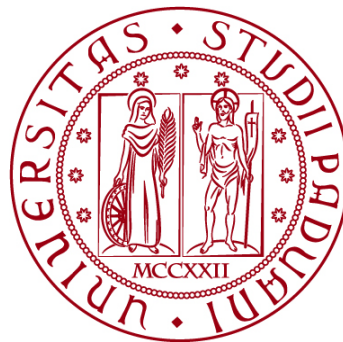


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E
AMBIENTALE

Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



TESI DI LAUREA

LE RECENTI PIENE DELL'ADIGE NEL
TRATTO COMPRESO TRA TRENTO E
VERONA

Relatore: Chiar.mo Prof. Daniele P. Viero

Laureanda: GIORGIA SOGLIANI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024

Sommario

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1. IL FIUME ADIGE	3
1.1 MORFOLOGIA	3
1.2 STORIA E ALLUVIONI	4
1.3 LA GALLERIA ADIGE-GARDA	6
CAPITOLO 2. ANALISI DEGLI EVENTI DI PIENA RECENTI	11
2.1 EVENTI DI PIENA CONSIDERATI	11
2.2 TEMPO DI TRANSITO DELLE PIENE TRA TRENTO E VERONA	14
2.3 ANDAMENTO DELLA PORTATA NEL TRATTO COMPRESO TRA TRENTO E VERONA	17
2.4 CARATTERIZZAZIONE STATISTICA DEI MASSIMI LIVELLI DELL'ADIGE A VERONA	18
2.5 ANALISI DELL'EVENTO DI PIENA DEL 31 OTTOBRE 2023	22
CONCLUSIONI.....	27
BIBLIOGRAFIA	29
SITOGRAFIA	31

Introduzione

Il fiume Adige, uno dei principali corsi d'acqua dell'Italia settentrionale, riveste un'importanza storica, culturale ed ecologica fondamentale per le regioni che attraversa. La sua origine risale a tempi antichissimi, e nel corso dei secoli esso ha modellato il paesaggio circostante e influenzato lo sviluppo delle comunità umane che si sono insediate lungo le sue rive. Tuttavia, gli eventi di piena e i conseguenti allagamenti da essi generati hanno portato devastazione, richiedendone una comprensione e uno studio approfonditi per garantire la sicurezza delle persone e la conservazione dell'ambiente circostante. Le piene del fiume Adige non sono infatti fenomeni occasionali, ma rappresentano un aspetto intrinseco del suo regime idrologico, caratterizzato da fluttuazioni stagionali e da severi picchi di piena causati da eventi meteorologici estremi.

L'ultimazione della grande opera più recente per la difesa di Verona dalle piene dell'Adige risale al 1959. Si tratta della galleria Adige-Garda, un'opera d'ingegneria ambiziosa che, prelevando dall'Adige a Mori e recapitando nel lago di Garda una portata fino a 500 m³/s, è in grado di limitare i danni causati dalle piene dell'Adige. L'edificazione dello scolmatore solleva però questioni cruciali riguardo al suo impatto ambientale, sociale ed economico. La gestione della galleria Adige-Garda comporta la necessità di operare scelte oculate, in modo tale che il suo utilizzo sia limitato alle situazioni necessarie e, d'altra parte, che la sua importante funzione di riduzione del rischio di esondazioni per la città di Verona non venga meno.

Questa tesi si concentra sull'analisi della propagazione delle piene del fiume Adige tra Trento e Verona, utilizzando e rielaborando i dati messi a disposizione dall'Ufficio Dighe della Provincia Autonoma di Trento e dall'agenzia regionale per la protezione ambientale del Veneto (ARPAV) con riferimento ai principali eventi di piena che hanno interessato il tratto in esame. L'analisi degli idrogrammi di portata e la loro rappresentazione grafica

consente di ricavare informazioni interessanti sui tempi di transito delle piene tra le sezioni di Trento e di Verona, sugli effetti dell'apertura della galleria Adige-Garda e sulla distribuzione statistica delle portate di piena attese a Verona. Infine, si riporta l'analisi dell'evento di piena avvenuto il 31 ottobre 2023, balzato agli onori della cronaca poiché le acque dell'Adige hanno raggiunto i ponteggi del cantiere di Ponte Nuovo a Verona, causando danni e suscitando apprensione per le possibili conseguenze.

Capitolo 1. Il fiume Adige

1.1 Morfologia

Il fiume Adige nasce in Alto Adige, più precisamente in Val Venosta presso il Passo Resia a circa 1571 metri di altitudine. La sorgente è situata all'interno di un bunker militare che risale al 1939. Lungo il primo tratto, dalla sorgente a Merano, il fiume possiede le sembianze di un torrente montano, che funge sia da immissario che da emissario per il Lago di Resia e per il Lago di San Valentino alla Muta. Da Merano a Rovereto il fiume percorre la valle dell'Adige, passando per la provincia di Trento, e la sua portata aumenta notevolmente grazie all'acqua ricevuta da alcuni dei suoi affluenti. Una volta raggiunta la città di Verona, situata su un territorio prevalentemente pianeggiante, il suo corso diventa più lento e dà origine a numerose anse, all'interno delle quali sorge la città scaligera. Il percorso del fiume, che raggiunge una lunghezza di 410 km, termina nel Mar Adriatico, nei pressi di Chioggia, con una foce ad estuario. Nel complesso il bacino idrografico del fiume Adige raggiunge una superficie pari a 12'000 km² (Turri e Ruffo, 1992).

Le condizioni climatiche generali del bacino sono caratterizzate da un clima continentale, con inverni rigidi e massimi di precipitazioni più frequenti nel periodo estivo. Durante la stagione invernale, alle quote più elevate si accumulano sotto forma di precipitazioni nevose notevoli quantità di risorse idriche che, a partire della primavera, iniziano a liquefarsi a causa dell'aumento delle temperature. Tale meccanismo fa sì che il regime idrologico del bacino sia classificato come "nivale", caratterizzato quindi da un'elevata disponibilità di acqua nella stagione calda e da un periodo di magra invernale (Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali).

Tuttavia, negli ultimi decenni la temperatura è aumentata notevolmente, mentre non ci sono stati cambiamenti considerevoli per quanto riguarda le precipitazioni medie se non riguardo la loro variabilità. Questi cambiamenti fanno sì che in inverno vengano immagazzinate molte meno precipitazioni sotto forma di ghiaccio e neve, e che defluiscano direttamente come pioggia. Si ha quindi un minor contributo dello scioglimento del ghiaccio e della neve alle portate estive. Inoltre, nelle stagioni calde, una maggiore evaporazione e necessità di irrigazione a causa delle temperature più elevate riducono la portata media del bacino. Complessivamente la portata del fiume Adige ad oggi è aumentata del 5.4% in inverno e diminuita dell'1.5% in estate rispetto al suo normale andamento (Climate change monitoring South Tyrol, 2024).



Figura 1: Fiume Adige tra Trento e Bolzano; da AltoAdigeinnovazione

1.2 Storia e alluvioni

L'Adige nel corso della propria storia ha subito diversi cambiamenti dovuti a interventi umani. Il percorso è stato infatti deviato in svariate occasioni, sia per facilitare la navigazione di imbarcazioni sempre più grandi, sia per poter far fronte alle alluvioni delle quali era protagonista il fiume.

In particolare, la città di Verona ha certamente tratto grandi vantaggi dalla propria posizione nell'ansa del fiume, ma ha subito anche grosse distruzioni a causa delle sue

piene. La prima inondazione di cui si è a conoscenza si verificò il 17 ottobre 589: il fiume sommerse la città e distrusse gran parte delle mura cittadine. L'evento più catastrofico fu però quello del settembre 1882. In quell'occasione, le cause dell'aumento del livello dell'acqua furono, oltre che le abbondanti piogge, le modifiche che erano state apportate al tracciato del fiume in territorio Trentino durante la costruzione della ferrovia del Brennero. Era stato poi modificato il corso di svariati torrenti, fattore che contribuì notevolmente all'aumento della velocità dell'onda di piena, e mutata l'idrografia del fiume a monte della città di Verona per scopi agricoli. Il 14 settembre due terzi della città vennero sommersi dall'acqua, diversi ponti e opere crollarono, oltre centomila persone vennero private della propria abitazione. Date le conseguenze disastrose, si decise di mettere in sicurezza il fiume interrando uno dei propri canali, Canale dell'Acqua Morta, e costruendo dei muraglioni in pietra, gli attuali argini del fiume (Geocaching, 2015).

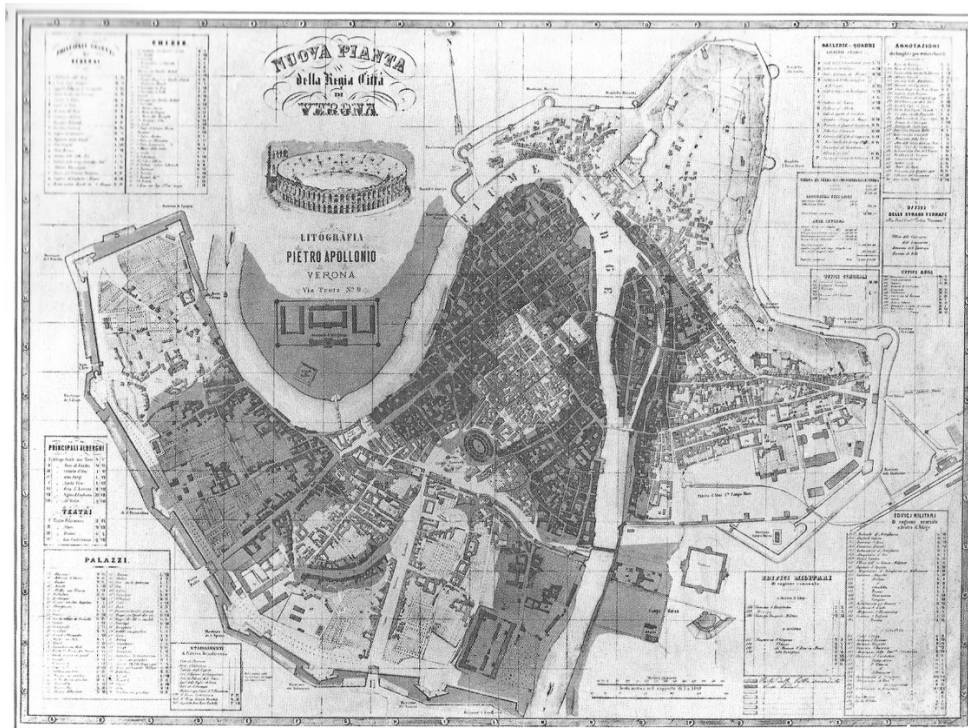


Figura 2: Mappa di Verona del 1882, con evidenziate le aree sommerse (zone scure); da Wikipedia.

La piena del 1882 fu solo uno degli sfortunati episodi che coinvolsero l'Adige e gli abitanti delle sue sponde durante il XIX secolo. Risultò quindi necessaria l'introduzione di soluzioni valide per riuscire a moderare il flusso dell'Adige quando necessario. Fu solo nel 1939 che iniziò la costruzione della galleria Adige-Garda.

Fino al momento in cui la costruzione di questa importante opera di difesa idraulica non venne ultimata, le comunità che abitavano i territori adiacenti al fiume Adige furono costrette ad adottare dei metodi per contrastarne le piene. Ad esempio, alcuni paesi della bassa veronese come Legnago e Villa Bartolomea, trovandosi al di sotto del livello dell'acqua dell'Adige, durante le piene degli anni '50 furono costretti ad organizzare ronde diurne e notturne di squadre addette al riparo degli argini dai cosiddetti "fontanazzi". Con questa parola venivano indicati gli zampilli d'acqua che fuoriuscivano dagli argini messi alla prova dall'aumento del volume d'acqua. Gli abitanti di questi paesi controllavano giorno e notte lo stato delle sponde del fiume e alla minima emergenza venivano ammassati sacchi colmi di sabbia per evitare il cedimento delle strutture.

1.3 La galleria Adige-Garda

La galleria Adige-Garda è un tunnel scolmatore artificiale costruito allo scopo di prevenire le inondazioni dell'Adige in caso di intensi fenomeni di maltempo, scaricando le acque in eccesso nel lago di Garda. La galleria è stata costruita tra il 1939 e il 1959 e viene usata solo in caso di emergenza per evitare le inondazioni nei territori del Trentino meridionale e della provincia di Verona attraversati dal fiume.



Figura 3: Lo sbocco dello scolmatore a Torbole, visibile dalla Gardesana Orientale; da Wikipedia

L'idea della realizzazione si deve a Vincenzo Maria Coronelli, che nel 1712 propose la costruzione di un canale sotterraneo allo scopo di ridurre la portata del fiume Adige utilizzando il lago di Garda come serbatoio per il deflusso delle acque. All'epoca, l'idea venne accantonata per lo scarso dislivello esistente tra imbocco e sbocco, ma venne ripresa circa un secolo dopo, in seguito alle grandi esondazioni dell'Ottocento.

Il progetto, ideato dall'ingegnere trentino Tommaso Stolcis (1878-1978), fu approvato nel 1939 e i lavori cominciarono nello stesso anno, ma vennero interrotti poco dopo a causa dello scoppio della Seconda Guerra Mondiale. Durante questo periodo la galleria venne utilizzata dall'industria bellica per la produzione e la vendita di armi.

Nel 1954, con la fine della guerra, ripresero i lavori e la realizzazione del progetto terminò cinque anni dopo.

La galleria possiede origine e fine nel territorio trentino: l'imbocco nel comune di Mori e lo sbocco nel comune di Torbole. Lo scolmatore ha dimensioni pari a 9 873 m di lunghezza e 8 m di diametro medio, è in grado di far defluire fino a 500 m³/s di acqua dall'Adige verso il lago di Garda senza alcun bisogno di azioni meccaniche, in quanto viene sfruttato il dislivello naturale di 106 metri esistente tra l'ingresso e l'uscita del canale. Le sole azioni meccaniche riguardano l'apertura e la chiusura delle paratoie, posizionate su quattro finestre di immissione (Aiello, 2023).

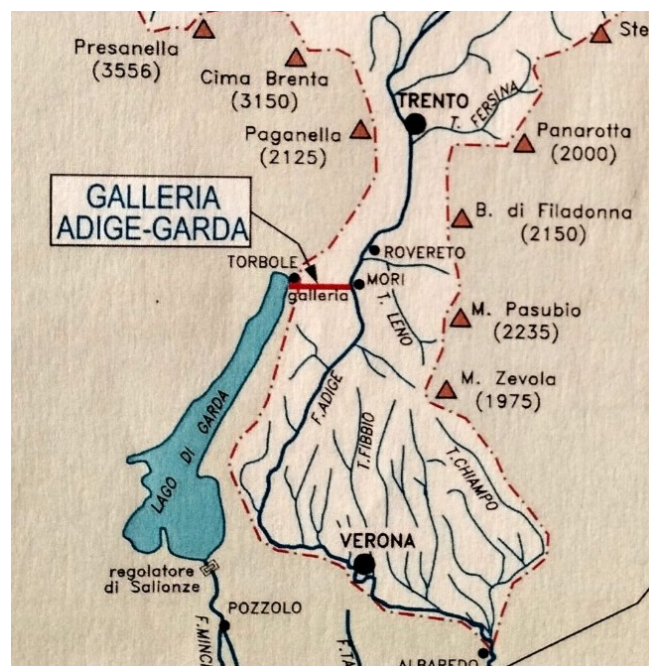


Figura 4: Schema idrologico della galleria Adige-Garda e dintorni; di Gavazzoni Filippo

Con riferimento alla gestione della galleria Adige-Garda, la convenzione del 2002 trasferisce la piena competenza sullo scolmatore alla Provincia di Trento. Nonostante le conseguenze dell'apertura della galleria si ripercuotano sulla provincia di Verona e sui paesi limitrofi al lago di Garda, la gestione delle manovre di apertura e chiusura sono quindi unicamente affidate alla provincia autonoma di Trento (L'Arena, 2023).

La galleria è stata utilizzata solamente tredici volte in 64 anni (escluse le aperture programmate per il controllo del suo funzionamento), come riportato in *Tabella 1*.

Data di apertura	Acqua scaricata nel lago [mln m³]	Portata massima [m³/s]
17 settembre 1960	70	450
2 settembre 1965	79	440
17 agosto 1966	17	280
4 novembre 1966	64	492
14 settembre 1976	12	300
17 novembre 1980	26	300
19 luglio 1981	7	300
23 maggio 1983	20	300
17 novembre 2000	4.7	100
26 novembre 2002	6.1	100
29 ottobre 2018	17.5	350
3 marzo 2022	6.1	100
31 ottobre 2023	3.5	150

Tabella 1: Le principali aperture della galleria, derivate da Wikipedia

L'utilizzo poco frequente dell'opera è legato a due fattori. Da una parte, l'opera è progettata per proteggere i territori posti a valle solo per i maggiori eventi di piena, che risultano relativamente poco frequenti. Dall'altra, il funzionamento dello scolmatore comporta l'intorbidimento e il raffreddamento del lago di Garda, a causa della diversa composizione delle acque riversate, che sono più limacciose, fredde e inquinate.

Questo meccanismo porta alla morte degli avannotti che vengono travolti dallo shock termico e alla migrazione dei pesci adulti, provocando la perdita di lavoro per i pescatori e la compromissione di parte dell'ecosistema del lago di Garda. Per quanto riguarda l'inquinamento delle acque e il ripristino dell'equilibrio ecologico del lago, nonostante la prima apertura risalga al 1960, non sono ancora stati svolti studi accurati e specifici

(Ranocchiaro, 2023). Sul tema è intervenuto anche il WWF, che ha chiesto studi approfonditi sull'interazione tra i due corpi idrici e, soprattutto, sull'impatto dei sedimenti a lungo termine, sull'habitat ed ecosistema gardesano (GardaPost, 2020).

Capitolo 2. Analisi degli eventi di piena recenti

2.1 Eventi di piena considerati

In questo capitolo vengono analizzati gli otto maggiori eventi di piena del fiume Adige occorsi tra il 1997 e il 2023. L'analisi si basa sui dati di portata della sezione di Ponte San Lorenzo a Trento, messi a disposizione dall'Ufficio Dighe della Provincia Autonoma di Trento, e sui dati di livello idrometrico rilevati dal tele-idrometro ARPAV di Ponte Nuovo a Verona. La posizione delle sezioni è visualizzabile in *Figura 5*.

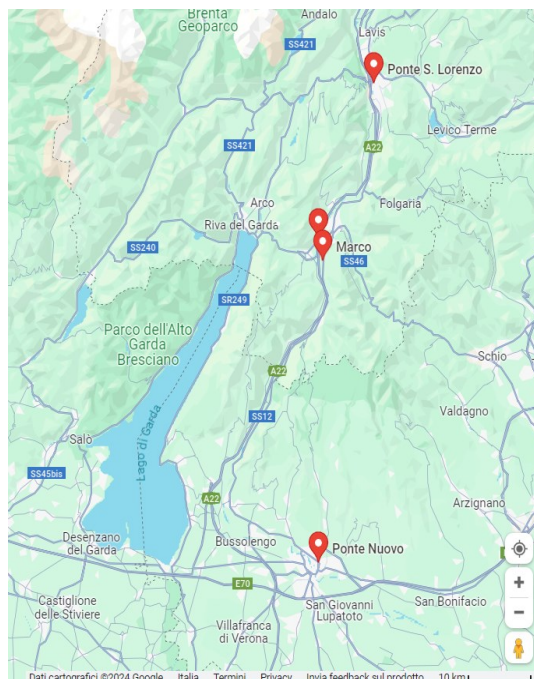


Figura 5: Localizzazione geografica delle postazioni dei tele-idrometri ARPAV utilizzati nello studio (Ponte San Lorenzo, Ponte Nuovo, Marco) e dell'imbocco della galleria; da Google Maps

Le portate associate al livello idrometrico nella sezione di Ponte Nuovo a Verona sono state calcolate utilizzando la scala di deflusso elaborata da ARPAV (*Figura 6*), che mette in relazione il livello, espresso rispetto al riferimento locale dell'idrometro, alla portata fluente mediante la seguente equazione:

$$Q = 58,37 \cdot (H + 3,30)^{1,92} \quad (1)$$

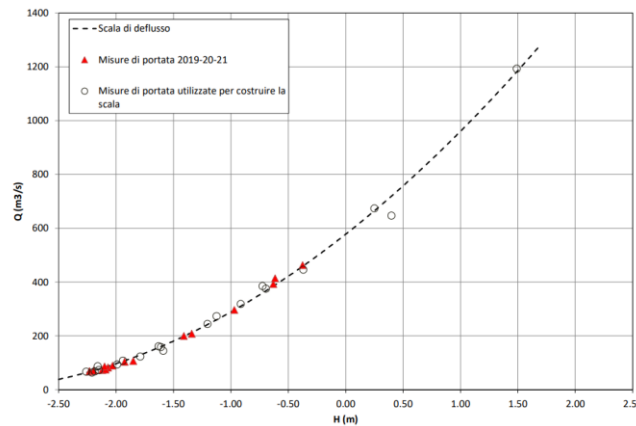


Figura 6: Scala di deflusso proposta per il tele-idrometro sul fiume Adige a Verona (ARPAV, 2022)

Dalla serie storica delle portate disponibili, sono stati estratti i dati degli otto maggiori eventi di piena, riportati in ordine cronologico in *Tabella 2*.

Anno	Portata massima Trento Ponte San Lorenzo [m ³ /s]	Portata massima Verona Ponte Nuovo [m ³ /s]	Differenza [m ³ /s]
1997	1691	1628	-63
1998	1775	1729	-46
1999	1571	1409	-162
2000	1528	1644	116
2002	1566	1633	67
2018	1896	1388	-507
2020	1524	1258	-265
2023	1566	1383	-183

Tabella 2: Portata dell'Adige tra Trento e Verona negli otto maggiori eventi di piena considerati.

Di seguito (*Figura 7*) sono riportati gli idrogrammi delle portate del fiume Adige a Trento (linea azzurra) e a Verona (linea arancione), durante gli eventi di piena sopra citati. La misura della portata è espressa in $[m^3/s]$ ed è riportata in funzione della data e dell'ora in cui è stata rilevata.

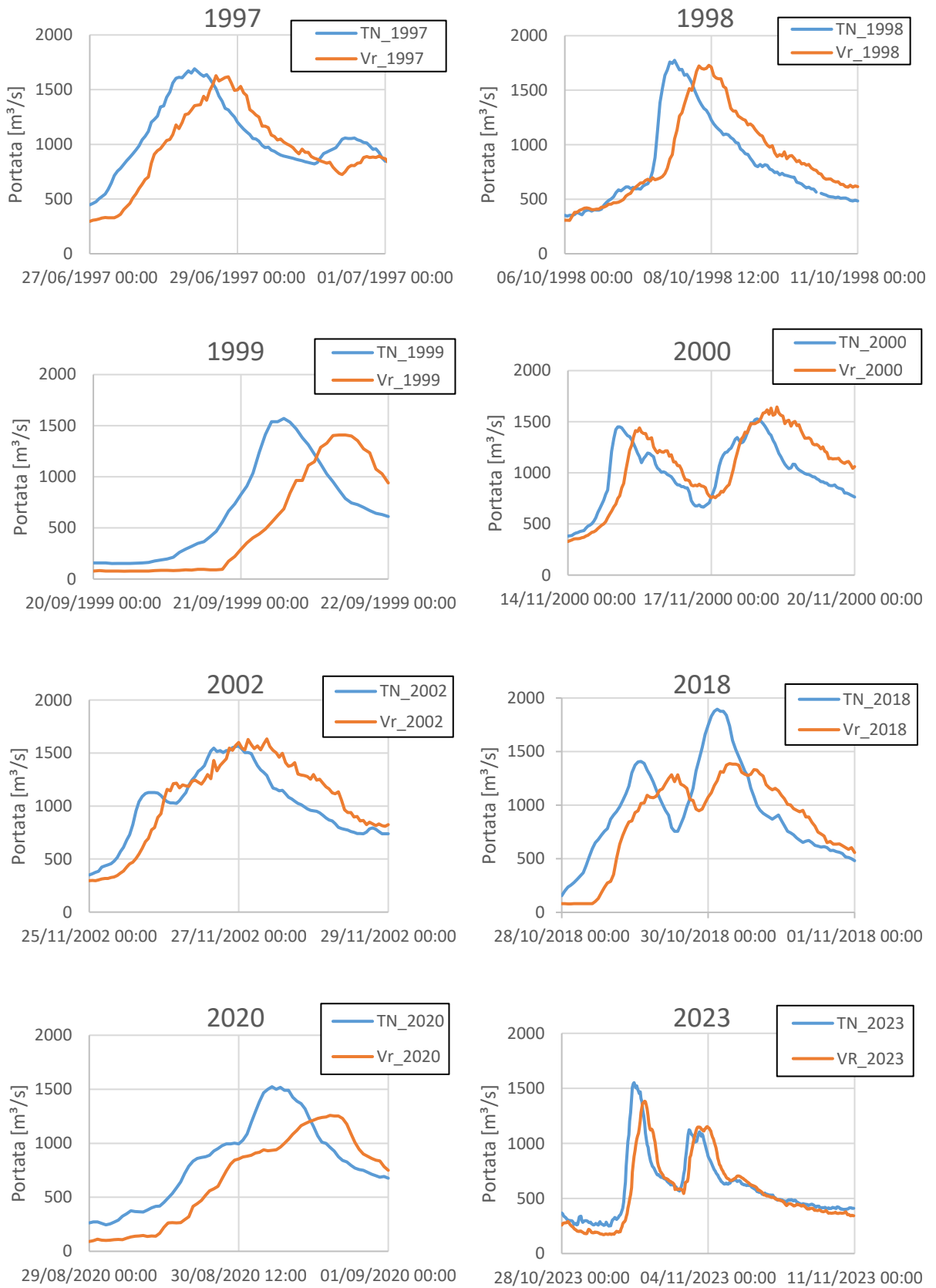


Figura 7: Gli idrogrammi delle portate del fiume Adige a Trento (linea azzurra) e a Verona (linea arancione) durante gli eventi di piena degli anni 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2018, 2020, 2023.

2.2 Tempo di transito delle piene tra Trento e Verona

Con lo scopo di definire il tempo che impiega l'onda di piena a colmare la distanza tra la sezione di Trento Ponte San Lorenzo e quella di Verona Ponte Nuovo, è stata analizzata la correlazione degli idrogrammi di portata a Trento con gli idrogrammi di portata a Verona, traslati nel tempo. La misura della traslazione temporale che massimizza la correlazione tra i due segnali di portata è pari a 9 ore. Per gli otto eventi di piena considerati, gli idrogrammi di piena a Trento (linea azzurra) e a Verona (traslati di 9 ore, linea arancione) sono riportati nelle seguenti figure (*Figura 8*).

Questo tipo di analisi è utile perché permette di prevedere l'andamento del flusso del fiume Adige in corrispondenza di Verona attraverso il monitoraggio del suo livello nei pressi di Trento. Nel momento in cui si registra un livello critico a Ponte San Lorenzo, si hanno 9 ore di tempo prima che il picco raggiunga il centro di Verona. In questo modo diventa agevole mettere in atto procedure di allerta sicure e agire preventivamente. L'altezza idrometrica stabilita dalla convenzione per l'utilizzo della galleria Adige-Garda è pari a 5 m sullo zero idrometrico a Ponte San Lorenzo.

Dagli idrogrammi di portata traslati nel tempo è anche possibile visualizzare le variazioni dell'onda di piena tra le due sezioni considerate dovute in particolare all'attivazione della galleria Adige-Garda. Oltre agli effetti della galleria, la complessità del sistema è accentuata dalla presenza di golene allagabili e di alcune importanti opere, quali lo sbarramento di Chievo e il Canale Camuzzoni. I prelievi operati allo sbarramento del Chievo risultano comunque abbastanza costanti nel tempo, salvo alcuni limitati periodi di asciutta, per la manutenzione degli impianti e delle opere, e sono comunque di entità ridotta rispetto alle massime portate di piena dell'Adige (ARPAV, settembre 2022).

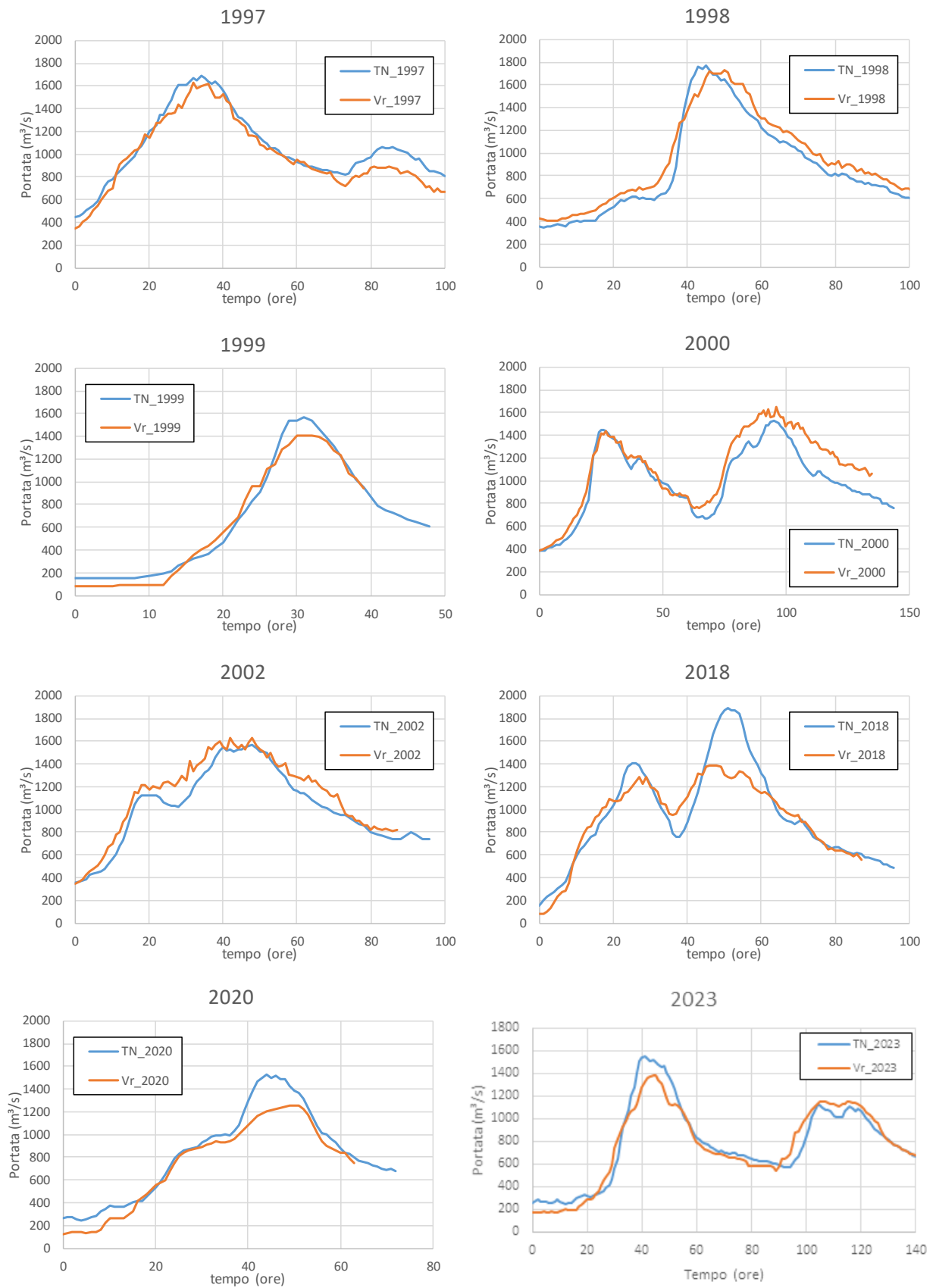


Figura 8. Idrogrammi di piena a Trento (linea azzurra) e a Verona (traslati di 9 ore, linea arancione) per gli eventi di piena degli anni 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2018, 2020, 2023.

Risulta evidente l'utilizzo della galleria Adige-Garda dal grafico relativo alle portate dell'Adige nel 2018, in cui il segnale relativo a Verona presenta un picco di portata molto ridotto rispetto a quello relativo a Trento nella stessa data. In quell'occasione l'evento meteorologico Vaia colpì tutto l'arco alpino: in particolare, a Dimaro in Val di Sole il Rio Ropian e il torrente Meladrio strariparono travolgendo numerose abitazioni. Nel momento in cui il fiume Adige raggiunse il livello di 4,80 m sul livello del mare a Ponte San Lorenzo venne approvata l'apertura dello scolmatore che rimase aperto dalle 22:37 del 29 ottobre alle 16:12 del 30 ottobre, per un totale di 17 ore e 35 minuti, con una portata massima di 300 metri cubi al secondo. Il volume totale scaricato nel lago di Garda fu pari a 17 073 385 m³, determinando un innalzamento del bacino di circa 5 cm (GardaPost, 2020). La portata, come si può vedere dal grafico già citato, si ridusse da un picco pari a 1'896 m³/s a Trento ad uno pari a 1'388 m³/s a Verona.



Figura 9: Lo scolmatore in funzione durante la piena del 2018; da GardaPost.

2.3 Andamento della portata nel tratto compreso tra Trento e Verona

Può risultare interessante visualizzare l'andamento dei valori della portata del fiume Adige anche nel tratto compreso tra le due province di Trento e Verona.

Il corso dell'Adige tra le due province è pari a circa 90 chilometri. Il fiume attraversa una varietà di paesaggi, incluse le zone montuose intorno a Trento e Rovereto, nonché le pianure alluvionali della pianura veneta vicino a Verona. Questa tratta del fiume è caratterizzata da una serie di città e piccoli paesi lungo le sue rive.

Nello specifico in questa tesi si considerano i dati forniti dal tele-idrometro installato presso la località di Marco e gestito dall'Ufficio Dighe della Provincia Autonoma di Trento. La rappresentazione grafica e lo studio vengono svolti per gli anni 1999 e 2018, in modo da considerare un evento di piena in cui non è stata utilizzata la galleria Adige-Garda e uno in cui è stata utilizzata al fine di controllare il flusso.

La località di Marco è una piccola frazione nel comune di Villa Lagarina, situata nella provincia di Trento, nella regione del Trentino-Alto Adige, nel nord Italia. È collocata lungo il corso del fiume Adige, che attraversa l'omonima valle. Marco si colloca circa 4 km a valle dell'imbocco dello scolmatore Adige-Garda (si può vedere la posizione della stazione in *Figura 5*).

I due idrogrammi presentati nella figura seguente (*Figura 10*) mostrano l'andamento dei valori delle portate del fiume Adige presso Marco (linea verde) nel 1999 e nel 2018, paragonato a quelli presso Trento (linea azzurra) e Verona (linea arancione). Come nei paragrafi precedenti, la misura della portata è espressa in $[m^3/s]$ ed è riportata in funzione della data e dell'ora in cui è stata rilevata.

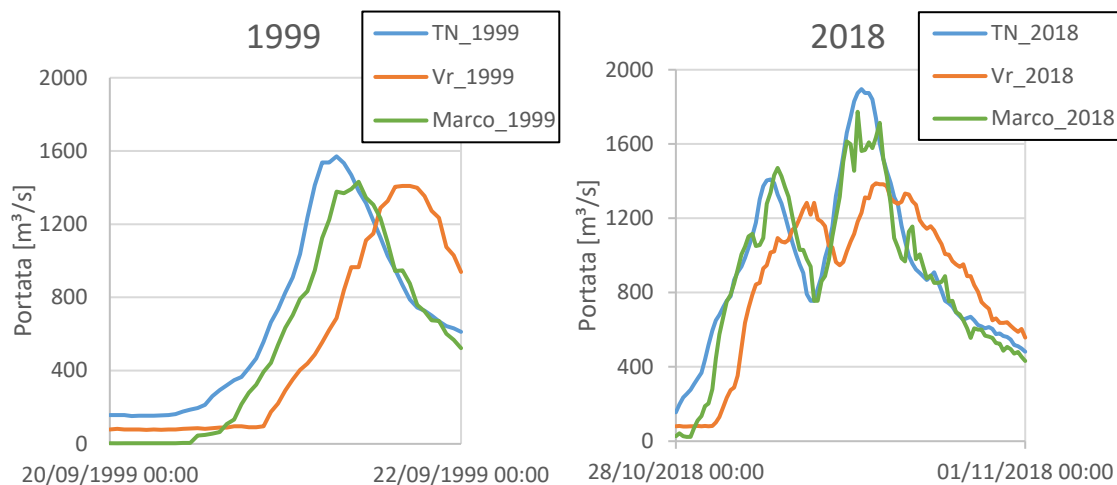


Figura 10: Gli idrogrammi che mostrano l'andamento dei valori delle portate del fiume Adige presso Marco (linea verde) nel 1999 e nel 2018, e quelli presso Trento (linea azzurra) e Verona (linea arancione).

L'analisi del grafico riferito all'anno 1999 (Figura 10) mostra che l'idrogramma di portata a Marco è più simile a quello registrato a Verona che con a quello registrato a Trento, nonostante la maggiore vicinanza tra Marco e Trento. D'altra parte, il valore estremamente esiguo della portata registrata a Marco a inizio evento (meno di $6 \text{ m}^3/\text{s}$) sembra inverosimile.

Per quanto riguarda l'evento di piena del 2018, l'idrogramma di portata a Marco ripercorre quasi esattamente quello registrato a Trento, ma non in corrispondenza del picco di piena, evidenziando l'effetto dell'apertura della galleria Adige-Garda. I picchi di portata che caratterizzano i dati registrati a Marco potrebbero dipendere dal transito, nella sezione di Marco, di onde legate all'apertura della galleria.

2.4 Caratterizzazione statistica dei massimi livelli dell'Adige a Verona

In statistica, il tempo di ritorno di un evento è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore a un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta. L'inverso del tempo di ritorno coincide con la probabilità di accadimento di un dato evento.

Per praticità, il tempo di ritorno è spesso utilizzato in diversi campi tecnici, tra cui l'ingegneria idraulica e l'idrologia; infatti gran parte delle grandezze che governano i fenomeni naturali sono aleatorie e quindi descrivibili attraverso variabili casuali continue da studiare con i metodi probabilistici. Mediante tali metodi è possibile individuare la distribuzione di probabilità che meglio rappresenta il fenomeno naturale, così da poter associare ad ogni valore che la grandezza può assumere la relativa frequenza con cui questa si verifica.

In particolare, nella circostanza trattata in questo studio, l'utilità del tempo di ritorno sta nell'offrire una stima facilmente comprensibile della probabilità di accadimento associata ai diversi eventi di piena dell'Adige. Avendo un'idea del numero di anni che possono passare tra un evento di una certa intensità ed un altro della stessa, è possibile prevedere situazioni di possibile pericolo e progettare opere che si trovino ad altezze di sicurezza rispetto al fiume, o capaci di resistere alla sua azione.

Vengono analizzati i livelli idrometrici orari rilevati dal tele-idrometro ARPAV, situato in corrispondenza di Ponte San Lorenzo a Trento e di Ponte Nuovo a Verona, come è stato fatto nei paragrafi precedenti. I valori sono misurati e forniti con riferimento alla quota locale, detta zero idrometrico. Nella presente analisi, sono stati espressi in metri sul livello medio del mare (s.l.m.) sommando al dato misurato lo zero idrometrico, pari a 53.30 m s.l.m per la sezione dell'Adige a Verona (Ponte Nuovo).

Sono stati selezionati i dati massimi giornalieri nel periodo 1985-2023 e sono stati riportati nel grafico in *Figura 11*, al fine di ottenere una media dei livelli del fiume negli anni.

Come il grafico di *Figura 11* rende ben visibile, il livello medio del fiume Adige varia tra un minimo di 51,23 m s.l.m. e un massimo di 51,40 m s.l.m., ma negli anni c'è stato un notevole numero di picchi del valore del livello dell'acqua sopra la media. Si tratta, come già visto, di un fiume molto mutevole e di conseguenza pericoloso per quanto riguarda le opere e le attività ad esso vicine.

Si procede quindi con la caratterizzazione dei livelli di piena secondo il metodo di Gumbel, utilizzando come dati di partenza le altezze massime raggiunte dal livello dell'acqua dell'Adige negli anni, a partire dal 1985 al 2023 (*Tabella 3*).

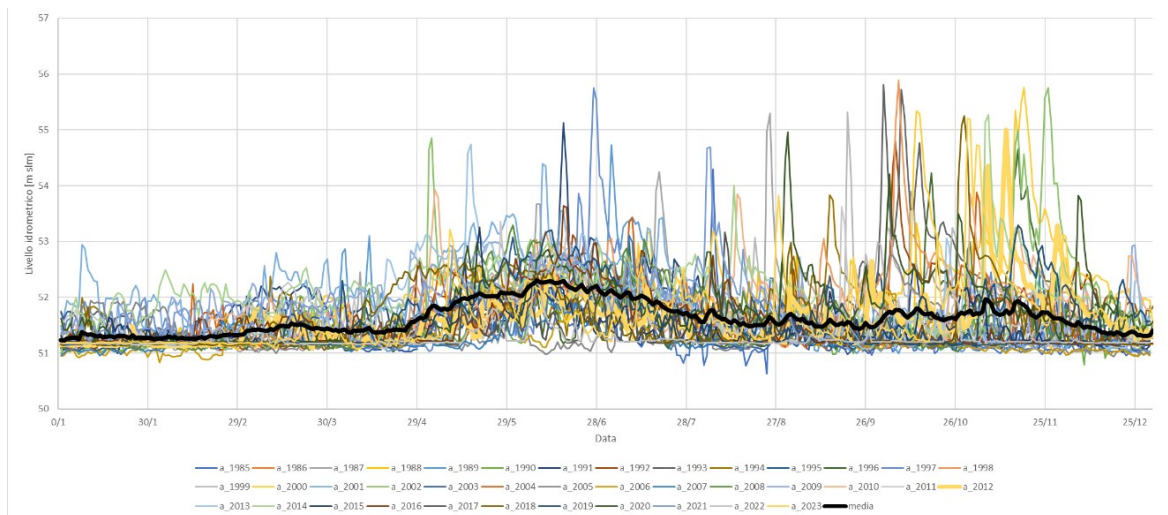


Figura 11: Grafico dei livelli idrometrici massimi giornalieri del fiume Adige a Verona (Ponte Nuovo) negli anni 1985-2023.

Anno	Livello max [m s.l.m.]	Anno	Livello max [m s.l.m.]
1985	54,29	2005	52,75
1987	55,30	2006	52,46
1988	53,33	2007	53,11
1989	54,73	2008	54,04
1990	52,63	2009	53,00
1991	55,12	2010	53,93
1992	54,79	2011	53,62
1993	55,81	2012	55,00
1994	53,83	2013	54,74
1995	53,08	2014	55,27
1996	54,65	2015	53,25
1997	55,75	2016	53,64
1998	55,89	2017	53,17
1999	55,32	2018	55,25
2000	55,76	2019	53,29
2001	54,39	2020	54,96
2002	55,75	2021	54,69
2003	52,50	2022	55,27
2004	53,88	2023	55,20

Tabella 3: Le altezze massime raggiunte dal livello dell'acqua dell'Adige negli anni 1985-2023.

A questi valori è applicata l'analisi di Gumbel basata sul metodo dei momenti. Si tratta di una distribuzione di probabilità continua a due parametri, α e μ , che vengono calcolati in funzione dei parametri statistici dei campioni (media e varianza). Fissando un valore

del tempo di ritorno ed essendo noti i due parametri della distribuzione, è possibile calcolare il livello idrometrico associato a tale tempo di ritorno utilizzando la seguente equazione:

$$H = \mu - \frac{1}{\alpha} \ln \left(-\ln \left(\frac{T_R - 1}{T_R} \right) \right) \quad (2)$$

In *Tabella 4* sono riportati alcuni valori significativi del tempo di ritorno e l'altezza idrometrica, riferita al livello medio del mare, attesa ad essi associata.

T_R [anni]	H [m]	Q [m ³ /s]
5	55,13	1349
10	55,85	1733
20	56,53	2144
50	57,42	2737
100	58,08	3227
150	58,47	3531
200	58,75	3754
250	58,96	3932
500	59,62	4507
1000	60,28	5120

Tabella 4: Valori dei tempi di ritorno considerati con le relative altezze idrometriche e portate

Nel grafico di *Figura 12*, che riporta la variabile ridotta di Gumbel in funzione del livello di piena, si nota come i maggiori eventi di piena (verso destra) sono praticamente allineati verticalmente, a indicare che, per le minori frequenze attese, i livelli (e le portate) non aumentano in modo atteso, ma con una crescita “meno che lineare”. Tale andamento è legato alla presenza della galleria Adige-Garda, la cui entrata in funzione in caso di piene importanti limita la portata fluente alla sezione di Verona.

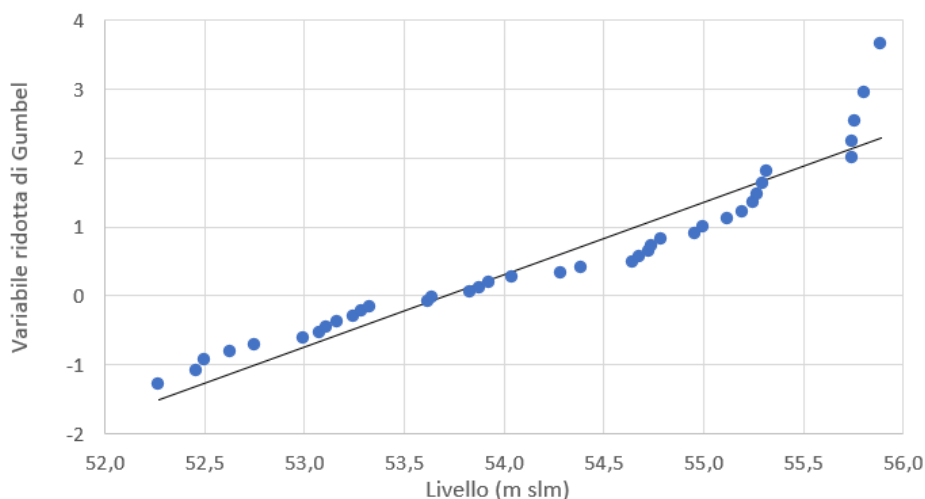


Figura 4. Grafico della variabile ridotta di Gumbel in funzione del livello di piena.

2.5 Analisi dell'evento di piena del 31 ottobre 2023

Il più recente evento di piena che ha interessato l'Adige nel tratto compreso tra Trento e Verona è quello verificatosi il 31 ottobre 2023, a seguito delle forti piogge che hanno interessato il bacino montano. Tale evento di piena è stato particolarmente rilevante, ed è finito in prima pagina su molti quotidiani, poiché le acque di piena sono arrivate a lambire e a danneggiare pesantemente i ponteggi del cantiere in corso a Ponte Nuovo, in pieno centro storico di Verona. Costruito nel 1951 per sostituire un precedente ponte demolito durante la Seconda Guerra Mondiale, il Ponte Nuovo, a partire dal 21 novembre 2021, è stato oggetto di lavori di ristrutturazione e consolidamento, che hanno incluso l'installazione di ponteggi con un piano di lavoro posto al di sotto delle tre arcate di cui è composta la struttura. Le quote dell'intradosso del ponte sono comprese tra 57.15 e 58.15 m s.l.m. per l'arcata centrale e tra 56.8 e 57.6 m s.l.m. per le arcate laterali, più basse. Durante la fase di cantiere, l'intradosso del piano temporaneo di lavoro era collocato alla quota di circa 55.55 m s.l.m. per l'arcata centrale e, verosimilmente, circa 50 cm in meno per le arcate laterali.

Stando alla scala di deflusso ARPAV, senza i ponteggi temporanei il livello dell'acqua arriverebbe a lambire l'intradosso delle arcate laterali (56.8 m s.l.m.) per una portata di circa 2'300 m³/s, e l'intradosso dell'arcata centrale (57.15 m s.l.m.) per una portata di circa 2'550 m³/s. Nella configurazione di cantiere, la quota di intradosso del piano di lavoro temporaneo nell'arcata centrale (55.55 m s.l.m.) sarebbe raggiunta per una portata

di 1'570 m³/s in corrispondenza dell'arcata centrale e, supponendo una quota di intradosso del ponteggio nelle arcate laterali di 55.05 m s.l.m., per una portata di 1'310 m³/s.

Si riporta qui il grafico relativo agli idrogrammi di piena dell'evento qui analizzato, sia in termini di portata (a Trento, Marco e Verona Ponte Nuovo), sia in termini di livello misurato alla sezione di Verona Ponte Nuovo. Secondo i dati di livello registrati dall'idrometro, che è posto sul lato di valle del Ponte Nuovo in centro alveo, il livello massimo è stato di 55.20 m s.l.m., che corrisponde a una portata di 1'380 m³/s.

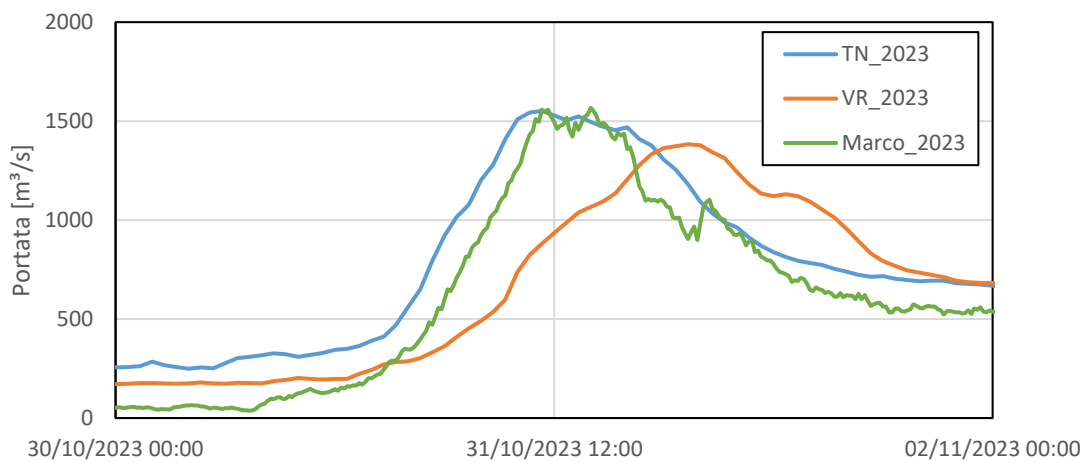


Figura 5. Idrogrammi di portata a Trento Ponte San Lorenzo, a Marco e a Verona Ponte Nuovo per l'evento di piena del 31 ottobre 2023.

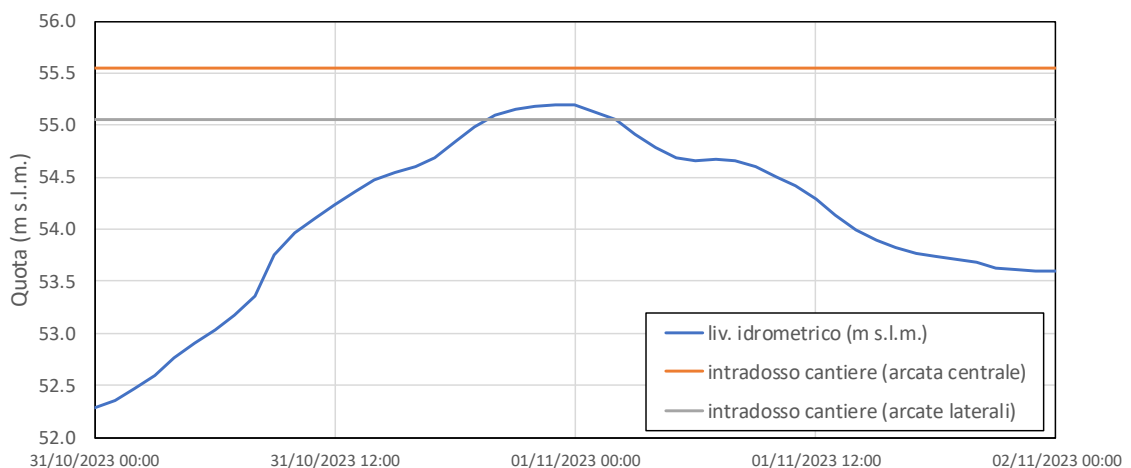


Figura 6. Idrogramma di livello a Verona Ponte Nuovo per l'evento di piena del 31 ottobre 2023, con indicate le quote presunte dell'intradosso del piano di lavoro temporaneo di cantiere.

Stando ai livelli misurati dall'idrometro e alle quote presunte dell'intradosso dei ponteggi, l'acqua dovrebbe aver urtato pesantemente contro i ponteggi delle arcate laterali

e non aver interferito con il ponteggio realizzato nell'arcata centrale del ponte. In realtà, considerando che l'idrometro è posto sul lato di valle dell'impalcato, il livello idrometrico a monte del ponte potrebbe essere stato significativamente più alto, soprattutto a partire dall'istante in cui i ponteggi delle arcate laterali sono entrati a contatto con l'acqua.

Intorno alle ore 12:00 del 31 ottobre 2023 le autorità della Provincia autonoma di Trento comunicano che, in collaborazione con la Regione Veneto, è stata decisa in via precauzionale l'apertura della galleria Adige-Garda in modo da evitare problemi alla città di Verona. Tuttavia, alle ore 12:00 del 31 ottobre la portata dell'Adige aveva già superato i 1'500 m³/s alla sezione di Marco, in quanto il picco di portata, di poco superiore ai 1'550 m³/s, era transitato alle ore 11:00 circa. Considerando che la portata che poteva fluire senza che l'acqua toccasse il ponteggio del cantiere di Ponte Nuovo era pari a circa 1'300 m³/s, e considerando che il colmo di piena tende ad attenuarsi tra Marco e Verona, sarebbe stato opportuno aprire la galleria Adige-Garda alle 10 del mattino, in modo da limitare la portata massima dell'Adige a Marco a valori compresi tra 1'300 e 1'400 m³/s.

Inspiegabilmente, e contrariamente a quanto reso noto quella stessa mattina, lo scolmatore è stato attivato solamente a partire dalle ore 17:30 del 31 ottobre, ossia 5 ore e mezza dopo il passaggio del colmo di piena alla sezione di Trento. Considerando i tempi di transito dell'onda di piena, gli effetti di questa apertura tardiva della galleria Adige-Garda si sarebbero fatti sentire alla sezione di Ponte Nuovo non prima di mezzanotte del 31 ottobre 2023, o addirittura nelle prime ore del 1° novembre 2023.

Nel frattempo, a partire dalle 16.30, i ponteggi di Ponte Nuovo sono stati raggiunti dalle acque dell'Adige. Soggetti alla spinta idrodinamica della corrente e colpiti ripetutamente dal materiale galleggiante che le acque del fiume trasportano, come tronchi e altro tipo di detriti, i ponteggi sono stati gravemente danneggiati (ilDolomiti, 2023). L'acqua è arrivata a lambire anche l'intradosso del ponteggio dell'arcata centrale e il materiale galleggiante ha danneggiato anche questa parte di ponteggio. Purtroppo, tutto questo è successo ben prima che, alla sezione di Ponte Nuovo, si potessero avvertire gli effetti benefici dell'apertura della galleria Adige-Garda.

Quanto avvenuto durante la piena del 31 ottobre 2023 ha inevitabilmente portato alla nascita di numerose polemiche su diversi fronti. Il transito di una importante onda di piena per il 31 ottobre era infatti già stato previsto, tanto che era stata effettuata la richiesta di aprire preventivamente le paratie dello scolmatore, in modo da avere tempo sufficiente

per far defluire parte del volume d'acqua dell'Adige nel Garda. Questa manovra, se fosse stata eseguita nel momento opportuno, avrebbe evitato i danni causati dalla piena ai ponteggi di Ponte Nuovo. Avrebbe anche ridotto il rischio legato dall'asportazione di porzioni di tali ponteggi, che avrebbero potuto intasare ponti posti più a valle e il pericolo aggiuntivo, fortunatamente scampato, legato alla parziale occlusione delle luci del ponte, sempre a opera del materiale galleggiante trasportato dalla corrente.

La tardiva apertura della galleria Adige-Garda, oltre a non aver evitato i problemi a Verona, ha comunque (e, di fatto, quasi inutilmente) impattato sull'ecosistema del lago di Garda legato alle immissioni in lago delle acque dell'Adige.

Come già detto nei capitoli precedenti, l'apertura dell'opera rappresenta un'operazione molto delicata a livello ambientale ed è questo il motivo per cui viene aperta soltanto in situazioni di emergenza. La comunità del Garda si era definita pronta a compiere un sacrificio per poter salvare la città di Verona dalla piena, è invece rimasta molto delusa dal danno ambientale superfluo provocato al Garda e ha minacciato di ricorrere a livello penale contro la discutibile decisione.



Figura 7: I ponteggi di Ponte Nuovo danneggiati a seguito dei detriti trasportati dall'Adige il 31 ottobre 2023, da L'Arena

Ulteriori polemiche riguardanti l'utilizzo della galleria Adige-Garda si sono susseguite anche nei mesi successivi. Infatti, oltre alle aperture della galleria Adige-Garda che vengono svolte in situazioni di emergenza per il controllo delle piene dell'Adige, ogni

anno è prevista una verifica del funzionamento dei dispositivi di apertura del tunnel. Il 5 marzo 2024 era prevista una delle prove di manutenzione, ma se nel corso della giornata tutto è andato secondo i piani, altrettanto non si può dire nel coordinamento delle operazioni.

Infatti, a seguito delle polemiche dovute all'apertura del 31 ottobre 2023 e a causa dei livelli già alti del lago, erano sorte delle richieste di posticipare l'apertura della galleria. In quest'occasione si sono opposti all'apertura la Comunità del Garda, Aipo (Agenzia interregionale per il fiume Po), Guardia Costiera e l'ente regionale lombardo. Quest'ultimo ha inoltre precisato come le operazioni di verifica debbano essere sempre preventivamente concordate con Aipo che è autorità idraulica del lago di Garda. Tuttavia, nonostante le molteplici richieste, la Provincia di Trento ha mantenuto inalterato il programma dell'intervento e 340'000 m³ di acqua provenienti dall'Adige sono stati scaricati nel lago (L'Arena, 2024). Anche in questa circostanza la gestione della galleria ha suscitato un gran numero di polemiche ed è stata persa un'occasione per dimostrare al territorio che situazioni come queste dovrebbero essere condivise e concordate.

Conclusioni

Questo studio ha riguardato la propagazione delle piene del Fiume Adige nel tratto compreso tra Trento e Verona. L'analisi degli idrogrammi misurati nelle sezioni strumentate di Trento, Marco e Verona ha consentito di osservare come le onde di piena si modificano nel tragitto e, inoltre, quali siano gli effetti dell'apertura della galleria Adige-Garda, scolmatore di piena che è in grado di riversare fino a 500 m³/s di acque dell'Adige, prelevate all'altezza di Mori, nel lago di Garda in prossimità di Torbole.

La correlazione degli idrogrammi di portata a Trento con gli idrogrammi di portata a Verona, traslati nel tempo, ha mostrato che il tempo di transito delle onde di piena è pari a circa 9 ore, un intervallo di tempo importante nell'ottica di organizzare piani di allerta per la provincia e la città di Verona che si basano sui valori misurati a Trento.

Allo stesso tempo la realizzazione della galleria Adige-Garda si inserisce in questo contesto come un'importante infrastruttura di difesa idraulica, la cui corretta gestione è essenziale per garantire la sicurezza delle aree adiacenti al fiume e delle comunità locali che vivono lungo il corso vallivo dell'Adige. Si tratta di un'opera dalle grandi potenzialità, ma che deve essere utilizzata con consapevolezza. È infatti fondamentale sottolineare che la gestione delle risorse idriche e la prevenzione delle catastrofi naturali sono compiti non facili, che comportano un approccio che coinvolga non solo gli esperti scientifici e gli ingegneri, ma anche le autorità locali, le comunità e le organizzazioni civili. A questo proposito, si è voluto attirare l'attenzione sulle problematiche di gestione che una struttura così complessa comporta, con la speranza che il suo utilizzo in caso di futuri eventi di piena del fiume Adige possa essere efficace al fine di proteggere strutture e popolazione, garantendo al contempo la sostenibilità ambientale.

Bibliografia

Aiello Valeria, “Galleria Adige-Garda, cos’è l’opera che salva Verona dalla piena del fiume”, 3 novembre 2023, <https://www.fanpage.it/innovazione/scienze/galleria-adige-garda-cose-lopera-che-salva-verona-dalla-piena-del-fiume/>

ARPAV, “Livelli e portate medie giornaliere del fiume adige a verona negli anni 2019-2021”, settembre 2022.

Climate change monitoring South Tyrol, “Portata media del fiume Adige”, 24 gennaio 2024, <https://www.eurac.edu/it/data-in-action/monitoraggio-dei-cambiamenti-climatici/portata-media-del-fiume-adige>

Convenzione per l’uso della galleria Adige-Garda, 1 luglio 2022.

GardaPost, “Apertura galleria Adige-Garda, il WWF: “Si sconvolge l’ecosistema””, 2020, <https://www.gardapost.it/2020/02/22/apertura-galleria-adige-garda-il-wwf-si-sconvolge-lecosistema/amp/>

Geocaching, “La piena dell'Adige del 17 settembre 1882”, 2015, <https://www.geocaching.com/geocache/GC67Y7J>

ilDolomiti, “L'Adige in piena danneggia i ponteggi di Ponte Nuovo e a Verona è polemica sul tunnel del Garda: “Galleria aperta troppo tardi””, 1 novembre 2023, <https://www.ildolomiti.it/cronaca/2023/ladige-in-piena-danneggia-i-ponteggi-di->

[ponte-nuovo-e-a-verona-e-polemica-sul-tunnel-del-garda-galleria-aperta-troppo-tardi](#)

L’Arena, “Il Comune: «Tunnel aperto troppo tardi». Ma la Comunità del Garda minaccia azioni legali”, 1 novembre 2023, <https://www.larena.it/territorio-veronese/citta/galleria-garda-aperta-tardi-accuse-iter-1.10367708#:~:text=Chi%20decide%20l'apertura%20della,manovre%20di%20apertura%20e%20chiusura>.

L’Arena, “Il Garda si spacca, lo scolmatore diventa un caso politico: «Il lago è di tutti, non solo dei trentini»”, 6 marzo 2024, <https://www.larena.it/territorio-veronese/garda-baldo/scolmatore-lago-garda-caso-politico-1.10635499?#py0y1tgz1on>

Milani Giuseppe, “I cinquantacinque ponti di Verona”, 7 novembre 2016, Editrice La Grafica

Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi Orientali, “Bacino del fiume Adige”, https://distrettoalpiorientali.it/wp-content/uploads/2023/02/PG_Adige_1_Corpi_Idrici_rev01.pdf

Ranocchiaro Marco, “Apertura della galleria Adige-Garda, partono le polemiche: «Danni ambientali al lago»”, 2 novembre 2023, <https://www.iltquotidiano.it/articoli/apertura-della-galleria-adige-garda-partono-le-polemiche-danni-ambientali-al-lago/>

Turri E., Ruffo S., “L'Adige: il fiume, gli uomini, la storia.”, 1992, Cierre

Sitografia

https://it.wikipedia.org/wiki/Galleria_Adige-Garda#/map/0

<https://www.ambienteveneto.it/stazioni/datiorari/>

<https://www.floods.it/public/homepage.php>