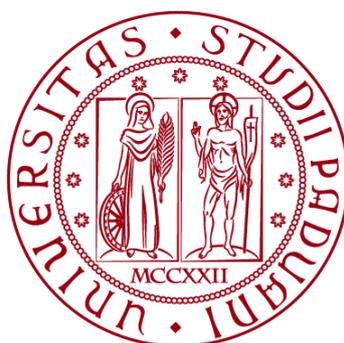


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**Analisi del regime idrologico nel tratto medio del fiume
Adige utilizzando dati storici**

Relatore: Prof. Carniello Luca

Correlatori: Dott. Tognin Davide

Laureando: Jurgen Muca

Matricola n° 2004099

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Abstract

In questa tesi è analizzato il regime idrologico nel tratto medio dell'Adige utilizzando dati storici e recenti di livello idrometrico e di portata nelle stazioni di Verona e Pescantina. La prima fase riguarda la raccolta sistematica delle misure di portate alle stazioni di Verona e Pescantina al fine di verificare la possibilità di definire una scala di deflusso.

Per la stazione Adige a Pescantina sono disponibili dati relativi agli anni 1930-1940 e 2005-2009, mentre per Verona sono disponibili dati relativi agli anni 2005-2019. Per le due stazioni presi in considerazione sono state costruite le scale delle portate per confrontare i valori di portata e verificare la possibilità di utilizzare le due stazioni per un confronto. Questo ha permesso di ricostruire diversi idrogrammi e di eseguire una serie di analisi sulla variabilità dei deflussi nelle stazioni di studio.

Queste analisi sono essenziali per comprendere a fondo la dinamica del corso d'acqua e per prevedere il suo comportamento durante periodi di siccità o eventi di precipitazioni intense.

INDICE

1	Introduzione	5
2	Inquadramento territoriale	6
2.1	Opere di gestione idraulica nel Bacino del fiume Adige.....	7
2.2	Effetti delle piene storiche del fiume Adige	8
3	La Galleria Adige Garda.....	10
3.1	Le polemiche riguardo alla Galleria Adige-Garda.....	12
4	Dati e Metodi	13
4.1	La Stazione Idrometrica di Pescantina e di Verona	13
4.1.1	Stazione Idrometrica Pescantina dati	15
4.1.2	Stazione Idrometrica Verona Dati	17
4.2	Strumenti Essenziali per il Monitoraggio Idrico: Dall'Asta Idrometrica all'ADCP.....	18
4.2.1	Asta idrometrica	18
4.2.2	Sensore radar	19
4.2.3	Mulinello idrometrico.....	20
4.2.4	Acoustic Doppler Current Profiler.....	21
4.3	La Scala delle Portate	22
4.3.1	Stazione Adige a Verona (2005-2019).....	24
4.3.2	Stazione Adige a Pescantina (2005-2009).....	27
4.3.3	Stazione Adige a Pescantina (1930-1940).....	29
5	Risultati sull'esperienza	36
5.1	Elaborazione dell'analisi svolta sui dati idrometrici	36
5.2	Introduzione ed osservazione dei dati idrometrici durante il periodo 2010-2020	36
5.3	Analisi comparativa delle portate fluviali	37
5.4	Introduzione ed osservazione dei dati idrometrici durante il periodo 1930-1940 e 2010-2020 39	
5.5	Previsioni future e andamento delle tendenze.....	48
5.6	Conclusioni derivate dall'analisi dei dati idrometrici rilevati presso la stazione di Pescantina e di Verona dal 2020 al 2023.....	51
5.7	Analisi delle portate minime.....	54
6	Conclusioni delle analisi	56
7	Riferimenti Bibliografici	57

1 Introduzione

Negli ultimi anni, il regime idrologico dei fiumi ha subito notevoli variazioni. Esse sono dovute ai cambiamenti climatici e alle attività antropiche. Il cambiamento climatico, ad esempio, ha portato a un incremento delle temperature, allo scioglimento dei ghiacciai, a variazioni notevoli nelle precipitazioni e a una maggiore frequenza di eventi estremi. Questi eventi hanno avuto un impatto importante sulla disponibilità idrica globale. Inoltre, si alternano periodi di siccità e inondazione. Per quanto riguarda le attività umane, come l'irrigazione, la produzione di energia elettrica mediante l'utilizzo dei fiumi e la pesca, esse hanno causato ulteriori danni, alterando il regime idrologico dei fiumi e peggiorando le conseguenze di questi cambiamenti.

Le portate dei fiumi sono determinate dalle precipitazioni, dove solo una parte scorre in superficie, mentre il resto si accumula nelle acque sotterranee o si presenta sotto forma di neve o ghiaccio. Gli studi condotti sui corsi d'acqua, in particolare sul tratto medio del fiume Adige (attraverso l'ente: [Climate-Change-Monitoring-South-Tyrol](#)), hanno ampiamente evidenziato l'importanza delle variazioni delle precipitazioni e delle temperature, in quanto comportano conseguenze negative sui regimi di portata.

In questa tesi l'attenzione sarà focalizzata sulla stima dei flussi idrici per un arco temporale significativo (1930-1940 e 2010-2020) al fine di comprendere i cambiamenti del regime idrologico verificatisi negli ultimi anni riguardo al fiume Adige. A tale scopo, come si vedrà nel sottocapitolo 4.1, sono state prese in considerazione due specifiche stazioni nel tratto medio del fiume Adige: quella di Verona e quella di Pescantina.

2 Inquadramento territoriale

L'area oggetto di studio in questa tesi è il bacino del fiume Adige, evidenziato nella Figura 2.1. Esso ha origine vicino al Lago di Resia, situato nella provincia di Bolzano. Con i suoi 410 km di lunghezza, è il secondo fiume più lungo d'Italia, dopo il Po, e sfocia nel mare Adriatico presso Porto Fossone. Il suo corso attraversa un corridoio vallivo, in parte di carattere alpino, collegando diverse regioni e culture, diventando un'importante via storica e culturale.



Figura 2.1: Limite idrografico e confini amministrativi del bacino del fiume Adige (Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali)

Il fiume Adige è il terzo fiume d'Italia e costituisce un'estensione del bacino idrologico che copre una superficie di 12.200 chilometri quadrati, comprendente la regione di Trentino-Alto Adige e del Veneto e una piccola parte della Svizzera. Il fiume ha svolto un ruolo fondamentale nel collegare l'Europa centrale e germanica con la regione del Mediterraneo, sottolineandone l'importanza a livello europeo. Lungo il percorso si incontrano numerose piccole isole che ospitano industrie, attività artigianali e magazzini. Inoltre, vi si trovavano centri commerciali, cantieri navali, mulini galleggianti e stazioni di pompaggio, rendendo il fiume un'importante via commerciale e un punto focale dell'economia locale.

Dalle sorgenti fino a Merano, l'Adige attraversa la Val Venosta, una valle di circa 2.670 km² di superficie. Da Merano a Trento, si estende la Val d'Adige, anche nota come Val Lagarina, con un'area drenata di circa 9.810 km². A partire da Trento fino a Verona, dove l'area drenata raggiunge circa 11.100 km², il fiume presenta le caratteristiche tipiche di un corso d'acqua di pianura, fino alla località di Albaredo, a valle di Verona. Da questo punto fino alla foce nell'Adriatico, il fiume è per lo più sopraelevato rispetto al territorio circostante per un tratto di circa 110 km. Le superfici citate in precedenza indicano il contributo di ciascun tratto al bacino idrografico totale.

L'Adige scorre a un'altitudine di 240 metri sul livello del mare nella pianura di Bolzano e a circa 190 metri a Trento. La larghezza minima del fiume è di 40 metri nel tratto Merano-Bolzano, mentre la massima arriva a 269 metri tra gli argini interni a Zevio. La pendenza del fondo varia significativamente: dal 52‰ a 0,91‰ tra il Lago di Resia e Borghetto, scendendo a 0,13‰ tra Borghetto e le Bocche di Sorio, e ulteriormente fino a 0,055‰ procedendo verso Albaredo. Da lì fino a Cavarzere, la pendenza si riduce ulteriormente, oscillando tra 0,037‰ e 0,019‰, per arrivare infine a 0,010‰ nel tratto finale fino alla foce.

Un fattore significativo che influenza il regime idrologico è la presenza di diverse aree glaciali permanenti, che coprono circa 200 km², prevalentemente in Val Venosta, nelle Alpi Aurine e nel massiccio dell'Ortles-Cevedale. Il bacino idrografico dell'Adige comprende numerosi piccoli laghi di origine glaciale, il più grande dei quali è il Lago di Caldaro, con una superficie di circa 2 km², situato nella Valle dell'Adige, a 20 km a sud di Bolzano. I bacini maggiori, invece, sono costituiti da invasi artificiali realizzati per la produzione di energia idroelettrica.

2.1 Opere di gestione idraulica nel Bacino del fiume Adige

Il bacino idrografico del fiume Adige è caratterizzato dalla presenza di numerose opere di gestione idraulica, costruite per regolare il flusso delle acque e sfruttare il potenziale idroelettrico del fiume. Tra le più significative vi sono le dighe, le barriere e i canali di derivazione, che hanno profondamente modificato l'idrologia naturale del fiume.

Fino ad oggi, nel bacino del fiume Adige sono state costruite 30 dighe principali. Queste dighe, realizzate prevalentemente tra il 1950 e il 1960, hanno una capacità totale di 571 milioni di metri cubi, che rappresenta circa l'85% del volume medio annuo di deflusso del fiume. Le più importanti tra queste sono i bacini di Resia e San Valentino alla Muta, situati vicino alla sorgente del fiume, e il bacino di Santa Giustina in Val di Non, che da soli rappresentano oltre il 50% della capacità di immagazzinamento totale.

In aggiunta alle dighe, varie barriere e canali di derivazione sono stati costruiti lungo il fiume per deviare l'acqua verso le centrali e gli impianti di irrigazione. Questi sbarramenti, sette tra Bolzano e Verona, hanno il punto debole di interrompere il flusso naturale del fiume. Ciò porta a una diminuzione del flusso idrico nelle falde acquifere circostanti, a un inquinamento dovuto alla scarsa diluizione degli scarichi e a problemi per l'igiene e gli ecosistemi.

Nella pianura dell'Adige, l'estrazione di acque per l'irrigazione rappresenta un ulteriore fattore di alterazione delle condizioni idrauliche naturali. L'incremento dei prelievi d'acqua ha abbassato i livelli idrografici, aumentando il rischio di intrusione del cuneo salino nelle aree vicine alla foce del fiume, soprattutto durante le maree alte. Per prevenire questo fenomeno e proteggere l'acqua potabile, è stata installata una barriera mobile a Busiola, con una portata minima di progetto di 80 m³/s.

In sintesi, gli interventi legati alla gestione dell'Adige sono fondamentali per la regolazione della produzione idrica ed elettrica. Tuttavia, queste strutture implicano modifiche all'ecosistema fluviale naturale. Un aspetto fondamentale di una gestione efficace è il raggiungimento del giusto equilibrio tra l'uso dell'acqua e la conservazione delle risorse naturali.

2.2 Effetti delle piene storiche del fiume Adige

Nel corso dei secoli, il fiume in questione ha causato danni irreversibili, soprattutto nella città di Verona, a causa di devastanti inondazioni che hanno colpito i villaggi situati lungo il suo percorso. Piogge intense e brevi hanno portato a un aumento del flusso d'acqua, innalzando successivamente i livelli dell'acqua a un punto in cui le piene diventano incontrollabili. L'inondazione più grave si è verificata nel 589, segnando il primo incidente significativo quando l'Adige ha cancellato aree residenziali, causando numerose vittime. Questo evento fu seguito da altre piene significative, come quella del 727, fino ad arrivare all'anno 1882, come evidenziato nella Figura 2.2.1.

Inondazioni

Piense verificate nel veronese che hanno colpito una gran parte del territorio provinciale:

anno 727	anno 1230	anno 1537
anno 1087	anno 1239	anno 1719
anno 1117	anno 1276	anno 1882
anno 1153	anno 1493	
anno 1195	anno 1512	

Figura 2.2.1: Immagine tratta dal libro intitolato "Le inondazioni nella media pianura Veronese" di Gianni Sambugaro a Ernesto Santi, che rappresenta le date delle inondazioni più disastrose nella media pianura veronese.

Dopo la terribile rotta del settembre 1882, due terzi della città di Verona furono sommersi dalle acque. Circa quaranta case furono distrutte e alcune centinaia furono danneggiate. L'acqua raggiunse il livello massimo di 4,50 metri sopra lo zero idrometrico alle 17 del 17 settembre 1882. La piena iniziò la sera del 15 settembre, continuò il 16 raggiungendo il picco il 17, e cominciò a calare il giorno 18. La città di Verona ha sempre convissuto con il fiume, e le memorie delle piene sono profondamente radicate nella cultura popolare, come testimoniano le scritte sulle case di via Sottoriva e gli affreschi di San Zeno come evidenziato nella Figura 2.2.2.



Figura 2.2.2: Immagine che ricorda lo scampato pericolo di inondazione del 1882, tratta dal libro intitolato "Le inondazioni nella media pianura Veronese" di Gianni Sambugaro a Ernesto Santi.

Un altro evento significativo si verificò nell'ottobre del 1885, quando una piena colpì duramente il tratto superiore dell'Adige. Fortunatamente, in questo caso, il fiume era in un periodo di magra, il che permise all'alveo di assorbire una notevole quantità d'acqua prima che i livelli diventassero pericolosi.

Le piogge di maggio e ottobre 1926 che hanno colpito Verona, hanno provocato ulteriore devastazione, portando all'erosione delle sponde e alla comparsa di fontane. Allo stesso modo, il periodo dal 21 ottobre al 10 novembre 1928 è stato caratterizzato da piogge che hanno causato ancora più distruzione.

Per prevenire le inondazioni del fiume Adige durante eventi di maltempo intensi, la Galleria Adige-Garda è stata costruita per deviare le acque in eccesso nel lago di Garda, come mostrato nella Figura 2.2.3.



Figura 2.2.3: Opera di sbocco della Galleria Adige-Garda nei pressi dell'abitato di Torbole sul lago di Garda ripresa dal sito web TGR Trento.

3 La Galleria Adige Garda

Tra tutti gli scolmatori più importanti realizzati in Italia nel secolo scorso è da tenere presente il sistema che collega il fiume Adige al lago di Garda al Po convogliando una portata fino a 500 m³/s. Questo avviene mediante il fiume Mincio che è l'emissario del lago di Garda, poiché è il fiume che scorre dal lago di Garda e trasporta le sue acque fino al fiume Po. Il problema nacque dalla necessità di difendere il territorio del medio e basso corso dell'Adige a valle della città di Verona e la città di Mantova a causa delle piene dei due fiumi. Per tale difesa fu concepito il seguente piano:

- Costruire una galleria, che potesse derivare valori di portata di 500 m³/s, da Mori a Torbole come si può notare dalla Figura 3.1.
- Regolare a Verona mediante un manufatto il livello del lago all'uscita verso il Mincio.
- Consentire il deflusso verso valle, fino a Pozzolo nel Mincio canalizzato, di portate che raggiungevano i 200 m³/s, molto più alti del deflusso naturale che era dell'ordine di 70 m³/s.

L'area coinvolta dall'insieme delle opere è vastissima: Essa comprende la parte occidentale e meridionale della Regione Veneto e una porzione notevole di quella orientale della regione di Lombardia.

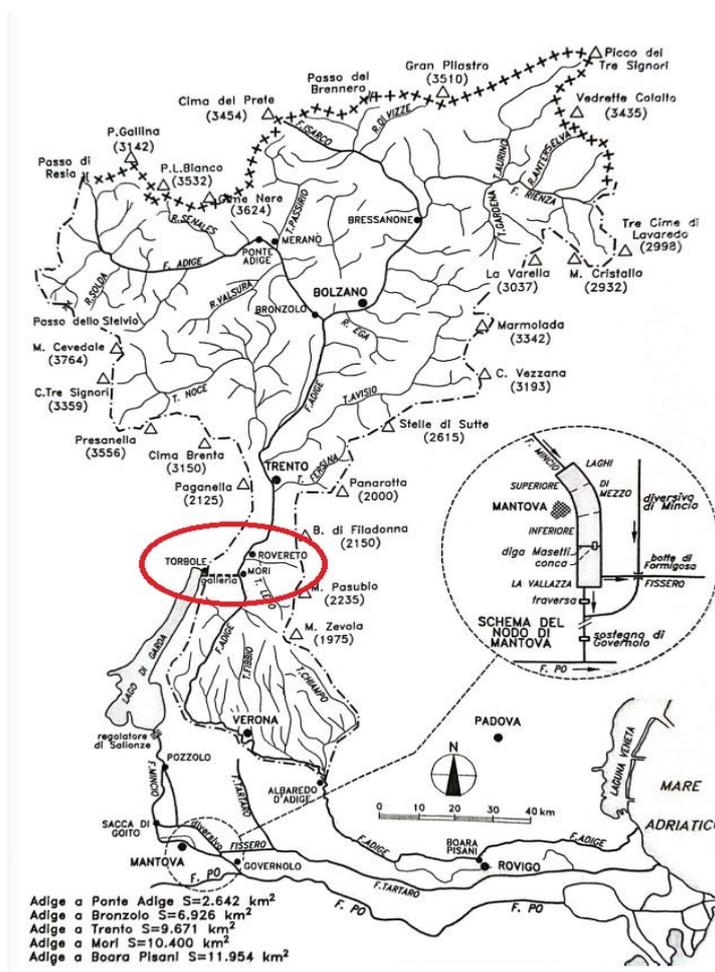


Figura 3.1: La figura rappresenta l'area coinvolta dalla sistemazione idraulica Adige-Garda-Mincio-Po di Levante, tratta dal Libro "sistemazione dei corsi d'acqua" di Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin.

La galleria è stata costruita nella seconda metà degli anni '50, ha un tracciato rettilineo di 9873 m e una sezione a ferro di cavallo con diametro di 7,80 m come si può notare dalla Figura 3.2.

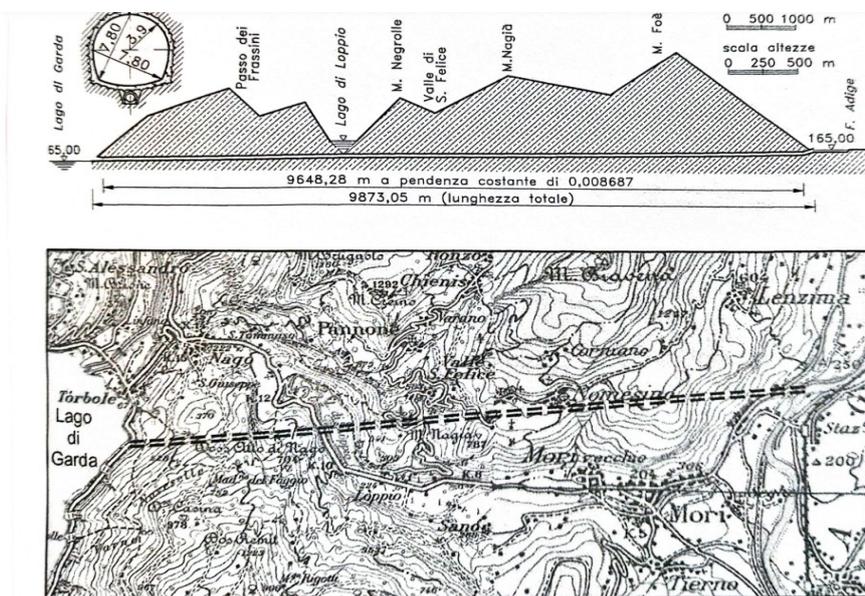


Figura 3.2: La figura rappresenta il tracciato e il profilo della Galleria Adige-Garda tratta dal libro “sistemazione dei corsi d’acqua” di Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin..

Inoltre, mediante la pendenza di 0,8687% la galleria riesce a condurre la portata di 500 m³/s dalla quota massima di 169 m s.m.m. (Adige) a quella di 65 m s.m.m. (Garda) con una velocità media pari a 11,50 m/s. Nel corso di 65 anni di operatività, la galleria è stata attivata 13 volte come mostrato nella Tabella 3.1. La prima apertura risale al 17 settembre 1960, durante una piena del fiume Adige, con lo scarico di circa 70 milioni di metri cubi d’acqua nel lago di Garda. Successivamente, la galleria è stata utilizzata in altre 12 occasioni, l’ultima delle quali il 2 novembre 2023.

Data di apertura	Acqua scaricata nel lago	Portata massima scaricata nel lago
17/09/1960	70.000.000 m ³	450 m ³ /s
02/09/1965	79.000.000 m ³	440 m ³ /s
17/08/1966	17.000.000 m ³	280 m ³ /s
04/11/1966	64.000.000 m ³	492 m ³ /s
14/09/1976	12.000.000 m ³	300 m ³ /s
17/11/1980	26.000.000 m ³	300 m ³ /s
19/07/1981	7.000.000 m ³	300 m ³ /s
23/05/1983	20.000.000 m ³	300 m ³ /s
17/11/2000	4.700.000 m ³	100 m ³ /s
26/11/2002	6.100.000 m ³	100 m ³ /s
29/10/2018	17.500.000 m ³	350 m ³ /s
03/03/2022	6.100.000 m ³	100 m ³ /s
02/11/2023	35.000.000 m ³	250 m ³ /s

Tabella 3.1: Tabella contenente i dati riguardo all’acqua e alla portata massima scaricata nel lago di Garda e ottenuta mediante i dati ricavati dal sito web di Wikipedia.

3.1 Le polemiche riguardo alla Galleria Adige-Garda

L'apertura della Galleria Adige-Garda comporta il rilascio di grandi volumi d'acqua nel lago di Garda. L'ultima apertura, avvenuta il 2 novembre 2023, ha riversato nel lago circa 35 milioni di metri cubi d'acqua. Come nelle 12 aperture precedenti, anche questa ha generato polemiche, poiché l'uso dello scolmatore provoca intorpidimento e raffreddamento delle acque del Garda a causa dell'improvviso afflusso di acque fredde provenienti dall'Adige. Inoltre, la potenziale introduzione di inquinanti ha un impatto negativo sull'ecosistema del lago. Per questi motivi, la galleria viene generalmente attivata solo in situazioni di alto rischio.

4 Dati e Metodi

In questo capitolo si descrivono i dati raccolti e i metodi applicati per l'analisi del regime idrologico del fiume Adige, focalizzandosi sulle stazioni idrometriche di Verona e Pescantina, evidenziate dalla Figura 4.1. L'obiettivo è di comprendere le variazioni del regime idrologico nel tratto medio del fiume attraverso la stima dei flussi idrici per due periodi di riferimento: 1930-1940 e 2010-2020.



Figura 4.1: Immagine ottenuta dal sito web dell'ARPAV e di conseguenza modificata, evidenziando le due stazioni di riferimento dove la numero 607 indica la stazione di Pescantina mentre la 332 indica quella di Verona.

Inizialmente, è stata esaminata la stazione idrometrica dell'Adige a Verona per studiare le variazioni del regime idrologico nel periodo considerato. Tuttavia, durante la ricerca dei dati, si è constatato che per la stazione di Verona non sono disponibili negli Annali Idrologici dati di portata né misure utili per determinare la scala delle portate negli anni 1930-1940. Pertanto, si è deciso di includere anche la stazione idrometrica dell'Adige a Pescantina, la quale, pur non avendo dati di portata disponibili per gli stessi anni, fornisce invece misure di portata necessarie per costruire la scala delle portate. Una situazione analoga si riscontra per il periodo 2005-2019 per la stazione di Verona e per il periodo 2005-2009 per la stazione di Pescantina. Grazie alla disponibilità della scala delle portate, spiegata nel sottocapitolo 4.3, è possibile ricostruire i dati di portata per i periodi di riferimento (1930-1940 e 2010-2020) e, di conseguenza, analizzare le variazioni del regime idrologico.

4.1 La Stazione Idrometrica di Pescantina e di Verona

Le stazioni idrometriche di Verona e Pescantina sono fondamentali per lo studio del regime idrologico del tratto medio del fiume Adige. Posizionate strategicamente lungo il corso del fiume, queste due stazioni misurano parametri importanti come il livello dell'acqua e le portate, che costituiscono la base per comprendere le dinamiche idrologiche del tratto medio dell'Adige. Anche se si trovano in località diverse, le stazioni di Verona e Pescantina raccolgono dati comparabili e, quindi, sono in grado di fornire un'analisi accurata e dettagliata del tratto medio del fiume in questione. Le informazioni raccolte da entrambe le stazioni sono influenzate dalle condizioni meteorologiche

regionali. Le conseguenze di tali condizioni, come le precipitazioni intense, si riflettono nelle misurazioni effettuate dalle due stazioni, anche se con tempistiche leggermente diverse a causa delle differenti posizioni lungo il fiume. Questo tipo di confronto è essenziale per prevedere le alluvioni e per comprendere meglio la variabilità dei deflussi.

Inoltre, le due stazioni idrometriche fanno parte di una rete di monitoraggio più ampia, che consente una visione integrata delle condizioni idrologiche del fiume Adige. I dati raccolti sono fondamentali non solo per la ricerca, ma anche per la gestione delle risorse idriche, la prevenzione dei rischi idrogeologici e la tutela degli ecosistemi fluviali. Grazie alla complementarità delle informazioni fornite dalle stazioni di Verona e Pescantina, è possibile monitorare il fiume in modo continuo e coordinato, migliorando così la capacità di risposta a eventi critici.

Essendo situate lungo lo stesso corso d'acqua, sebbene in punti differenti, le stazioni di Verona e Pescantina permettono un'analisi comparativa e completa delle condizioni idrologiche lungo il fiume. L'utilizzo di entrambe per lo studio delle variazioni del regime idrologico dell'Adige è giustificato dalle loro caratteristiche simili, come evidenziato nei punti seguenti.

- 1. Osservazione del regime fluviale:** entrambe le stazioni rilevano l'andamento idrologico del fiume Adige, monitorando parametri quali livello e portata dell'acqua. Questi dati sono fondamentali per comprendere la dinamica del fiume nei diversi punti del suo corso, perché riflettono in tempo reale le condizioni del fiume.
- 2. Influenza delle condizioni meteorologiche:** negli ultimi anni, le condizioni meteorologiche sono cambiate in modo significativo, influenzando i dati raccolti nelle due stazioni. Ad esempio, le forti precipitazioni si riflettono nelle stazioni anche con tempistiche leggermente diverse, a causa della loro diversa ubicazione.
- 3. Effetti delle Piene:** Durante gli eventi di piena, le due stazioni registrano aumenti simili nel livello del fiume, anche se l'intensità e la tempistica delle piene possono variare leggermente tra Verona e Pescantina a causa della morfologia del fiume e delle caratteristiche del bacino idrografico. Entrambe le stazioni sono cruciali per la previsione e la gestione delle piene, offrendo un quadro completo dell'impatto lungo il corso dell'Adige.
- 4. Continuità del Monitoraggio:** Essendo parte di un sistema idrometrico integrato, le stazioni di Pescantina e Verona forniscono una visione continua del comportamento dell'Adige. I dati raccolti a Pescantina possono essere utilizzati per anticipare eventuali variazioni a Verona e viceversa, grazie alla natura lineare del fiume.
- 5. Gestione delle Risorse Idriche:** Le informazioni idrometriche raccolte in entrambi i punti sono essenziali per la gestione complessiva delle risorse idriche del fiume. Le stazioni aiutano a regolare il flusso d'acqua necessario per l'irrigazione, la produzione di energia idroelettrica e l'approvvigionamento idrico in modo coordinato tra le due località.
- 6. Variazioni delle portate tra le 2 stazioni:** Tra la stazione dell'Adige a Verona e quella di Pescantina sono presenti possibili entrate di acqua. Queste possono derivare da affluenti minori, drenaggi agricoli, acque sotterranee, o canali di irrigazione che si immettono nel fiume lungo questo tratto. Tali apporti idrici, sebbene presenti, tendono a non provocare variazioni significative nelle portate rilevate tra le due stazioni. L'Adige è un fiume di grandi dimensioni, e i contributi aggiuntivi lungo questo percorso sono generalmente modesti rispetto alla portata complessiva del fiume. Di conseguenza, le variazioni nelle portate tra Verona e Pescantina

dovute a queste entrate d'acqua sono limitate e non alterano in modo sostanziale il regime idrologico complessivo.

In sintesi, dal punto di vista del fiume, le stazioni idrometriche di Pescantina e Verona svolgono ruoli simili nella raccolta di dati cruciali per la gestione e la protezione del bacino dell'Adige.

4.1.1 Stazione Idrometrica Pescantina dati

Per una migliore comprensione delle informazioni, di seguito sono riportate le tabelle Tabella 4.1.1.1, Tabella 4.1.1.2 e la Tabella 4.1.2.1 con i dati acquisiti mediante il sito web dell'ISPRA ([ISPRA-Annali-idrologici](#)). Questi includono le edizioni dei dati idrologici raccolti dall'ex Ufficio Idrografico e Mareografico di Venezia, disponibili nel periodo dal 1919 al 1996. Oltre al sito web dell'ISPRA, è stato impiegato anche quello dell'ARPAV ([ARPAV-Annali-Idrologici](#)), che offre i dati per gli anni più recenti.

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m³/s)
29/01/1930	1,84	111,0
13/05/1930	1,16	283,0
05/08/1930	1,11	303,0
02/12/1930	1,75	141,0
18/02/1932	2,01	96,6
27/04/1932	2,02	96,2
27/05/1932	0,88	398,0
25/08/1932	1,44	204,3
29/09/1932	1,53	177,1
29/11/1932	1,75	134,9
08/02/1933	2,00	85,9
24/03/1933	2,01	99,4
16/05/1933	1,42	202,5
22/07/1933	0,99	348,7
22/12/1933	1,72	140,8
31/01/1934	1,93	102,0
12/10/1934	1,42	205,1
15/05/1935	1,01	329,3
23/07/1935	1,03	328,8
04/10/1935	1,07	310,3
27/04/1936	1,24	264,5
22/12/1937	1,61	160,2
11/11/1938	1,79	124,0
24/08/1939	1,45	198,1
07/10/1940	1,71	129,4

Tabella 4.1.1.1: Tabella contenente le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Pescantina, misurati nel periodo 1930-1940 e acquisiti dal sito web dell'ARPAV.

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m³/s)
21/11/2005	-2,34	13,0
16/01/2006	-2,35	5,5
05/04/2006	-2,13	28,0
27/04/2006	-1,95	52,9
27/09/2006	-2,16	33,4
30/10/2006	-2,38	12,5
18/12/2006	-2,37	12,1
21/02/2007	0,01	11,7
10/04/2007	0,02	10,6
09/07/2007	0,67	65,3
24/09/2007	-0,17	4,9
07/01/2008	-1,33	11,7
20/05/2008	0,17	278,4
25/08/2008	-0,76	82,3
12/01/2009	-1,08	35,4
10/08/2009	-0,35	164,0
12/11/2009	-1,22	20,1

Tabella 4.1.1.2: Tabella contenente le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Pescantina, misurati nel periodo 2005-2009 e acquisiti dal sito web dell'ARPAV.

4.1.2 Stazione Idrometrica Verona Dati

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m ³ /s)
20/01/2005	-1,73	135,82
21/01/2005	-1,70	150,8
14/02/2005	-2,31	54,03
30/01/2006	-2,45	36,8
02/03/2006	-1,75	124,71
23/05/2006	-1,28	204,67
29/01/2007	-2,33	42,75
01/02/2007	-2,27	47,92
05/02/2007	-2,31	51,96
05/03/2007	-2,12	69,61
14/05/2007	-2,23	49,97
05/06/2007	-2,05	69,1
28/08/2007	-2,05	84,78
03/09/2007	-2,17	63,66
15/10/2007	-2,22	57,97
06/12/2007	-2,18	67,86
28/01/2008	-2,30	50,62
11/03/2008	-1,81	108,74
20/05/2008	-0,72	300,9
10/09/2008	-1,90	102,12
06/11/2008	-0,25	494
04/12/2008	-1,91	94,32

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m ³ /s)
06/04/2009	-1,53	159,68
30/07/2009	-1,69	144,13
20/10/2009	-2,21	57,95
23/11/2009	-2,25	51,74
01/02/2016	-2,09	95,036
24/05/2016	-1,67	139,401
09/06/2016	-1,04	282,301
02/08/2016	-1,62	155,2
09/11/2016	-2,14	76,48
06/06/2017	-1,76	132
27/09/2017	-1,84	120
05/12/2017	-2,23	67,9
27/02/2018	-2,24	65,3
18/04/2018	-1,54	172
31/07/2018	-2,11	79,8
03/10/2018	-2,20	67
29/10/2018	1,47	1213
22/11/2018	-1,78	127
16/01/2019	-2,23	68,2
09/04/2019	-1,93	103
25/06/2019	-0,97	296
16/09/2019	-2,20	70,4

Tabella 4.1.2.1 Tabella contenente le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Verona, misurati nel periodo 2005-2019 e acquisiti dal sito web dell'ARPAV.

4.2 Strumenti Essenziali per il Monitoraggio Idrico: Dall'Asta Idrometrica all'ADCP

Per l'analisi, sono stati utilizzati diversi strumenti di monitoraggio dei corsi d'acqua, i quali sono descritti nel dettaglio in questo sottocapitolo. Tali strumenti permettono di raccogliere dati accurati e molto attendibili, fondamentali per comprendere lo sviluppo negativo o positivo del regime fluviale. Inoltre, attraverso questi dati è possibile interpretare l'impatto dei cambiamenti climatici e delle attività antropiche sul bacino fluviale.

4.2.1 Asta idrometrica

Per misurare le quote idrometriche dei fiumi si utilizza normalmente la cosiddetta asta idrometrica (Vedi Figura 4.2.1) che rappresenta uno degli strumenti più tradizionali, semplici e immediati.

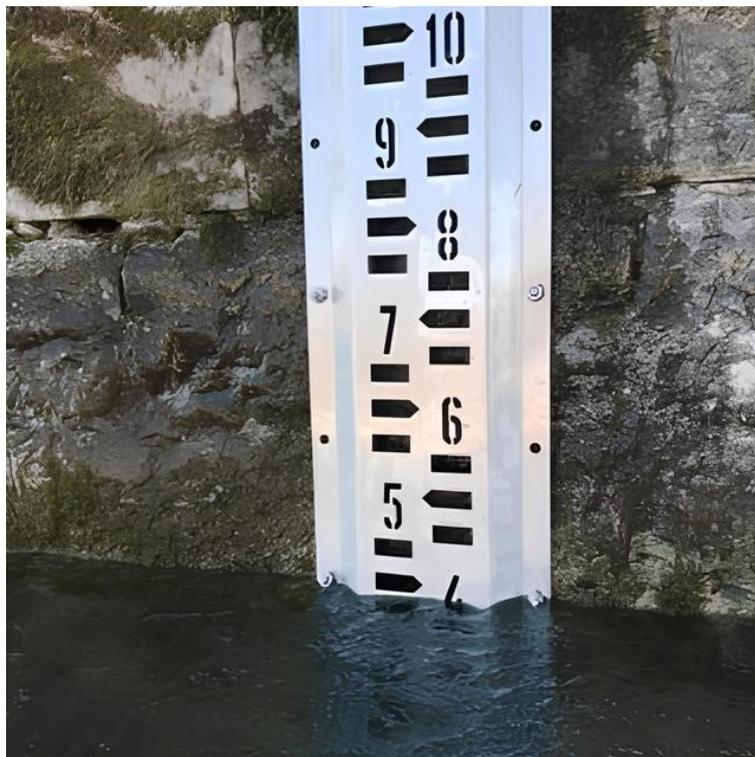


Figura 4.2.1: Immagine dell'asta idrometrica, trovata tramite Google Immagini (fonte: [<https://www.surveypilot.it/>]).

Questo è uno strumento che, pur nella sua semplicità, permette di ottenere dati attendibili e che sono di facile interpretazione del livello idrico dei corsi d'acqua. Inoltre, questo strumento si rivela particolarmente utile quando si utilizza nelle reti di monitoraggio ambientale dove è importante registrare l'osservazione per un tempo prolungato perché ci permette di individuare i cambiamenti del clima e quali potranno essere le probabili tendenze ambientali in un futuro non lontanissimo. L'asta idrometrica ha nella sua facilità d'uso un punto di forza che la rende uno strumento indispensabile, specialmente in contesti in cui è più difficile avvalersi della tecnologia più avanzata perché non facilmente raggiungibile.

4.2.2 Sensore radar

Nell'immagine seguente (Vedi Figura 4.2.2), è possibile osservare una rappresentazione grafica di un sensore radar.

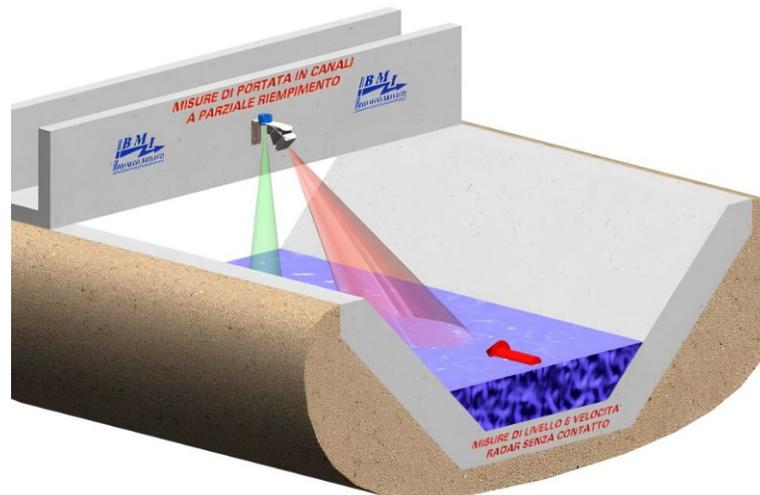


Figura 4.2.2: Immagine del sensore radar, trovata tramite Google Immagini (fonte: [<https://biomassimpianti.com/misuratori-di-portata-area-velocity-radar/>]).

Sebbene il livello di questa tecnologia sia molto alto, i sensori radar sono utilizzati anche per il monitoraggio idrometrico. La misurazione della distanza tra il sensore e la superficie dell'acqua avviene mediante l'invio di onde sonore ad alta frequenza dal sensore radar che vengono riflesse dalla superficie dell'acqua e rinviate alla sorgente. Esso calcola internamente la distanza dall'oggetto misurando il tempo trascorso tra l'emissione e la ricezione del segnale sonoro. Questo strumento viene utilizzato maggiormente nei casi in cui si ha bisogno di una elevata velocità della risposta. Inoltre, la sua importanza è data dal fatto che fornisce misurazioni precise senza che ci sia il contatto fisico con l'acqua. Ciò comporta che il sensore radar operi, senza essere danneggiato fisicamente, in condizioni ambientali variabili e pericolose il che lo rende ideale per l'installazione in ambienti esposti a tali condizioni. Il punto forte di questa tecnologia riguarda il suo efficace utilizzo in luoghi dove la misurazione è difficile e pericolosa come, ad esempio, durante alluvioni e quando si ha difficoltà di accesso al sito di misura.

4.2.3 Mulinello idrometrico

Il mulinello idrometrico (Vedi Figura 4.2.3), invece, è uno strumento che viene utilizzato per misurare la velocità della corrente nei fiumi.



Figura 4.2.3: Scatto personale del mulinello idrometrico.

Questo strumento è costituito da un rotore provvisto di pale, girante, che viene fatto ruotare dalla corrente dell'acqua. Conoscendo questa misura e conoscendo la sezione del corso d'acqua, è possibile determinare la portata dei fiumi, che è definito come il volume d'acqua che passa nell'unità di tempo nella sezione del corso idrico. L'apparecchio mostrato in figura una volta immerso in acqua avvia il conteggio del numero di giri dell'elica del mulinello mantenuta in direzione opposta alla corrente. Dal numero di giri effettuato in un certo tempo noto si può calcolare la velocità di corrente. La portata è un parametro importantissimo per la gestione delle risorse idriche e per poter pianificare le opere idrauliche da realizzare nel futuro come dighe e acquedotti. Infine, si può concludere dicendo che questo è uno strumento molto importante per il monitoraggio idrologico grazie alla sua capacità di ottenere misure precise della velocità per diverse profondità dei corsi d'acqua.

4.2.4 Acoustic Doppler Current Profiler

Infine, l'Acoustic Doppler Current Profiler abbreviato in ADCP (Vedi Figura 4.2.4), rappresenta lo strumento più avanzato tecnologicamente per compiere misurazioni in diversi corsi d'acqua.



Figura 4.2.4: Immagine dell'Acoustic Doppler Current Profiler, trovata tramite Google Immagini (fonte: [<https://www.satlab.com.se/product/hydroflow/>]).

Questo strumento si basa sull'effetto doppler, mediante il quale riesce a misurare la velocità delle particelle sospese nell'acqua. Inoltre, con esso è possibile ottenere misurazioni a diverse profondità e di fornire una risposta tridimensionale del flusso idrico. Questo strumento è in grado di fornire misure altamente precise e accurate, inoltre, è possibile monitorare i cambiamenti del flusso idrico nel tempo con una risoluzione elevata. L'ADCP viene utilizzato in modo particolare e specifico quando si devono effettuare studi avanzati di idrodinamica, o si debba monitorare gli impatti ambientali e di modellazione fluviale, poiché permette ai ricercatori e ai progettisti di comprendere a fondo le dinamiche coinvolte nei movimenti delle acque marine e fluviali.

4.3 La Scala delle Portate

I dati ottenuti dagli strumenti descritti nel sottocapitolo 4.2 sono utilizzati per avere una profonda comprensione del comportamento dei corpi idrici e per questo è cruciale darne una interpretazione accurata. Da questa premessa deriva la grande importanza che riveste la scala delle portate perché è lo strumento che traduce le misurazioni ottenute dagli strumenti idrometrici in informazioni pratiche e applicabili. Queste informazioni sono molto importanti non solo per la gestione riguarda alla disponibilità dell'acqua, ma anche per prevenire i rischi legati a eventi estremi come le inondazioni. L'integrazione di tecnologie avanzate con metodi tradizionali di misurazione permette quindi di affrontare con maggiore efficacia le sfide poste dalla gestione delle risorse idriche, in un contesto di cambiamenti climatici e crescita della domanda idrica.

Proprio per questo, è fondamentale comprendere come la scala delle portate permetta di tradurre i dati raccolti in informazioni utili e applicabili. La scala di deflusso, anche nota come scala delle portate, è una curva rappresentata in un diagramma in cui l'asse delle ascisse riporta i valori delle altezze idrometriche e l'asse delle ordinate le corrispondenti portate misurate. Per ottenere questa scala, è necessario disporre di misure simultanee delle altezze idrometriche e delle portate, dalle quali si può derivare una relazione. La scala delle portate viene infine ricavata tramite interpolazione di tali misure.

La relazione tra portate e altezze idrometriche può essere influenzata da fattori come rigurgiti, variazioni del moto e modifiche nella conformazione del corso d'acqua, che possono cambiare nel tempo alterando la scala delle portate stessa. Generalmente, la scala viene ricavata sperimentalmente attraverso misurazioni dirette di portata. L'errore principale nella misurazione diretta delle portate comporta delle imprecisioni nella costruzione del diagramma. Perciò, è fondamentale che la scala di deflusso presenti le seguenti caratteristiche:

- **Stabilità nel tempo:** La stabilità dipende da una serie di fattori, sia naturali sia antropici, che possono modificare il regime idrometrico, soprattutto in presenza di eventi estremi.
- **Univocità:** Una relazione univoca tra il livello idrometrico e la portata è importante, anche se può essere compromessa dalle caratteristiche non stazionarie del moto. Queste influenze si manifestano in modo significativo nei corsi d'acqua dove il moto non è uniforme, ma varia lungo le fasi di piena.

Nonostante queste complessità, la scala delle portate rimane uno strumento di grande valore pratico. Si pone quindi la domanda su quali siano le condizioni affinché questa relazione biunivoca tra livello e portata ($Q = f(h)$) sia valida. L'esistenza di tale relazione è definibile in modo rigoroso in corrispondenza di una sezione di controllo del moto. Un'altra condizione è la presenza di moto uniforme, una situazione difficile da ottenere nei corsi d'acqua naturali, che richiede tratti con sezione e pendenza costante. Tuttavia, in molte situazioni pratiche, il cappio di piena che contraddistingue la singola sezione del corso d'acqua non si rivela così ampio. Questo significa che la possibile variazione nella relazione portata-livello non è molto accentuata, il che a sua volta dà origine a due osservazioni:

1. La relazione biunivoca tra portata e livello è valida.
2. La relazione tra portata e livello può essere espressa attraverso una funzione che mostra un continuo aumento della portata con l'aumentare del livello idrometrico.

Si può infine concludere che l'andamento della relazione portata-livello può essere approssimato da una funzione monotona crescente, espressa dalla seguente equazione:

$$Q = Q_0(h - h_0)^\alpha \quad \text{Equazione 4.3.1}$$

dove:

- Q rappresenta la portata,
- h l'altezza idrometrica,
- Q_0 , α , e h_0 sono coefficienti specifici.

Questa equazione (Vedi Equazione 4.3.1) semplifica notevolmente il processo di acquisizione del dato "portata", permettendo di passare direttamente dal livello idrometrico misurato nelle stazioni in esame al corrispondente valore di portata.

Successivamente, vengono presentate le scale delle portate ottenute dalle misurazioni delle altezze idrometriche e delle portate per le seguenti stazioni:

- **Adige a Verona (2005-2019)**
- **Adige a Pescantina (2005-2009)**
- **Adige a Pescantina (1930-1940)**

4.3.1 Stazione Adige a Verona (2005-2019)

La scala delle portate per l'Adige a Verona, relativa agli anni 2005-2019, è stata ricostruita poiché i valori di portata non erano disponibili negli annali idrologici. Le misurazioni di portata e le relative altezze idrometriche, essendo esse disponibili, sono riportate nella Tabella 4.3.1.1. Sulla stessa tabella sono stati riportati anche i valori delle portate ottenuti con la formula tipica della scala delle portate, nella colonna "portata modello" (Vedi Equazione 4.3.1).

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m³/s)	Portata modello (m³/s)
20/01/2005	-1,73	135,82	135,35
21/01/2005	-1,70	150,80	141,05
14/02/2005	-2,31	54,03	45,59
30/01/2006	-2,45	36,80	30,04
02/03/2006	-1,75	124,71	131,61
23/05/2006	-1,28	204,67	230,68
29/01/2007	-2,33	42,75	43,11
01/02/2007	-2,27	47,92	50,37
05/02/2007	-2,31	51,96	46,08
05/03/2007	-2,12	69,61	71,23
14/05/2007	-2,23	49,97	55,46
05/06/2007	-2,05	69,10	80,85
28/08/2007	-2,05	84,78	80,85
03/09/2007	-2,17	63,66	63,49
15/10/2007	-2,22	57,97	56,77
06/12/2007	-2,18	67,86	62,12
28/01/2008	-2,30	50,62	46,68
11/03/2008	-1,81	108,74	120,65
20/05/2008	-0,72	300,90	377,26
10/09/2008	-1,90	102,12	104,11
06/11/2008	-0,25	494,00	524,17
04/12/2008	-1,91	94,32	102,65

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m³/s)	Portata modello (m³/s)
06/04/2009	-1,53	159,68	175,54
30/07/2009	-1,69	144,13	143,93
20/10/2009	-2,21	57,95	58,09
23/11/2009	-2,25	51,74	52,89
01/02/2016	-2,09	95,04	74,87
24/05/2016	-1,67	139,40	146,84
09/06/2016	-1,04	282,30	289,85
02/08/2016	-1,62	155,20	155,70
09/11/2016	-2,14	76,48	66,96
06/06/2017	-1,76	132,00	129,76
27/09/2017	-1,84	120,00	115,31
05/12/2017	-2,23	67,90	55,46
27/02/2018	-2,24	65,30	54,17
18/04/2018	-1,54	172,00	173,04
31/07/2018	-2,11	79,80	71,95
03/10/2018	-2,20	67,00	59,46
29/10/2018	1,47	1213,00	1210,80
22/11/2018	-1,78	127,00	126,08
16/01/2019	-2,23	68,20	55,46
09/04/2019	-1,93	103,00	99,93
25/06/2019	-0,97	296,00	308,15
16/09/2019	-2,20	70,40	59,42

Tabella 4.3.1.1: Tabella contenente, oltre le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Verona, misurati nel periodo 2005-2019 e acquisiti dal sito web dell'ARPAV, anche i valori delle portate ottenuti mediante la formula tipica della scala delle portate.

Q0 (m³/s)	H0 (m)	Alfa
95	-2,96	1,71

Tabella 4.3.1.2: Tabella contenente i coefficienti specifici utilizzati per il calcolo della portata del modello del fiume Adige nella stazione di Verona (2005-2019).

La scala delle portate, come mostrato nella Figura 4.3.1.1 è stata infine ricavata per interpolazione delle portate misurate e delle altezze idrometriche ottenute sperimentalmente.

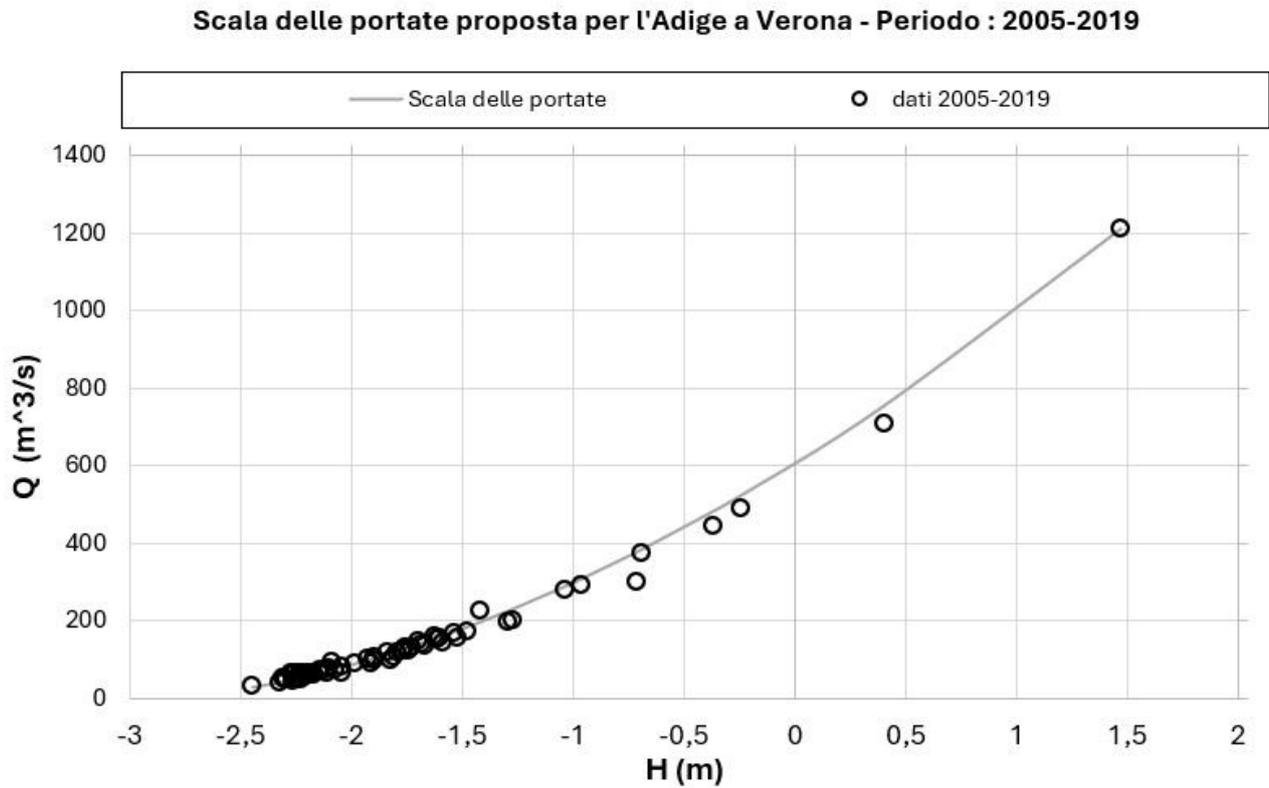


Figura 4.3.1.1: Diagramma della scala delle portate del fiume Adige, ricavato tramite l'interpolazione dei dati disponibili tra il 2005 e 2019, è utilizzato per il calcolo delle portate nella stazione di Verona.

In questo modo, è possibile determinare i valori di portata per la stazione di Verona nel periodo 2005-2019.

4.3.2 Stazione Adige a Pescantina (2005-2009)

La scala delle portate per l'Adige a Pescantina, relativa al periodo 2005-2009, è stata sviluppata utilizzando un procedimento simile a quello adottato per la stazione di Verona ma con una differenza significativa. A Pescantina, le altezze idrometriche misurate facevano riferimento a diversi zeri idrometrici, a causa di variazioni nel posizionamento degli strumenti di misurazione e cambiamenti nella conformazione del letto del fiume. Questa presenza di zeri idrometrici differenti rendeva impossibile stabilire un legame biunivoco tra le altezze misurate e i corrispondenti valori delle portate, come si può osservare nella Figura 4.3.2.1.

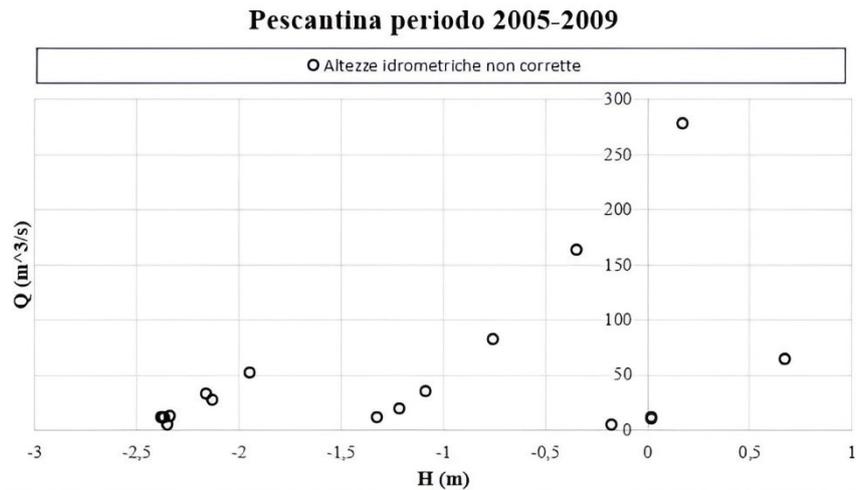


Figura 4.3.2.1: Diagramma rappresentativo del legame non biunivoco tra i valori di altezza idrometrica e delle corrispondenti portate misurate del fiume Adige, ricavato tramite l'interpolazione dei dati disponibili nella stazione idrometrica di Pescantina tra il 2005 e 2009 in presenza di zeri idrometrici differenti.

A causa di questa situazione, gli interventi di standardizzazione dei dati sono stati essenziali per garantire che tutte le misurazioni corrispondessero a un unico punto di riferimento. Come mostrato nella Figura 4.3.2.2, questa modifica è stata essenziale per mantenere la coerenza e l'accuratezza della scala delle portate ed evitare possibili errori nell'interpretazione dei risultati.

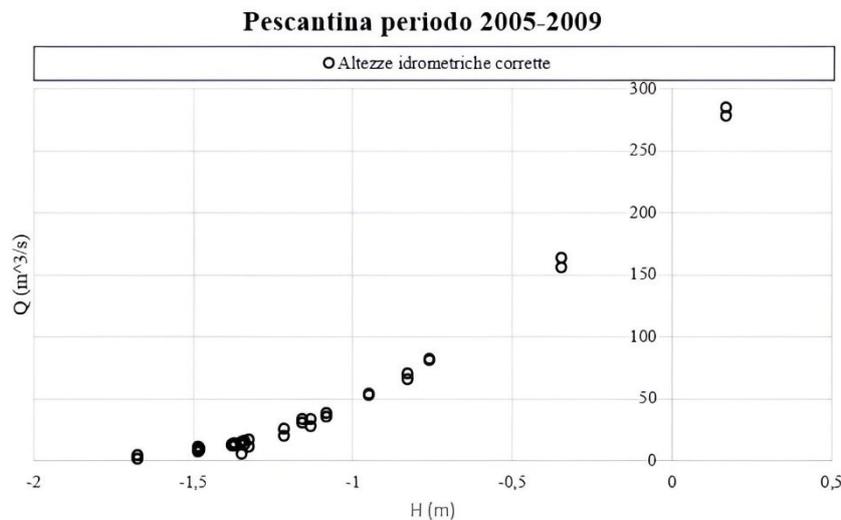


Figura 4.3.2.2: Diagramma rappresentativo del legame biunivoco tra i valori di altezza idrometrica e delle corrispondenti portate misurate del fiume Adige, ricavato tramite l'interpolazione dei dati disponibili nella stazione idrometrica di Pescantina tra il 2005 e 2009 dopo la dovuta correzione delle altezze idrometriche.

Le altezze idrometriche sono state quindi ricalibrate, (Vedi Tabella 4.3.2.1), rispetto a un unico zero di riferimento, consentendo un andamento uniforme delle portate misurate, come mostrato nella Figura 4.3.2.2.

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m³/s)	Correzione dell'altezza idrometrica (m)	Altezza idrometrica corretta (m)	Portata modello (m³/s)
21/11/2005	-2,34	13,0	-1	-1,34	16,24
16/01/2006	-2,35	5,5	-1	-1,35	15,56
05/04/2006	-2,13	28,0	-1	-1,13	33,67
27/04/2006	-1,95	52,9	-1	-0,95	54,45
27/09/2006	-2,16	33,4	-1	-1,16	31,13
30/10/2006	-2,38	12,5	-1	-1,38	13,58
18/12/2006	-2,37	12,1	-1	-1,37	14,22
21/02/2007	0,01	11,7	1,5	-1,49	7,70
10/04/2007	0,02	10,6	1,5	-1,48	7,95
09/07/2007	0,67	65,3	1,5	-0,83	70,63
24/09/2007	-0,17	4,9	1,5	-1,67	1,25
07/01/2008	-1,33	11,7	0	-1,33	17,30
20/05/2008	0,17	278,4	0	0,17	285,21
25/08/2008	-0,76	82,3	0	-0,76	81,02
12/01/2009	-1,08	35,4	0	-1,08	38,73
10/08/2009	-0,35	164,0	0	-0,35	156,36
12/11/2009	-1,22	20,1	0	-1,22	26,08

Tabella 4.3.2.1: Tabella contenente le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Pescantina e misurati nel periodo 2005-2009. Inoltre, in essa sono inclusi i livelli idrometrici ricalibrati rispetto allo stesso zero idrometrico e i valori delle portate ottenuti mediante la formula tipica della scala delle portate.

Q0 (m³/s)	H0 (m)	Alfa
75	-1,8	1,97

Tabella 4.3.2.2: Tabella contenente i coefficienti specifici utilizzati per il calcolo della portata del modello del fiume Adige nella stazione di Pescantina (2005-2009).

Grazie a questo processo, la scala delle portate (Vedi Figura 4.3.2.3) è diventata confrontabile con quelle di altri periodi e stazioni, aumentando la precisione delle analisi fatte tramite essa.

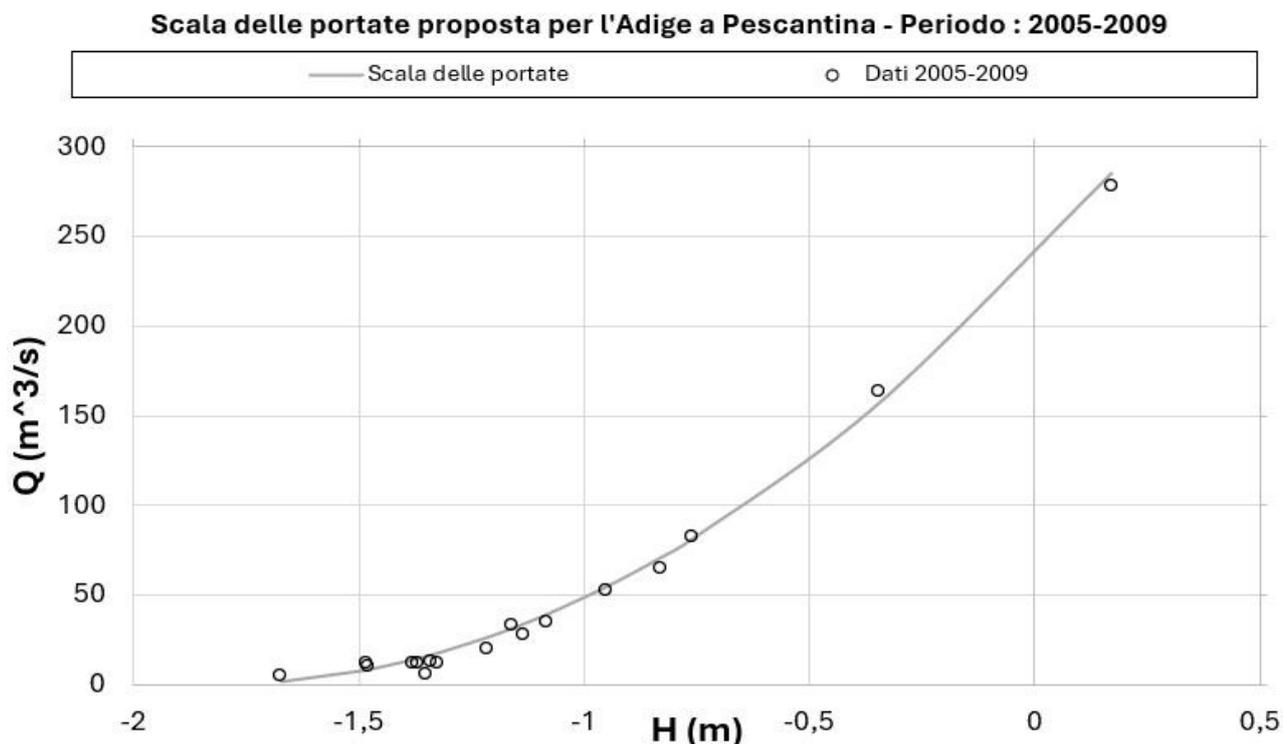


Figura 4.3.2.3: Diagramma della scala delle portate del fiume Adige, ottenuto tramite l'interpolazione dei dati ricalibrati raccolti tra il 2005 e il 2009, ed è inoltre utilizzata per calcolare le portate alla stazione di Pescantina.

Questa scala rivista consente confronti accurati con altri periodi e località, migliorando così la comprensione delle dinamiche idrologiche del fiume Adige a Pescantina e fornendo una base affidabile per la ricerca futura.

4.3.3 Stazione Adige a Pescantina (1930-1940)

Nella stazione Adige a Pescantina, durante il periodo 1930-1940, le misurazioni di portata e le relative altezze idrometriche venivano effettuate a partire da uno zero idrometrico posizionato sul ponte. Questo zero, situato in elevazione rispetto al fondo del fiume e fissato su un carrello scorrevole lungo la travata del ponte, presentava una direzione positiva verso il basso, come si può notare dalla Figura 4.3.3.1. Di conseguenza, contrariamente a quanto avviene nelle misurazioni moderne di Verona e Pescantina, la portata diminuiva con l'aumentare del livello idrometrico.

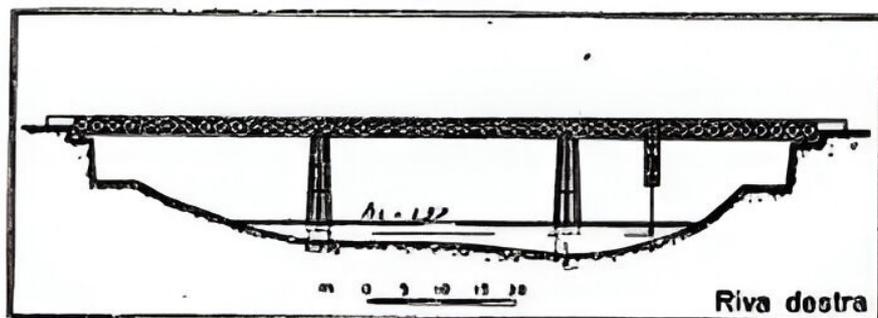


Figura 4.3.3.1: Immagine della travata del ponte da cui venivano fatte le misurazioni delle altezze idrometriche (fonte: [Banca dati degli annali idrologici del sito web del ISPRA]).

Le misurazioni di portata e le relative altezze idrometriche, essendo esse disponibili, sono riportate nella Tabella 4.3.3.1. Sulla stessa tabella sono stati riportati anche i valori delle portate ottenuti con la formula tipica della scala delle portate, nella colonna “portata modello” (Vedi Equazione 4.3.1). Mediante questa tabella si ha inoltre una dimostrazione, attraverso i dati, del fatto che la portata diminuisce all’aumentare del livello.

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m ³ /s)	Portata modello (m ³ /s)
29/01/1930	1,84	111,0	126,27
13/05/1930	1,16	283,0	267,56
05/08/1930	1,11	303,0	287,09
02/12/1930	1,75	141,0	137,15
18/02/1932	2,01	96,6	109,55
27/04/1932	2,02	96,2	108,65
27/05/1932	0,88	398,0	414,31
25/08/1932	1,44	204,3	188,70
29/09/1932	1,53	177,1	170,94
29/11/1932	1,75	134,9	137,16
08/02/1933	2,00	85,9	110,00
24/03/1933	2,01	99,4	109,10
16/05/1933	1,42	202,5	193,04
22/07/1933	0,99	348,7	344,30
22/12/1933	1,72	140,8	141,78
31/01/1934	1,93	102,0	116,66
12/10/1934	1,42	205,1	193,04
15/05/1935	1,01	329,3	333,58
23/07/1935	1,03	328,8	323,37
04/10/1935	1,07	310,3	306,66
27/04/1936	1,24	264,5	240,38
22/12/1937	1,61	160,2	157,27
11/11/1938	1,79	124,0	132,14
24/08/1939	1,45	198,1	189,46
07/10/1940	1,71	129,4	131,37

Tabella 4.3.3.1: Tabella contenente, oltre le misure delle altezze idrometriche e delle portate fluviali rilevati presso la stazione idrometrica Adige a Pescantina, misurati nel periodo 1930-1940 e acquisiti dal sito web dell’ARPAV, anche i valori delle portate ottenuti mediante la formula tipica della scala delle portate. Inoltre, si può osservare che la portata diminuisce con l’aumentare del livello idrometrico.

Q0 (m ³ /s)	H0 (m)	Alfa
400	-0,1	-1,74

Tabella 4.3.3.2: Tabella contenente i coefficienti specifici utilizzati per il calcolo della portata del modello del fiume Adige nella stazione di Pescantina (1930-1940).

Utilizzando la Tabella 4.3.3.1, il grafico ottenuto non è direttamente confrontabile con quello della scala delle portate di Pescantina relativa al periodo 2005-2009 (Vedi Figura 4.3.2.3). Nel grafico del 1930-1940 come evidenziato dalla Figura 4.3.3.2, infatti, la portata diminuisce con l'aumentare del livello, mentre nei grafici delle stazioni moderne (incluso quello di Verona) la portata aumenta con l'aumentare del livello.

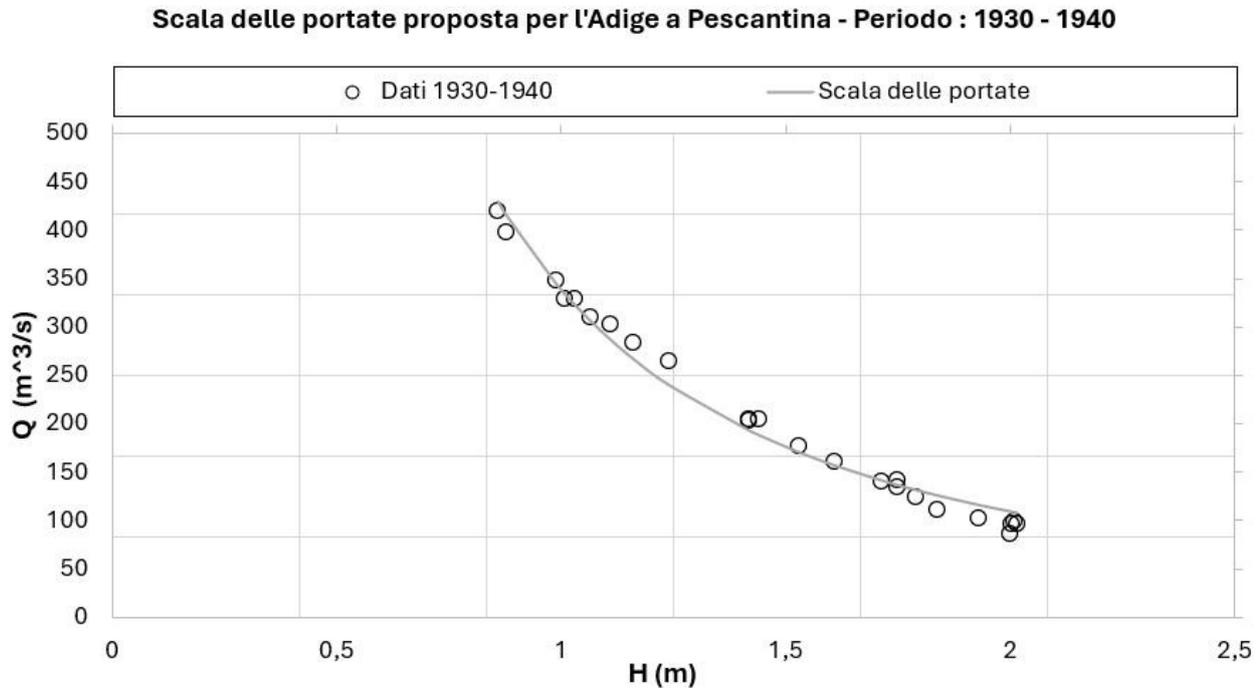


Figura 4.3.3.2: Diagramma della scala delle portate del fiume Adige, costruito utilizzando lo zero idrometrico posto in elevazione rispetto al fondo del fiume nella stazione di Pescantina. Inoltre, si può notare che, a causa dello zero idrometrico diverso, questo diagramma non è confrontabile con quelli precedenti.

Per uniformare il confronto tra le diverse scale, è stato necessario trasformare lo zero idrometrico spostandolo dal ponte al fondo del fiume, come si può notare dalla Figura 4.3.3.3.

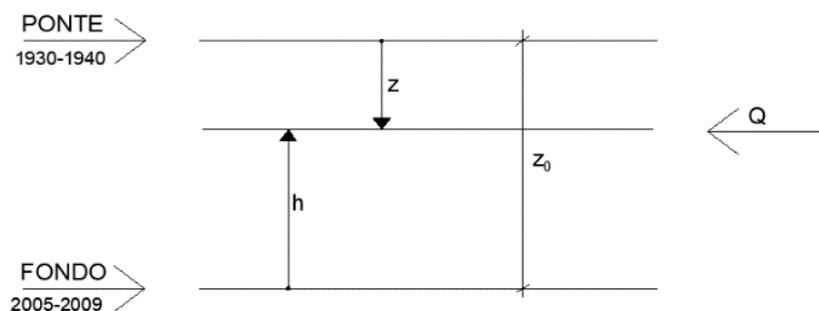


Figura 4.3.3.3: Disegno, fatto tramite AUTOCAD, che mostra la trasformazione dello zero idrometrico mediante lo spostamento dal ponte al fondo del fiume, riguardo alla stazione idrometrica di Pescantina per il periodo 1930-1940.

Per mettere in atto questo processo, è stata necessaria un'analisi approfondita delle misurazioni della portata e dei livelli idrometrici relativi ai periodi 1930-1940 e 2005-2009. Lo spostamento dello zero idrometrico dal ponte al fondo del fiume è stato ottenuto mediante i seguenti passaggi. La distanza tra la travata del ponte e il fondo del fiume, indicata come z_0 , è stata calcolata sommando le altezze idrometriche rilevate in entrambi i periodi considerati, dove:

1. z rappresenta l'altezza idrometrica per gli anni 1930-1940, riferita alla sommità del ponte;
2. h rappresenta l'altezza idrometrica per gli anni 2005-2009, riferita al fondo del fiume.

Una volta determinato il valore di " z_0 ", è stato possibile correggere le altezze idrometriche del periodo 1930-1940 sottraendo da " z_0 " i valori di " z ", ottenendo così il livello idrometrico " h " riferito a uno zero situato sul fondo del fiume. Questa operazione di trasformazione è stata fatta per raggiungere il seguente obiettivo: riallineare i dati storici con quelli delle sezioni moderne, garantendo che le analisi comparative fossero basate su dati coerenti e confrontabili. Senza questa correzione, i grafici risultanti avrebbero mostrato andamenti non confrontabili, compromettendo la validità delle conclusioni.

Dopo aver sottratto da " z_0 " il valore di " z " e aver ricavato di conseguenza il valore di " h ", il grafico ottenuto, come illustrato nella Figura 4.3.3.4, mostra un andamento simile a quello delle sezioni moderne, con la portata che aumenta all'aumentare del livello idrometrico. Questo ha permesso una valida integrazione dei dati storici con quelli più recenti, assicurando che la scala delle portate riflettesse in modo accurato la realtà idrologica su un arco temporale più ampio.

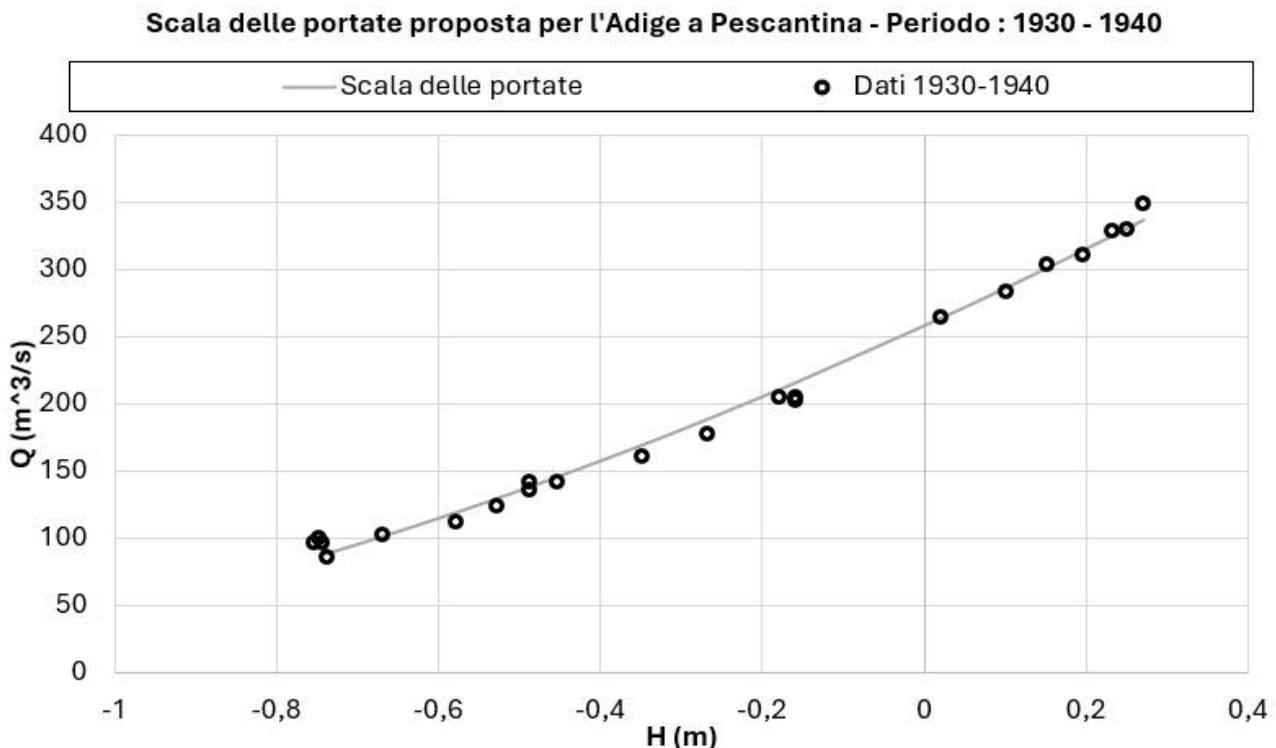


Figura 4.3.3.4: Diagramma della scala delle portate del fiume Adige, costruito mediante lo spostamento dello zero idrometrico al fondo del fiume, durante gli anni 1930-1940, è utilizzato per il calcolo delle portate nelle stazioni di Pescantina.

Successivamente, è stata creata una scala delle portate unica, includendo le misurazioni degli anni 1930-1940 e 2005-2009. Come mostrato nella Figura 4.3.3.5, la scala delle portate risultante copre un ampio periodo di anni e dimostra che non ci sono stati cambiamenti significativi nel tempo.

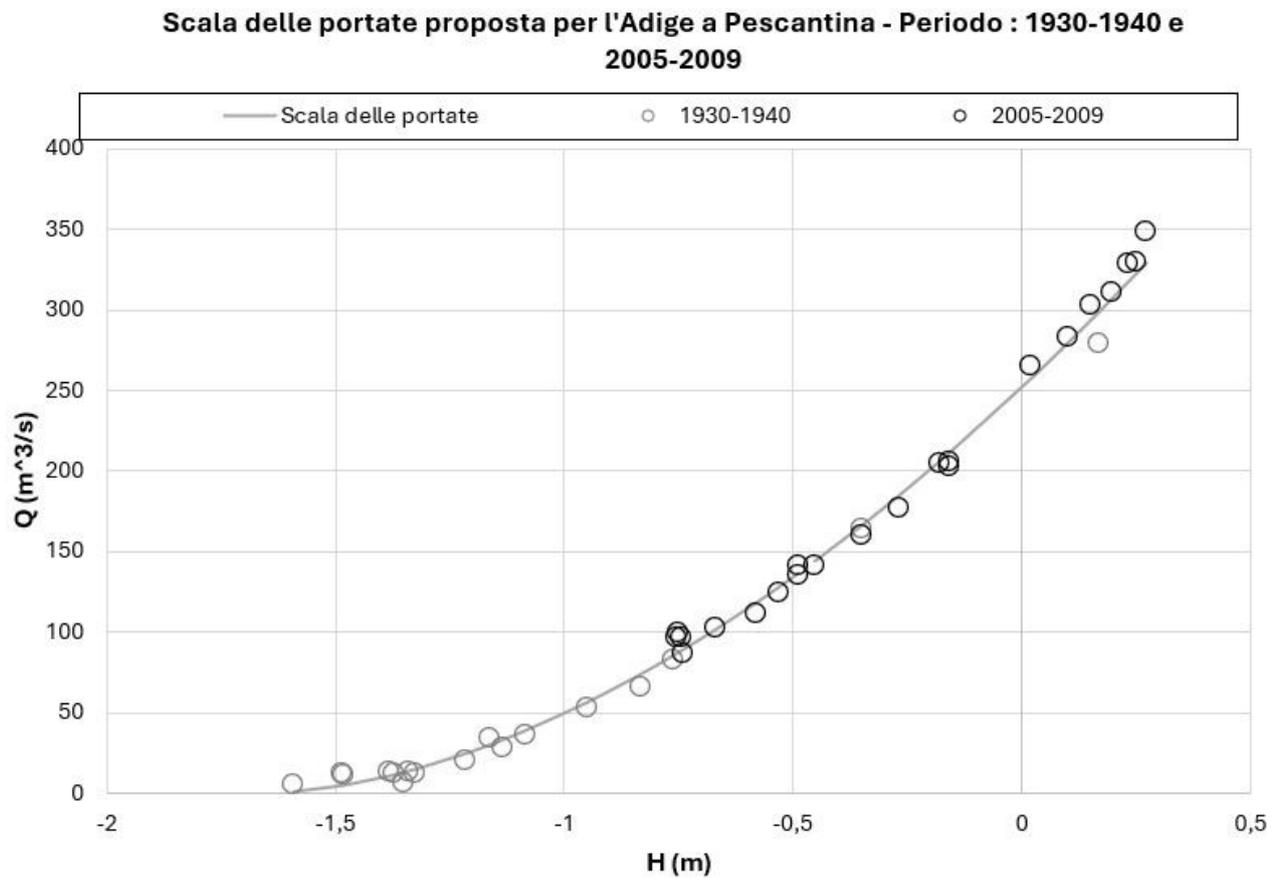


Figura 4.3.3.5: Diagramma della scala delle portate risultante del fiume Adige, ricavato tramite l'interpolazione dei dati disponibili tra 1930-1940 e 2005-2009, è utilizzato per il calcolo delle portate nelle stazioni di Pescantina.

Per dimostrare la continuità nel tempo delle scale delle portate, si è fatto riferimento ai dati riportati nella Tabella seguente, (Vedi Tabella 4.3.3.3), e agli errori relativi calcolati mediante la seguente formula:

$$\text{Errore relativo} = \frac{\text{Portata modello} - \text{Portata misurata}}{\text{Portata misurata}}$$

Equazione 4.3.3.1: La formula per calcolare l'errore relativo.

DATA	Altezza idrometrica (m)	Portata misurata (m ³ /s)	Portata modello (m ³ /s)	Errore relativo
29/01/1930	-0,58	111,00	119,28	0,075
13/05/1930	0,10	283,00	286,17	0,011
05/08/1930	0,15	303,00	300,60	-0,008
02/12/1930	-0,49	141,00	138,04	-0,021
18/02/1932	-0,74	96,60	87,75	-0,092
.
.
.
27/04/1936	-0,35	160,20	169,34	0,057
22/12/1937	-0,53	124,00	129,57	0,045
11/11/1938	-0,26	189,40	189,55	0,001
24/08/1939	-0,16	210,30	214,20	0,019
07/10/1940	-0,58	111,00	119,28	0,075
.
.
.
21/11/2005	-1,34	13,00	16,24	0,042
16/01/2006	-1,35	5,50	15,56	1,309
05/04/2006	-1,13	28,00	33,67	0,180
27/04/2006	-0,95	52,90	54,45	0,064
27/09/2006	-1,16	33,40	31,13	-0,097
.
.
.
20/05/2008	0,17	278,40	285,21	0,076
25/08/2008	-0,76	82,30	81,02	0,041
12/01/2009	-1,08	35,40	38,73	0,091
10/08/2009	-0,35	164,00	156,36	0,016
12/11/2009	-1,22	20,10	26,08	0,215

Tabella 4.3.3.3: Tabella aggiornata con il calcolo e l'inserimento degli errori relativi per gli anni 1930-1940 e 2005-2009, riferiti alla stazione idrometrica di Pescantina.

Il confronto degli errori relativi medi, evidenziato dalla Tabella 4.3.3.4, tra le scale del 1930-1940, 2005-2009 e la scala globale (1930-1940 e 2005-2009), che include tutti i dati, ha confermato la comparabilità tra le diverse scale. Il fatto che l'errore relativo medio della scala globale abbia lo stesso ordine di grandezza delle altre due scale dimostra la loro continuità nel tempo e, inoltre, suggerisce che la scala globale può essere utilizzata in alternativa. Come evidenziato dalla Figura 4.3.3.5, l'andamento della scala delle portate è rimasto coerente dal periodo 1930-1940 fino al 2005-2009 grazie all'interpolazione corretta delle portate misurate e il livello idrometrico.

ERRORE RELATIVO MEDIO 30-40	ERRORE RELATIVO MEDIO 05-09	ERRORE RELATIVO MEDIO 30/40 - 05/09
0,0047	0,0055	0,0051

Tabella 4.3.3.4: Tabella contenente gli errori relativi medi per gli anni 1930-1940, 2005-2009 e 1930-2009.

In conclusione, si può confermare che attraverso la Figura 4.3.3.4 e la Figura 4.3.3.5, si evidenzia che le altezze idrometriche, dopo le dovute correzioni, sono riferite allo stesso zero di riferimento e che la scala delle portate non è cambiata nel tempo, permettendo una corretta interpolazione delle misure simultanee di portata-livello. Questo confronto permetterà di analizzare ulteriormente i valori delle portate mensili calcolati nella stazione Adige a Verona per il periodo 2010-2020 rispetto a quelli della stazione Adige a Pescantina nel periodo 1930-1940.

5 Risultati sull'esperienza

5.1 Elaborazione dell'analisi svolta sui dati idrometrici

Lo studio utilizza una metodologia comparativa, confrontando diagrammi e grafici per analizzare il regime idrologico del tratto medio del fiume Adige. Queste rappresentazioni grafiche sono state create a partire da valori di portata ottenuti mediante la scala delle portate precedentemente descritta nel sottocapitolo 4.3. I diagrammi evidenziano cambiamenti significativi nel regime fluviale. Oltretutto, l'utilizzo di un'analisi visiva delle varie rappresentazioni grafiche permette di osservare gli eventi più estremi, come ad esempio periodi di piena e di siccità.

Per comprendere tale regime idrologico, è fondamentale riuscire a interpretare correttamente i dati idrometrici raccolti a Verona e a Pescantina. I dati analizzati riguardano le portate dei seguenti periodi temporali:

- 1930-1940 (Pescantina)
- 2010-2020 (Verona)

Oltre a questi, verrà analizzato il periodo più recente dal 2020 al 2023, utilizzando sempre le due stazioni in esame, tramite diagrammi e tabelle descritte nel dettaglio nei sottocapitoli successivi (Vedi sottocapitolo 5.6). I periodi sopra descritti forniscono una panoramica dettagliata della variazione del regime idrologico del tratto medio del fiume Adige.

5.2 Introduzione ed osservazione dei dati idrometrici durante il periodo 2010-2020

In questa prima fase di analisi, ci si concentra sull'obiettivo di verificare che l'utilizzo di entrambe le stazioni idrometriche per lo studio del regime idrologico riguardante il tratto medio del fiume Adige è ragionevole, in quanto le portate registrate nello stesso arco temporale variano solo leggermente a causa della diversa ubicazione delle due stazioni in esame.

A tal scopo, sono state reperite mediante il portale dell'ARPAV i dati delle altezze idrometriche orarie minime, medie e massime. Successivamente, sono stati calcolati i valori delle altezze idrometriche minime, medie e massime mensili. Questo ha reso possibile calcolare, mediante la formula tipica della scala delle portate (Vedi Equazione 4.3.1), i valori corrispondenti delle portate minime, medie e massime mensili per l'Adige a Pescantina durante gli anni 2010-2020.

Lo stesso procedimento, descritto per la stazione idrometrica Adige a Pescantina, è stato applicato ai dati relativi alla stazione idrometrica a Verona per il periodo 2010-2020.

5.3 Analisi comparativa delle portate fluviali

In seguito, sono stati creati tre diagrammi (Vedi Figura 5.3.1, Figura 5.3.2 e Figura 5.3.3) con l'obiettivo di dimostrare concretamente la stabilità della portata del tratto medio del fiume Adige nella stazione idrometrica di Pescantina e Verona. Con il termine "situazione stabile" si intende che le portate fluenti nelle due stazioni nello stesso arco di tempo, a parte le tempistiche dovute alla loro posizione diversa, sono pressoché uguali.

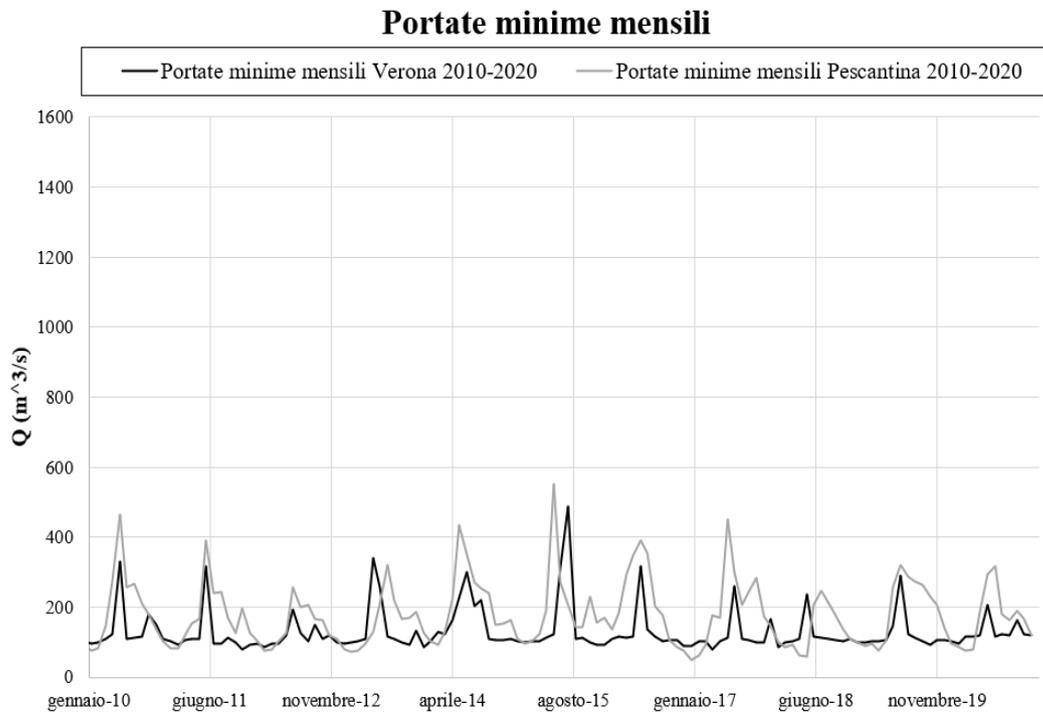


Figura 5.3.1: La figura rappresenta l'andamento delle portate minime mensili per la stazione idrometrica Adige a Verona e a Pescantina durante gli anni 2010-2020.

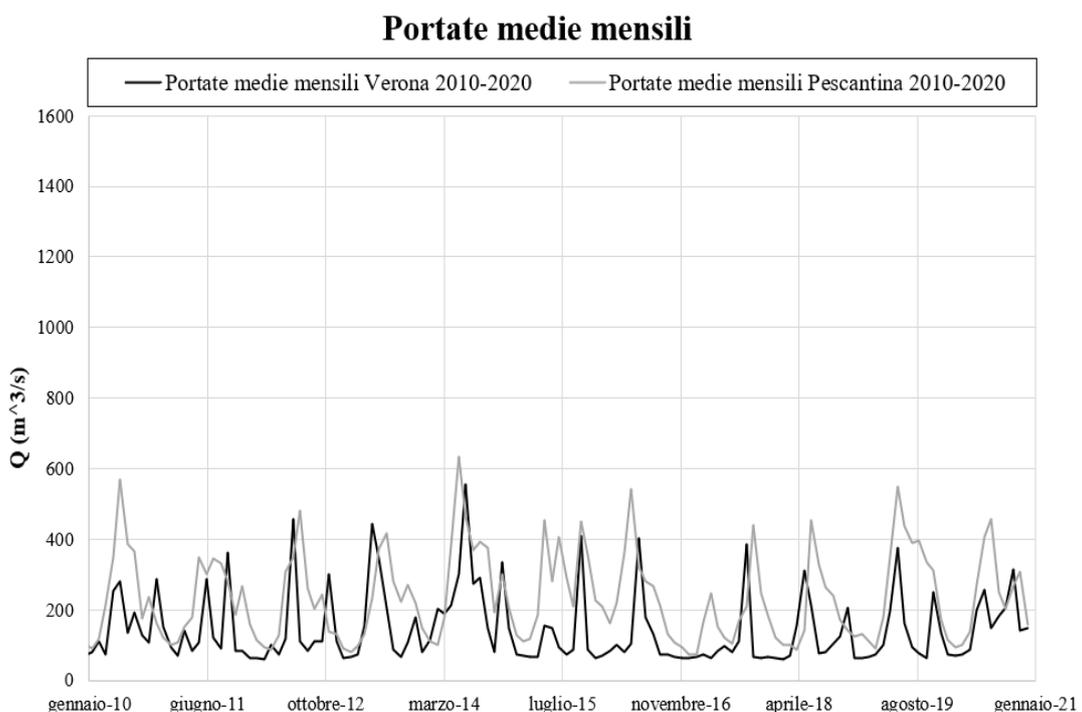


Figura 5.3.2: La figura rappresenta l'andamento delle portate medie mensili per la stazione idrometrica Adige a Verona e a Pescantina durante gli anni 2010-2020.

Portate massime mensili

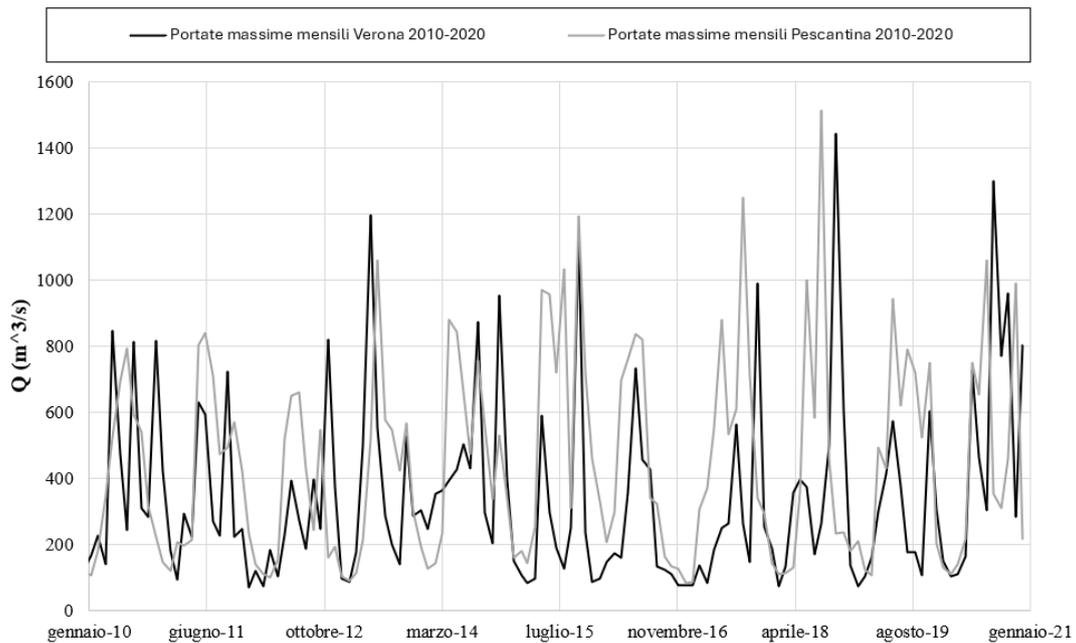


Figura 5.3.3: La figura rappresenta l'andamento delle portate massime mensili per la stazione idrometrica Adige a Verona e a Pescantina durante gli anni 2010-2020.

I diagrammi riportano, sull'asse delle ascisse, i mesi relativi agli anni approfonditi in questo studio, cioè 2010-2020, mentre sull'asse delle ordinate riportano i relativi valori di portata. Per consentire un confronto diretto tra le due località, i dati della stazione di Verona e Pescantina vengono rappresentati mediante due curve sovrapposte. Questi tre diagrammi evidenziano, anche se con piccole variazioni, una coerenza tra i valori delle portate medie rilevate nelle due stazioni. Le variazioni minime sono dovute alla diversa posizione delle due località. Tale coerenza conferma che è ragionevole utilizzare entrambe le stazioni per lo studio del regime idrologico del tratto medio del fiume Adige, visto che il loro utilizzo è giustificato dalle proprie caratteristiche simili elencate nel sottocapitolo 4.1.

5.4 Introduzione ed osservazione dei dati idrometrici durante il periodo 1930-1940 e 2010-2020

Utilizzando lo stesso procedimento descritto nel sottocapitolo 5.2, sono stati calcolati e riportati nella Tabella 5.4.1 e Tabella 5.4.2 i valori delle portate mensili per l'Adige a Pescantina durante gli anni 1930-1940 e per l'Adige a Verona durante gli anni 2010-2020.

MESE - ANNO	H-MIN (m)	H-MED (m)	H-MAX (m)	Q-MIN (m ³ /s)	Q-MED (m ³ /s)	QMAX (m ³ /s)
gennaio-30	1,83	1,89	1,96	97,53	104,36	116,63
febbraio-30	1,86	1,97	2,07	77,17	89,72	107,83
marzo-30	1,53	1,84	2,05	81,91	116,47	181,56
aprile-30	1,00	1,48	1,74	146,58	212,35	345,40
maggio-30	0,45	1,02	1,27	273,41	348,89	524,40
giugno-30	0,03	0,36	0,70	464,63	567,27	694,73
luglio-30	0,43	0,92	0,21	257,42	385,63	915,84
agosto-30	0,18	0,97	1,32	267,57	366,48	594,61
settembre-30	0,48	1,31	1,55	209,24	174,92	538,88
ottobre-30	1,13	1,38	1,62	181,54	235,67	317,36
novembre-30	1,30	1,68	0,64	136,38	162,96	749,57
dicembre-30	1,71	1,86	1,97	104,68	121,11	145,82
gennaio-31	1,87	1,99	2,10	84,34	100,16	118,24
febbraio-31	1,41	1,96	2,14	84,29	109,53	205,32
marzo-31	1,46	1,70	1,90	121,86	151,33	197,50
aprile-31	1,48	1,62	1,74	152,63	178,19	212,85
maggio-31	0,01	0,53	1,64	168,69	505,32	804,89
giugno-31	0,01	0,34	0,90	391,50	573,78	841,10
luglio-31	0,04	1,04	1,34	241,62	345,90	708,55
agosto-31	0,56	1,07	1,35	244,42	333,24	473,88
settembre-31	0,51	1,24	1,66	171,47	282,67	1107,69
ottobre-31	0,36	1,59	1,84	126,19	186,35	569,12
novembre-31	0,78	1,24	1,50	195,58	268,74	423,57
dicembre-31	1,30	1,67	1,88	126,53	157,21	233,37
gennaio-32	1,57	1,90	2,00	102,25	114,39	138,53
febbraio-32	1,92	2,04	2,18	77,59	93,61	110,78
marzo-32	1,96	2,07	2,18	78,50	86,90	101,17
aprile-32	1,80	1,98	2,18	102,18	127,44	153,23
maggio-32	0,52	1,20	1,99	126,10	308,12	519,17
giugno-32	0,04	1,08	1,36	257,65	349,18	650,84
luglio-32	0,04	0,68	1,15	341,50	480,92	660,96
agosto-32	0,86	1,37	1,57	207,68	261,54	431,69
settembre-32	1,42	1,59	1,76	168,71	203,39	244,21
ottobre-32	0,42	1,33	1,62	163,16	244,31	545,65
novembre-32	1,62	1,75	1,90	119,22	138,45	159,50
dicembre-32	1,49	1,79	1,94	108,88	131,14	193,35
gennaio-33	1,88	1,99	2,13	78,37	91,44	104,46
febbraio-33	1,99	2,05	2,20	72,46	81,78	90,45
marzo-33	1,88	1,96	2,11	76,59	95,81	112,97
aprile-33	1,46	1,86	2,04	96,59	132,5	214,98

maggio-33	0,57	1,48	1,94	128,47	233,61	520,73
giugno-33	0,06	1,02	1,54	209,88	370,96	1386,49
luglio-33	0,38	0,88	1,15	321,43	416,42	575,89
agosto-33	0,38	1,23	1,50	219,85	279,19	545,16
settembre-33	0,83	1,52	1,74	165,32	223,31	424,47
ottobre-33	0,19	1,25	1,60	170,34	270,33	565,84
novembre-33	1,12	1,39	1,51	186,97	219,90	299,14
dicembre-33	1,47	1,67	1,77	127,79	148,94	194,85
gennaio-34	1,79	1,87	1,94	102,56	111,95	126,28
febbraio-34	1,67	1,95	1,99	94,97	101,41	144,85
marzo-34	1,33	1,53	1,79	128,39	180,14	232,54
aprile-34	0,54	0,95	1,50	222,28	383,63	878,35
maggio-34	0,04	0,20	0,78	436,96	633,47	843,94
giugno-34	0,14	0,70	0,99	352,53	465,96	658,55
luglio-34	0,03	1,02	1,36	270,91	368,64	473,80
agosto-34	0,06	0,94	1,40	252,32	394,52	755,37
settembre-34	0,37	0,98	1,42	240,48	375,83	561,24
ottobre-34	0,99	1,53	1,71	148,99	191,79	337,94
novembre-34	0,42	1,13	1,67	154,66	301,21	528,87
dicembre-34	0,86	1,44	1,62	162,76	206,11	340,45
gennaio-35	1,65	1,80	1,92	109,60	129,97	158,51
febbraio-35	1,49	1,87	2,02	96,31	111,58	181,56
marzo-35	1,68	1,84	1,98	102,52	118,50	144,31
aprile-35	1,33	1,67	2,00	124,96	184,37	253,39
maggio-35	0,02	0,76	1,66	191,26	455,21	968,60
giugno-35	0,01	0,07	0,58	553,45	744,87	955,88
luglio-35	0,10	0,98	1,30	272,60	406,92	718,67
agosto-35	0,76	1,31	1,58	205,49	291,76	1033,21
settembre-35	1,16	1,55	1,87	143,85	209,55	310,75
ottobre-35	0,04	0,76	1,73	144,50	450,77	1193,88
novembre-35	0,02	0,98	1,38	229,76	354,15	720,58
dicembre-35	0,66	1,41	1,71	157,23	226,49	458,25
gennaio-36	1,10	1,43	1,60	169,30	210,43	328,86
febbraio-36	1,43	1,63	1,78	136,78	161,94	207,95
marzo-36	1,14	1,41	1,56	182,94	218,50	295,91
aprile-36	0,08	1,01	1,24	294,63	363,76	696,20
maggio-36	0,06	0,47	1,05	348,32	544,24	761,59
giugno-36	0,02	0,32	0,91	391,62	601,89	837,53
luglio-36	0,06	0,46	1,04	353,72	548,10	820,39
agosto-36	1,09	1,36	1,57	204,66	267,73	338,84
settembre-36	1,13	1,57	1,70	177,68	213,79	323,10
ottobre-36	1,62	1,77	1,92	107,42	131,22	162,67
novembre-36	1,77	1,88	2,05	85,46	108,25	132,38
dicembre-36	1,71	1,96	2,09	76,45	94,85	125,31
gennaio-37	1,96	2,07	2,22	49,85	72,61	84,13
febbraio-37	2,01	2,09	2,24	63,85	72,20	85,90
marzo-37	1,04	1,66	1,99	92,17	164,72	306,51
aprile-37	1,02	1,42	1,66	175,42	246,90	370,81
maggio-37	0,08	0,63	1,72	171,70	493,18	1018,84
giugno-37	0,02	0,18	0,75	450,45	652,59	878,34

luglio-37	0,43	0,82	1,13	302,86	419,25	534,18
agosto-37	0,16	1,04	1,26	208,34	360,50	610,26
settembre-37	0,06	0,60	1,48	245,90	529,31	1248,47
ottobre-37	1,18	0,72	1,18	283,59	441,70	712,30
novembre-37	1,02	1,32	1,61	172,98	246,13	338,66
dicembre-37	1,00	1,53	1,70	146,50	185,70	292,89
gennaio-38	1,69	1,82	1,98	101,14	120,93	143,76
febbraio-38	1,86	1,94	2,06	87,57	99,84	110,99
marzo-38	1,85	1,93	2,02	93,23	101,53	112,86
aprile-38	1,90	2,18	2,36	64,87	87,75	131,47
maggio-38	0,96	1,93	2,43	60,56	141,97	359,35
giugno-38	0,18	0,77	1,57	206,57	455,70	1218,28
luglio-38	0,22	1,12	1,42	246,85	330,44	583,27
agosto-38	1,08	1,34	1,57	211,90	265,77	362,68
settembre-38	0,72	1,42	1,68	178,91	240,82	455,24
ottobre-38	1,35	1,59	1,76	136,85	173,20	234,22
novembre-38	1,30	1,74	1,96	108,93	142,61	236,36
dicembre-38	1,53	1,83	1,98	98,65	124,81	181,82
gennaio-39	1,43	1,79	2,05	88,34	131,14	211,46
febbraio-39	1,82	1,90	2,02	96,59	110,83	124,23
marzo-39	1,88	1,98	2,10	76,28	91,41	106,71
aprile-39	0,58	1,72	2,08	106,19	180,48	493,30
maggio-39	0,77	1,05	1,39	256,97	350,25	431,55
giugno-39	0,10	0,45	1,14	319,93	550,32	943,81
luglio-39	0,24	0,78	1,24	287,46	438,40	618,81
agosto-39	0,10	0,96	1,34	275,27	388,67	788,94
settembre-39	0,06	0,93	1,38	264,28	397,17	718,39
ottobre-39	0,28	1,01	1,34	231,74	335,34	523,53
novembre-39	0,14	1,10	1,47	205,79	310,28	1248,41
dicembre-39	1,44	1,61	1,86	138,63	173,42	204,88
gennaio-40	1,76	1,88	2,00	96,56	113,96	128,43
febbraio-40	1,92	2,09	2,06	84,51	93,31	108,47
marzo-40	1,74	2,01	2,09	77,84	102,94	140,15
aprile-40	1,58	1,91	2,28	78,60	137,87	215,23
maggio-40	0,22	1,35	1,66	186,85	272,46	748,37
giugno-40	0,10	0,89	1,26	293,30	408,15	653,38
luglio-40	0,19	0,72	1,13	316,94	457,29	1275,22
agosto-40	1,02	1,39	1,72	180,74	250,28	352,26
settembre-40	1,12	1,60	1,82	163,56	204,24	309,97
ottobre-40	0,60	1,22	1,55	190,84	268,51	461,76
novembre-40	0,18	1,15	1,64	166,50	307,37	988,19
dicembre-40	1,34	1,65	1,91	121,74	160,85	215,22

Tabella 5.4.1: Tabella contenente le altezze minime, medie e massime mensili calcolati a partire dalle altezze orarie ricavate dal sito Web dell'ISPRA. Inoltre, essa contiene i corrispondenti valori di portata calcolati utilizzando la scala delle portate relativa alla stazione idrometrica Adige a Pescantina durante il periodo 1930-1940. In rosso invece sono evidenziate le portate con valori maggiori.

MESE - ANNO	H-MIN (m)	H-MED (m)	H-MAX (m)	Q-MIN (m ³ /s)	Q-MED (m ³ /s)	QMAX (m ³ /s)
gennaio-10	-2,24	-2,12	-1,78	54,17	70,51	126,08
febbraio-10	-2,31	-2,05	-1,58	45,48	80,85	164,78
marzo-10	-2,27	-1,87	-1,30	50,37	110,08	226,00
aprile-10	-2,21	-2,09	-1,71	58,09	74,87	139,14
maggio-10	-2,10	-1,19	0,63	73,40	252,21	845,15
giugno-10	-1,75	-1,08	-0,40	131,61	279,60	345,04
luglio-10	-2,19	-1,73	-1,23	60,76	135,35	242,54
agosto-10	-2,17	-1,45	0,55	63,48	192,21	413,20
settembre-10	-2,14	-1,77	-0,97	67,66	127,91	308,15
ottobre-10	-2,20	-1,89	-1,07	59,42	106,65	282,15
novembre-10	-1,94	-1,05	0,56	98,27	287,27	417,17
dicembre-10	-2,19	-1,65	-0,56	60,76	150,75	424,51
gennaio-11	-2,26	-1,96	-1,51	51,62	95,00	179,33
febbraio-11	-2,32	-2,13	-1,98	44,29	69,08	91,77
marzo-11	-2,22	-1,69	-1,03	56,77	142,96	292,43
aprile-11	-2,20	-2,04	-1,31	59,42	82,38	223,68
maggio-11	-2,19	-1,89	0,06	60,76	106,65	628,83
giugno-11	-1,66	-1,05	1,27	148,79	287,27	593,53
luglio-11	-2,31	-1,80	-1,12	45,48	122,45	269,50
agosto-11	-2,30	-1,98	-1,30	46,68	91,77	226,00
settembre-11	-2,18	-1,86	0,32	62,12	111,82	314,22
ottobre-11	-2,29	-2,03	-1,32	47,90	83,91	221,36
novembre-11	-2,45	-2,03	-1,21	30,04	83,91	247,35
dicembre-11	-2,33	-2,17	-2,12	43,11	63,48	70,51
gennaio-12	-2,31	-2,18	-1,82	45,48	62,12	118,86
febbraio-12	-2,38	-2,19	-2,11	37,43	60,76	71,95
marzo-12	-2,30	-1,93	-1,50	46,68	99,93	181,45
aprile-12	-2,31	-2,11	-1,91	45,48	71,95	103,27
maggio-12	-2,13	-1,83	-1,29	69,08	117,08	228,33
giugno-12	-2,09	-1,57	-0,67	74,87	166,83	391,78
luglio-12	-2,09	-1,86	-1,10	74,87	111,82	274,53
agosto-12	-2,25	-2,03	-1,47	52,89	83,91	187,88
settembre-12	-2,27	-1,86	-0,66	50,37	111,82	214,71
ottobre-12	-2,19	-1,86	-1,22	60,76	111,82	244,94
novembre-12	-2,13	-1,00	1,70	69,08	300,25	1320,27
dicembre-12	-2,28	-1,87	-0,72	49,13	110,08	377,27
gennaio-13	-2,31	-2,17	-1,95	45,48	63,48	96,63
febbraio-13	-2,27	-2,15	-2,02	50,37	66,26	85,46
marzo-13	-2,24	-2,11	-1,53	54,17	71,95	175,13
aprile-13	-2,21	-1,62	-0,32	58,09	156,70	499,65
maggio-13	-1,04	-0,50	1,44	289,85	442,82	796,82
giugno-13	-1,38	-0,83	-0,16	207,70	346,14	552,54
luglio-13	-2,14	-1,38	-1,06	67,66	207,70	284,70
agosto-13	-2,21	-2,00	-1,42	58,09	88,59	198,79
settembre-13	-2,29	-2,14	-1,70	47,90	67,66	141,04
ottobre-13	-2,32	-1,89	-0,24	44,29	106,65	325,82
novembre-13	-2,04	-1,52	-1,06	82,38	177,22	284,70
dicembre-13	-2,38	-2,05	-0,99	37,43	80,85	302,87
gennaio-14	-2,25	-1,85	-1,22	52,89	113,56	244,94
febbraio-14	-2,06	-1,40	-0,81	79,34	203,22	351,72

marzo-14	-2,11	-1,47	-0,77	71,95	187,88	362,98
aprile-14	-1,86	-1,35	-0,67	111,82	214,48	391,78
maggio-14	-1,53	-1,00	-0,55	175,13	300,25	427,54
giugno-14	-1,51	-0,98	-0,31	179,33	305,51	502,89
luglio-14	-1,63	-1,10	-0,54	154,71	274,53	430,57
agosto-14	-1,55	-1,03	0,70	170,96	292,43	573,53
settembre-14	-2,20	-1,67	-1,01	59,42	146,84	297,63
ottobre-14	-2,23	-2,05	-1,40	55,46	80,85	203,22
novembre-14	-2,23	-0,87	1,97	55,46	335,10	753,76
dicembre-14	-2,21	-1,67	-0,66	58,09	146,84	394,71
gennaio-15	-2,24	-2,10	-1,66	54,17	73,40	148,79
febbraio-15	-2,28	-2,13	-1,89	49,13	69,08	106,65
marzo-15	-2,24	-2,14	-2,03	54,17	67,66	83,91
aprile-15	-2,26	-2,15	-1,96	51,62	66,26	95,00
maggio-15	-2,17	-1,62	-0,05	63,48	156,70	590,17
giugno-15	-2,10	-1,66	-1,02	73,40	148,79	295,03
luglio-15	-2,16	-1,97	-1,46	64,86	93,38	190,04
agosto-15	-2,20	-2,10	-1,78	59,42	73,40	126,08
settembre-15	-2,19	-2,02	-1,20	60,76	85,46	249,78
ottobre-15	-2,17	-1,88	-1,13	63,48	108,36	267,00
novembre-15	-2,27	-2,00	-1,25	50,37	88,59	237,76
dicembre-15	-2,32	-2,16	-2,01	44,29	64,86	87,02
gennaio-16	-2,32	-2,12	-1,95	44,29	70,51	96,63
febbraio-16	-2,21	-2,04	-1,67	58,09	82,38	146,84
marzo-16	-2,15	-1,92	-1,54	66,26	101,59	173,04
aprile-16	-2,17	-2,05	-1,61	63,48	80,85	158,71
maggio-16	-2,15	-1,90	-0,79	66,26	104,95	357,33
giugno-16	-1,34	-0,91	0,34	216,77	324,21	531,78
luglio-16	-2,01	-1,51	-0,46	87,02	179,33	455,20
agosto-16	-2,14	-1,75	-0,55	67,66	131,61	427,54
settembre-16	-2,25	-2,10	-1,75	52,89	73,40	131,61
ottobre-16	-2,23	-2,10	-1,80	55,46	73,40	122,45
novembre-16	-2,23	-2,14	-1,87	55,46	67,66	110,08
dicembre-16	-2,35	-2,16	-2,07	40,80	64,86	77,84
gennaio-17	-2,35	-2,17	-2,08	40,80	63,48	76,35
febbraio-17	-2,25	-2,14	-2,09	52,89	67,66	74,87
marzo-17	-2,26	-2,10	-1,73	51,62	73,40	135,35
aprile-17	-2,45	-2,18	-2,03	30,04	62,12	83,91
maggio-17	-2,26	-2,04	-1,50	51,62	82,38	181,45
giugno-17	-2,18	-1,94	-1,20	62,12	98,27	249,78
luglio-17	-2,20	-2,06	-1,15	59,42	79,34	262,03
agosto-17	-2,20	-1,87	-0,13	59,42	110,08	322,70
settembre-17	-2,23	-1,89	-1,14	55,46	106,65	264,51
ottobre-17	-2,27	-2,14	-1,67	50,37	67,66	146,84
novembre-17	-2,29	-2,17	-2,00	47,90	63,48	88,59
dicembre-17	-2,29	-2,14	-1,19	47,90	67,66	252,21
gennaio-18	-2,39	-2,18	-1,48	36,33	62,12	185,73
febbraio-18	-2,29	-2,19	-2,10	47,90	60,76	73,40
marzo-18	-2,25	-2,12	-1,74	52,89	70,51	133,47
aprile-18	-2,21	-1,63	-0,79	58,09	154,71	357,33
maggio-18	-1,26	-0,96	-0,65	235,39	310,80	397,65
giugno-18	-2,15	-1,36	-0,74	66,26	212,21	371,52
luglio-18	-2,18	-2,07	-1,56	62,12	77,84	168,89

agosto-18	-2,21	-2,05	-1,15	58,09	80,85	262,03
settembre-18	-2,23	-1,91	-0,32	55,46	103,27	499,65
ottobre-18	-2,24	-1,79	1,95	54,17	124,26	1043,69
novembre-18	-2,19	-1,38	0,00	60,76	207,70	607,62
dicembre-18	-2,29	-2,16	-1,73	47,90	64,86	135,35
gennaio-19	-2,27	-2,16	-2,10	50,37	64,86	73,40
febbraio-19	-2,25	-2,14	-1,91	52,89	67,66	103,27
marzo-19	-2,25	-2,10	-1,60	52,89	73,40	160,72
aprile-19	-2,23	-1,92	-1,00	55,46	101,59	300,25
maggio-19	-1,96	-1,43	-0,60	95,00	196,58	412,48
giugno-19	-1,24	-0,72	-0,10	240,15	377,27	372,94
luglio-19	-2,11	-1,59	-0,72	71,95	162,75	377,27
agosto-19	-2,17	-1,97	-1,52	63,48	93,38	177,22
settembre-19	-2,24	-2,08	-1,53	54,17	76,35	175,13
ottobre-19	-2,34	-2,17	-1,90	41,95	63,48	104,95
novembre-19	-2,22	-1,20	-0,01	56,77	249,78	304,11
dicembre-19	-2,22	-1,74	-0,98	56,77	133,47	305,51
gennaio-20	-2,24	-2,11	-1,66	54,17	71,95	148,79
febbraio-20	-2,30	-2,12	-1,92	46,68	70,51	101,59
marzo-20	-2,14	-2,11	-1,88	67,66	71,95	108,36
aprile-20	-2,14	-2,00	-1,59	67,66	88,59	162,75
maggio-20	-2,13	-1,42	-0,39	69,08	198,79	477,21
giugno-20	-2,02	-1,17	-0,44	85,46	257,10	461,44
luglio-20	-2,14	-1,67	-0,99	67,66	146,84	302,87
agosto-20	-2,10	-1,50	1,66	73,40	181,45	1300,95
settembre-20	-2,12	-1,38	0,44	70,51	207,70	770,11
ottobre-20	-1,86	-0,95	0,91	111,82	313,46	660,97
novembre-20	-2,11	-1,69	-1,07	71,95	142,96	282,15
dicembre-20	-2,13	-1,66	0,52	69,08	148,79	801,35

Tabella 5.4.2: Tabella contenente le altezze minime, medie e massime mensili calcolati a partire dalle altezze orarie ricavate dal sito Web dell'ARPAV. Inoltre, essa contiene i corrispondenti valori di portata calcolati utilizzando la scala delle portate relativa alla stazione idrometrica Adige a Verona durante il periodo 2010-2020. In rosso invece sono evidenziate le portate con valori maggiori.

I dati presentati appena sopra offrono una vasta gamma di informazioni sulle portate lungo il tratto medio del fiume Adige. Nell'ultima colonna, sono riportate anche le portate con i valori maggiori, evidenziate mediante il colore rosso.

Siccome le sezioni presi in esame sono a valle della Galleria Adige Garda si arriva alle seguenti conclusioni:

1. Prendendo in considerazione il mese di ottobre-18 si può notare una portata che varia intorno ai 1000 m³/s. Questo potrebbe essere dovuto al funzionamento attivo della Galleria Adige Garda.
2. Per quanto riguarda le portate minime e medie l'effetto della Galleria è meno evidente in quanto essa entra in funzione durante gli eventi estremi, cioè di piena.
3. Tuttavia, in alcuni mesi come, ad esempio, novembre-12 e agosto-20 si possono osservare, mediante le tabelle, portate massime molto elevate. Questo potrebbe dimostrare che in quei mesi la Galleria non è riuscita a deviare tutta l'acqua oppure l'evento è stato talmente eccezionale da sovraccaricare anche quest'ultima.

Per semplicità si riportano nelle Tabella 5.4.3 e Tabella 5.4.4 i valori minimi, medi e massimi delle portate mensili minime, medie e massime.

Mesi	Portata Minima (m ³ /s)			Portata media (m ³ /s)			Portata massima (m ³ /s)		
	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo
1930-1940									
Gennaio	49,00	72,60	84,00	97,77	117,93	150,36	169,00	210,00	328,00
Febbraio	63,00	72,20	85,00	87,95	102,07	133,73	136,00	161,00	207,00
Marzo	76,00	86,90	101,00	101,40	132,32	181,40	182,00	218,00	306,00
Aprile	64,00	87,70	131,00	141,73	202,89	360,00	294,00	383,00	878,00
Maggio	60,00	141,00	359,00	213,00	389,45	681,36	436,00	633,40	1018,00
Giugno	206,00	349,00	650,00	353,18	521,55	853,36	553,00	744,00	1218,00
Luglio	207,00	261,50	431,00	279,27	397,80	664,64	353,00	548,00	1058,00
Agosto	168,00	203,30	244,00	221,18	308,89	554,00	275,00	394,50	1033,00
Settembre	143,00	174,90	309,00	192,55	281,10	538,55	264,00	529,00	1248,00
Ottobre	107,00	131,00	159,00	166,82	256,39	475,64	283,00	450,00	1193,00
Novembre	85,00	108,00	132,00	158,55	231,75	439,00	229,00	354,00	988,00
Dicembre	76,00	91,00	104,00	121,23	153,24	226,45	162,00	226,00	458,00

Tabella 5.4.3: La tabella contiene, per la stazione Adige a Pescantina durante gli anni 1930-1940, le portate minime, medie e massime mensili con i relativi valori minimi, medi e massimi.

Mesi	Portata Minima (m ³ /s)			Portata media (m ³ /s)			Portata massima (m ³ /s)		
	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo	Minimo	Medio	Massimo
2010-2020									
Gennaio	37,43	60,76	71,95	51,32	81,66	124,75	79,34	203,22	351,72
Febbraio	46,68	67,66	83,91	56,86	97,39	184,80	71,95	187,88	362,98
Marzo	30,04	62,12	83,91	60,12	99,98	215,81	111,82	214,48	499,65
Aprile	51,62	82,38	181,45	113,55	206,29	522,09	289,85	442,82	1196,82
Maggio	62,12	98,27	249,78	135,13	254,84	472,49	240,15	377,27	731,78
Giugno	45,48	77,84	168,89	74,23	144,66	296,20	154,71	274,53	455,20
Luglio	46,68	73,40	126,08	70,10	131,60	487,52	170,96	292,43	1300,95
Agosto	47,90	67,66	131,61	58,83	110,81	346,07	70,51	207,70	770,11
Settembre	41,95	63,48	104,95	59,40	129,90	508,97	111,82	313,46	1443,69
Ottobre	30,04	63,48	88,59	59,86	164,89	464,60	98,27	335,10	1453,76
Novembre	37,43	63,48	70,51	50,14	95,45	268,05	69,08	150,75	801,35
Dicembre	36,33	62,12	73,40	57,21	140,42	135,83	148,79	801,35	244,94

Tabella 5.4.4: La tabella contiene, per la stazione Adige a Verona durante gli anni 2010-2020, le portate minime, medie e massime mensili con i relativi valori minimi, medi e massimi.

Attraverso le tabelle Tabella 5.4.3 Tabella 5.4.3 è stata costruita la Figura 5.4.1. Sull'asse delle ascisse sono rappresentati i mesi dell'anno mentre sull'asse delle ordinate sono rappresentate le portate in m^3/s . Le portate minime, medie e massime sono evidenziate mediante tre linee separate di colore diverso.

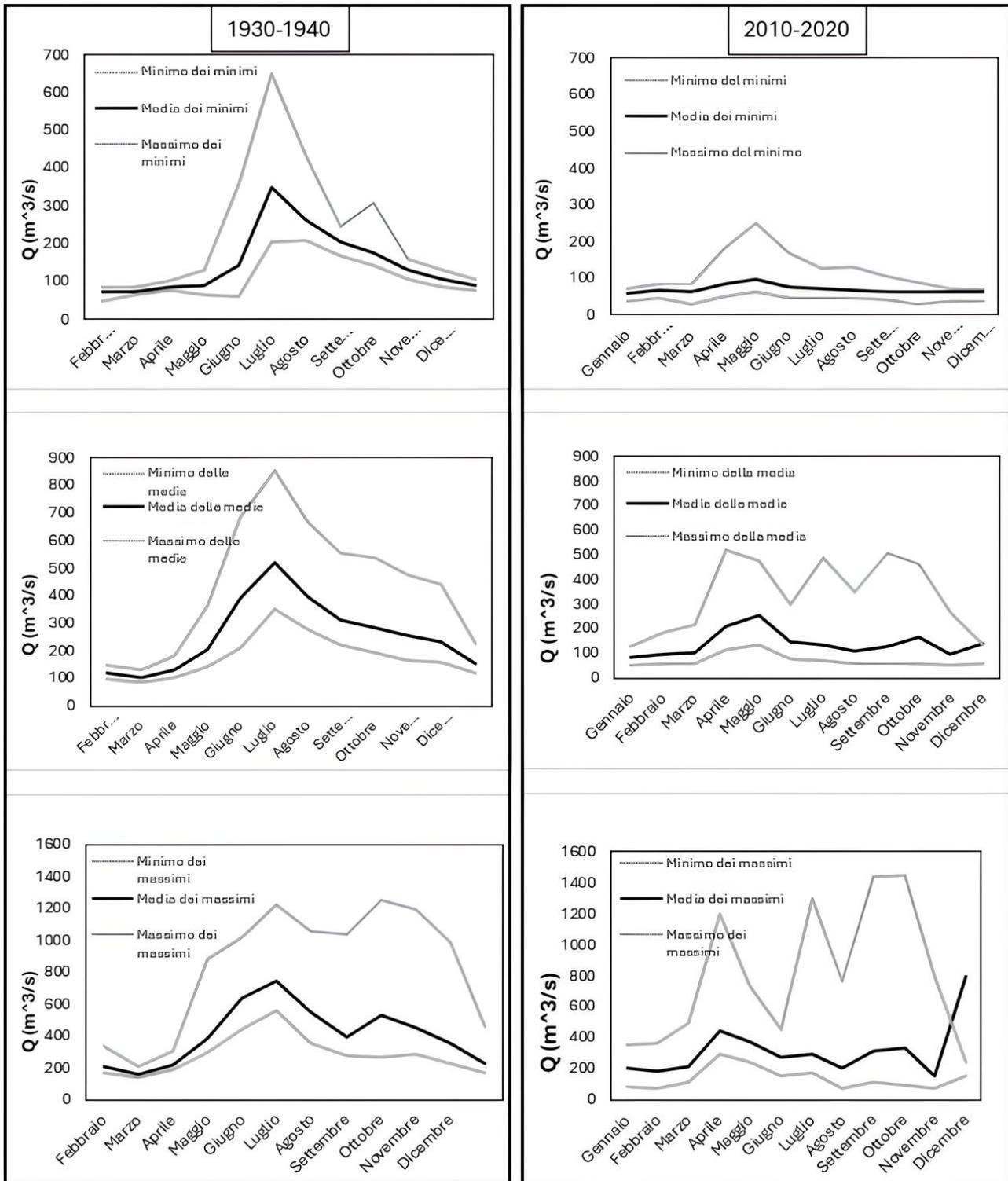


Figura 5.4.1: La figura rappresenta l'andamento delle portate minime, medie e massime mensili con i relativi valori minimi, medi e massimi, per la stazione idrometrica Adige a Verona e a Pescantina durante gli anni 2010-2020 e 1930-1940, rispettivamente.

Il risultato ottenuto tramite questi grafici riguarda la diminuzione delle portate degli ultimi anni rispetto a quelle registrate tra il 1930 e il 1940. In particolare, questa diminuzione è particolarmente evidente durante il periodo estivo-autunnale tra il 2010-2020 e 1930-1940, ovvero dal mese di giugno al mese di settembre-ottobre. Inoltre, focalizzando l'attenzione sulle portate minime nel 1930 e nel 2010 si nota che il picco oltre ad essersi spostato si è anche dimezzato. Questa differenza nelle portate minime tra il periodo 1930-1940 e 2010-2020 con il picco massimo che si sposta dai mesi giugno-agosto (1930-1940) ad aprile-giugno (2010-2020) potrebbe essere dovuto all'urbanizzazione, all'uso agricolo intensivo e all'aumento della domanda di risorse idriche. Esse portano ad ipotizzare una maggiore pressione sulle risorse idriche durante l'estate e di conseguenza una riduzione delle portate minime nei mesi estivi recenti. Per quanto riguarda gli anni 1930-1940 il fabbisogno idrico potrebbe essere stato inferiore.

Tuttavia, in entrambe le stazioni, si evidenziano anche periodi caratterizzati da piene e inondazioni. Gli effetti delle piene estive e quelle autunnali sono più rilevanti, perché le acque presenti nei bacini idrografici vengono rilasciate piuttosto che immagazzinate in strutture specifiche¹.

Si ipotizza quindi che questo sia dovuto alla:

1. Capacità limitata di immagazzinare l'acqua: Le strutture attuali non riescono a contenere ulteriormente l'acqua².
2. Limitare le inondazioni: L'acqua viene rilasciata per evitare il rischio di inondazione.
3. Condizioni climatiche: La diminuzione delle portate durante l'estate, dovuta dall'evaporazione a causa delle alte temperature, potrebbe non garantire l'approvvigionamento idrico a valle. In queste condizioni, l'acqua viene rilasciata per garantire oltre l'approvvigionamento idrico anche un mantenimento adeguato del livello del fiume.

Inoltre, una differenza sostanziale riguarda l'irregolarità delle piene negli ultimi anni rispetto a quelli del 1930-1940. Questi diagrammi focalizzano quindi l'attenzione su due aspetti fondamentali:

1. La diminuzione delle portate fluenti negli ultimi anni.
2. L'irregolarità delle portate fluenti negli ultimi anni.

Questa irregolarità, osservabile tramite i picchi dei grafici precedenti, avviene a causa delle brevi ma intense precipitazioni.

Quindi si può concludere che il trend più visibile in questa figura è l'anticipazione del picco delle portate minime e medie nel periodo 2010-2020 rispetto al 1930-1940. Inoltre, si evidenzia una maggiore variabilità e irregolarità delle portate massime nel periodo recente.

¹ Frase tratta e rielaborata dal libro di Gianni, S. Ernesto, S. (agosto.1996). Le inondazioni nella media pianura veronese: Per una storia del fiume Adige. Tipografia Ambrosini (Editore).

² Il punto evidenziato riguarda aspetti che saranno ripresi nelle conclusioni. Più precisamente, l'osservazione emersa in questo punto costituisce una base fondamentale per le riflessioni conclusive.

5.5 Previsioni future e andamento delle tendenze

La Figura 5.5.1 mostra l'andamento nel tempo delle portate misurate nel tratto di Adige considerato. Questo andamento avviene su due distinti periodi temporali: 1930-1940 (linea nera) e 2010-2020 (linea grigia). Lungo l'asse delle ordinate sono riportate le portate in m^3/s mentre sull'asse delle ascisse sono riportati i due gruppi di dati.

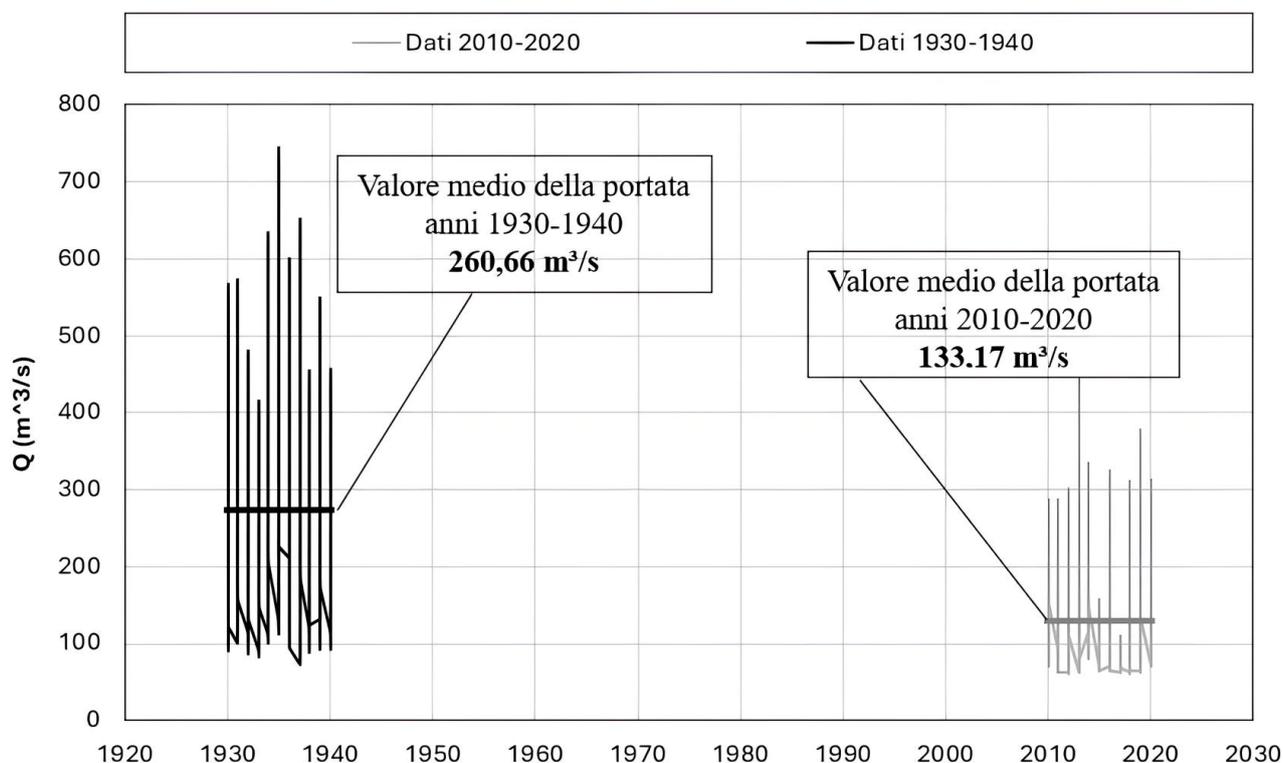


Figura 5.5.1: Diagramma dell'andamento delle portate del fiume Adige nel periodo 1930-2020 e 2010-2020, con particolare attenzione alla riduzione delle portate negli ultimi decenni, evidenziata mediante il confronto delle portate medie indicate tramite il tracciato nero e grigio.

L'obiettivo di questo grafico è quello di mostrare le tendenze relative all'andamento delle portate fluenti lungo il tratto medio del fiume Adige, focalizzando l'attenzione sulla stazione di Pescantina per il periodo 1930-1940 e di Verona per il periodo 2010-2020.

Attraverso l'analisi del diagramma sopra si può notare, come già osservato nella precedente analisi, una diminuzione delle portate fluenti negli ultimi anni rispetto a quelle di 80 anni fa. Questa diminuzione si può notare dal tracciato orizzontale dei due gruppi dati, il quale rappresenta le portate medie per gli anni 1930-1940 e 2010-2020. Si può notare quindi che la portata media per il decennio 1930-1940 (pari a $260,66 m^3/s$) è maggiore di quella del decennio 2010-2020 (pari a $133,17 m^3/s$). Le cause di tutto ciò sono principalmente:

1. Le variazioni climatiche ed ambientali che stanno cambiando il regime idrologico fluviale.
2. Alle temperature aumentate e la conseguente riduzione dei ghiacciai.
3. L'irregolarità e imprevedibilità delle piogge.

Tutto questo sta contribuendo a diminuire la portata, sia durante l'inverno che durante l'estate.

Riportando sull'asse delle ascisse i due decenni, cioè 1930-1940 e 2010-2020, e sull'asse delle ordinate le portate medie in m^3/s , si ottengono i grafici Figura 5.5.2 e Figura 5.5.3. Questi grafici mostrano l'andamento delle portate medie stagionali durante gli anni in esame. Per quanto riguarda le portate, esse sono suddivise per due stagioni principali, ossia quella estiva e quella invernale. Le stagioni hanno le seguenti caratteristiche:

1. La stagione estiva include i dati che vanno dal 21 giugno al 21 settembre
2. La stagione invernale include i dati che vanno dal 21 dicembre al 20 marzo

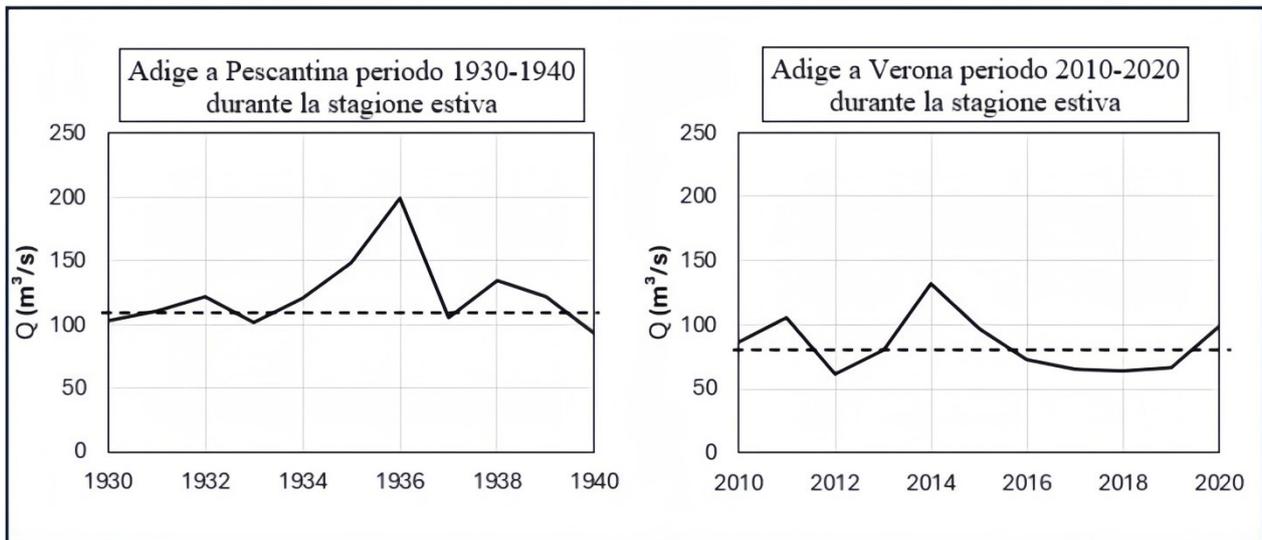


Figura 5.5.2: Diagrammi che evidenziano l'andamento delle portate medie stagionali estive durante gli anni 1930-1940 e 2010-2020, dove tale andamento è rappresentato mediante la linea tratteggiata orizzontale.

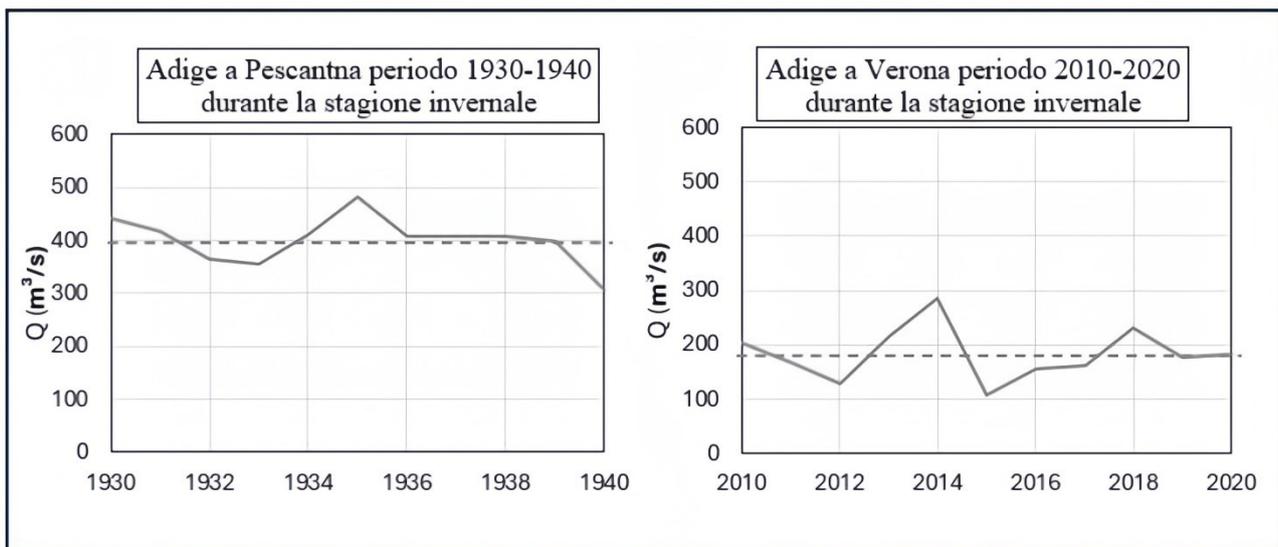


Figura 5.5.3: Diagrammi che evidenziano l'andamento delle portate medie stagionali invernali durante gli anni 1930-1940 e 2010-2020, dove tale andamento è rappresentato mediante la linea tratteggiata orizzontale.

Per rappresentare il valore medio della portata durante gli anni di studio viene costruito una linea tratteggiata orizzontale. Attraverso quest'ultima, si può notare che le portate medie sono diminuite durante le due stagioni astronomiche prese in esame:

1. Per quanto riguarda la stagione estiva la portata media nel periodo 1930-1940 era 123,52 m³/s, mentre nel periodo 2010-2020 è scesa a 84,63 m³/s.
2. Durante la stagione invernale invece la portata media nel periodo 1930-1940 era 399,26 m³/s, mentre nel periodo 2010-2020 è ridotta a 182,21 m³/s.

La riduzione delle portate estive è causata in primis da un aumento drastico delle temperature estive. Di conseguenza, l'evaporazione dell'acqua aumenta e l'industria agricola necessita di una maggiore irrigazione. In più, la diminuzione delle dimensioni dei ghiacciai e del manto nevoso ha conseguentemente ridotto l'acqua da essi proveniente nel corso del periodo estivo.

Le portate invernali del fiume, invece, sono in declino per diverse ragioni, tutti collegati principalmente ai cambiamenti climatici. In primo luogo, le temperature alte d'inverno comportano meno nevicate e più precipitazioni sotto forma di pioggia. In passato la neve si immagazzinava durante la stagione invernale e si scioglieva nel tempo, adesso invece viene sostituita da piogge più intense e rapide. Un altro elemento è la diminuzione delle dimensioni dei ghiacciai, che in passato rappresentavano una delle maggiori riserve idriche. Questi elementi stanno contribuendo ad una riduzione costante delle portate nel corso dell'inverno, la conseguenza logica è la riduzione dell'acqua nei letti dei fiumi.

5.6 Conclusioni derivate dall'analisi dei dati idrometrici rilevati presso la stazione di Pescantina e di Verona dal 2020 al 2023.

Per concludere l'analisi dei dati idrometrici relativi alle due stazioni idrometriche si è deciso di approfondire anche gli anni 2020-2023. Questo avviene mediante lo sviluppo di quattro diagrammi che mostrano aspetti importanti riguardanti il regime fluviale lungo il tratto medio del fiume Adige. Questi diagrammi (Vedi Figura 5.6.1, Figura 5.6.2, Figura 5.6.3 e Figura 5.6.4), a differenza degli altri, presentano sull'asse delle ascisse la variazione oraria delle portate del fiume, mentre i grafici precedenti mostravano la variazione mensile delle portate. Sull'asse delle ordinate, invece, sono riportate le portate in m^3/s . Per un confronto migliore tra i diagrammi, si evidenziano i valori medi delle portate orarie per entrambe le stazioni mediante le linee tratteggiate orizzontali.

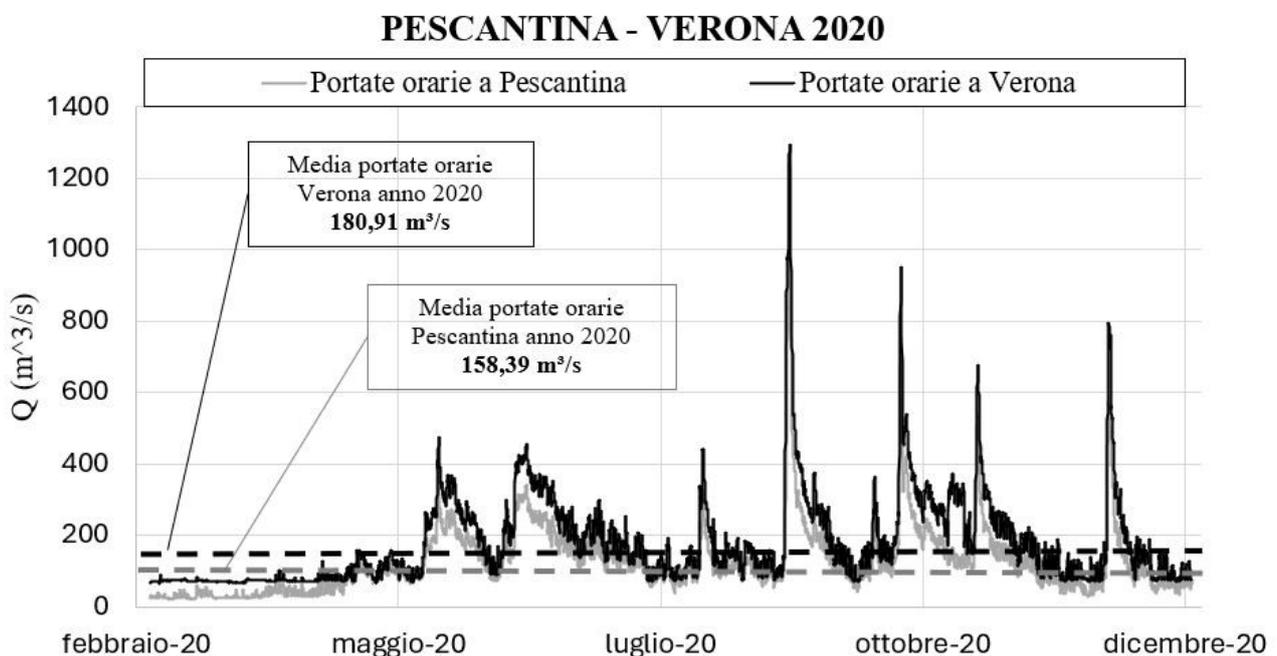


Figura 5.6.1: Diagramma che rappresenta la variazione della portata oraria che attraversa la stazione di Pescantina e di Verona durante l'anno 2020, evidenziando inoltre due tracciati orizzontali che indicano la portata oraria media relativa all'anno e alla stazione in esame.

PESCANTINA - VERONA 2021

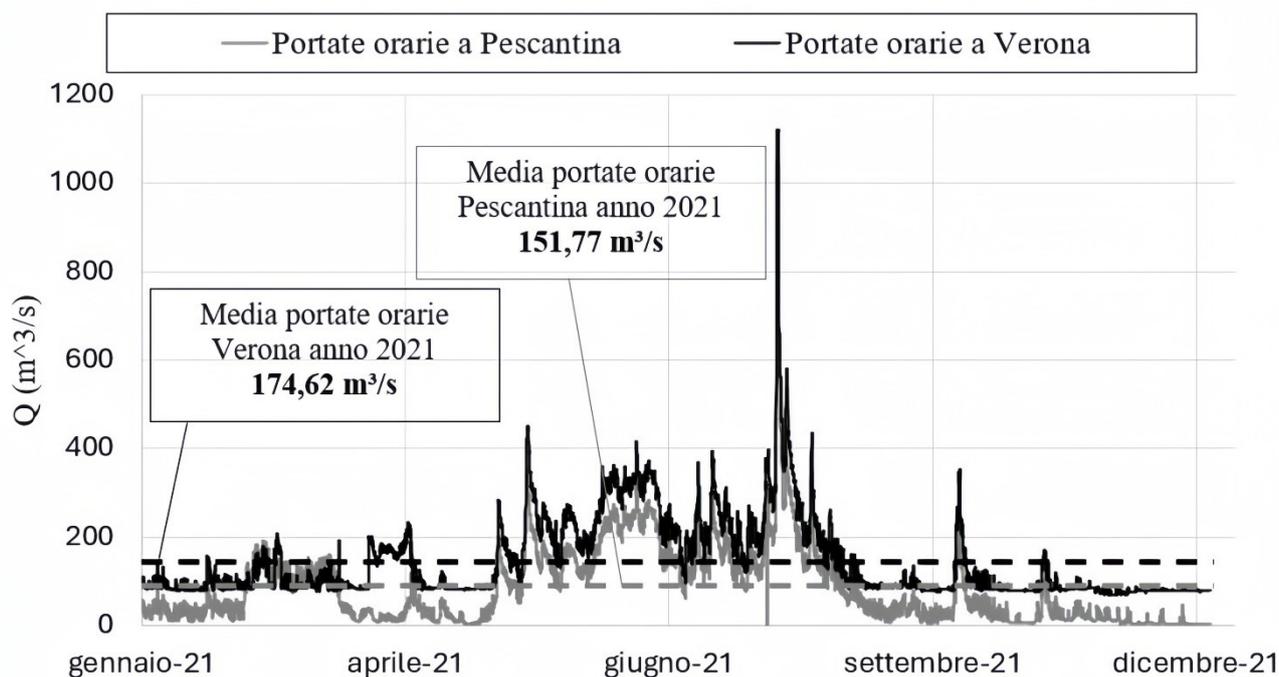


Figura 5.6.2: Diagramma che rappresenta la variazione della portata oraria che attraversa la stazione di Pescantina e di Verona durante l'anno 2021, evidenziando inoltre due tracciati orizzontali che indicano la portata oraria media relativa all'anno e alla stazione in esame.

PESCANTINA - VERONA 2022

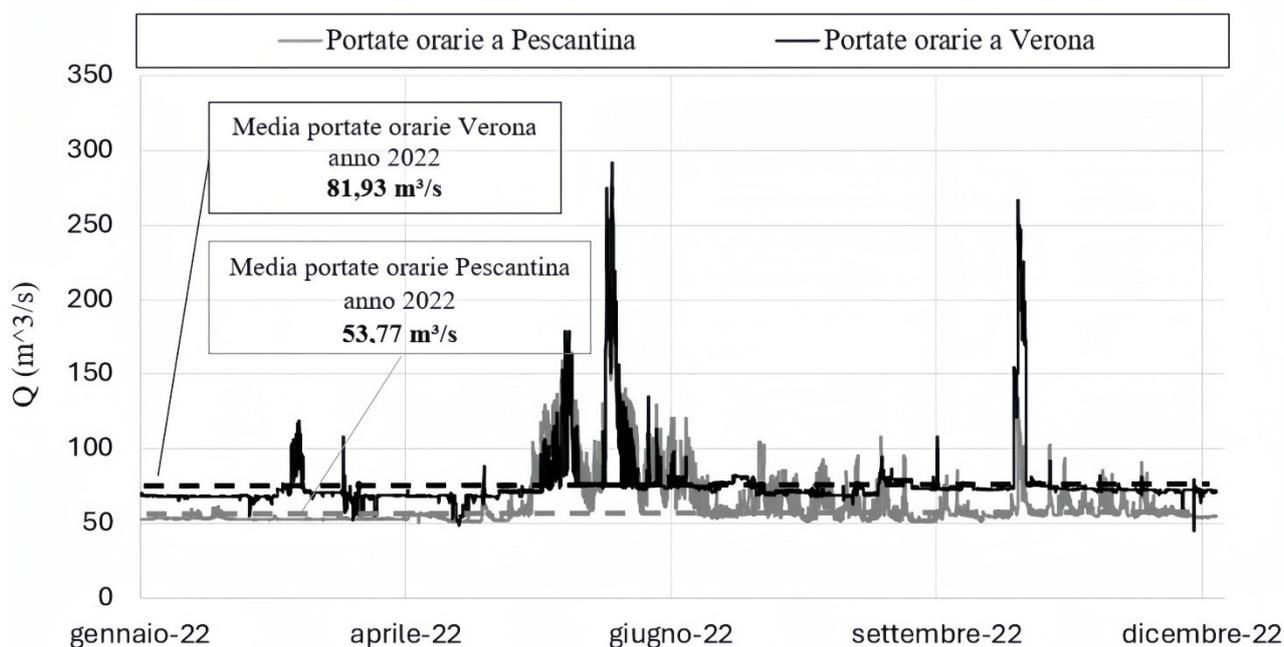


Figura 5.6.3: Diagramma che rappresenta la variazione della portata oraria che attraversa la stazione di Pescantina e di Verona durante l'anno 2022, evidenziando inoltre due tracciati orizzontali che indicano la portata oraria media relativa all'anno e alla stazione in esame.

PESCANTINA - VERONA 2023

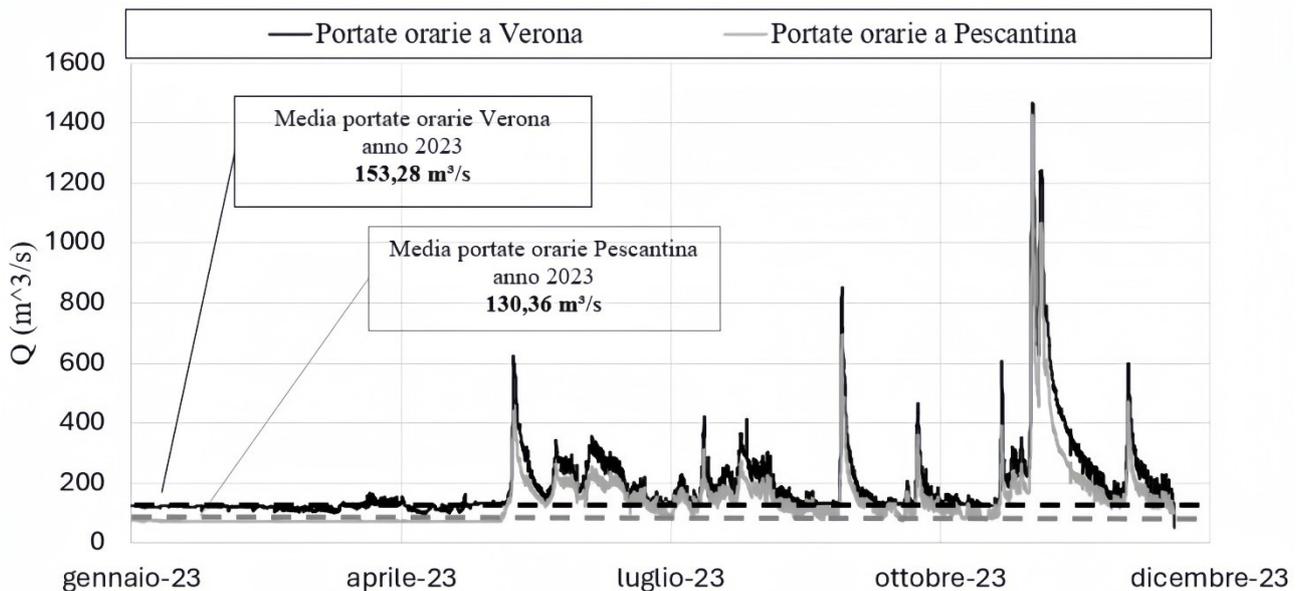


Figura 5.6.4: Diagramma che rappresenta la variazione della portata oraria che attraversa la stazione di Pescantina e di Verona durante l'anno 2023, evidenziando inoltre due tracciati orizzontali che indicano la portata oraria media relativa all'anno e alla stazione in esame.

Innanzitutto, si può avere un riscontro fondamentale relativo al funzionamento della Galleria Adige Garda durante le piene. Quest'ultime devono superare una certa soglia di sicurezza (600-650 m³/s) fintantoché la Galleria Adige Garda entri in funzione. Le piene laminate dalla Galleria Adige Garda si notano dai picchi significativi in alcuni periodi. In particolare:

1. Per quanto riguarda l'anno 2020, il picco che si nota nella città di Verona è quello di agosto-settembre, dove la portata supera i 1000 m³/s. In questo caso la galleria molto probabilmente è stata attivata per deviare l'acqua in eccesso verso il lago di Garda e per proteggere la città
2. Durante l'anno 2021 la portata massima si può vedere tra luglio-agosto, con valore che supera i 1000 m³/s.
3. Nel 2022 il picco maggiore si evidenzia a maggio, con portate che superano i 300 m³/s. Questo significa che i valori di portata non sono tali da richiedere l'attivazione della galleria.
4. Nel 2023 la portata massima si nota a novembre, con un valore che supera i 1200 m³/s. Questo è un caso dove la galleria è stata sicuramente attivata in modo tale da prevenire le inondazioni.

Prendendo in considerazione i valori medi delle portate orarie si nota una differenza significativa nelle portate del 2022, che sono le portate più basse registrate negli ultimi 4 anni. Questo aspetto si presenterà nel dettaglio mediante il sottocapitolo seguente (Vedi sottocapitolo 5.7), utilizzando la costruzione di un grafico combinato. Nel 2020, invece, le portate medie nelle due stazioni sono pari a 180,91 m³/s per l'Adige a Verona e 158,39 m³/s a Pescantina, un andamento simile alle portate dell'anno successivo. Nel 2023, le portate orarie risultano più variabili, con una media pari a 153,28 m³/s per l'Adige a Verona e 130,36 a Pescantina. Questa analisi indica che bisogna monitorare in continuazione le portate fluenti lungo il tratto medio del fiume Adige per adattarsi ai suoi mutamenti in corso e, di conseguenza, pianificare interventi adeguati.

5.7 Analisi delle portate minime

L'ultima analisi avviene mediante la costruzione di un diagramma combinato (Vedi Figura 5.7.1), il quale mostra che le portate dell'Adige per l'anno 2022 non sono semplicemente "le più basse degli ultimi 80 anni", ma hanno piuttosto segnato il minimo assoluto per oltre due secoli. Il diagramma è stato costruito a partire dai flussi del tratto medio del fiume Adige con l'andamento di alcune grandezze caratteristiche riferite al tratto in esame. Sull'asse verticale sono riportate le portate in metri cubi al secondo, mentre sull'asse orizzontale sono riportati i mesi del calendario, che iniziano con gennaio e terminano con dicembre.

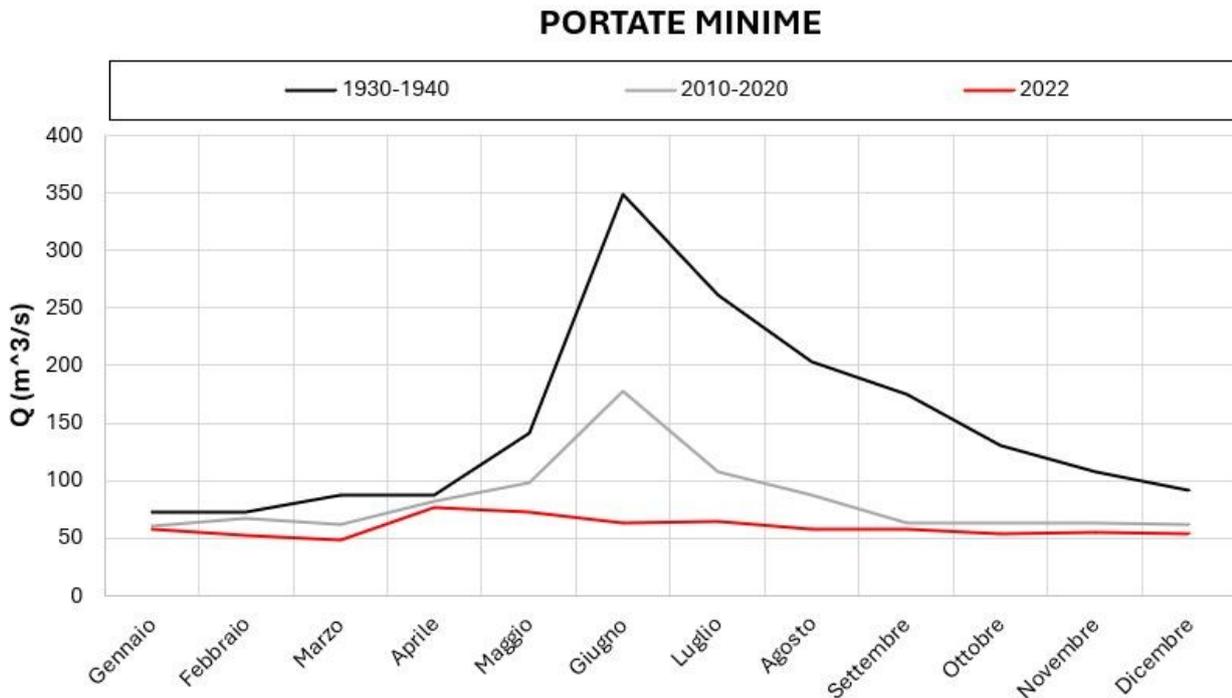


Figura 5.7.1: Figura rappresentativa di un diagramma combinato che riporta la variazione delle portate mensili per diversi anni contemporaneamente.

La differenza tra i valori più bassi di portata avvenuti nel 2022 e i valori di portata relativi agli altri anni è dovuta dal picco generalmente tardo primaverile di quest'ultimi (Vedi Figura 5.7.1 e Figura 5.6.3). Invece, nel 2022 il valore rimane pressoché costante.

Questa estrema siccità dell'Adige, che permette di percorrere l'alveo del fiume da una sponda all'altra (Vedi Figura 5.7.2), dà un'immagine chiara della siccità idrologica, manifestata da magre prolungate, che è un problema sempre più frequente e da tenere d'occhio per possibili soluzioni in un futuro imminente.



Figura 5.7.2: Immagine della siccità che ha colpito l'Adige nell'anno record del 2022, reperita tramite il sito del "baco da seta quotidiano web" (fonte: [<https://www.ilbacodaseta.org/siccita-sempre-piu-grave-la-situazione-e-ladige-diventa-osservato-speciale/>]).

Dalle analisi delle curve è stato possibile estrarre tre spezzate rappresentative delle portate minime mensili degli anni 1930-1940, 2010-2020 e 2022.

Si osserva un deficit idrico significativo durante la primavera del 2022, con portate nei mesi di aprile e maggio pari a $76,54 \text{ m}^3/\text{s}$ e $72,42 \text{ m}^3/\text{s}$ rispettivamente. Pertanto, si può concludere che i flussi del fiume Adige durante l'anno 2022 riflettono le scarse precipitazioni primaverili e le ridotte nevicate invernali, scioltesi anticipatamente a causa di temperature primaverili superiori alla norma, in linea con il fenomeno del riscaldamento globale. Inoltre, considerando la limitata copertura nevosa, era prevedibile che una primavera priva di precipitazioni significative avrebbe determinato una riduzione consistente delle portate dell'Adige, le quali si sono mantenute al di sotto della curva nera rappresentativa gli anni 1930-1940 e la curva grigia rappresentativa gli anni 2010-2020.

6 Conclusioni delle analisi

Il fiume Adige mostra variazioni importanti riguardo al regime idrologico. Questo è evidenziato tramite il capitolo 5 dove si ha uno studio dettagliato e completo dei dati raccolti nei periodi 1930-1940 e 2010-2020, nonché quelli più recenti 2020-2023. Le conclusioni che vengono tratte sono elencate nei cinque punti seguenti:

1. Stabilità nelle portate fluenti: Lo studio dei dati relativi alle stazioni idrometriche di Pescantina e Verona dimostra che le portate fluenti nello stesso arco di tempo sono pressoché le stesse, nonostante alcune variazioni riguardo alle tempistiche. Questo ha confermato l'ipotesi fatta nel sottocapitolo 4.1 riguardo allo studio del regime idrologico del tratto medio del fiume Adige tramite l'utilizzo delle due stazioni sopra indicate.
2. Riduzione dei flussi idrici tra i periodi 1930-1940 e 2010-2020: Tramite lo studio di questo range di anni si evidenzia una differenza principale che riguarda la diminuzione delle portate negli anni recenti rispetto a quelli storici. Questa diminuzione è più che evidente nei mesi primaverili, come mostra la Figura 5.5.2, dove le portate fluenti attuali sono più basse rispetto a quelle registrate tra il 1930/40.
3. L'analisi dei dati più recenti: Durante l'anno 2022 si evidenzia un calo significativo delle portate come visto precedentemente mediante la Figura 5.7.1. L'anno 2022 ha registrato un minimo assoluto che non si vedeva da due secoli.
4. Ruolo del Cambiamento Climatico e del Riscaldamento Globale: Questi fenomeni e l'impatto di essi che abbiamo illustrato mostrano una drastica riduzione della portata fluviale sia in estate che in inverno. L'aumento delle temperature verificatosi durante l'inverno ha provocato una diminuzione delle nevicate e un ritiro dei ghiacciai. Per quanto riguarda l'estate la riduzione delle portate è sempre presente ma in modo meno marcato.
5. L'importanza nell'includere il periodo 2020/23 per un ulteriore confronto: Inglobare i dati più recenti è risultato fondamentale per confermare e aggiornare le varie ipotesi e conclusioni tratte dai periodi passati. Essi sottolineano il fatto che le tendenze del passato stanno continuando e si stanno inoltre intensificando con una crescente irregolarità e riduzione delle portate del tratto del fiume in esame. Tutto questo potrebbe avere conseguenze rilevanti e irreversibili per l'ecosistema fluviale e per le attività umane dipendenti dalle risorse idriche del fiume.

Un'analisi approfondita e continua di questi dati può mitigare la riduzione delle portate del fiume Adige. Questa riduzione si nota negli anni più recenti (2020-2023) e viene confermata mediante il confronto con il periodo 1930-1940. La stabilità della portata evidenziata nello stesso arco temporale per entrambe le stazioni sottolinea l'importanza di un monitoraggio integrato. Questo è importante per una gestione sostenibile del tratto medio del fiume. Inoltre, l'inclusione di dati recenti serve per lo studio delle ultime tendenze, per sostenere l'ecosistema fluviale e per le attività umane che dipendono dalle risorse del fiume. Alla fine, infrastrutture come la galleria Adige-Garda sono fondamentali per prevenire le inondazioni in quanto va a deviare le acque in eccesso verso il lago di Garda.

7 Riferimenti Bibliografici

Aiello, Valeria. “Galleria Adige-Garda, Cos’è L’opera Che Salva Verona Dalla Piena Del Fiume.”

Innovazione Fanpage, Innovazione Fanpage, 3 nov. 2023,

www.fanpage.it/innovazione/scienze/galleria-adige-garda-cose-lopera-che-salva-verona-dalla-piena-del-fiume/ . Consultato 11 luglio 2024. Il sito è stato consultato per una

conferma riguardo le date di apertura della Galleria Adige Garda.

Autorità Di Bacino Distrettuale Dell'Appennino Meridionale. *Piano Di Gestione Dei Bacini*

Idrografici Delle Alpi Orientali. [https://distrettoalpiorientali.it/wp-](https://distrettoalpiorientali.it/wp-content/uploads/2023/02/PG_Adige_1_Corpi_Idrici_rev01.pdf)

[content/uploads/2023/02/PG_Adige_1_Corpi_Idrici_rev01.pdf](https://distrettoalpiorientali.it/wp-content/uploads/2023/02/PG_Adige_1_Corpi_Idrici_rev01.pdf), 17 settembre. 2009. Pdf

consultato per prendere spunto mediante l’immagine: Limite idrografico e confini amministrativi del bacino del fiume Adige.

Autorità Di Bacino Nazionale Del Fiume Adige. “Relazione Tecnica E Quadro Giuridico.”

Happylibnet.com, happylibnet.com, 6 luglio 2016,

<https://happylibnet.com/doc/13602/relazione-tecnica-e-quadro-giuridico>, Consultato 11 luglio 2024.

Della Corte, Riccardo. *Stima Della Scala Delle Portate Del Rio Valfreda (BL) Tramite Misure*

Sperimentali. 2022, [https://thesis.unipd.it/retrieve/68f07b0e-1359-4ad0-af98-](https://thesis.unipd.it/retrieve/68f07b0e-1359-4ad0-af98-cc66ca90a442/Della%20Corte_Riccardo.pdf)

[cc66ca90a442/Della%20Corte_Riccardo.pdf](https://thesis.unipd.it/retrieve/68f07b0e-1359-4ad0-af98-cc66ca90a442/Della%20Corte_Riccardo.pdf). Consultato 18 luglio 2024. Il file pdf è stato consultato per trarre informazioni riguardo alla stesura della tesi in generale.

Dipartimento della Protezione Civile Presidenza del Consiglio dei ministri. “Alluvioni.”

Protezionecivile.gov.it, 2024, www.protezionecivile.gov.it/it/approfondimento/alluvioni.

Consultato 10 settembre. 2024. Come difendersi dalle alluvioni: Conclusioni.

Eurac Research. “Poca Neve, Poca Pioggia E Troppo Caldo.” *EURAC Research*, Eurac Research

Magazine, 30 mar. 2022, www.eurac.edu/it/magazine/poca-neve-poca-pioggia-troppo-caldo-siccita-inverno-difficile-per-alto-adige. Consultato 27 agosto. 2024.

for, Centre. “Corsi D’acqua.” *Admin.ch*, 2015, www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/settori/gestione-delle-acque/effetti-dei-cambiamenti-climatici-sul-regime-idrico/corsi-d-acqua.html#:~:text=Il%20cambiamento%20climatico%20sta%20modificando. Consultato 10 luglio 2024.

Gianmario, Egiatti, and Preciso Emanuele. *CONSIDERAZIONI SULLA SCALA DI DEFLUSSO DEL TORRENTE CORDEVOLE a SAVINER*. https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/idrologia/file-e-allegati/rapporti-e-documenti/idrologia-regionale/idrologia-regionale-la-rete-idrometrica/bacino-del-piave/rel_0419_cordevole_saviner.pdf/@@display-file/file, mar. 2019. File pdf consultato per informarsi sui diagrammi rappresentativi dell’andamento delle portate orarie.

Gorfer, Aldo. *L’Adige. Una Storia D’acqua*. Cierre Edizioni, 2013.

Juan Esteban, Lucca. *MODELLAZIONE MATEMATICA DEL FIUME MESCHIO DA SAVASSA ALLA CONFLUENZA CON IL LIVENZA UNIVERSITÀ DEGLI STUDI*. 2015. https://thesis.unipd.it/bitstream/20.500.12608/19036/1/Lucca_Juan_Esteban_1057113.pdf, Consultato 11 luglio 2024.

Luigi Da Deppo, et al. *Sistemazione Dei Corsi D’acqua*. 19th ed., Padova, Edizioni Progetto Padova, 2014.

Majone, Bruno, et al. “ANALISI DELLE VARIAZIONI SPAZIO-TEMPORALI DI VARIABILI IDROMETEOROLOGICHE NEL BACINO DELL’ADIGE - Idrotecnica.” *Idrotecnica*, 2019, www.idrotecnicaitaliana.it/sommari/analisi-delle-variazioni-spazio-temporali-di-variabili-idrometeorologiche-nel-bacino-. Consultato 27 luglio. 2024.

Marchetti, Claudio. “L’Adige Il Fiume Di Verona E I Suoi Ponti.” *Tourism Verona*, 2023, www.tourism.verona.it/magazine/adige-fiume-verona. Consultato 21 agosto. 2024.

Salmaso, Nico, et al. “Caratteristiche Ecologiche Del Fiume Adige Lungo Gradienti Longitudinali: Effetti Della Regimazione Idrologica.” *Atti XVIII Congresso S.It.E*, vol. 24, no. 1, 2010, pp. 1–3, www.cisba.eu/images/rivista/biologia_ambientale/ba-2010-1/18-Salmaso-Adige-

[regimazione.pdf](#). Consultato 12 agosto. 2024.

---. “Caratteristiche Ecologiche Del Fiume Adige Lungo Gradienti Longitudinali: Effetti Della Regimazione Idrologica.” *Atti XVIII Congresso S.It.E*, vol. 24, no. 1, 2010, pp. 1–3, www.cisba.eu/images/rivista/biologia_ambientale/ba-2010-1/18-Salmaso-Adige-regimazione.pdf. Consultato 4 agosto. 2024.

Sambugaro, Gianni, e Ernesto. *Le Inondazioni Nella Media Pianura Veronese* 19. Tipografia Ambrosini, agosto. 1996.

Scubla Acquacoltura Engineering Ecologia. “Mulinello Idrometrico F1 | Con Sistema Modulare | Scubla.it.” *Fototrappole | Visori Termici* | <https://scubla.it/it/gestione-ambientale/campionamento-delle-acque/mulinello-idrometrico-f1/>. Consultato 11 luglio. 2024. Informazioni riguardo al mulinello idrometrico.

Sogliani, Giorgia. *Corso Di Laurea in Ingegneria per l’Ambiente E Il Territorio LE RECENTI PIENE DELL’ADIGE NEL TRATTO COMPRESO TRA TRENTO E VERONA*. Thesis and Dissertation Archive, 2023, https://thesis.unipd.it/retrieve/b4369a8c-de61-4e5d-a344-a3330c6da350/Sogliani_Giorgia.pdf. Consultato 9 luglio 2024.

Turri, Eugenio. *L’Adige*. Cierre Edizioni, 1992.

Valloni, Renzo. “Il 2022, l’Anno Record per Siccità E Grande Secca Del Fiume Po.” *Ingenio #Sostenibile*, Centro Etica Ambientale, 5 luglio 2022, www.ingenio-web.it/articoli/siccita-e-grande-secca-del-fiume-po-2022-un-anno-record-preannunciato/. Consultato 14 agosto. 2024. Questo sito viene consultato per prendere spunto riguardo al grafico in esso rappresentato.

Wenglor the innovative Family. “Funzionamento E Tecnologia Di Un Sensore a Ultrasuoni.” *Wenglor Sensoric Group*, 2024, www.wenglor.com/it/Principio-di-funzionamento-e-tecnologia-di-un-sensore-a-ultrasuoni/s/Funktionsprinzip+und+Technologie+eines+Ultraschall-Sensors?BranchenundIndustrienlinks=%3A1&BranchenundIndustrienrechts=%3A1.

Consultato 10 luglio. 2024.

