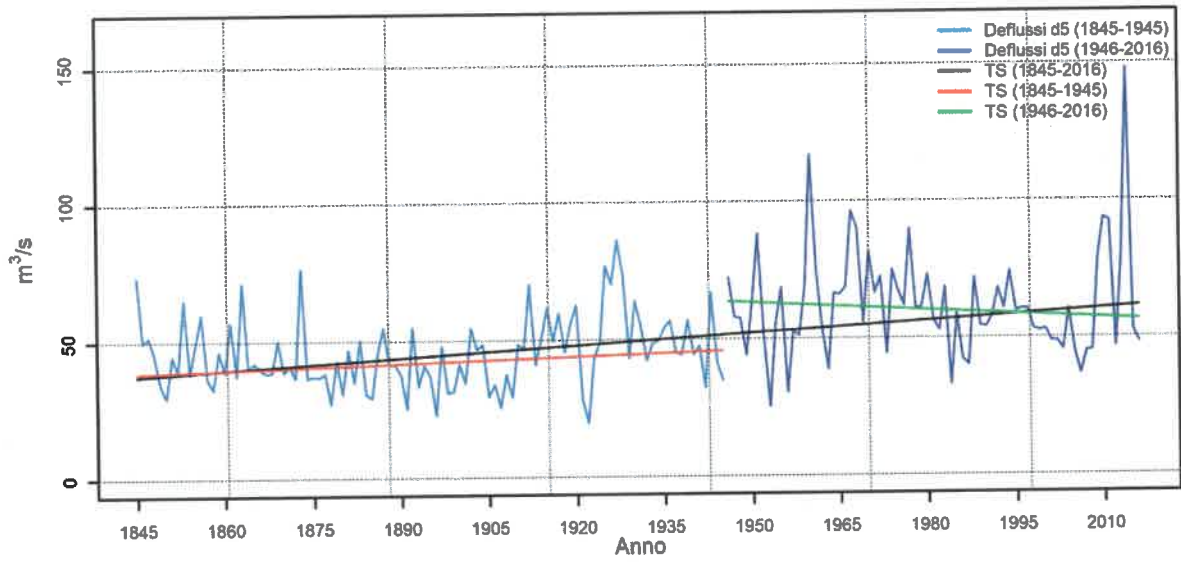


Fig. 10.26 Trend (Theil-Sen) dei minimi annuali della portata media di deflusso in 5, 7 e 10 giorni consecutivi.

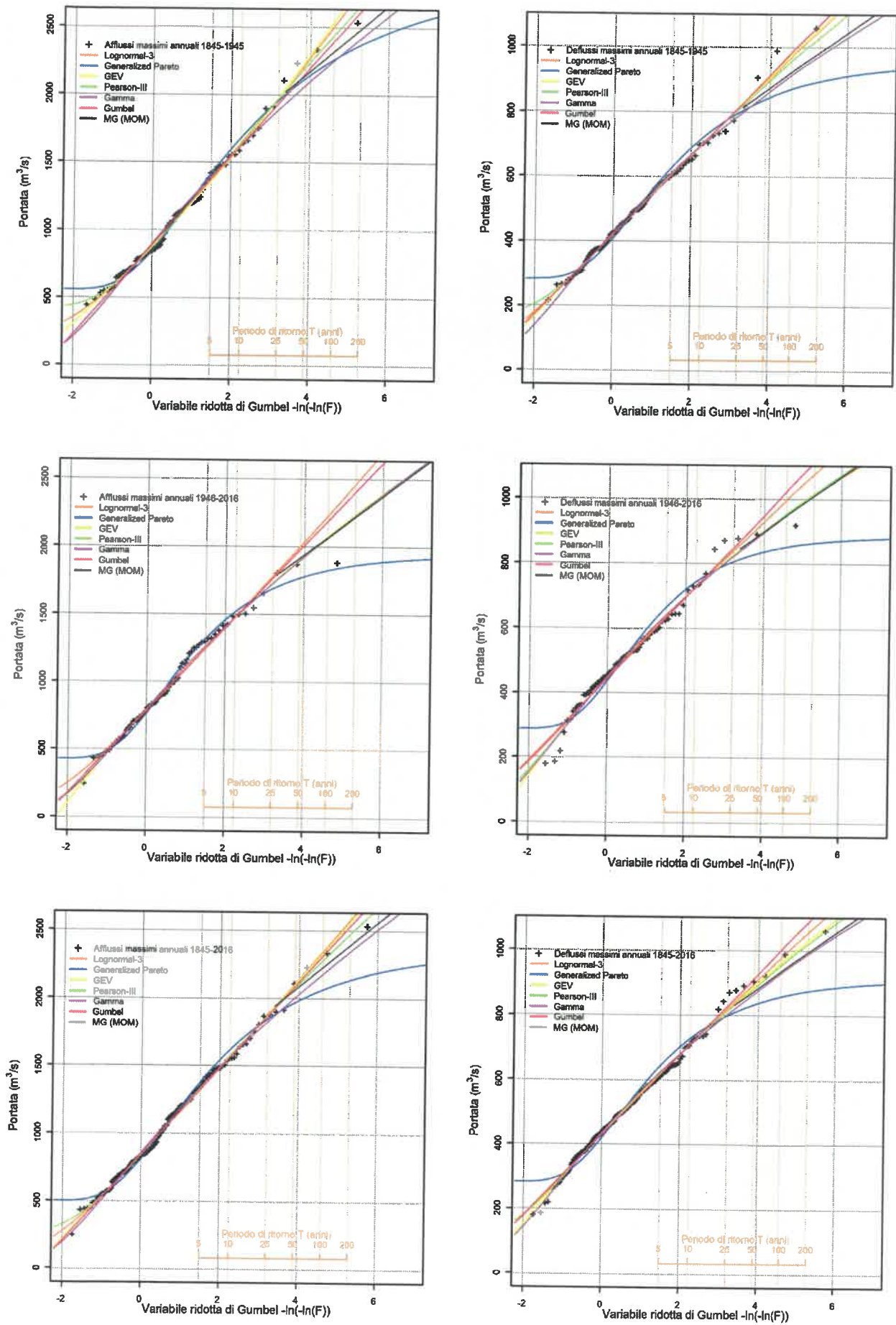


Fig. 10.27 Confronto delle distribuzioni empiriche (formula di Gringorten) e teoriche (L-momenti) degli afflussi e dei deflussi massimi annuali.

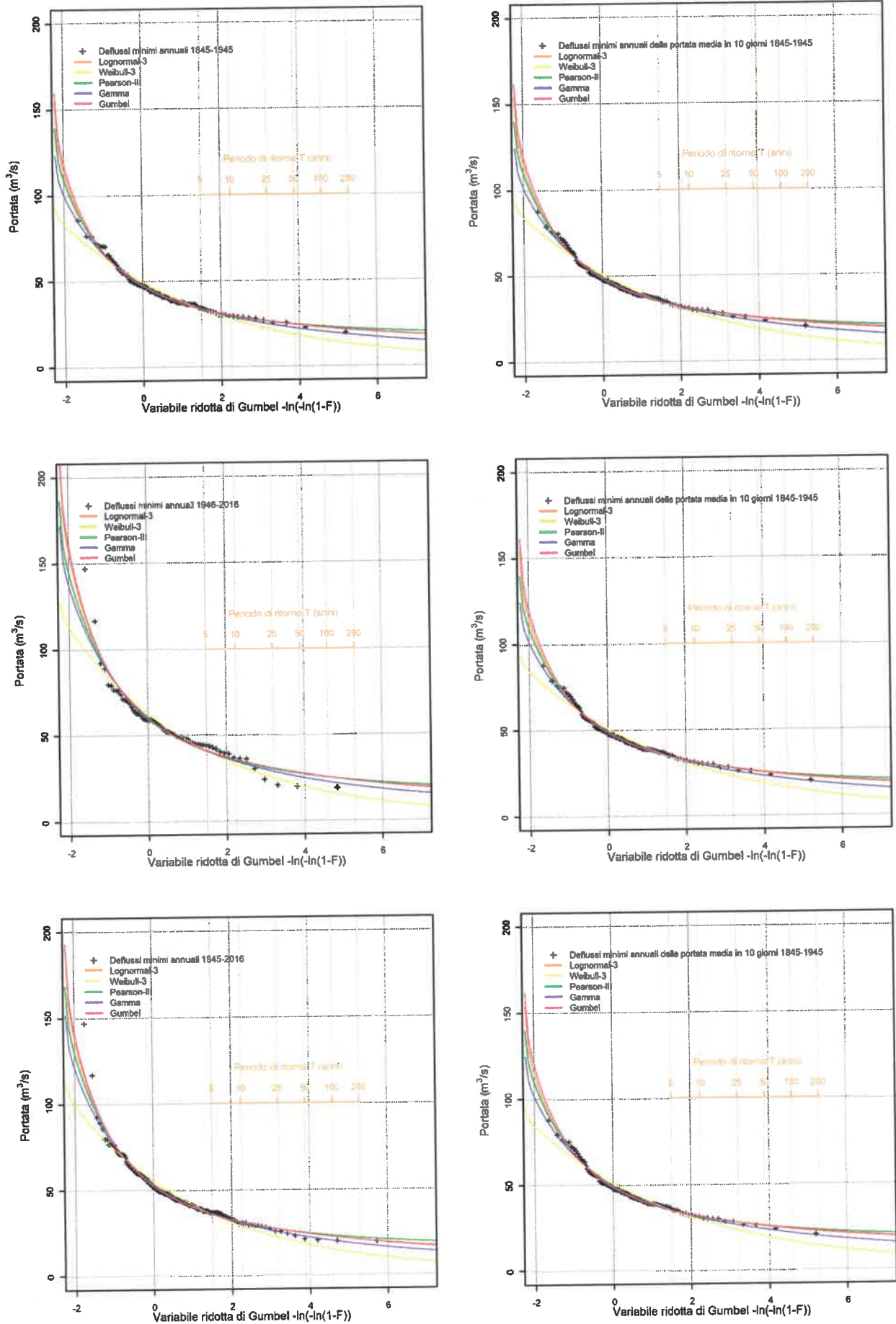


Fig. 10.28 Confronto delle distribuzioni empiriche (formula di Gringorten) e teoriche (L-momenti) dei deflussi minimi annuali e dei deflussi minimi annuali della portata media in 10 giorni consecutivi.

Nella quarta di copertina: l'idrometrografo della stazione di Lavello (in alto a sinistra), l'asta idrometrica e l'idrometro del Fortilizio a Lecco (in alto a destra) e, in basso, una vecchia cartolina che raffigura la riva della Malpensata dove era collocata, fino al 6.3.1923, l'antica scala idrometrica e al centro la posizione del vecchio idrometrografo.

Finito di stampare nel dicembre 2018

