

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA - MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica – Corsi d'acqua maggiori

Studio idrologico del bacino del Fiume Oglio e del Canale
Dugale Tagliata

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

N M 2 5 0 3 D 0 9 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C.Cesali 	Aprile 2020	F.Cabas 	Aprile 2020	M. Berlingeri 	Aprile 2020	A. Vittozzi 	Aprile 2020

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cremona
N° A20783

File: NM2503D09RIID0001001A.docx

n. Elabor.:

INDICE

1. PREMESSA.....	5
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI	7
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	8
3. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME OGLIO.....	9
3.1 BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE DUGALE TAGLIATA	12
4. ANALISI IDROLOGICA	14
4.1 FIUME OGLIO	14
4.1.1 Portate al colmo e idrogrammi di piena.....	14
4.1.2 Calibrazione del modello numerico idraulico: evento del novembre 2019	18
4.1.3 Definizione delle portate per il dimensionamento delle opere provvisionali.....	21
4.2 CANALE DUGALE TAGLIATA	24
4.2.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche.....	24
4.2.2 Stima delle portate al colmo	30
4.2.3 Definizione della portata di cantiere per il dimensionamento delle opere provvisionali.....	33
5. BIBLIOGRAFIA	35


	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.</i>	8
<i>Figura 2–Fiume Oglio: ambito fisiografico (fonte: P.A.I. – Autorità di Bacino del Fiume Po).</i>	10
<i>Figura 3–Bacino e sottobacino di interesse del Fiume Oglio.</i>	11
<i>Figura 4–Bacino e sottobacino di interesse del Canale Dugale Tagliata.</i>	13
<i>Figura 5–Portate al colmo del Fiume Oglio, per differenti tempi di ritorno, alla sezione di chiusura di interesse (estratto Tab.4.4 del documento “Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Art.7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n.49 del 23.02.2010 – Profili fi piena dei corsi d’acqua del reticolo principale”).</i>	15
<i>Figura 6 – Fiume Oglio: idrogramma di piena adimensionale, alla sezione di chiusura di interesse.</i>	17
<i>Figura 7 – Fiume Oglio: idrogrammi di piena di progetto, alla sezione di chiusura di interesse.</i>	17
<i>Figura 8 – Fiume Oglio: registrazione idrometriche presso la stazione di Marcaria (fonte: AIPO).</i>	18
<i>Figura 9 – Fiume Oglio: registrazione idrometriche presso la stazione di Marcaria, evento del novembre 2019 (fonte: AIPO).</i>	19
<i>Figura 10 – Fiume Oglio: livelli idrici massimi raggiunti nell'anno, misurati presso la stazione di Marcaria, nell'ultimo ventennio.</i>	20
<i>Figura 11 – Fiume Oglio: ricostruzione dell'idrogramma di piena dell'evento del novembre 2019.</i>	20
<i>Figura 12 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate adimensionale, nel tratto fluviale sublacuale.</i>	22
<i>Figura 13 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate presso Marcaria.</i>	22
<i>Figura 14 – Canale Dugale Tagliata: stazioni pluviometriche di riferimento, con relativi poligoni di Thiessen.</i>	25
<i>Figura 15 – Distribuzione GEV: valori del parametro α spazializzati sul territorio lombardo.</i>	26
<i>Figura 16 – Distribuzione GEV: valori del parametro n spazializzati sul territorio lombardo.</i>	27
<i>Figura 17 – Distribuzione GEV: valori del parametro α spazializzati sul territorio lombardo.</i>	27
<i>Figura 18 – Distribuzione GEV: valori del parametro ε spazializzati sul territorio lombardo.</i>	28
<i>Figura 19 – Distribuzione GEV: valori del parametro κ spazializzati sul territorio lombardo.</i>	28
<i>Figura 20 – Confronto tra le differenti CPP considerate, corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.</i>	30

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche del sottobacino del Fiume Oglio di interesse.</i>	<i>12</i>
<i>Tabella 2 – Caratteristiche morfometriche del sottobacino del Canale Dugale Tagliata di interesse.</i>	<i>13</i>
<i>Tabella 3 – Fiume Oglio: portate al colmo di progetto ([*] valori ricavati da interpolazione dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno).</i>	<i>15</i>
<i>Tabella 4 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate presso Marcaria.</i>	<i>23</i>
<i>Tabella 5 – Canale Dugale Tagliata: valori dei parametri a e n delle CPP di riferimento (secondo Gumbel).</i>	<i>25</i>
<i>Tabella 6 – Canale Dugale Tagliata: valori dei parametri a e n delle CPP di riferimento (da modelli di regionalizzazione).</i>	<i>29</i>
<i>Tabella 7 – Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del Corine Land Cover al 4° livello (Elaborazione ADIS).</i>	<i>32</i>
<i>Tabella 8 – Canale Dugale Tagliata: portate al colmo per differenti tempi di ritorno.</i>	<i>33</i>

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

1. PREMESSA

L'intervento in progetto si colloca nell'ambito del Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia, nello specifico nella pianificazione di "*Riqualificazione Milano – Codogno – Cremona - Mantova*", che comprende anche gli interventi di raddoppio, recentemente ultimati (2015) tra le località di Cavatigozzi e Cremona.

L'obiettivo commerciale, alla base di questi interventi, è creare le condizioni per l'incremento della regolarità sulla relazione regionale Milano – Mantova ed un suo successivo potenziamento, nonché raggiungere la frequenza di un treno/h per direzione.

Successivi approfondimenti svolti dalle strutture territoriali di RFI congiuntamente alla Regione Lombardia, hanno messo in evidenza la necessità di approfondire la tratta prioritaria di raddoppio, anche alla luce del modello di esercizio che sarà adottato dalla Regione stessa.

La linea ha inoltre un notevole interesse "merci" legato, non solo alla presenza degli impianti industriali raccordati, ma anche al fatto che tale linea fa parte del corridoio alternativo al Mediterraneo.

In quest'ottica, il presente Progetto Definitivo, compendia gli interventi necessari, nell'ambito della linea *Codogno – Cremona – Mantova*, all'attivazione prioritaria della tratta *Piadena – Mantova*, *1^ fase funzionale del raddoppio* della linea in oggetto.

L'opera si sviluppa nella bassa pianura lombarda, ad una quota compresa tra i 60 e i 20 metri s.l.m. andando da ovest verso est; lo sviluppo della tratta è di circa 34 km tra le località di Piadena (km 55+286 LS) e Mantova (km 89+557 LS).

La 1^ fase del progetto prevede i seguenti interventi:

- raddoppio tratta Piadena – Bozzolo: raddoppio con tratti in variante tramite la realizzazione di un nuovo binario ad interasse di circa 22.50 m dall'attuale, da eseguirsi in presenza di esercizio ferroviario;
- raddoppio tratta Bozzolo – Mantova: raddoppio in stretto affiancamento da eseguirsi in interruzione prolungata di esercizio ferroviario;

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

oltre ai relativi impianti ed apparati tecnologici e di trazione elettrica, nonché la riqualificazione delle Stazioni e dei PRG di Piadena, Bozzolo e Marcaria, della Fermata di Castellucchio e del PRG di Mantova. È prevista anche la soppressione di tutti i PL di linea tramite realizzazione di opportune nuove opere sostitutive.

Nell'ambito del raddoppio della tratta "Piadena-Bozzolo", la linea in progetto si sviluppa in variante rispetto alla linea storica esistente nel tratto dalla prog. 57+600 alla prog. 59+000, in corrispondenza dell'attraversamento del *Canale Dugale Tagliata*. Relativamente invece al raddoppio della tratta "Bozzolo – Mantova", la nuova linea si sviluppa in variante rispetto alla linea storica esistente nel tratto dalla prog. 66+750 alla prog. 67+950, in corrispondenza dell'attraversamento del *Fiume Oglio*.

Nella presente relazione è riportato quindi lo studio idrologico dei bacini dei due corsi d'acqua maggiori attraversati (*Fiume Oglio* e *Canale Dugale Tagliata*).

Nel dettaglio, le analisi sono state effettuate secondo le seguenti fasi:

- perimetrazione dei relativi bacini idrografici e valutazione delle relative caratteristiche morfometriche;
- raccolta ed elaborazione delle osservazioni/registrazioni presso le stazioni pluviografiche e idrometriche ricadenti nei bacini idrografici di interesse;
- valutazione delle portate al colmo nelle sezioni di chiusura considerate;
- determinazione degli idrogrammi di piena di progetto, da imporre come condizioni al contorno nei modelli numerici (idraulici) in regime di moto vario.

Le analisi sono state sviluppate in accordo alla pianificazione di bacino attualmente in vigore, nello specifico alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano per la Valutazione e la Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del Bacino del Fiume Po (2016), dalle Norme tecniche delle costruzioni (NTC18) e dal Manuale di Progettazione Ferroviaria (2019).

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito, la normativa nazionale e regionale di riferimento:

- Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877
- ***R.D. 27 luglio 1904, n. 523***
- R.D. 27 luglio 1904, n. 368
- R.D. n. 3267/1923
- R.D. 17 maggio 1926, n. 1126
- R.D. n. 215/1933
- ***Legge n. 183/1989, “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”***
- ***D.M. del 14 febbraio 1997 “Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”***
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- ***Legge n. 365/2000 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile” (legge Soverato)***
- ***Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni (PGRA) del bacino del Fiume Po (marzo 2016), Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010***
- ***D.Lgs. n. 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”***
- ***D.Lgs. n. 152/2006 “Norma in materia ambientale”***
- Direttiva n. 2007/60/CE
- ***Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018***
- ***Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019***

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 8 di 35

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

La tratta ferroviaria in progetto (*Piadena-Mantova*) si sviluppa per buona parte all'interno del bacino del Fiume Oglio, attraversando quest'ultimo alla prog. 67+285 km (mediante il viadotto VI02), nel tratto tra Mantova e Bozzolo. Di rilievo anche l'attraversamento del Canale Dugale Tagliata (viadotto VI01), alla prog. 57+950 km nel tratto tra Bozzolo e Piadena, affluente in destra idraulica del Fiume Oglio.

La determinazione delle portate al colmo del Fiume Oglio e del Canale Dugale è quindi finalizzata principalmente allo studio di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento in progetto, VI02 e VI01 rispettivamente. Nella figura seguente è riportato il tracciato della "nuova" linea ferroviaria, con evidenziati i due corsi d'acqua maggiori attraversati, oggetto di studio nella presente relazione.

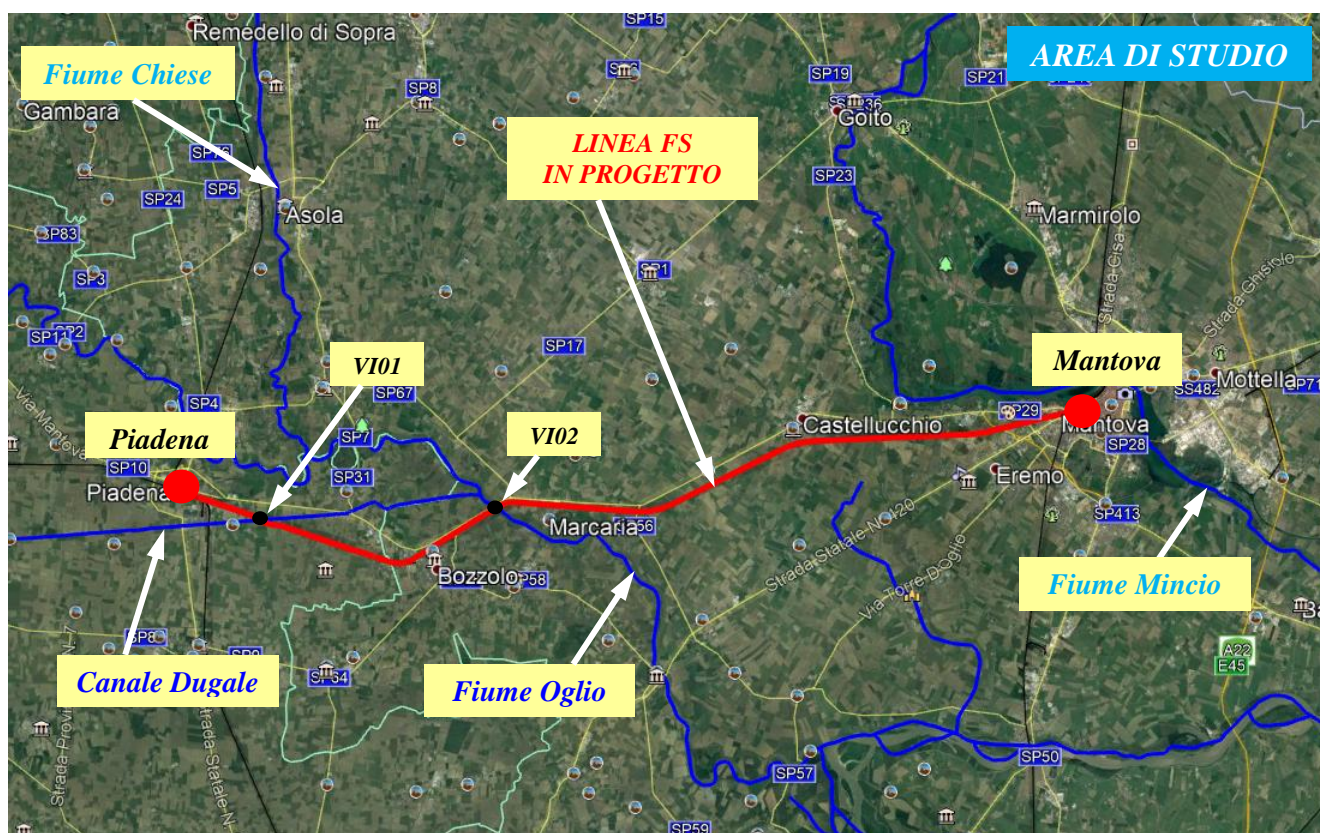



Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

3. IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME OGLIO

Il Fiume Oglio scorre interamente nella Regione Lombardia e nasce nel comune di Ponte di Legno, (provincia di Brescia), percorre la Val Camonica, alternando tratti ripidi ad altri pianeggianti, immettendosi quindi nel Lago d'Iseo; esce poi dal lago in località Sarnico e confluisce nel fiume Po poco a monte di Borgoforte dopo aver percorso complessivamente 280 km.

Il fiume Oglio scorre prevalentemente in direzione nord-sud e fa parte dei principali fiumi affluenti del fiume Po in sinistra idrografica.

L'intero corso d'acqua in oggetto è caratterizzato da un bacino idrografico avente un'estensione di circa 6360 Km² ed appartiene al II ordine della classificazione di Horton; la quota d'origine del fiume è a 1253 m s.l.m., l'altezza massima del bacino è pari a 3538 m s.l.m. mentre la minima è di 22 m s.l.m.

Il fiume Oglio è laminato da un invaso naturale che è il lago d'Iseo ed è regolato artificiale dalla diga di Sarnico; nel tratto sopralacuale del suo sviluppo presenta un corso incassato, mentre, più a sud, si sviluppa in ambiente pianeggiante; tra l'uscita del lago d'Iseo e la confluenza, sono individuabili tre diversi tronchi, distinguibili per caratteristiche geometriche e idrauliche.

Il primo, all'uscita del lago d'Iseo, in cui l'alveo è poco inciso, con fondo ciottoloso (determinato dal lago a monte), scarsa presenza di vegetazione nella regione fluviale e flusso concentrato in un unico filone.

Il secondo, intermedio tra il lago e la confluenza in Po, il cui il corso d'acqua ha andamento irregolare, con presenza di difese spondali abbastanza numerose tra la confluenza del F.Cherio e la confluenza del F.Mella; le caratteristiche geometriche dell'alveo inciso sono rappresentate da una larghezza media di 150-200 m, continuamente variabile, da un'altezza media di sponda di 2,5 m, da un materiale d'alveo di granulometria compresa tra il campo della ghiaia e quello della sabbia e da una pendenza di fondo piuttosto elevata.

Il terzo, nella parte terminale di confluenza in Po, in cui il corso d'acqua è delimitato da argini continui, ha andamento meandriforme, con larghezza media dell'alveo inciso di 50-70 m, altezza di 2-3 m e fondo sabbioso-limoso.

Nella figura seguente si riporta l'ambito fisiografico del bacino del Fiume Oglio.

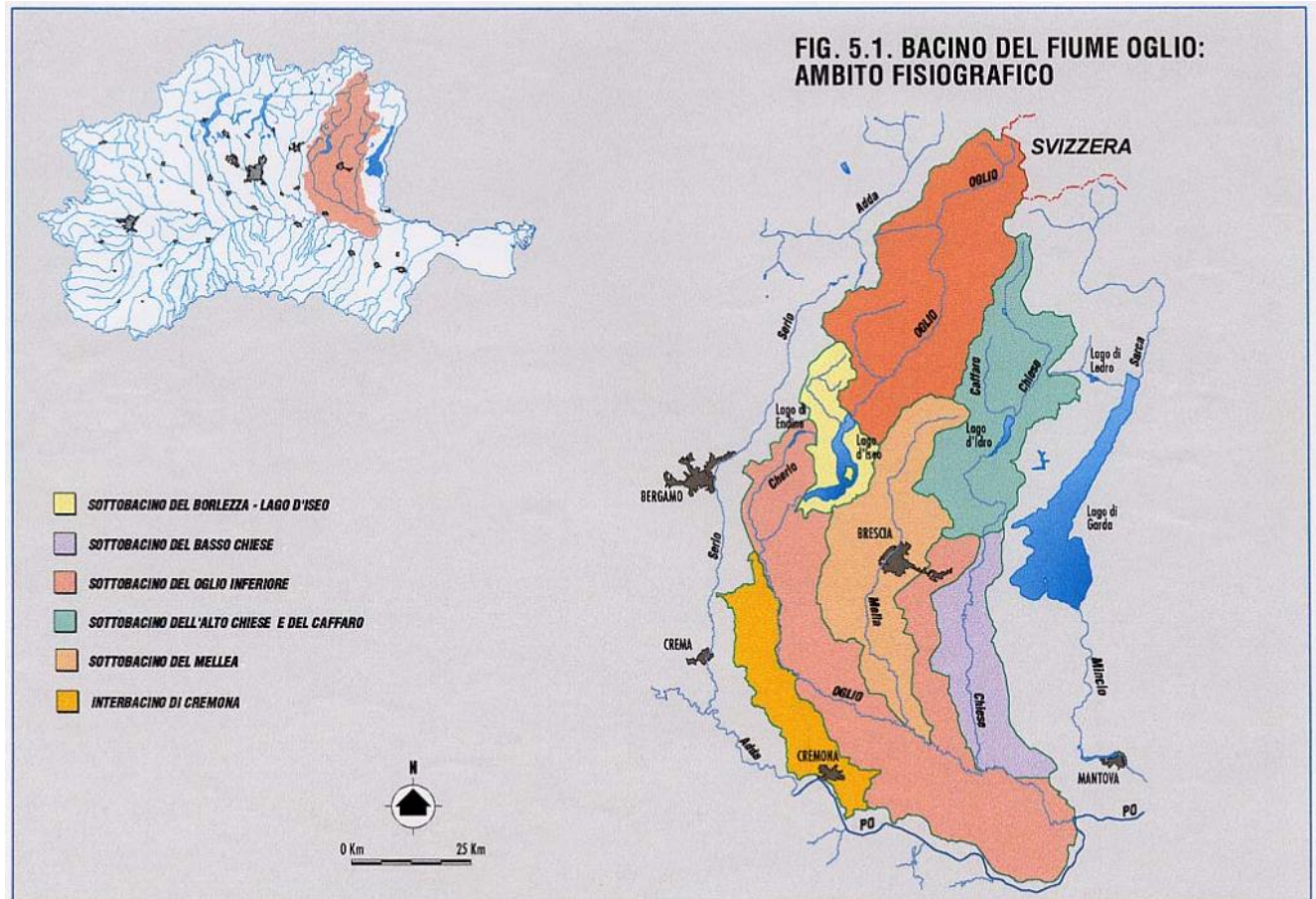


Figura 2–Fiume Oglio: ambito fisiografico (fonte: P.A.I. – Autorità di Bacino del Fiume Po).

Data la “*regolazione controllata*” del deflusso del Fiume Oglio dal lago d’Iseo, il presente studio farà riferimento al solo bacino sublacuale.

Il tratto in esame ha la sezione di chiusura ubicata nel comune di Marcaria, nella parte terminale di confluenza nel fiume Po, in particolare alla progressiva Km 243+964 circa dall’origine del corso d’acqua.

Le caratteristiche morfometriche principali del sottobacino del Fiume Oglio oggetto di studio sono riassunte nella tabella seguente.

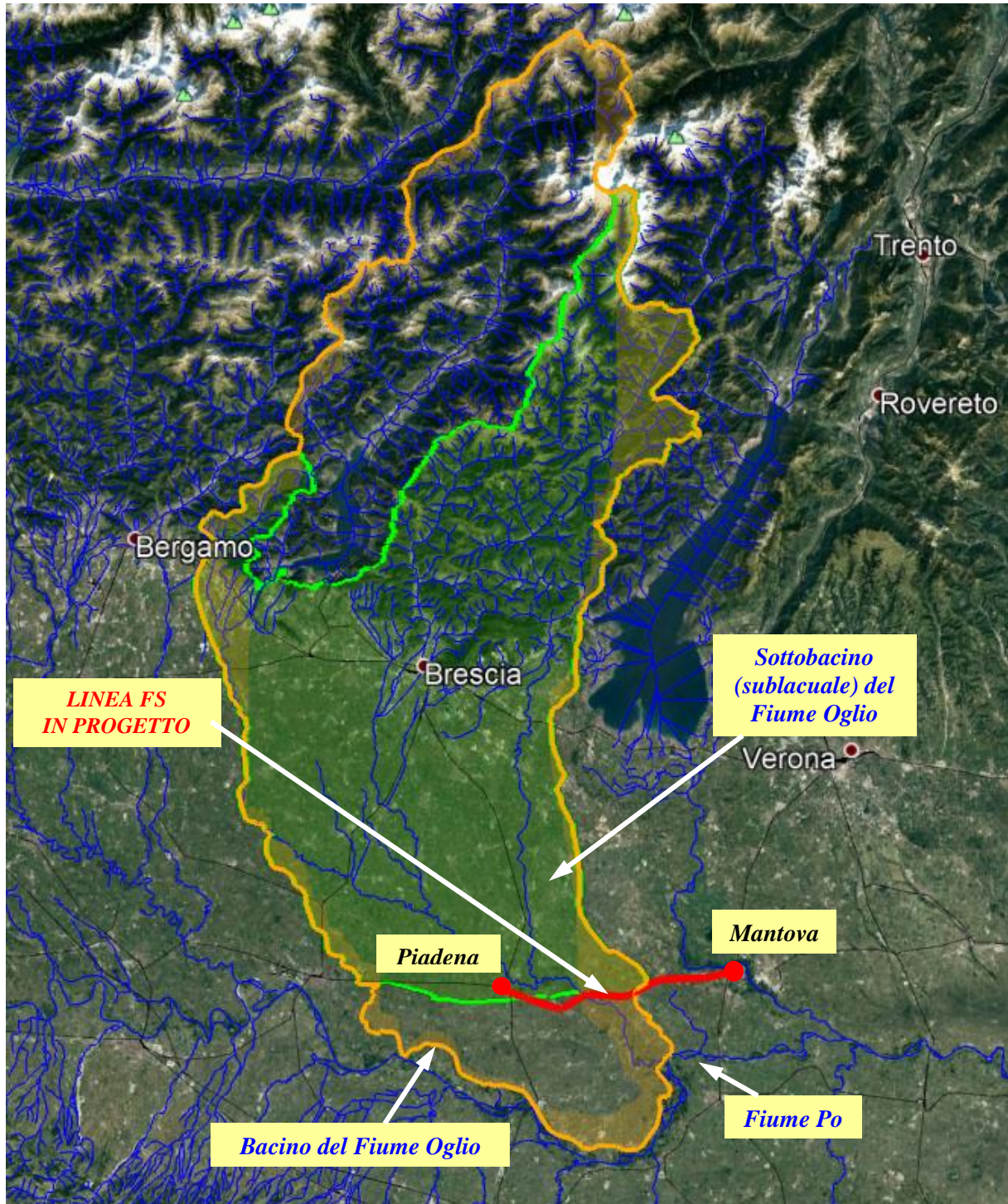



Figura 3–Bacino e sottobacino di interesse del Fiume Oglio.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 12 di 35

Parametro	U.d.m.	Sottobacino (sublacuale)
Superficie	km ²	3934.0
Lunghezza asta	km	134.6
Quota minima h_0	m slm	22.0
Quota massima h_{max}	m slm	3400.0
Quota media h_{media}	m slm	430.5
Pendenza media i_{med}	m/m	0.025

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche del sottobacino del Fiume Oglio di interesse.

3.1. BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE DUGALE TAGLIATA


Il bacino del colatore denominato Dugale Tagliata, affluente in destra idraulica del Fiume Oglio, ha una superficie di 13571 ettari ed è solcato da una fitta rete di canali di diversa importanza.

Iscritto nell'elenco delle acque pubbliche al n. 51 della Provincia di Cremona e n. 70 per la Provincia di Mantova è un'importante colatore risalente all'epoca romana, scavato a fianco della vecchia via Postumia che intercetta le acque provenienti da nord per scaricarle nel fiume Oglio, a pelo libero, in località Tezzoglio a nord di Bozzolo in provincia di Mantova.

Il bacino è da secoli gestito dal Consorzio di Bonifica Dugali Naviglio Adda Serio (con sede a Cremona) e gli interventi effettuati nel tempo hanno reso perfettamente funzionante l'intera rete di colo. Attualmente il Consorzio opera fundamentalmente per la conservazione dei canali e dei relativi manufatti, con interventi di diserbo meccanico, sistemazioni di fondo e di sponda, oltre che di spurgo, mediante una periodica risagomatura degli alvei.

Indicazioni da parte dell'ente gestore (i.e. il Consorzio) circa le portate al colmo afferenti al canale Dugale Tagliata, in rapporto alla superficie del bacino imbrifero calcolato in Ha 14000 circa (alla confluenza con il Fiume Oglio) e ai canali principali e secondari irrigui che scaricano le acque reflue, riguardano la portata corrispondente ad un tempo di ritorno di **20-50 anni circa**, pari a **61 mc/s**.

Nella figura seguente, si riporta la delimitazione del sottobacino di interesse.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 13 di 35

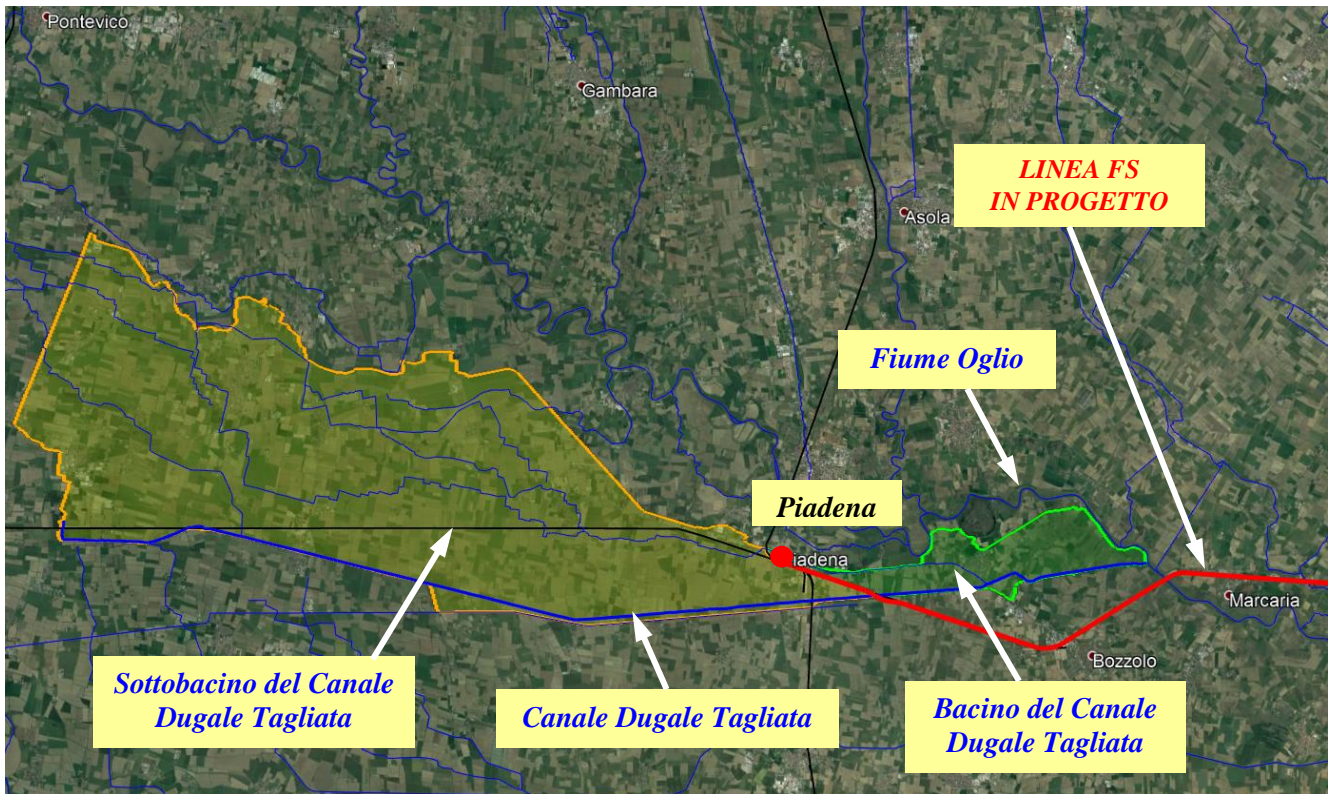



Figura 4–Bacino e sottobacino di interesse del Canale Dugale Tagliata.

In tabella, i parametri morfometrici del sottobacino del Canale Dugale Tagliata oggetto di studio.

Parametro	U.d.m.	Sottobacino
Superficie	km ²	125.6
Lunghezza asta	km	25.0
Quota minima h_0	m slm	25.1
Quota massima h_{max}	m slm	62.2
Quota media h_{media}	m slm	39.6
Pendenza media i_{med}	m/m	0.014

Tabella 2 – Caratteristiche morfometriche del sottobacino del Canale Dugale Tagliata di interesse.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 14 di 35

4. ANALISI IDROLOGICA

4.1. FIUME OGLIO

4.1.1. Portate al colmo e idrogrammi di piena


In ragione della complessità del sistema idrografico del Bacino del Fiume Oglio, nello specifico della *regolazione controllata* dei deflussi operata dal lago d’Iseo, nonché delle numerose confluenze (Fiume Cherio, Fiume Mella, Fiume Chiese) nel tratto sub lacuale, l’analisi idrologica del sottobacino di interesse (sopra individuato) è stata condotta con riferimento ai seguenti documenti prodotti dalle autorità competenti sul territorio lombardo:

- *Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Art.7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n.49 del 23.02.2010 – Profili fi piena dei corsi d’acqua del reticolo principale*
- *“Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: - del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio”.*

Lo studio idrologico condotto sul corso d’acqua ha consentito la definizione del regime pluviometrico della zona di interesse e successivamente la determinazione delle portate al colmo di piena, in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini delle aree sopralacuale e sublacuale, nello specifico alle confluenze di corsi d’acqua di rilievo e presso stazioni di misura e centri abitati significativi.

Le portate al colmo di piena del Fiume Oglio possono essere quindi desunte dai documenti sopracitati le cui fonti utilizzate derivano da:

- studi propedeutici al PAI (1996 AdBPo);
- fasce Fluviali (1994-2001);
- studi di fattibilità (2004 AdBPo) che hanno aggiornato in parte il precedente quadro conoscitivo;
- ulteriori approfondimenti effettuati da Regioni, Province, AIPO e altri Enti nell’ambito delle attività di adeguamento della pianificazione territoriale ed urbanistica alle disposizioni del PAI e per la progettazione delle opere idrauliche di difesa previste nei programmi di attuazione del PAI.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Tali valori delle portate di piena sono stati stimati mediante diverse metodologie, quali modelli idrologici afflussi-deflussi, regolarizzazioni statistiche delle serie storiche disponibili presso le stazioni di misura, metodi di regionalizzazione.

Nello specifico, nel presente studio si è fatto riferimento ai valori della sezione di chiusura del Fiume Oglio denominata “**017.01.P**” (nel documento “*Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Art.7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n.49 del 23.02.2010 – Profili fi piena dei corsi d’acqua del reticolo principale*”), in corrispondenza del ponte stradale a servizio della SP78, nel comune di Marcaria.

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (km)	Sezione Cod.	Denomin.	Superficie m ² /s	Q20 km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro Denominazione
Oglio	Oglio sottolac.	206.291	058.01P	Ostiano	3580		510		690	740	Oglio a Ostiano
Oglio	Oglio sottolac.	234.025	030	Confl. Chiese (monte)	3953		430		630	710	
Oglio	Oglio sottolac.	235.310	029	Confl. Chiese (valle)	5510		710		1080	1190	
Oglio	Oglio sottolac.	245.908	017.01P	Marcaria	5746		680		1030	1170	Oglio a Marcaria
Oglio	Oglio sottolac.	264.903	2	Confluenza in Po	6436		680		1030	1170	

Figura 5–Portate al colmo del Fiume Oglio, per differenti tempi di ritorno, alla sezione di chiusura di interesse (estratto Tab.4.4 del documento “*Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni – Art.7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n.49 del 23.02.2010 – Profili fi piena dei corsi d’acqua del reticolo principale*”).

Alla sezione di chiusura di interesse (017.01.P), le portate al colmo del Fiume Oglio (nonché i corrispondenti livelli idrici, *h*), per differenti tempi di ritorno, ammontano a:

T_R (anni)	Q (m ³ /s)	h (m slm)
2	386.0	24.59
20	680.0	25.87
50	798.0	26.33
100	927.0	26.81
200	1030.0	27.23
300	1092.0 ^[*]	27.72 ^[*]
500	1170.0	28.53

Tabella 3 – Fiume Oglio: portate al colmo di progetto ([*] valori ricavati da interpolazione dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno).

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Per quanto concerne la determinazione dei corrispondenti idrogrammi di piena (da considerare come condizione al contorno nel modello numerico bidimensionale, in regime di moto vario, sviluppato, rif. NM2503D09RIID0002001A), si è fatto riferimento agli studi condotti dall’Autorità di bacino del Fiume Po. Nello specifico, per la definizione delle onde di piena di assegnato tempo di ritorno nelle differenti sezioni di chiusura, è stato implementato un modello afflussi-deflussi a parametri concentrati che simula il comportamento dei bacini idrografici come un insieme di serbatoi a mezzo dei quali si attuano i fenomeni di trasferimento e laminazione degli afflussi (*Modello di Nash*).

Per la determinazione degli idrogrammi sintetici in sezioni non strumentate è stata invece applicata una metodologia di stima indiretta (*Prof. Maione, L’ACQUA n.3/2001*), che può essere schematizzata nei seguenti punti:

- stima regionale dei quantili delle portate al colmo;
- stima regionale del rapporto di riduzione $\varepsilon_D(T)$;

Per una descrizione di dettaglio della metodologia adottata si rimanda all’articolo “*Una metodologia di stima indiretta degli idrogrammi sintetici per il progetto di opere di difesa idraulica del territorio*” (*Ballarin, Maione, Mignosa, Tomirotti, L’ACQUA n.3/2001*), nel quale sono proposte formule aggiornate per la stima regionale del rapporto di riduzione e del coefficiente di posizione del picco.

A causa della mancanza di dati idrologici significativi nel tratto del Fiume Oglio a valle della confluenza del Fiume Chiese, la regionalizzazione eseguita nello studio sopracitato non ha dato risultati soddisfacenti, pertanto nelle sezioni vallive gli idrogrammi sintetici sono stati restituiti solo in forma adimensionalizzata rispetto alla portata al colmo.

Si riporta di seguito l’idrogramma adimensionale, prodotto dall’Autorità di bacino del Fiume Po nello studio citato, relativo alla sezione di chiusura *017.01.P*, in località Marcaria.

Moltiplicando i valori dell’idrogramma adimensionale per i valori di portata al colmo sopra indicati è possibile ricavare quindi i corrispondenti idrogrammi di piena di progetto, per i vari tempi di ritorno (Tr); nello specifico per $Tr = 50, 200, 300, 500$ anni, in accordo alle indicazioni riportate nella pianificazione di bacino (circa la definizione delle aree di pericolosità idraulica), nonché della normativa nazionale (NTC2018) in materia di compatibilità degli attraversamenti fluviali e del Manuale di progettazione ferroviaria (2019).

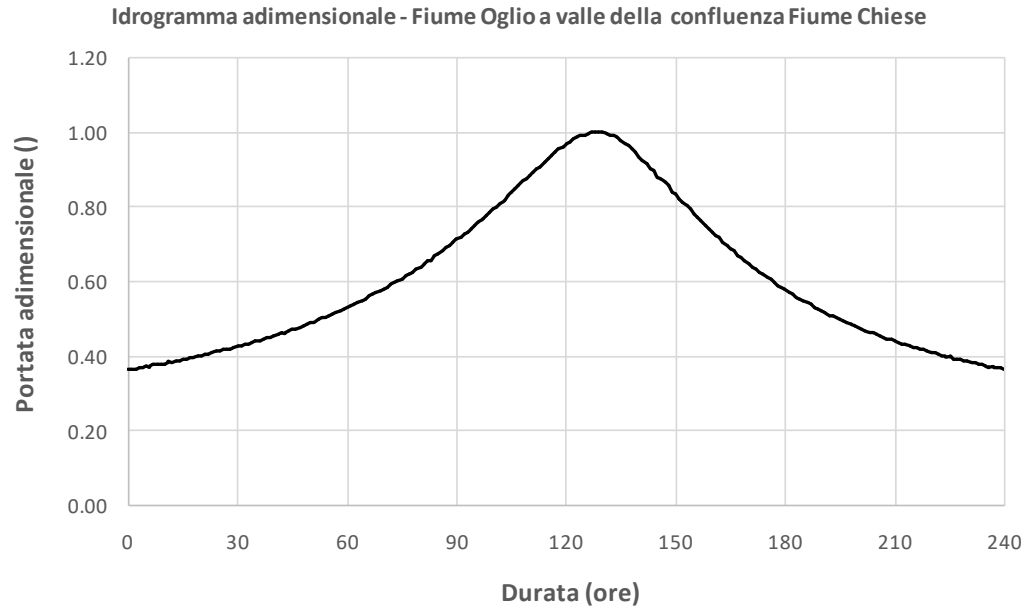


Figura 6 – Fiume Oglio: idrogramma di piena adimensionale, alla sezione di chiusura di interesse.

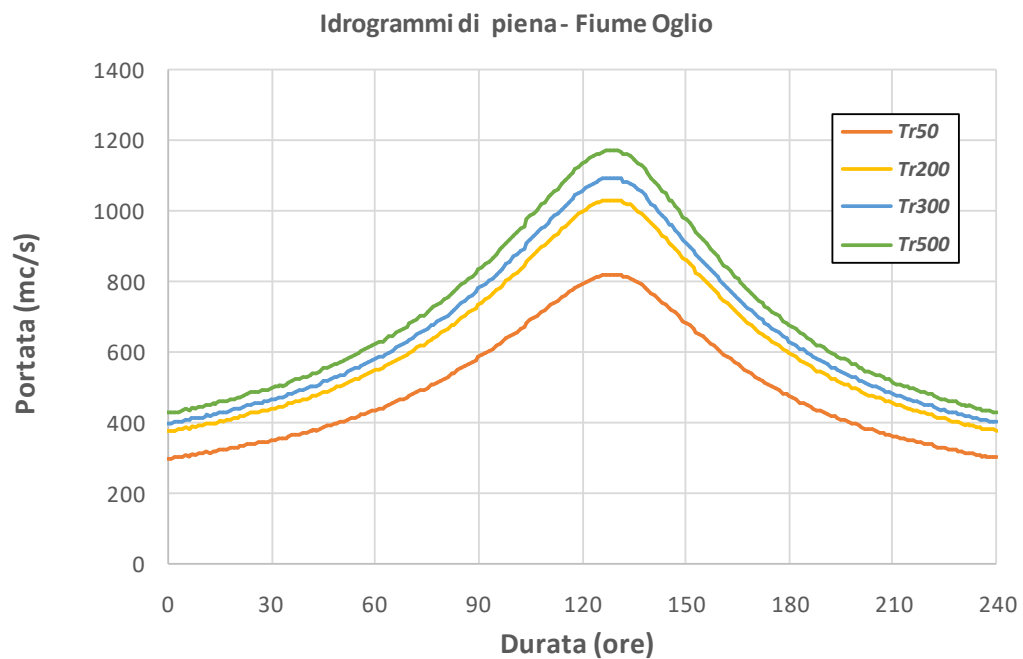



Figura 7 – Fiume Oglio: idrogrammi di piena di progetto, alla sezione di chiusura di interesse.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001

4.1.2. Calibrazione del modello numerico idraulico: evento del novembre 2019

Ai fini della calibrazione del modello numerico idraulico (2D, in regime di moto vario) del Fiume Oglio sviluppato (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione idraulica annessa, NM2503D09RIID0002001A), sono state raccolte le registrazioni idrometriche presso la stazione di Marcaria (fonte: Agenzia Interregionale del Fiume Po, AIPO) nell'ultimo ventennio (periodo: gennaio 2000-aprile 2020).

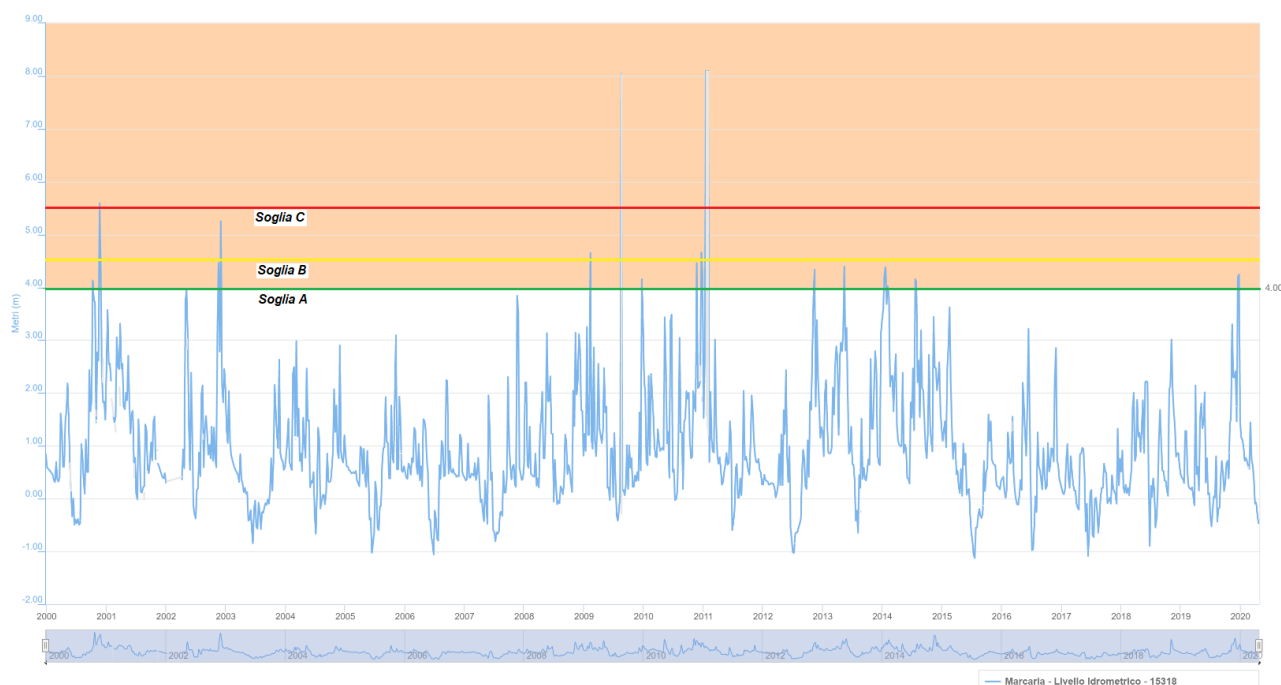


Figura 8 – Fiume Oglio: registrazione idrometriche presso la stazione di Marcaria (fonte: AIPO).

Come riportato nella figura precedente, negli ultimi 20 anni il livello idrometrico (+5,50 m) corrispondente alla “Soglia C” (livello di allarme) è stato raggiunto e/o superato in 3 occasioni; quello (+4,50 m) corrispondente alla “Soglia B” (livello di pre-allarme) è stato raggiunto e/o superato in 7 occasioni, l’ultima nel novembre del 2019; mentre il livello idrometrico (+4,00 m) corrispondente alla “Soglia A” (livello di attenzione) è stato raggiunto e/o superato in 17 occasioni. Si è fatto riferimento proprio all’evento del novembre 2019 per la verifica dell’attendibilità del modello numerico idraulico implementato. In tale occasione, il livello di piena del Fiume Oglio ha raggiunto la quota idrometrica massima di **4,85 m**, da cui un livello idrico di **+24.83 m slm** (in ragione della quota dello zero idrometrico della stazione di Marcaria di +19.98 m slm).

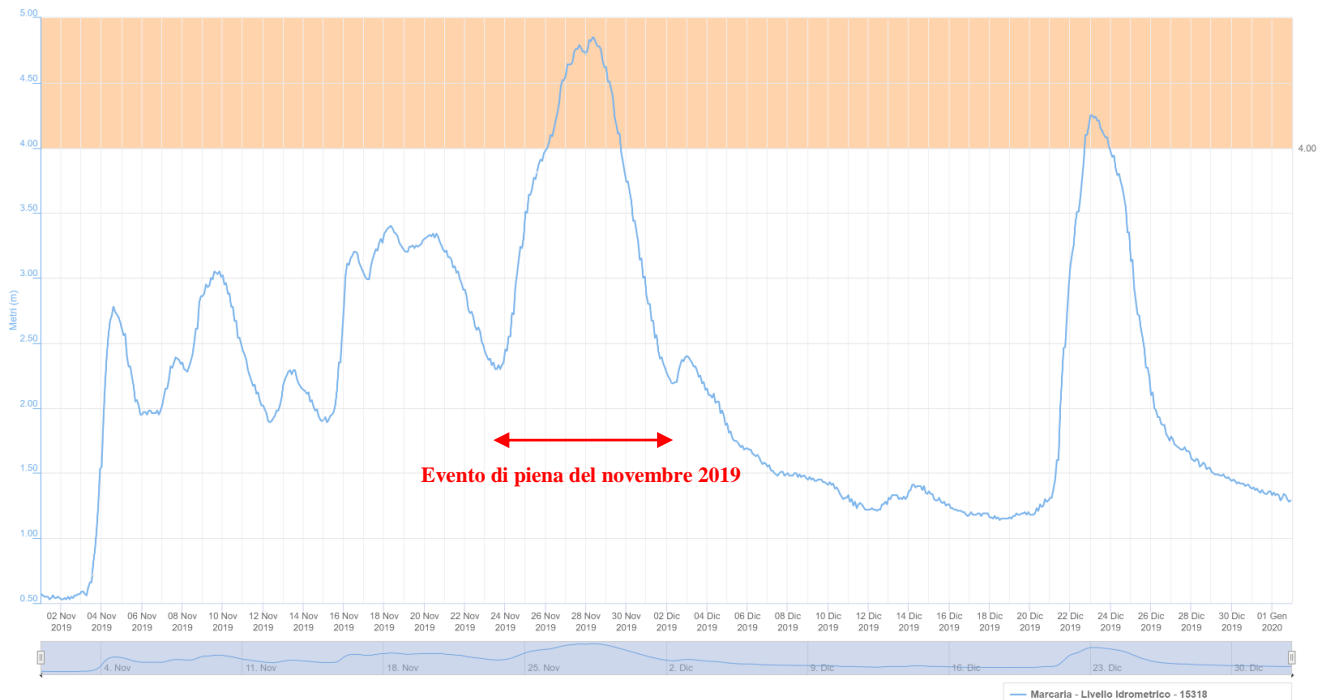


Figura 9 – Fiume Oglio: registrazione idrometriche presso la stazione di Marcaria, evento del novembre 2019 (fonte: AIPO).

Con riferimento ai documenti della pianificazione di bacino, ed in particolare ai livelli idrici per i differenti tempi di ritorno considerati sopra riportati, tale livello idrico (**+24.83 m slm**) corrisponderebbe ad un tempo di ritorno di 3-4 anni. Analizzando nel dettaglio le registrazioni idrometriche raccolte, il livello idrico massimo misurato durante l'evento del novembre 2019 (**+24.83 m slm**) è stato effettivamente raggiunto e/o superato almeno una volta ogni 4 anni, nell'ultimo ventennio, come mostrato nella figura seguente.

Verificata l'attendibilità della ricostruzione dell'evento del novembre 2019 (associabile quindi ad un tempo di ritorno di 4 anni), si è proceduto alla stima della corrispondente portata al colmo, sulla base dei dati forniti dall'Autorità di bacino del Fiume Po. Nello specifico, la portata associata ad un tempo di ritorno di 4 anni ammonta a **464.4 mc/s** (valore ricavato da interpolazione dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno, sopra indicati). Adottando quindi l'idrogramma di piena in forma adimensionale precedentemente introdotto, è stato ricostruito l'idrogramma di piena corrispondente all'evento del novembre 2019 (Figura 11). Nello specifico, l'idrogramma di piena ricavato ha una durata di circa 10 giorni, corrispondente alla durata della piena registrata presso l'idrometro di Marcaria, dal 23 novembre 2019 al 2 dicembre 2019.

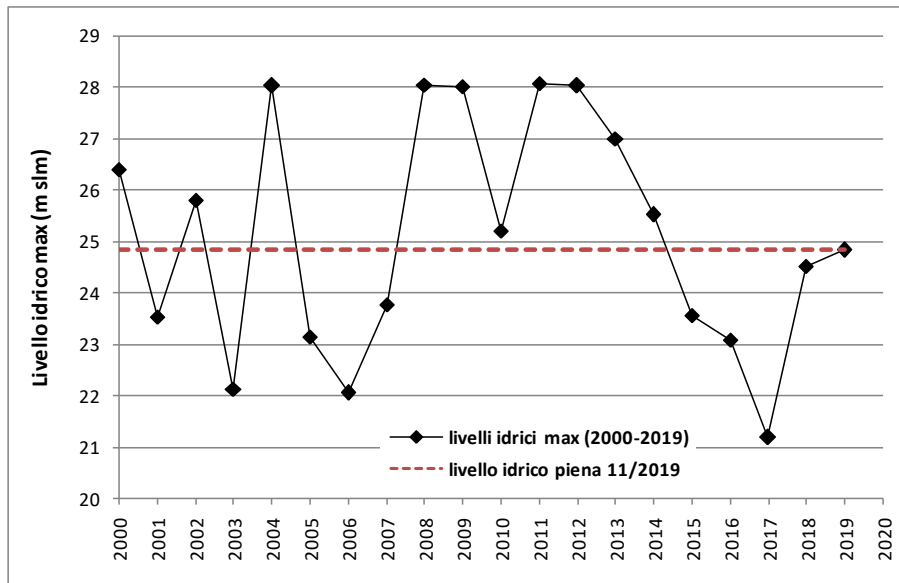


Figura 10 – Fiume Oglio: livelli idrici massimi raggiunti nell’anno, misurati presso la stazione di Marcaria, nell’ultimo ventennio.

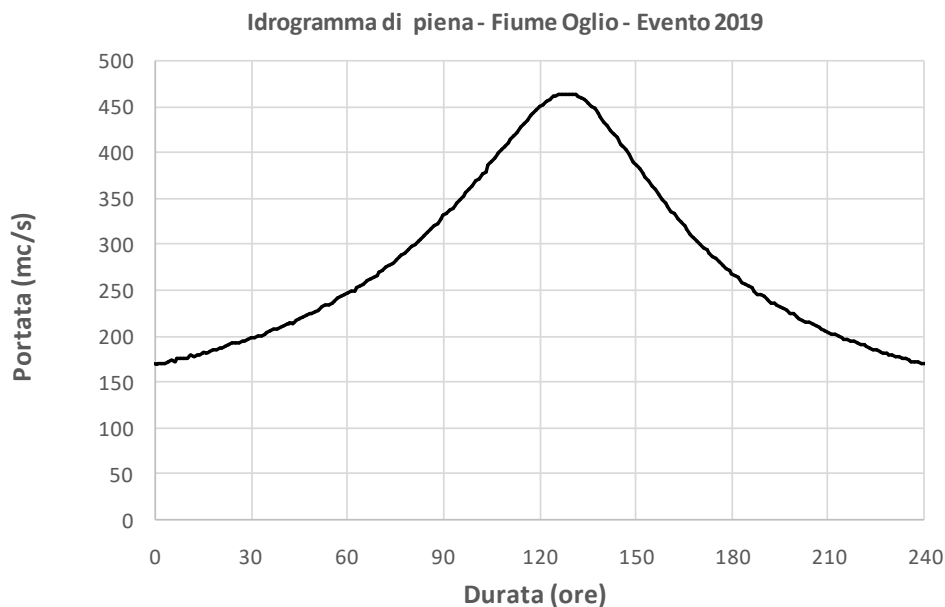



Figura 11 – Fiume Oglio: ricostruzione dell’idrogramma di piena dell’evento del novembre 2019.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

4.1.3. Definizione delle portate per il dimensionamento delle opere provvisionali

Durante la costruzione delle opere di attraversamento fluviale (nel caso specifico del nuovo Viadotto VI02 sul Fiume Oglio), cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione della portata di riferimento per il dimensionamento delle eventuali opere provvisionali del periodo transitorio.

A tal proposito, per la scelta della portata da utilizzare nella verifica della configurazione di cantiere, si è fatto riferimento alla curva di durata delle portate del Fiume Oglio, nel tratto fluviale sublacuale, riportata nei documenti della pianificazione di bacino.

Nello specifico, tale curva di durata è stata ricavata da procedure di regionalizzazione, a partire dall'elaborazione dei dati giornalieri di portata, indicati nelle Pubblicazioni del S.I.M.N., registrati presso alcune sezioni fluviali di interesse. Il risultato di tali analisi è rappresentato da una curva di durata adimensionale, $Q^*(D)$, nella forma:

$$Q^*(D) = \frac{Q(D)}{Q_m}$$

con Q_m = portata media annua, valutabile come:

$$Q_m = a \cdot S^b$$

in cui $a = 0.055$, $b = 0.95$ e S = area del bacino in kmq.

Per il tratto sublacuale del Fiume Oglio è fornita la curva di durata adimensionale riportata in Figura 12.

Per ricavare la curva di durata delle portate nella sezione di interesse, si è proceduto quindi alla stima della portata media annua, Q_m , considerando $S = 5746 \text{ kmq}$ (superficie del bacino del Fiume Oglio a Marcaria, come da Figura 5), da cui $Q_m = 205 \text{ mc/s}$.

In Figura 13 e in Tabella 4, si riporta la curva di durata delle portate adottata (alla sezione di chiusura del bacino presso Marcaria) in forma grafica e numerica.

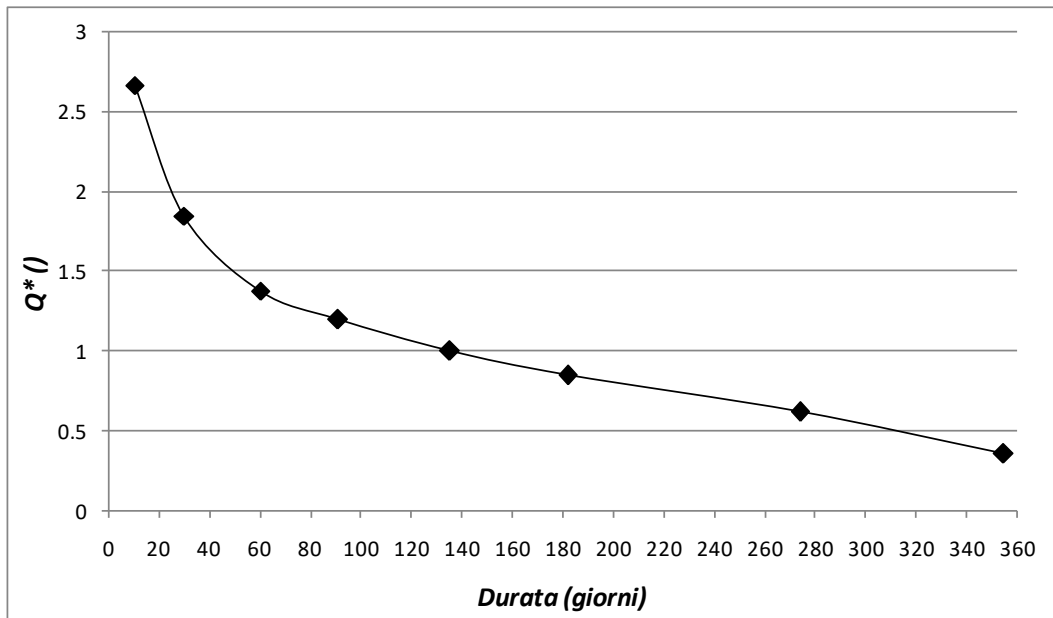


Figura 12 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate adimensionale, nel tratto fluviale sublacuale.

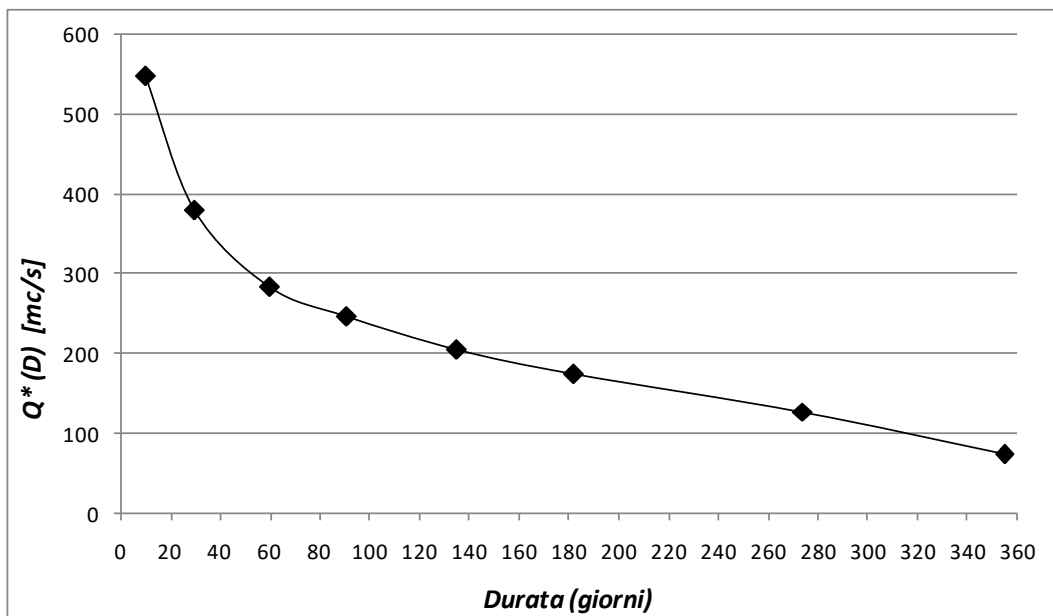


Figura 13 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate presso Marcara.


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Durata (giorni)	Q(mc/s)
10	547.4
30	379.3
60	282.9
91	246.0
135	205.0
182	174.3
274	127.1
355	73.8

Tabella 4 – Fiume Oglio: curva di durata delle portate presso Marcaria.

La portata di riferimento è scelta quindi in relazione alla durata delle lavorazioni in alveo, necessarie per la realizzazione del nuovo viadotto (VI02) e all'eventuale periodo di sospensione temporanea del cantiere ammissibile.

Per maggiori dettagli circa la configurazione delle opere provvisorie ed il corrispondente dimensionamento, si rimanda alla relazione idraulica annessa.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 24 di 35

4.2. CANALE DUGALE TAGLIATA

4.2.1. Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Ai fini della determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di progetto, sono stati considerati i risultati delle elaborazioni statistiche:

- condotte secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel, nell'ambito delle analisi idrologiche a corredo dello *“Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: - del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio”*;
- condotte secondo modelli di regionalizzazione (basati sulla distribuzione di probabilità GEV) dall'ARPA della Regione Lombardia,

delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura ricadenti nell'area di interesse.

4.2.1.1. Modello di Gumbel

Con riferimento al sottobacino di interesse del Canale Dugale Tagliata (con sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario esistente), sono considerate le curve di possibilità pluviometrica (CPP), dedotte dall'analisi statistica secondo Gumbel delle corrispondenti serie storiche di dati di pioggia, delle stazioni di misura di Cremona e Pieve San Giacomo (fonte: *“Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: - del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio”*), rappresentative del regime pluviometrico della zona.

Nella tabella seguente, si riportano i rispettivi valori dei parametri a e n , per differenti tempi di ritorno, delle CPP nella forma:

$$h(T_r, t) = a_{T_r} \cdot t^n$$

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

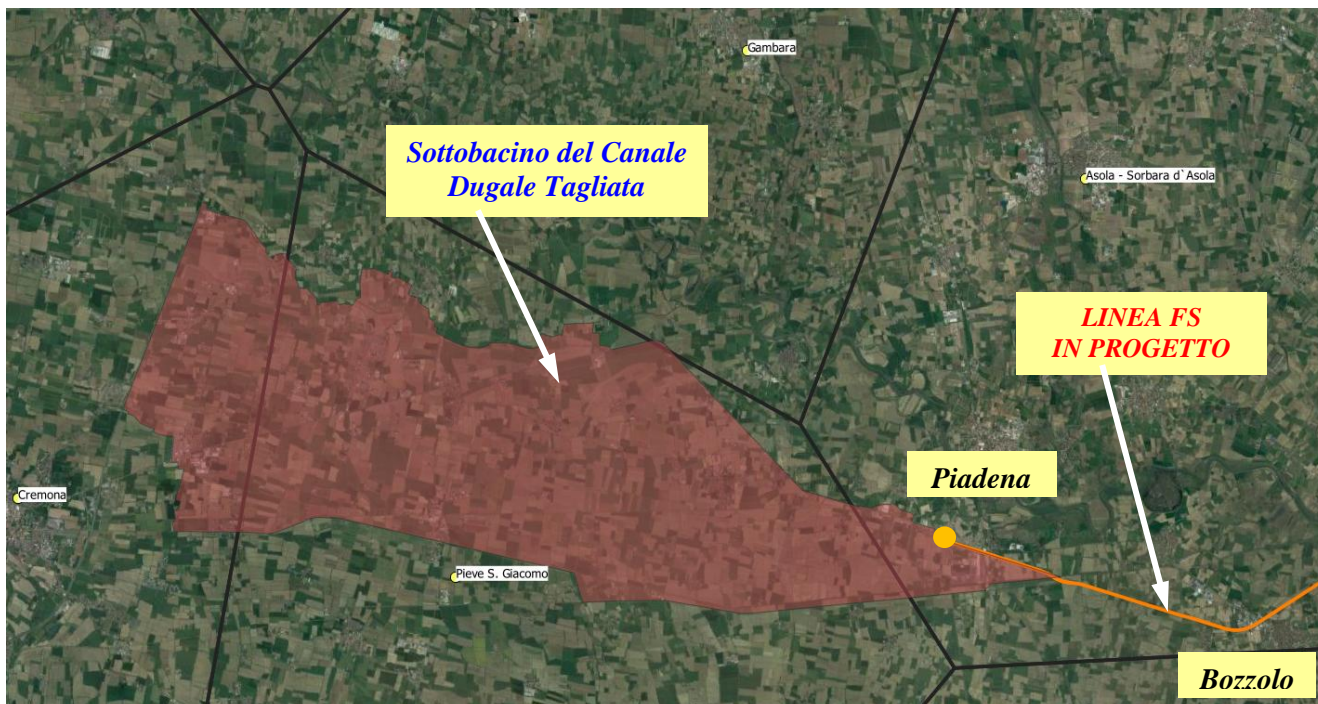



Figura 14 – Canale Dugale Tagliata: stazioni pluviometriche di riferimento, con relativi poligoni di Thiessen.

Stazione	Valori di n								Valori di a_{Tr}							
	2	10	20	50	100	200	300	500	2	10	20	50	100	200	300	500
Cremona	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	24.99	42.70	49.47	58.22	64.79	71.32	75.14	79.95
Pieve S. Giacomo	0.26	0.23	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21	26.64	50.99	60.31	72.37	81.41	90.42	95.68	102.3

Tabella 5 – Canale Dugale Tagliata: valori dei parametri a e n delle CPP di riferimento (secondo Gumbel).

4.2.1.2. Modelli di regionalizzazione

Nell'ambito del progetto SHAKEUP-2 in tema di *REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA* e di modellazione probabilistica ai fini della previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata, affidato dall'ARPA Lombardia al DIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, infrastrutture viarie e Rilevamento) del Politecnico di Milano sotto la responsabilità scientifica del Prof. Ing. Renzo Rosso, responsabile della Sezione CIMI (Costruzioni Idrauliche e

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 26 di 35

Marittime e Idrologia), sono stati formulati criteri e metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviometrico in Lombardia sviluppando, in particolare, la parametrizzazione della LSPP (linea segnalatrice di probabilità pluviometrica) per ogni sito stazione e per ogni punto “griglia” del territorio della Lombardia secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala invariante.

Il modello proposto (di tipo scala invariante) è stato identificato, controllato, tarato e validato in base ai dati della rete pluviometrica della Lombardia ed è stato quindi spazializzato all’intera regione tramite tecniche di estrapolazione geostatistica.

I parametri della distribuzione GEV, a_1 , n , ε , α e κ , sono quindi disponibili in formato raster, spazializzati su tutto il territorio lombardo.

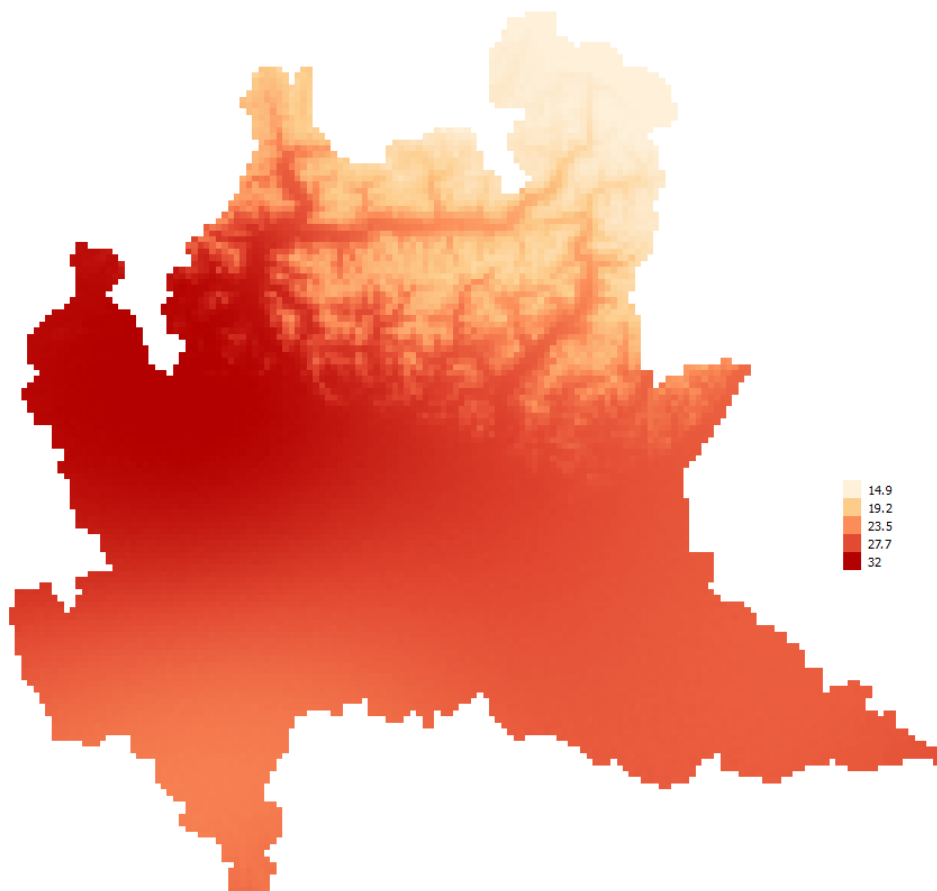



Figura 15 – Distribuzione GEV: valori del parametro a_1 spazializzati sul territorio lombardo.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001

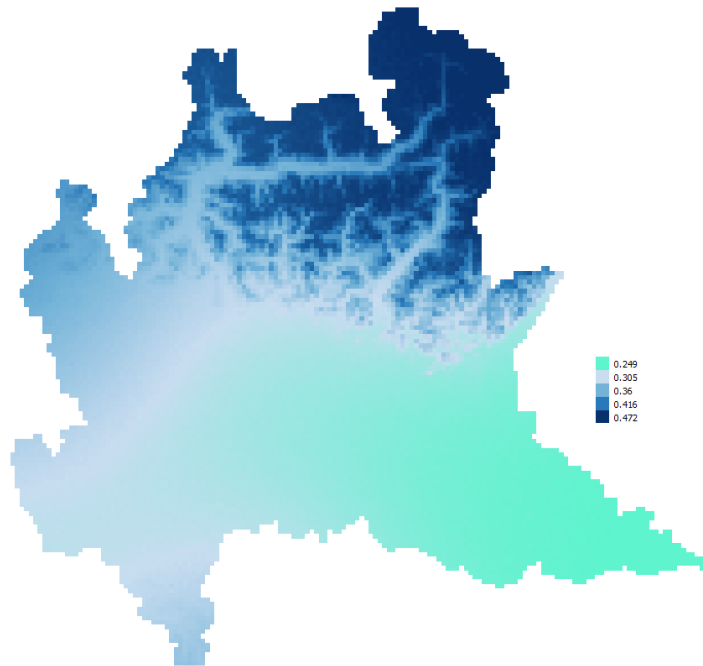


Figura 16 – Distribuzione GEV: valori del parametro n spazializzati sul territorio lombardo.

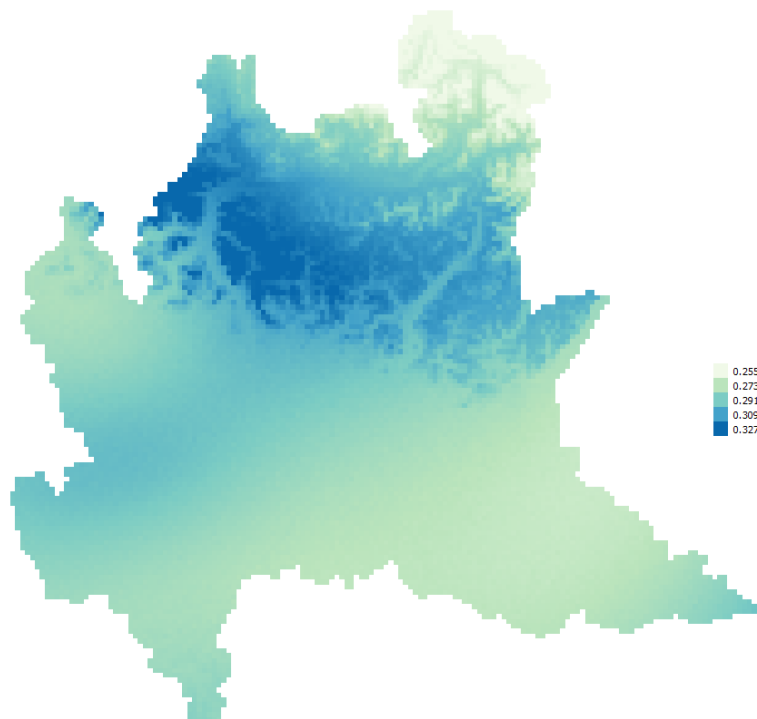



Figura 17 – Distribuzione GEV: valori del parametro α spazializzati sul territorio lombardo.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO				
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001

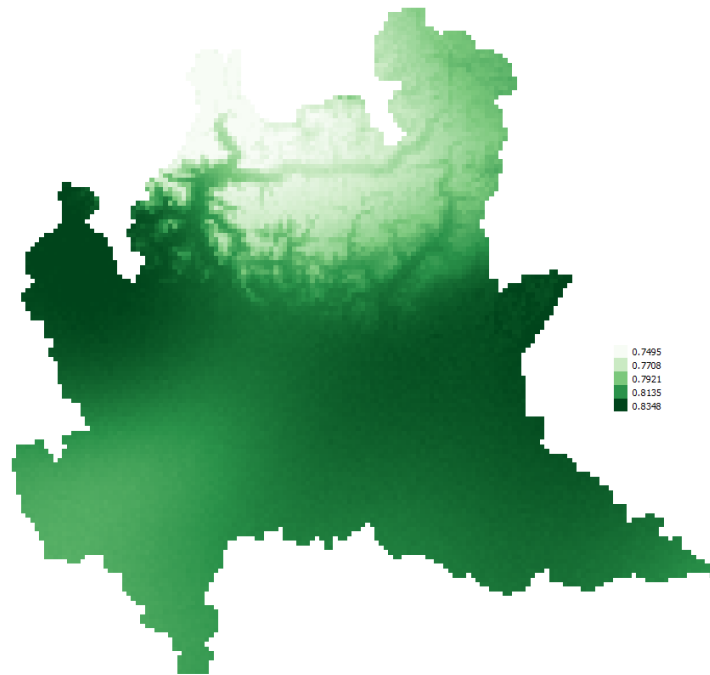


Figura 18 – Distribuzione GEV: valori del parametro ε spazializzati sul territorio lombardo.

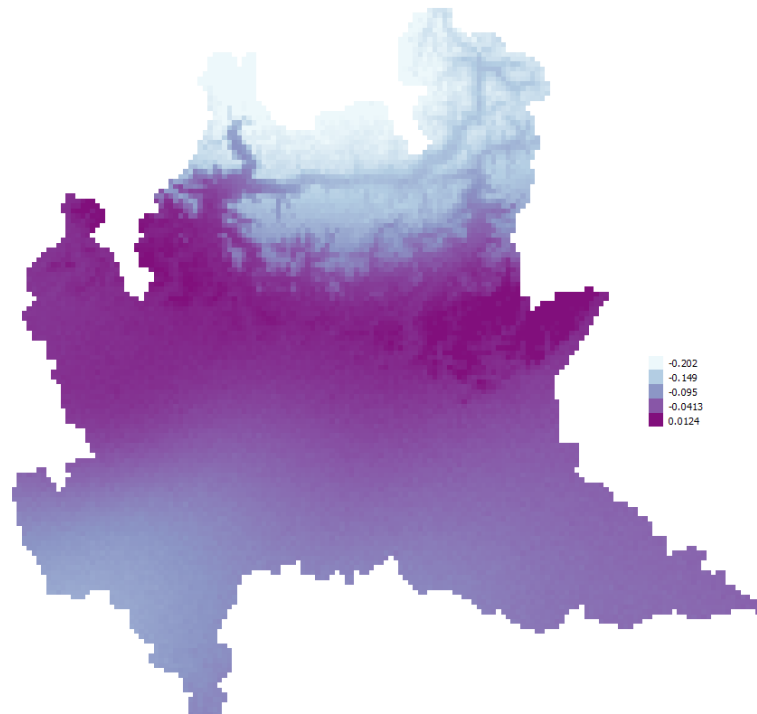



Figura 19 – Distribuzione GEV: valori del parametro κ spazializzati sul territorio lombardo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Noti i valori dei parametri della distribuzione GEV nel punto e/o nella zona di interesse, è possibile valutare l'altezza di pioggia, associata ad un tempo di ritorno T_r e alla durata D , come:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

con

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

I valori medi dei parametri a_1 , n , ε , α e k , all'interno del sottobacino del Canale Dugale Tagliata di interesse sono:

a_1	26.9
n	0.266
α	0.271
ε	0.822
k	-0.072


da cui sono stati quindi ricavati i corrispondenti parametri della curva di possibilità pluviometrica nella forma:

$$h(T_r, t) = a_{T_r} \cdot t^n$$

per i differenti tempi di ritorno considerati.

T_r (anni)	a_{T_r}	n
5	33.66	0.266
10	39.92	0.266
20	46.25	0.266
30	50.05	0.266
50	54.95	0.266
100	61.87	0.266
200	69.11	0.266
300	73.51	0.266
500	79.24	0.266

Tabella 6 – Canale Dugale Tagliata: valori dei parametri a e n delle CPP di riferimento (da modelli di regionalizzazione).

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

4.2.1.3. Curve di possibilità pluviometrica di progetto

Si riporta il confronto tra le CPP dedotte dagli studi disponibili sopra considerati ed analizzati. Nello specifico, a titolo di esempio, sono confrontate le CPP, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 200 anni, delle stazioni pluviometriche di Cremona e Pieve S. Giacomo, e quelle dedotte dagli studi dell'ARPA Lombardia.

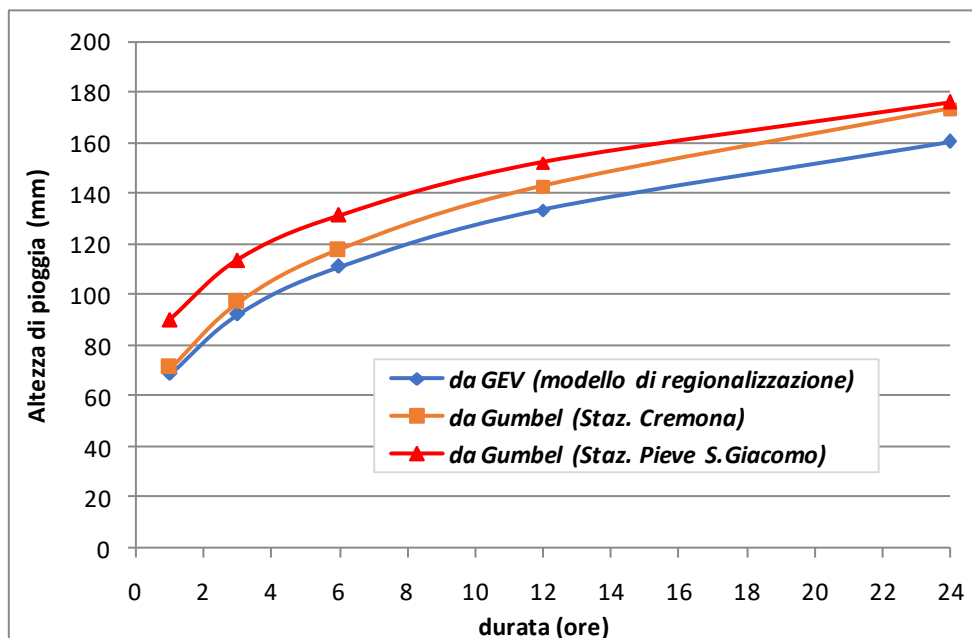



Figura 20 – Confronto tra le differenti CPP considerate, corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Con riferimento al grafico della figura precedente, le **CPP della stazione di Pieve S. Giacomo** risultano più cautelative. Pertanto, quest'ultime sono state applicate nei calcoli di seguito esposti.

4.2.2. Stima delle portate al colmo

Per la valutazione delle portate al colmo si è fatto riferimento al metodo razionale o cinematico che costituisce uno dei metodi più comuni e utilizzati in ambito idrologico. Il metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è valutata come:

$$Q_{\max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui Q_{\max} = portata di piena [m³/sec]; φ = coefficiente di deflusso; h = pioggia netta [m]; S = area del bacino [km²]; τ_c = tempo di corrivazione [ore]. La determinazione del tempo di corrivazione può effettuarsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per il sottobacino di interesse del Canale Dugale Tagliata, dalla notevole estensione (> 100 km²), può essere applicata la ben nota formula di Giandotti:

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

con S = area del bacino [km²]; L = lunghezza dell'asta principale [km]; h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.]; h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.].

Nel caso specifico, $\tau_c = 27$ ore.

Il coefficiente di deflusso è stato invece valutato applicando il metodo del Curve Number CN (SCS method), sulla base della copertura del suolo (all'interno dei singoli sottobacini in esame) riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 4° Livello (Ispra, 2012): in particolare, ad ogni codice del CLC relativo ad una specifica copertura del suolo è stato assegnato il relativo CN, dedotto da tabelle disponibili in letteratura, di seguito riportate. Il coefficiente di deflusso (φ) può essere dunque valutato come:

$$\varphi = \frac{P_e}{P}$$

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno Tr e una durata τ_c , $P = a \cdot \tau_c^n$; P_e = pioggia efficace, dipendente dal CN, valutabile come: $P_e = (P - 0.2 \cdot S)^2 / (P + 0.8 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$. Per il sottobacino in esame, **CN = 72.6** (classe II, categoria B, in relazione alla tipologia di copertura del suolo, "seminativi in aree irrigue e non irrigue" che caratterizza il bacino del Canale Dugale Tagliata).



RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA
TRATTA PIADENA - MANTOVA

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA
MAGGIORI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NM25 03 D 09 RI ID 00 01 001 A 32 di 35

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D	Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98	PRATI ARTIFICIALI COLTURE					
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95	FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE					
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95	UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I					
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95	SEMINATIVI E UNA CERTA					
CANTIERI	133	90	92	94	95	PRODUTTIVITÀ. SONO SEMPRE					
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84	POTENZIALMENTE RICONVERTITI A					
CIMITERI	143	57	77	85	89	SEMINATIVO. POSSONO ESSERE					
VIGNETI	221	72	81	88	91	RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89	SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE					
OLIVETI	223	72	81	88	91	ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
ARBORICOLTURA CON ESSENZE						RISAIE	2122	98	98	98	98
FORESTALI	224	67	78	85	89	VIVAI	2123	66	77	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89	COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE					
COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86	ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL					
COMPLESSI	242	63	73	82	88	VIGNETO	2412	59	74	82	86
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA						COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD					
COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI						ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI					
SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81	E SEMINATIVI ARBORATI CON					
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83	COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL					
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	313	39	51	63	70	25%)	2413	59	74	82	86
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89	BOSCO DI LATIFOGLIE	3111	39	51	63	70
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86	ARBORICOLTURA CON ESSENZE					
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98	FORESTALI (LATIFOGLIE)	3112	39	51	63	70
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90	BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100	CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100	FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE,					
SALINE	422	100	100	100	100	STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI					
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98	CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE					
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100	(ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI					
MARI	523	100	100	100	100	ECC.)	3221	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E						FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
DENSO	1111	89	92	94	96	MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87	GARIGA	3232	51	58	73	80
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E						AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
NUCLEIFORME A CARATTERE						AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80	SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E						AREE DUNALI NON COPERTE DA					
FABBRICATI RURALI A CARATTERE						VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE					
TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72	A 25M	3312	56	73	82	86
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E						AREE DUNALI CON COPERTURA					
COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95	VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A					
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI						25 M	3313	56	73	82	86
SERVIZI	1212	89	92	94	95	LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI					
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI						AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
(SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE						FILMII, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98	CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE						BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI,						BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96	LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A					
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO						PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
E SMISTAMENTO MERCÌ (INTERPORTI E						ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E					
SIMILI)	1223	92	93	94	95	STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI						ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
DISTRIBUZIONE						AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA					
(TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95	NATURALE	5231	100	100	100	100
DISCARICHE	1321	90	92	94	95	ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO,						PIOPPETI, SALICETTI, EUCALITTEI ECC.					
CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95	ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88	SUGHERETE	31122	39	51	63	70
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84	CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85	ALTRO	31124	39	51	63	70

Tabella 7 –Valori del Curve Number (CN) per le differenti coperture del suolo del Corine Land Cover al 4° livello (Elaborazione ADIS).

Nella tabella seguente, si riportano dunque i valori dell'intensità di pioggia (dedotti dalle CPP della stazioni di Pieve S. Giacomo, per le ragioni sopra esposte), del coefficiente di deflusso e della portata al colmo, per i differenti tempi di ritorno considerati.

I valori di portata al colmo ottenuti sono lievemente più cautelativi di quelli indicati dall'ente gestore del Canale Dugale Tagliata (i.e. *Consorzio di Bonifica Dugale Naviglio Adda Serio*), sopra citati (i.e. 61 mc/s per $Tr=20$ anni contro 71.2 mc/s per $Tr=20$ anni, ottenuto nel presente studio).

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

T_r (anni)	ϕ	i_{T_r, T_c} (mm)	Q (mc/s)
20	0.44	4.609	71.2
50	0.50	5.531	96.8
100	0.54	6.221	116.9
200	0.56	6.686	130.8
300	0.58	7.075	142.5
500	0.60	7.564	157.5

Tabella 8 – Canale Dugale Tagliata: portate al colmo per differenti tempi di ritorno.

I valori di portata al colmo indicati nella tabella precedente (in particolare, per i tempi di ritorno di 50, 200, 300, 500 anni, in accordo alle indicazioni riportate nella pianificazione di bacino circa la definizione delle aree di pericolosità idraulica, nonché della normativa nazionale - NTC2018 - in materia di compatibilità degli attraversamenti fluviali e del Manuale di progettazione ferroviaria) sono stati quindi adottati nelle verifiche idrauliche condotte per il Canale Dugale Tagliata, secondo un modello numerico monodimensionale, in regime di moto permanente. Per maggiori dettagli, si rimanda alla relazione idraulica annessa.

4.2.3. Definizione della portata di cantiere per il dimensionamento delle opere provvisionali


Ai fini della realizzazione del nuovo viadotto VI01 sul Canale Dugale Tagliata, si è proceduto alla definizione della cosiddetta “portata di cantiere”, da considerare nella verifica delle eventuali opere provvisionali.

In tal caso, a differenza del Fiume Oglio, non si dispone di una curva di durata delle portate; si è proceduto quindi applicando la metodologia dell’Autorità di Bacino del Fiume Po (Direttiva n. 2/1999).

Secondo tale metodologia, l’assegnazione del periodo di ritorno T_r della portata di riferimento per il dimensionamento di un’opera provvisoria, e quindi al controllo di un definito evento limite, comporta l’assunzione di un definito grado di rischio.

La misura del rischio cui l’opera è esposta può calcolarsi definendo, prefissato T_r , la durata della vita dell’opera; o meglio, la durata della vite dell’opera: per esempio, l’opera fondamentale, prima; quelle provvisorie, poi.

Il rischio $R(N)$, se N è il numero d’anni che misura la durata della vita dell’opera, per un definito T_r , si esprime mediante la seguente relazione:

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

$$R(N) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^N$$

Con riferimento al Manuale di Progettazione RFI, il tempo di ritorno di progetto per le piene dei corsi d'acqua, con $S > 10 \text{ km}^2$ (come nel caso in esame), attraversati da ponti/viadotti ferroviari, è pari a: $T_r = 300$ anni.

Per il dimensionamento delle opere provvisorie necessarie alla costruzione dell'opera e per la verifica di compatibilità idraulica della stessa nonché delle aree di cantiere annesse, assunta una durata della fase transitoria pari a D , il tempo di ritorno di riferimento da adottare per il calcolo delle portate di piena durante le fasi di cantiere viene determinato mediante la relazione precedente, una volta accettato il medesimo grado di rischio calcolato per le opere principali. Si avrà pertanto:


$$T_r = \frac{1}{1 - (1 - R(N))^{1/D}} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{N/D}}$$

Essendo $N = 75$ anni la durata della vita utile (VU) dell'opera in progetto (viadotto VI01 sul Canale Dugale Tagliata), il rischio che possano essere superati gli eventi di riferimento vale circa: $R(300) = 0.22$.

La durata dei lavori si attesta a 6 mesi circa; il tempo di ritorno da adottare per il calcolo della portata di piena di riferimento si attesta quindi a $T_r = 2$ anni. Adottando la metodologia di calcolo delle portate sopra definita (i.e. metodo razionale e CPP della stazione di Pieve S. Giacomo), si ottiene il seguente valore di portata di cantiere:

$$Q = 17.6 \text{ mc/s } (T_r = 2 \text{ anni})$$

Volendo assumere un rischio inferiore, ad es. $R = 5 \%$, il tempo di ritorno da adottare per il calcolo della portata di piena di riferimento (sempre per una durata dei lavori di 6 mesi) si attesterebbe invece a $T_r = 10$ anni, da cui una portata di cantiere $Q = 55.9 \text{ mc/s } (T_r = 10 \text{ anni})$, valutata sempre con la metodologia sopra definita.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A	FOGLIO 35 di 35

5. BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

ADIS . *Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica*. Articolo 47 delle NTA del PAI della Regione Sardegna, 2008.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

De Michele C., Rosso R., Rulli M.C., *IL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA-Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata*. DIIAR-CIMI, Politecnico di Milano, ARPA Lombardia.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., *Appunti di idrologia 3*. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI (2019).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.