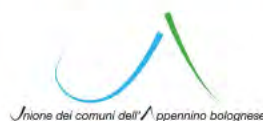


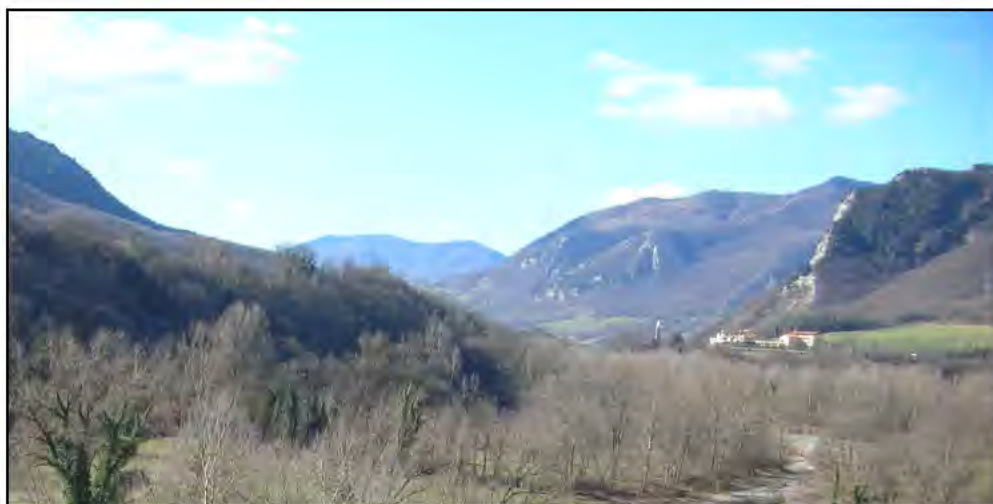
FSC

Fondo per lo Sviluppo
e la Coesione

Intervento finanziato con risorse
**FSC 2014-2020 – Piano operativo della Città
metropolitana di Bologna**
Delibera CIPE n.75/2017



Comune di Vergato



**Progetto per la realizzazione del
"PERCORSO CICLOTURISTICO EUROVELO 7
TRATTA MARZABOTTO-SILLA"
(Stralcio funzionale Ponte di Sperticano - Riola
nei Comuni di Marzabotto, Grizzana Morandi e Vergato)**

COMUNE DI VERGATO PROGETTO DEFINITIVO

**Studi e verifiche idrauliche
Relazione idraulica**

R.U.P.

ING. EMILIO PEDONE

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

ING. EMILIO PEDONE

GEOL. ALDO FANTINI

ING. FRANCESCO BORRI

DOTT. FOR. ALESSANDRA PESINO

ELABORATO D2.1

REVISIONE 00

DATA Aprile 2020

SOMMARIO

1. Premessa	1
2. Inquadramento territoriale e nella pianificazione sul rischio idraulico	3
2.1. Inquadramento territoriale	3
2.2. Inquadramento nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico	3
3. Analisi dei tratti 1 – 2 in località Marano e Riola di Vergato	4
3.1. Individuazione dei tratti	4
3.2. Esecuzione delle verifiche e risultati	5
3.3. Considerazioni e indicazioni	6
4. Analisi del tratto 3 in località Lissano	6
4.1. Individuazione del tratto	6
4.2. Esecuzione delle verifiche e risultati	7
4.3. Considerazioni e indicazioni	8
5. Analisi del tratto 4 in località Fornace e Salvaro	8
5.1. Individuazione	8
5.2. Esecuzione delle verifiche e risultati	8
5.3. Considerazioni e indicazioni	9
6. Analisi del tratto 5 in località Pioppe di Salvaro	10
6.1. Premessa e ipotesi progettuali precedenti	10
6.2. Individuazione del tratto	11
6.3. Esecuzione delle verifiche e risultati	11
6.3.1. Modellazione del sottotratto da sezione V11 a sezione V7	11
6.3.2. Verifiche sul sottotratto V7 – V5	12
6.3.3. Risultati	13
6.4. Considerazioni e indicazioni	14
7. Analisi del tratto 6 tra Sibano e il ponte di Sperticano	14
7.1. Premessa	14
7.2. Individuazione del tratto	14
7.3. Esecuzione delle verifiche e risultati	15
7.3.1. Verifiche sul sottotratto V4 – V3	15
7.3.2. Modellazione del sottotratto da sezione V3 a sezione V1	16
7.3.3. Risultati	17
7.4. Considerazioni e indicazioni	17
8. Studio idrologico dei bacini dei rii minori e stima delle portate di piena	19
8.1. Metodologia applicata	20
8.2. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3 in località Marano	23
8.2.1. Caratteristiche dei bacini	23
8.2.2. Portate di massima piena	24
8.3. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 4 e BAC 5 in località Lissano	25
8.3.1. Caratteristiche dei bacini	25
8.3.2. Portate di massima piena	26
8.4. Stima della portata di piena del bacino BAC 6 in località Carbona	28
8.4.1. Caratteristiche del bacino	28
8.4.2. Portata di massima piena	28
8.5. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 7, BAC 8 in località Salvaro	30
8.5.1. Caratteristiche dei bacini	30
8.5.2. Portate di massima piena	31
8.6. Stima della portata di piena del bacino BAC 9 in località Pioppe di Salvaro	32
8.6.1. Caratteristiche del bacino	32
8.6.2. Portata di massima piena	33
8.7. Stima della portata di piena del bacino BAC 10 in località Sibano	34
8.7.1. Caratteristiche del bacino	34
8.7.2. Portata di massima piena	34
8.8. Sintesi dei risultati	36
9. Dimensionamento e verifiche idrauliche degli attraversamenti in progetto sui rii minori	37
9.1. Formulazione utilizzata	37
9.2. Sintesi dei calcoli e dei risultati delle verifiche	38
9.2.1. Nuovi attraversamenti sui fossi corrispondenti ai bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3	38
9.2.2. Nuovi attraversamenti sul Fosso di Cera (BAC 4) e sul Fosso Piana (BAC 5)	39
9.2.3. Nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 6	40
9.2.4. Nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 7	40
9.2.5. Nuovi attraversamenti sul Rio della Casalina (BAC 8) e sul Rio Canova (BAC 9)	41
9.2.6. Nuovo attraversamento sul Rio Ca' d'Urano (BAC 10)	42

ELABORATO D.2.2

ALLEGATI PARTE 1 – ANALISI RISCHIO IDRAULICO FIUME RENO

ALLEGATO D.2.2.1 – Zonizzazioni P.S.A.I. del Fiume Reno con individuazione del tracciato cicloturistico in progetto

ALLEGATO D.2.2.2 – Planimetrie dei tratti soggetti a studio idraulico con ubicazione delle sezioni di verifica

ALLEGATO D.2.2.3 – Risultati verifiche idrauliche tratti 1 – 2 – 3 – 4

ALLEGATO D.2.2.4 – Risultati verifiche idrauliche e simulazioni di piena tratto 5 Pioppe di Salvaro - Sibano

ALLEGATO D.2.2.5 – Risultati verifiche idrauliche e simulazioni di piena tratto 6 Sibano – ponte di Sperticano

ELABORATO D.2.3

ALLEGATI PARTE 2 – ATTRAVERSAMENTI RII MINORI

ALLEGATO D.2.3.1 – Planimetrie del tracciato con individuazione degli alvei demaniali e dei nuovi attraversamenti in progetto

ALLEGATO D.2.3.2 – Limiti e idrografia dei bacini idrografici dei rii minori

ALLEGATO D.2.3.3 – Curve di possibilità pluviometrica e risultati dei calcoli di portata di piena dei bacini dei rii minori

ALLEGATO D.2.3.4 – Risultati verifiche idrauliche nuovi attraversamenti in progetto sui rii minori

1. Premessa

Nella presente relazione sono raccolti e descritti gli studi idrologici e idraulici eseguiti a supporto del progetto per la realizzazione del percorso cicloturistico “Eurovelo 7” – Ciclovia del Sole, tratta Marzabotto – Silla, che si sviluppa lungo la vallata del Fiume Reno interessando i territori dei Comuni di Grizzana Morandi, Vergato e Marzabotto, Città Metropolitana di Bologna. Il tracciato del percorso in progetto ha origine dal ponticello sul Fiume Reno in località Marano, già attualmente ad uso ciclabile e pedonale, e termina al ponte di Sperticano nei pressi della frazione Pian di Venola, dove si collega al percorso ciclo pedonale esistente, per una lunghezza complessiva di 23 km circa.

Sono previsti tratti su viabilità secondaria esistente e tratti di nuova realizzazione che si sviluppino sia in destra sia in sinistra idraulica del Fiume Reno, come indicato negli elaborati specifici di progetto definitivo.

Per quanto riguarda gli attraversamenti del Fiume Reno saranno utilizzati i ponti esistenti in corrispondenza delle località Marano (ponticello già attualmente ciclo pedonale), Riola di Vergato (ponte S.P. Riola – Camugnano), Vergato (ponte S.P. Vergato – Grizzana), e Pioppe di Salvaro. Per i numerosi attraversamenti dei rii e fossi minori saranno utilizzati gli attraversamenti e i ponticelli esistenti (per i tratti che si sviluppano su tracciati esistenti) e saranno costruiti nuovi attraversamenti lungo i tratti di nuova realizzazione, mediante l'utilizzo di tubazioni o elementi scatolari prefabbricati di idonee dimensioni come specificato negli elaborati di progetto.

Lungo i tratti di nuova realizzazione che maggiormente si avvicinano all'alveo del Fiume Reno sono stati studiati percorsi il più possibile protetti relativamente al rischio idraulico connesso al fiume stesso e la quota di progetto del piano ciclabile e calpestabile è stata portata a livelli generalmente pari a quelli delle portate di massima piena centennali, come meglio illustrato nel corso del presente elaborato. Per il solo tratto Sibano – ponte di Sperticano non è stato per il momento possibile prevedere interventi “strutturali” di difesa del rischio idraulico e pertanto è prevista la chiusura del tratto in caso di piena del Fiume Reno e l'installazione di un sistema di allerta in tempo reale per la gestione del rischio.

Tutti gli interventi in progetto sono illustrati nelle tavole grafiche e negli elaborati di progetto definitivo ai quali si rimanda per la completa visione di tutti i dettagli.

Il presente studio si articola in due parti principali, descritte nelle pagine seguenti:

- 1) Analisi del rischio idraulico connesso al Fiume Reno e relativi interventi di mitigazione
- 2) Stima delle portate di massima piena dei rii minori e dimensionamento idraulico dei relativi attraversamenti in progetto

Per quanto riguarda la parte 1), il lavoro si è svolto attraverso le seguenti fasi:

- Analisi del progetto del nuovo percorso ciclo pedonale con particolare riguardo ai tratti che interferiscono con la dinamica fluviale del Fiume Reno;
- Sopralluoghi per visionare lo stato dei luoghi in corrispondenza di tali tratti;
- Raccolta e organizzazione dei dati territoriali cartografici, topografici, idrologici e idraulici necessari per gli studi;
- Individuazione e numerazione dei tratti interferenti con il Fiume Reno (sono stati individuati e delimitati 6 tratti, numerati in ordine da monte verso valle);
- Determinazione dei livelli di massima piena del Fiume Reno per i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni in corrispondenza di specifiche sezioni di verifica del percorso in progetto posizionate lungo i tratti 1, 2, 3, 4 e lungo alcune parti dei tratti 5 e 6; contestuali verifiche

idrauliche del tracciato, valutazione del rischio e indicazioni sulla quota di progetto del piano ciclabile e calpestabile per i tratti di nuova realizzazione;

- Modellazione idraulica del Fiume Reno lungo le parti più critiche dei tratti 5 e 6 per i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni, con stima dei livelli di massima piena, verifiche idrauliche del tracciato adiacente, valutazione del rischio e indicazioni sulla gestione del rischio lungo il tratto 6.

La parte 2) ha invece previsto le seguenti fasi:

- Individuazione dei principali rii minori interessati dai nuovi attraversamenti del percorso in progetto: sono stati individuati 10 rii di cui 9 demaniali (corrispondenti alla totalità dei corsi d'acqua demaniali interessati da nuove opere di attraversamento);
- Studio idrologico dei 10 bacini imbriferi dei rii minori individuati (denominati *BAC 1, ..., BAC 10*) chiusi in corrispondenza dei nuovi attraversamenti da realizzare, con stima delle portate di massima piena attendibili per il tempo di ritorno 200 anni;
- Dimensionamento e verifiche idrauliche delle nuove opere di attraversamento sui 10 rii individuati;

I dati di base utilizzati nel presente studio sono costituiti dalla cartografia tecnica regionale in scala 1:5.000 (Database Topografico Regionale – D.B.T.R.), dai rilievi topografici appositamente eseguiti per il progetto del percorso cicloturistico, dalle sezioni trasversali del Fiume Reno eseguite nell'ambito dei rilievi stessi e di quelle realizzate per la modellazione idraulica a supporto del P.S.A.I. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico), gentilmente fornite in formato vettoriale dai tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna, dal tracciato del percorso cicloturistico in progetto, dalle zonizzazioni del rischio idraulico di P.S.A.I. del Fiume Reno e dai limiti degli alvei demaniali forniti in formato GIS dai tecnici dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese.

Per i dati relativi alle portate e ai livelli di piena del Fiume Reno si è fatto riferimento ai risultati delle simulazioni idrauliche svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume stesso e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I.

Per lo studio idrologico dei bacini dei rii minori si è infine fatto uso dei dati pluviometrici contenuti negli Annali Idrologici realizzati da ARPAE e delle immagini aeree *Google Earth*.

Oltre alla presente relazione lo studio idraulico eseguito si completa con gli allegati grafici e numerici raccolti negli Elaborati D.2.2 e D.2.3, che ne costituiscono parte fondamentale.

2. Inquadramento territoriale e nella pianificazione sul rischio idraulico

2.1. Inquadramento territoriale

Il percorso cicloturistico in progetto si sviluppa lungo la valle del Fiume Reno tra le località di “Marano” e “Pian di Venola” (ponte di Sperticano) per una lunghezza complessiva di 23 km circa interessando i comuni di Grizzana Morandi, Vergato e Marzabotto.

Il tracciato si sviluppa in parte attraverso strade e sentieri esistenti (alcuni da sistemare / ripristinare), in parte su piste di nuova realizzazione, secondo quanto specificato negli elaborati di progetto, a tratti in destra e a tratti in sinistra del Fiume Reno.

Per quanto concerne le opere e gli interventi di carattere idraulico, lungo il tracciato sono presenti 4 attraversamenti del Fiume Reno, tutti su ponti esistenti, e svariati attraversamenti dei rii e fossi minori, demaniali e non, per i quali saranno in parte utilizzati i manufatti esistenti (per i tratti di percorso lungo le strade esistenti) e in parte realizzati nuovi attraversamenti (per i tratti di percorso di nuova esecuzione), adeguatamente dimensionati e con le caratteristiche riportate negli elaborati di progetto.

Lungo i tratti di nuova realizzazione che più si avvicinano al Fiume Reno sono inoltre previsti alcuni interventi di mitigazione del rischio idraulico da esondazione del fiume stesso, consistenti essenzialmente in rialzi della quota del piano ciclabile in modo da porsi al di sopra dei livelli di massima piena attendibili, come meglio spiegato nel corso della presente relazione.

Topograficamente l'intero percorso cicloturistico ed i relativi interventi idraulici sono compresi all'interno degli elementi n°237062, 237073, 237074, 237101, 237103, 237104, 237131, 237133, 237134 e 237144 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia – Romagna.

2.2. Inquadramento nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico

Per quanto concerne il rischio idraulico, il tracciato cicloturistico in progetto è così inquadrato nella pianificazione vigente del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.).

Il Fiume Reno fa parte del reticolo idrografico principale, come definito dall'art. 4 delle Norme del vigente P.S.A.I. redatto dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno. Per tutto il tratto di interesse l'alveo attivo è zonizzato e la relativa larghezza è visibile in colore azzurro nelle planimetrie dell'Allegato D.2.2.1.

Il percorso in progetto interessa, a tratti, l'alveo attivo, le fasce di pertinenza fluviale montane (PF.M) e le aree ad alta probabilità di inondazione individuate dal P.S.A.I. in destra e in sinistra del Fiume Reno (visibili in colore arancione e rosso nelle planimetrie dell'Allegato D.2.2.1).

Il percorso cicloturistico in progetto ricade inoltre, a tratti, nelle aree a scenario di pericolosità M – P2 (alluvioni poco frequenti) e, per i tratti maggiormente vicini al Fiume Reno, nelle aree a pericolosità H – P3 (alluvioni frequenti) del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) come coordinato con il P.S.A.I.

Parte 1: Analisi del rischio idraulico connesso al Fiume Reno e relativi interventi di mitigazione

In questa prima parte dello studio si esaminano le interferenze del percorso cicloturistico in progetto con la dinamica d'alveo del Fiume Reno, sia per quanto riguarda l'esondabilità connessa agli eventi di piena, sia per quanto riguarda i fenomeni di erosione e deposito del materiale costituente l'alveo.

Per i tratti che risulteranno maggiormente a rischio si illustrano poi gli interventi che, in accordo col progettista, sono stati individuati per la mitigazione del rischio stesso.

L'esame di tali interferenze viene svolto per i seguenti tratti, elencati da monte verso valle, che sono quelli più vicini al Fiume Reno e che pertanto risentono direttamente dei fenomeni di dinamica d'alveo sopra citati:

- **tratto 1: Marano**
- **tratto 2: Riola di Vergato**
- **tratto 3: Lissano**
- **tratto 4: Fornace – Salvaro**
- **tratto 5: Pioppe di Salvaro – Sibano**
- **tratto 6: Sibano – ponte di Sperticano**

Nei paragrafi successivi sono illustrate le analisi condotte tratto per tratto, i relativi risultati, le considerazioni e le indicazioni relative agli interventi di mitigazione del rischio da inserire nel progetto del percorso cicloturistico.

Negli allegati D.2.2.2, D.2.2.3, D.2.2.4 e D.2.2.5 sono invece contenuti l'individuazione planimetrica dei tratti, i risultati grafici e numerici delle analisi e delle verifiche idrauliche svolte.

3. Analisi dei tratti 1 – 2 in località Marano e Riola di Vergato

In questo paragrafo vengono eseguite le analisi sul rischio idraulico relative ai primi due tratti del percorso che si trovano nelle immediate vicinanze del Fiume Reno: il tratto in destra idraulica prossimo al ponte ciclo pedonale esistente tra le località "Maranino" e "Casette" (tratto 1) e il tratto in sinistra idraulica nei pressi degli impianti sportivi di Riola di Vergato (tratto 2).

Tali tratti sono inquadrati nelle 2 planimetrie su base cartografica D.B.T.R. Emilia – Romagna in scala 1:5.000 contenute nell'Allegato D.2.2.2.

3.1. Individuazione dei tratti

Il tratto 1 si sviluppa per una lunghezza di 120 m circa a partire dal ponte ciclopeditonale esistente, interessando aree di alveo attivo, ad alta probabilità di inondazione e di pertinenza fluviale (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

In questo tratto il tracciato sarà realizzato per i primi 80 m circa su strada esistente (strada che porta alla località "Casetta"), sottoattraversando la ferrovia Bologna – Porretta Terme mediante un sottopasso esistente, e per i restanti 40 m circa su tracciato di nuova realizzazione che proseguirà poi in direzione Riola lungo il versante destro idrografico, salendo di quota e uscendo così dalla fascia di pertinenza fluviale.

Il tratto 2 sottoposto a verifica si sviluppa per una lunghezza di circa 700 m in adiacenza al Fiume Reno, in gran parte su strade pubbliche esistenti fino a giungere nei pressi dell'area sottostante la zona industriale "Canova" (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.2.2), da dove inizierà un tracciato di nuova realizzazione che salirà di quota posizionandosi ben al di sopra dei massimi

livelli di piena del fiume. Il tratto esaminato ricade per la quasi totalità nell'area ad alta probabilità di inondazione individuata dal P.S.A.I. in sinistra del Fiume Reno (si veda l'Allegato D.2.2.1).

3.2. Esecuzione delle verifiche e risultati

Per le verifiche idrauliche di questi tratti si è fatto uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I. (Tabella 4: "Livelli e portate ottenuti dall'involuppo dei massimi per Tr 30 e 200 anni, in ogni sezione trasversale utilizzata nello schema di calcolo, relativamente al tratto montano del Fiume Reno), ricavando i livelli di massima piena in corrispondenza di specifiche sezioni di verifica del percorso cicloturistico in progetto, posizionate in punti significativi per la valutazione del rischio idraulico.

Tali sezioni sono state costruite sulla base della planimetria di rilievo topografico in coordinate Gauss – Boaga appositamente realizzata per il percorso in progetto, controllando la coerenza del sistema di riferimento altimetrico del rilievo con quello delle sezioni del P.S.A.I. (gentilmente fornite in formato vettoriale CAD dai tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna). Sono così state ottenute 5 sezioni di verifica contrassegnate dai codici V27 – V23, di cui 2 sul tratto 1 e 3 sul tratto 2, posizionate come da planimetrie dell'Allegato D.2.2.2.

La determinazione dei livelli di piena per i tempi di ritorno Tr 30 e 200 anni è avvenuta in ambiente CAD a partire dalla stessa planimetria di rilievo sulla quale sono state posizionate sia le sezioni di verifica del percorso sia le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino di cui sono noti i livelli di piena; successivamente si sono calcolati i livelli di piena nelle sezioni di verifica procedendo per interpolazione tra le sezioni con i livelli di piena noti.

In alcuni casi le sezioni di verifica si trovavano nella stessa posizione di quelle dell'ex Autorità di Bacino e dunque si sono attribuiti direttamente i livelli di piena leggendoli dalla Tabella 4.

È stato inoltre ricavato per ciascuna sezione un livello di piena con buona approssimazione corrispondente all'evento di tempo di ritorno Tr 100 anni, attraverso un rapporto di proporzionalità con i livelli per Tr 30 e 200 anni ottenuto dall'analisi dei livelli di piena nei tratti di Fiume Reno più a valle sottoposti a modellazione idraulica nell'ambito del presente studio (tratti Pioppe – Sibano e Sibano – ponte di Sperticano, paragrafi 6 e 7).

Nella tabella sottostante si riportano, per ciascuna sezione e per i tempi di ritorno Tr 30, 100 e 200 anni, i livelli di massima piena così ricavati, insieme ai corrispondenti valori delle portate ottenuti sempre dalla Tabella 4 della relazione di P.S.A.I.

Nell'Allegato D.2.2.3 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena per i 3 tempi di ritorno considerati.

SEZIONE DI VERIFICA	SEZIONI P.S.A.I.	Q_{max30} [m ³ /s]	L_{max30} [m s.l.m.]	L_{max100} [m s.l.m.]	Q_{max200} [m ³ /s]	L_{max200} [m s.l.m.]
V27	122, 121	697	265,40	265,80	911	266,00
V26	121	697	264,00	264,35	911	264,50
V25	117	697	243,90	244,45	910	244,80
V24	115	1039	240,50	241,00	1358	241,30
V23	AAT	1039	239,00	239,50	1358	239,80

Tabella 1: Livelli di massima piena del Fiume Reno in corrispondenza delle sezioni di verifica dei tratti 1 e 2 del percorso cicloturistico per $Tr = 30, 100, 200$ anni, ricavati dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno (Q_{max} = portata di massima piena; L_{max} = livello corrispondente alla massima piena). Si indicano anche le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino (SEZIONI P.S.A.I.) di riferimento per i calcoli.

3.3. Considerazioni e indicazioni

Per quanto riguarda il tratto 1 si osserva che il piano viabile della strada esistente che ospiterà il percorso cicloturistico si trova leggermente al di sopra del livello di massima piena trentennale e circa 40 cm al di sotto del livello di massima piena centennale (si veda la sezione V27).

Nel breve tratto di nuova realizzazione che si trova nella fascia di pertinenza fluviale del Fiume Reno oltre la ferrovia (sezione V26), la quota del terreno si trova invece attualmente al di sotto del livello di massima piena trentennale di circa 60 cm; pertanto si consiglia, vista anche la breve lunghezza di questo tratto (circa 40 m), di rialzare la quota del piano ciclabile di progetto di circa 1,00 m in modo da portarla a quota 264,35 m s.l.m., valore coincidente con il livello di massima piena centennale, come mostrato nella sezione V26 dell'Allegato D.2.2.3.

Il tratto 2 che si sviluppa in gran parte su strade esistenti in corrispondenza degli impianti sportivi di Riola di Vergato, si trova quasi completamente al di sotto del livello di massima piena trentennale, sebbene di pochi centimetri; d'altra parte l'intera zona ricade nell'area ad alta probabilità di inondazione del Fiume Reno indicata dal P.S.A.I.

Nel caso della sezione V24 esiste un piccolo argine a destra della strada che ospiterà il percorso cicloturistico in grado di offrire una minima protezione dalle piene trentennali del fiume (si veda la sezione corrispondente mostrata nell'Allegato D.2.2.3).

Nell'ultima parte del tratto 2 che sale verso l'insediamento artigianale "Canova" il tracciato, di nuova realizzazione, sarà allontanato dal fiume e posto ad una quota superiore al livello di massima piena duecentennale, come mostrato nella sezione V23.

4. Analisi del tratto 3 in località Lissano

In questo paragrafo vengono eseguite le analisi sul rischio idraulico relative al tratto del percorso che si trova in corrispondenza della località Lissano, in Comune di Vergato.

Il tratto in esame è completamente di nuova realizzazione e si sviluppa in adiacenza al Fiume Reno, sul lato sinistro idrografico, interessando opere esistenti quali un argine fluviale ed il ponte della ferrovia Bologna – Porretta Terme.

Il tratto è inquadrato nella planimetria su base cartografica D.B.T.R. Emilia – Romagna in scala 1:5.000 contenuta nell'Allegato D.2.2.2.

4.1. Individuazione del tratto

Ai fini dello studio idraulico si considera il tratto più prossimo al Fiume Reno, che si sviluppa per una lunghezza di 540 m circa tra la località Lissano e lo svincolo della strada statale SS 64 (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.2.2), interessando aree di alveo attivo, ad alta probabilità di inondazione e di pertinenza fluviale (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

Il tratto sarà completamente di nuova realizzazione e correrà in parte sull'argine del Fiume Reno esistente in sinistra idrografica in corrispondenza dell'abitato di Lissano; a valle di tale argine il percorso sarà realizzato a ridosso di un muro laterale esistente fino al ponte ferroviario, che sarà sottoattraversato tramite ripristino di un'apertura esistente nella struttura del ponte situata in adiacenza alla spalla sinistra. Successivamente il percorso proseguirà al di sotto del viadotto della SS 64 attuale, allontanandosi dal fiume e riprendendo infine la sede stradale esistente della vecchia SS 64 Porrettana.

Nel tratto in esame saranno eseguiti inoltre due nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua minori demaniali "Fosso di Cera" e "Fosso Piana".

4.2. Esecuzione delle verifiche e risultati

Anche per le verifiche idrauliche di questo tratto si è fatto uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I. (Tabella 4: "Livelli e portate ottenuti dall'involuppo dei massimi per Tr 30 e 200 anni, in ogni sezione trasversale utilizzata nello schema di calcolo, relativamente al tratto montano del Fiume Reno), ricavando i livelli di massima piena in corrispondenza di specifiche sezioni di verifica del percorso cicloturistico in progetto, posizionate in punti significativi per la valutazione del rischio idraulico.

Tali sezioni sono state costruite sulla base della planimetria di rilievo topografico in coordinate Gauss – Boaga appositamente realizzata per il percorso in progetto, controllando la coerenza del sistema di riferimento altimetrico del rilievo con quello delle sezioni del P.S.A.I. Sono così state ottenute 4 sezioni di verifica contrassegnate dai codici V22, V20, V19, V18, posizionate come da planimetria dell'Allegato D.2.2.2. La sezione V20 è stata estesa sul lato sinistro facendo uso dei dati topografici contenuti nel D.B.T.R. regionale sovrapposto al rilievo topografico nello stesso sistema di coordinate; del muro laterale presente nelle sezioni V20 e V19 non è nota l'altezza.

È stata inoltre appositamente rilevata per il presente studio idraulico una sezione completa del Fiume Reno in corrispondenza dell'argine esistente in località Lissano; tale sezione ha il codice V21 ed è posizionate come da planimetria dell'Allegato D.2.2.2.

La determinazione dei livelli di piena per i tempi di ritorno Tr 30 e 200 anni è avvenuta in ambiente CAD a partire dalla stessa planimetria di rilievo sulla quale sono state posizionate sia le sezioni di verifica appena descritte, sia le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino di cui sono noti i livelli di piena; successivamente si sono calcolati i livelli di piena nelle sezioni di verifica procedendo per interpolazione tra le sezioni con i livelli di piena noti.

In un caso la sezione di verifica (V18) si trovava nella stessa posizione di quella dell'ex Autorità di Bacino e dunque si sono attribuiti direttamente i livelli di piena leggendoli dalla Tabella 4.

È stato inoltre ricavato per ciascuna sezione un livello di piena con buona approssimazione corrispondente all'evento di tempo di ritorno Tr 100 anni, attraverso un rapporto di proporzionalità con i livelli per Tr 30 e 200 anni ottenuto dall'analisi dei livelli di piena nei tratti di Fiume Reno più a valle sottoposti a modellazione idraulica nell'ambito del presente studio (tratti Pioppe – Sibano e Sibano – ponte di Sperticano, paragrafi 6 e 7).

Nella tabella sottostante si riportano, per ciascuna sezione e per i tempi di ritorno Tr 30, 100 e 200 anni, i livelli di massima piena così ricavati insieme ai corrispondenti valori delle portate, ottenuti sempre dalla Tabella 4 della relazione di P.S.A.I. Nell'Allegato D.2.2.3 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena per i tempi di ritorno fissati.

SEZIONE DI VERIFICA	SEZIONI P.S.A.I.	Q_{max30} [m ³ /s]	L_{max30} [m s.l.m.]	L_{max100} [m s.l.m.]	Q_{max200} [m ³ /s]	L_{max200} [m s.l.m.]
V22	113, 112	1039	233,60	234,00	1357	234,20
V21	113, 112	1039	232,90	233,35	1357	233,60
V20	113, 112	1038	232,20	232,70	1357	233,00
V19	113, 112	1038	232,00	232,45	1357	232,70
V18	112	1038	230,80	231,20	1357	231,40

Tabella 2: Livelli di massima piena del Fiume Reno in corrispondenza delle sezioni di verifica del tratto 3 del percorso cicloturistico per $Tr = 30, 100, 200$ anni, ricavati dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno (Q_{max} = portata di massima piena; L_{max} = livello corrispondente alla massima piena). Si indicano anche le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino (SEZIONI P.S.A.I.) di riferimento per i calcoli.

4.3. Considerazioni e indicazioni

Come si osserva dalla sezione V21 (si veda l'Allegato D.2.2.3), l'argine in corrispondenza dell'abitato di Lissano sul quale si sviluppa parte del percorso in progetto è tracimabile già per eventi di piena per tempo di ritorno $Tr = 30$ anni, d'altra parte questo argine appartiene all'alveo attivo del fiume secondo la zonizzazione di P.S.A.I. (Allegato D.2.2.1).

Si ritiene quindi necessario rialzare il coronamento dell'argine per tutta la sua lunghezza (150 m circa) di 1,35 m, in modo da portare la quota del piano ciclabile di progetto coincidente con il livello di massima piena centennale (233,35 m s.l.m. per la sezione V21).

Per il tratto successivo, tra l'argine e il ponte (sezioni V20 e V19) si raccomanda di tenere il piano ciclabile di progetto ad una quota almeno pari a quella del livello di massima piena centennale, così da ridurre il rischio di esondazione indipendentemente dall'altezza del muro laterale esistente; per la sezione V19 la quota finale dovrà anche essere tale da permettere il sottopassaggio del ponte ferroviario attraverso l'apertura della luce esistente.

Per le sezioni iniziali (V22) e finali (V18) del tratto si evidenzia un rischio minore e pertanto potrà essere mantenuta per il nuovo tracciato la quota del terreno attuale.

5. Analisi del tratto 4 in località Fornace e Salvaro

In questo paragrafo vengono eseguite le analisi sul rischio idraulico relative al quarto tratto del percorso che si trova nelle immediate vicinanze del Fiume Reno: il tratto che si trova in corrispondenza delle località Fornace e Salvaro, in Comune di Grizzana Morandi.

Si tratta in realtà di due tratti poco distanti tra loro, il primo si sviluppa a fianco della strada asfaltata esistente (tratto corrispondente alla località Fornace), mentre il secondo su pista preesistente da ripristinare (tratto sottostante Salvaro).

I tratti si sviluppano in destra idrografica del Fiume Reno e sono inquadrati nella planimetria su base cartografica D.B.T.R. Emilia – Romagna in scala 1:5.000 contenuta nell'Allegato D.2.2.2.

5.1. Individuazione

Il primo dei due sottotratti esaminati si sviluppa per una lunghezza di 500 m circa a fianco della strada comunale che sale a Salvaro, lato fiume, e sarà realizzato su un idoneo rilevato di terreno. Questo tratto si trova in fascia di pertinenza fluviale al limite con l'alveo attivo (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

Il secondo sottotratto sottoposto a verifica si sviluppa nelle immediate vicinanze del Fiume Reno per una lunghezza di circa 160 m al di sotto della località Salvaro, su pista preesistente da ripristinare; anche questo tratto ricade in fascia di pertinenza fluviale al limite con l'alveo attivo e con un'area ad alta probabilità di inondazione (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

5.2. Esecuzione delle verifiche e risultati

Per le verifiche idrauliche di questo tratto si è fatto nuovamente uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I. (*Tabella 4: "Livelli e portate ottenuti dall'involuppo dei massimi per Tr 30 e 200 anni, in ogni sezione trasversale utilizzata nello schema di calcolo, relativamente al tratto montano del Fiume Reno*), ricavando i livelli di massima piena in corrispondenza di specifiche sezioni di verifica del percorso cicloturistico in progetto, posizionate in punti significativi per la valutazione del rischio idraulico.

Tali sezioni in parte sono state costruite sulla base della planimetria di rilievo topografico in coordinate *Gauss – Boaga* appositamente realizzata per il percorso in progetto, controllando la coerenza del sistema di riferimento altimetrico del rilievo con quello delle sezioni del P.S.A.I., e in parte sono state direttamente e appositamente rilevate per il percorso in progetto. Sono così state ottenute 4 sezioni di verifica contrassegnate dai codici V17 – V14, posizionate come da planimetrie dell'Allegato D.2.2.2.

La determinazione dei livelli di piena per i tempi di ritorno Tr 30 e 200 anni è avvenuta in ambiente CAD a partire dalla stessa planimetria di rilievo sulla quale sono state posizionate sia le sezioni di verifica del percorso sia le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino di cui sono noti i livelli di piena; successivamente si sono calcolati i livelli di piena nelle sezioni di verifica procedendo per interpolazione tra le sezioni con i livelli di piena noti.

In alcuni casi le sezioni di verifica si trovavano nella stessa posizione di quelle dell'ex Autorità di Bacino e dunque si sono attribuiti direttamente i livelli di piena leggendoli dalla Tabella 4.

È stato inoltre ricavato per ciascuna sezione un livello di piena con buona approssimazione corrispondente all'evento di tempo di ritorno Tr 100 anni, attraverso un rapporto di proporzionalità con i livelli per Tr 30 e 200 anni ottenuto dall'analisi dei livelli di piena nei tratti di Fiume Reno più a valle sottoposti a modellazione idraulica nell'ambito del presente studio (tratti Pioppe – Sibano e Sibano – ponte di Sperticano, paragrafi 6 e 7).

Nella tabella sottostante si riportano, per ciascuna sezione e per i tempi di ritorno Tr 30, 100 e 200 anni, i livelli di massima piena così ricavati, insieme ai corrispondenti valori delle portate, ricavati sempre dalla Tabella 4 della relazione di P.S.A.I.

Nell'Allegato D.2.2.3 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena per i 3 tempi di ritorno considerati.

SEZIONE DI VERIFICA	SEZIONI P.S.A.I.	Q_{max30} [m ³ /s]	L_{max30} [m s.l.m.]	L_{max100} [m s.l.m.]	Q_{max200} [m ³ /s]	L_{max200} [m s.l.m.]
V17	91	1128	169,20	169,65	1537	169,90
V16	90	1127	167,30	167,75	1537	168,00
V15	90, 89	1127	167,20	167,65	1537	167,90
V14	89	1127	165,50	166,05	1537	166,40

Tabella 3: Livelli di massima piena del Fiume Reno in corrispondenza delle sezioni di verifica del tratto 4 del percorso cicloturistico per $Tr = 30, 100, 200$ anni, ricavati dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno (Q_{max} = portata di massima piena; L_{max} = livello corrispondente alla massima piena). Si indicano anche le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino (SEZIONI P.S.A.I.) di riferimento per i calcoli.

5.3. Considerazioni e indicazioni

Dall'esame dei risultati delle verifiche contenuti nell'Allegato D.2.2.3 si osserva che per quanto riguarda il primo sottotratto la fascia di terreno a fianco della strada viene lambita dalle piene di tempo di ritorno 100 e 200 anni, in particolare ciò si verifica per le sezioni V17 e V16 e per il tratto compreso fra esse, mentre la sezione V15 risulta poco interessata da questo fenomeno trovandosi in posizione più lontana dal fiume.

Nella realizzazione del percorso cicloturistico lungo questo sottotratto, che è previsto su di un piccolo rilevato sottostrada, si raccomanda di mantenere le quote del piano ciclabile non inferiori a quelle indicate nell'Allegato D.2.2.3, che coincidono con il livello di massima piena duecentennale per le sezioni V17 e V16.

Nessun problema invece si rileva per il secondo sottotratto, essendo il piano della pista preesistente già attualmente al di sopra del livello di massima piena duecentennale.

6. Analisi del tratto 5 in località Pioppe di Salvaro

6.1. Premessa e ipotesi progettuali precedenti

In questo paragrafo vengono illustrate le analisi sul rischio idraulico relative al tratto del percorso che si trova a valle della località Pioppe di Salvaro, in Comune di Marzabotto.

Si tratta di un tratto critico, per il quale è stata dapprima studiata la situazione attuale del rischio e successivamente sono state valutate diverse ipotesi progettuali, discusse con i tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna e studiate in maniera approfondita per quanto riguarda le problematiche legate al rischio idraulico sia da esondazione sia da dinamica d'alveo.

La soluzione finale a cui si è giunti è quella riassunta nel presente paragrafo e illustrata in dettaglio negli elaborati progettuali specifici, ovvero un tracciato che, a partire dalla zona dell'abitato di Pioppe che si trova a lato del Fiume Reno in sinistra idrografica, si allontana verso valle inizialmente lungo la viabilità esistente e poi attraverso un nuovo tracciato che si mantiene a monte della ferrovia Bologna – Porretta Terme fino alla località Sibano, in gran parte adiacente alla ferrovia stessa.

Questa soluzione consente il maggiore allontanamento possibile dal fiume, inoltre il rilevato ferroviario funge da argine di difesa dalle piene; si ottiene così un tracciato a rischio idraulico estremamente ridotto e tratti del tutto assente.

Le ipotesi precedenti prevedevano invece l'utilizzo della strada sterrata esistente che corre tra la ferrovia ed il Fiume Reno, visibile anche nella cartografia regionale dell'Allegato D.2.2.2, attraverso alcune modifiche mirate alla diminuzione del rischio idraulico, attualmente molto elevato per tale strada a causa della frequenza di esondazione, dei fenomeni erosivi che il fiume esercita al piede della scarpata stradale e della ristrettezza dello spazio presente tra rilevato ferroviario e fiume.

Dopo varie analisi si era arrivati a definire il progetto di un nuovo rilevato di terreno, posto a fianco della ferrovia lato fiume lungo il tratto compreso tra le sezioni V11 e V6 (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.2.2), sulla sommità del quale era stato posizionato il percorso cicloturistico. Attraverso specifiche modellazioni idrauliche, la quota della sommità del rilevato era stata fissata almeno pari al livello di massima piena centennale stimato per questo tratto del Fiume Reno; nell'immagine seguente si riporta una sezione trasversale del modello idraulico realizzato per lo sviluppo di questa ipotesi progettuale.

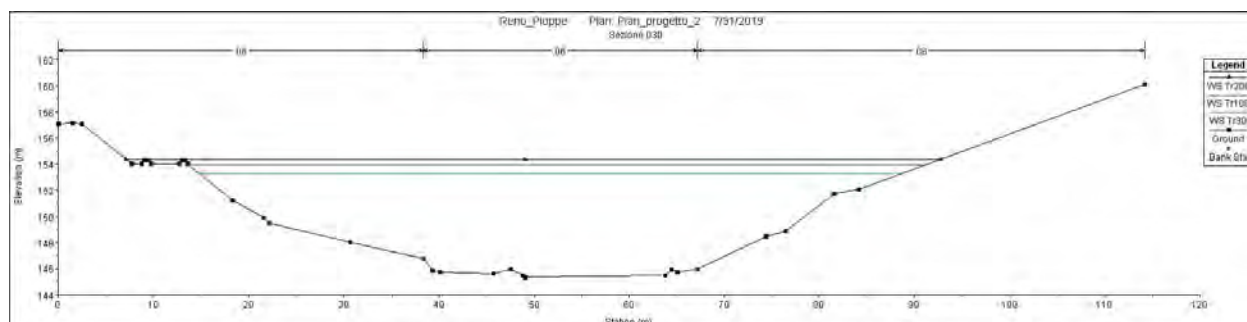


Immagine 1: sezione trasversale "030" del modello idraulico realizzato a supporto dell'ipotesi progettuale che prevedeva un nuovo rilevato (visibile sulla sinistra) a fianco di quello ferroviario. Sulla sommità del nuovo rilevato, posta a quota pari al livello di massima piena centennale, era stato posizionato il percorso cicloturistico.

Nei tratti a monte e a valle di tale rilevato permanevano tuttavia problemi di esondabilità, nonostante fossero stati previsti piccoli rialzi del piano ciclabile e spostamenti del tracciato verso la ferrovia (allontanamenti dal fiume).

Come detto questa ipotesi progettuale è stata alla fine scartata, ed il tracciato definitivo del percorso cicloturistico si svilupperà come rappresentato nella planimetria di inquadramento su base cartografica D.B.T.R. Emilia – Romagna in scala 1:5.000 contenuta nell'Allegato D.2.2.2.

6.2. Individuazione del tratto

Gli studi idraulici condotti riguardano il tratto compreso tra la sezione V11 e la sezione V5 (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.2.2), che si sviluppa per una lunghezza di 1.400 m circa tra le località di Pioppe e Sibano, all'interno della fascia di pertinenza fluviale sinistra del Fiume Reno (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

La parte iniziale del tratto si sviluppa su strade esistenti all'interno del centro abitato di Pioppe, la parte centrale si sviluppa su un tracciato di nuova realizzazione in gran parte adiacente sul lato monte alla ferrovia Bologna – Porretta Terme e la parte terminale è sempre adiacente alla ferrovia ma su tracciato preesistente da ripristinare.

6.3. Esecuzione delle verifiche e risultati

Per le analisi idrauliche di questo tratto del percorso si sono utilizzate due metodologie diverse: per un primo sottotratto, quello più critico che va dalla sezione V11 alla sezione V7 (si veda la planimetria contenuta nell'Allegato D.2.2.2) è stata eseguita una modellazione idraulica delle portate di piena del Fiume Reno tramite apposito *software*, utilizzando sezioni trasversali del corso d'acqua appositamente rilevate per il presente studio integrate con alcune sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino; per il secondo sottotratto, che va dalla sezione V7 alla sezione V5, si è proceduto in maniera analoga ai tratti precedenti, ovvero facendo uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I.

6.3.1. Modellazione del sottotratto da sezione V11 a sezione V7

Per la verifica del sottotratto più vicino al Fiume Reno è stata eseguita una simulazione idraulica in regime di moto permanente di un tratto del corso d'acqua di lunghezza complessiva pari a 875 m. L'individuazione di tale tratto è fornita nella mappa dell'Allegato D.2.2.2.

Per la descrizione della geometria di progetto dell'alveo sono state utilizzate 5 sezioni trasversali del corso d'acqua (identificate con 1, 2, ..., 5 nel modello idraulico e corrispondenti alle sezioni di verifica del percorso V7, ..., V11) delle quali 3 sono state appositamente rilevate per gli studi idraulici (sezioni 2, 3, 4), mentre 2 (sezioni 1 e 5) corrispondono alle sezioni 74 e 77 del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino, fornite in formato vettoriale dai tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna.

La planimetria con la posizione delle sezioni trasversali è mostrata nell'Allegato D.2.2.2.

Nel corso dei sopralluoghi condotti si sono inoltre osservate attentamente le condizioni dell'alveo e delle sponde del corso d'acqua onde determinarne il corretto valore di scabrezza da inserire nelle simulazioni idrauliche.

Organizzati così i dati geometrici e topografici, sono state condotte le simulazioni idrauliche in regime di moto permanente mediante il *software* *HEC RAS (River Analysis System, vers. 4.1.0)*. Il programma determina i profili di pelo libero in moto permanente, per correnti stazionarie gradualmente variate, risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa. Quando

l'ipotesi di corrente gradualmente variata non risulti più verificata e si verifichi il passaggio da corrente lenta a veloce o viceversa, l'equazione energetica non può essere più applicata, e il programma fa uso dell'equazione di equilibrio delle spinte; tramite l'utilizzo di questa equazione il programma è in grado di individuare e localizzare anche risalti idraulici e in generale di risolvere situazioni in cui si verifichi il passaggio attraverso l'altezza critica.

Per effettuare il calcolo della superficie del pelo libero della corrente vanno poi definiti: un regime di flusso delle portate (di corrente veloce, di corrente lenta, misto); le condizioni al contorno; i valori delle portate.

Nel modello costruito il valore di scabrezza delle sezioni, espresso come coefficiente di *Manning* (n), deriva dalle osservazioni condotte sul posto e dalla taratura eseguita sul modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno: sono cioè state eseguite varie simulazioni con valori del coefficiente n diversi fino a trovare quelli che fornivano i livelli di piena più vicini possibili a quelli del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino, noti e riportati nella Tabella 4 della Relazione di P.S.A.I.

Sono così stati fissati in definitiva valori del coefficiente n di *Manning* pari a $0,055 \text{ s/m}^{1/3}$ per il canale principale e pari a $0,080 \text{ s/m}^{1/3}$ per le sponde ricoperte da vegetazione arbustiva fitta, compresi la strada sterrata e il rilevato ferroviario esistenti in sinistra idraulica.

Si è poi scelto di operare in regime di corrente "mista" e si sono pertanto imposte due condizioni al contorno, una a monte e una a valle.

In entrambi i casi si sono scelti i livelli di piena noti nelle sezioni iniziali e finali del modello, che corrispondono a quelli riportati nella Tabella 4 della Relazione di P.S.A.I. per le sezioni 74 e 77, coincidenti rispettivamente con le sezioni 1 e 5 del modello idraulico in oggetto. Il livello di piena per $Tr = 100$ anni in queste sezioni è stato stimato in maniera analoga a quanto eseguito per i tratti precedenti (proporzionalità con i livelli di tempo di ritorno 30 e 200 anni), ed è risultato inferiore di 30 cm al livello di piena duecentennale noto.

Le condizioni iniziali sono infine rappresentate dai valori di portata di massima piena per $Tr = 30$ e 200 anni, tratti anche questi dai risultati delle simulazioni idrauliche dell'ex Autorità di Bacino e contenuti nella stessa Tabella 4 già citata.

È stato inoltre stimato un valore della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 100$ anni, attraverso una relazione di proporzionalità con le portate (note) di tempi di ritorno 30 e 200 anni determinata da studi idraulici eseguiti su altri corsi d'acqua in possesso dello scrivente. Tale valore è risultato pari a $1382 \text{ m}^3/\text{s}$.

Completata così la costruzione del modello geometrico e fissate le condizioni iniziali e al contorno, si è proceduto all'esecuzione delle simulazioni in regime di moto permanente.

Le simulazioni condotte hanno dato luogo ai profili del pelo libero della corrente visibili nell'Allegato D.2.2.4. Nello stesso allegato vengono mostrati i livelli idrici raggiunti nelle sezioni trasversali in corrispondenza del passaggio delle portate di massima piena e i risultati numerici dettagliati delle simulazioni idrauliche sezione per sezione.

I livelli di piena ottenuti in ogni sezione per ognuno dei 3 tempi di ritorno fissati sono inoltre riportati nella Tabella 4 a pagina seguente.

6.3.2. Verifiche sul sottotratto V7 – V5

Per le verifiche idrauliche di questo sottotratto si è fatto sempre uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I. (Tabella 4), ricavando i livelli di massima piena in

corrispondenza di 2 specifiche sezioni di verifica del percorso cicloturistico in progetto, posizionate in punti significativi per la valutazione del rischio idraulico (sezioni V5 e V6).

La sezione V5 è stata costruita sulla base della planimetria di rilievo topografico in coordinate Gauss – Boaga appositamente realizzata per il percorso in progetto, controllando la coerenza del sistema di riferimento altimetrico del rilievo con quello delle sezioni del P.S.A.I., mentre la sezione V6 copre l'intero alveo del fiume ed è stata appositamente rilevata per gli studi idraulici. La posizione di queste 2 sezioni di verifica è mostrata nella planimetria dell'Allegato D.2.2.2.

La determinazione dei livelli di piena per i tempi di ritorno Tr 30 e 200 anni è avvenuta in ambiente CAD a partire dalla stessa planimetria di rilievo sulla quale sono state posizionate sia le sezioni di verifica del percorso sia le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino di cui sono noti i livelli di piena; successivamente si sono determinati i livelli di piena nelle sezioni di verifica leggendoli direttamente dalla Tabella 4 della Relazione di P.S.A.I. essendo le due sezioni di verifica posizionate nello stesso punto delle sezioni 72 e 73 del modello dell'ex Autorità di Bacino. È stato inoltre ricavato per ciascuna sezione di verifica un livello di piena con buona approssimazione corrispondente all'evento di tempo di ritorno Tr 100 anni, attraverso un rapporto di proporzionalità con i livelli per Tr 30 e 200 anni ottenuto dall'analisi dei livelli di piena nel tratto di Fiume Reno immediatamente a monte sottoposto alla modellazione idraulica descritta al paragrafo precedente.

I livelli di piena ottenuti nelle due sezioni di verifica per ognuno dei 3 tempi di ritorno fissati sono riportati nella Tabella 4 seguente. Nell'Allegato D.2.2.4 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena.

6.3.3. Risultati

Nella tabella sottostante si riportano, per ciascuna sezione del tratto 5 e per i tempi di ritorno Tr 30, 100 e 200 anni, i livelli di massima piena ottenuti dalla modellazione idraulica del sottotratto V11 – V7 e dalle verifiche eseguite sul sottotratto V7 – V5, con i corrispondenti valori delle portate di piena.

Nell'Allegato D.2.2.4 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena per i 3 tempi di ritorno considerati ed i risultati dettagliati delle simulazioni idrauliche sul sottotratto V11 – V7.

SEZ. VERIFICA	SEZIONI P.S.A.I.	Q_{max30} [m ³ /s]	L_{max30} [m s.l.m.]	Q_{max100} [m ³ /s]	L_{max100} [m s.l.m.]	Q_{max200} [m ³ /s]	L_{max200} [m s.l.m.]
V11	77	1126	153,46	1382	154,21	1536	154,62
V10	---	1126	153,12	1382	153,81	1536	154,19
V9	---	1126	151,46	1382	152,03	1536	152,35
V8	---	1126	150,65	1382	151,19	1536	151,50
V7	74	1126	149,70	1382	150,20	1536	150,50
V6	73	1126	147,30	---	147,90	1536	148,20
V5	72	1126	146,20	---	146,75	1536	147,10

Tabella 4: Livelli di massima piena del Fiume Reno in corrispondenza delle sezioni di verifica del tratto 5 del percorso cicloturistico per $Tr = 30, 100, 200$ anni, ricavati dalle simulazioni idrauliche appositamente svolte per il presente studio (sezioni V11, V10, V9, V8, V7) e dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno (sezioni V6 e V5). Q_{max} = portata di massima piena; L_{max} = livello corrispondente alla massima piena. Si indicano anche le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino (SEZIONI P.S.A.I.) di riferimento.

6.4. Considerazioni e indicazioni

In questo tratto il tracciato del percorso cicloturistico in progetto si sviluppa il più distante possibile dal Fiume Reno, in gran parte al limite della fascia di pertinenza fluviale definita dal P.S.A.I. (si veda la relativa planimetria dell'Allegato D.2.2.1), con il rilevato ferroviario che funge in pratica da separazione tra le aree effettivamente connesse ai fenomeni di dinamica d'alveo del fiume Reno (a destra del rilevato) e quelle che non lo sono, o lo sono in maniera minima (a sinistra dello stesso).

Come si osserva dai risultati delle verifiche e delle simulazioni idrauliche eseguite, lo stesso rilevato ferroviario esercita inoltre una efficace e consistente funzione di protezione e difesa dalle piene nei confronti del percorso cicloturistico in progetto. Tale rilevato infatti è di considerevoli dimensioni, robusto, consolidato dal tempo e non è mai sormontato dalle piene, che si mantengono a livelli ben inferiori al suo coronamento (piano binari) anche per gli eventi di tempo di ritorno $Tr = 200$ anni.

In particolare le sezioni V8 e V6 del tracciato si trovano in condizione di sicurezza molto elevata in quanto lontane dal fiume, difese dal rilevato ferroviario e con una quota del terreno di base, sul quale sarà realizzato il percorso, superiore al livello di massima piena duecentennale (si veda l'Allegato D.2.2.4).

7. Analisi del tratto 6 tra Sibano e il ponte di Sperticano

7.1. Premessa

In questo paragrafo vengono illustrate le analisi sul rischio idraulico relative all'ultimo tratto del percorso compreso tra la località Sibano ed il ponte della strada che conduce a Sperticano, in Comune di Marzabotto.

Come il precedente, anche questo è un tratto critico per quanto riguarda le problematiche legate al rischio idraulico sia da esondazione sia da dinamica d'alveo, per il quale è stata attentamente studiata la situazione attuale del rischio attraverso modellazioni specifiche i cui risultati sono stati successivamente discussi con i tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna.

Come meglio illustrato di seguito, la criticità del tratto è dovuta all'elevata frequenza e intensità di esondazione, ai fenomeni erosivi esercitati dal corso d'acqua al piede della strada sterrata esistente destinata a ospitare il percorso cicloturistico, all'esiguità di spazio disponibile per le vie di fuga in caso di esondazione e per la realizzazione sia di tracciati alternativi alla strada esistente, sia di interventi di protezione idraulica.

Dopo aver comunque valutato eventuali percorsi alternativi, con esito negativo, il tracciato definitivo del percorso cicloturistico è dunque stato mantenuto per quasi tutto il tratto in esame sulla strada sterrata esistente in sinistra idraulica compresa tra la ferrovia Bologna – Porretta Terme ed il Fiume Reno. Il tracciato sarà inaccessibile in caso di piena del fiume e sarà dotato di un idoneo sistema di allertamento come descritto negli elaborati progettuali.

Nella planimetria di inquadramento su base cartografica D.B.T.R. Emilia – Romagna in scala 1:5.000 contenuta nell'Allegato D.2.2.2 si riporta l'andamento di questo tratto del tracciato.

7.2. Individuazione del tratto

Gli studi idraulici condotti riguardano il tratto compreso tra la sezione V4 e la sezione V1 (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.2.2), che si sviluppa per una lunghezza di 900 m circa tra la località di Sibano ed il ponte della strada che conduce alla località Sperticano, in parte all'interno

di un'area ad alta probabilità di inondazione e in parte sul limite dell'alveo attivo del Fiume Reno (si veda la corrispondente zonizzazione di P.S.A.I. contenuta nell'Allegato D.2.2.1).

La parte iniziale del tratto, dalla sezione V4 alla sezione V3, si sviluppa su un tracciato di nuova realizzazione spostato leggermente a monte rispetto alla strada sterrata esistente, mentre dalla sezione V3 al termine del tratto il tracciato si sviluppa sulla strada sterrata esistente in sinistra idraulica a lato del fiume.

7.3. Esecuzione delle verifiche e risultati

Anche per le analisi idrauliche di questo tratto del percorso si sono utilizzate due metodologie diverse: per il primo sottotratto, quello meno critico che va dalla sezione V4 alla sezione V3 (si veda la planimetria contenuta nell'Allegato D.2.2.2) si è fatto uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I., mentre per il secondo sottotratto, quello più critico che va dalla sezione V3 alla sezione V1, è stata eseguita una modellazione idraulica delle portate di piena del Fiume Reno tramite apposito *software*, utilizzando sezioni trasversali del corso d'acqua appositamente rilevate per il presente studio integrate con alcune sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino.

7.3.1. Verifiche sul sottotratto V4 – V3

Per le verifiche idrauliche di questo sottotratto si è fatto sempre uso dei risultati delle simulazioni di piena del Fiume Reno svolte dall'ex Autorità di Bacino del fiume omonimo e contenuti all'interno della Relazione di P.S.A.I. (Tabella 4), ricavando i livelli di massima piena in corrispondenza di 2 specifiche sezioni di verifica del percorso cicloturistico in progetto, posizionate in punti significativi per la valutazione del rischio idraulico (sezioni V3 e V4).

Entrambe le sezioni sono state costruite sulla base della planimetria di rilievo topografico in coordinate *Gauss – Boaga* appositamente realizzata per il percorso in progetto, controllando la coerenza del sistema di riferimento altimetrico del rilievo con quello delle sezioni del P.S.A.I. La posizione di queste 2 sezioni di verifica è mostrata nella planimetria dell'Allegato D.2.2.2.

La determinazione dei livelli di piena per i tempi di ritorno Tr 30 e 200 anni è avvenuta in ambiente *CAD* a partire dalla stessa planimetria di rilievo sulla quale sono state posizionate sia le sezioni di verifica del percorso sia le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino di cui sono noti i livelli di piena; successivamente si sono calcolati i livelli di piena nelle sezioni di verifica procedendo per interpolazione tra le sezioni con i livelli di piena noti.

Per la sezione di verifica V3, che si trova nella stessa posizione della sezione 70 dell'ex Autorità di Bacino, si sono attribuiti direttamente i livelli di piena leggendoli dalla Tabella 4 della Relazione di P.S.A.I. È stato inoltre ricavato per ciascuna sezione un livello di piena con buona approssimazione corrispondente all'evento di tempo di ritorno Tr 100 anni, attraverso un rapporto di proporzionalità con i livelli per Tr 30 e 200 anni ottenuto dall'analisi dei livelli di piena nel tratto di Fiume Reno immediatamente a valle sottoposto alla modellazione idraulica descritta al paragrafo successivo.

I livelli di piena ottenuti nelle due sezioni di verifica per ognuno dei 3 tempi di ritorno fissati sono riportati nella Tabella 5 a pagina seguente. Nell'Allegato D.2.2.5 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena.

7.3.2. Modellazione del sottotratto da sezione V3 a sezione V1

Per la verifica del sottotratto più critico è stata eseguita una simulazione idraulica in regime di moto permanente di un tratto del corso d'acqua di lunghezza complessiva pari a 577 m. L'individuazione di tale tratto è fornita nella mappa dell'Allegato D.2.2.2.

Per la descrizione della geometria di progetto dell'alveo sono state utilizzate 8 sezioni trasversali del corso d'acqua (identificate con 1, 2, ..., 8 nel modello idraulico e corrispondenti alle sezioni di verifica del percorso V0, V1, V1.2, ..., V3) delle quali 6 sono state appositamente rilevate per gli studi idraulici (sezioni 2, 3, 4, 5, 6, 7), mentre 2 (sezioni 1 e 8) corrispondono alle sezioni 68 e 70 del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino, fornite in formato vettoriale dai tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna.

La planimetria con la posizione delle sezioni trasversali è mostrata nell'Allegato D.2.2.2.

Nel corso dei sopralluoghi condotti si sono inoltre osservate attentamente le condizioni dell'alveo e delle sponde del corso d'acqua onde determinarne il corretto valore di scabrezza da inserire nelle simulazioni idrauliche.

Organizzati così i dati geometrici e topografici, sono state condotte le simulazioni idrauliche in regime di moto permanente mediante il *software HEC RAS (River Analysis System, vers. 4.1.0)*, procedendo in maniera analoga a quanto eseguito per la modellazione del tratto 5 precedente.

Nel modello costruito il valore di scabrezza delle sezioni, espresso come coefficiente di *Manning* (n), deriva dalle osservazioni condotte sul posto e dalla taratura eseguita sul modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno svolta per il tratto 5 precedente (paragrafo 6.3.1.).

Sono così stati fissati in definitiva valori del coefficiente n di *Manning* pari a $0,055 \text{ s/m}^{1/3}$ per il canale principale, pari a $0,080 \text{ s/m}^{1/3}$ per le sponde ricoperte da vegetazione arbustiva fitta, compresi la strada sterrata e il rilevato ferroviario esistenti in sinistra idraulica, pari a $0,040 \text{ s/m}^{1/3}$ per i campi laterali in sinistra e per i tratti di scarpata sinistra con presenza di vegetazione mista a manufatti, pari a $0,020 \text{ s/m}^{1/3}$ per le pareti dei muri e dei manufatti in cemento presenti sempre in sinistra idraulica.

Si è poi scelto di operare in regime di corrente "mista" e si sono pertanto imposte due condizioni al contorno, una a monte e una a valle.

In entrambi i casi si sono scelti i livelli di piena noti nelle sezioni iniziali e finali del modello, che corrispondono a quelli riportati nella Tabella 4 della Relazione di P.S.A.I. per le sezioni 68 e 70, coincidenti rispettivamente con le sezioni 1 e 8 del modello idraulico in oggetto. Il livello di piena per $Tr = 100$ anni in queste due sezioni è stato stimato in maniera analoga a quanto eseguito per i tratti precedenti (proporzionalità con i livelli di tempo di ritorno 30 e 200 anni), ed è risultato inferiore di 30 cm al livello di piena duecentennale noto.

Le condizioni iniziali sono infine rappresentate dai valori di portata di massima piena per $Tr = 30$ e 200 anni, tratti anche questi dai risultati delle simulazioni idrauliche dell'ex Autorità di Bacino e contenuti nella stessa Tabella 4 già citata.

Anche in questa simulazione è stato inoltre inserito il valore della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 100$ anni stimato per il tratto precedente, pari a $1382 \text{ m}^3/\text{s}$.

Completata così la costruzione del modello geometrico e fissate le condizioni iniziali e al contorno, si è proceduto all'esecuzione delle simulazioni in regime di moto permanente.

Le simulazioni condotte hanno dato luogo ai profili del pelo libero della corrente visibili nell'Allegato D.2.2.5. Nello stesso allegato vengono mostrati i livelli idrici raggiunti nelle sezioni trasversali in corrispondenza del passaggio delle portate di massima piena e i risultati numerici dettagliati delle simulazioni idrauliche sezione per sezione.

I livelli di piena ottenuti in ogni sezione per ognuno dei 3 tempi di ritorno fissati sono inoltre riportati nella seguente Tabella 5.

7.3.3. Risultati

Nella tabella sottostante si riportano, per ciascuna sezione del tratto 6 e per i tempi di ritorno Tr 30, 100 e 200 anni, i livelli di massima piena ottenuti dalla modellazione idraulica del sottotratto V3 – V0 e dalle verifiche eseguite sul sottotratto V4 – V3, con i corrispondenti valori delle portate di piena.

Nell'Allegato D.2.2.5 sono invece rappresentate graficamente le sezioni con i rispettivi livelli di piena per i 3 tempi di ritorno considerati ed i risultati dettagliati delle simulazioni idrauliche sul sottotratto V3 – V0.

SEZIONI VERIFICA	SEZIONI P.S.A.I.	Q_{max30} [m ³ /s]	L_{max30} [m s.l.m.]	Q_{max100} [m ³ /s]	L_{max100} [m s.l.m.]	Q_{max200} [m ³ /s]	L_{max200} [m s.l.m.]
V4	71, 72	1126	145,32	---	145,96	1536	146,31
V3	70	1126	144,50	---	145,20	1536	145,60
V2	---	1126	144,55	1382	145,32	1536	145,69
V1.8	---	1126	143,78	1382	144,48	1536	144,78
V1.6	---	1126	143,73	1382	144,46	1536	144,77
V1.4	---	1126	143,42	1382	144,12	1536	144,39
V1.2	---	1126	143,47	1382	144,21	1536	144,51
V1	---	1126	143,37	1382	144,15	1536	144,45
V0	68	1126	143,10	1382	143,90	1536	144,20

Tabella 5: Livelli di massima piena del Fiume Reno in corrispondenza delle sezioni di verifica del tratto 6 del percorso cicloturistico per $Tr = 30, 100, 200$ anni, ricavati dalle simulazioni idrauliche appositamente svolte per il presente studio (sezioni V2, V1.8, V1.6, V1.4, V1.2, V1, V0) e dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte dall'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno (sezioni V4 e V3). Q_{max} = portata di massima piena; L_{max} = livello corrispondente alla massima piena. Si indicano anche le sezioni del modello idraulico dell'ex Autorità di Bacino (SEZIONI P.S.A.I.) di riferimento.

7.4. Considerazioni e indicazioni

Gli studi idraulici eseguiti hanno dimostrato che questo tratto è soggetto ad elevata frequenza di inondazione, in linea con quanto riportato nella zonizzazione di P.S.A.I. che classifica queste aree sulle quali si sviluppa il tratto 6 in parte ad alta probabilità di inondazione e in parte in alveo attivo del Fiume Reno.

Per quanto riguarda il primo sottotratto che va dalla sezione V4 alla sezione V3, di lunghezza 340 m circa, si prevede un tracciato di nuova realizzazione posto alcuni metri a monte della strada sterrata attuale, in modo da porsi in posizione più distante dal fiume e a quota leggermente più elevata rispetto alla strada sterrata esistente.

La quota del piano ciclabile di progetto si prevede rialzata di circa 1 m rispetto al piano campagna attuale, in modo da portarsi al livello della portata di massima piena trentennale (si veda la sezione V4 contenuta nell'Allegato D.2.2.5).

Per il sottotratto successivo, fortemente critico, la valutazione di tracciati alternativi ha dato per ora risultati negativi per la particolare conformazione morfologica del terreno, per l'esiguità (o la totale mancanza) di spazi laterali alla strada sterrata esistente e per la presenza di numerosi manufatti (muri, cordoli, recinzioni, reti tecnologiche interrato) nonché di alcuni fabbricati.

Si prevede pertanto, in accordo con i tecnici del Servizio Area Reno e Po di Volano della Regione Emilia – Romagna, di mantenere su questo sottotratto il tracciato del percorso cicloturistico sulla strada sterrata attuale, eseguendo un intervento di manutenzione e rinforzo della pavimentazione sterrata, in modo da renderla meno erodibile da parte dei deflussi del fiume tracimati, e prevedendo la chiusura totale del tratto in caso di piena del fiume.

Saranno pertanto installati appositi cartelli di pericolo e di divieto di accesso in caso di piena e sarà realizzato un sistema di allertamento collegato ad un idrometro di riferimento a monte del tratto, in base al quale saranno fatti scattare i meccanismi di segnalazione luminosa e di chiusura del tratto, e sarà allertata la struttura di Protezione Civile competente.

Successivamente, nell'ambito dei futuri progetti di proseguimento del tracciato Eurovelo 7 e dei relativi finanziamenti, potranno essere studiati e messi a punto veri e propri interventi strutturali di riduzione del rischio idraulico su questo tratto, che potranno prevedere lo spostamento del tracciato in posizione più sicura mediante la realizzazione di opportune e adeguate opere.

Parte 2: Stima delle portate di massima piena dei rii minori e dimensionamento idraulico dei relativi attraversamenti in progetto

In questa seconda parte dello studio si procede all'analisi idrologica dei bacini dei principali rii minori affluenti del Fiume Reno interessati dai nuovi attraversamenti da realizzare a servizio del percorso cicloturistico, stimandone così i valori di massima portata di piena in corrispondenza degli attraversamenti stessi.

Successivamente vengono eseguiti i calcoli idraulici di dimensionamento e verifica delle relative strutture di attraversamento in progetto (consistenti in tubazioni prefabbricate in calcestruzzo e scatolari prefabbricati in c.a.v.).

8. Studio idrologico dei bacini dei rii minori e stima delle portate di piena

In questo paragrafo si illustrano gli studi idrologici eseguiti sui bacini idrografici dei principali rii minori chiusi in corrispondenza dei nuovi attraversamenti del percorso in progetto e si stimano i relativi valori delle portate di massima piena da utilizzarsi per i successivi calcoli di dimensionamento e verifica idraulica.

Gli studi condotti hanno riguardato tutti i rii demaniali interessati da nuovi manufatti di attraversamento, più un rio non demaniale ma di una certa rilevanza situato nei pressi della località Carbona.

Nel complesso sono quindi stati studiati i bacini di 10 rii minori, elencati nella seguente tabella.

CODICE BACINO	NOME CORSO D'ACQUA	UBICAZIONE (località, comune)	DEMANIALE
BAC 1	n.d.	Marano (Grizzana M.)	SI
BAC 2	n.d.	Marano (Grizzana M.)	SI
BAC 3	n.d.	Marano (Grizzana M.)	SI
BAC 4	Fosso di Cera	Lissano (Vergato)	SI
BAC 5	Fosso Piana	Lissano (Vergato)	SI
BAC 6	n.d.	Carbona (Vergato)	NO
BAC 7	n.d.	Salvaro (Grizzana M.)	SI
BAC 8	Rio della Casalina	Salvaro (Grizzana M.)	SI
BAC 9	Rio Canova	Pioppe di Salvaro (Grizzana M.)	SI
BAC 10	Rio Ca' d'Urano	Sibano (Marzabotto)	SI

Tabella 6: corsi d'acqua minori sottoposti a studio idrologico con stima delle portate di massima piena.

Le sezioni di chiusura dei bacini sopra elencati coincidono con i nuovi attraversamenti in progetto e sono visibili nelle planimetrie dell'Allegato D.2.3.1 su base cartografica D.B.T.R. 1:5.000.

Nelle stesse planimetrie si mostrano i limiti di tutti gli alvei demaniali, sia dei corsi d'acqua interessati dai nuovi attraversamenti in progetto, sia dei corsi d'acqua interessati da attraversamenti esistenti (strade comunali o pubbliche) utilizzati anche dal nuovo percorso cicloturistico.

Nelle mappe dell'Allegato D.2.3.2, realizzate in ambiente CAD su base cartografica D.B.T.R., sono invece mostrati i limiti e l'idrografia di ognuno dei 10 bacini studiati.

Dovendo dimensionare nuovi manufatti di attraversamento, in ottemperanza alla vigente normativa e a favore di sicurezza, nella stima delle portate di massima piena di ciascun bacino si è assunto un valore del tempo di ritorno T_r pari a 200 anni.

8.1. Metodologia applicata

Per la stima delle portate di massima piena attendibili alle sezioni di chiusura dei bacini studiati, ad eccezione dei bacini BAC 1, BAC 2, BAC 7, si è fatto ricorso al “metodo razionale”. Esso si basa sulle seguenti ipotesi fondamentali:

- la pioggia critica è quella che ha durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento (pari a t_c);
- il tempo di ritorno T_r della portata è pari a quello della pioggia critica.

La formula razionale fornisce il valore della portata di piena Q in funzione del tempo di ritorno T_r , a partire dall'intensità di pioggia netta i_e , in funzione dell'ampiezza dell'area scolante A e del tempo di corrivazione t_c . Avendo poi a disposizione la curva di possibilità pluviometrica, l'altezza di pioggia si esprime come $h = a d^n$ e l'intensità come $i = h/d$. Tale intensità andrà poi moltiplicata per il coefficiente di deflusso ϕ che tiene conto delle perdite idrologiche, in modo da ottenere l'intensità di pioggia netta, ossia quella che dà luogo al deflusso superficiale.

In sintesi:

$$Q = 0,277 \phi A a' d^{n'-1} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

dove:

- ϕ è il coefficiente di deflusso (adimensionale)
- A è l'area del bacino idrografico (espressa in km^2)
- a' , n' sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica ragguagliati all'area del bacino
- d è la durata dell'evento critico coincidente con il tempo di corrivazione t_c (in ore)
- 0,277 è il coefficiente di aggiustamento dimensionale

I vari parametri della formula sono stati stimati secondo le modalità di seguito descritte.

Il coefficiente di deflusso ϕ esprime il rapporto fra il volume di pioggia efficace defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo che determina la portata effettiva all'interno del corso d'acqua, ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale.

Tale parametro tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche morfologiche, tessiturali e di copertura vegetale e può essere stimato per ogni bacino mediante il consulto di opportune tabelle di riferimento reperibili in letteratura.

Per i bacini in esame sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell'analisi del database topografico regionale (D.B.T.R.) e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell'area.

Il tempo di corrivazione t_c di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo che impiega l'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di sbocco.

Il metodo razionale, fra le varie ipotesi, considera che a parità di tempo di ritorno la portata al colmo maggiore è prodotta dall'evento in cui la durata è pari al tempo di corrivazione; inoltre la portata al colmo dell'evento di piena causato da una precipitazione ragguagliata rappresentata da uno ietogramma a intensità costante di durata t_c è proporzionale al prodotto fra intensità di pioggia ragguagliata (i_r) e l'area del bacino. Tali ipotesi possono giustificarsi assumendo che nel fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi le perdite siano proporzionali all'intensità di pioggia e che il tempo impiegato dall'acqua nel raggiungere la sezione di chiusura dipenda soltanto dalla lunghezza del percorso compiuto.

I tempi di corrivazione dei bacini in esame sono stati calcolati mediante l'applicazione della formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, di seguito riportata, di largo utilizzo e particolarmente adatta per piccoli bacini collinari e montani.

$$t_c = \frac{\frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Hm}}$$

dove:

- A = area del bacino a monte della sezione considerata [km²]
- L = lunghezza dell'asta fino allo spartiacque [km]
- Hm = altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m]
- M, d = parametri di copertura del suolo e permeabilità, tabellati

Operando in ambiente *CAD* e con l'ausilio di un foglio elettronico si sono calcolati i parametri morfologici necessari per l'applicazione della formula sopra indicata, con particolare attenzione per l'altitudine media, ottenuta a partire dalla suddivisione dei bacini in fasce altimetriche di equidistanza pari a 25 m.

Le "curve segnalatrici di possibilità pluviometrica" sono relazioni funzionali che correlano (per ciascun tempo di ritorno) le massime altezze di precipitazioni h (mm) con le durate delle precipitazioni stesse d (ore) del tipo:

$$h(d; T_r) = a \cdot d^n \quad (1)$$

dove:

- $h(d; T_r)$ è l'altezza di pioggia in mm corrispondente alla durata d (in ore) ed al tempo di ritorno T_r (in anni);
- d è la durata della pioggia in ore;
- a, n sono i parametri che descrivono l'andamento di h in funzione del tempo di ritorno e della durata.

Per i bacini in esame si sono costruite due curve di possibilità pluviometrica sulla base dei valori di massima precipitazione di durata 15, 30 e 45 minuti registrati dalle stazioni pluviometriche di Riola di Vergato e di Vergato, che si trovano a breve distanza dai bacini oggetto di studio.

In particolare la stazione di Riola si trova nelle vicinanze dei bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3, BAC 4, BAC 5 e BAC 6 e la corrispondente curva di possibilità pluviometrica costruita è da ritenersi valida per tali bacini; mentre la stazione di Vergato si trova nelle vicinanze dei bacini BAC 7, BAC 8, BAC 9 e BAC 10 e la corrispondente curva di possibilità pluviometrica costruita è quindi da ritenersi valida per tali bacini.

I dati pluviometrici delle stazioni in oggetto sono stati tratti dagli Annali Idrologici realizzati e pubblicati da ARPAE – SIM e disponibili per il periodo 1990 – 2018.

Per quanto riguarda la stazione pluviometrica di Riola i campioni di dati utilizzati per le analisi statistiche sulle varie durate hanno tutti dimensione di 28 anni, mancando la sola annualità 2017; mentre per la stazione di Vergato non sono disponibili alcune annualità e i campioni hanno così dimensione di 25 anni per le durate di 15 e 45 minuti e 26 anni per le durate di 30 minuti.

Nell'Allegato D.2.3.3 sono riportati i valori massimi di precipitazione registrati dai due pluviometri per le durate di 15, 30 e 45 minuti, tratti dagli Annali Idrologici, ed i parametri statistici del modello probabilistico di *Gumbel* utilizzato per la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica.

I massimi annuali sulle durate di 15, 30 e 45 minuti sono stati elaborati appunto secondo il modello probabilistico di *Gumbel*, la cui funzione di probabilità cumulata è fornita dall'equazione:

$$F(X)_x = e^{-e^{-\alpha(x-u)}} \quad (2)$$

dove x rappresenta il quantile, mentre α ed u sono i parametri della distribuzione.

Per stimare tali parametri può essere usato il metodo dei momenti attraverso il quale si esprimono gli n parametri di una distribuzione in funzione dei momenti dei primi n ordini, così per i due parametri incogniti α ed u della *Gumbel* è sufficiente la ricerca dei primi due momenti del campione: momento statico (media) e momento d'inerzia (varianza).

Le espressioni finali che legano i parametri incogniti ai momenti campionari sono le seguenti:

$$u = \mu(x) - 0,45 \cdot \sigma(x) \quad (3)$$

$$\alpha = 1,283 / \sigma(x) \quad (4)$$

dove μ e σ rappresentano rispettivamente media e deviazione standard modificata del campione. Ricordando che il tempo di ritorno rappresenta l'intervallo medio intercorrente tra 2 eventi uguali o superiori all'evento assegnato, ed è definito dalla relazione $Tr = 1/(1-F(X)_x)$, dove $F(X)_x$ assume il significato di probabilità di non superamento, si può ricavare dalla (2) il quantile x (ovvero l'altezza di pioggia) di tempo di ritorno assegnato.

Con questa procedura per ogni durata d precedentemente fissata sono state ricavate per ciascun pluviometro le altezze massime di precipitazione h (in mm) relative al tempo di ritorno $Tr = 200$ anni; successivamente, tramite regressione sul piano logaritmico $h-d$, si sono stimati i parametri a e n delle rispettive curve segnalatrici di possibilità pluviometrica, i cui valori sono riportati nella tabella sottostante.

Tr [anni]	STAZIONE PLUVIOMETRICA	a [mm/ore ^{n}]	n
200	Riola di Vergato	58,06	0,435
	Vergato	56,60	0,459

Tabella 7: valori dei parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica costruite per le stazioni di Riola e Vergato

I dati sono stati validati preliminarmente con il test di *Kolmogorov – Smirnov* e la verifica è risultata soddisfatta.

L'andamento delle curve di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno fissato è visibile nei grafici dell'Allegato D.2.3.3.

Le curve segnalatrici così ottenute sono relative al centro di massimo scroscio della perturbazione. Il ragguaglio dei parametri delle curve segnalatrici alle superfici dei bacini è stato eseguito nel presente studio mediante la seguente legge di variazione delle intensità di pioggia con l'area, fornita da *Puppini* per bacini di superficie inferiore a 1300 ha:

$$a' = a [1 - 0,052 A/100 + 0,002 (A/100)^2]$$

$$n' = n + 0,0175 A/100$$

dove:

- A = area del bacino [km²]
- a, n = parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica

I parametri a' e n' corretti per ciascun bacino sono riportati nelle tabelle dei risultati del calcolo delle portate di piena contenute nell'Allegato D.2.3.3.

Per i bacini BAC 1 e BAC 2, di ridotta estensione e adiacenti al bacino BAC 3, le portate di massima piena sono state invece calcolate in via semplificata utilizzando la portata specifica calcolata col metodo razionale per il bacino BAC 3 (in $l/(s \cdot kmq)$) e moltiplicandola per l'area dei singoli bacini (in kmq).

Procedimento analogo è stato seguito per la portata di massima piena del bacino BAC 7, ricavata a partire dalla portata specifica del vicino e più esteso BAC 8.

8.2. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3 in località Marano

8.2.1. Caratteristiche dei bacini

Il bacino idrografico denominato “BAC 3” chiuso in corrispondenza dell'attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Nord – Nord Ovest, e presenta una superficie di 0,266 km^2 , risultando così il bacino principale fra i 3 oggetto di questo paragrafo. La quota minima è di 269 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 508,5 m s.l.m. (vetta del “Monte Spiagge di Savignano”), mentre la quota media è pari a 399,1 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d'acqua ha origine a quota 335 m s.l.m. e scorre verso il Fiume Reno giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza complessiva di 395 m. La pendenza media dell'asta è pari al 16,5%, come risulta dalle analisi dell'idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 3	
AREA [km^2]	0,266
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	508,5
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	269,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	399,1
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	0,395
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	335,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	16,5

Tabella 8: principali caratteristiche del bacino denominato BAC 3

I bacini idrografici denominati “BAC 1” e “BAC 2” chiusi in corrispondenza degli attraversamenti da realizzare, sono adiacenti al bacino BAC 3 sul lato Ovest e si sviluppano lungo lo stesso versante destro della valle del Fiume Reno a partire dal Monte Spiagge di Savignano.

Si tratta di due piccoli bacini di estensione rispettivamente pari a 0,135 kmq (bacino BAC 1) e 0,057 kmq (bacino BAC 2), secondo quanto è risultato dall'analisi della cartografia tecnica regionale.

Questi 3 bacini sono compresi negli elementi n°237132, 237133 e 237134 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia – Romagna; i limiti e la rete idrografica dei bacini sono visibili nella mappa dell'Allegato D.2.3.2.

Amministrativamente i bacini appartengono al territorio del comune di Grizzana Morandi.

8.2.2. Portate di massima piena

Per il bacino principale BAC 3 la stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il “metodo razionale” precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell'analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell'area.

Nella tabella seguente si riportano le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Colture agricole e spazi aperti	24.176	9,1
Aree boscate	241.909	90,9

Tabella 9: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino denominato BAC 3

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,43 per le aree boscate e 0,60 le colture agricole e spazi aperti.

Eseguendo poi la media pesata dei valori in funzione dell'area è stato infine ottenuto il valore medio del coefficiente di deflusso per il bacino in esame, pari a $\phi = 0,445$.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,467$ ore (= 28 minuti).

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Riola di Vergato, distante circa 1,5 km dal bacino in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati all'area del bacino mediante la legge di *Puppini*; i valori dei parametri a' e n' corretti (praticamente coincidenti con quelli calcolati a causa della ridotta estensione del bacino) sono riportati nella tabella contenuta nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

BACINO BAC 3		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	2,94	11,04

Tabella 10: portate di piena del bacino BAC 3 per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

La stima delle portate di massima piena degli adiacenti bacini BAC 2 e BAC 1 chiusi in corrispondenza dei nuovi attraversamenti del percorso cicloturistico in progetto, è stata invece eseguita moltiplicando la portata di piena specifica q (in m³/(s*km²)) del limitrofo bacino BAC 3 per la superficie dei bacini medesimi (in km²).

Si sono così ottenute le portate di massima piena Q_{max} riportate nella tabella seguente.

BACINI BAC 1 E BAC 2		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} BACINO BAC 1 [m ³ /s]	Q_{max} BACINO BAC 2 [m ³ /s]
200	1,49	0,63

Tabella 11: portate di piena dei bacini BAC 1 e BAC 2 per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per i bacini in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.3. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 4 e BAC 5 in località Lissano

Il bacino denominato "BAC 4" corrisponde al bacino idrografico del Fosso di Cera, corso d'acqua demaniale affluente di sinistra del Fiume Reno che interseca il nuovo percorso cicloturistico in località Lissano immediatamente a valle del ponte ferroviario FS della linea Bologna – Porretta Terme – Pistoia.

Il bacino denominato "BAC 5" corrisponde al bacino idrografico del Fosso Piana, corso d'acqua demaniale affluente di sinistra del Fiume Reno che interseca il nuovo percorso cicloturistico sempre in località Lissano immediatamente a valle del raccordo della strada statale SS 64 Porrettana. Questo bacino è il maggiore per dimensioni di tutti i bacini oggetto del presente studio.

8.3.1. Caratteristiche dei bacini

Il bacino idrografico del Fosso di Cera (BAC 4) chiuso in corrispondenza dell'attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Sud Est – Est, e presenta una superficie di 0,626 km².

La quota minima è di 229 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 686,8 m s.l.m. (crinale in località "Soprasasso"), mentre la quota media è pari a 412,1 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d'acqua ha origine a quota 405 m s.l.m. in località "Ca' Ghina" e scorre con andamento tortuoso verso il Fiume Reno, sottoattraversando lo svincolo stradale della SS 64 all'uscita Nord della galleria di Riola e giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza complessiva di 1,28 km. La pendenza media dell'asta è pari all'11%, come risulta dalle analisi dell'idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 4 – FOSSO DI CERA	
AREA [km ²]	0,626
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	686,8
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	229,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	412,1
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	1,279
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	405,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	11,0

Tabella 12: principali caratteristiche del bacino BAC 4 – Fosso di Cera

Il bacino idrografico del Fosso Piana (BAC 5) chiuso in corrispondenza dell'attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Sud – Sud Est, e presenta una superficie di 1,208 km² risultando così il maggiore di tutti i bacini oggetto di studio.

La quota minima è di 232 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 724,6 m s.l.m. (crinale tra le valli del Fiume Reno e del Torrente Aneva), mentre la quota media è pari a 493,3 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d'acqua ha origine a quota 600 m s.l.m. dal versante sottostante la località "Palazzaccio" e scorre con andamento piuttosto tortuoso verso il Fiume Reno; giunto in località "Ca' di Verona" riceve il contributo dell'affluente di sinistra "Fosso Stalla" e successivamente sottoattraversa in due punti lo svincolo della SS 64 Porrettana, il viadotto della stessa SS 64 per poi immettersi infine nel Fiume Reno. La lunghezza dell'asta principale fino alla sezione di chiusura in oggetto è di 1,99 km, mentre la pendenza media dell'asta è pari al 14,4%, come risulta dalle analisi dell'idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 5 – FOSSO PIANA	
AREA [km ²]	1,208
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	724,6
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	232,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	493,3
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	1,993
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	600,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	14,4

Tabella 13: principali caratteristiche del bacino BAC 5 – Fosso Piana

Questi 2 bacini sono compresi negli elementi n°237092 e 237131 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia – Romagna; i limiti e la rete idrografica dei bacini sono visibili nella mappa dell'Allegato D.2.3.2.

Amministrativamente i bacini appartengono al territorio del comune di Vergato.

8.3.2. Portate di massima piena

Per entrambi i bacini la stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $T_r = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il "metodo razionale" precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell'analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell'area.

Nelle tabelle seguenti si riportano per ciascun bacino le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

BACINO BAC 4 – FOSSO DI CERA		
CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Aree residenziali	12.125	1,9
Colture agricole e spazi aperti	268.029	42,8
Infrastrutture stradali	10.778	1,7
Aree boscate	335.418	53,6

Tabella 14: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino BAC 4 – Fosso di Cera

BACINO BAC 5 – FOSSO PIANA		
CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Colture agricole e spazi aperti	517.076	42,8
Aree boscate	690.924	57,2

Tabella 15: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino BAC 5 – Fosso Piana

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,40 per le aree boscate, 0,60 per le colture agricole e spazi aperti, 0,70 per le aree residenziali e 0,90 per le infrastrutture stradali.

Eseguendo poi per entrambi i bacini la media pesata dei valori in funzione dell'area sono stati infine ottenuti i valori medi del coefficiente di deflusso, pari a $\phi = 0,50$ per il bacino BAC 4 e pari a $\phi = 0,486$ per il bacino BAC 5.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,623$ ore (= 37,4 minuti) per il bacino BAC 4 e pari a $t_c = 0,676$ ore (= 40,6 minuti) per il bacino BAC 5.

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Riola di Vergato, distante circa 1,5 km dai bacini in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati alle aree dei 2 bacini mediante la legge di *Puppini*; i valori dei parametri a' e n' corretti sono riportati nelle tabelle contenute nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare su entrambi i bacini la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	BAC 4 – FOSSO DI CERA		BAC 5 – FOSSO PIANA	
	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	6,60	10,53	11,79	9,76

Tabella 16: portate di piena dei bacini BAC 4 e BAC 5 per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per i bacini in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.4. Stima della portata di piena del bacino BAC 6 in località Carbona

Si procede di seguito alla stima della massima portata di piena del bacino denominato “BAC 6” relativo al fosso non demaniale interessato da un nuovo attraversamento del percorso cicloturistico nei pressi della località Carbona.

8.4.1. Caratteristiche del bacino

Il bacino idrografico denominato “BAC 6” chiuso in corrispondenza dell’attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Sud Est, e presenta una superficie pari prudenzialmente a 0,197 km²; la superficie è di difficile delimitazione trattandosi di un versante in frana che è stato presumibilmente oggetto di interventi di sistemazione morfologica e regimazione delle acque nel corso del tempo.

La quota minima è di 219 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 520 m s.l.m., mentre la quota media è pari a 348,8 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD. In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

L’origine dell’asta idrografica principale, anch’essa di difficile individuazione per quanto detto sopra, si può con una certa approssimazione, posizionare a quota 318 m s.l.m. (dato ottenuto anche dall’esame delle immagini aeree *Google Earth*); di qui il corso d’acqua scorre verso il Fiume Reno giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza totale di 466 m. La pendenza media dell’asta è pari al 20,1%, come risulta dalle analisi dell’idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 6	
AREA [km ²]	0,197
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	520,0
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	219,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	348,8
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	0,466
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	318,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	20,1

Tabella 17: principali caratteristiche del bacino denominato BAC 6

Il bacino è compreso nell’elemento n°237103 della Carta Tecnica Regionale dell’Emilia – Romagna e amministrativamente appartiene al territorio del comune di Vergato; i limiti e la rete idrografica del bacino sono visibili nella mappa dell’Allegato D.2.3.2.

8.4.2. Portata di massima piena

La stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $T_r = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il “metodo razionale” precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell’analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell’area.

Nella tabella seguente si riportano le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Colture agricole e spazi aperti	17.188	8,8
Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	119.805	60,9
Aree boscate	59.609	30,3

Tabella 18: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino denominato BAC 6

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,60 per le colture agricole e spazi aperti, 0,50 per la vegetazione in evoluzione e 0,40 per le aree boscate.

Eseguendo poi la media pesata dei valori in funzione dell'area è stato infine ottenuto il valore medio del coefficiente di deflusso per il bacino in esame, pari a $\phi = 0,478$.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di Giandotti – Aronica – Paltrinieri, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,427$ ore (= 25,6 minuti).

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Riola di Vergato, distante circa 3,8 km dal bacino in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati all'area del bacino mediante la legge di Puppini; i valori dei parametri a' e n' corretti (praticamente coincidenti con quelli calcolati a causa della ridotta estensione del bacino) sono riportati nella tabella contenuta nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

BACINO BAC 6		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	2,46	12,48

Tabella 19: portate di piena del bacino BAC 6 per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per il bacino in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.5. Stima delle portate di piena dei bacini BAC 7, BAC 8 in località Salvaro

Il bacino denominato “BAC 7” riguarda un piccolo fosso demaniale situato nei pressi della località Salvaro – frazione Fornaci che è interessato dall'attraversamento del percorso cicloturistico (nonché della strada comunale esistente) poche decine di metri prima dell'immissione nel Fiume Reno (si veda la planimetria dell'allegato D.2.3.1).

Il bacino denominato “BAC 8”, poco distante dal precedente, corrisponde invece al più grande bacino idrografico del Rio della Casalina, corso d'acqua demaniale affluente di destra del Fiume Reno che interseca il nuovo percorso cicloturistico nei pressi della località Campiglia, nelle immediate vicinanze di Salvaro (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.3.1).

8.5.1. Caratteristiche dei bacini

Il bacino idrografico denominato “BAC 8” chiuso in corrispondenza dell'attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Nord, e presenta una superficie di 0,384 km², risultando così il bacino principale fra i due oggetto di questo paragrafo.

La quota minima è di 174 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 825,5 m s.l.m. (vetta del “Crocione di Monte Salvaro”), mentre la quota media è pari a 481,7 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d'acqua ha origine a quota 565 m s.l.m. e scorre verso il Fiume Reno passando a fianco delle località “Casalina” e “Serra di Sotto” giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza complessiva di 1,09 km. La pendenza media dell'asta è pari al 27,3%, dunque molto elevata, come risulta dalle analisi dell'idrografia svolta in ambiente CAD. Nel successivo tratto di lunghezza 150 m circa a valle della sezione di chiusura di interesse l'alveo è pensile.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 8 – RIO DELLA CASALINA	
AREA [km ²]	0,384
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	825,5
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	174,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	481,7
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	1,086
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	565,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	27,3

Tabella 20: principali caratteristiche del bacino BAC 8 – Rio della Casalina

Il bacino idrografico denominato “BAC 7” si trova poco ad Ovest del bacino BAC 8 (1 km circa di distanza in linea d'aria) e si sviluppa anch'esso lungo il versante destro della valle del Fiume Reno. Si tratta di un piccolo bacino di estensione pari a 0,066 kmq alla sezione di chiusura coincidente con il sottoattraversamento stradale esistente, secondo quanto è risultato dall'analisi della cartografia tecnica regionale.

Questi due bacini sono compresi negli elementi n°237062 e 237101 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia – Romagna; i limiti e la rete idrografica dei bacini sono visibili nella mappa dell'Allegato D.2.3.2.

Amministrativamente i bacini appartengono al territorio del comune di Grizzana Morandi.

8.5.2. Portate di massima piena

Per il bacino principale BAC 8 la stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il “metodo razionale” precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell'analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell'area.

Nella tabella seguente si riportano le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Aree residenziali	4.520	1,2
Colture agricole e spazi aperti	13.161	3,4
Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	19.834	5,2
Aree boscate	346.348	90,2

Tabella 21: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino BAC 8 – Rio della Casalina

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,70 per le aree residenziali, 0,40 per le aree boscate, 0,50 per la vegetazione in evoluzione e 0,60 per le colture agricole e spazi aperti.

Eseguendo poi la media pesata dei valori in funzione dell'area è stato infine ottenuto il valore medio del coefficiente di deflusso per il bacino in esame, pari a $\phi = 0,416$.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,386$ ore (= 23,2 minuti).

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Vergato, distante circa 3,8 km dal bacino in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati all'area del bacino mediante la legge di *Puppini*; i valori dei parametri a' e n' corretti (praticamente coincidenti con quelli calcolati a causa della ridotta estensione del bacino) sono riportati nella tabella contenuta nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

BACINO BAC 8 – RIO DELLA CASALINA		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	4,20	10,93

Tabella 22: portate di piena del bacino BAC 8 – Rio della Casalina per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

La stima della portata di massima piena del vicino bacino BAC 7, chiuso in corrispondenza dell'attraversamento della strada esistente, è stata invece eseguita moltiplicando la portata di piena specifica q (in $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$) del limitrofo bacino BAC 8 per la superficie del bacino medesimo (in km^2).

Si è così ottenuta la portata di massima piena Q_{\max} riportata nella tabella seguente.

BACINO BAC 7	
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{\max} [m^3/s]
200	0,72

Tabella 23: portata di piena del bacino BAC 7 per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per i bacini in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.6. Stima della portata di piena del bacino BAC 9 in località Pioppe di Salvaro

Il bacino "BAC 9" corrisponde al bacino idrografico del Rio Canova, corso d'acqua demaniale affluente di destra del Fiume Reno che interseca il nuovo percorso cicloturistico nei pressi della località Pioppe di Salvaro, a Sud dell'abitato (si veda la planimetria dell'Allegato D.2.3.1).

8.6.1. Caratteristiche del bacino

Il bacino BAC 9 del Rio Canova chiuso in corrispondenza dell'attraversamento del percorso cicloturistico da realizzare si sviluppa in direzione Nord – Nord Ovest, e presenta una superficie di $0,812 \text{ km}^2$; la quota minima è di 187 m s.l.m. (sezione di chiusura – attraversamento in progetto), la quota massima è di 820 m s.l.m. (vetta del "Crocione di Monte Salvaro"), mentre la quota media è pari a $425,9 \text{ m s.l.m.}$, secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d'acqua ha origine a quota 345 m s.l.m. e scorre verso il Fiume Reno giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza complessiva di 795 m . La pendenza media dell'asta è pari al 19% , come risulta dalle analisi dell'idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 9 – RIO CANOVA	
AREA [km^2]	0,812
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	820,0
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	187,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	425,9
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	0,795
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	345,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	19,0

Tabella 24: principali caratteristiche del bacino BAC 9 – Rio Canova

Il bacino è compreso negli elementi n°237062, 237073, 237101 e 237114 della Carta Tecnica Regionale dell'Emilia – Romagna e amministrativamente appartiene al territorio del comune di Grizzana Morandi; i limiti e la rete idrografica del bacino sono visibili nella mappa dell'Allegato D.2.3.2.

8.6.2. Portata di massima piena

La stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il “metodo razionale” precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell'analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell'area.

Nella tabella seguente si riportano le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Aree residenziali	19.917	2,5
Colture agricole e spazi aperti	219.347	27,0
Colture a filari	29.612	3,6
Aree boscate	542.777	66,9

Tabella 25: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino BAC 9 – Rio Canova

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,70 per le aree residenziali, 0,60 per le colture agricole e spazi aperti, 0,50 per le colture a filari e 0,40 per le aree boscate.

Eseguendo poi la media pesata dei valori in funzione dell'area è stato infine ottenuto il valore medio del coefficiente di deflusso per il bacino in esame, pari a $\phi = 0,465$.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,571$ ore (= 34,3 minuti).

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Vergato, distante circa 4,5 km dal bacino in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati all'area del bacino mediante la legge di *Puppini*; i valori dei parametri a' e n' corretti sono riportati nella tabella contenuta nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

BACINO BAC 9 – RIO CANOVA		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	8,03	9,90

Tabella 26: portate di piena del bacino BAC 9 – Rio Canova per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per il bacino in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.7. Stima della portata di piena del bacino BAC 10 in località Sibano

Il bacino denominato “BAC 10” corrisponde al bacino idrografico del Rio Ca’ d’Urano, corso d’acqua demaniale affluente di sinistra del Fiume Reno che interseca il nuovo percorso cicloturistico in località Sibano, immediatamente a valle del sottopasso ferroviario della linea Bologna – Porretta Terme – Pistoia (si veda la planimetria dell’Allegato D.2.3.1).

8.7.1. Caratteristiche del bacino

Il bacino idrografico BAC 10 del Rio Ca’ d’Urano chiuso in corrispondenza dell’intersezione del percorso cicloturistico si sviluppa in direzione Sud Est, e presenta una superficie di 0,197 km²; la quota minima è di 140 m s.l.m. (sezione di chiusura), la quota massima è di 505 m s.l.m. (crinale del “Monte Milano”), mentre la quota media è pari a 324,8 m s.l.m., secondo le analisi svolte su piattaforma CAD.

In particolare il calcolo della quota media è stato condotto a partire da una mappa delle fasce altimetriche del bacino con equidistanza di 25 m appositamente realizzata per il presente studio.

Il corso d’acqua ha origine a quota 305 m s.l.m. nei pressi della località “Ca’ d’Urano di Sotto” e scorre verso il Fiume Reno giungendo alla sezione di chiusura dopo aver percorso una lunghezza complessiva di 629 m. La pendenza media dell’asta è pari al 20,4%, come risulta dalle analisi dell’idrografia svolta in ambiente CAD.

Nella tabella seguente si riassumono i parametri caratteristici del bacino.

BACINO BAC 10 – RIO CA’ D’URANO	
AREA [km ²]	0,197
QUOTA MASSIMA [m s.l.m.]	505,0
QUOTA MINIMA [m s.l.m.]	140,0
QUOTA MEDIA [m s.l.m.]	324,8
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE [km]	0,629
QUOTA INIZIO ASTA PRINCIPALE [m s.l.m.]	305,0
PENDENZA MEDIA ASTA [%]	20,4

Tabella 27: principali caratteristiche del bacino BAC 10 – Rio Ca’ d’Urano

Il bacino è compreso nell’elemento n°237074 della Carta Tecnica Regionale dell’Emilia – Romagna e amministrativamente appartiene al territorio del comune di Marzabotto; i limiti e la rete idrografica del bacino sono visibili nella mappa dell’Allegato D.2.3.2.

8.7.2. Portata di massima piena

La stima della portata di massima piena di tempo di ritorno $Tr = 200$ anni attendibile alla sezione di chiusura è stata condotta tramite il “metodo razionale” precedentemente descritto, calcolando i relativi parametri come di seguito illustrato.

Per il calcolo del coefficiente di deflusso ϕ sono state individuate e delimitate classi di uso del suolo sulla base dell’analisi della cartografia tecnica regionale e delle immagini aeree *Google Earth*. Ad ogni classe individuata è stato attribuito un valore coerente del coefficiente di uso del suolo ϕ , ed è stata poi eseguita una media pesata dei valori in funzione dell’area.

Nella tabella seguente si riportano le classi di uso del suolo individuate, le corrispondenti aree e i rapporti percentuali con la superficie totale del bacino.

CLASSI DI USO DEL SUOLO	AREA [m ²]	% SUPERFICIE BACINO
Colture agricole e spazi aperti	97.149	49,3
Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	15.650	8,0
Aree boscate	84.183	42,7

Tabella 28: distribuzione delle classi di uso del suolo per il bacino BAC 10 – Rio Ca' d'Urano

In via cautelativa nell'attribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso (tratti da tabelle di riferimento) si sono considerate condizioni di suolo poco permeabile e si sono pertanto assegnati valori di 0,60 per le colture agricole e spazi aperti, 0,50 per la vegetazione in evoluzione e 0,40 per le aree boscate.

Eseguendo poi la media pesata dei valori in funzione dell'area è stato infine ottenuto il valore medio del coefficiente di deflusso per il bacino in esame, pari a $\phi = 0,507$.

Il tempo di corrivazione t_c calcolato con la formula di *Giandotti – Aronica – Paltrinieri*, stimando i relativi parametri come descritto al paragrafo 8.1, è risultato pari a $t_c = 0,35$ ore (= 21 minuti).

La curva di possibilità pluviometrica di riferimento è quella della stazione pluviometrica di Vergato, distante circa 6,7 km dal bacino in oggetto e i cui parametri caratteristici a ed n per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni sono riportati nella tabella 7 del paragrafo 8.1.

Tali parametri sono poi stati ragguagliati all'area del bacino mediante la legge di *Puppini*; i valori dei parametri a' e n' corretti sono riportati nella tabella contenuta nell'Allegato D.2.3.3.

Avendo definito tutti i parametri necessari è ora possibile applicare la formula del metodo razionale riportata al paragrafo 8.1., dalla quale si ottengono i seguenti valori di portata di massima piena Q_{max} e di portata di massima piena unitaria q per il tempo di ritorno Tr fissato.

BACINO BAC 10 – RIO CA' D'URANO		
TEMPO DI RITORNO Tr [anni]	Q_{max} [m ³ /s]	q [m ³ /(s*km ²)]
200	2,77	14,05

Tabella 29: portate di piena del bacino BAC 10 – Rio Ca' d'Urano per il tempo di ritorno $Tr = 200$ anni

I risultati dettagliati dei calcoli relativi alle portate di piena per il bacino in esame sono riassunti nell'Allegato D.2.3.3.

8.8. Sintesi dei risultati

Nella seguente tabella si riassumono i risultati degli studi idrologici sin qui eseguiti sui rii minori, con particolare riguardo ai valori delle portate di massima piena.

Per la visione dei risultati dettagliati delle analisi pluviometriche e idrologiche relative ad ognuno dei 10 bacini studiati, si rimanda invece all'Allegato D.2.3.3.

CODICE BACINO	NOME CORSO D'ACQUA	LOCALIZZAZIONE	AREA BACINO SOTTESO [km²]	PORTATA DI MASSIMA PIENA Tr 200 anni [m³/s]	PORTATA DI MASSIMA PIENA SPECIFICA [m³/(s*km²)]
BAC 1	n.d.	Marano	0,135	1,49	n.d.
BAC 2	n.d.	Marano	0,057	0,63	n.d.
BAC 3	n.d.	Marano	0,266	2,94	11,04
BAC 4	Fosso di Cera	Lissano	0,626	6,60	10,53
BAC 5	Fosso Piana	Lissano	1,208	11,79	9,76
BAC 6	n.d.	Carbona	0,197	2,46	12,48
BAC 7	n.d.	Salvaro	0,066	0,72	n.d.
BAC 8	Rio della Casalina	Salvaro	0,384	4,20	10,93
BAC 9	Rio Canova	Pioppe di Salvaro	0,812	8,03	9,90
BAC 10	Rio Ca' d'Urano	Sibano	0,197	2,77	14,05

Tabella 30: valori delle superfici dei bacini e delle portate di massima piena stimate alle sezioni di chiusura dei 10 rii minori.

9. Dimensionamento e verifiche idrauliche degli attraversamenti in progetto sui rii minori

Nel presente paragrafo si illustra il dimensionamento idraulico dei nuovi attraversamenti in progetto sui rii minori, arrivando a definire per ognuno di essi la struttura prefabbricata (tubazione o scatolare in c.a.) di dimensioni minime al contenimento della corrispondente portata di massima piena duecentennale con adeguato margine di sicurezza.

Per esigenze specifiche progettuali non legate solamente all'idraulica le dimensioni delle strutture indicate potranno naturalmente essere aumentate, oppure potrà essere variata la tipologia (es. tubazione in sostituzione di scatolare o viceversa) purchè venga mantenuta l'area minima di deflusso corrispondente alla struttura indicata.

9.1. Formulazione utilizzata

Le verifiche idrauliche dei nuovi attraversamenti in progetto sono state condotte tramite l'utilizzo della formulazione di *Chezy* per le correnti a pelo libero, secondo la quale la valutazione del tirante y in funzione della portata transitante Q è espressa dalla relazione:

$$Q = \chi A (R \text{ if})^{1/2} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

dove:

- χ è il coefficiente di *Chezy*, espresso dalla formula di *Gauckler-Strickler* $\chi = ks R^{1/6}$;
- ks è il coefficiente di scabrezza della sezione ($\text{m}^{1/3} / \text{s}$);
- A è l'area della sezione bagnata (m^2);
- R è il raggio idraulico (m), dato da A/P ;
- P è il perimetro bagnato (m);
- if è la pendenza del fondo.

Applicando la formula alle sezioni delle strutture di attraversamento in progetto individuate per ciascun rio sono stati valutati i massimi tiranti idrici y raggiunti al transito delle portate di piena aventi tempo di ritorno Tr di 200 anni.

Poiché, in accordo col progettista, per tutti gli attraversamenti in progetto sono state individuate strutture prefabbricate in calcestruzzo vibrocompresso o in calcestruzzo vibrocompresso armato, il coefficiente di scabrezza ks è stato attribuito sulla base di valori presenti in letteratura corrispondenti a tale materiale ed operando in maniera cautelativa per tener conto dell'usura del materiale nel tempo, di eventuali irregolarità e depositi di terreno, pietrame o vegetazione lungo il perimetro bagnato. Pertanto il coefficiente ks è stato assunto pari a $50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$.

La pendenza del fondo if è pari alla pendenza di posa di progetto delle nuove tubazioni / scatolari, stabilita in accordo col progettista pari a $0,02 \text{ m/m}$ (2%).

I risultati dei dimensionamenti e delle verifiche sono riassunti nei paragrafi successivi, mentre nell'Allegato D.2.3.4 si riportano i dettagli numerici.

Nello stesso allegato si riporta inoltre la tabella riepilogativa dei risultati delle verifiche idrauliche svolte per tutti i nuovi attraversamenti in progetto.

9.2. Sintesi dei calcoli e dei risultati delle verifiche

9.2.1. Nuovi attraversamenti sui fossi corrispondenti ai bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3

Per la realizzazione dei 3 nuovi attraversamenti sui fossi corrispondenti ai bacini BAC 1, BAC 2, BAC 3 in località Marano si prevede l'utilizzo di tubazioni circolari prefabbricate in calcestruzzo di diametro interno minimo pari rispettivamente a 80 cm, 100 cm, 120 cm. I risultati sintetici delle relative verifiche idrauliche sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO BACINO BAC 1

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 1000 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 0,785 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 2,24 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 1,49 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 64\%$ | |

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO BACINO BAC 2

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 800 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 0,503 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 52\%$ | |

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO BACINO BAC 3

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 1200 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 1,131 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 3,65 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 2,94 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 76\%$ | |

Le portate di massima piena transitano all'interno delle nuove tubazioni di attraversamento in progetto con ampio margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **le verifiche risultano pertanto soddisfatte.**

9.2.2. Nuovi attraversamenti sul Fosso di Cera (BAC 4) e sul Fosso Piana (BAC 5)

Per la realizzazione dei 2 nuovi attraversamenti sul Fosso di Cera (BAC 4) e sul Fosso Piana (BAC 5) in località Lissano, in considerazione dell'ampiezza dei relativi bacini e dei valori di portata di massima piena calcolati (si veda il paragrafo 8.3), si prevede l'utilizzo di elementi scatolari prefabbricati in c.a.v. per carichi stradali di dimensioni interne minime pari a 200x100 cm (Fosso di Cera) e pari a 250x125 cm (Fosso Piana).

I risultati sintetici delle relative verifiche idrauliche sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO DI CERA (BACINO BAC 4)

Caratteristiche sezione:

• tipologia	sezione rettangolare in c.a.v.
• larghezza	$b = 200 \text{ cm}$
• altezza	$H = 100 \text{ cm}$
• area di deflusso totale	$A_{tot} = 2,00 \text{ m}^2$
• pendenza del fondo	$if = 2,00\%$
• coefficiente di scabrezza	$ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi)

Verifica contenimento portate di piena:

• Portata massima defluente	$Q_{max} = 8,91 \text{ m}^3/\text{s}$	
• Portata massima Tr 200 anni	$Q_{Tr200} = 6,60 \text{ m}^3/\text{s}$	$< Q_{max} \Rightarrow$ Verificato
• Livello idrometrico per Q_{Tr200}	$y_{Tr200} = 80,1 \text{ cm}$	

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO PIANA (BACINO BAC 5)

Caratteristiche sezione:

• tipologia	sezione rettangolare in c.a.v.
• larghezza	$b = 250 \text{ cm}$
• altezza	$H = 125 \text{ cm}$
• area di deflusso totale	$A_{tot} = 3,13 \text{ m}^2$
• pendenza del fondo	$if = 2,00\%$
• coefficiente di scabrezza	$ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi)

Verifica contenimento portate di piena:

• Portata massima defluente	$Q_{max} = 16,15 \text{ m}^3/\text{s}$	
• Portata massima Tr 200 anni	$Q_{Tr200} = 11,79 \text{ m}^3/\text{s}$	$< Q_{max} \Rightarrow$ Verificato
• Livello idrometrico per Q_{Tr200}	$y_{Tr200} = 99,1 \text{ cm}$	

Le portate di massima piena transitano all'interno dei nuovi scatolari di attraversamento in progetto con buon margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **le verifiche risultano pertanto soddisfatte.**

9.2.3. Nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 6

Per la realizzazione del nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 6 in località Carbona si prevede l'utilizzo di tubazioni circolari prefabbricate in calcestruzzo di diametro interno minimo pari a 120 cm.

I risultati sintetici della relativa verifica idraulica sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO BACINO BAC 6

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 1200 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 1,131 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 3,65 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 2,46 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 65\%$ | |

La portata di massima piena transita all'interno della nuova tubazione di attraversamento in progetto con ampio margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **la verifica risulta pertanto soddisfatta.**

9.2.4. Nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 7

Per la realizzazione del nuovo attraversamento sul fosso corrispondente al bacino BAC 7 nei pressi della località Salvaro – frazione Fornaci si prevede l'utilizzo di tubazioni circolari prefabbricate in calcestruzzo di diametro interno minimo pari a 80 cm.

I risultati sintetici della relativa verifica idraulica sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO FOSSO BACINO BAC 7

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 800 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 0,503 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 0,72 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 57\%$ | |

La portata di massima piena transita all'interno della nuova tubazione di attraversamento in progetto con ampio margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **la verifica risulta pertanto soddisfatta.**

9.2.5. Nuovi attraversamenti sul Rio della Casalina (BAC 8) e sul Rio Canova (BAC 9)

Per la realizzazione dei 2 nuovi attraversamenti sul Rio della Casalina (BAC 8) e sul Rio Canova (BAC 9) fra le località di Salvaro e Pioppe di Salvaro, in considerazione dell'ampiezza dei relativi bacini e dei valori di portata di massima piena calcolati (si vedano i paragrafi 8.5 e 8.6), si prevede l'utilizzo di elementi scatolari prefabbricati in c.a.v. per carichi stradali di dimensioni interne minime pari a 160x100 cm (Rio della Casalina) e pari a 200x125 cm (Rio Canova). I risultati sintetici delle relative verifiche idrauliche sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO RIO DELLA CASALINA (BACINO BAC 8)

Caratteristiche sezione:

• tipologia	sezione rettangolare in c.a.v.
• larghezza	$b = 160 \text{ cm}$
• altezza	$H = 100 \text{ cm}$
• area di deflusso totale	$A_{tot} = 1,60 \text{ m}^2$
• pendenza del fondo	$if = 2,00\%$
• coefficiente di scabrezza	$ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi)

Verifica contenimento portate di piena:

• Portata massima defluente	$Q_{max} = 6,59 \text{ m}^3/\text{s}$	
• Portata massima Tr 200 anni	$Q_{Tr200} = 4,20 \text{ m}^3/\text{s}$	$< Q_{max} \Rightarrow$ Verificato
• Livello idrometrico per Q_{Tr200}	$y_{Tr200} = 71,1 \text{ cm}$	

NUOVO ATTRAVERSAMENTO RIO CANOVA (BACINO BAC 9)

Caratteristiche sezione:

• tipologia	sezione rettangolare in c.a.v.
• larghezza	$b = 200 \text{ cm}$
• altezza	$H = 125 \text{ cm}$
• area di deflusso totale	$A_{tot} = 2,50 \text{ m}^2$
• pendenza del fondo	$if = 2,00\%$
• coefficiente di scabrezza	$ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi)

Verifica contenimento portate di piena:

• Portata massima defluente	$Q_{max} = 11,95 \text{ m}^3/\text{s}$	
• Portata massima Tr 200 anni	$Q_{Tr200} = 8,03 \text{ m}^3/\text{s}$	$< Q_{max} \Rightarrow$ Verificato
• Livello idrometrico per Q_{Tr200}	$y_{Tr200} = 92,6 \text{ cm}$	

Le portate di massima piena transitano all'interno dei nuovi scatolari di attraversamento in progetto con buon margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **le verifiche risultano pertanto soddisfatte.**

9.2.6. Nuovo attraversamento sul Rio Ca' d'Urano (BAC 10)

Per la realizzazione del nuovo attraversamento sul Rio Ca' d'Urano (BAC 10) in località Sibano si prevede l'utilizzo di tubazioni circolari prefabbricate in calcestruzzo di diametro interno minimo pari a 120 cm.

I risultati sintetici della relativa verifica idraulica sono di seguito riportati.

NUOVO ATTRAVERSAMENTO RIO CA' D'URANO (BACINO BAC 10)

Caratteristiche sezione:

- | | |
|------------------------------|--|
| • tipologia | tubazione circolare in calcestruzzo |
| • diametro interno tubazione | $\Phi_{\text{int}} = 1200 \text{ mm}$ |
| • area di deflusso totale | $A_{\text{tot}} = 1,131 \text{ m}^2$ |
| • pendenza del fondo | $if = 2,00\%$ |
| • coefficiente di scabrezza | $ks = 50 \text{ m}^{1/3} / \text{s}$ (calcestruzzo con depositi) |

Verifica contenimento portate di piena:

- | | | |
|---------------------------------|--|--|
| • Portata massima defluente | $Q_{\text{max}} = 3,65 \text{ m}^3/\text{s}$ | |
| • Portata massima Tr 200 anni | $Q_{Tr200} = 2,77 \text{ m}^3/\text{s}$ | $< Q_{\text{max}} \Rightarrow$ Verificata |
| • Riempimento per Q_{Tr200} | $R_{Tr200} = 72\%$ | |

La portata di massima piena transita all'interno della nuova tubazione di attraversamento in progetto con buon margine di sicurezza per l'evento di tempo di ritorno considerato; **la verifica risulta pertanto soddisfatta.**

ing. Matteo Palmieri