



Comune di
Crevalcore



Comune di
San Giovanni in Persiceto



Comune di
Casalecchio di Reno



Comune di
Bologna



Comune di
Sasso Marconi



Comune di
Marzabotto

Ciclovia del Sole: tratto 3 attraversamento dei centri abitati di Crevalcore,
San Giovanni in Persiceto, Sala Bolognese -
tratto 4: Casalecchio - Marzabotto

CUP n° C61B21013060002

PROGETTO DEFINITIVO



Coordinamento e integrazione delle prestazioni specialistiche:

arch. Enrico Guaitoli Panini

Il Responsabile Unico del Procedimento:

ing. Maurizio Martelli

Progettazione ciclabile e paesaggistica:

arch. Irene Esposito, paes. Giulia Mazzali, arch. Eleonora Vaccari,
arch. Michela Gessani, dott. paes. Sara Martignoni, arch. Alberto Coppi

Supporto al RUP:

ing. Chiara Ferrari
arch. Federica Sodano
ing. Sara Destro
dott.ssa Silvia Mazza
arch. Giulia Maroni

Progettazione delle strutture:

prof. ing. Massimo Majowiecki, ing. Giovanni Berti,
ing. Monica Mingozzi, ing. Elisa Sammarco, ing. Marco Chinni

Geologia, Ambiente, Idraulica:

geol. Pierluigi Dallari, geol. Arianna Casarini, geol. Lisa Gasparini,
geol. Emiliano Quadernari, ing. Yos Zorzi

Coordinamento della sicurezza:

ing. Fausto Gallarello, ing. Roberto Perlangeli

Relazione idrologica e idraulica

SCALA -	FORMATO A4
CODICE REL-2-1	DATA Novembre 2023

N. REV.	DATA	DESCRIZIONE	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	30/11/2023	Emissione	Yos Zorzi	Pierluigi Dallari	E. Guaitoli Panini

OGGETTO: 2022VIMASNC13 - AFF. DEL SERVIZIO DI ARCH, E ING, PER PROG., DL, CSP, CSE
CICLOVIA DEL SOLE: TRONCO 3 ATTRAVERSAMENTO DEI CENTRI ABITATI DI CREVALCORE, SAN
GIOVANNI IN PERSICETO E SALA BOLOGNESE E TRONCO 4 CASALECCHIO-MARZABOTTO - CUP
C61B21013060002 - CIG 90436407D0

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA



SOMMARIO

1. PREMESSA.....	3
1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO - TRONCO 4	4
2. Idrografia PRINCIPALE E MINORE INTERFERITA - tronco 4.....	6
2.1. PIANIFICAZIONE REGIONE EMILIA ROMAGNA	7
3. IDROLOGIA ED IDRAULICA PRELIMINARE FIUME RENO	8
3.1. IDROLOGIA E MORFOLOGIA DELLA TRATTA DI INTERESSE	8
3.1.1. Idrologia nella tratta di interesse	9
3.1.2. Idraulica nella tratta di interesse.....	11
3.1.3. Verifica idraulica del sopralzo idrometrico.....	18
3.1.4. Verifica idraulica dello scalzamento delle pile	21
4. IDROLOGIA ED IDRAULICA DELL'IDROGRAFIA MINORE INTERFERITA	28
4.1. IDROLOGIA DEI BACINI IDROGRAFICI: METODO DELLA REGIONALIZZAZIONE AdB RENO.....	29
4.2. IDRAULICA DEI BACINI IDROGRAFICI: METODO SCS	33
4.2.1. RIO VERDE.....	38
4.2.2. RIO MAGGIORE.....	42
4.2.3. FOSSO DELLA FONTANA	46
4.2.4. RIO GEMMESE	48
4.2.5. RIO VESCOVO.....	50
5. MODALITA' DI RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON I CORPI IDRICI MINORI	52
5.1. PASSERELLA SUL RIO MAGGIORE	52
5.2. PASSERELLA SUL RIO VERDE	54
5.3. MANUFATTO SUL FOSSO DELLA FONTANA.....	57
5.4. MANUFATTO SUL RIO GEMMESE	60
6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL TRONCO 7.....	65
7. IDROLOGIA ED IDRAULICA relativa al tronco 7.....	66
8. CONCLUSIONI	77
9. ALLEGATO	78

1. PREMESSA

Il progetto in questione riguarda, da un punto di vista dell'inquadramento preliminare delle tematiche inerenti l'idrologia e l'idraulica, la realizzazione della tratta di ciclovia che attraversa il territorio dei Comuni di, Sasso Marconi e Marzabotto denominato **Tronco 4, Casalecchio di Reno - Marzabotto**, rientrante nel progetto Ciclovia del Sole, così come descritto nella relazione illustrativa e relazioni tecniche contestuali al presente documento e facenti parte quindi del medesimo progetto.

L'analisi idrologica ed idraulica ivi prodotta ha lo scopo di individuare già a livello di progetto di fattibilità le eventuali criticità del progetto, con specifico riferimento sia alla collocazione del tracciato della ciclovia in relazione alle aree di vincolo e pertinenza fluviale, sia in rapporto alle interferenze con l'idrografia primaria secondaria e minore attraversata o in previsione da attraversare

Le aree oggetto della presente relazione rientrano all'interno di un progetto molto più ampio denominato Ciclovia del Sole. Tale progetto si collega ad una rete di ciclovie a lunga percorrenza da Malta a Capo Nord, attraverso Norvegia, Finlandia, Svezia, Danimarca, Germania, Repubblica Ceca, Austria e Italia. Le principali finalità di tale progetto sono quelle di incentivare il turismo sostenibile oltre che la valorizzazione del patrimonio paesaggistico e ambientale dei territori attraversati. Attualmente il percorso italiano che si può percorrere è quello che va da Bologna a Verona. Per informazioni più dettagliate si fa riferimento alla relazione illustrativa progettuale ad opera di Fahre.



Figura 1 – Inquadramento generale del tratto di Ciclovia del Sole che collega Firenze con Verona

1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO - TRONCO 4

La zona oggetto di realizzazione del "Tronco 4" della Ciclovia del Sole ricade nei territori comunali di Casalecchio di Reno, Sasso Marconi e Marzabotto, costeggiando il corso del fiume Reno.



Figura 1.1.1 – inquadramento territoriale dei tratti relativi al TRONCO-4

Procedendo da nord (valle) verso sud (monte), si sviluppa dalla quota topografica di 66.3 m s.l.m. fino a 105.2 m s.l.m.

L'area è contraddistinta da un paesaggio collinare di valle fluviale. Mantiene molti aspetti naturalistici intrinseci nonostante vi sia la notevole presenza dell'uomo che nel tempo ha notevolmente sfruttato tutta l'area sia per scopi edilizi, visibile dai diversi abitati posti lungo il percorso, che estrattivi/economici con diverse cave di inerti come Cava Sapaba.

2. IDROGRAFIA PRINCIPALE E MINORE INTERFERITA - TRONCO 4

Da un punto idrografico la Ciclovía del Sole nella tratta di interesse (tronco 4) si sviluppa lungo la direttrice sud-nord della sinistra idraulica del fiume Reno (prevalentemente all'interno del sedime della gola fluviale) interferendo in sinistra idraulica con i bacini dei seguenti rii affluenti minori del Fiume Reno medesimo:

- Rio Verde
- Rio Vescovo (o bacino urbano dell'agglomerato di Sasso Marconi)
- Rio Gemmese
- Fosso della Fontana
- Rio Maggiore

La ciclovía inoltre in una sezione specifica della tratta di interesse (ancora da definire nel dettaglio) posta in un intorno dell'interferenza con il Rio Maggiore, ha la necessità di spostarsi dalla sinistra alla destra idraulica attraversando il Fiume Reno mediante una passerella all'uopo da concepire e progettare.

Nella seguente immagine si riporta l'inquadramento idrografico dell'area di interesse:

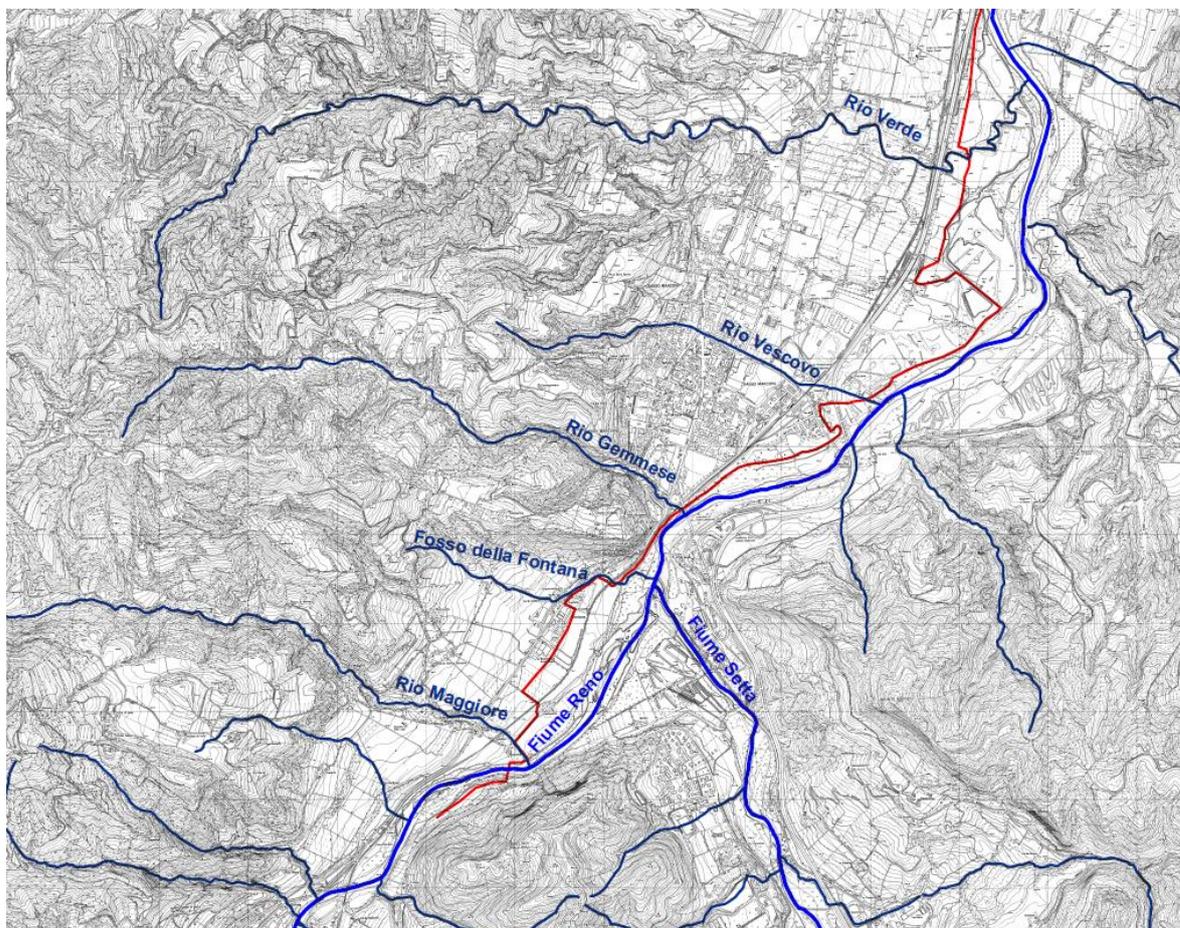


Figura 2 – Idrografia dell'area di interesse

2.1. PIANIFICAZIONE REGIONE EMILIA ROMAGNA

Da un punto di vista idraulico le norme che regolano la fattibilità delle opere della ciclovia del Sole nella tratta di interesse sono:

1. PSAI (*art.1 c.1 L.3.08.98 n.267 e s.m.i.*)
2. PGRA (*DGR 1300 2016 e ssmii*)

Ovvero la compatibilità idraulica degli interventi previsti dovranno essere valutati alla luce dei vincoli prescrittivi e delle vigenti perimetrazioni delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, riportate nella variante di coordinamento fra il Piano Gestione Rischio Alluvioni ed il piano stralcio per l'assetto idrogeologico.

In tal senso la presente relazione si intende "complementare " alle valutazioni sulla pericolosità e rischio inserite nelle relazioni ambientali allegate al presente progetto.

Ulteriori valutazioni di compatibilità idraulica verranno eseguite nelle successive fasi progettuali.

3. IDROLOGIA ED IDRAULICA PRELIMINARE FIUME RENO

3.1. IDROLOGIA E MORFOLOGIA DELLA TRATTA DI INTERESSE

Il bacino del Reno si estende per un'area totale di 5040 km², dall'Appennino emiliano-romagnolo alla pianura fino alla costa adriatica, di questi, 2540 km² formano il bacino montano, ossia il territorio in cui le acque di pioggia scorrono sui versanti e si raccolgono in rii e fossi, lungo tutta la rete di drenaggio fino a formare i deflussi dei corsi d'acqua più importanti.

La tratta di cui al tronco 4 dell'infrastruttura in progetto (Ciclovía del Sole) ricade nel bacino montano del Fiume Reno e dunque il focus della presente relazione si articola prevalentemente sulle caratteristiche idrografiche idrologiche ed idrauliche di questo settore del fiume.

Il bacino montano del solo Reno, all'opera della Chiusa di Casalecchio, si estende per 1061 km², in direzione sud sud-ovest, nord nord-est, con una quota massima di 1945 m. s.l.m. e minima di 60.35 m alla soglia della chiusa di Casalecchio.

Il Reno nasce alla confluenza di due rami (Reno di Prunetta e Reno di Campolungo) a 745 m di quota, per i primi 10 km si presenta come un piccolo torrente montano in perfetto equilibrio per l'assoluta stabilità dei terreni attraversati e per la pendenza relativamente modesta che lo caratterizza (media del 3.7%); in questo tratto la valle è alquanto ampia e presenta la configurazione di un altipiano.

Il reticolo idrografico montano del Reno, piuttosto ramificato e denso, è composto da 8 corsi d'acqua maggiori (classificati principali), 12 secondari (classificati secondari) e da 600 fra torrentelli e rii (classificati minori) e ancora altre centinaia di piccoli rii e fossi (classificati minuti). I corsi d'acqua principali e secondari, seguendo gli affluenti del Reno da monte verso valle, in sinistra sono: il Maresca e l'Orsigna (in territorio toscano), il Randaragna, il rio Maggiore, il Silla con il sub-affluente di sinistra rio Sasso, il Marano, il Vergatello con il subaffluente di destra Aneva, il Croara, il Venola; in destra sono: il Limentra di Sambuca, il Limentra di Treppio, con il sub-affluente di sinistra Limentrella, il Setta -con i subaffluenti Brasimone in sinistra (e il suo sub-affluente di sinistra Vezzano) e Gambellato e Sambro in destra idraulica.

La porzione più alta ed estrema del bacino montano del Reno chiuso a Casalecchio si trova in territorio toscano e riguarda: le sorgenti del Reno e l'affluente Maresca, la quasi totalità del sottobacino del Limentra di Sambuca, la metà superiore del sottobacino del Limentra di Treppio e le estremità montane dei sottobacini del Setta e del suo affluente Gambellato. La Tabella 2 riporta l'elenco dei Comuni ricadenti nel bacino montano del fiume Reno e la percentuale di territorio compresa rispetto all'intero territorio comunale.

Segue un tratto di 15 km, con pendenza media di 1.8%, lungo il quale la vallata si restringe progressivamente presentandosi profondamente incassata negli ultimi 3 km prima del ponte della Venturina dove raggiunge quota 384.5 m s.l.m. In questo tratto la vallata del Reno si sviluppa essenzialmente in sinistra e si presenta in soddisfacenti condizioni di stabilità generale del regime idraulico.

Nel tronco successivo a monte di Vergato, per circa 27 km la pendenza media scende allo 0.8%; l'alveo attraversa dapprima formazioni costituite da un'argilla eminentemente galestrina, poi da argilla quasi plastica per passare alle marne arenacee e rientrare infine nelle argille scagliose di tipo plastico, caratterizzate da pessime condizioni di stabilità.

Nei successivi 17 km fino alla confluenza del torrente Setta (quota 92 m s.l.m.), con pendenza media dello 0.4%, la valle abbandona le argille scagliose per entrare nella formazione miocenica (ove dominano le marne sabbiose e, solo localmente, marne argillose e dure); l'alveo è incassato piuttosto profondamente entro questa formazione passando poi, oltre Pian di Venola, alla zona di deposito nella quale esso si presenta quasi ovunque inciso nelle alluvioni, antiche e recenti.

Negli ultimi 10 km con pendenza media dello 0.3% fino alla Chiusa di Casalecchio (limite del comprensorio montano) il fiume attraversa golene alluvionali recenti e depositi terrazzati antichi più ampi in sinistra che in

destra idraulica. Le formazioni geologiche presenti nelle pendici collinari sono arenarie del pliocene verso monte e marne dure e mioceniche verso valle.

Questo ultimo tratto presenta marcati segni dell'intervento antropico che, a seguito delle consistenti estrazioni di materiale litoide nell'alveo e nel perialveo, ha dato luogo, tra l'altro, alla formazione di numerosi invasi alimentati dalle acque di subalveo.

Nel tratto d'alveo a monte di Casalecchio, 83 km circa, le opere idrauliche sono "non classificate", anche se assimilabili a quelle di 4° e 5° categoria; nel tratto compreso fra la Chiusa di Casalecchio ed il ponte della via Emilia, lungo circa 5.5 km, sono presenti opere classificate di 3° categoria, cui seguono, dal ponte ferroviario della linea Milano-Bologna fino allo sbocco in mare, le arginature continue classificate opere idrauliche di 2ª categoria, con uno sviluppo complessivo di circa 124 km.

3.1.1. Idrologia nella tratta di interesse

Per quanto attiene al tema dell'individuazione del valore delle portate di verifica dei manufatti in progetto in fregio allo sviluppo delle aree golenali e di quelle eventualmente necessarie per le valutazioni di compatibilità idraulica del probabile attraversamento del Reno (previsto a monte dell'intersezione con il Rio Maggiore) si dovrà necessariamente far riferimento all'idrologia ufficiale del PSAI ovvero alle portate determinate dell'autorità competente e scaturite dagli studi e dalle modellazioni di cui:

- "Studio per il calcolo delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nelle sezioni di Bazzano e Forcelli sul torrente Samoggia, di Casalecchio sul fiume Reno e di Zola Predosa sul torrente Lavino." Ing. R. Vignoli per l'Autorità di bacino del Reno, 1997.
- "Generazione di idrogrammi fiume Reno chiuso a Casalecchio" Ing. R. Vignoli per l'Autorità di bacino del Reno, 1998.

Lo studio idrologico effettuato nel PSAI e di riferimento per gli studi da effettuare ha avuto come fine quello di valutare l'entità e la forma degli idrogrammi di piena associati ad un prefissato tempo di ritorno, in base alla conoscenza di alcune serie storiche di pioggia e temperatura registrate da un numero sufficiente di stazioni e delle caratteristiche del bacino: forma, lunghezza e distribuzione del reticolo di scolo, altitudini, tipo e distribuzione della vegetazione e del suolo.

La valutazione degli idrogrammi di piena ad associato tempo di ritorno è stata preceduta:

- dalla calibrazione del modello sul bacino in esame per eventi storici;
- dalla valutazione di eventi estremi di precipitazione di prefissato tempo di ritorno.

La valutazione degli eventi estremi porta alla definizione di piogge di durata variabile (1, 3, 6, 12, 18, 24 ore) e intensità costante, su ogni sottobacino in cui è stato suddiviso il bacino principale, tramite una metodologia che elabora delle mappe di valori estremi create mediante l'analisi di eventi storici.

Le sezioni di riferimento per le valutazioni da compiersi sulla tratta di interesse sono tutte quelle comprese tra la sezione 0 e la sezione 40 così come evidenziato nella seguente immagine:

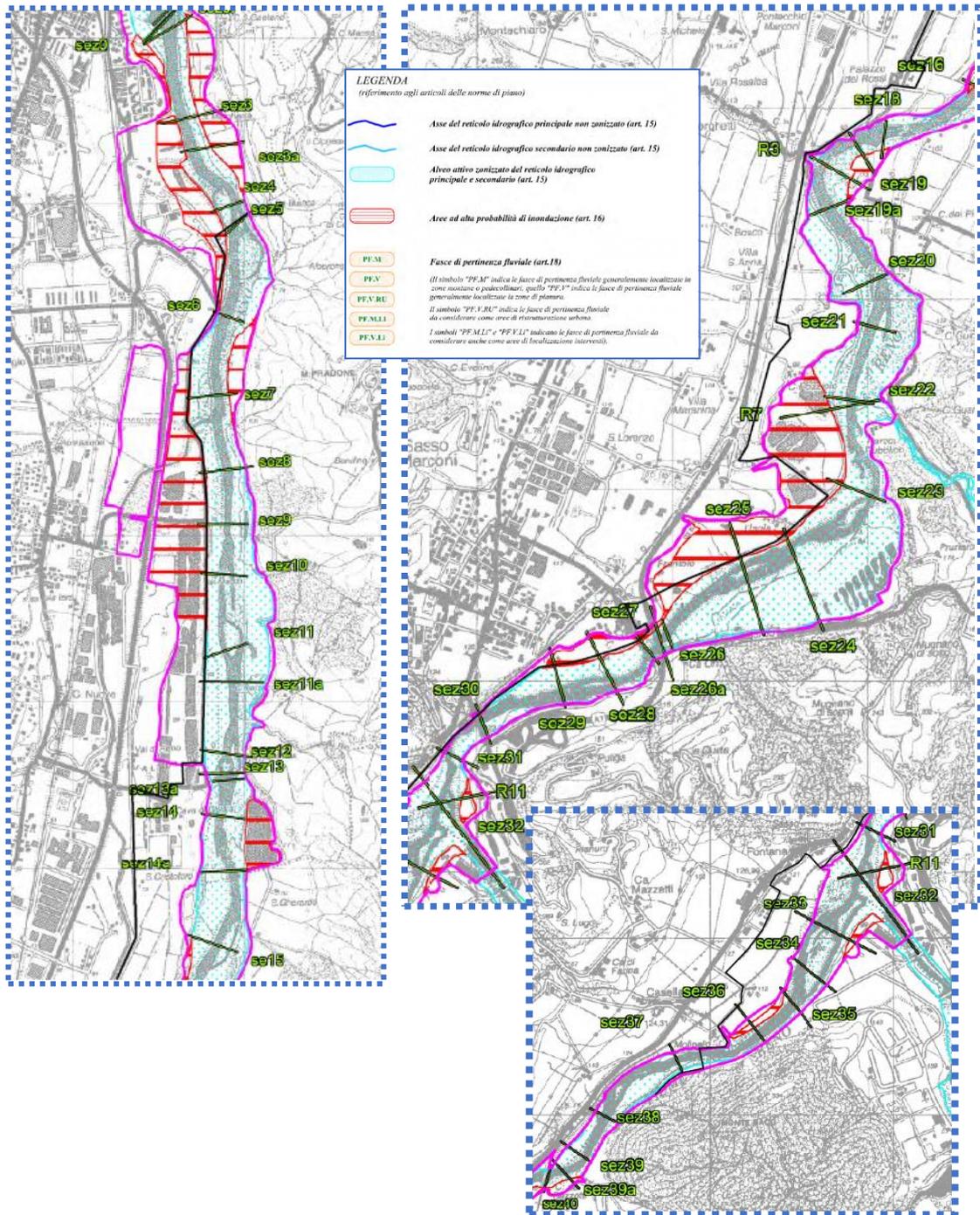


Figura 3.1.1 – sezioni “ufficiali” fiume Reno nella tratta di interesse

3.1.2. Idraulica nella tratta di interesse

Nel PSAI le grandezze idrauliche principali sono desunte dall'implementazione di un modello idraulico del fiume Reno da Ponte della Venturina alla Chiusa di Casalecchio. Il modello include le sezioni trasversali indicate in figura 3.2.1 derivanti da rilevazioni all'uopo effettuate e la rappresentazione di briglie e ponti mediante leggi ricavate dall'analisi della forma della gaveta e delle luci.

La calibrazione del modello è avvenuta individuando il coefficiente di scabrezza, caratteristica idraulica incognita, che meglio riproduceva l'evento storico scelto: l'evento del novembre 2000. Quest'ultimo è il primo evento rilevante in cui il teleidrometro sul Silla, di recente installazione, sia stato attivo. Si sono utilizzate le registrazioni di Porretta, Silla, Vergato, Panico, Sasso Marconi e Casalecchio (Chiusa).

Nel 2008 è stato eseguito a livello nezonale dal Ministero delle Infrastrutture un rilievo LIDAR delle principali aree a rischio idrogeologico: tale rilevazione costituisce, anche in accordo con l'autorità idraulica competente (*regione Emilia Romagna Ufficio territoriale sicurezza territoriale e protezione civile di Bologna*) la base data su cui verificare ed eventualmente aggiornare i riferimenti delle modellazioni idrauliche del PSAI e su cui fare le valutazioni dello stato di progetto degli elementi infrastrutturali necessari alla realizzazione della Ciclovía del sole e interferenti con l'assetto dell'alveo nello stato di fatto.

A tal proposito è già stato implementato, sul citato DTM 2008, da parte della struttura di progettazione un modello idraulico bidimensionale tarato sulle risultaze del citato modello monodimensionale del PSAI mediante il quale verranno definiti gli impatti delle strutture idrauliche interferenti con l'alveo del Fiume Reno e le relative opere di mitigazione:

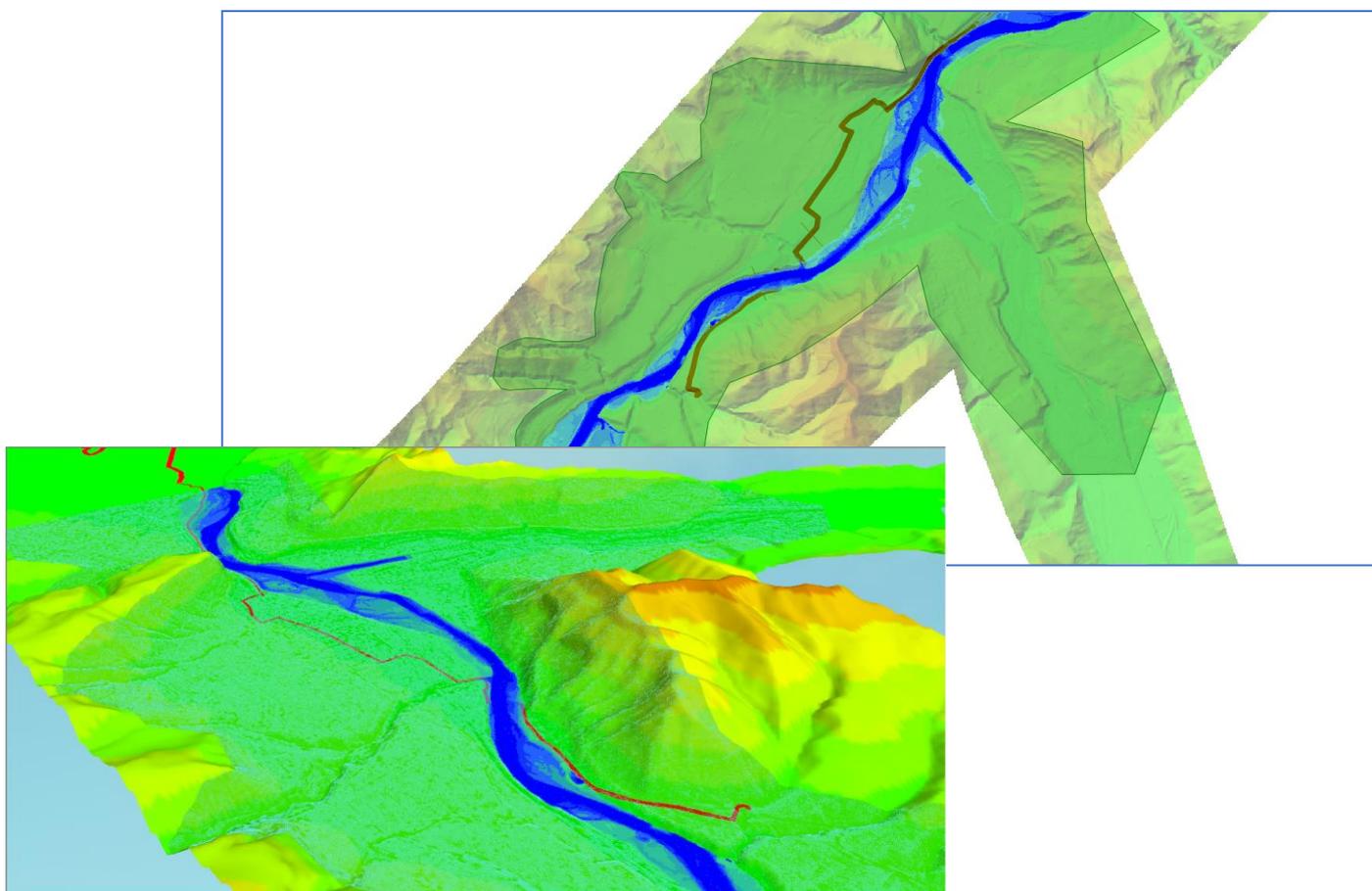


Figura 3.1.2 – modello bidimensionale fiume Reno tratta di interesse.

Le citate condizioni di taratura del modello bidimensionale nello stato di fatto hanno fatto riferimento ai valori idraulici caratteristici di cui alla seguente tabella estratta dal PSAI:

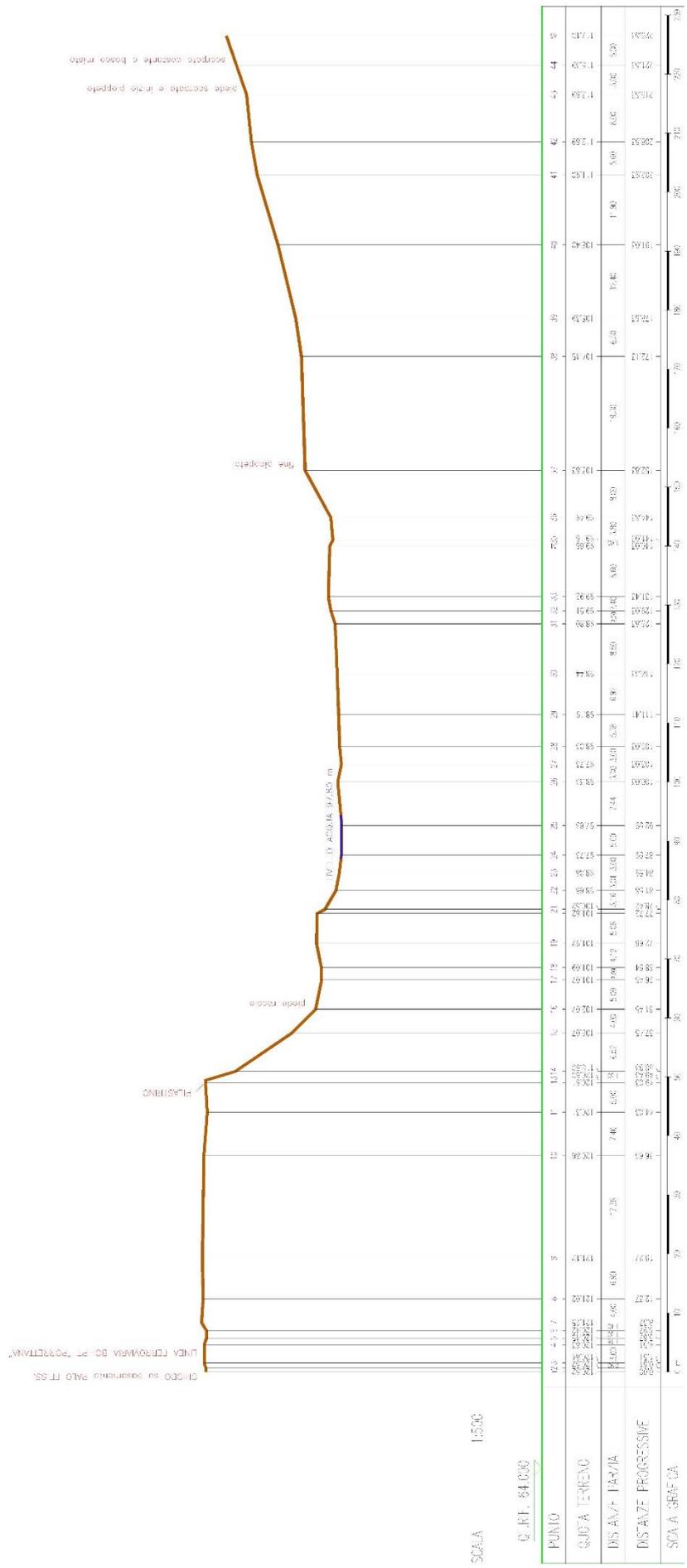
CODICE	Distanza Progr. [m]	SEZIONI		PORTATE E LIVELLI				FONDO Quota del fondo (m s.l.m.)
		Localizzazione	Descrizione	Lmax30 [m s.l.m.]	Qmax30 [m³/s]	Lmax200 [m s.l.m.]	Qmax200 [m³/s]	
40m	68780		m. ponte FS	108.1	1156	109.0	1622	103.7
40	68787		v. ponte FS	107.8	1158	108.7	1622	103.7
36s	68792		m. briglia	107.9	1159	108.9	1622	103.7
40v	68798		v. briglia	107.7	1140	108.6	1622	100.3
39a	68871			107.5	1146	108.4	1622	100.9
39	69022			106.8	1145	107.8	1622	100.1
38	69275			105.9	1145	106.9	1620	99.7
37	69808	Casella-Rampugnano		104.2	1145	105.2	1619	97.3
36	70303	Casella-Rampugnano		102.2	1145	103.0	1618	95.0
35	70557	Fiaccacollo		100.7	1145	101.5	1618	95.2
34	70785			99.6	1144	100.7	1616	95.5
33	71026			99.1	1142	100.4	1611	91.7
R11	71415		confluenza Setta	98.6	1535	100.0	2287	92.0
31	71661	Ziano di Sotto		97.6	1534	98.8	2287	90.7
30m	71908	Sasso Marconi	m. ponte	96.7	1534	97.8	2287	88.3
30v	71918	Sasso Marconi	v. ponte	96.6	1534	97.8	2287	88.3
29	72359	Sasso Marconi		95.5	1534	96.8	2286	88.0
28	72627	Sasso Marconi		94.9	1533	96.4	2286	88.0
27m	72876	Sasso Marconi	m. ponte	94.2	1533	95.7	2286	86.6
27v	72886	Sasso Marconi	v. ponte	93.6	1533	94.9	2286	86.6
26am	72960	Sasso Marconi	m. briglia	93.2	1533	94.7	2286	88.1
26av	72968	Sasso Marconi	v. briglia	92.4	1533	93.3	2286	87.0
26	73018	Sasso Marconi		92.1	1533	93.0	2286	86.4
25	73535	Sasso Marconi		90.4	1532	91.3	2284	84.9
24	73810			89.8	1532	90.9	2282	84.7
23	74314			88.8	1531	90.1	2280	80.9
R7	74863			88.4	1529	89.7	2279	80.7
21	75266			88.0	1529	89.1	2279	80.2
20	75518	Vizzano		87.6	1529	88.6	2279	80.2
19a	75965			86.7	1529	87.8	2279	79.7
R3	76224			86.2	1529	87.4	2279	79.4
19m	76420		m. ponte	85.8	1529	86.9	2279	77.9
19v	76433		v. ponte	85.1	1547	86.0	2290	77.9
18v	76535	Palazzo dei Rossi	m. briglia	84.8	1547	85.6	2290	80.1
18	76593	Palazzo dei Rossi	v. briglia	78.7	1546	79.9	2290	73.0
16	77159	Palazzo dei Rossi		77.0	1546	78.1	2290	69.5
15	77671			76.1	1546	77.3	2289	68.9
14a	78139			74.7	1546	75.7	2289	67.4
14	78488			72.9	1546	73.7	2289	67.4
13m	78704		m. briglia	72.1	1546	72.8	2289	68.0
13	78753		v. briglia	71.1	1546	72.1	2289	69.0
12	78866			70.8	1545	71.8	2288	65.5
11a	79300	Fomace Marescalchi		69.9	1545	71.0	2287	64.4
11	79484			69.7	1544	70.9	2285	63.2
10	79956	Laghi del Maglio		69.4	1543	70.6	2283	60.7
9	80258	Laghi del Maglio		69.1	1543	70.3	2282	61.4
8	80586			68.9	1542	70.1	2282	60.6
7	81041			68.4	1542	69.6	2281	60.1
6	81527	Cantagallo		67.6	1542	68.8	2281	60.0
5	82103	Casalecchio	passerella	66.6	1541	67.7	2281	60.1
5i	82107	Casalecchio	passerella	66.3	1541	67.3	2281	60.1
4	82219	Casalecchio		66.1	1541	67.0	2281	60.0
3a	82639	Casalecchio		65.4	1541	66.3	2280	59.2
3	82837	Casalecchio		65.0	1541	65.8	2280	58.3
2sa	83382	Casalecchio		63.8	1541	64.5	2280	57.9
0b	83422	Casalecchio	Chiusa	63.7	1541	64.4	2280	57.5

Figura 3.3.2 – valori caratteristici idrologici ed idraulici tra le sezioni 0 e 40 (modellazione idrologica e idraulica PSAI)

La posizione per l'attraversamento del fiume è stata obbligata da una serie di vincoli al contorno:

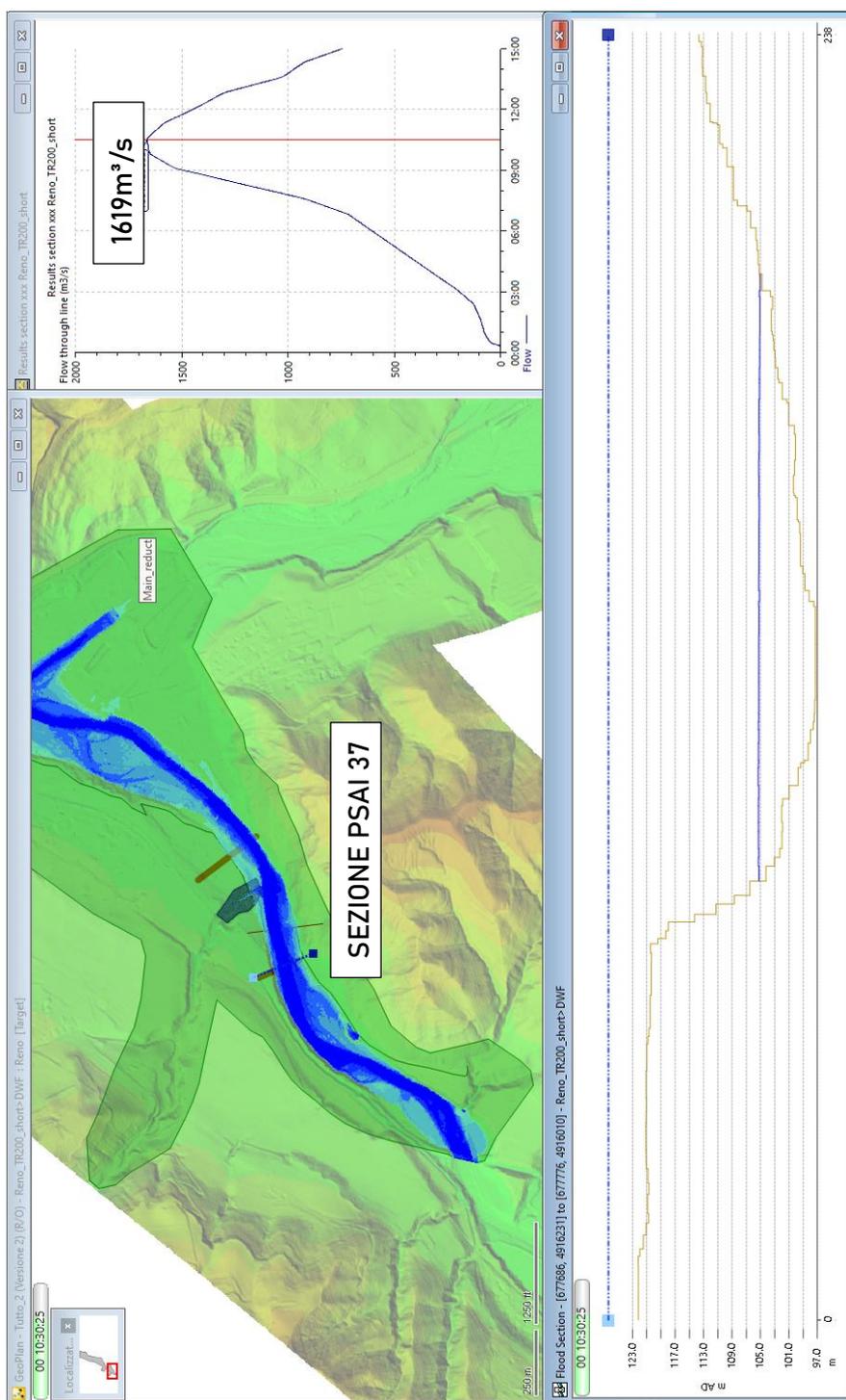
- instabilità del versante sul lato del Monte Baco, questo ha portato il posizionamento della passerella più a monte possibile per evitare di posizionala sotto la zona di erosione maggiore;
- morfologia differenziata delle due sponde, per la quale si è cercata una posizione in cui le due sponde avessero un'altezza simile;
- presenza di una condotta SNAM sul lato del Comune di Sasso Marconi che dati i vincoli di distanze di rispetto, impedisce la realizzazione delle pile.

A questi elementi si aggiunge, quale interferenza da considerare per la progettazione, la presenza sul lato Marzabotto di due condotte dell'acquedotto rispettivamente di diametro 300mm e 1400mm.

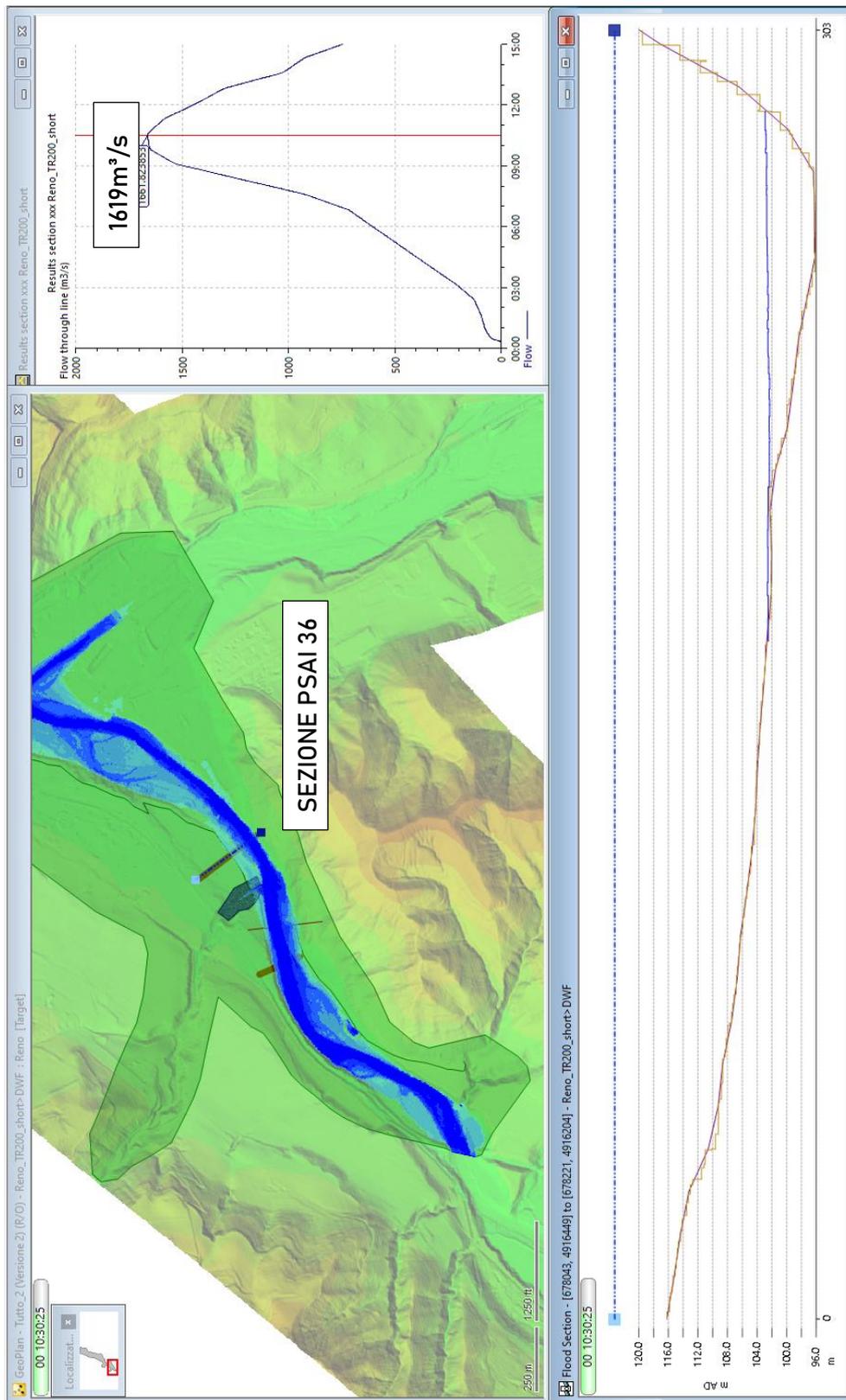


Il modello idraulico bidimensionale è stato generato utilizzando il software Infoworks ICM, che rappresenta lo stato dell'arte della modellazione integrata 1D/2D; le caratteristiche peculiari del software sono consultabili in maniera compiuta accedendo alle references della software house al link <https://www.innovyze.com/en-us/products/infoworks-icm>.

Come accennato in precedenza, il modello numerico è stato tarato in funzione dei dati reperiti dal PSAI. Considerando le sezioni e le portate individuate nella tabella riportata in precedenza, quindi, si è determinato che il valore di scabrezza necessario per raggiungere i livelli idrometrici corrispondenti alla Q200 è pari a 0,043 nella forma di Manning. Adottando tale valore di scabrezza è possibile osservare come i livelli idrometrici corrispondenti alla portata di 1.619,00 m³ (Tr200) per le sezioni 37 e 36 sia prossima ai valori del PSAI, come visibile dalle seguenti figure.

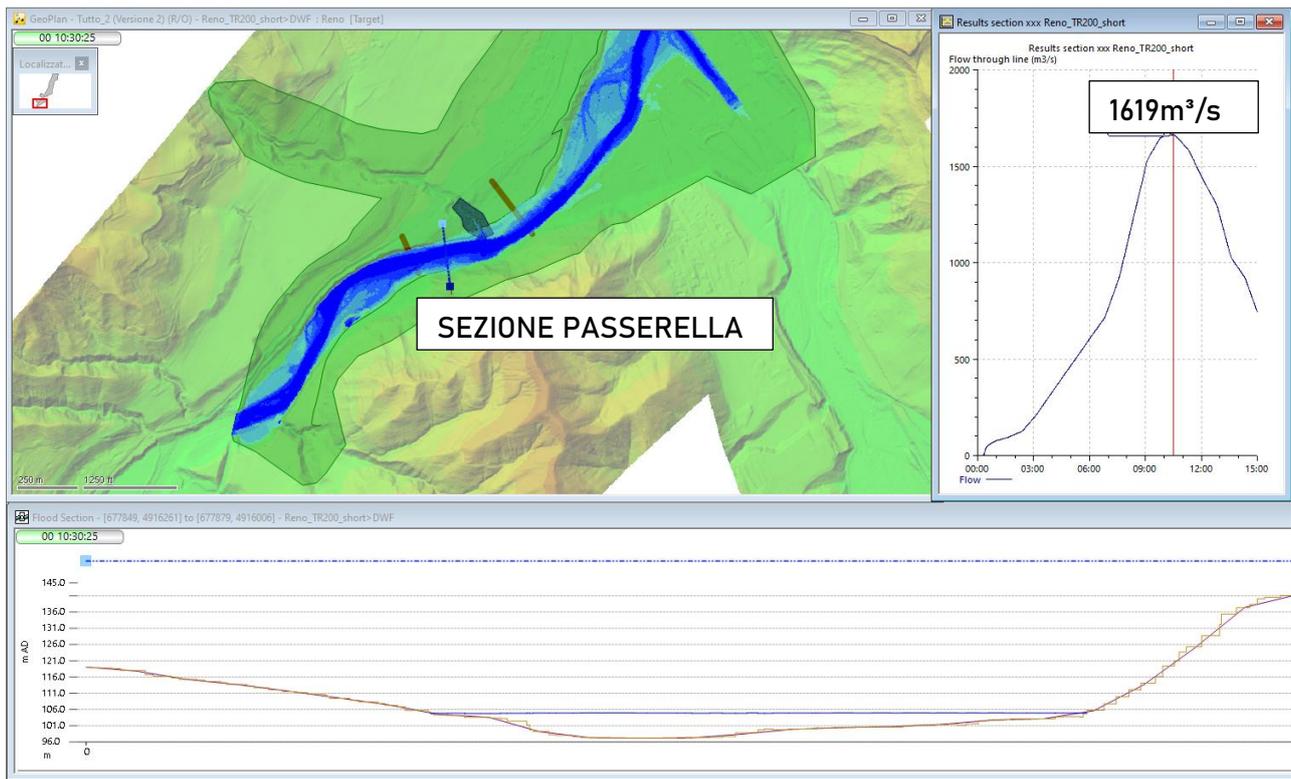


Risultati del Modello bidimensionale – Stato di fatto - Sezione 37



Risultati del Modello bidimensionale – Stato di fatto - Sezione 36

Verificata l'attendibilità del modello generato, si è quindi indagata la sezione di ubicazione della nuova passerella prevista per la ciclovia determinando un livello di riferimento della piena duecentennale pari a circa 105,00 metri S.l.m., come visibile nell'immagine seguente.

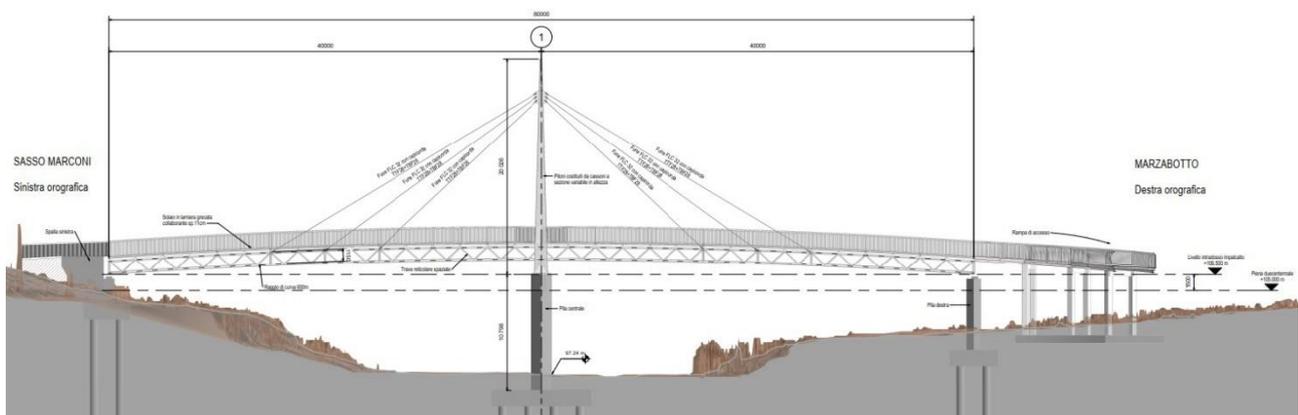


Noto il livello della piena ducentennale nel tratto di interesse è stato possibile individuare la quota minima dell'intradosso della passerella, pari al livello idrometrico della piena ducentennale, aumentato di 1,5 metri come richiesto dalle NTC2018.

La passerella di progetto avrà una lunghezza di circa 120 metri. Si prevede una struttura metallica, strallata, asimmetrica, simile a quella già presente sul Reno poco più a valle in Comune di Casalecchio. Tale asimmetria permette di realizzare la maggior parte delle fondazioni sul lato Sasso Marconi, punto nel quale ci sono meno vincoli, oltre a trovarsi al di fuori della zona di piena duecentennale.

Sul lato Marzabotto si prevedono invece le opere minime allo sbarco della passerella ed al raccordo di questa con la quota della strada forestale che si utilizza per il tracciato. Tale raccordo altimetrico verrà realizzato con delle strutture metalliche ad U che sorreggono il percorso, che hanno l'obiettivo di essere il più possibili trasparenti dal punto di vista idraulico.

La larghezza prevista per la passerella è di 4 metri così da permettere anche il passaggio di un'ambulanza. Di seguito è riportata una immagine del prospetto della passerella e la proiezione del profilo della piena duecentennale aumentato di 1,5 metri.



Gli impatti dell'opera in progetto si riducono ad una probabile interferenza di una parte delle strutture da prevedere in alveo riguardo ad un possibile sopralzo idrometrico ed un potenziale scalzamento delle pile di sostegno. Tali fenomeni sono stati opportunamente indagati e relazionati nei seguenti paragrafi.

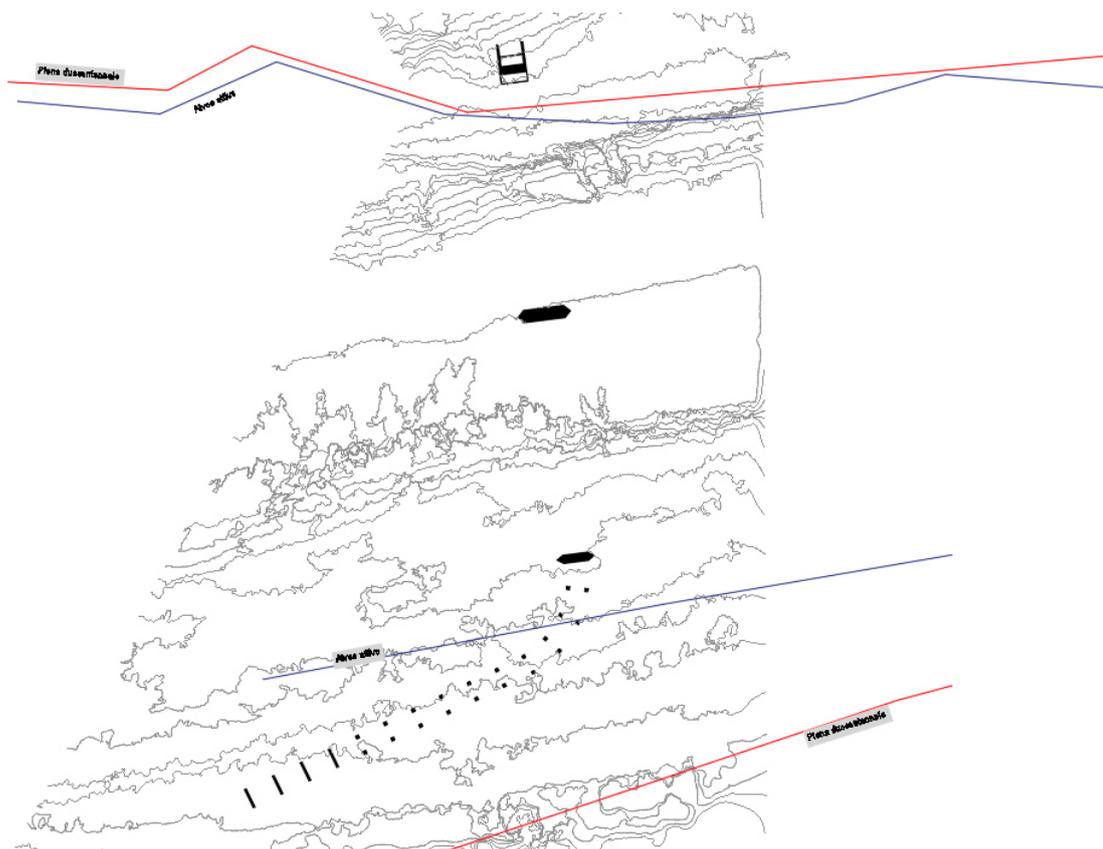
3.1.3. Verifica idraulica del sopralzo idrometrico

La verifica del sopralzo idrometrico è stata condotta inserendo nel modello numerico bidimensionale le opere in alveo previste per la realizzazione dell'opera (stato di progetto).

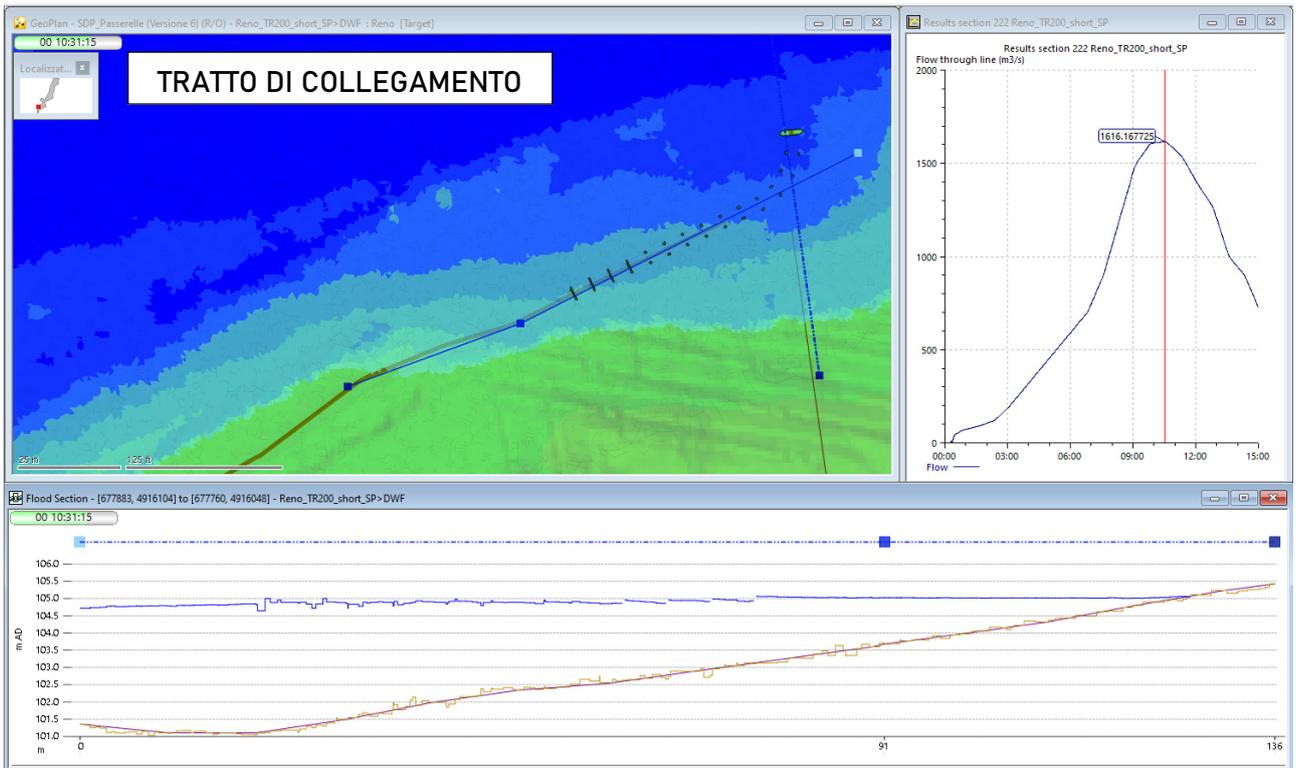
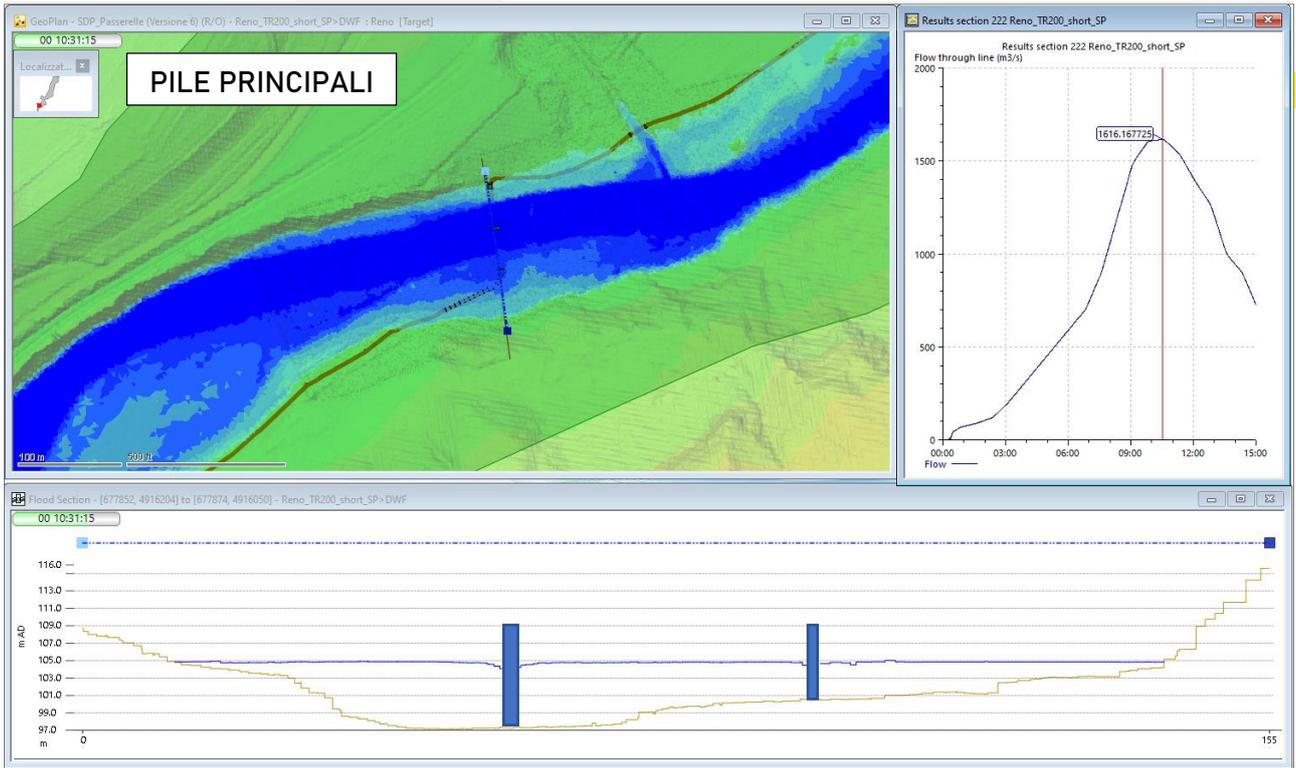
In particolare, la passerella sul Fiume Reno è stata concepita in modo da ridurre al minimo le opere interferenti con il deflusso della portata fluviale.

In sponda sinistra, infatti, la spalla dell'opera è stata prevista al di fuori dell'area della piena duecentennale, mentre in corrispondenza dell'alveo attivo sono ubicate due pile a pianta esagonale. In corrispondenza della sponda destra, invece, sono previsti pali pila di sostegno dell'opera concepite con una forma tale da minimizzare l'impatto sul flusso idrico fluviale. Lo schema delle opere previste è riportato di seguito (linee rosse: limiti della piena duecentennale; linee blu – limite alveo attivo).

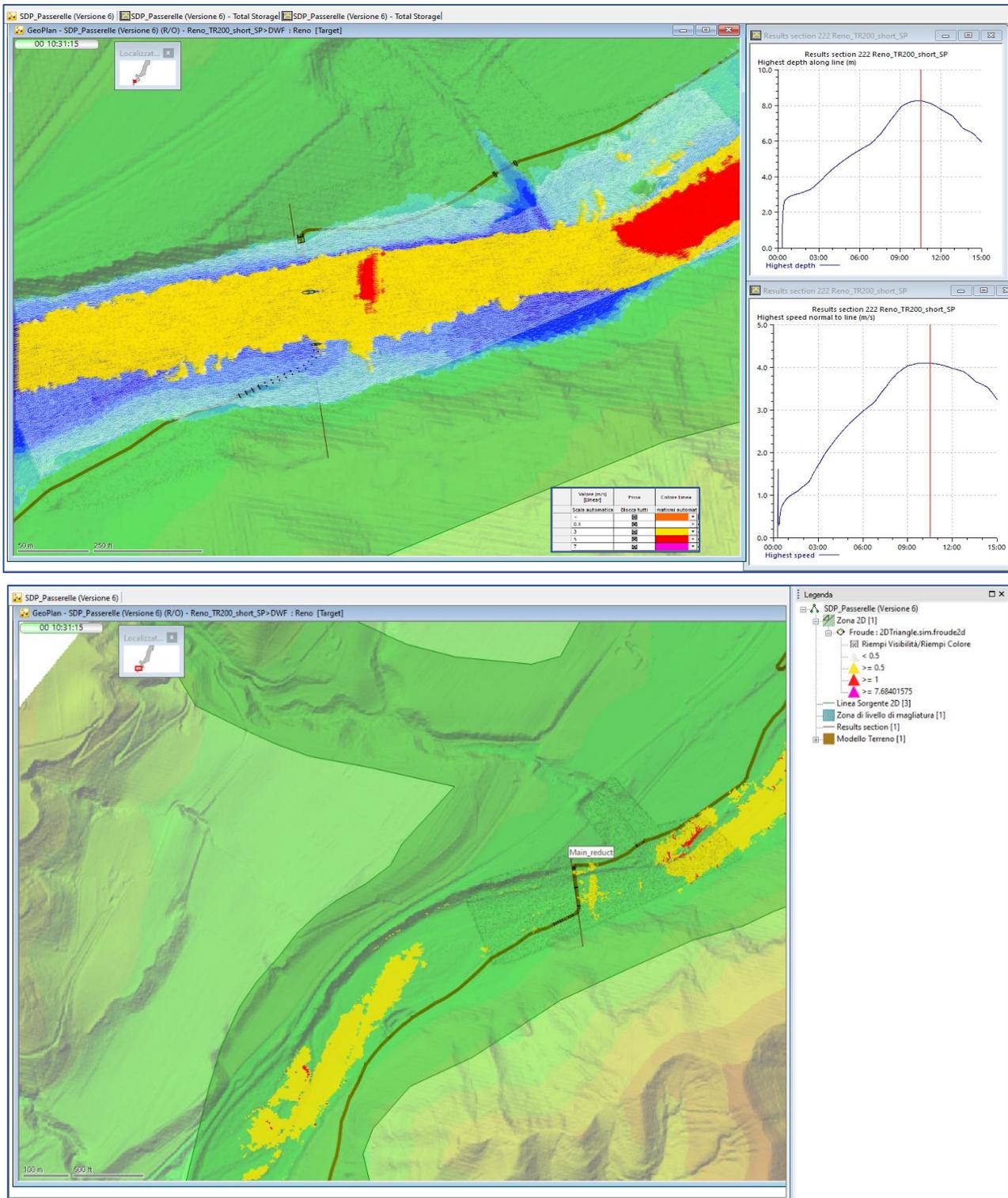
Occorre segnalare sin da ora che il tratto individuato per l'ubicazione della passerella della ciclovia presenta un alveo stabile in un punto orografico in cui è impedita la divagazione. Tale condizione determina quindi le condizioni ideali per inserire l'opera garantendo la stabilità della sezione nel tempo.



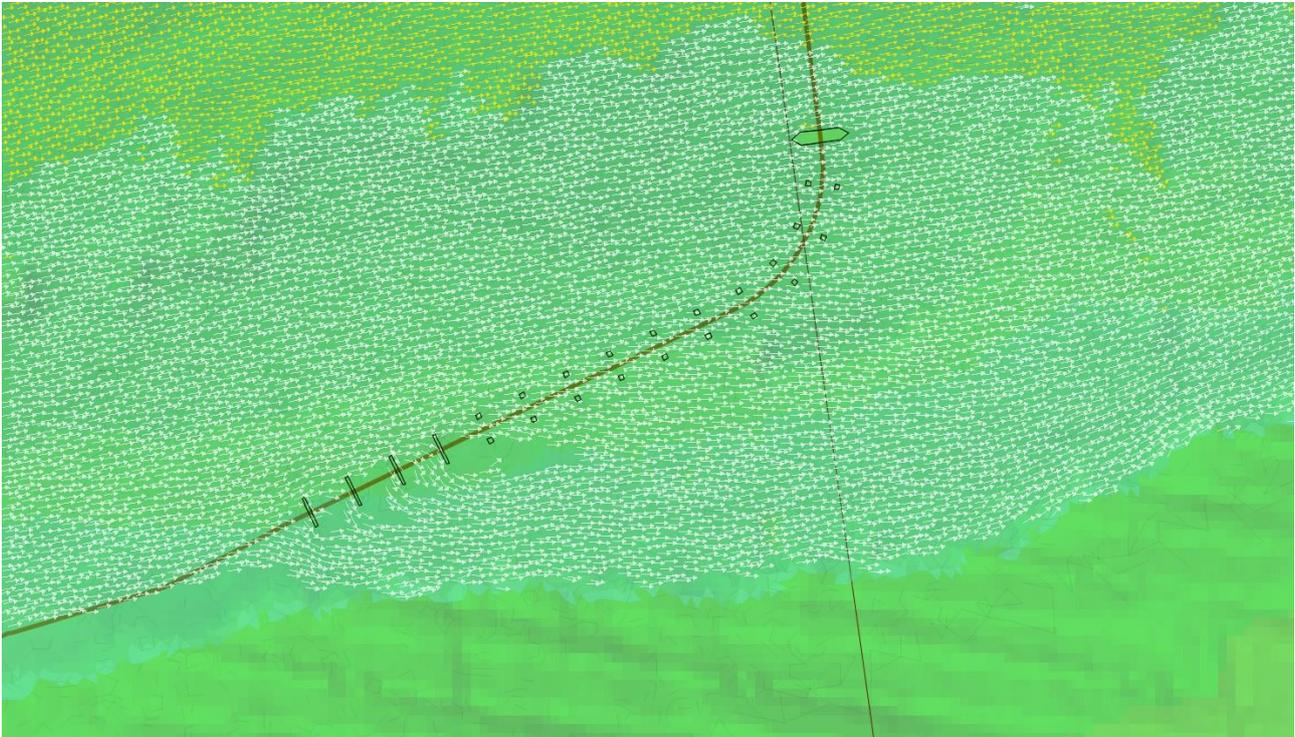
Dalla modellazione dello stato di progetto sono stati quindi ricavati i seguenti andamenti del profilo idrico in corrispondenza delle pile principali della passerella, nonché del tratto di collegamento tra la ciclovia in sponda e la passerella stessa.



Come visibile dalle immagini sopra riportate, l'introduzione della passerella ciclopedonale non comporta sensibili variazioni del livello grazie al numero limitato di pile in alveo ed alle dimensioni ridotte delle stesse. A integrazione dei risultati, inoltre, si riportano i tematismi derivati dalla modellazione bidimensionale idraulica relativi ai vettori di velocità dei filetti fluidi e del numero di Froude della corrente idrica nello stato di progetto.



Anche il tratto di collegamento tra la ciclovìa lungo la sponda destra del fiume e la passerella, che prevede un tratto rialzato, non comporta variazioni sensibili delle caratteristiche della corrente, inoltre, presso tale area, dato il tirante ridotto corrispondente alla piena duecentennale, si fa notare che essa ricade in un campo di moto di ridotta intensità. Di seguito, ad argomentazione di quanto indicato, si riporta un estratto dei vettori di velocità determinati dalla modellazione bidimensionale.



3.1.4. Verifica idraulica dello scalzamento delle pile

I fenomeni di erosione connessi alla costruzione di un viadotto hanno molteplice natura:

- Erosione generalizzata sul letto del fiume, dovuta alla riduzione della sezione utile;
- Erosione localizzata al piede delle pile, generata dai vortici indotti dalle medesime pile.

L'erosione generalizzata del letto del fiume è un fenomeno dipendente dal regime della corrente e dalla natura del materiale di fondo. In presenza di un ponte, molti fattori contribuiscono alla formazione del fenomeno di erosione. Per esempio l'alveo principale si contrae in prossimità della sezione di attraversamento, il rilevato della strada in prossimità del ponte causa il passaggio totale o parziale del flusso delle golene nell'alveo principale, le pile ostruiscono parte del flusso.

Ci sono due differenti forme di erosione generalizzata, dipendenti dal trasporto di materiale presente nel tratto a monte della sezione di attraversamento. Nel caso in cui ci sia trasporto solido nel tratto a monte del ponte, si parla di "Live-Bed Contraction Scour", se il trasporto di materiale è trascurabile si ha "Clear-Water Contraction Scour".

Per stabilire in che condizione ci si trovi, l'HEC-RAS calcola la velocità critica V_c di trasporto del materiale del letto e la confronta con la velocità V del flusso nella sezione a monte del ponte dove il flusso non è disturbato dalla presenza del ponte. Se $V_c < V$, allora si considera il caso "Live-Bed Contraction Scour", altrimenti si ricade nel caso "Clear-Water Contraction Scour".

La velocità critica V_c è calcolata secondo l'espressione di Laursen secondo la formula:

$$V_c = K_u y_1^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

dove:

- V_c (m/s) = velocità critica sopra la quale il materiale con diametro $D \leq D_{50}$ va in trasporto;
- y_1 (m) = profondità media del flusso
- D_{50} = diametro medio del materiale di fondo
- $K_u = 6.19$

Nel caso di "Live Bed Contraction Scour", l'espressione utilizzata per stimare l'erosione è ancora una volta la formula di Laursen riportata di seguito:

$$y_2 = y_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1} \right)^{6/7} \left(\frac{W_2}{W_1} \right)^{K_1}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

dove:

- y_s = profondità media dell'erosione (m)
- y_2 = profondità dell'alveo dopo l'erosione nella sezione contratta (m)
- y_1 = profondità media dell'erosione nella sezione di monte (m)
- y_0 = profondità iniziale dell'alveo nella sezione contratta (m)
- Q_1 = portata della corrente a monte (m^3 / s)
- Q_2 = portata della corrente nella sezione contratta (m^3 / s)
- W_1 = larghezza del fondo d'alveo nella sezione di monte (m)
- W_2 = larghezza del fondo d'alveo nella sezione contratta dedotta la larghezza delle pile (m)
- K_1 = esponente dipendente dal tipo di materiale trasportato

I valori dell'esponente K_1 sono di seguito riportati

V^* / ω	K_1	TIPO DI MATERIALE TRASPORTATO
< 0.5	0.59	Principalmente trasporto di fondo
0.5÷2.0	0.64	Presenza di sospensione
> 2.0	0.69	Principalmente in sospensione

dove:

- $V^* = (g y_1 S_1)^{1/2}$ velocità di taglio nella sezione di monte (m/s)
- ω = velocità di caduta del materiale del letto con D_{50} (m/s)
- $9.81 g$ = acceleration of gravity (m/s^2)
- S_1 = slope of the line energy

Nel caso "Clear Water Contraction Scour" si utilizza l'espressione di Laursen

$$y_2 = \left(\frac{Q_2^2}{CD_m^{2/3} W_2^2} \right)^{3/7}$$

$$y_s = y_2 - y_0$$

dove:

- D_m = diametro della particella non trasportabile più piccola (1.25 D_{50}) nella sezione contratta (m)
- D_{50} = diametro medio del materiale di fondo
- $C = 40$

L'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è causata dall'accelerazione del flusso intorno alla pila ed alla formazione di vortici.

Tali vortici, detti a ferro di cavallo (*horse toe vortex*) rimuovono materiale dalla base della pila, creando una buca dalla forma caratteristica (v. figure seguenti).

Al crescere della profondità dell'erosione, diminuisce la velocità del vortice e quindi la rimozione di materiale. Quando si raggiunge l'equilibrio tra il materiale depositato e il materiale scalzato, l'erosione cessa.

I fattori che influenzano la profondità dell'erosione sono:

- la velocità del flusso a monte della pila, la profondità del flusso;
- la larghezza della pila;
- la forma della pila.
- la lunghezza della pila quando non è ortogonale alla corrente;
- le dimensioni del materiale del letto.

L'HEC – Ras permette di calcolare l'erosione con la formula Colorado State University (CSU) o con la formula di Froehlich. L'equazione CSU ha la forma:

$$y_s = 2.0K_1K_2K_3K_4a^{0.65}y_1^{0.35}Fr_1^{0.43}$$

dove:

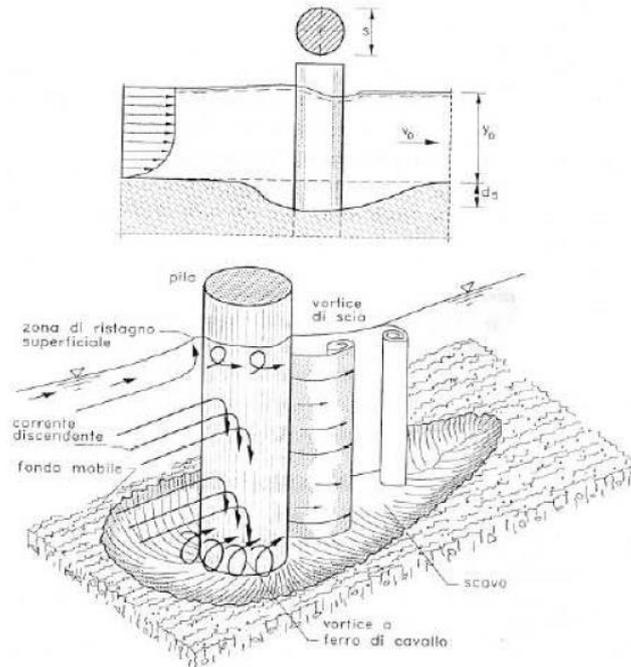
- y_s = profondità dell'erosione (m)
- K_1 = fattore di correzione per la forma dell'estremità della pila
- K_2 = fattore di correzione per l'angolo d'attacco del flusso
- K_3 = fattore di correzione per le forme di fondo
- K_4 = fattore di correzione per il materiale di fondo
- a = larghezza della pila (m)
- y_1 = profondità del flusso a monte della pila (m)
- Fr_1 = Numero di Froude a monte della pila

L'equazione di Froehlich è:

$$y_s = 0.32\phi(a')^{0.62}y_1^{0.47}Fr_1^{0.22}D_{50}^{-0.09} + a$$

dove:

- Φ = fattore di correzione per la forma dell'estremità della pila
- a' = larghezza della pila proiettata nella direzione del flusso



Scavo alla base di una pila prodotto dalla formazione di vortici

Ulteriori teorie di verifica dello scaldamento al piede sono quelle di seguito riportate:

- **Johnson**

$$d_s = 1.35b^{0.7} y^{0.3}$$

- **Jain & Fisher**

Se

$$(Fr_1 - Fr_c) > 0.2 \quad \rightarrow \quad d_s = 2.0b(Fr_1 - Fr_c)^{0.25} (y/b)^{0.5}$$

Se

$$(Fr_1 - Fr_c) < 0 \quad \rightarrow \quad d_s = 1.85b(Fr_c)^{0.25} (y/b)^{0.3}$$

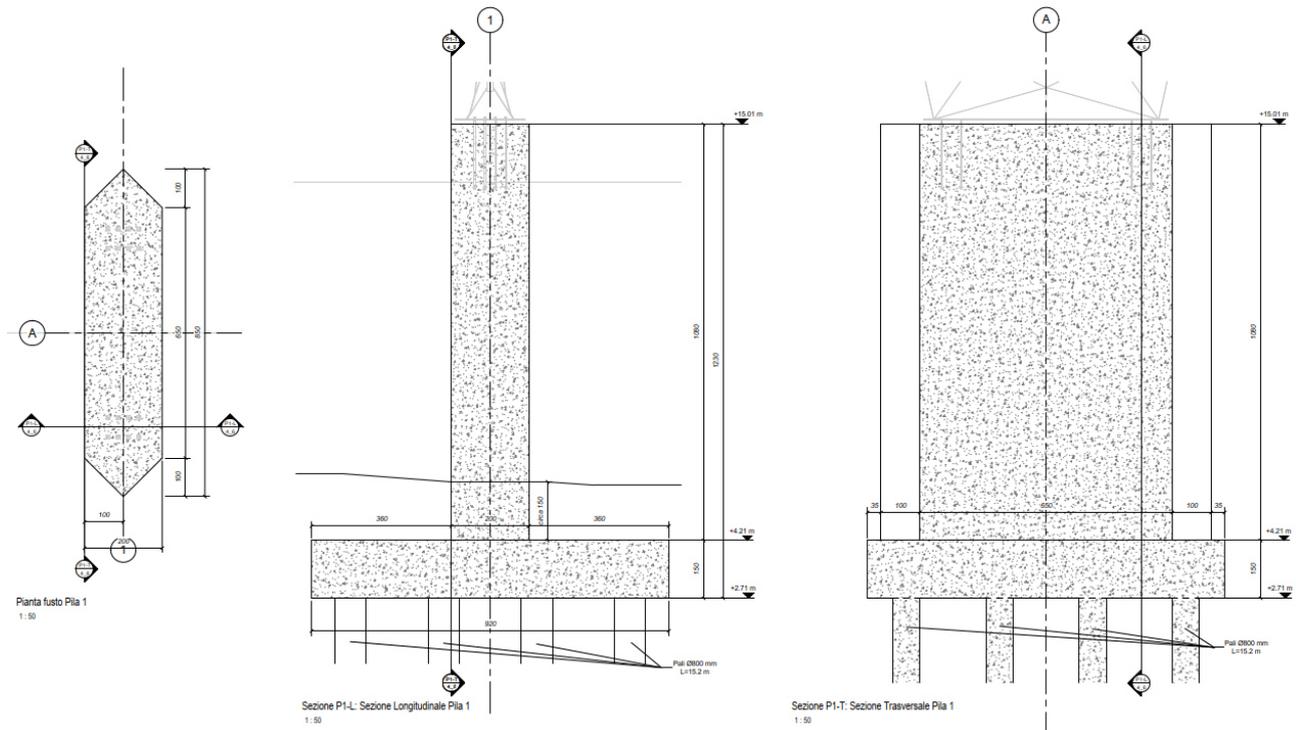
Dove:

$$Fr_c = \frac{V_c}{\sqrt{g y}}$$

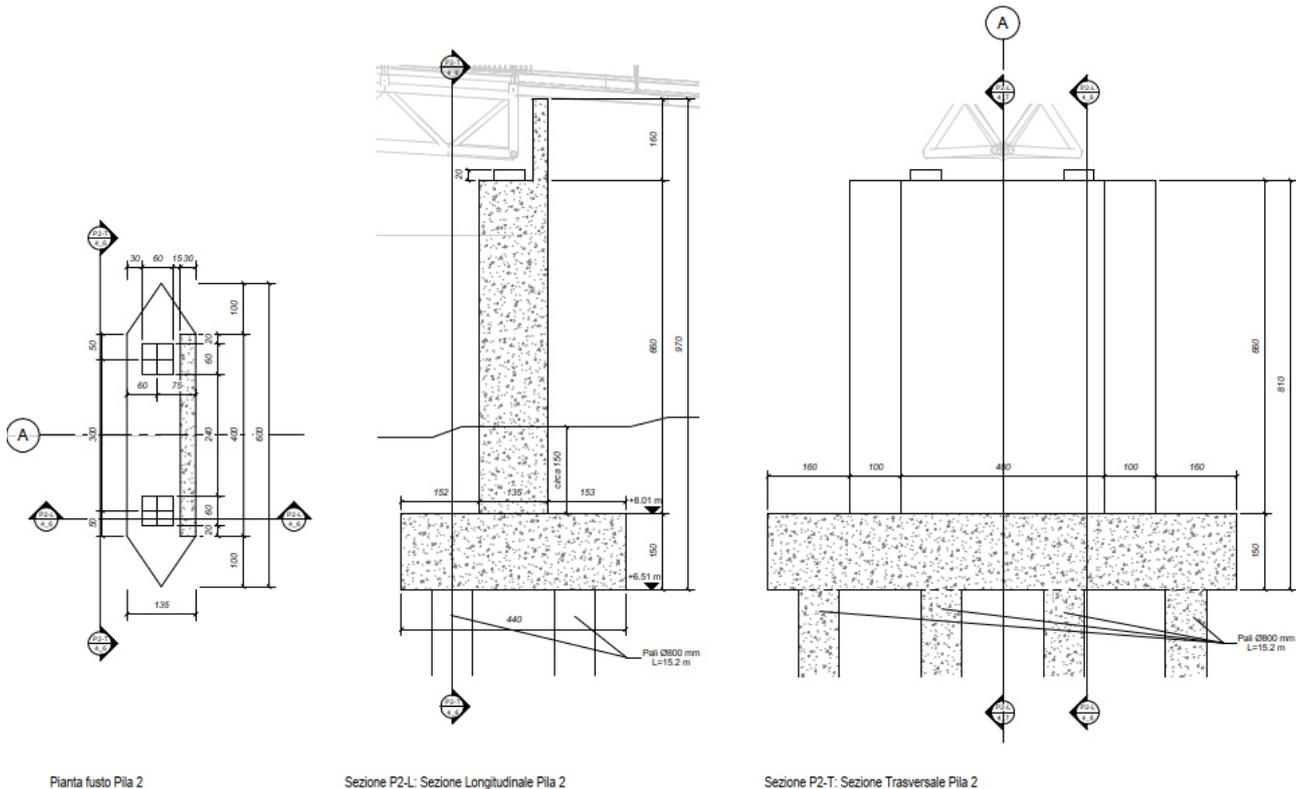
$$V_c = 6.19 y^{1/6} D_{50}^{1/3}$$

Nel presente caso le pile in alveo di grandi dimensioni sono due, denominate nell'architettura "pila centrale" (pila 1) e "pila destra" (pila 2). La pila centrale prevede è ubicata in corrispondenza dell'alveo del fiume con fondo posto a quota 97,24 m slm. La pila avrà una pianta esagonale con larghezza 2 metri e lunghezza circa 8,50 metri e prevederà una soletta di fondazione, ubicata con estradosso a 1,5 metri dal

fondo alveo, di forma quadrata con lato pari a 9,20 metri e spessore 1,50 metri. Al di sotto della fondazione sono previsti 16 pali di fondazione di diametro 800mm profondi 15,2 metri. Un estratto della pila prevista è mostrato nell'immagine seguente.



La "pila destra", invece, è ubicata sulla banca fluviale destra, in corrispondenza di un fondo posto a 101,04 metri slm. La pila avrà larghezza pari a 1,35 metri e lunghezza pari a 6,00 metri, sempre di forma esagonale, con fondazione rettangolare, posta a 1,5 metri dal fondo alveo, di dimensioni 4,40 metri per 9,20 metri e spessore pari a 1,5 metri. Anch'essa, come la pila centrale, prevede l'ubicazione su pali di fondazione di diametro 800 mm e profondi 15,20 metri (in questo caso nel numero di 8 pali complessivi).



Per la valutazione dell'erosione tramite software si è provveduto interrogando il modello bidimensionale in prossimità di ciascuna pila ed estrapolando i valori caratteristici dello scalzamento in funzione della portata con $T_r=200$ anni.

Quale granulometria costituente il materiale d'alveo si è considerato, sulla base di sondaggi effettuati in precedenza in zona che evidenziano la presenza di sabbie, limi ed argille, un $D_{50}=0,34$ mm ed un $D_{90}=1,37$ mm, quale media dei dati da letteratura per un'area di transizione fluviale/marittima.

Secondo le teorie di cui sopra, applicando i valori caratteristici del caso in esame, sono stati ottenuti i valori di quota fondo eroso riportati di seguito, unitamente alla quota del fondo alveo attuale.

MANUFATTO	DISTANZA PROG.	FONDO ALVEO ATTUALE	QUOTA FONDO EROSO (m)			
			CSU (HEC-18)	Johnson	Jain & Fisher	Froelich
SPALLA	0,00	105,00	105,00	-	-	-
PILA CENTRALE	42,00	97,24	94,11	93,18	94,38	93,50
PILA DESTRA	84,00	101,04	98,71	98,52	98,57	98,59
SPALLA	120,00	108,00	108,00	-	-	-

Quote assolute fondo alveo pre e post erosione secondo le differenti teorie

Nella figura seguente si riportano i grafici delle quote di cui alla tabella precedente, unitamente alla quota calcolata come media matematica delle quote di cui alle differenti teorie; il calcolo considera anche gli effetti di interferenza longitudinale fra le pile, i quali comportano sulla pila centrale un incremento del 10% del valore di erosione associato alla pila singola, come confermato dai recenti studi di Keshavarzi e Shresta (2015; 2018).

Pertanto al valore medio ottenuto dalle varie formulazioni è stato applicato un fattore di incremento di 1.10.

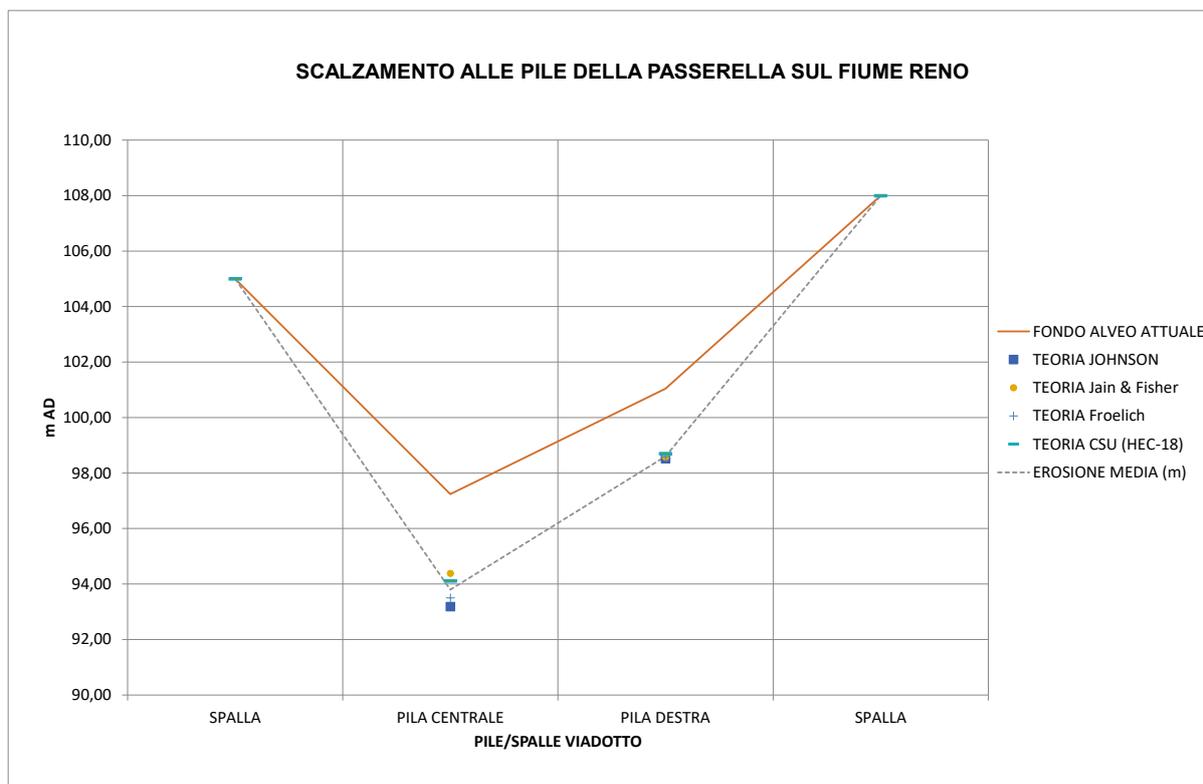


Grafico quote assolute fondo alveo pre e post erosione secondo le differenti teorie

I valori medi dell'erosione debitamente maggiorati del 10% in ragione degli effetti di interferenza longitudinale delle pile ed associati alla TR200 (assunta come base di calcolo a maggior cautela) sono di seguito riportati per ciascuna teoria considerata, unitamente alle conseguenti quote del fondo eroso ed alle quote di estradosso dei plinti previste dal progetto.

MANUFATTO	DISTANZA PROG.	FONDO ALVEO ATTUALE	PROFONDITA' SCAVO DA EROSIONE (m)				EROSIONE MEDIA (m)	QUOTA MEDIA FONDO EROSO
			CSU (HEC-18)	Johnson	Jain & Fisher	Froelich		
SPALLA	0,00	105,00	-	-	-	-	-	105,00
PILA CENTRALE	42,00	97,24	3,13	4,06	2,86	3,74	3,45	93,79
PILA DESTRA	84,00	101,04	2,33	2,52	2,47	2,45	2,44	98,60
SPALLA	120,00	108,00	-	-	-	-	-	108,00

Valore dello scavo da erosione e confronto con le quote previste per i plinti

I valori ottenuti, specialmente per la pila centrale, comporterebbero l'asportazione del materiale di fondo alveo fino ad una profondità tale da scoprire la fondazione della pila. Tale condizione, quindi, determina la necessità di proteggere la pila dall'erosione mediante l'inserimento di opportuni rip-rap in materiale lapideo di pezzatura 500-1.000 kg. Per la pila destra, invece, il valore ottenuto non comporterebbe il raggiungimento delle teste dei pali di fondazione, tuttavia si prevede comunque di proteggere anche tale pila mediante l'inserimento di rip-rap come per la pila centrale.

4. IDROLOGIA ED IDRAULICA DELL'IDROGRAFIA MINORE INTERFERITA

Come accennato nelle premesse della presente la Ciclovía del sole nella tratta di cui al tronco 4 interferisce con i bacini di 5 rii minori aventi la seguente toponomastica:

- Rio Verde
- Rio Vescovo (o bacino urbano dell'agglomerato di Sasso Marconi)
- Rio Gemmese
- Fosso Fontana
- Rio Maggiore

I bacini del Rio Maggiore e del Rio Verde sono stati delimitati e forniti direttamente dalla Regione Emilia Romagna in base agli elaborati dell'Autorità di Bacino del Fiume Reno; i rimanenti corpi idrici, invece, sono stati indagati mediante i dati cartografici disponibili.

Nella seguente immagine si riporta il tracciamento dei citati bacini (le aree non censite presentano altimetrie con avvallamenti afferenti scarichi nel fiume Reno già gestiti con tombamenti e non prevedono interferenze con la pista ciclabile in progetto).

E' evidente come il tracciato della pista ciclabile in progetto passando in fregio al Reno ed essendo quest'ultimo il recapito di tutti i rii interferiti, la medesima rappresenti anche sezione di chiusura dei bacini:

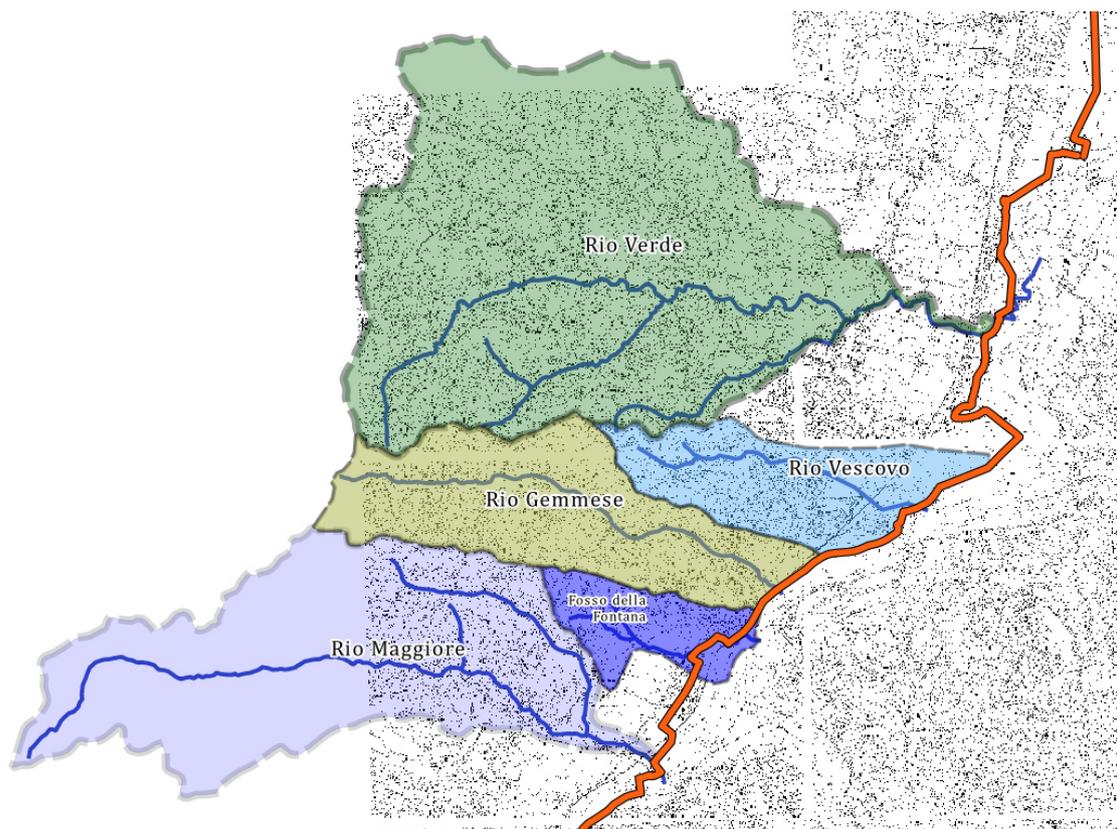


Figura 4.0 – Bacini minori interferenti col tracciato della ciclovía del Sole (indicata in arancione)

In funzione della definizione dei bacini idrografici è stato possibile valutare gli eventi meteorologici massimi attesi per ciascuno di essi (idrologia) e ricavare le portate massime attese in corrispondenza della sezione di chiusura (idraulica). Le metodologie di calcolo adottate sono riportate nei paragrafi seguenti.

4.1. IDROLOGIA DEI BACINI IDROGRAFICI: METODO DELLA REGIONALIZZAZIONE AdB RENO

Lo studio dell'idrologia dei bacini è stata effettuata secondo il metodo della regionalizzazione delle piogge individuato dalla Regione Emilia Romagna e dall'Autorità di Bacino del fiume Reno reperibile mediante gli elaborati riportati all'URL: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/strumenti-e-dati/pioggia/calcolo-pioggia>

La stima delle precipitazioni massime in corrispondenza dei bacini oggetto di studio, è stata quindi condotta utilizzando il risultato di uno studio realizzato per l'Autorità di Bacino del Reno e descritto nel documento: Valori estremi della precipitazione e loro ragguaglio areale nel bacino del fiume Reno ("Studio valori estremi della precipitazione ET&P 1997" utilizzato dall'Autorità di Bacino del fiume Reno come riferimento per il calcolo delle precipitazioni).

I dati utilizzati nello studio citato sono calcolati sulle serie storiche di precipitazione del bacino del fiume Reno: risultano, pertanto, validati solo se utilizzati in tale ambito territoriale, come nel presente caso.

La metodologia di calcolo è illustrata nella pubblicazione dell'AdB Reno denominata: "PROCEDURE, METODI E DATI DI RIFERIMENTO DA ADOTTARE NELLA PREDISPOSIZIONE DEI PIANI CONSORTILI INTERCOMUNALI – ALLEGATO 1 – METODO E DATI DI RIFERIMENTO PER LA DETERMINAZIONE DELLA QUANTITA' DI PIOGGIA PER EVENTI ESTREMI".

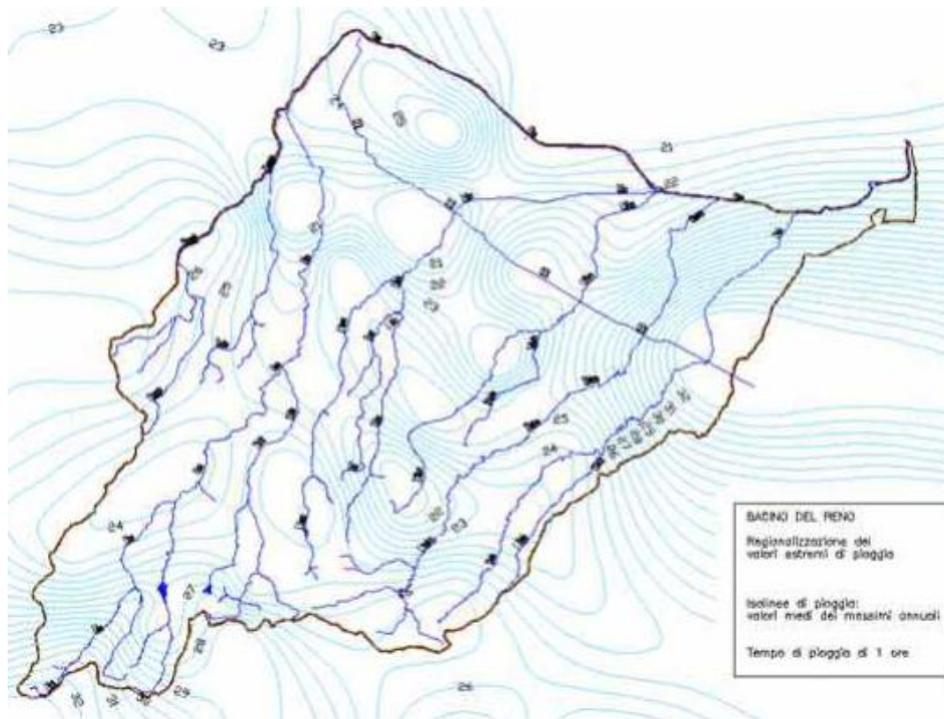
La metodologia proposta si compone di tre fasi:

- la regionalizzazione delle precipitazioni estreme;
- la regionalizzazione delle "curve di crescita";
- la valutazione dei coefficienti di smorzamento areale.

Le prime due fasi permettono di valutare i valori estremi di pioggia a livello puntuale associati ad una probabilità data, mentre la terza fase consente di estendere i valori di pioggia estremi ad una superficie, tenendo conto in senso statistico, della contemporaneità nel verificarsi di eventi estremi su tutta l'area in esame.

La tecnica proposta per la regionalizzazione delle precipitazioni massime consiste nell'utilizzare una relazione che descrive la variabilità sulla regione di una grandezza di riferimento per l'altezza massima di pioggia (mappe dei valori massimi), e di una seconda relazione che descrive il legame tra la grandezza di riferimento e la probabilità associata (fattore di crescita).

Si è considerata come grandezza di riferimento o grandezza "indice" per un generico punto all'interno del territorio in esame e per un definito tempo di pioggia, il corrispondente valore medio dell'altezza massima annuale di precipitazione. Per ciascuna durata di pioggia sono state quindi generate le mappe che contengono la distribuzione spaziale di tale grandezza, come nell'esempio riportato di seguito:



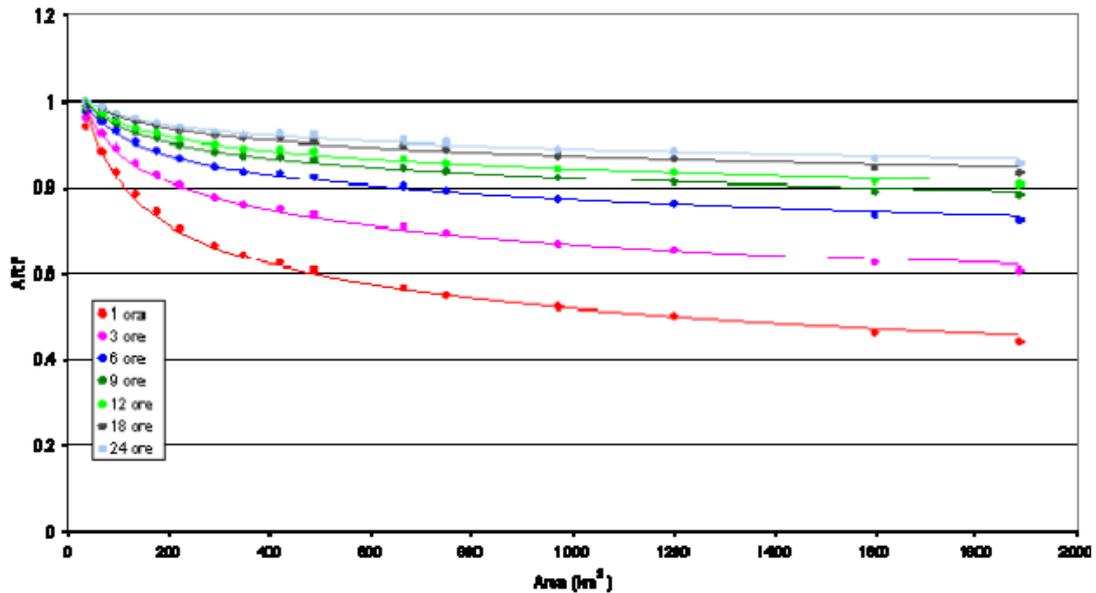
Descritta in questa forma la distribuzione spaziale delle precipitazioni per le 5 durate di pioggia prese in esame (1,3,6,12,24 ore), si può definire un'altezza di pioggia adimensionale come rapporto tra la precipitazione H_T di tempo di ritorno T generico e il valore medio della precipitazione intensa H_M ($H_R = H_T / H_M$) e ricercare per questa grandezza adimensionale, denominata fattore di crescita, il legame con il tempo di ritorno (o analogamente con la probabilità).

Secondo la metodologia proposta, è stato assunto che il fattore di crescita (o altezza di pioggia adimensionale), per un fissato tempo di durata dell'evento, sia distribuito secondo una legge G.E.V. (Generalized Extreme Values) a tre parametri diversa per le cinque durate di pioggia di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

A questo punto risulta evidente che per ottenere il valore di precipitazione per un certo tempo di ritorno T , in un qualunque punto della regione, e per una data durata di pioggia, è sufficiente ricavare il valor medio H_M corrispondente alla posizione ed alla durata di pioggia voluti e moltiplicarlo per il fattore di crescita H_R ottenibile dalla relazione regionale in funzione del tempo di ritorno assegnato: $H_T = H_M \cdot H_R$

L'estensione del valore puntuale di pioggia ad una superficie di grandezza variabile viene eseguita attraverso l'applicazione di un fattore di riduzione areale stimato attraverso un'analisi statistica di dati storici misurati e più in particolare sui rapporti tra piogge intense puntuali alle stazioni di misura del comprensorio corrispondente al bacino del Reno, ed i corrispondenti valori delle piogge medie areali.

La dipendenza del fattore dall'ampiezza della superficie viene espressa attraverso curve, diverse per ciascuna durata di pioggia, che interpolano i punti calcolati. Vengono proposti quattro tipi diversi di curve che interpretano l'andamento dell'effetto di smorzamento. Tra esse è possibile scegliere quella che meglio approssima i punti nella zona di interesse. A titolo di esempio, si riporta la curva monomia nella figura seguente:

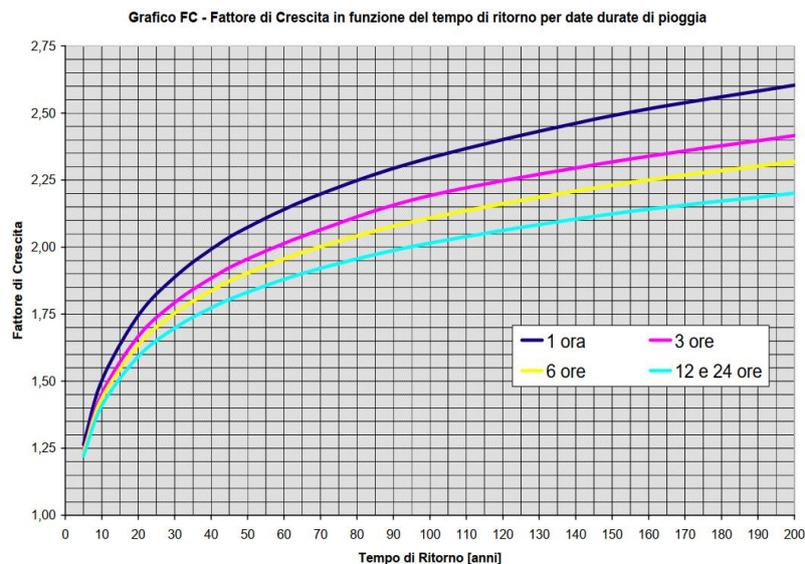


In sintesi, l'altezza di pioggia in un punto qualsiasi del bacino del Reno, per un evento con un determinato tempo di ritorno e una data durata, è calcolabile mediante la formula

$$H_T = H_M \cdot H_R$$

dove:

- H_T è l'altezza di pioggia, espressa in millimetri, nel punto considerato;
- H_M è il valore medio dei massimi annuali di pioggia, espresso in millimetri, dipendente dalla durata dell'evento considerato e individuabile dalle planimetrie delle isoiete;
- H_R è il Fattore di crescita, adimensionale, il cui valore dipende dal tempo di ritorno e dalla durata dell'evento considerato e determinabile in funzione dei grafici riportati negli studi dell'Autorità di bacino come riportato di seguito.



L'altezza di pioggia in un bacino, per un evento con un determinato tempo di ritorno e una data durata, è calcolabile mediante la formula

$$HP_b = H_{M_b} \cdot H_R \cdot ARF$$

dove:

- HPb è l'altezza di pioggia, espressa in millimetri, nel bacino considerato;
- HMb è la media (ponderata rispetto alla superficie delle aree che rappresentano la distribuzione di HM nel bacino considerato) del valore medio dei massimi annuali di pioggia, espresso in millimetri, la cui distribuzione areale nel bacino del Reno è rappresentata, per le aree d'interesse, nelle mappe delle isoiete relative ad eventi di durata di 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore;
- HR è il Fattore di crescita, adimensionale, il cui valore, dipendente dal tempo di ritorno e dalla durata dell'evento considerato; può essere ricavato dal grafico "FC" successivamente riportato;
- ARF è il coefficiente di smorzamento areale il cui valore dipende dall'ampiezza del bacino considerato; nel caso specifico degli studi relativi ai sistemi idrografici di bonifica, date le loro caratteristiche geometriche e le limitate estensioni areali, il valore del coefficiente di smorzamento areale viene considerato pari a 1.

Applicando il metodo descritto ai bacini oggetto di studio, è quindi possibile arrivare a determinare l'altezza di pioggia massima lorda del bacino per un determinato tempo di ritorno e, consecutivamente, per ogni durata di pioggia interpolando tra i valori ottenuti.

Appare evidente, che la durata dell'evento a cui corrisponde l'altezza di pioggia di progetto è posta, per definizione, pari al tempo di corrivazione del bacino.

A partire dalla definizione delle caratteristiche geometriche, orografiche e idrografiche di ogni bacino è quindi possibile stimare il tempo di corrivazione di ciascuno di essi definendo la media delle principali formulazioni di calcolo per bacini di piccole dimensioni, quali le seguenti:

Formula di Ventura
$$T_C = 0,127 \sqrt{\frac{A}{P_m}}$$

Formula di Giandotti
$$T_C = \frac{4 \sqrt{A} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{h_m}}$$

Formula di Kiripich
$$T_C = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (h_{max} - h_0)} \right]^{0,385}$$

Formula di Pasini
$$T_C = 0,108 \frac{(A L)^{0,333}}{\sqrt{P_{asta}}}$$

Formula di Pezzoli
$$T_C = 0,055 \frac{L}{\sqrt{P_{asta}}}$$

Formula di Puglisi
$$T_C = 6 L^{2/3} (h_{max} - h_0)^{-1/3}$$

Formula di Ogrosky-Mockus
$$T_C = 0,914 L^{1,15} (h_{max} - h_0)_{bac}^{-0,38}$$

Dove:

A è la superficie del bacino espresso in km²;

L è la lunghezza dell'asta espressa in km;

h_m è la quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura

P_m è la pendenza media del bacino

h_{max} è la quota massima del corpo idrico

h₀ è la quota minima dell'asta principale del corpo idrico

P_{asta} è la pendenza media dell'asta principale del corpo idrico

Nel capitolo seguente, per ciascun bacino, sono quindi riportati il calcolo dei tempi di corrivazione, i valori delle altezze di pioggia lorda di progetto determinati per i tempi di ritorno di riferimento per i corpi idrici minori (TR100) e per la durata pari al tempo di corrivazione stimato.

4.2. IDRAULICA DEI BACINI IDROGRAFICI: METODO SCS

Nota l'altezza massima di pioggia (lorda) per i bacini idrografici di riferimento ed il tempo di corrivazione dei bacini, è possibile stimare la portata massima attesa alla sezione di chiusura di ciascuno di essi applicando il metodo proposto dal Soil Conservation Service (S.C.S.) noto anche come METODO CN.

Tale metodo permette di ricostruire le piene in bacini idrografici di superficie inferiore ai 15-20 km² in termini di volume della piena, portata al colmo e ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Il metodo dipende principalmente da un parametro, denominato Curve Number (CN), che rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino sulla base dei valori riportati in una apposita tabella elaborata dal SCS.

Tipo di suolo	Descrizione
A	Tasso di infiltrazione elevato (scarsa potenzialità di deflusso). Comprende sabbie o ghiaie di considerevole spessore con pochissimo limo e argilla
B	Tasso di infiltrazione moderato (potenzialità di deflusso moderatamente bassa). Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi con presenza di limi e di moderato spessore.
C	Tasso di infiltrazione basso (potenzialità di deflusso moderatamente alta). Comprende suoli di scarso spessore, suoli contenenti notevoli quantità di argilla, suoli con tracce di materiale organico.
D	Tasso di infiltrazione molto basso (potenzialità di deflusso molto alta). Comprende la maggior parte dei suoli contenenti argille con elevato potenziale di rigonfiamento, ma anche suoli sottili al di sopra di strati quasi impermeabili.

Tabella 2.13. Esempio di valori di riferimento del coefficiente CN in funzione del tipo di suolo

Tipo di copertura (uso del suolo)	A	B	C	D
Terreni coltivati senza trattamenti di conservazione (terrazzamenti)	72	81	88	91
Terreni coltivati con interventi di conservazione (terrazzamenti)	62	71	78	81
Terreni da pascolo in cattive condizioni	68	79	86	89
Terreni da pascolo in buone condizioni	39	61	74	80
Praterie in buone condizioni (prati tagliati per il fieno)	30	58	71	78
Boschi e foreste. Terreni sottili, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Boschi e foreste. Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Spazi aperti: prati rasati, campi da golf, parchi in condizioni discrete, con copertura erbosa dal 50% al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media 65%)	77	85	90	92
Aree residenziali (impermeabilità media 38%)	61	75	83	87
Aree residenziali (impermeabilità media 30%)	57	72	81	86
Aree residenziali (impermeabilità media 25%)	54	70	80	85
Aree residenziali (impermeabilità media 20%)	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Strade selciate con buche	76	85	89	91
Strade in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

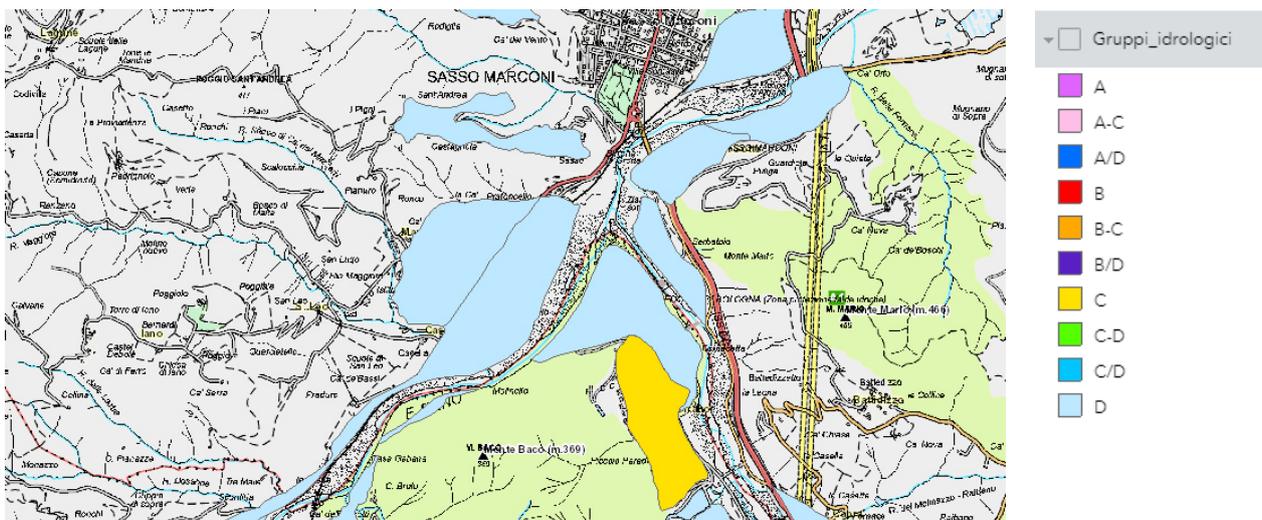
La stima del CN del bacino presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna di queste aree omogenee, di superficie nota, viene quindi attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella tabella precedente. Il valore del CN del bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Per il caso in esame è stata consultata la Carta dei gruppi idrologici della pianura emiliano-romagnola; la carta descrive la distribuzione areale dei Gruppi Idrologici dei Suoli attraverso i poligoni della Carta dei Suoli di pianura in scala 1:50.000. Ogni poligono è descritto dalla percentuale di diffusione dei Gruppi Idrologici in esso presenti. I Gruppi Idrologici indicano il comportamento potenziale dei suoli nel generare scorrimento superficiale dell'acqua, secondo la metodologia USDA-NRCS (versione 2009). Quest'ultima si basa sul presupposto che suoli all'interno di una medesima regione climatica che sono simili per profondità, per

capacità di infiltrazione, per tessitura, struttura e per profondità della tavola d'acqua, hanno la stessa risposta al runoff cioè allo scorrimento superficiale (capitolo 7 del "National Engineering Hand book", parte 630 versione 2009). In accordo alla metodologia sono presenti quattro gruppi principali, A, B, C e D a runoff potenziale crescente e tre classi duali A/D, B/D, C/D dove la seconda lettera indica la presenza di falda entro 60 cm. La legenda indica il Gruppo Idrologico prevalente nei poligoni, nel caso di coesistenza di due Gruppi prevalenti, le lettere sono separate dal "trattino", es. A-D.

La carta consultata (https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA/dataset/r_emiro_2016-04-18t100752/resource/dcd3e75a-8358-49db-b54e-ea54827f839a?inner_span=True), mostra che per la maggior parte del territorio lungo il fiume Reno, il gruppo idrologico di riferimento corrisponde al gruppo "D", pertanto la categoria che amplifica maggiormente il deflusso idrico nei bacini di riferimento.

Di seguito si riporta un estratto dal webgis della regione Emilia Romagna dove si vedono le perimetrazioni delle aree dei gruppi idrologici "D" per le aree del fiume Reno.



Noto il gruppo idrologico dei bacini e dei sottobacini idrografici della zona di studio è possibile suddividere il bacino in aree omogenee ed attribuire ad esse il valore del CN indicato nella colonna della tabella del SCS corrispondente alla tipo di suolo. Nella definizione dei valori CN relative alle aree del bacino, sono stati quindi utilizzati i **valori di riferimento della tabella corrispondenti alla categoria di suolo "D - terreni con tasso di infiltrazione molto basso (potenzialità di deflusso molto alto)"**.

Il metodo, inoltre, tiene conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti dall'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC). A tale fine si precisa che i valori riportati alla tabella precedente si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominate AMCII. Le tipologie di condizioni AMC sono riportate nella seguente tabella:

AMC	TIPOLOGIA	PERIODO VEGETATIVO	PERIODO DI RIPOSO
I	SECCA	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm
II	MEDIA	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm
III	UMIDA	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiori di 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm

Noto il valore CN nelle condizioni AMCII (medie), ovvero quelle fornite dalla tabella del SCS, è possibile stimare il CN nelle condizioni AMC I e III in base alle seguenti formule:

$$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058 CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0,13 CN(II)}$$

Nota il valore di CN medio del bacino, ottenuto come media ponderata in base alla superficie delle aree omogenee, è possibile stimare anche altri due parametri del bacino ovvero la stima del massimo invaso del suolo S e le perdite iniziali I_a , date dalle seguenti relazioni:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

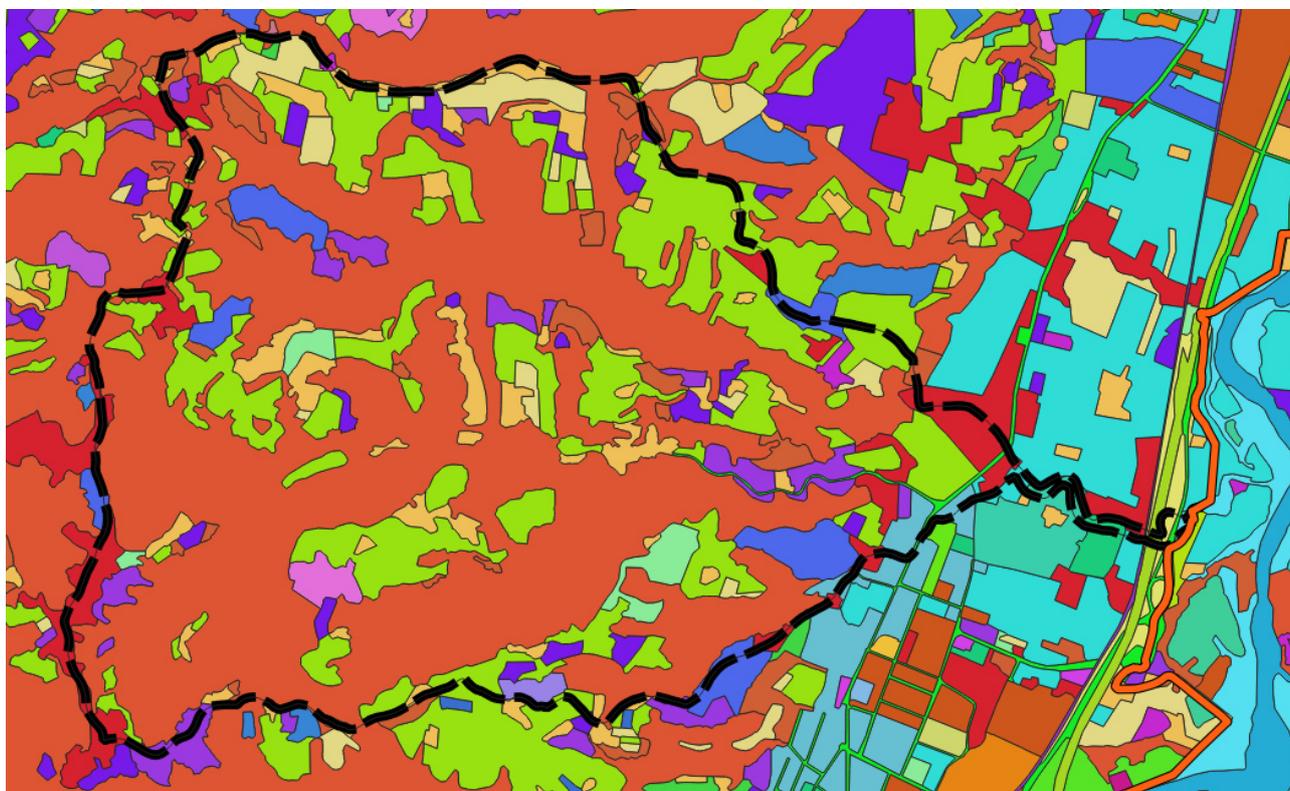
$$I_a = 0,2 S$$

Nel presente caso, le aree omogenee del bacino sono state definite ricorrendo all'uso di software GIS utilizzando i tematismi relativi alle destinazioni d'uso del suolo (CORINE Land COVER) reperibili dal Data Base Topografico Regionale della Regione Emilia Romagna e/o dal sito europeo Copernicus Land Monitoring Service.

Tali tematismi suddividono l'area della Regione in aree omogenee, fornendo, allo stesso tempo, le caratteristiche spaziali di esse e le caratteristiche di uso del suolo. Procedendo in questo modo sono quindi state desunte le aree ad uso omogenee ricadenti in ciascun bacino e, successivamente, per ognuna di esse, è stato attribuito un valore di CN in base alla corrispondenza con la tabella proposta dal SCS.

Di seguito si riporta quindi una vista delle aree omogenee desunte dalla carta dell'uso del suolo Corine Land Cover (CLC) per il bacino RIO VERDE (perimetrazione nera tratteggiata). Estraendo i soli dati delle particelle incluse nella perimetrazione è possibile definire dettagliatamente le coperutra del suolo e attribuire i valori CN.

Si rimanda ai seguenti capitoli la definizione dettagliata delle aree e l'attribuzione dei valori CN.



Noti i principali parametri dei bacini idrografici è quindi possibile procedere alla determinazione della portata massima attesa nella sezione di chiusura mediante il metodo SCS, considerando, per maggiore sicurezza, che le condizioni di riferimento del bacino siano sempre riferite alla condizione AMC III ovvero "sature".

Il metodo SCS considera solamente la quota parte di precipitazione che determina il volume di deflusso del bacino ovvero la precipitazione netta. Essa è determinata detraendo dalla precipitazione totale le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale (dovuto, ad esempio, alla presenza di zone che, data la loro morfologia, accumulano volumi idrici), all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente ed all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. Il volume netto della pioggia agente per l'evento di riferimento è quindi dato da:

$$V = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

Per il calcolo della portata al colmo Q_p si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare del tipo seguente:

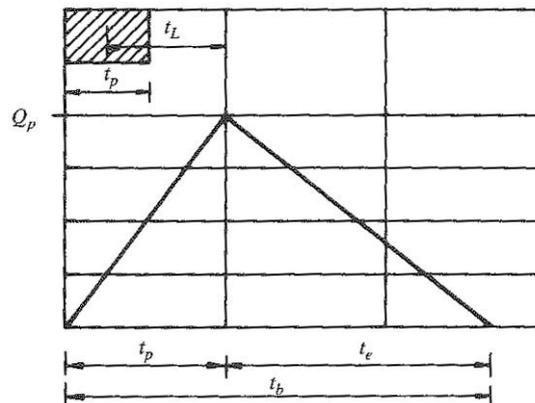


Figura 1 - Idrogramma triangolare del metodo SCS

Che ha una fase crescente di durata t_p ed una fase di esaurimento t_e ed il cui volume V (in m^3) ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_p + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

Poiché sperimentalmente è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67 t_p$$

Utilizzando le due relazioni precedenti, si ottiene quindi:

$$Q_p = 0,208 \frac{V A}{t_p}$$

Dove la portata in Q_p in m^3/s è ottenuta esprimendo l'area complessiva del bacino di riferimento (A) in km^2 , il volume V in m^3 ed il tempo della fase crescente t_p in ore.

Nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_r ed indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dell'evento di pioggia ed il picco dell'idrogramma triangolare), la determinazione di t_p è data dalla relazione seguente:

$$t_p = 0.5 t_r + t_L$$

Dove t_L è determinabile mediante la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

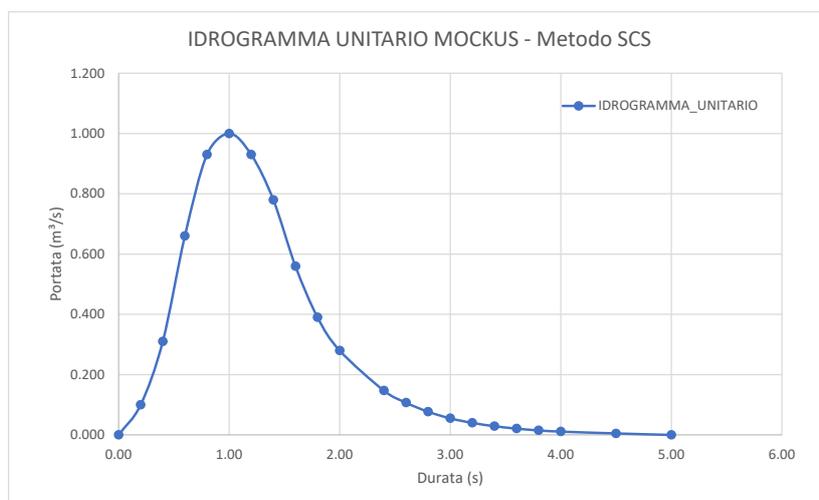
dove L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in km ed s è la pendenza del bacino espressa in %.

Per il calcolo della portata massima del bacino, la stima del tempo dell'evento di pioggia t_r avviene eguagliandola al tempo di corrivazione del bacino mediato sulle formulazioni esposte nei precedenti paragrafi. Il calcolo della portata massima Q_p , quindi, è direttamente connesso alla pioggia Netta, stimabile tramite le relazioni precedenti in funzione della pioggia lorda P determinata dal metodo della regionalizzazione.

Determinato il valore della portata di Picco Q_p ed il tempo di picco tramite le precedenti relazioni, è possibile quindi stimare l'idrogramma di piena del bacino, per il prefissato tempo di ritorno, applicando l'idrogramma unitario di Mockus. Tale idrogramma unitario è una curva adimensionale, ricavata da numerosi idrogrammi unitari ottenuti da idrogrammi di piena registrati in bacini di differente estensione e posizione geografica, che mette in relazione il rapporto tra la generica portata Q all'istante t e la portata al colmo Q_p che si verifica all'istante t_a (durata della fase di crescita) con la variabile adimensionale t/t_a . Per il suddetto idrogramma unitario il 37,5% del volume totale di deflusso, che corrisponde ovviamente all'intera area ricadente tra l'idrogramma e l'asse delle ascisse t/t_a , si verifica in corrispondenza della sola fase ascendente dell'idrogramma stesso. In altri termini il volume di deflusso corrispondente alla fase crescente dell'idrogramma è pari al 37,5% del volume totale di deflusso. L'idrogramma triangolare già esaminato per il calcolo della portata al colmo di piena è, pertanto, una semplificazione dell'idrogramma di Mockus che è stata costruita facendo in modo che i due idrogrammi (triangolare e Mockus) abbiano la stessa portata al picco Q_p e sottendano la stessa area, cioè abbiano lo stesso volume totale di deflusso.

Le coordinate dell'idrogramma unitario di Mockus sono le seguenti:

t/t_a	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Q/Q_p	0,03	0,10	0,19	0,31	0,47	0,66	0,82	0,93
	0,99	1,00	0,99	0,93	0,86	0,78	0,68	0,56
t/t_a	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,5	5,0
Q/Q_p	0,46	0,39	0,33	0,28	0,207	0,147	0,107	0,077
	0,055	0,04	0,029	0,021	0,015	0,011	0,005	0,0



Scalando l'idrogramma unitario in funzione della portata di picco Q_p e del tempo di picco t_p , si ottiene l'idrogramma di progetto per il singolo bacino.

4.2.1. RIO VERDE

Il bacino del Rio Verde si sviluppa su di un areale di pressappoco 860 ha. L'andamento del rio è sulla direttrice ovest-est e risulta costituito da due linee principali che uniscono per poi proseguire per i 2/3 del percorso rimanente verso il Reno emissario finale del corso idrografico.

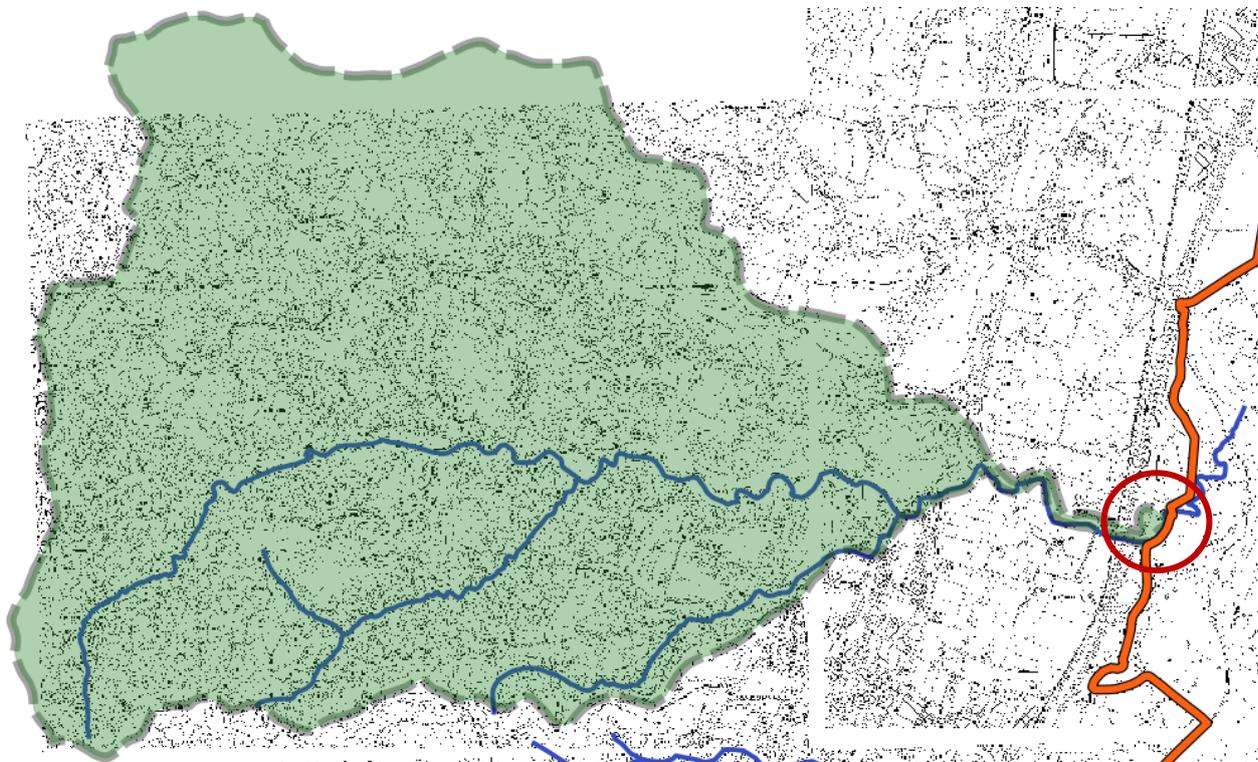


Figura 4.2.1 – Bacino rio Verde interferente col tracciato della ciclovia del Sole (cerchio Rosso).

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti (l'estensione e la perimetrazione deriva dalle indicazioni della Regione Emilia Romagna):

RIO VERDE - DATI DA GIS

Superficie	8,576,460:[m ²]
Superficie in km ² (A_b)	8.58:[km ²]
Lunghezza asta principale	7764:[m]
Lunghezza asta principale (L)	7.764:[km]
Quota minima asta principale	94:[m slm]
Quota massima asta principale	398:[m slm]
Quota massima bacino	430:[m slm]
Pendenza media Asta (i)	0.0392:-
Pendenza percentuale media Asta (s)	3.92:%
H media bacino	262.00:[m]
H media rispetto alla foce (H_m)	168.00:[m]

Note le caratteristiche del bacino è stato possibile determinare il tempo di corrivazine del bacino come media delle relazioni idrauliche esposte nei paragrafi precedenti e utilizzabili per bacini di limitata estensione.

		T _c [ore]
Formula di Ventura	$T_c = 0,127 \sqrt{A_b/i}$	1.88
Formula di Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H_m}}$	2.25
Formula di Kiripich	$T_c = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (H_{max} - H_0)} \right]^{0,385}$	1.52
Formula di Pasini	$T_c = 0,108 \frac{(A_b L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$	2.21
Formula di Pezzoli	$T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	2.16
Formula di Puglisi	$T_c = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$	3.38
Formula di Ogrosky-Mockus	$T_c = 0,914 L^{1,15} (H_{max} - H_0)_{bac}^{-0,38}$	1.06
T_c		2.07

Nel caso del Rio Verde, il tempo di corrivazione è pari a 2,07 ore.

Operando mediante software GIS, per l'applicazione del metodo della regionalizzazione, sono state sovrapposte le cartografie delle isoiete per durate 1, 3, 6, 12, 24 ore emesse dalla Regione Emilia Romagna – Autorità di Bacino del fiume Reno. Per ogni area relativa alle isoiete di riferimento, sono quindi state ricavate le estensioni delle zone del bacino a egual altezza massima di pioggia ottenendo i seguenti valori di altezza media (ponderata) H_m.

BACINO: RIO VERDE
AREA [mq]: 8,576,460
AREA [kmq]: 8.58

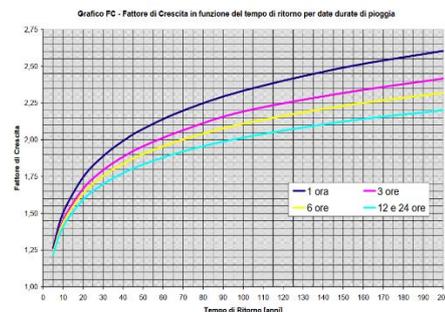
CALCOLO DELLA ALTEZZA DI PIOGGIA MEDIA PER IL BACINO

ALTEZZE DI PIOGGIA	AREE [mq] PER DURATA DI PIOGGIA [ore]				
	1	3	6	12	24
23.75	8,576,460				
31.50		8,576,460			
40.50			8,433,819		
41.50			142,641		
53.00				5,125,308	
55.00				3,451,152	
69.00					7101415
71.00					1,475,045
H_m	23.75	31.5	40.52	53.80	69.34

Dal grafico dell'andamento del fattore di crescita HR, fornito dagli studi regionali, sono stati determinati i differenti valori del parametro in funzione del tempo di ritorno, ottenendo i seguenti valori:

CALCOLO DEL FATTORE DI CRESCITA

TR	FATTORE DI CRESCITA IN RELAZIONE ALLE DURATE				
	1	3	6	12	24
10	1.50	1.47	1.45	1.40	1.40
20	1.75	1.67	1.64	1.60	1.60
50	2.07	1.95	1.90	1.84	1.84
100	2.37	2.14	2.11	2.02	2.02
200	2.60	2.37	2.32	2.20	2.20



Infine, considerando un coefficiente di ragguaglio dell'area (ARF) pari ad 1 (aree di limitate estensioni) è stato possibile stimare le altezze di pioggia di progetto del bacino per differenti tempi di ritorno.

Interpolando i valori, per il tempo di corrivazione del bacino, si ottengono quindi i valori di altezza di pioggia lorda per differenti tempi di ritorno necessari alla stima della portata di massima piena.

TR	ALTEZZE DI PIOGGIA NEL BACINO PER DIFFERENTI DURATE					H(Tc)
	1	3	6	12	24	2.07
10	35.63	46.31	58.75	75.33	97.08	41.32
20	41.56	52.61	66.45	86.09	110.95	47.45
50	49.16	61.43	76.98	99.00	127.59	55.70
100	56.29	67.41	85.49	108.69	140.07	62.22
200	61.75	74.66	94.00	118.37	152.56	68.64

Nel presente caso, il tempo di ritorno di riferimento è posto pari a 100 anni, tuttavia, per confronto, si riporta anche il calcolo della portata con tempo di ritorno duecentennale.

Nota l'altezza di pioggia lorda di progetto è possibile procedere al calcolo della portata di picco del bacino applicando la metodologia SCS precedentemente esposta.

A partire dalla classificazione dell'uso del suolo (CLC) sono state ricavate le aree omogenee del bacino ed, a ciascuna di esse, sono stati attribuiti i parametri CN corrispondenti al gruppo idrologico "D".

Corpo idrico di riferimento:	RIO VERDE		
Superficie complessiva del bacino:	857.65	ha	
Tipologia di suolo:	D		
Tipologia di area	Sigla	Superficie [ha]	CN(II)*
Boschi di conifere	Ba	2.72	89
Boschi misti di conifere e latifoglie	Bm	4.90	89
Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni	Bq	477.84	89
Boschi a prevalenza di salici e pioppi	Bs	0.43	90
Frutteti	Cf	16.64	91
Vigneti	Cv	22.20	91
Tessuto residenziale urbano	Ed	29.48	95
Tessuto residenziale rado	Er	5.41	92
Strutture residenziali isolate	Es	45.07	92
Insedamenti di servizi	Is	0.98	95
Insedamenti agro-zootecnici	Iz	1.78	84
Prati	Pp	21.10	89
Autostrade e superstrade	Ra	0.30	98
Reti ferroviarie	Rf	0.03	98
Reti stradali	Rs	2.51	98
Aree verdi associate alla viabilità	Rv	0.68	92
Seminativi semplici irrigui	Se	1.22	83
Seminativi non irrigui	Sn	173.47	85
Vivai	Sv	1.61	92
Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	Tn	17.28	83
Parchi	Vp	0.11	84
Ville	Vv	20.77	95
Aree con colture agricole e spazi naturali importanti	Ze	0.53	80
Sistemi colturali e particellari complessi	Zo	10.62	95
TOTALE		857.66	
CN(II) MEDIO			89.00
		$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}$	CN(I) 77
		$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$	CN(III) 95

Considerando il valore del parametro CN, determinato come media pesata sull'area, e considerando la condizione satura AMCIII:

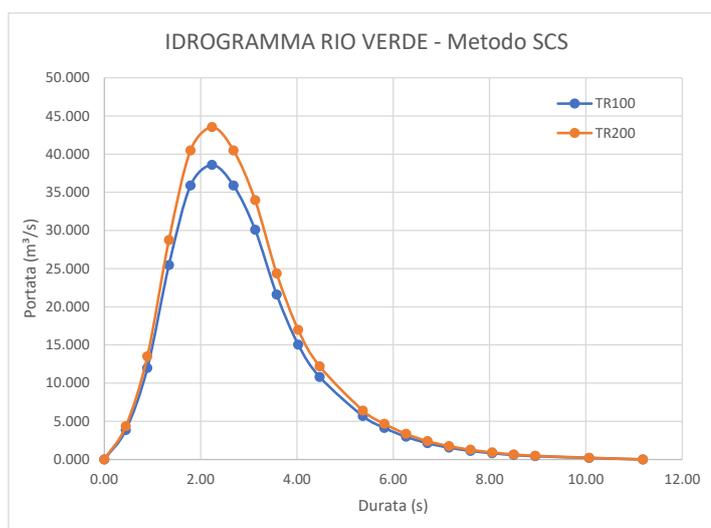
CONDIZIONE	CN	S	Ia
AMC I (asciutto)	77	74.75	14.95
AMC II (medio)	89	31.39	6.28
AMC III (sature)	95	13.65	2.73

si ottengono quindi i seguenti valori di portata di picco per TR100 e TR200:

		TR100	TR200	
Tempo di ritardo del bacino (Formula di Mokus)	$T_l = 0,342 \frac{L^{0,8}}{S^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$	1.20	1.20	ore
Tempo di pioggia tr=tc		2.07	2.07	ore
Tempo di Picco T_p	$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$	2.24	2.24	ore
Tempo complessivo IU triangolare	$T = 2,67 T_p$	5.97	5.97	ore
Pioggia lorda	P = valore da regionalizzazione	62.22	68.64	mm
CN	AMC III	95	95	-
S	$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$	13.65	13.65	mm
Ia	$I_a = 0,2 S$	2.73	2.73	mm
Pioggia efficace cumulata (Metodo CN - SCS)	$V = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$	48.39	54.60	mm
Portata al colmo prevista	$Q_p = 0,208 \frac{VA}{T_p}$	38.59	43.54	m ³ /s

Scalando l'idrogramma unitario di Mockus sulla base della portata al colmo e del tempo di picco stimati si ricava inoltre l'idrogramma di progetto, esposto di seguito.

TR 100		TR 200	
t [ore]	Q [m ³ /s]	t [ore]	Q [m ³ /s]
0.00	0.000	0.00	0.000
0.45	3.859	0.45	4.354
0.89	11.962	0.89	13.497
1.34	25.468	1.34	28.736
1.79	35.887	1.79	40.491
2.24	38.588	2.24	43.539
2.68	35.887	2.68	40.491
3.13	30.099	3.13	33.960
3.58	21.609	3.58	24.382
4.03	15.049	4.03	16.980
4.47	10.805	4.47	12.191
5.37	5.672	5.37	6.400
5.82	4.129	5.82	4.659
6.26	2.971	6.26	3.352
6.71	2.122	6.71	2.395
7.16	1.544	7.16	1.742
7.61	1.119	7.61	1.263
8.05	0.810	8.05	0.914
8.50	0.579	8.50	0.653
8.95	0.424	8.95	0.479
10.07	0.193	10.07	0.218
11.19	0.000	11.19	0.000



4.2.2. RIO MAGGIORE

Il bacino del Rio Maggiore si sviluppa su di un areale di pressappoco 515 ha. L'andamento del rio è sulla direttrice ovest-est e risulta costituito da una linea principale e una linea secondaria che si immette nella prima in prossimità delle sezioni terminali in località "Casella" per poi defluire unitamente verso il Reno emissario finale del corso idrografico.

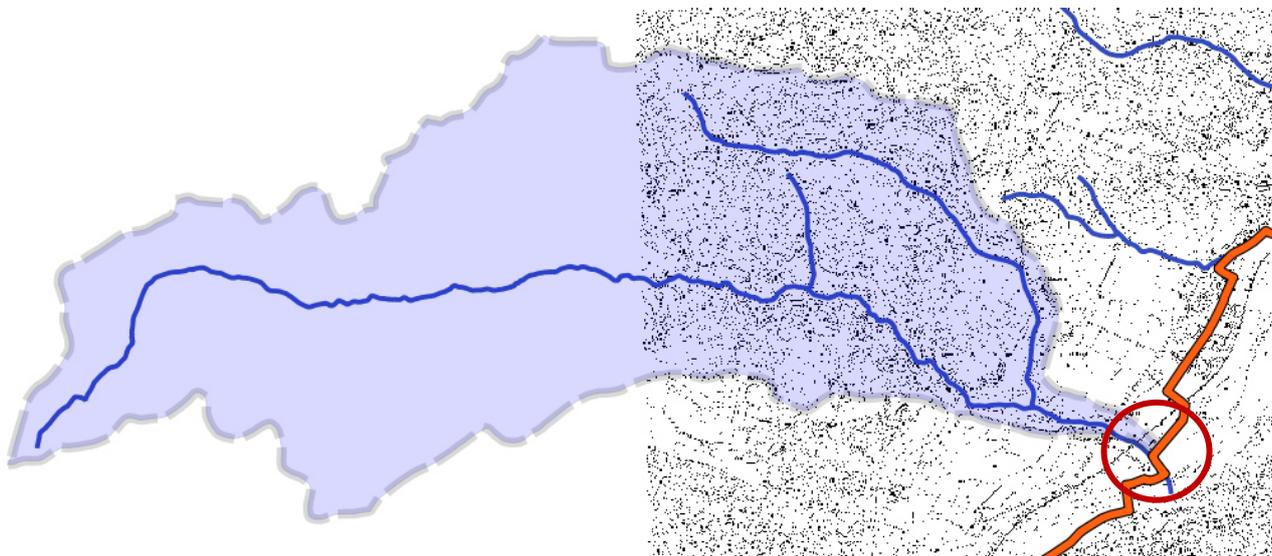


Figura 4.2.2 – Bacino Rio Maggiore interferente col tracciato della ciclovia del Sole (cerchio Rosso).

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti (l'estensione e la perimetrazione deriva dalle indicazioni della Regione Emilia Romagna):

RIO MAGGIORE - DATI DA GIS

Superficie	5,146,461 [m ²]
Superficie in km ² (A_b)	5.15 [km ²]
Lunghezza asta principale	5930 [m]
Lunghezza asta principale (L)	5.93 [km]
Quota minima asta principale	97.8 [m slm]
Quota massima asta principale	442 [m slm]
Quota massima bacino	450 [m slm]
Pendenza media Asta (i)	0.0580 -
Pendenza percentuale media Asta (s)	5.80 %
H media bacino	273.90 [m]
H media rispetto alla foce (H_m)	176.10 [m]

Note le caratteristiche del bacino è stato possibile determinare il tempo di corrivazione del bacino come media delle relazioni idrauliche esposte nei paragrafi precedenti e utilizzabili per bacini di limitata estensione.

		T _c [ore]
Formula di Ventura	$T_C = 0,127 \sqrt{A_b/i}$	1.20
Formula di Giandotti	$T_C = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H_m}}$	1.69
Formula di Kiripich	$T_C = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (H_{max} - H_0)} \right]^{0,385}$	1.10
Formula di Pasini	$T_C = 0,108 \frac{(A_b L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$	1.40
Formula di Pezzoli	$T_C = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	1.35
Formula di Puglisi	$T_C = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$	2.78
Formula di Ogrosky-Mockus	$T_C = 0,914 L^{1,15} (H_{max} - H_0)_{bac}^{-0,38}$	0.76
T_c		1.47

Nel caso del Rio Maggiore, il tempo di corrivazione è pari a 1,47 ore.

Operando mediante software GIS, per l'applicazione del metodo della regionalizzazione, sono state sovrapposte le cartografie delle isoiete per durate 1, 3, 6, 12, 24 ore emesse dalla Regione Emilia Romagna – Autorità di Bacino del fiume Reno. Per ogni area relativa alle isoiete di riferimento, sono quindi state ricavate le estensioni delle zone del bacino a egual altezza massima di pioggia ottenendo i seguenti valori di altezza media (ponderata) H_m.

BACINO: **RIO MAGGIORE**
 AREA [mq]: **5146461.04**
 AREA [kmq]: **5.15**

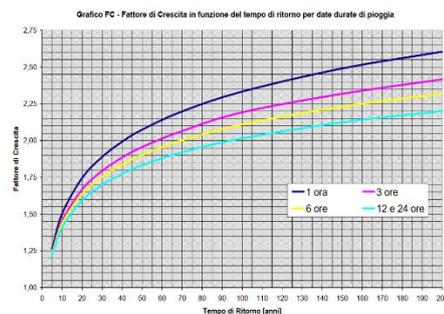
CALCOLO DELLA ALTEZZA DI PIOGGIA MEDIA PER IL BACINO

ALTEZZE DI PIOGGIA	AREE [mq] PER DURATA DI PIOGGIA [ore]				
	1	3	6	12	24
23.75	1453785.31				
24.25	3692675.73				
31.50		5146461.04			
40.50			5146461.04		
53.00				5146461.04	
67.00					3692675.73
69.00					1453785.31
H_m	24.11	31.5	40.5	53.00	67.56

Dal grafico dell'andamento del fattore di crescita HR, fornito dagli studi regionali, sono stati determinati i differenti valori del parametro in funzione del tempo di ritorno, ottenendo i seguenti valori:

CALCOLO DEL FATTORE DI CRESCITA

TR	FATTORE DI CRESCITA IN RELAZIONE ALLE DURATE				
	1	3	6	12	24
10	1.50	1.47	1.45	1.40	1.40
20	1.75	1.67	1.64	1.60	1.60
50	2.07	1.95	1.90	1.84	1.84
100	2.37	2.14	2.11	2.02	2.02
200	2.60	2.37	2.32	2.20	2.20



Infine, considerando un coefficiente di ragguaglio dell'area (ARF) pari ad 1 (aree di limitate estensioni) è stato possibile stimare le altezze di pioggia di progetto del bacino per differenti tempi di ritorno.

Interpolando i valori, per il tempo di corrivazione del bacino, si ottengono quindi i valori di altezza di pioggia lorda per differenti tempi di ritorno necessari alla stima della portata di massima piena.

TR	ALTEZZE DI PIOGGIA NEL BACINO PER DIFFERENTI DURATE					H(Tc)
	1	3	6	12	24	1.47
10	36.16	46.31	58.73	74.20	94.59	38.54
20	42.19	52.61	66.42	84.80	108.10	44.63
50	49.91	61.43	76.95	97.52	124.32	52.61
100	57.14	67.41	85.46	107.06	136.48	59.55
200	62.68	74.66	93.96	116.60	148.64	65.49

Nel presente caso, il tempo di ritorno di riferimento è posto pari a 100 anni, tuttavia, per confronto, si riporta anche il calcolo della portata con tempo di ritorno duecentennale.

Nota l'altezza di pioggia lorda di progetto è possibile procedere al calcolo della portata di picco del bacino applicando la metodologia SCS precedentemente esposta.

A partire dalla classificazione dell'uso del suolo (CLC) sono state ricavate le aree omogenee del bacino ed, a ciascuna di esse, sono stati attribuiti i parametri CN corrispondenti al gruppo idrologico "D".

Corpo idrico di riferimento:	RIO MAGGIORE
Superficie complessiva del bacino:	514.65 ha
Tipologia di suolo:	D

Tipologia di area	Sigla	Superficie [ha]	CN(II)*
Bacini artificiali	Ax	0.40	100
Boschi a prevalenza di querce, carpini e castagni	Bq	374.75	89
Frutteti	Cf	2.72	91
Vigneti	Cv	1.21	91
Aree con vegetazione rada di altro tipo	Dx	0.48	80
Tessuto residenziale urbano	Ed	4.40	95
Strutture residenziali isolate	Es	18.01	92
Insediami enti agro-zootecnici	Iz	0.82	84
Prati	Pp	23.89	89
Reti ferroviarie	Rf	0.06	98
Reti stradali	Rs	0.13	98
Seminativi semplici irrigui	Se	1.51	83
Seminativi non irrigui	Sn	55.33	85
Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione	Tn	30.95	83
TOTALE		514.65	
CN(II) MEDIO			88.00
	$CN(I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058CN(II)}$	CN(I)	75
	$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$	CN(III)	94

Considerando il valore del parametro CN, determinato come media pesata sull'area, e considerando la condizione satura AMCIII:

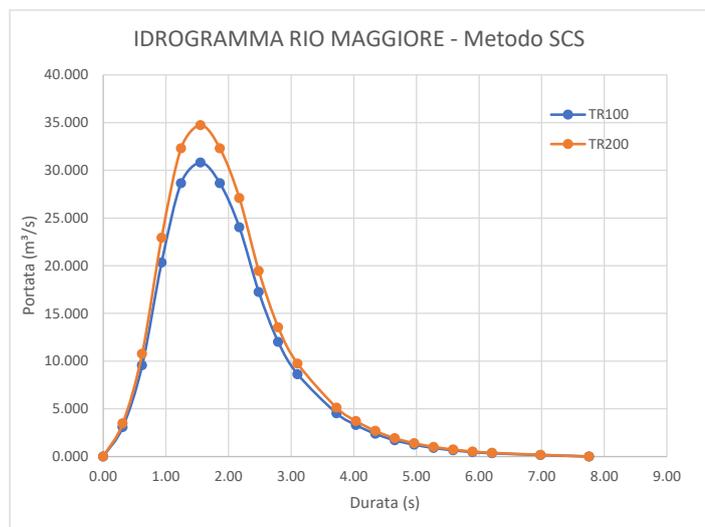
CONDIZIONE	CN	S	Ia
AMC I (asciutto)	75	82.47	16.49
AMC II (medio)	88	34.64	6.93
AMC III (sature)	94	15.06	3.01

si ottengono quindi i seguenti valori di portata di picco per TR100 e TR200:

		TR100	TR200	
Tempo di ritardo del bacino (Formula di Mokus)	$T_l = 0,342 \frac{L^{0,8}}{S^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$	0.82	0.82	ore
Tempo di pioggia tr=tc		1.47	1.47	ore
Tempo di Picco T_p	$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$	1.55	1.55	ore
Tempo complessivo IU triangolare	$T = 2,67 T_p$	4.14	4.14	ore
Pioggia lorda	P = valore da regionalizzazione	59.55	65.49	mm
CN	AMC III	94	94	-
S	$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$	15.06	15.06	mm
Ia	$I_a = 0,2 S$	3.01	3.01	mm
Pioggia efficace cumulata (Metodo CN - SCS)	$V = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$	44.65	50.35	mm
Portata al colmo prevista	$Q_p = 0,208 \frac{VA}{T_p}$	30.80	34.74	m ³ /s

Scalando l'idrogramma unitario di Mockus sulla base della portata al colmo e del tempo di picco stimati si ricava inoltre l'idrogramma di progetto, esposto di seguito.

TR 100		TR 200	
t [ore]	Q [m ³ /s]	t [ore]	Q [m ³ /s]
0.00	0.000	0.00	0.000
0.31	3.080	0.31	3.474
0.62	9.549	0.62	10.768
0.93	20.330	0.93	22.926
1.24	28.647	1.24	32.305
1.55	30.803	1.55	34.736
1.86	28.647	1.86	32.305
2.17	24.026	2.17	27.094
2.48	17.250	2.48	19.452
2.79	12.013	2.79	13.547
3.10	8.625	3.10	9.726
3.72	4.528	3.72	5.106
4.03	3.296	4.03	3.717
4.34	2.372	4.34	2.675
4.65	1.694	4.65	1.911
4.96	1.232	4.96	1.389
5.28	0.893	5.28	1.007
5.59	0.647	5.59	0.729
5.90	0.462	5.90	0.521
6.21	0.339	6.21	0.382
6.98	0.154	6.98	0.174
7.76	0.000	7.76	0.000



4.2.3. FOSSO DELLA FONTANA

Il bacino del Fosso Fontana si sviluppa su di un areale di pressappoco 83 ha di superfici acivi e bebolmente impermeabilizzate fatte salve le sezioni terminali a ridosso della SP Porrettana. L'andamento del rio è sulla direttrice ovest-est e risulta costituito da una duplice line a di impluvio che si uniscono (a Y) nella parte alta del bacino per poi corrivare unitamente verso il Reno emissario finale del corso idrografico.

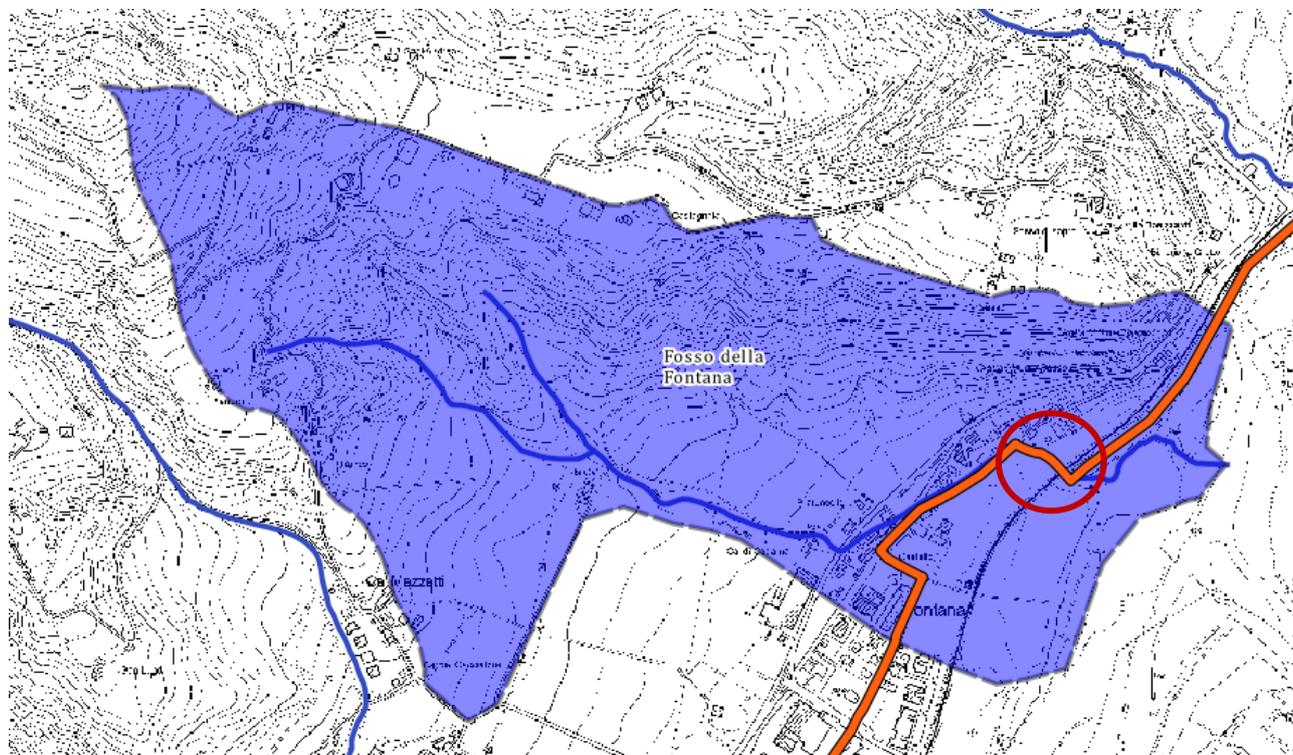


Figura 4.2.3 – Bacino Fosso della Fontana interferente col tracciato della ciclovvia del Sole (cerchio Rosso).

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti (l'estensione e la perimetrazione sono state estrapolate dalla cartografia territoriale disponibile):

FOSSO della FONTANA - DATI DA GIS

Superficie	823,688 [m ²]
Superficie in km ² (A _b)	0.82 [km ²]
Lunghezza asta principale	1627 [m]
Lunghezza asta principale (L)	1.627 [km]
Quota minima asta principale	93 [m slm]
Quota massima asta principale	290 [m slm]
Quota massima bacino	425.8 [m slm]
Pendenza media Asta (i)	0.1211 -
Pendenza percentuale media Asta (s)	12.11 %
H media bacino	259.40 [m]
H media rispetto alla foce (H _m)	166.40 [m]

Note le caratteristiche del bacino è stato possibile determinare il tempo di corrivazine del bacino come media delle relazioni idrauliche esposte nei paragrafi precedenti e utilizzabili per bacini di limitata estensione.

		T_c[ore]
Formula di Ventura	$T_c = 0,127 \sqrt{A_b/i}$	0.33
Formula di Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H_m}}$	0.59
Formula di Kiripich	$T_c = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (H_{max} - H_0)} \right]^{0,385}$	0.25
Formula di Pasini	$T_c = 0,108 \frac{(A_b L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$	0.34
Formula di Pezzoli	$T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	0.26
Formula di Puglisi	$T_c = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$	1.20
Formula di Ogrosky-Mockus	$T_c = 0,914 L^{1,15} (H_{max} - H_0)_{bac}^{-0,38}$	0.18
T_c		0.45

Nel caso del Fosso della Fontana, il tempo di corrivazione è pari a 0,45 ore; ottenendo valori del tempo di corrivazione inferiori all'ora, nel presente caso non è possibile utilizzare, per coerenza, il metodo della regionalizzazione individuato dall'Autorità di bacino del fiume Reno in quanto i dati da cui derivano i parametri di regionalizzazione considerano solo eventi di durata superiore all'ora e tenderebbero a sovrastimare le portate defluenti dal bacino.

Per tale motivo, nel caso del Rio Gemmese, la portata centennale può essere stimata applicando il coefficiente udometrico medio tra i bacini del Rio Verde e del Rio Maggiore che, per territorialità, uso del suolo e distribuzione delle piogge, presenta sicuramente un andamento simile.

Il coefficiente udometrico applicabile, quindi, è pari a:

$$u_{d,100} = \text{media} \left(\frac{59,85 + 44,99}{2} \right) = 52,42 \text{ l/s ha}$$

Moltiplicando il coefficiente udometrico determinato per la superficie del bacino si ottiene quindi la seguente portata:

$$Q_{RG,100} = 52,49 \cdot 82,36 = 4.323,07 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 4,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2.4. RIO GEMMESE

Il bacino del Rio Gemmese si sviluppa su di un areale di pressappoco 305 ha di superfici acivi e bebolmente impermeabilizzate. L'andamento del rio è sulla direttrice ovest-est e risulta costituito da una unica linea principale che declivia verso il Reno emissario finale del corso idrografico.

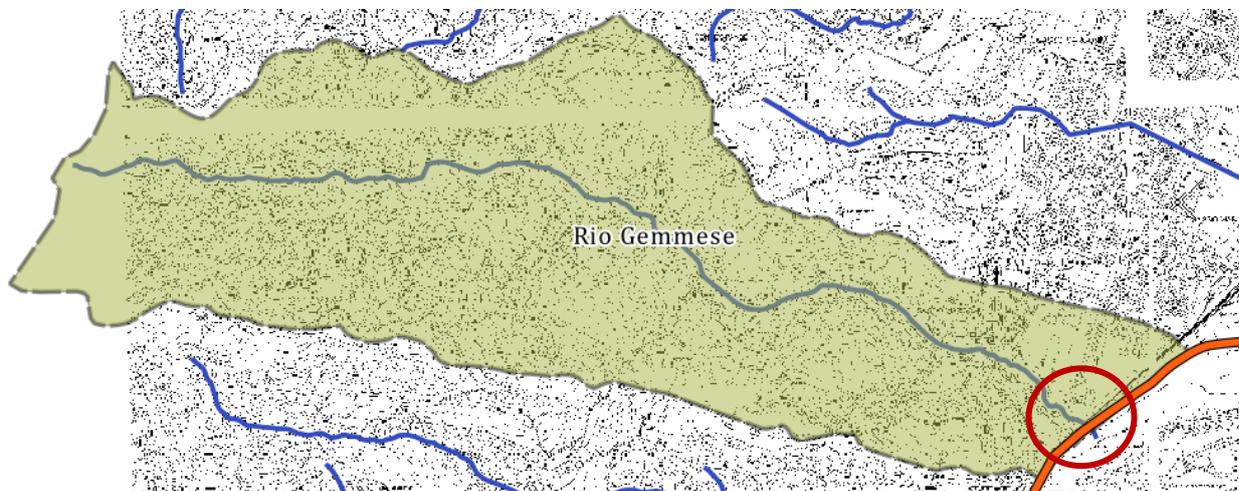


Figura 4.2.4 – Bacino Rio Gemmese interferente col tracciato della ciclovía del Sole (cerchio Rosso).

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti (l'estensione e la perimetrazione sono state estrapolate dalla cartografia territoriale disponibile):

RIO GEMMESE - DATI DA GIS

Superficie	2,796,762 [m ²]
Superficie in km ² (A _b)	2.80 [km ²]
Lunghezza asta principale	3842 [m]
Lunghezza asta principale (L)	3.842 [km]
Quota minima asta principale	93 [m slm]
Quota massima asta principale	448 [m slm]
Quota massima bacino	450 [m slm]
Pendenza media Asta (i)	0.0924 -
Pendenza percentuale media Asta (s)	9.24 %
H media bacino	271.50 [m]
H media rispetto alla foce (H _m)	178.50 [m]

Note le caratteristiche del bacino è stato possibile determinare il tempo di corrivazine del bacino come media delle relazioni idrauliche esposte nei paragrafi precedenti e utilizzabili per bacini di limitata estensione.

		T _c [ore]
Formula di Ventura	$T_C = 0,127 \sqrt{A_b/i}$	0.70
Formula di Giandotti	$T_C = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L}{0,8 \sqrt{H_m}}$	1.17
Formula di Kiripich	$T_C = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (H_{max} - H_0)} \right]^{0,385}$	0.66
Formula di Pasini	$T_C = 0,108 \frac{(A_b L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$	0.78
Formula di Pezzoli	$T_C = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	0.70
Formula di Puglisi	$T_C = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$	2.07
Formula di Ogrosky-Mockus	$T_C = 0,914 L^{1,15} (H_{max} - H_0)_{bac}^{-0,38}$	0.46
T_c		0.93

Nel caso del Rio Gemmese, il tempo di corrivazione è pari a 0,93 ore; ottenendo valori del tempo di corrivazione inferiori all'ora, nel presente caso non è possibile utilizzare, per coerenza, il metodo della regionalizzazione individuato dall'Autorità di bacino del fiume Reno in quanto i dati da cui derivano i parametri di regionalizzazione considerano solo eventi di durata superiore all'ora e tenderebbero a sovrastimare le portate defluenti dal bacino.

Per tale motivo, nel caso del Rio Gemmese, la portata centennale può essere stimata applicando il coefficiente udometrico medio tra i bacini del Rio Verde e del Rio Maggiore che, per territorialità, uso del suolo e distribuzione delle piogge, presenta sicuramente un andamento simile.

Il coefficiente udometrico applicabile, quindi, è pari a:

$$u_{d,100} = \text{media} \left(\frac{59,85 + 44,99}{2} \right) = 52,42 \text{ l/s ha}$$

Moltiplicando il coefficiente udometrico determinato per la superficie del bacino si ottiene quindi la seguente portata:

$$Q_{RG,100} = 52,49 \cdot 279,76 = 14.684,60 \frac{l}{s} = 14,69 \text{ m}^3/s$$

Per il Rio Gemmese, inoltre, è stata stimata, applicando il medesimo metodo sopra esposto, la portata relativa ad un tempo di ritorno di 5 anni come riportato di seguito:

$$u_{d,5} = \text{media} \left(\frac{25,52 + 20,68}{2} \right) = 23,10 \text{ l/s ha}$$

Moltiplicando il coefficiente udometrico determinato per la superficie del bacino si ottiene quindi la seguente portata:

$$Q_{RG,5} = 23,10 \cdot 279,76 = 6,46 \text{ m}^3/s$$

4.2.5. RIO VESCOVO

Il bacino del Rio Vescovo si sviluppa su di un areale di pressappoco 164 ha.

L'andamento del rio è sulla direttrice ovest-est e risulta costituito nella parte alta da due linee di impluvio principali che uniscono per poi proseguire per unitamente verso il Reno emissario finale del corso idrografico: ai margini ovest dell'abitato di Sasso Marconi il Rio Vescovo si inabissa nel sistema fognario dell'Agglomerato per poi rispuntare a cielo aperto nelle sezioni poste a valle dell'intersezione con la ferrovia.

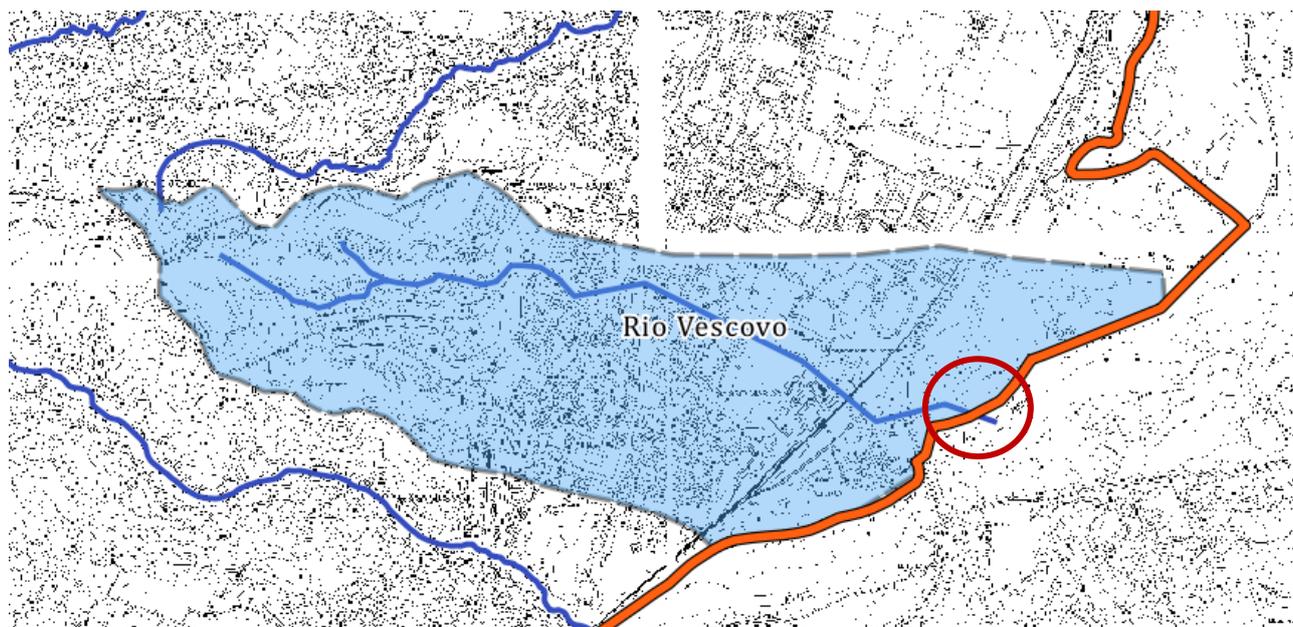


Figura 4.2.5 – Bacino Rio Vescovo: interferente col tracciato della ciclovvia del Sole (cerchio Rosso).

Le caratteristiche del bacino sono le seguenti (l'estensione e la perimetrazione sono state estrapolate dalla cartografia territoriale disponibile):

RIO VESCOVO - DATI DA GIS

Superficie	1,645,585 [m ²]
Superficie in km ² (A _b)	1.65 [km ²]
Lunghezza asta principale	2416.52 [m]
Lunghezza asta principale (L)	2.41652 [km]
Quota minima asta principale	87.4 [m slm]
Quota massima asta principale	311 [m slm]
Quota massima bacino	320 [m slm]
Pendenza media Asta (i)	0.0925 -
Pendenza percentuale media Asta (s)	9.25 %
H media bacino	203.70 [m]
H media rispetto alla foce (H _m)	116.30 [m]

Note le caratteristiche del bacino è stato possibile determinare il tempo di corrvazine del bacino come media delle relazioni idrauliche esposte nei paragrafi precedenti e utilizzabili per bacini di limitata estensione.

		T _c [ore]
Formula di Ventura	$T_C = 0,127 \sqrt{A_b/i}$	0.54
Formula di Giandotti	$T_C = \frac{4\sqrt{A_b} + 1,5 L}{0,8\sqrt{H_m}}$	1.01
Formula di Kiripich	$T_C = 0,066 L^{0,77} \left[\frac{1000 L}{0,8 (H_{max} - H_0)} \right]^{0,385}$	0.46
Formula di Pasini	$T_C = 0,108 \frac{(A_b L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$	0.56
Formula di Pezzoli	$T_C = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}}$	0.44
Formula di Puglisi	$T_C = 6 L^{2/3} (H_{max} - H_0)^{-1/3}$	1.76
Formula di Ogrosky-Mockus	$T_C = 0,914 L^{1,15} (H_{max} - H_0)_{bac}^{-0,38}$	0.32
T_c		0.73

Nel caso del Rio Vescovo, il tempo di corrivazione è pari a 0,73 ore; ottenendo valori del tempo di corrivazione inferiori all'ora, nel presente caso non è possibile utilizzare, per coerenza, il metodo della regionalizzazione individuato dall'Autorità di bacino del fiume Reno in quanto i dati da cui derivano i parametri di regionalizzazione considerano solo eventi di durata superiore all'ora e tenderebbero a sovrastimare le portate defluenti dal bacino.

Per tale motivo, nel caso del Rio Gemmese, la portata centennale può essere stimata applicando il coefficiente udometrico medio tra i bacini del Rio Verde e del Rio Maggiore che, per territorialità, uso del suolo e distribuzione delle piogge, presenta sicuramente un andamento simile.

Il coefficiente udometrico applicabile, quindi, è pari a:

$$u_{d,100} = \text{media} \left(\frac{59,85 + 44,99}{2} \right) = 52,42 \text{ l/s ha}$$

Moltiplicando il coefficiente udometrico determinato per la superficie del bacino si ottiene quindi la seguente portata:

$$Q_{RG,100} = 52,49 \cdot 164,56 = 8.637,75 \frac{l}{s} = 8,64 \text{ m}^3/s$$

5. MODALITA' DI RISOLUZIONE DELLE INTERFERENZE CON I CORPI IDRICI MINORI

Il tracciato previsto per la ciclovia del Sole in progetto, comporta quindi la risoluzione di cinque punti di interferenza con i corpi idrici minori individuati ed analizzati idrologicamente al capitolo precedente.

Dei cinque corpi idrici, solamente nel caso del Rio Vescovo non occorrono opere aggiuntive in quanto è già presente un tombamento del corpo idrico in corrispondenza del punto di transito della ciclovia.

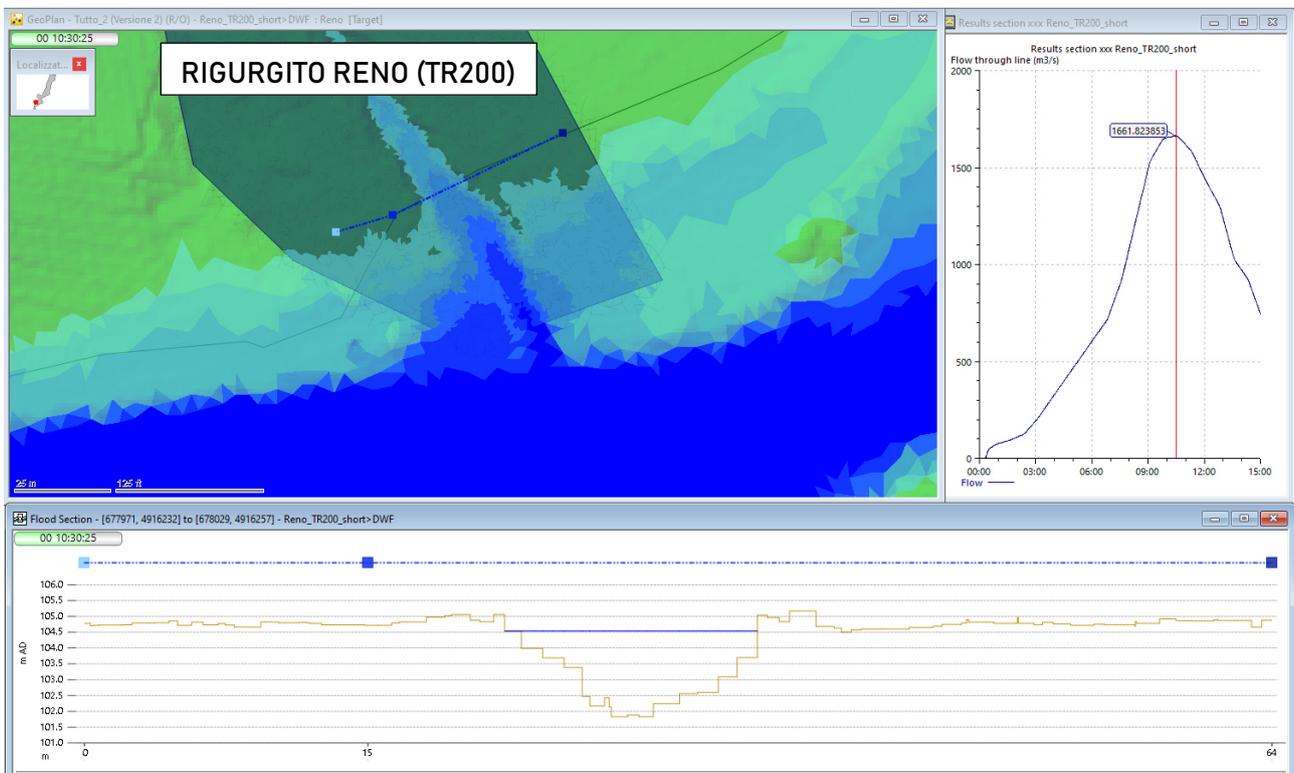
Per gli altri corpi idrici, invece, è prevista la realizzazione di una passerella ciclopedonabile (Rio Verde e Rio Maggiore) oppure la realizzazione di opere idrauliche quali tombamenti e/o opere a trappola (Fosso Fontana e Rio Gemmese).

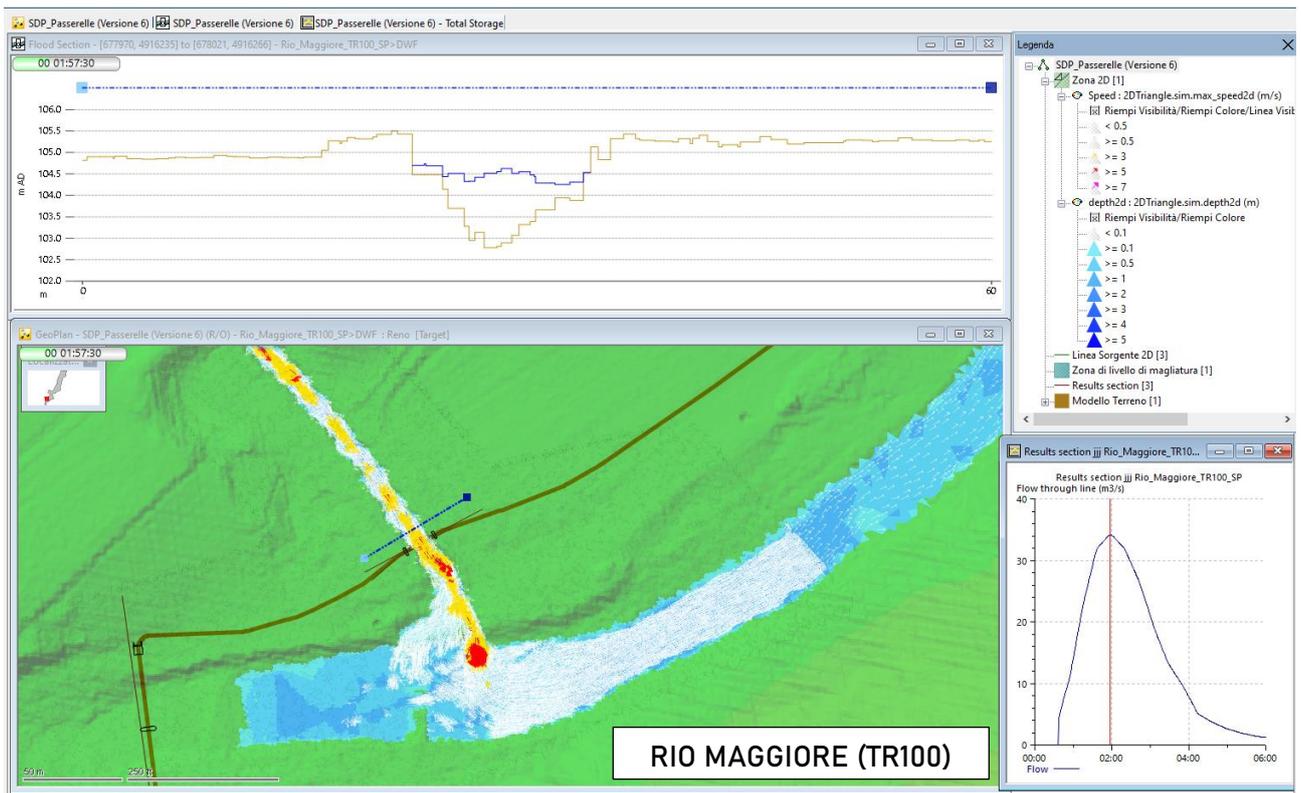
Le opere previste sono descritte nei paragrafi seguenti.

5.1. PASSERELLA SUL RIO MAGGIORE

Il superamento del Rio Maggiore, come già descritto, avverrà mediante l'inserimento di una passerella sospesa progettata in funzione del livello idrometrico draggiungibile dagli eventi di piena del fiume Reno e/o del Rio Maggiore.

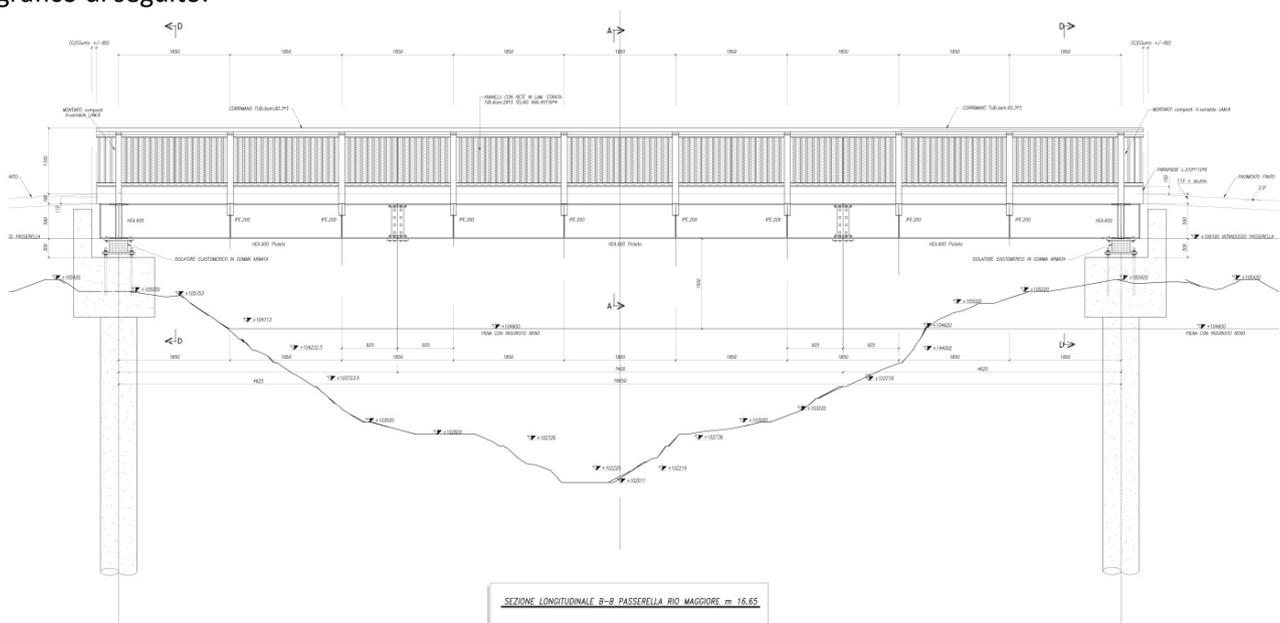
A partire dall'idrologia ricostruita per il bacino del Rio Maggiore (idrogramma di piena riportato nei capitoli precedenti), è stato generato un modello idraulico bidimensionale mediante il software Infoworks ICM. Il modello realizzato è il medesimo adottato per lo studio della passerella sul fiume Reno, precedentemente descritto. Tale condizione ha permesso quindi di valutare il tirante idrico in corrispondenza della nuova passerella in progetto sia rispetto alla piena centennale del Rio Maggiore (valori calcolati in precedenza) che rispetto al rigurgito dovuto al transito della piena duecentennale nel fiume Reno. Di seguito si riportano le sezioni del modello per i due casi indicati.



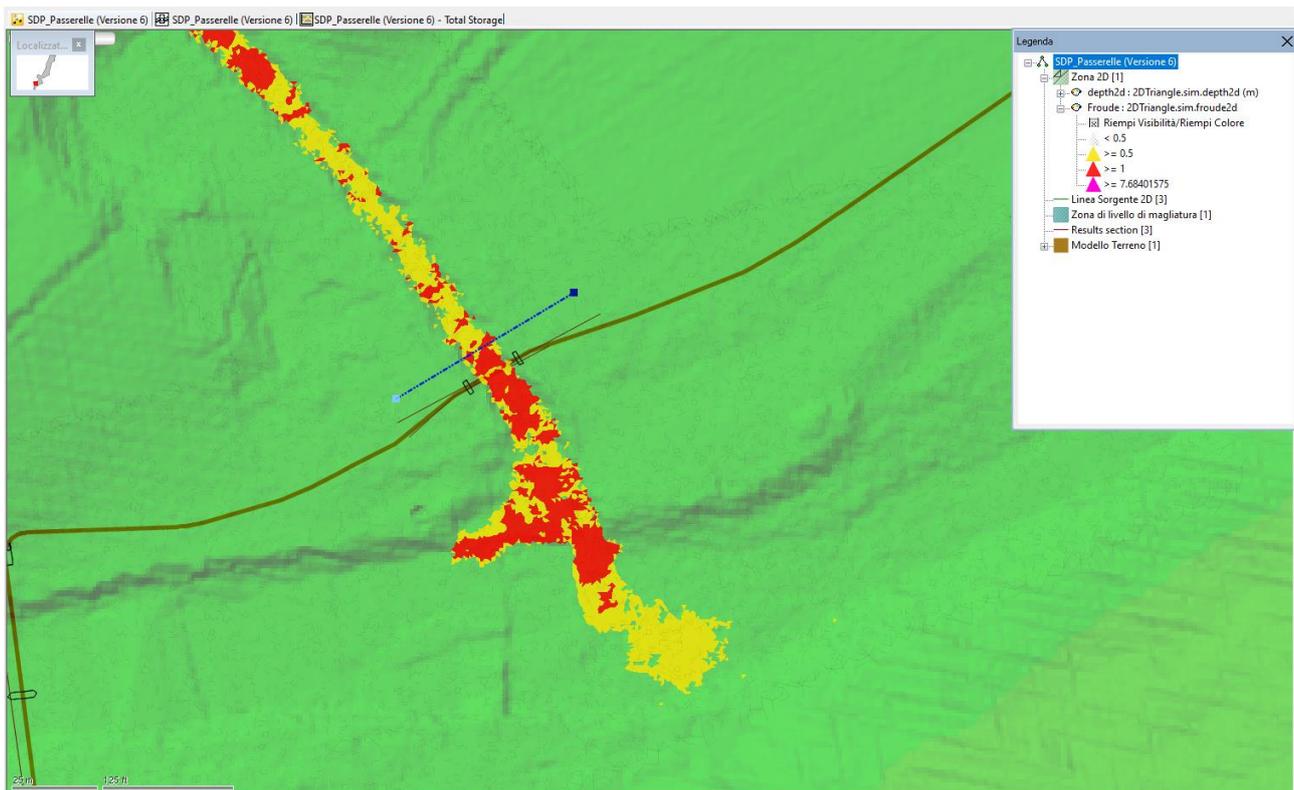


Sulla base dei risultati sopra riportati, appare evidente che il rigurgito della piena duecentennale raggiunge livelli superiori alla piena centennale del Rio Maggiore. Per tale motivazione, la passerella di superamento del corpo idrico minore è stata impostata con intradosso posto a quota 106,10 metri sul livello del mare, pari alla quota di rigurgito della piena Tr200 del fiume Reno (104,60 metri) aumentata di 1,5 metri come richiesto dalle NTC2018.

La passerella prevista è ampiamente trattata negli elaborati grafici di progetto, di cui si riporta un estratto grafico di seguito.



Come visibile, il rigurgito della piena duecentennale del fiume Reno transita completamente al di sotto della luce libera della passerella prevista, pertanto l'opera risulta completamente "trasparente" rispetto alle dinamiche idrofluviali. Tuttavia, dalla modellazione bidimensionale del Rio Maggiore per la piena centennale è stato possibile osservare come le velocità della corrente idrica raggiungano valori che possono comportare una erosione delle sponde nel tratto di inserimento della passerella (vedi immagine seguente).



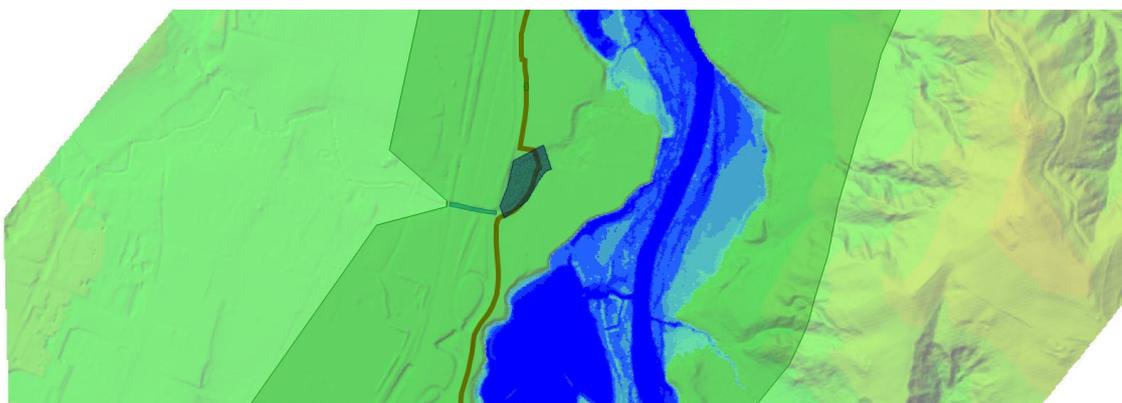
Per tali motivazioni, a favore di sicurezza, si prevede di difendere le sponde mediante un getto di calcestruzzo ciclopico al di sotto delle pile di sostegno dell'opera in progetto.

5.2. PASSERELLA SUL RIO VERDE

Il superamento del Rio Verde, come già indicato in precedenza, avverrà mediante l'inserimento di una passerella sospesa progettata in funzione del livello idrometrico corrispondente alla portata con tempo di ritorno cento anni.

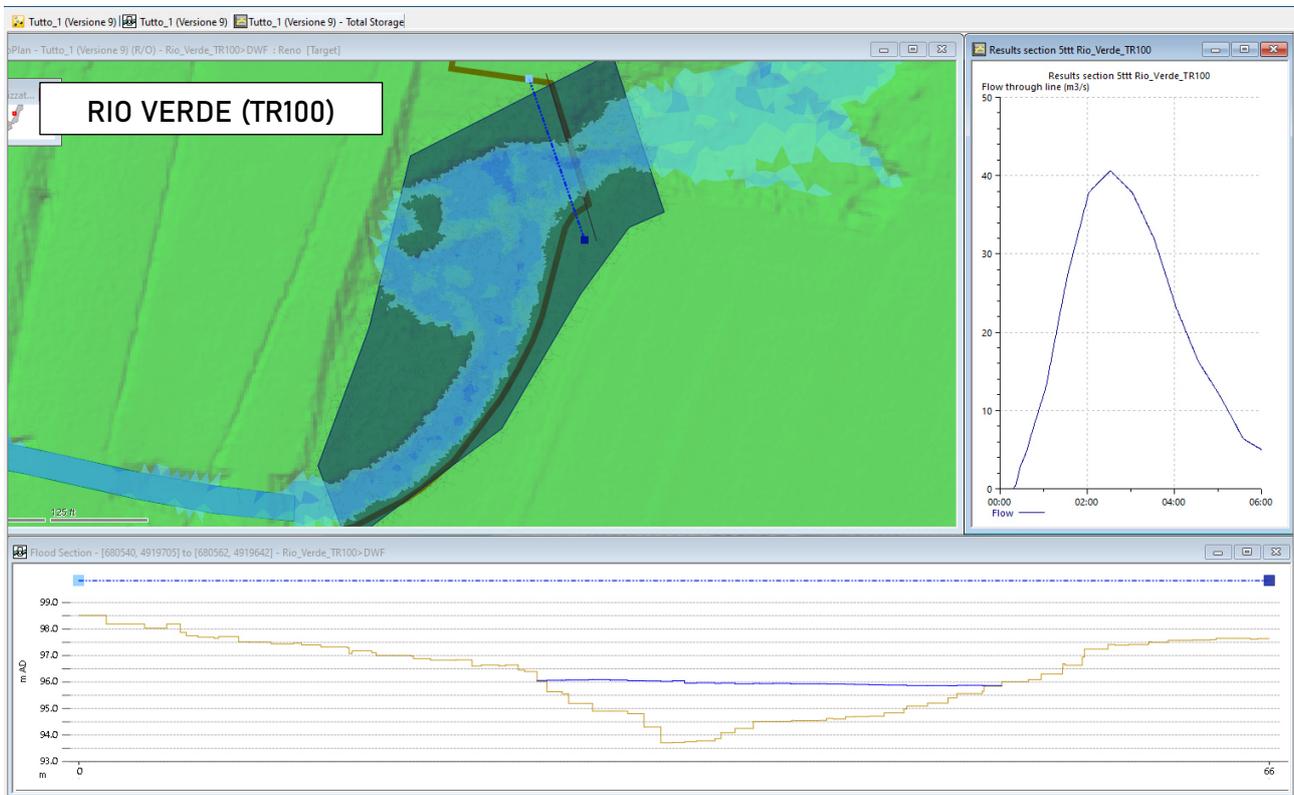
A partire dall'idrologia ricostruita per il bacino del Rio Verde (idrogramma di piena determinato nei capitoli precedenti), è stato generato un modello idraulico bidimensionale mediante il software Infoworks ICM. Il modello realizzato è il medesimo adottato per lo studio della passerella sul fiume Reno, precedentemente descritto.

L'utilizzo di un modello unico per il fiume Reno e per il Rio Verde ha permesso di verificare che la piena ducentennale del corpo idrico principale non raggiunge la sezione di attraversamento della ciclovìa. Di seguito si riporta una schermata del software dal quale si evince la considerazione sopra formulata (Zona Rio Verde evidenziata con retino grigio).



Nel caso della passerella sul Rio Verde, quindi, la progettazione dell'opera sospesa è stata basata sul livello idrometrico corrispondente alla piena centennale del Rio Verde.

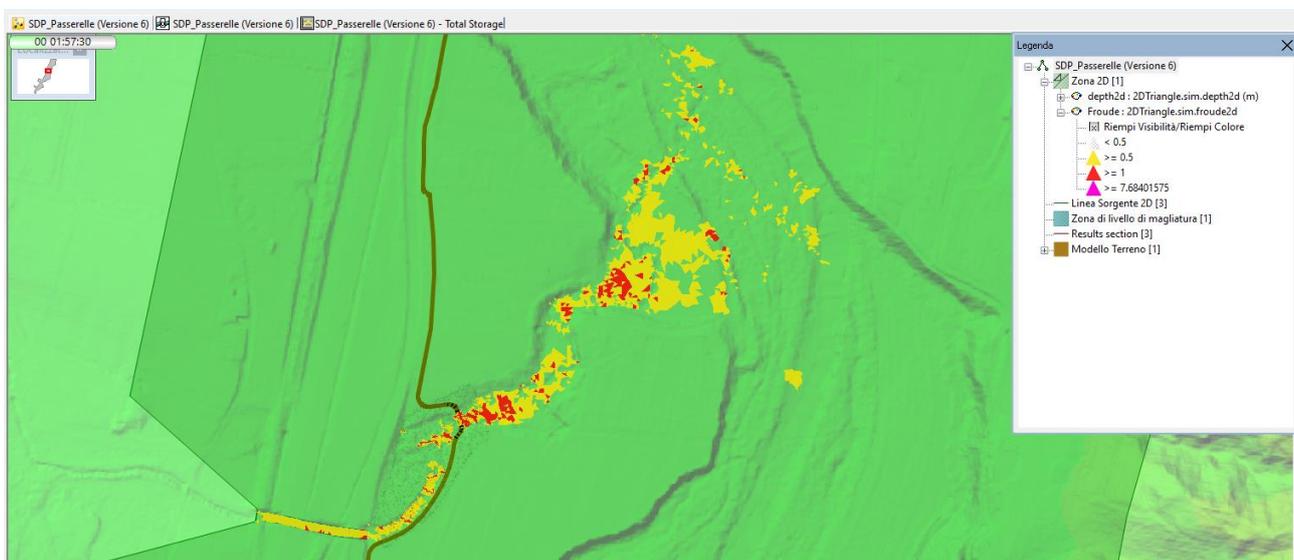
Dal modello bidimensionale è stato quindi possibile determinare un livello idrometrico di progetto pari a circa 96,00 metri slm, come visibile dalla seguente immagine.

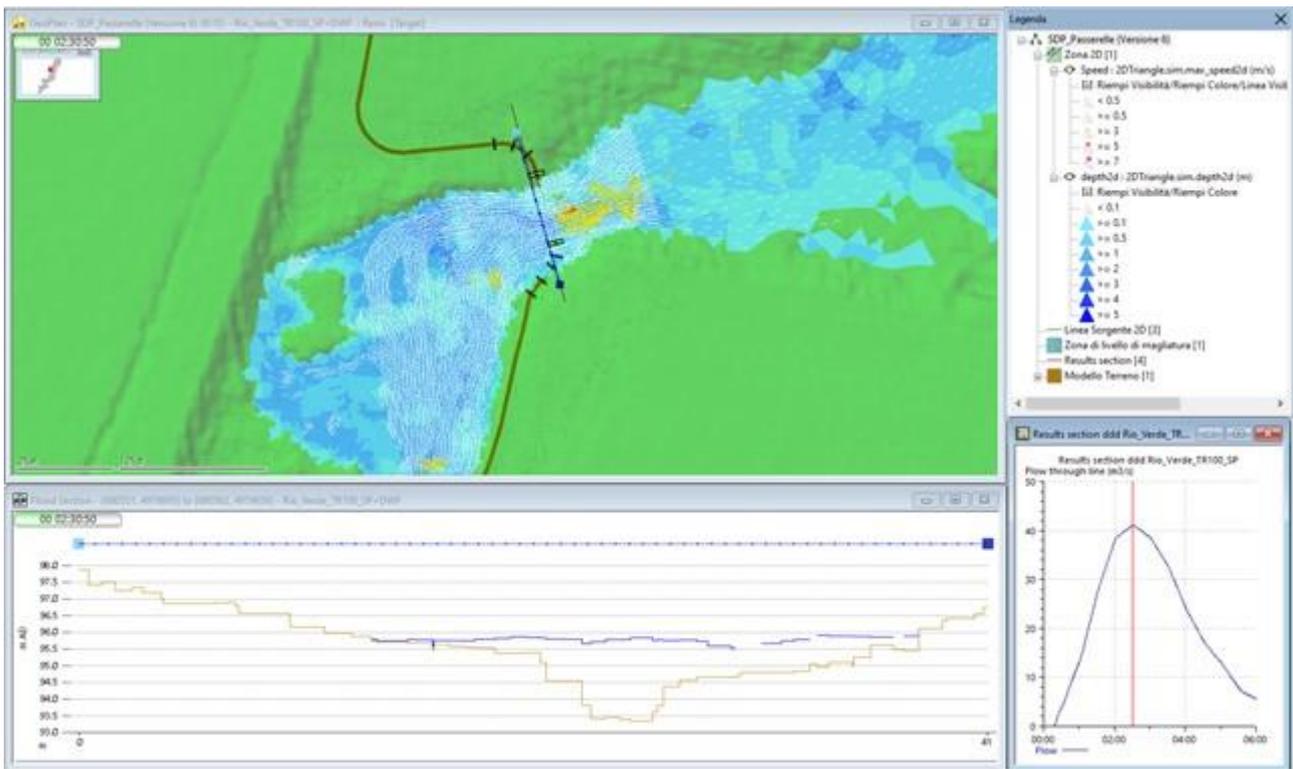


La passerella di superamento del corpo idrico minore è stata impostata con intradosso posto a quota 97,50 metri sul livello del mare, pari alla quota stimata per la piena Tr100 del Rio Verde (96,00 metri slm) aumentata di 1,5 metri come richiesto dalle NTC2018.

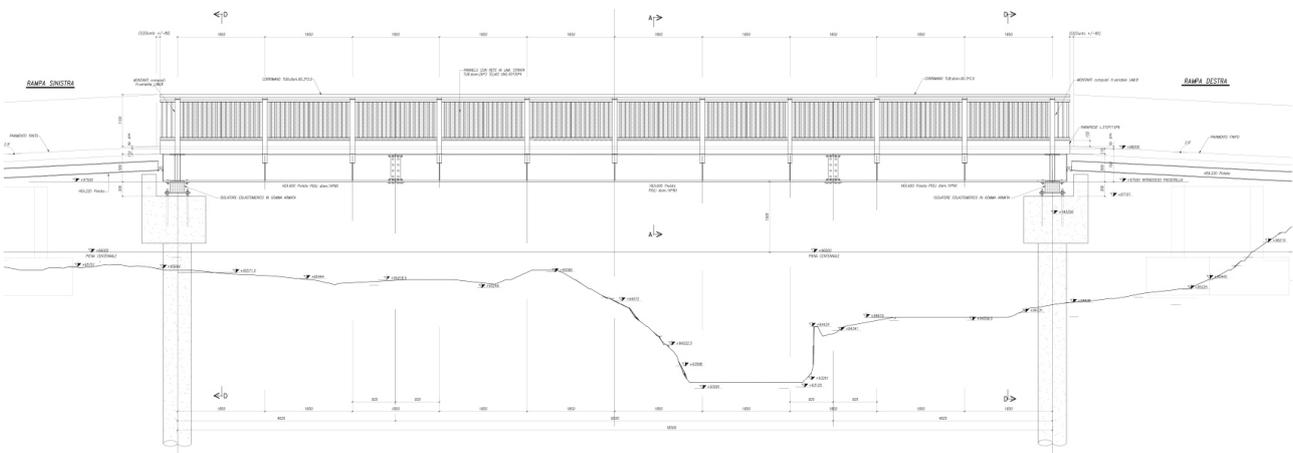
Nel presente caso, la piena di progetto lambisce le pile della passerella, pertanto, il modello bidimensionale è stato indagato anche nella condizione di progetto verificando i possibili sopralzi del tirante idrico dovuti alle interferenze delle opere in alveo.

Di seguito si riportano quindi i risultati dello stato di progetto dove è possibile vedere come l'introduzione delle opere non determini variazioni sostanziali nel regime idraulico del Rio.





La passerella prevista è ampiamente trattata negli elaborati grafici di progetto, di cui si riporta un estratto grafico di seguito dal quale si visualizzano i livelli idrometrici di progetto.



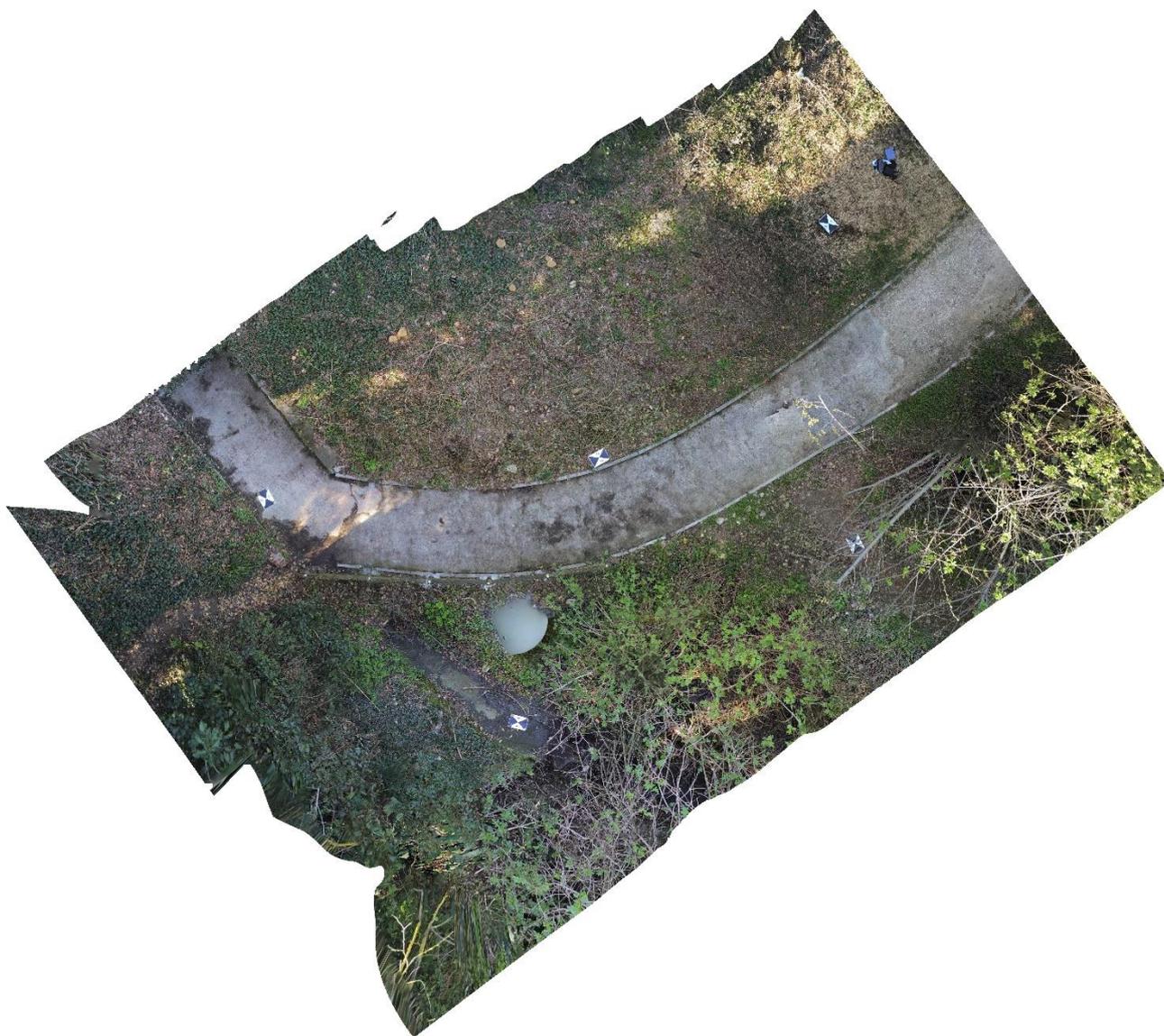
5.3. MANUFATTO SUL FOSSO DELLA FONTANA

In corrispondenza del Fosso della Fontana, la ciclovia del Sole transiterà al di sopra del corpo idrico raccordandosi ad un tratto ciclabile già presente e posizionato immediatamente a valle del sottopasso della ferrovia di Via Ponte Albano.

Prima e dopo il sottopasso ferroviario di Fontana il progetto prevede la realizzazione di due allargamenti per organizzare due aree di sosta necessarie ad utilizzare il sottopasso in senso unico alternato.

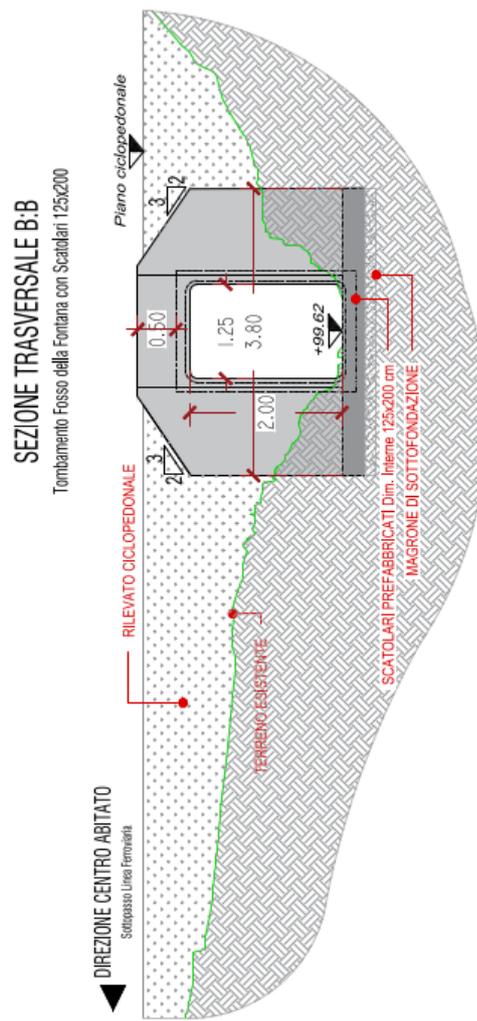
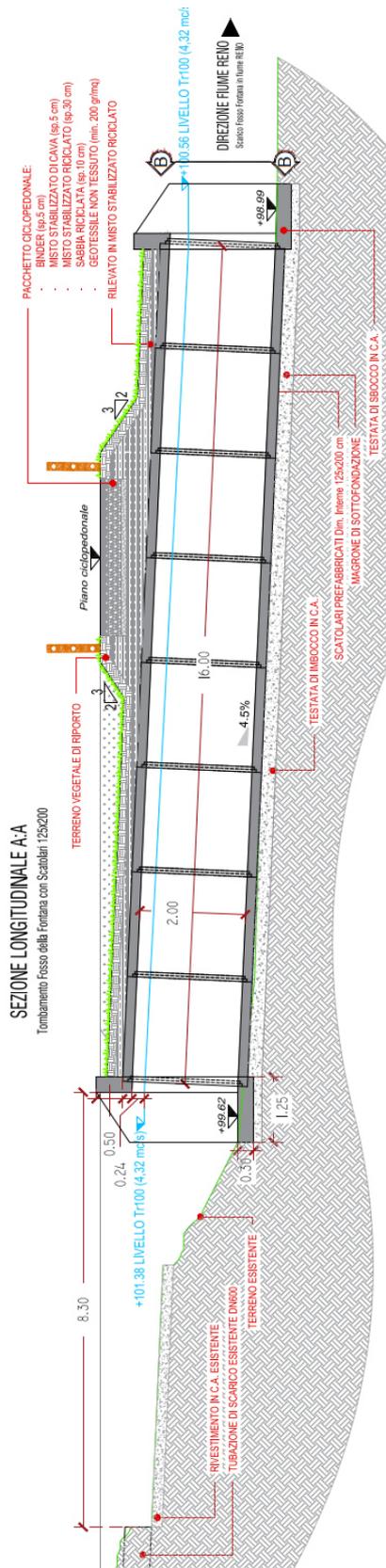
Da tale necessità, quindi occorre modificare il fosso di Fontana a valle del sottopasso per poter permettere la realizzazione di questo allargamento.

Presso tale posizione è già presente un tombamento tramite una condotta di diametro nominale 600 mm seguito da un tratto rivestito in cls del fosso stesso. Il sottopasso ferroviario, inoltre, in caso di sovralluvionamento dei territori a monte di esso, acquisisce il funzionamento di scarico di troppo pieno scaricando le acque proprio in corrispondenza del Fosso della Fontana. L'assetto attuale del fosso è visibile nella seguente ortofotografia.



Per tale motivazione, presso tale sezione si prevede il mantenimento del manufatto posto in corrispondenza dello sbocco della tubazione esistente ed il convogliamento delle acque all'interno di una condotta inserita nel rilevato ciclopedonale realizzata in scatolari rettangolari di dimensioni interne 1,25 (W) x 2,00 (H).

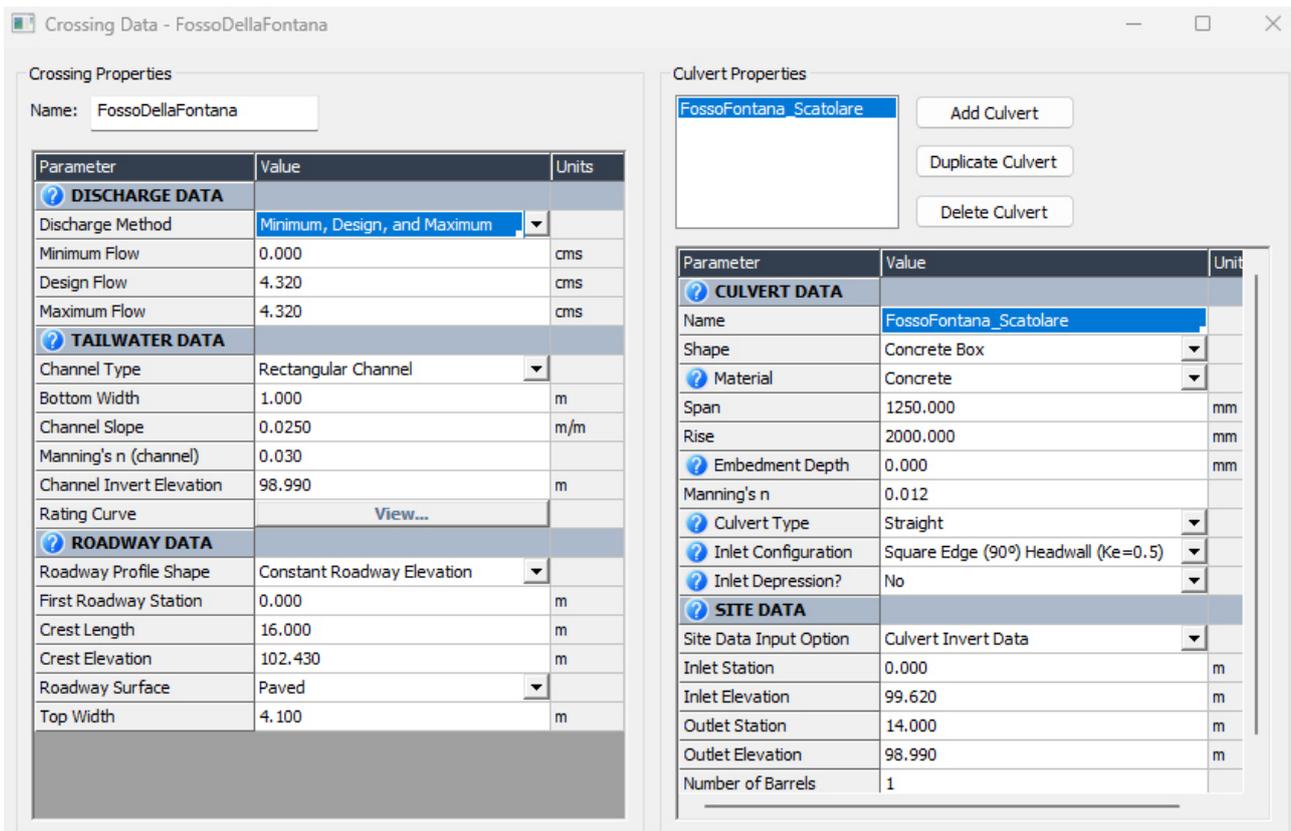
L'utilizzo di questo sistema permette di mantenere in essere il funzionamento dello scarico di troppo pieno, mentre lo scatolare sovradimensionato garantisce il corretto transito di tali apporti idrici. Il manufatto previsto è grificizzato nei rispettivi elaborati grafici allegati al presente progetto, di cui si riportano degli estratti.



La verifica del manufatto di attraversamento è stata verificata mediante l'uso del software "H-Y 8 Culvert Analysis Program" (v7.8) dell'U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration; il software permette di effettuare il calcolo delle condotte e degli attraversamenti dei corpi idrici al di sotto dei rilevati stradali determinando, per diversi valori di portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna del tombamento/condotto e fornisce il profilo della superficie idrica lungo la sua estensione ed il tirante all'imbocco ed allo sbocco.

L'analisi del tombinamento parte dalla definizione delle condizioni al contorno del tombino, ovvero le sezioni del corpo idrico a monte ed a valle del manufatto in progetto.

I dati di input inseriti nel software sono quelli esposti nell'immagine seguente:



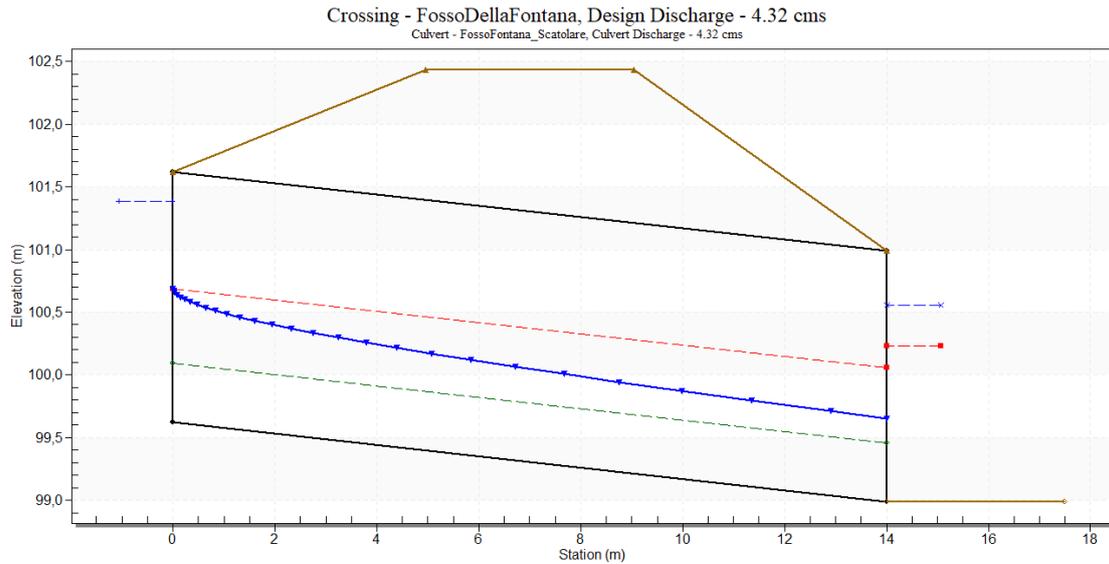
In particolare, sono stati introdotti i dati principali della geometria dell'attraversamento in progetto ovvero:

- Quota del piano stradale: 102,43 m slm
- Lunghezza del piano stradale sopra al corpo idrico: 16,00 m
- Larghezza del piano stradale (lunghezza tombamento): 4,10 m

Per la condotta in progetto sono state immesse le seguenti dimensioni e caratteristiche fisiche:

- Tipo di condotto: Scatolare prefabbricato rettangolare
- Dimensione larghezza interna: 1,25 m
- Dimensione altezza interna: 2,00 m
- Tipologia di condotto: Rettilineo
- Tipologia di imbocco: Non raccordato – angolo di 90°
- Scabrezza condotto: 0,012
- Quota imbocco: 99,62 m slm
- Lunghezza condotto: 16,00 m
- Quota sbocco: 98,99 m slm

Procedendo al calcolo mediante il software HY-8 si ottiene il profilo idraulico seguente:



Il manufatto in progetto risulta quindi verificato: il profilo idrico della portata di progetto è contenuto nel condotto in progetto senza mai entrare in pressione e lambire la sommità dello scatolare. In corrispondenza della sezione di imbocco del condotto, il sormonto del pelo libero dovuto alle perdite di carico di imbocco risulta sempre al di sotto del piano stradale e con un franco di circa 20 cm rispetto alla sommità dello scatolare. In allegato alla presente relazione si riporta quindi il report di calcolo estratto dal software.

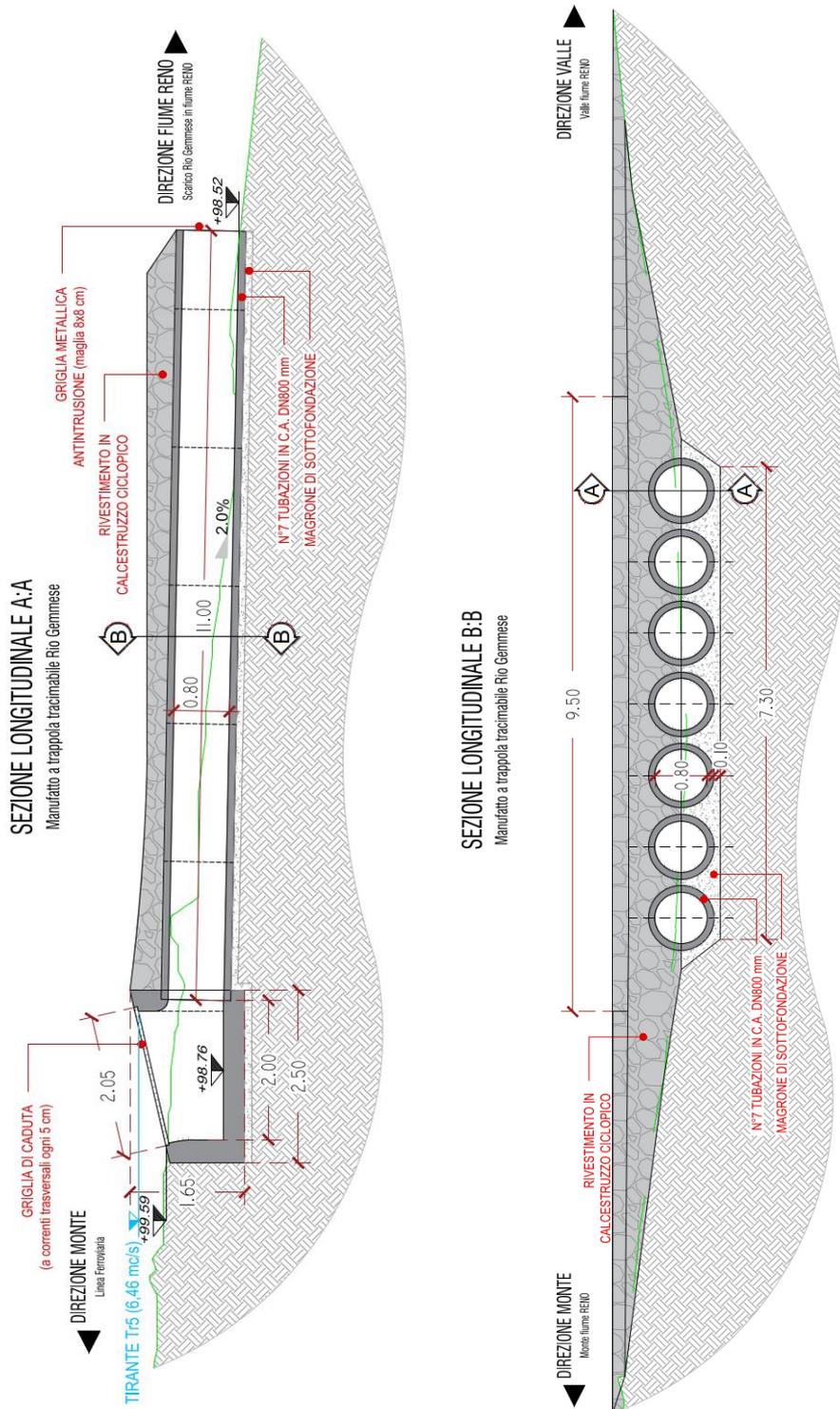
5.4. MANUFATTO SUL RIO GEMMESE

In corrispondenza del Rio Gemmese, la ciclovia del Sole transiterà mediante la realizzazione di un guado. Allo stato attuale, le aree di intersezione tra il corpo idrico e la ciclovia presentano già un attraversamento guadabile con le sponde a fianco poste a quote maggiori del letto fluviale. Di seguito si riporta una ortofotografia dell'area di intersezione.



Al fine di permettere il mantenimento del tratto in asciutta per buona parte dell'anno, si è prevista la realizzazione di un manufatto idraulico detto "a trappola". Il manufatto di questa tipologia rimane annegato nel letto del corpo idrico e prevede un elemento di intercettazione della portata in arrivo, mediante una griglia suborizzontale posta nella porzione superiore del manufatto.

Il fluido, attraversando la griglia, viene raccolto nella vasca posta al di sotto di essa dove hanno origine n° 7 condotte in cls DN800 che permettono di superare il guado e scaricare nuovamente nel letto del corpo idrico. Lo schema grafico del manufatto previsto è riportato di seguito, rimandando agli elaborati grafici allegati al presente progetto per maggiori dettagli.



Il dimensionamento della griglia di presa del manufatto è stato effettuato derivando il sistema di tre equazioni definito dall'equazione di variazione della portata, dalla legge di emungimento della portata e dall'equazione del moto lungo il percorso:

$$\begin{cases} dQ = q(s)ds \\ q(s) = f(s) \\ E = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2g\Omega^2} \end{cases}$$

(Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..1)

Derivando il sistema (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..1) per il caso di una griglia di fondo (similare al caso di sfioratore laterale quindi mantenendo costante l'energia lungo il tratto) e sostituendo ad $f(s)$ la reazione di efflusso su foro di fondo si ottiene:

$$\begin{cases} Q = L \cdot \sum \Delta Q \\ \Delta Q = C_c \cdot \Omega_g \cdot \sqrt{g \cdot y} \\ E = z + y + \frac{\alpha Q^2}{2g\Omega^2} = cost \end{cases}$$

(Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..2)

Adottando il metodo delle differenze finite per la risoluzione del sistema (Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..2) otteniamo le seguenti equazioni:

$$\begin{cases} Q = \Delta x_i \cdot \sum_{i=0}^N \Delta Q_i \\ \Delta Q = C_c \cdot \Omega_{g,i} \cdot \sqrt{g \cdot y_i} \\ z_i + y_i + \frac{\alpha Q_i^2}{2g\Omega_i^2} = E_{i-1} = cost \end{cases}$$

(Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..3)

Dove:

Q : Portata intercettata nella griglia;

Δx_i : Lunghezza della griglia al passo i;

ΔQ_i : portata derivata per un elemento unitario di griglia;

C_c : coefficiente di contrazione;

$\Omega_{g,i}$: area della griglia con lunghezza Δx_i al passo i data dall'area lorda della griglia per la percentuale dei vuoti;

g: accelerazione di gravità;

y_i : livello idrico sopra alla griglia all'istante i;

z_i : carico geodetico;

Q_i : Portata sopra a griglia al passo i;

Ω_i : area portata idrica sopra a griglia.

La risoluzione delle equazioni avviene in questo modo:

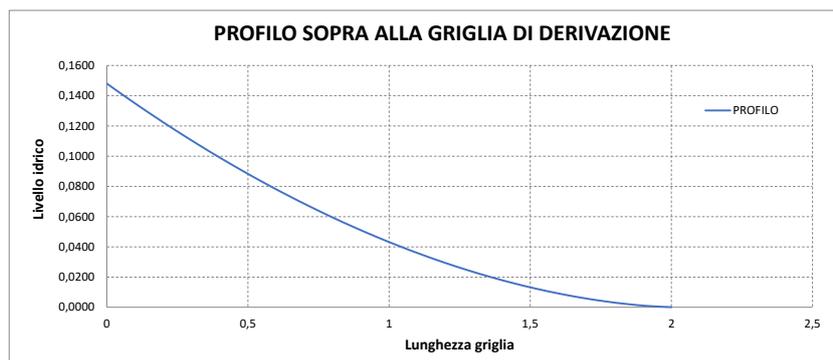
- Si ipotizza un valore di lunghezza della griglia ed un numero N di intervalli Δx_i in cui suddividerla;
- Si determinano le condizioni della corrente a monte della griglia per la portata di progetto (profondità idrica tramite l'equazione di Chezy). Se la corrente è veloce, come è di norma per torrenti montani, si procede così: si determina nel primo intervallo Δx_i con $i=0$ la portata emunta dalla griglia per mezzo della seconda equazione del sistema e di conseguenza la portata lungo tutta la griglia dalla

prima equazione dopodiché si stima la portata transitante sull'elemento seguente sottraendo tale portata alla portata iniziale;

- Definita la portata sull'elemento $i=1$ si procede a calcolare il livello sulla griglia dopodiché si effettua il medesimo procedimento al passo precedente e lo si reitera fino all'ultimo intervallo o fino a quando non la portata sulla griglia si annulli.

Tale procedimento è stato applicato in un foglio di calcolo di Microsoft® Excel ipotizzando un valore di portata transitante di $6,49 \text{ m}^3/\text{s}$, pari alla portata con tempo di ritorno di 5 anni, variando le dimensioni della griglia fino a trovare per quale valore la portata captata, in relazione a quella ipotizzata, sia uguale alla massima derivabile. Nel caso specifico la griglia avrà larghezza 9,00 metri, lunghezza 2,00 metri, pendenza verso monte del 20% e percentuale dei vuoti del 90%. In occasione di una portata di $6,49 \text{ m}^3/\text{s}$ si ottiene il seguente profilo idraulico sopra alla griglia:

PROGRESSIVO	X	Z	Y	A	F	ΔQ	Q	E	DIFF
1	0	0	0,1480	1,04	5,2	-	6,460	2,130	0,000
2	0,08	0,016	0,1375	0,96	5,4	0,47	5,992	2,130	0,000
3	0,16	0,032	0,1273	0,89	5,6	0,45	5,540	2,130	0,000
4	0,24	0,048	0,1175	0,82	5,8	0,43	5,106	2,130	0,000
5	0,32	0,064	0,1081	0,76	6,0	0,42	4,688	2,130	0,000
6	0,4	0,08	0,0990	0,69	6,3	0,40	4,288	2,130	0,000
7	0,48	0,096	0,0903	0,63	6,6	0,38	3,905	2,130	0,000
8	0,56	0,112	0,0820	0,57	6,9	0,37	3,539	2,130	0,000
9	0,64	0,128	0,0741	0,52	7,2	0,35	3,190	2,130	0,000
10	0,72	0,144	0,0666	0,47	7,6	0,33	2,859	2,130	0,000
11	0,8	0,16	0,0594	0,42	8,0	0,31	2,545	2,130	0,000
12	0,88	0,176	0,0526	0,37	8,5	0,30	2,248	2,130	0,000
13	0,96	0,192	0,0462	0,32	9,1	0,28	1,969	2,130	0,000
14	1,04	0,208	0,0401	0,28	9,7	0,26	1,707	2,130	0,000
15	1,12	0,224	0,0345	0,24	10,4	0,24	1,463	2,130	0,000
16	1,2	0,24	0,0293	0,20	11,3	0,23	1,237	2,130	0,000
17	1,28	0,256	0,0244	0,17	12,3	0,21	1,029	2,130	0,000
18	1,36	0,272	0,0200	0,14	13,6	0,19	0,839	2,130	0,000
19	1,44	0,288	0,0159	0,11	15,1	0,17	0,667	2,130	0,000
20	1,52	0,304	0,0123	0,09	17,2	0,15	0,513	2,130	0,000
21	1,6	0,32	0,0091	0,06	19,9	0,13	0,378	2,130	0,000
22	1,68	0,336	0,0063	0,04	23,8	0,12	0,262	2,130	0,000
23	1,76	0,352	0,0040	0,03	29,8	0,10	0,165	2,130	0,000
24	1,84	0,368	0,0021	0,02	40,5	0,08	0,088	2,130	0,000
25	1,92	0,384	0,0008	0,01	67,0	0,06	0,032	2,130	0,000
26	2	0,4	0,0001	0,00	-259,9	0,03	-0,002	2,130	0,000

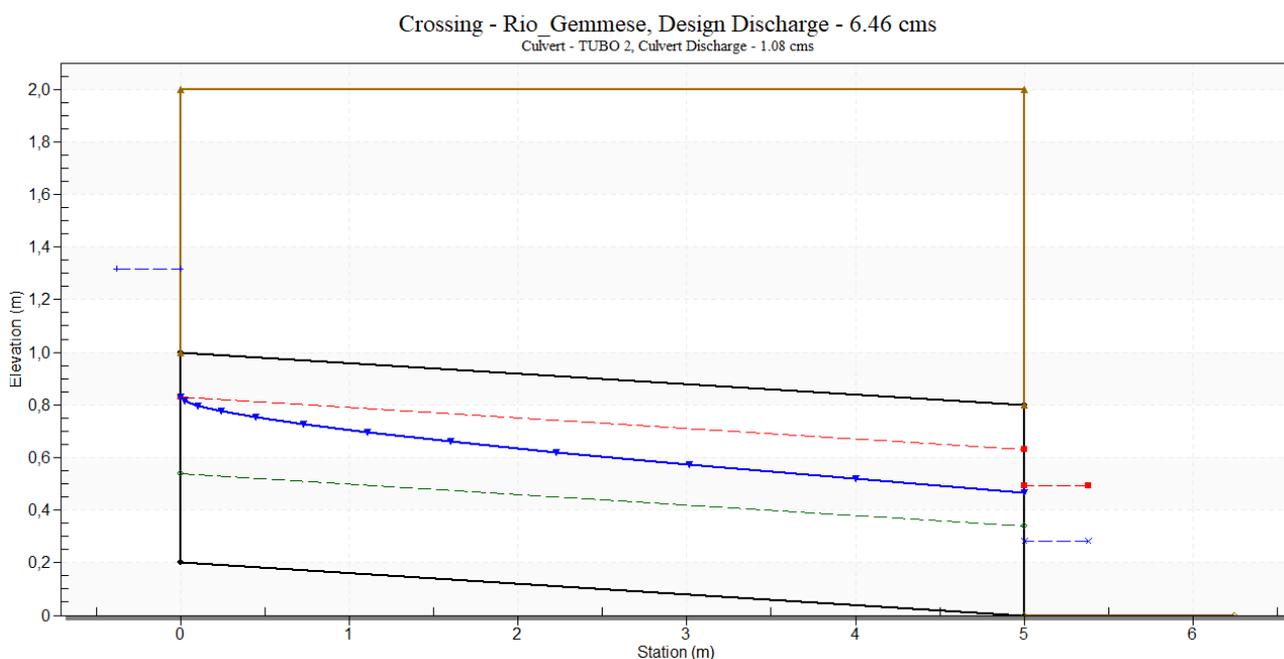


CARATTERISTICHE DELLA GRIGLIA		
LUNGHEZZA DELLA GRIGLIA	9	M
LARGHEZZA DELLA GRIGLIA	2	M
LARGHEZZA APERTURE	0,05	M
LARGHEZZA SBARRE	0,05	M
PERCENTUALE DEI VUOTI	0,9	-
COEFFICIENTE DI CONTRAZIONE	0,6	-
DELTA X	0,08	M
PENDENZA GRIGLIA	-0,2	-
PORTATA DERIVATA	6,462	M ³ /s

Verificato il funzionamento della griglia a trappola, è stato possibile verificare il numero ed il diametro delle tubazioni necessarie al transito della portata Tr 5 in modo da avere il sormonto del manufatto solo per eventi critici di tempo di ritorno maggiore.

La verifica delle condotte è stata effettuata ricorrendo al software HY8 come effettuato per il Fosso della Fontana. Considerando di utilizzare condotte in cls di diametro 800 mm sarebbero sufficienti 6 tubazioni, tuttavia, data la larghezza del manufatto e l'utilizzo di un manufatto a trappola, viene inserita una ulteriore condotta in modo da agevolare il deflusso nella camera di caduta e far fronte al risalto idraulico localizzato all'interno della vasca di carico.

Nelle condotte in progetto, si ottiene quindi il seguente profilo longitudinale:



Nel presente caso, come visibile, la quota di monte risulta compatibile con il sistema in progetto.

Le condotte, inoltre, non entrano in pressione assicurando il corretto deflusso della portata di progetto.

Il manufatto così concepito permette di utilizzare il guado fino a quando non intercorrono portate di tempo di ritorno cinquennale e/o superiore. Al superamento di tali portate, il manufatto verrà sormontato e la pista ciclabile sarà momentaneamente interrotta.

Il rivestimento superiore del manufatto sarà realizzato in conglomerato ciclopico in modo da resistere all'azione erosiva della portata idrica nonché all'azione di trascinamento dovuta ad essa.

6. INQUADRAMENTO TERRITORIALE DEL TRONCO 7

I tratti in progetto, appartenenti al TRONCO 7, costeggiano la linea ferroviaria Bologna-Verona e ricadono nei territori comunali di Crevalcore e di San Giovanni in Persiceto.

Il tracciato, nei tratti in oggetto, si sviluppa a quote topografiche comprese tra 18.0 e 20.0 m s.l.m.

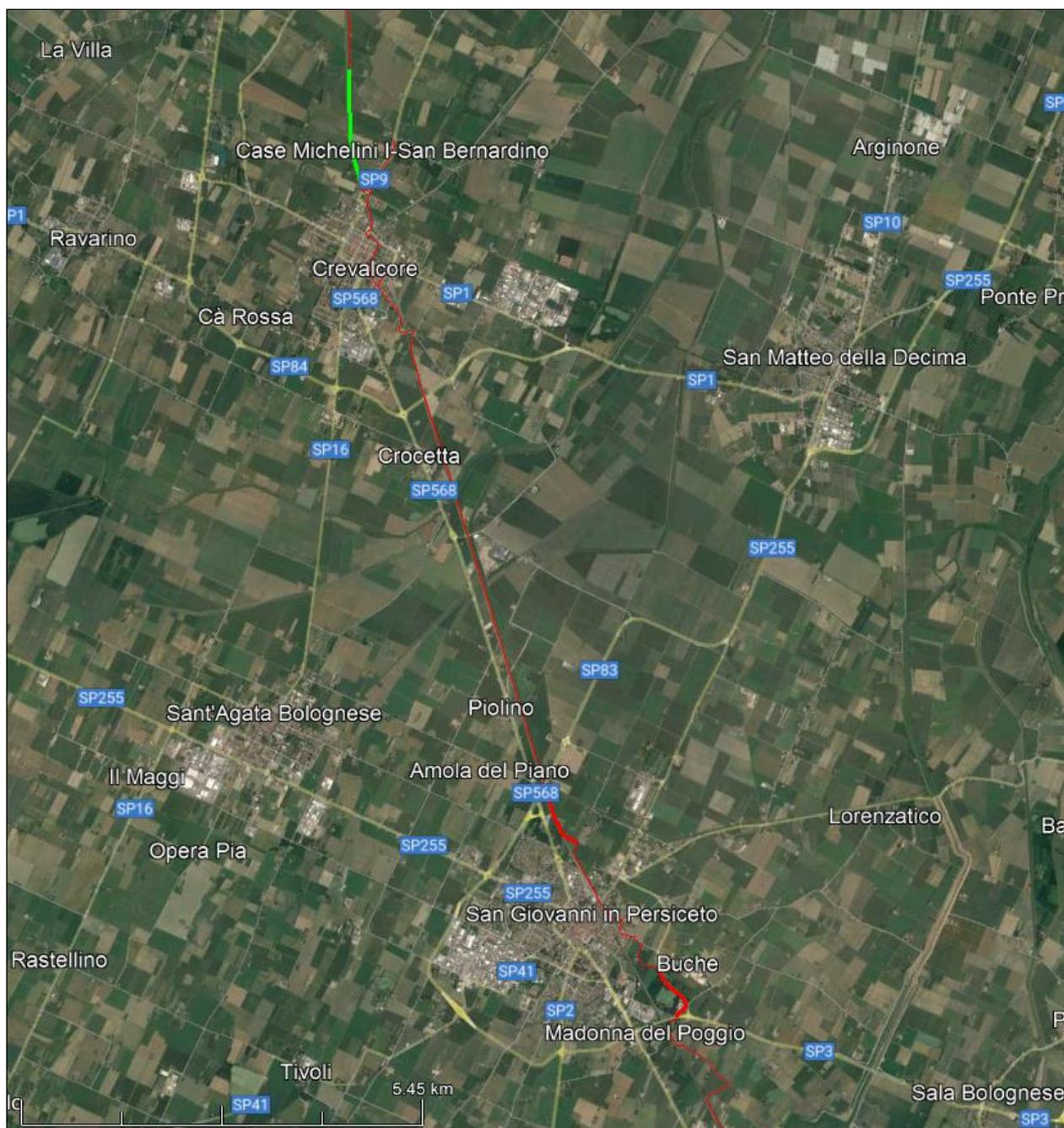


Figura 5.1 – Ubicazione su scala generale del tracciato in progetto – tratta da Google Earth

7. IDROLOGIA ED IDRAULICA RELATIVA AL TRONCO 7

Come illustrato nelle immagini che seguono, dal punto di vista idraulico l'area d'interesse è gestita dal **Consorzio della Bonifica di Burana** e appartiene alla cosiddetta area di bonifica di "**Bassa Pianura - Destra Panaro**".

L'area ricadente nel territorio comunale di San Giovanni in Persiceto appartiene al cosiddetto bacino delle "**Acque Alte**" che si estendono per una superficie complessiva di 54'700 ha.

L'area ricadente nel territorio comunale di Crevalcore appartiene invece al bacino delle "**Acque Basse**".

Tale area territoriale delle Acque Basse presenta come vettore di scolo principale il Canale di Quarantoli (21'882 m) che si immette, in prossimità della località Cà Vallone in Comune di Bondeno (FE), nel Canale Collettore di Burana (14'770 m), il quale diventa Canale Emissario e quindi Po di Volano, che scola le acque direttamente nel Mare Adriatico. Il Canale Quarantoli inizia il suo corso in Comune di San Possidonio (MO) e recapita il proprio carico scolante e quello dei suoi affluenti nel Collettore di Burana. Esso può smaltire una portata massima di piena non superiore agli 80 m³/s, di conseguenza, visto che soltanto i 40 m³/s possono defluire attraverso la Botte Napoleonica nel Canale Emissario (Po di Volano), i restanti 40 m³/s devono essere scaricati in fiume Po mediante il Canale delle Pilastresi (5'084 m) attraverso l'impianto di sollevamento omonimo in località Stellata di Bondeno (FE).

Poco più a sud dell'area in esame è presente invece il bacino delle "Acque Alte" che scolano, mediante il Canale Diversivo di Burana, nel Fiume Panaro, in corrispondenza dell'impianto S. Bianca, ubicato nell'omonima località in Comune di Bondeno.

Localmente i bacini superficiali principali sono suddivisi in microbacini che, tramite una fitta rete di fossi e scoli convogliano i deflussi idrici, relativi alle acque che non si infiltrano nel sottosuolo, nei collettori principali che solcano il territorio.

Il reticolo idrografico risulta essere così costituito da canali o cavi con direzione di flusso orientata ad est. Il territorio della bassa pianura modenese è solcato da numerosi canali ad uso irrigue ed è lambito dalla zona potamale dei Fiumi Secchia e Panaro.

Molti dei canali irrigui vengono invasati con acque prelevate dal Po in primavera, per poi essere svasati in autunno.

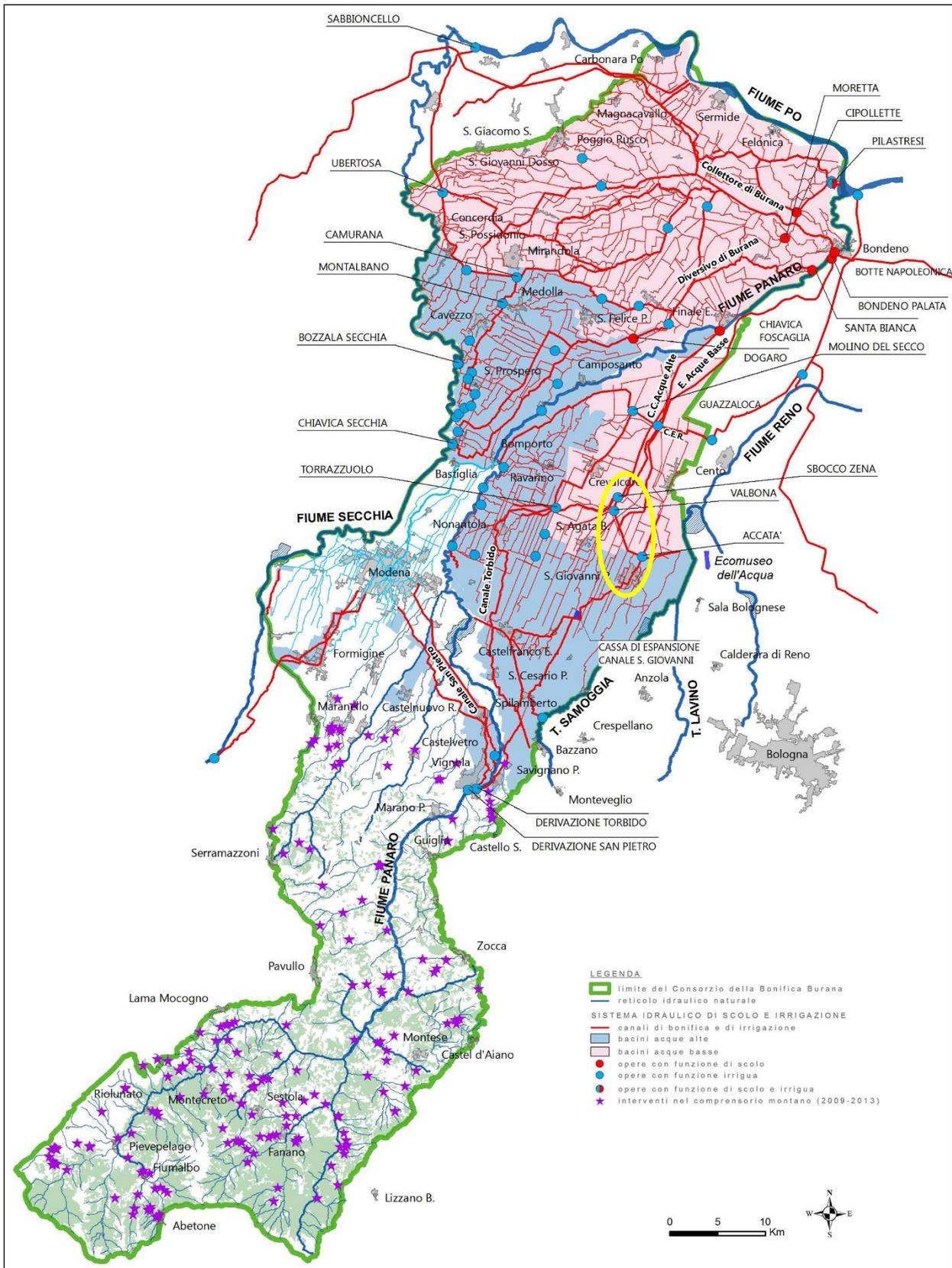


Figura 6.1 – Carta generale delle aree appartenenti al Consorzio di Bonifica di Burana. Il cerchio giallo indica l'ubicazione dell'area d'interesse

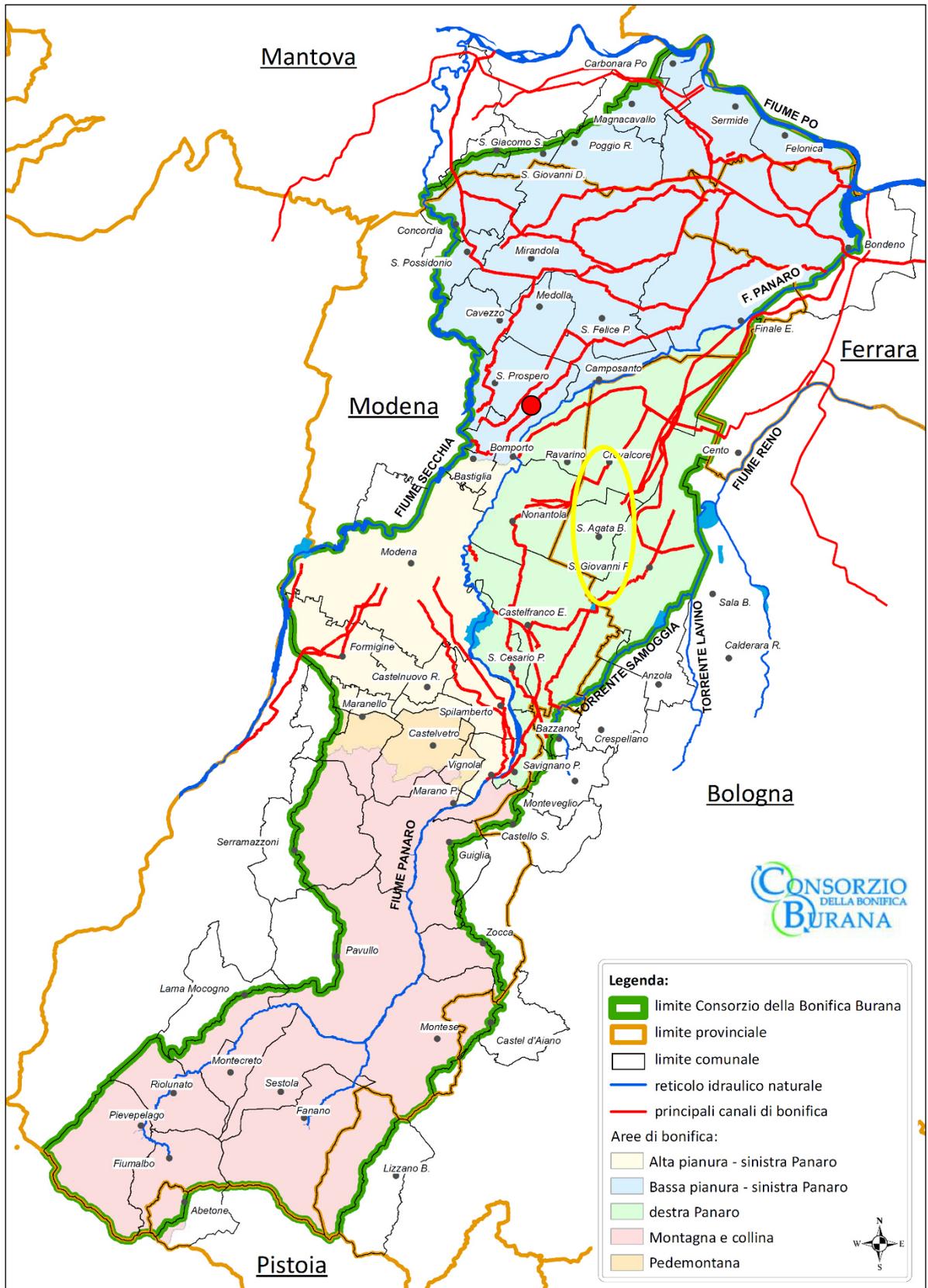


Figura 6.2 – Carta delle Aree di Bonifica gestite dal Consorzio di Bonifica di Burana. Il cerchio giallo indica l'ubicazione dell'area d'interesse

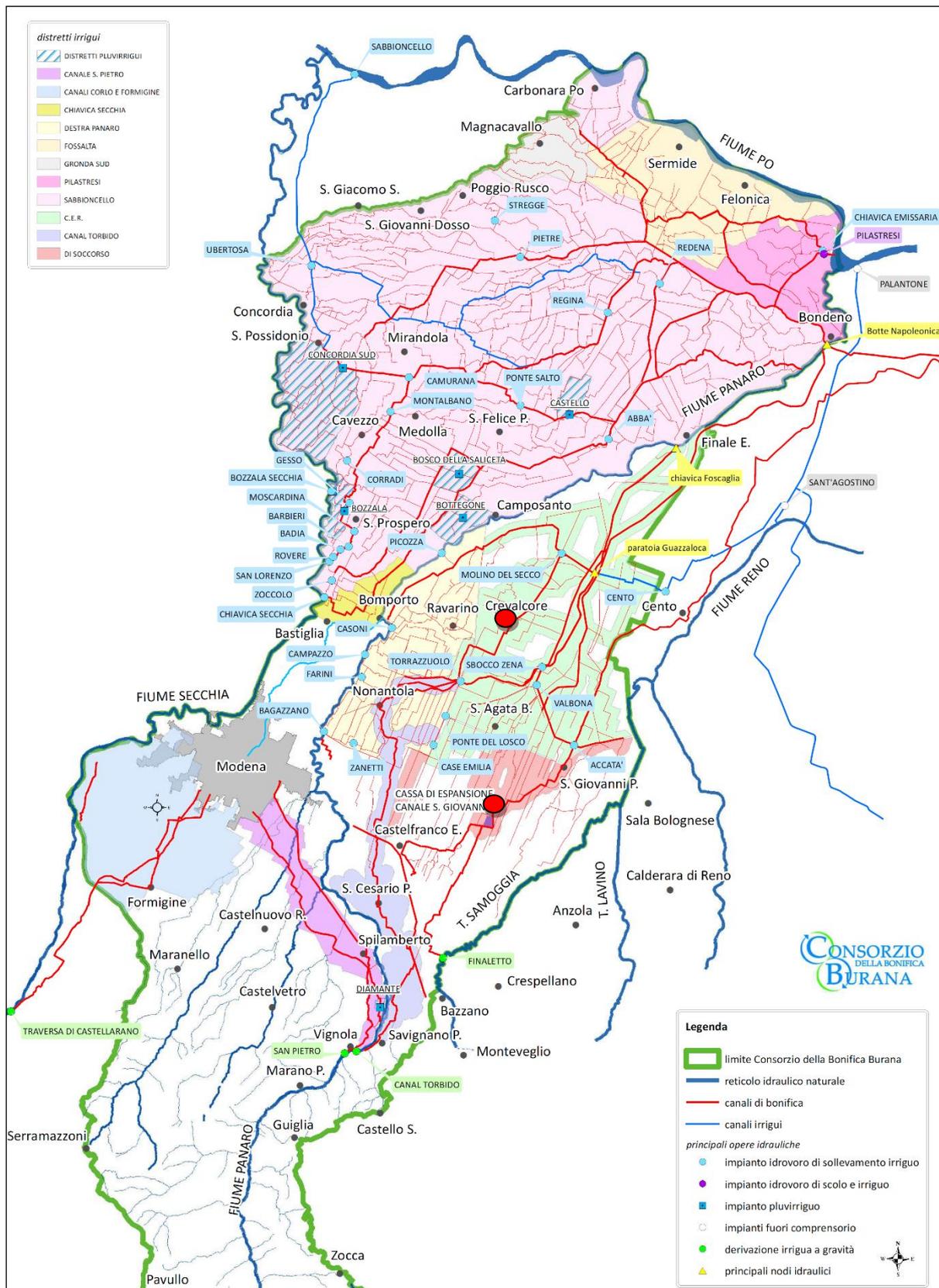


Figura 6.3 – Carta dei Distretti Irrigui gestiti dal Consorzio di Bonifica di Burana. Il cerchio giallo indica l'ubicazione dell'area d'interesse

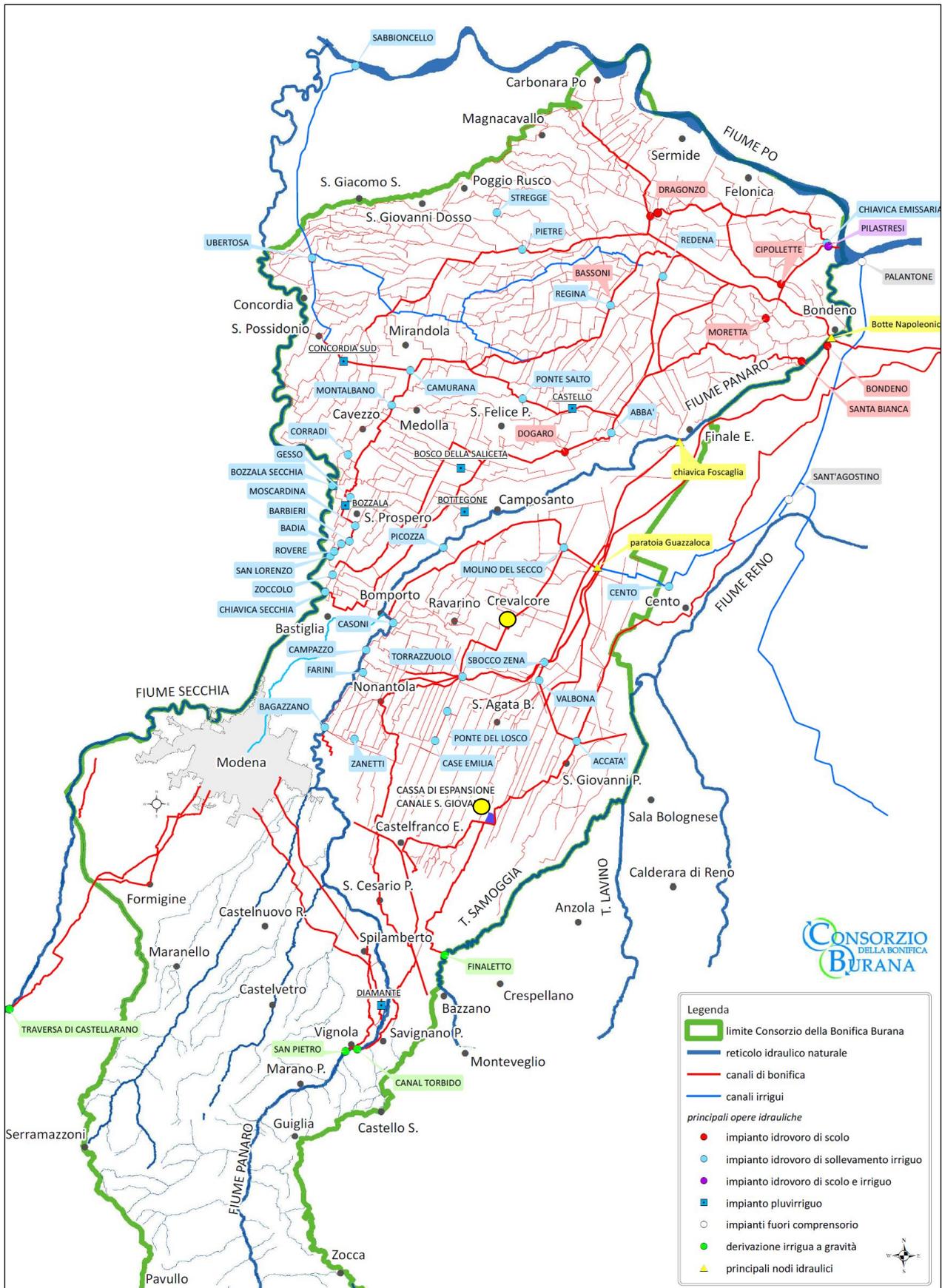
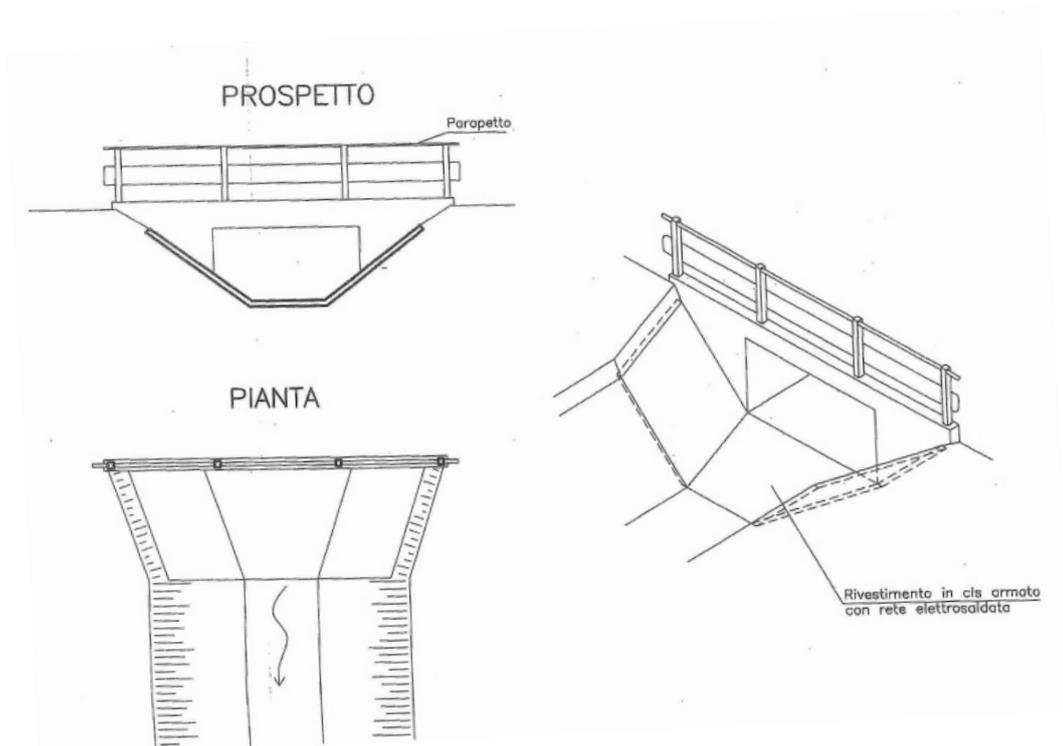


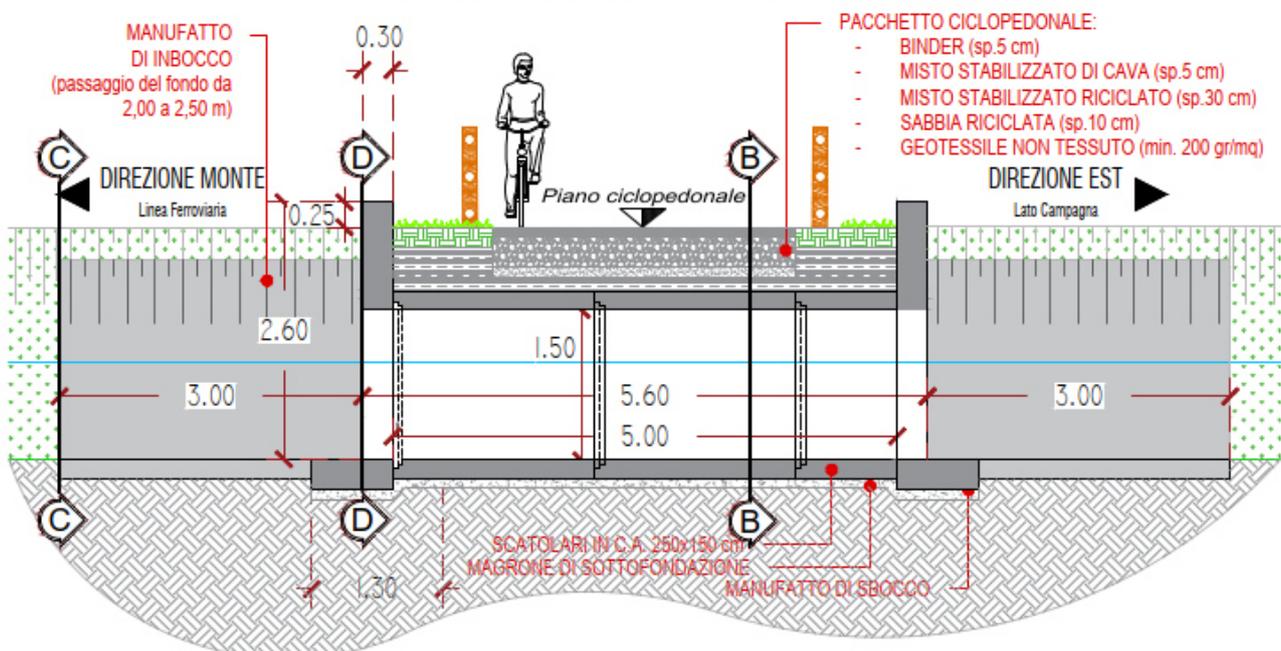
Figura 6.4 – Carta delle principali opere idrauliche presenti nel territorio del Consorzio di Bonifica di Burana



Sulla base delle indicazioni ricevute, quindi, sono state delineate le caratteristiche del manufatto e riportate negli elaborati grafici allegati al presente progetto, di cui si riporta un estratto.

SEZIONE LONGITUDINALE A:A

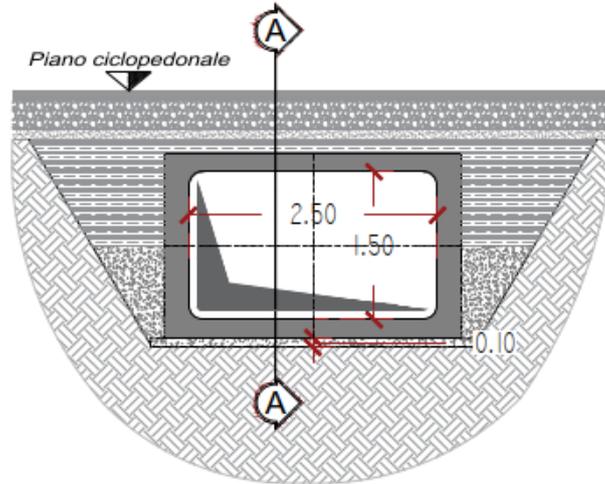
TIPOLOGICO Manufatto di attraversamento Scolo GRASSELLO SUPERIORE



Si precisa che l'attraversamento sarà oggetto di concessione idraulica.

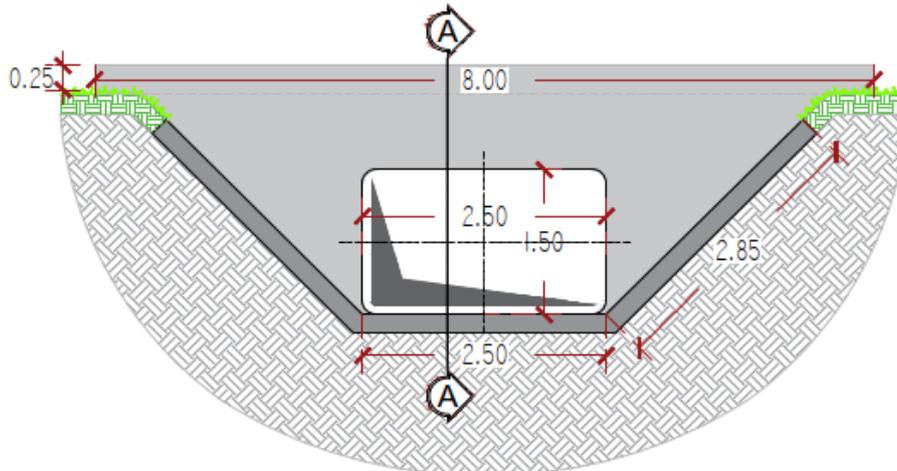
SEZIONE TRASVERSALE B:B

TIPOLOGICO Manufatto di attraversamento
Scolo GRASSELLO SUPERIORE



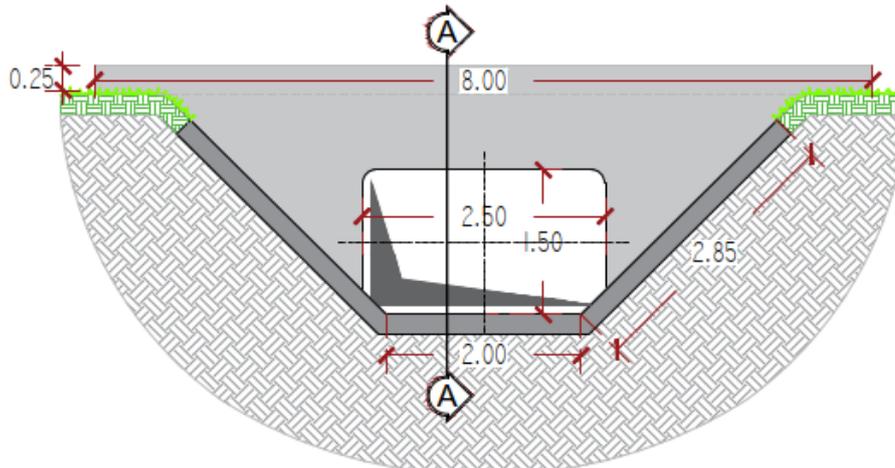
SEZIONE TRASVERSALE C:C

TIPOLOGICO Manufatto di attraversamento
Scolo GRASSELLO SUPERIORE



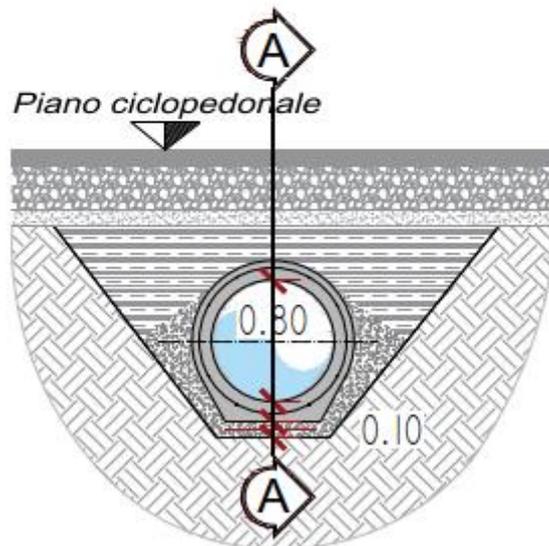
SEZIONE TRASVERSALE D:D

TIPOLOGICO Manufatto di attraversamento
Scolo GRASSELLO SUPERIORE



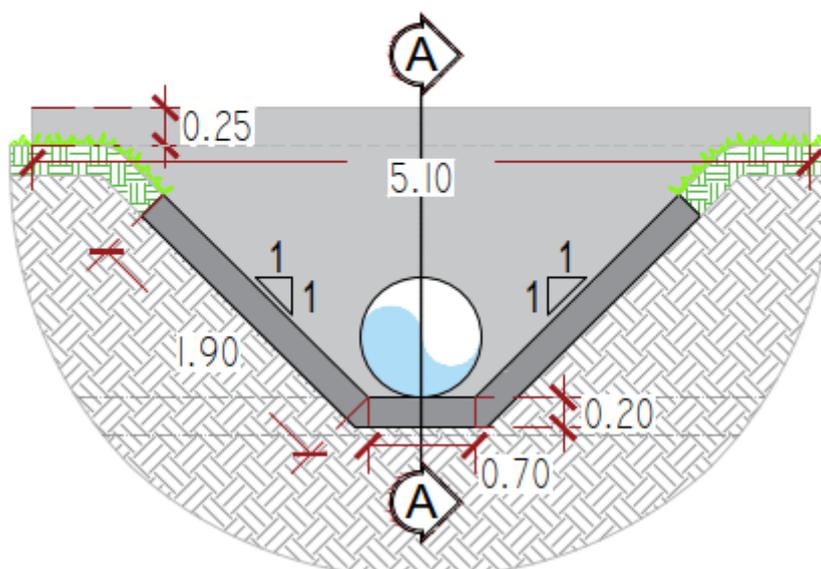
SEZIONE TRASVERSALE B:B

TIPOLOGICO Manufatto di attraversamento
fossi di scolo



SEZIONE TRASVERSALE C:C

TIPOLOGICO Rivestimenti Fossi di scolo
fossi di scolo



8. CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto della nuova ciclovia del Sole, nelle tratte del **Tronco 4, Casalecchio di Reno - Marzabotto** e del **Tronco 7, Crevalcore - San Giovanni in Persiceto** si è provveduto, con la presente relazione, a redigere un inquadramento delle tematiche inerenti l'idrologia e l'idraulica dei territori e dei sistemi idrografici interessati dalla nuova infrastruttura

L'analisi idrologica ed idraulica ivi prodotta ha lo scopo di risolvere le criticità con specifico riferimento sia alla collocazione del tracciato della ciclovia in relazione alle aree di vincolo e pertinenza fluviale, sia in rapporto alle interferenze con l'idrografia primaria, secondaria e minore attraversata o in previsione da attraversare.

Da un punto idrografico la Ciclovia del Sole, nella tratta interessata dal **TRONCO 4**, si sviluppa lungo la direttrice sud-nord della sinistra idraulica del fiume Reno (prevalentemente all'interno del sedime della golena fluviale) interferendo in sinistra idraulica con i bacini dei seguenti rii affluenti minori del Fiume Reno medesimo:

- Rio Verde
- Rio Vescovo (o bacino urbano dell'agglomerato di Sasso Marconi)
- Rio Gemmese
- Fosso Fontana
- Rio Maggiore

La ciclovia inoltre in una sezione specifica della tratta di interesse, posta poco più a sud dell'interferenza con il Rio Maggiore, ha la necessità di spostarsi dalla sinistra alla destra idraulica attraversando il Fiume Reno mediante una passerella all'uopo da concepire e progettare.

Nella presente relazione si è dunque affrontato l'impatto dell'infrastruttura i progetto con i sistemi idraulici interferiti determinando le modalità di risoluzione di esse.

Le modalità risolutive ed i manufatti previsti sono descritti nei precedenti paragrafi e graficizzati nelle tavole grafiche di progetto.

Per quanto riguarda l'area interessata dal **TRONCO 7**, questa è caratterizzata da numerosi corsi d'acqua di scolo e di irrigazione afferenti al Consorzio della Bonifica Burana. In particolare si tratta di canali primari e/o secondari (**Fosso Luppi, Fosso Grimandi, Scolo Grassello Superiore**) facenti parte dell'ambito territoriale Destra Panaro, ambito che si sviluppa nelle Province di Modena e Bologna.

La realizzazione del nuovo tratto di Ciclovia, in queste zone, comporta la realizzazione di un nuovo ponte sullo "**Scolo Grassello Superiore**", in territorio comunale di San Giovanni in Persiceto.

A tale proposito, in accordo con i Tecnici del Consorzio della Bonifica, si è deciso di posare uno **scatolare in c.a.** con dimensioni interne pari a 250 cm (base) x 150 cm (altezza), per una lunghezza di 5.0 ml.

Il progetto dell'attraversamento è stato effettuato rispettando le richieste del Consorzio e prevedendo i manufatti di imbocco e di sbocco secondo gli schemi progettuali imposti. Si precisa che l'attraversamento sarà oggetto di concessione idraulica.

Per quanto riguarda invece i fossi privati a Crevalcore (**Fosso Luppi e Fosso Grimandi**) e gli attraversamenti oggetto di modifica lungo il tratto di interesse, è stata concordata con il Consorzio la posa, a valle della ferrovia, per ogni attraversamento, di una **tubazione** di diametro interno 800 mm e la realizzazione di rivestimenti in c.a. dei canali a monte ed a valle degli stessi per almeno tre metri. I tipologici di intervento sono esposti nelle tavole grafiche e recepiscono le indicazioni del Consorzio di Bonifica.

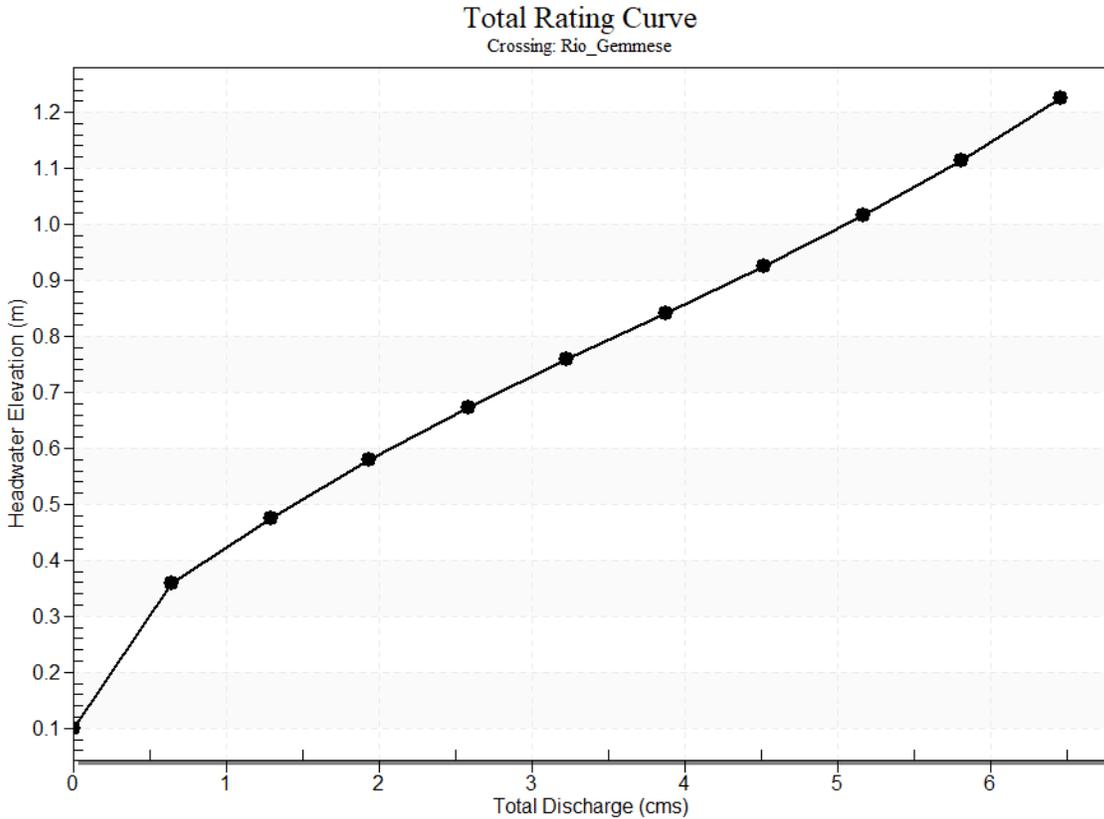
Si tratta in quest'ultimo caso di due fossi privati, i quali non saranno oggetto di concessione, ma sarà in ogni caso necessario l'ottenimento contestuale del **parere idraulico di competenza** dal Consorzio.

9. ALLEGATO

Report delle modellazioni tramite il software HY-8.

1.22	6.46	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	0.00	4
2.00	9.80	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	1.63	0.00	Overtopping

Rating Curve Plot for Crossing: Rio_Gemese



Culvert Data: TUBO 1

Culvert Notes:

Table 1 - Culvert Summary Table: TUBO 1

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.65	0.11	0.36	0.26	0.09	1-S2	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29	0.22	0.47	0.37	0.19	1-S2	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07

1.94	0.32	0.58	0.48	0.27	n	0.22	0.34	0.2	0.13	2.31	2.42
cms	cms			4	1-S2			6			
2.58	0.43	0.67	0.57	0.35	n	0.25	0.39	0.3	0.16	2.46	2.71
cms	cms			5	1-S2			0			
3.23	0.54	0.76	0.66	0.43	n	0.28	0.44	0.3	0.18	2.59	2.95
cms	cms			9	1-S2			5			
3.88	0.65	0.84	0.74	0.52	n	0.31	0.49	0.3	0.20	2.70	3.17
cms	cms			5	1-S2			8			
4.52	0.75	0.93	0.83	0.61	n	0.34	0.53	0.4	0.22	2.81	3.36
cms	cms			4	5-S2			2			
5.17	0.86	1.02	0.92	0.70	n	0.36	0.57	0.4	0.24	2.91	3.54
cms	cms			9	5-S2			6			
5.81	0.97	1.11	1.01	0.90	n	0.39	0.60	0.4	0.26	3.02	3.70
cms	cms			7	5-S2			9			
6.46	1.08	1.22	1.12	0.99	n	0.41	0.63	0.5	0.28	3.12	3.85
cms	cms			4	5-S2			2			

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

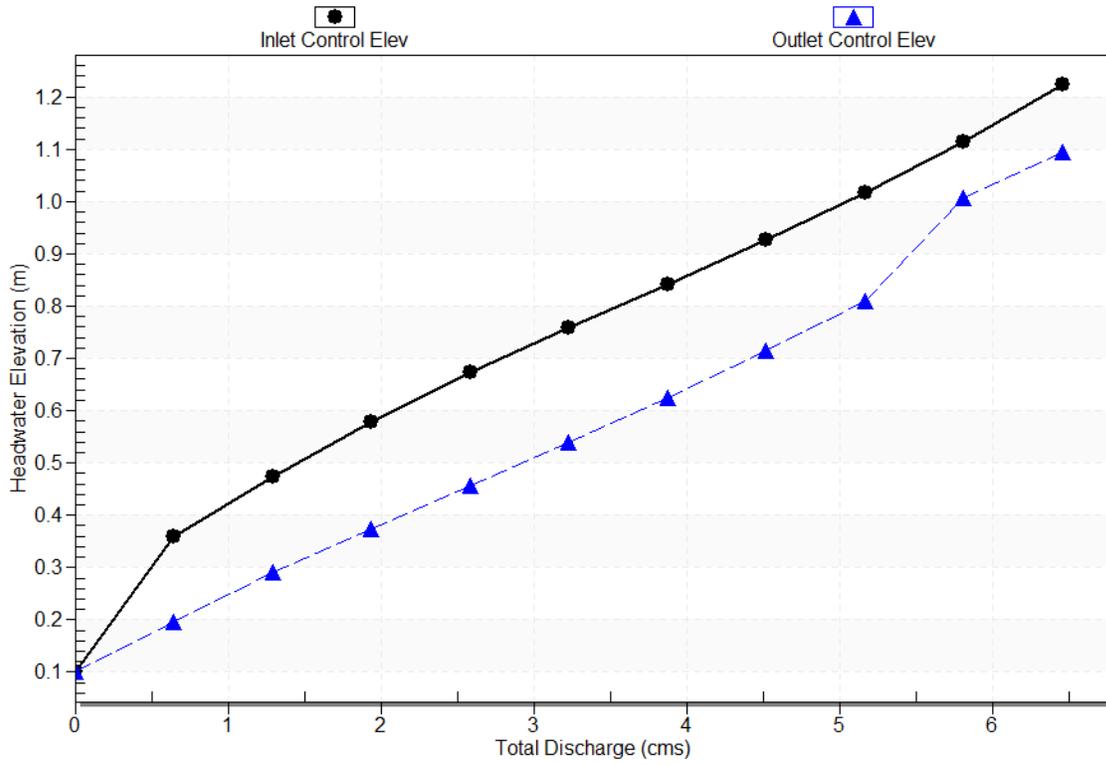
Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 1

Performance Curve
Culvert: TUBO 1



Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Culvert Data: TUBO 2

Culvert Notes:

Table 2 - Culvert Summary Table: TUBO 2

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00 cms	0.00 cms	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.65 cms	0.11 cms	0.36	0.26	0.09	1-S2n	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29 cms	0.22 cms	0.47	0.37	0.19	1-S2n	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07
1.94 cms	0.32 cms	0.58	0.48	0.27	1-S2n	0.22	0.34	0.26	0.13	2.31	2.42
2.58 cms	0.43 cms	0.67	0.57	0.35	1-S2n	0.25	0.39	0.30	0.16	2.46	2.71
3.23 cms	0.54 cms	0.76	0.66	0.43	1-S2n	0.28	0.44	0.35	0.18	2.59	2.95
3.88 cms	0.65 cms	0.84	0.74	0.52	1-S2n	0.31	0.49	0.38	0.20	2.70	3.17
4.52 cms	0.75 cms	0.93	0.83	0.61	5-S2n	0.34	0.53	0.42	0.22	2.81	3.36
5.17 cms	0.86 cms	1.02	0.92	0.70	5-S2n	0.36	0.57	0.46	0.24	2.91	3.54
5.81 cms	0.97 cms	1.11	1.01	0.90	5-S2n	0.39	0.60	0.49	0.26	3.02	3.70
6.46 cms	1.08 cms	1.22	1.12	0.99	5-S2n	0.41	0.63	0.52	0.28	3.12	3.85

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

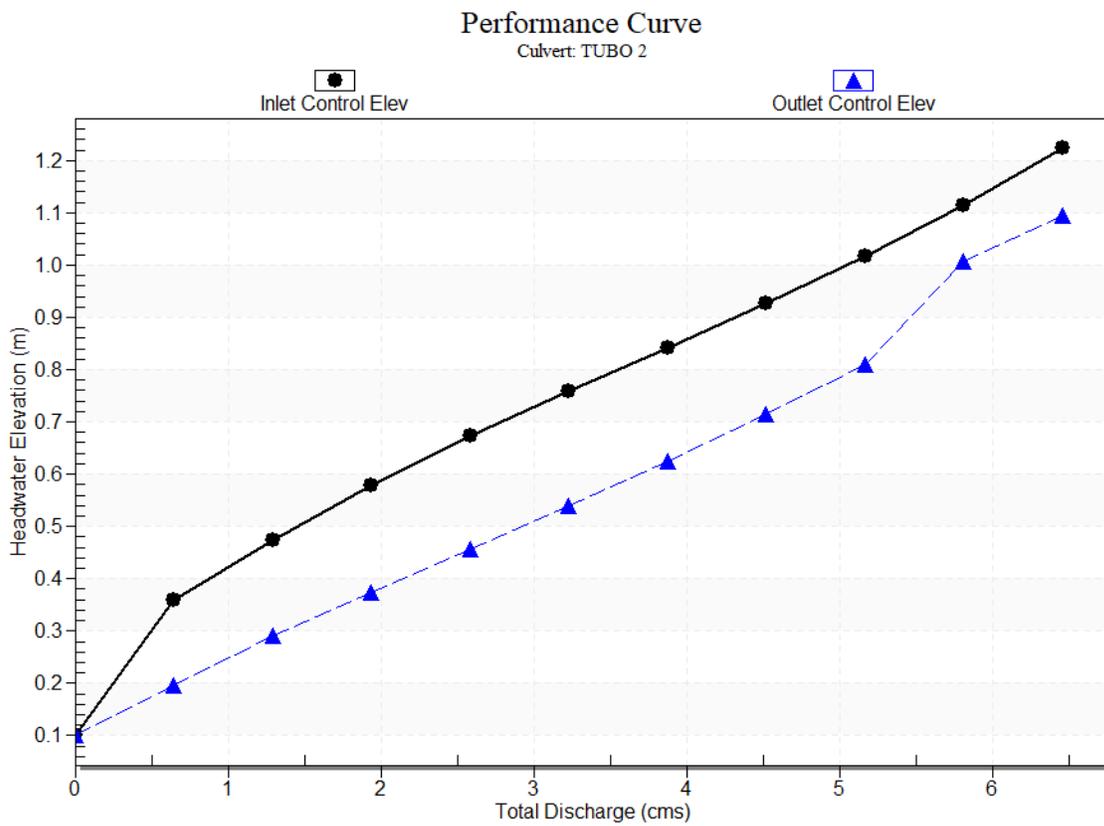
Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

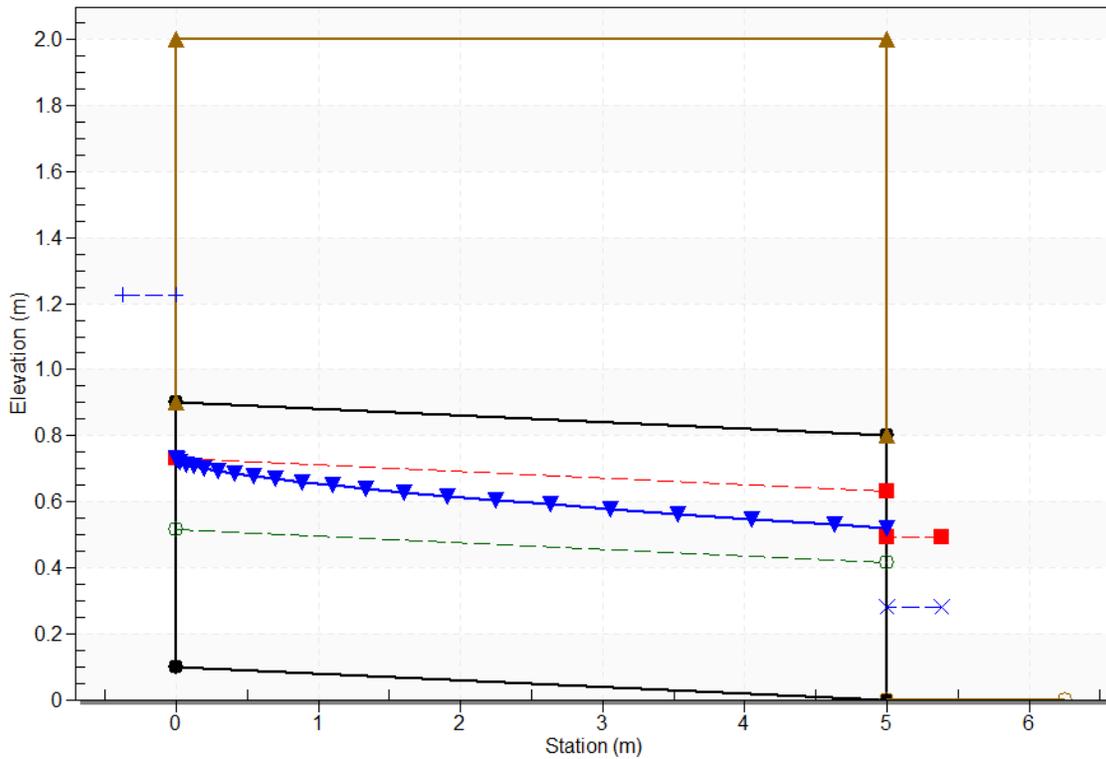
Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 2



Water Surface Profile Plot for Culvert: TUBO 2

Crossing - Rio_Gemmesse, Design Discharge - 6.46 cms
Culvert - TUBO 2, Culvert Discharge - 1.08 cms



Site Data - TUBO 2

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 0.10 m

Outlet Station: 5.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TUBO 2

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 800.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Culvert Data: TUBO 3

Culvert Notes:

Table 3 - Culvert Summary Table: TUBO 3

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00 cms	0.00 cms	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.65 cms	0.11 cms	0.36	0.26	0.09	1-S2n	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29 cms	0.22 cms	0.47	0.37	0.19	1-S2n	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07
1.94 cms	0.32 cms	0.58	0.48	0.27	1-S2n	0.22	0.34	0.26	0.13	2.31	2.42
2.58 cms	0.43 cms	0.67	0.57	0.35	1-S2n	0.25	0.39	0.30	0.16	2.46	2.71
3.23 cms	0.54 cms	0.76	0.66	0.43	1-S2n	0.28	0.44	0.35	0.18	2.59	2.95
3.88 cms	0.65 cms	0.84	0.74	0.52	1-S2n	0.31	0.49	0.38	0.20	2.70	3.17
4.52 cms	0.75 cms	0.93	0.83	0.61	5-S2n	0.34	0.53	0.42	0.22	2.81	3.36
5.17 cms	0.86 cms	1.02	0.92	0.70	5-S2n	0.36	0.57	0.46	0.24	2.91	3.54
5.81 cms	0.97 cms	1.11	1.01	0.90	5-S2n	0.39	0.60	0.49	0.26	3.02	3.70
6.46 cms	1.08 cms	1.22	1.12	0.99	5-S2n	0.41	0.63	0.52	0.28	3.12	3.85

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

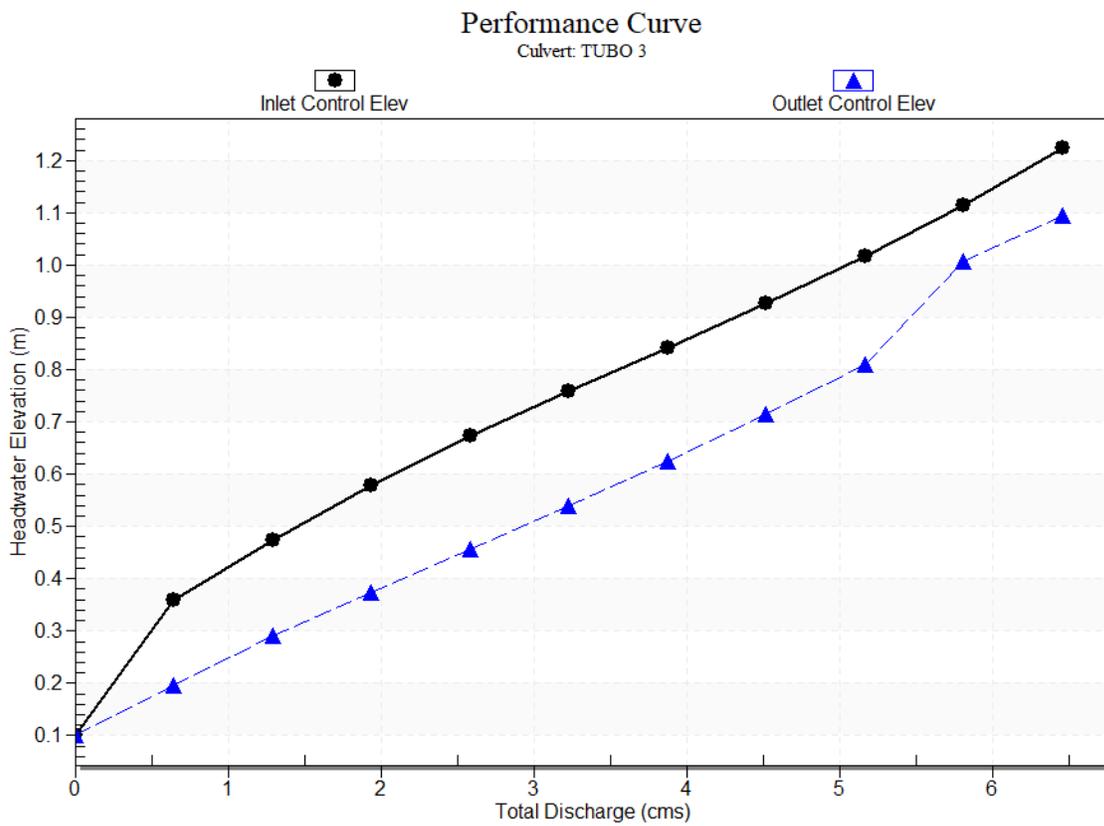
Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

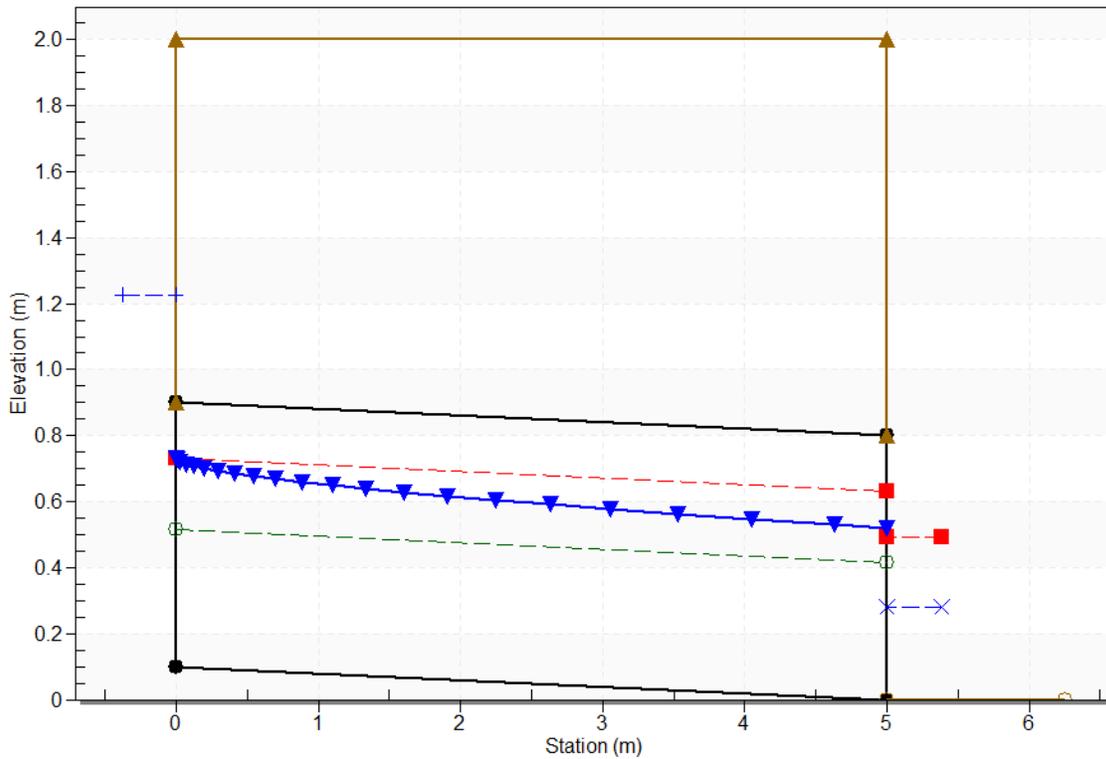
Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 3



Water Surface Profile Plot for Culvert: TUBO 3

Crossing - Rio_Gemese, Design Discharge - 6.46 cms
Culvert - TUBO 3, Culvert Discharge - 1.08 cms



Site Data - TUBO 3

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 0.10 m

Outlet Station: 5.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TUBO 3

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 800.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Culvert Data: TUBO 4

Culvert Notes:

Table 4 - Culvert Summary Table: TUBO 4

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00 cms	0.00 cms	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.65 cms	0.11 cms	0.36	0.26	0.09	1-S2	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29 cms	0.22 cms	0.47	0.37	0.19	1-S2	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07
1.94 cms	0.32 cms	0.58	0.48	0.27	1-S2	0.22	0.34	0.26	0.13	2.31	2.42
2.58 cms	0.43 cms	0.67	0.57	0.35	1-S2	0.25	0.39	0.30	0.16	2.46	2.71
3.23 cms	0.54 cms	0.76	0.66	0.43	1-S2	0.28	0.44	0.35	0.18	2.59	2.95
3.88 cms	0.65 cms	0.84	0.74	0.52	1-S2	0.31	0.49	0.38	0.20	2.70	3.17
4.52 cms	0.75 cms	0.93	0.83	0.61	5-S2	0.34	0.53	0.42	0.22	2.81	3.36
5.17 cms	0.86 cms	1.02	0.92	0.70	5-S2	0.36	0.57	0.46	0.24	2.91	3.54
5.81 cms	0.97 cms	1.11	1.01	0.90	5-S2	0.39	0.60	0.49	0.26	3.02	3.70
6.46 cms	1.08 cms	1.22	1.12	0.99	5-S2	0.41	0.63	0.52	0.28	3.12	3.85

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

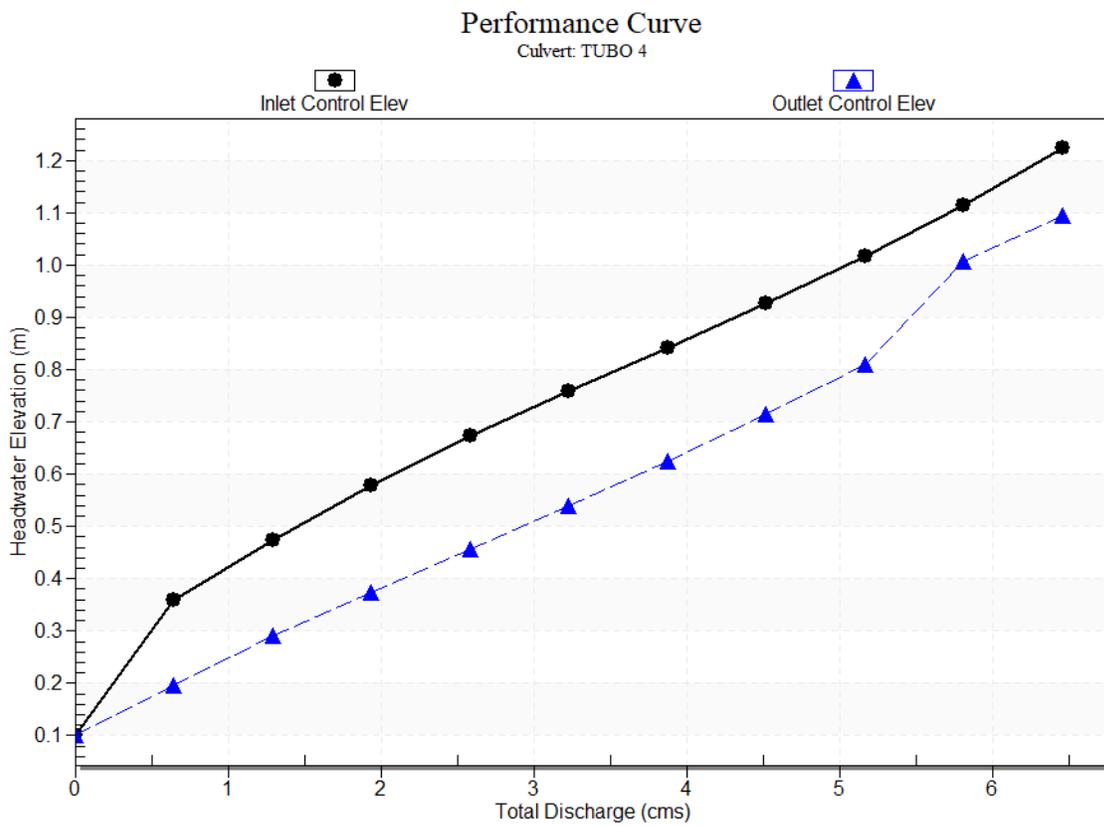
Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

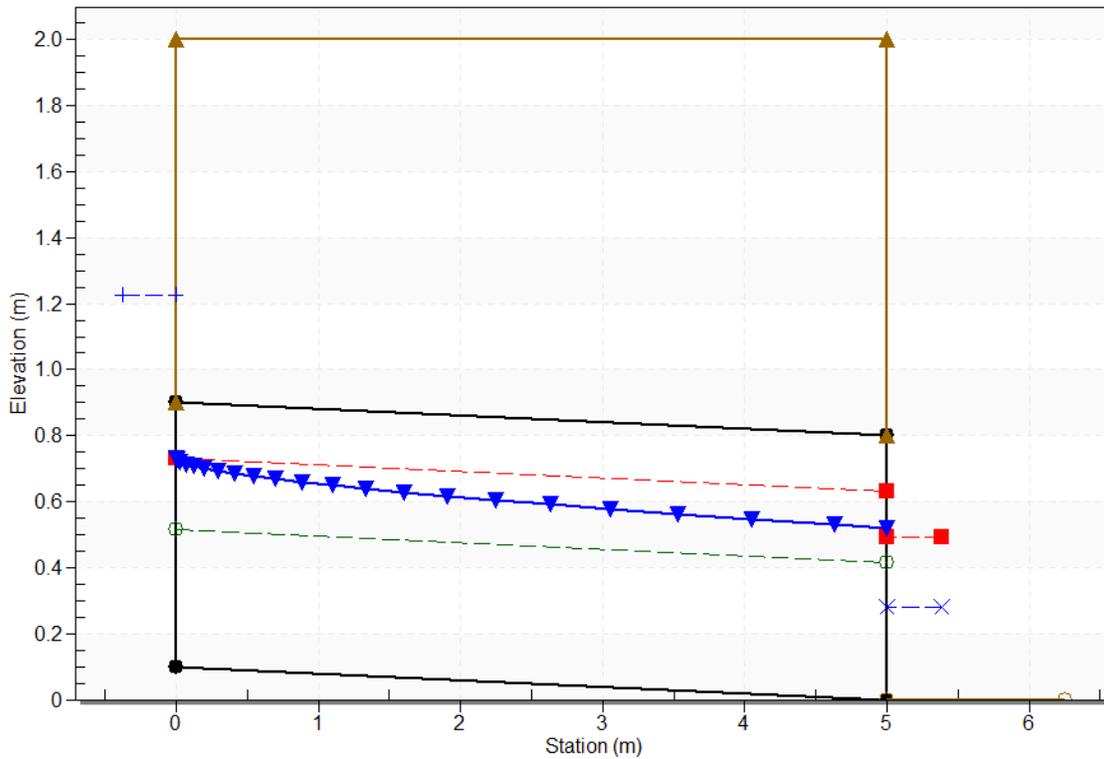
Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 4



Water Surface Profile Plot for Culvert: TUBO 4

Crossing - Rio_Gemmesse, Design Discharge - 6.46 cms
Culvert - TUBO 4, Culvert Discharge - 1.08 cms



Site Data - TUBO 4

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 0.10 m

Outlet Station: 5.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TUBO 4

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 800.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Culvert Data: TUBO 5

Culvert Notes:

Table 5 - Culvert Summary Table: TUBO 5

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00 cms	0.00 cms	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.65 cms	0.11 cms	0.36	0.26	0.09	1-S2	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29 cms	0.22 cms	0.47	0.37	0.19	1-S2	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07
1.94 cms	0.32 cms	0.58	0.48	0.27	1-S2	0.22	0.34	0.26	0.13	2.31	2.42
2.58 cms	0.43 cms	0.67	0.57	0.35	1-S2	0.25	0.39	0.30	0.16	2.46	2.71
3.23 cms	0.54 cms	0.76	0.66	0.43	1-S2	0.28	0.44	0.35	0.18	2.59	2.95
3.88 cms	0.65 cms	0.84	0.74	0.52	1-S2	0.31	0.49	0.38	0.20	2.70	3.17
4.52 cms	0.75 cms	0.93	0.83	0.61	5-S2	0.34	0.53	0.42	0.22	2.81	3.36
5.17 cms	0.86 cms	1.02	0.92	0.70	5-S2	0.36	0.57	0.46	0.24	2.91	3.54
5.81 cms	0.97 cms	1.11	1.01	0.90	5-S2	0.39	0.60	0.49	0.26	3.02	3.70
6.46 cms	1.08 cms	1.22	1.12	0.99	5-S2	0.41	0.63	0.52	0.28	3.12	3.85

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

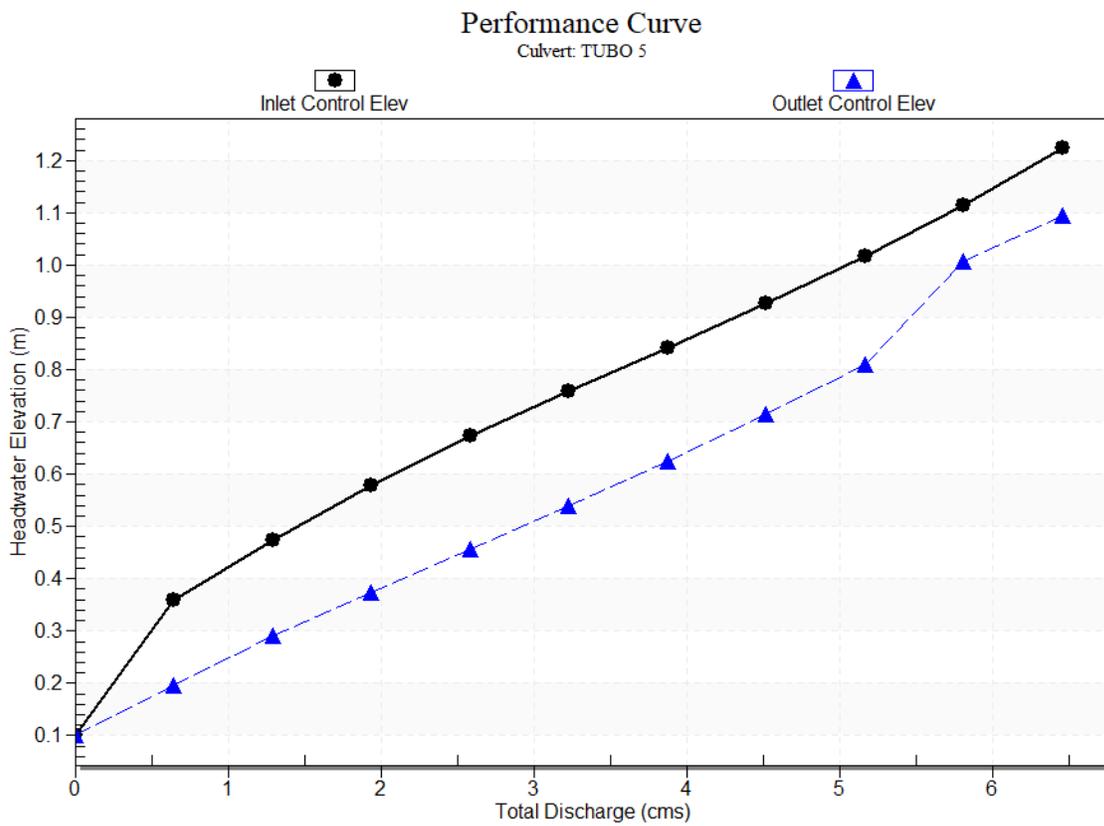
Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

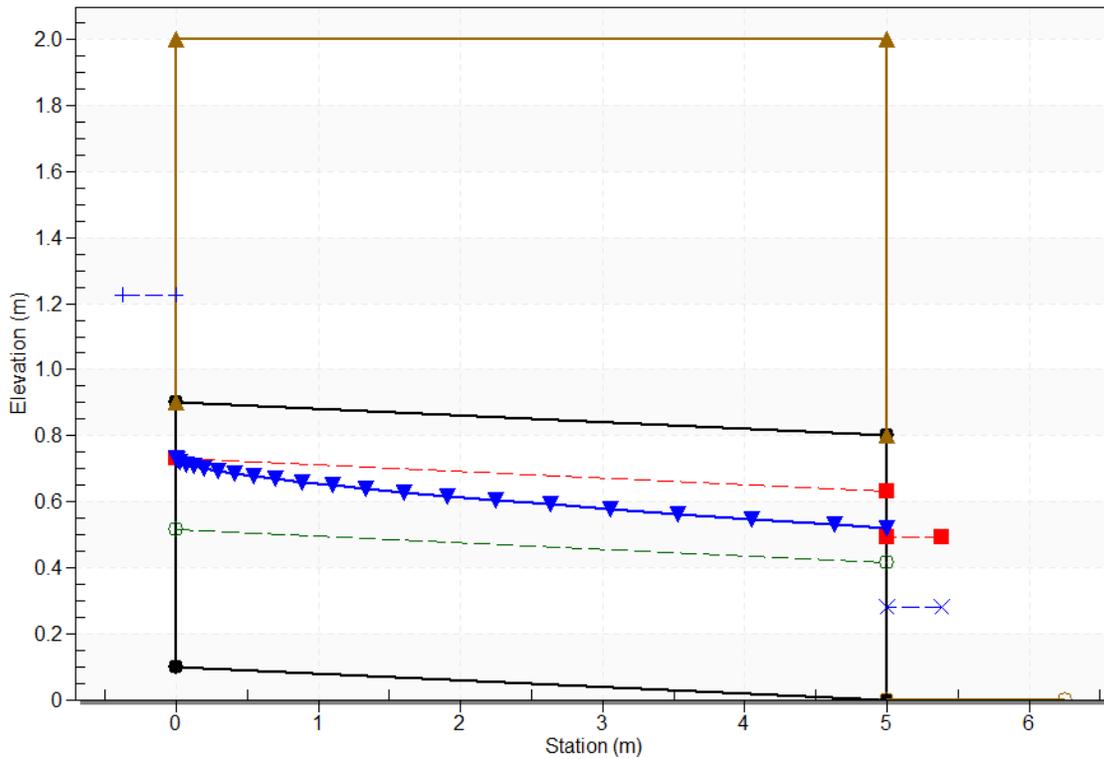
Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 5



Water Surface Profile Plot for Culvert: TUBO 5

Crossing - Rio_Gemese, Design Discharge - 6.46 cms
Culvert - TUBO 5, Culvert Discharge - 1.08 cms



Site Data - TUBO 5

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 0.10 m

Outlet Station: 5.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TUBO 5

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 800.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Culvert Data: TUBO 6

Culvert Notes:

Table 6 - Culvert Summary Table: TUBO 6

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00 cms	0.00 cms	0.10	0.00	0.00	0-NF	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00
0.65 cms	0.11 cms	0.36	0.26	0.09	1-S2n	0.13	0.19	0.14	0.07	1.84	1.57
1.29 cms	0.22 cms	0.47	0.37	0.19	1-S2n	0.18	0.28	0.20	0.10	2.13	2.07
1.94 cms	0.32 cms	0.58	0.48	0.27	1-S2n	0.22	0.34	0.26	0.13	2.31	2.42
2.58 cms	0.43 cms	0.67	0.57	0.35	1-S2n	0.25	0.39	0.30	0.16	2.46	2.71
3.23 cms	0.54 cms	0.76	0.66	0.43	1-S2n	0.28	0.44	0.35	0.18	2.59	2.95
3.88 cms	0.65 cms	0.84	0.74	0.52	1-S2n	0.31	0.49	0.38	0.20	2.70	3.17
4.52 cms	0.75 cms	0.93	0.83	0.61	5-S2n	0.34	0.53	0.42	0.22	2.81	3.36
5.17 cms	0.86 cms	1.02	0.92	0.70	5-S2n	0.36	0.57	0.46	0.24	2.91	3.54
5.81 cms	0.97 cms	1.11	1.01	0.90	5-S2n	0.39	0.60	0.49	0.26	3.02	3.70
6.46 cms	1.08 cms	1.22	1.12	0.99	5-S2n	0.41	0.63	0.52	0.28	3.12	3.85

Culvert Barrel Data

Culvert Barrel Type Straight Culvert

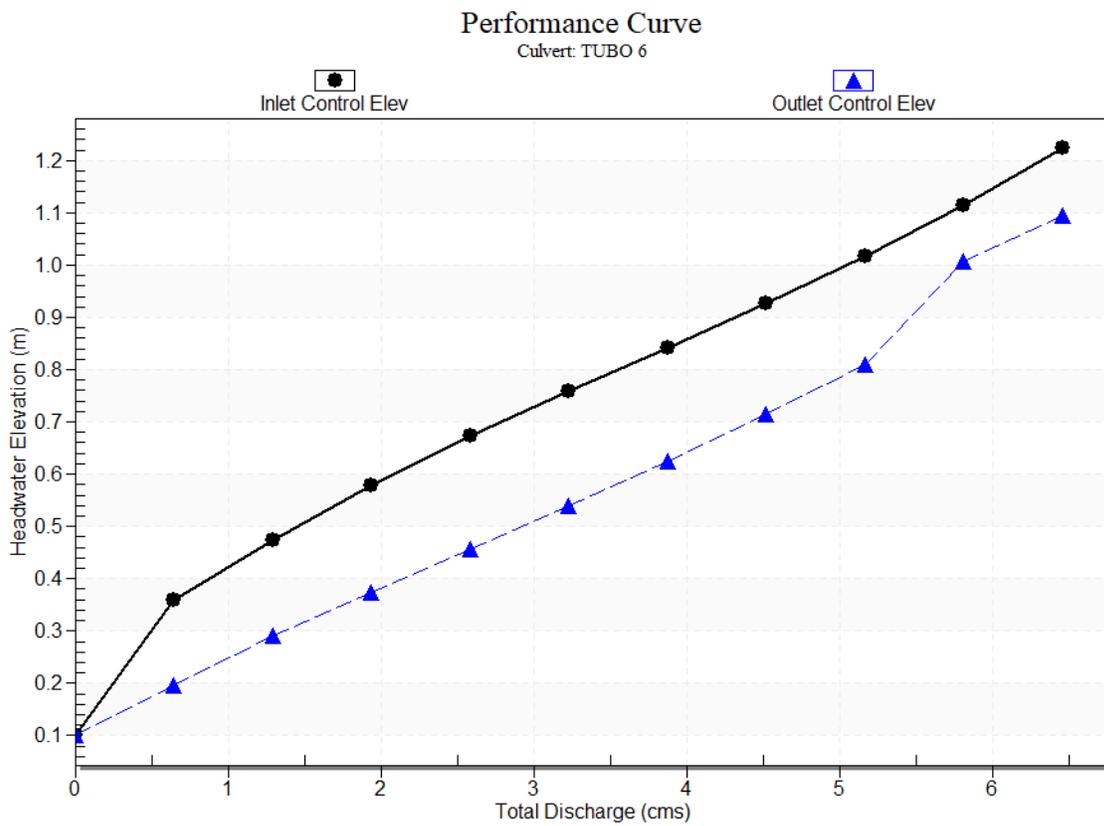
Inlet Elevation (invert): 0.10 m,

Outlet Elevation (invert): 0.00 m

Culvert Length: 5.00 m,

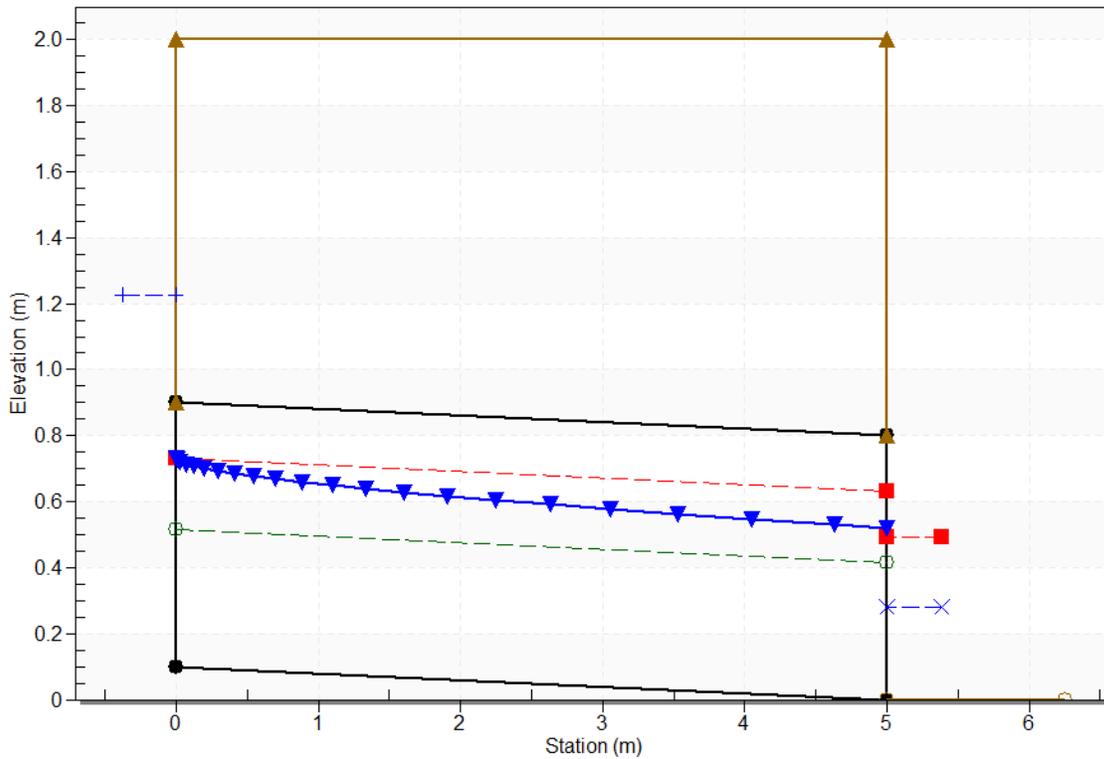
Culvert Slope: 0.0200

Culvert Performance Curve Plot: TUBO 6



Water Surface Profile Plot for Culvert: TUBO 6

Crossing - Rio_Gemese, Design Discharge - 6.46 cms
Culvert - TUBO 6, Culvert Discharge - 1.08 cms



Site Data - TUBO 6

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 0.10 m

Outlet Station: 5.00 m

Outlet Elevation: 0.00 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - TUBO 6

Barrel Shape: Circular

Barrel Diameter: 800.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0120

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge with Headwall

Inlet Depression: None

Tailwater Data for Crossing: Rio_Gemmese

Table 2 - Downstream Channel Rating Curve (Crossing: Rio_Gemmese)

Flow (cms)	Water Surface Elev (m)	Velocity (m/s)	Depth (m)	Shear (Pa)	Froude Number
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.65	0.07	0.07	1.57	55.01	1.92
1.29	0.10	0.10	2.07	83.76	2.04
1.94	0.13	0.13	2.42	107.23	2.12
2.58	0.16	0.16	2.71	127.85	2.17
3.23	0.18	0.18	2.95	146.59	2.21
3.88	0.20	0.20	3.17	163.99	2.24
4.52	0.22	0.22	3.36	180.34	2.26
5.17	0.24	0.24	3.54	195.83	2.29
5.81	0.26	0.26	3.70	210.68	2.31
6.46	0.28	0.28	3.85	224.91	2.32

Tailwater Channel Data - Rio_Gemmese

Tailwater Channel Option: Rectangular Channel

Bottom Width: 6.00 m

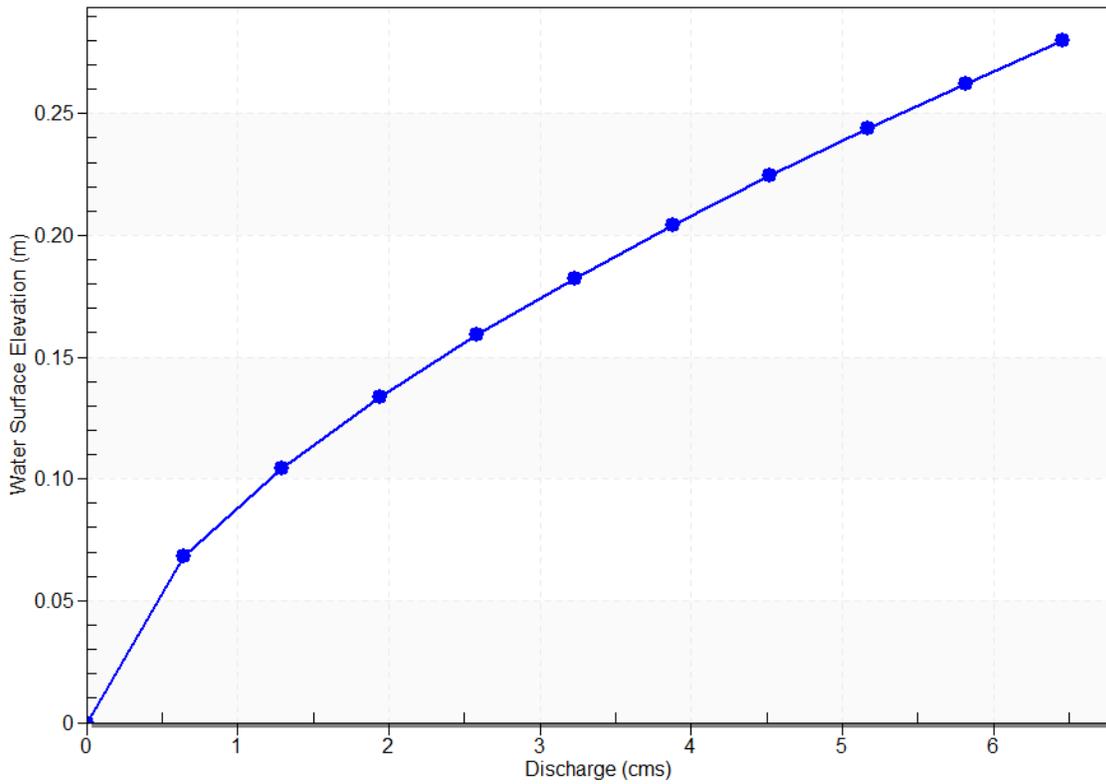
Channel Slope: 0.0820

Channel Manning's n: 0.0300

Channel Invert Elevation: 0.00 m

Tailwater Rating Curve Plot for Crossing: Rio_Gemmese

Downstream Channel Rating Curve



Roadway Data for Crossing: Rio_Gemmese

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 5.00 m

Crest Elevation: 2.00 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 5.00 m