



Comune di Parma

COMMITTENTE

# VGP

## VGP Park Parma

PROGETTO

### SUB AMBITO PRODUTTIVO 27S2a

### VIA PARADIGNA, OPERE FUORI COMPARTO

PROGETTAZIONE IDRAULICA



Ing. Gian Lorenzo Bernini

©I.S.I. Ingegneria e Ambiente cod.fisc. e P.I. 02577010347  
Via Martiri della Liberazione, 36 43126 PARMA  
Tel. 0521 941229 info@isiingegneriaeambiente.it

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA

### RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

COMMESSA

FASE

OPERA/DISCIPLINA

CODICE

2 4 0 1 0

F T E

G E N

## REL.05

Rev.

Descrizione

Redatto

Verificato

Approvato

Data

Autorizzato

0

Emissione

M. Caccia

G.L.Bernini

G.L.Bernini

15/02/2024

**INDICE**

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 1     | PREMESSA .....   | 3         |
| 2     | RIFERIMENTI NORMATIVI.....   | 4         |
| 2.1   | Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI).....  | 4         |
| 2.2   | Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) .....   | 5         |
| 2.3   | Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (ai sensi della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs 49/2010) e RRI del Comune di Parma ..... | 7         |
| 3     | DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....   | 10        |
| 3.1   | <b>RISEZIONAMENTO DELLA SEZIONE DI DEFLUSSO DEL CANALE DEMANIALE .....</b>   | <b>11</b> |
| 4     | CARATTERISTICHE IDRAULICHE DEL CANALE .....  | 13        |
| 4.1   | Portate di progetto .....  | 15        |
| 5     | L'ANALISI IDRAULICHE DI DETTAGLIO .....  | 16        |
| 5.1   | Le ipotesi del calcolo idraulico .....   | 16        |
| 5.2   | Il modello matematico utilizzato .....   | 16        |
| 5.3   | Risultato delle analisi idrauliche .....   | 17        |
| 5.3.1 | Configurazione A1 .....  | 17        |
| 5.3.2 | Configurazione A2 .....  | 26        |

## 1 PREMESSA

Il presente documento rappresenta parte integrante del progetto di fattibilità tecnica economica delle opere idrauliche funzionali all'adeguamento e riprofilatura del canale stradale di via Paradigna e via Viazza di Paradigna fino all'immissione nel canale Naviglio nell'ambito delle opere fuori comparto del Sub Ambito Produttivo 27S2a. In particolare l'intervento prevede la riprofilatura e il risezionamento del tratto del fosso stradale principale di via Paradigna da valle dello scatolare esistente 2000x1500 mm fino all'immissione nel canale Naviglio

Ai fini della valutazione e verifica degli interventi sul fosso è stata condotta una modellazione idraulica partendo dalle portate in ingresso definite dall'ing. Stefano Terzi nella relazione "Studio idraulico per scenari transitori" del 16.03.2022 allegata al PUA Sub Ambito Produttivo 27S2a.

Il tratto analizzato ha inizio in prossimità del civico 122 di via Paradigna ed ha uno sviluppo complessivo di circa 1.190 m comprendente diversi tratti tombati a sezione variabile.

Nella presente progetto si analizza l'idrodinamismo del fosso solo nella configurazione morfologica di progetto prevista dagli interventi utilizzando il modello idraulico HEC RAS in moto uniforme per la valutazione del corretto deflusso delle portate e il dimensionamento dei manufatti.

La figura seguente mostra l'inquadramento territoriale dell'area in oggetto di intervento.

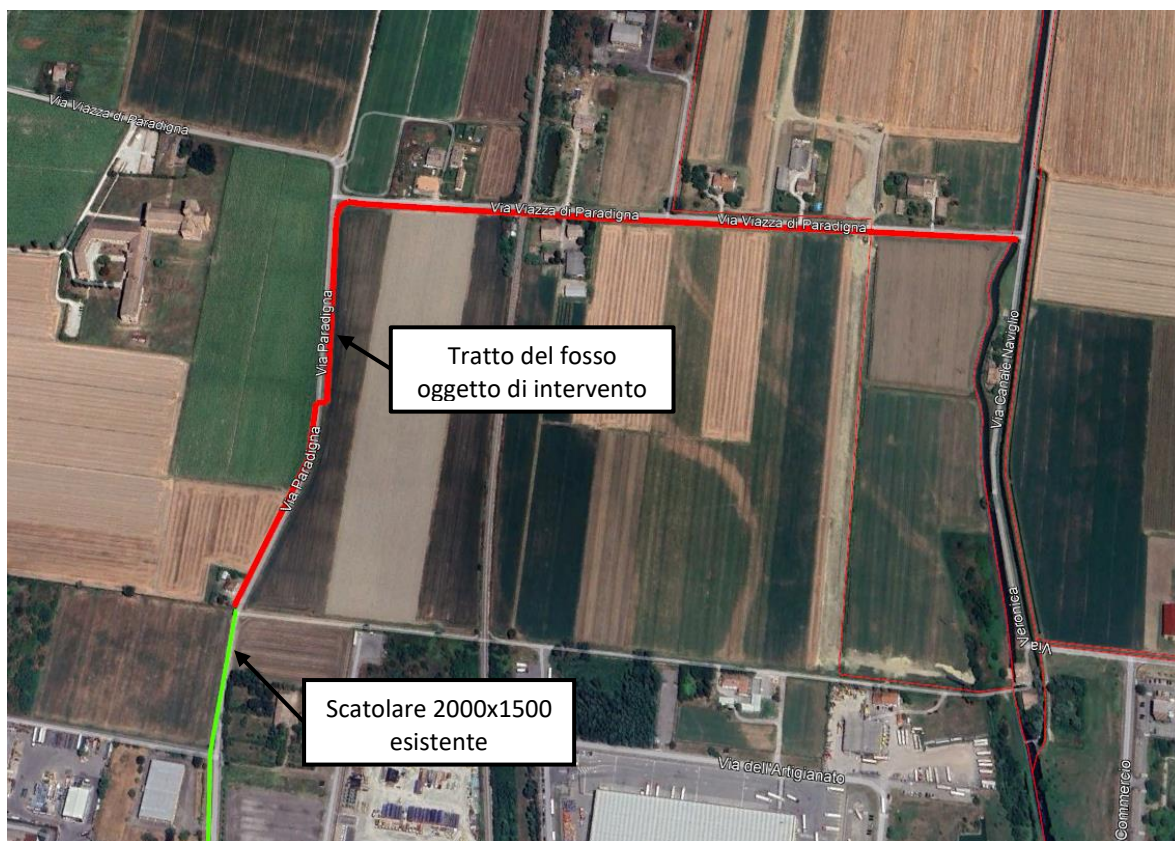


Figura 1: Individuazione planimetrica della zona oggetto di studio.

L'obiettivo del progetto è quello di garantire il corretto deflusso della portata di progetto pari a circa 3,40 m<sup>3</sup>/s evitando il sollevamento proposto nella fase di PUA, sia per motivi di manutenzione sia per la non disponibilità della potenza per il funzionamento delle pompe, e di evitare il ristagno delle acque in corrispondenza del civico 122, dove lo scatolare posato riporta una quota di scorrimento inferiore di circa 0,95 m rispetto al fondo del canale. A seguito della realizzazione dello scatolare denominato "Adduzione Ovest" si potrebbe realizzare una soglia di limitazione di portata verso valle, anche mobile con sistemi gonfiabili, in corrispondenza del nuovo tratto tombato del civico 122.

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

### 2.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BACINO DEL FIUME PO (PAI)

Il PAI, costituisce piano stralcio del Piano di bacino del Po, ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183 del 18 maggio 1989, e ha valore di piano territoriale di settore (L.183/89, art.17, c.1) alle cui prescrizioni devono adeguarsi gli atti di pianificazione e programmazione regionali, provinciali e comunali (L.183/89, art.17, c. 6).

L'assetto idraulico dei corsi d'acqua principali e i relativi fenomeni di inondazione, che determinano condizioni di rischio idraulico, sono affrontati nel PAI attraverso la delimitazione delle fasce fluviali, condotta secondo un metodo che definisce tre distinte fasce (art.28 N.A. e Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II delle N.A. del PAI.):

- La **fascia A** o **fascia di deflusso della piena**, è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente; per la delimitazione della stessa si assume quella più ampia fra:
  - La porzione dell'alveo ove defluisce almeno l'80% della portata di riferimento; all'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0,40 m/s (criterio prevalente per i corsi d'acqua mono o pluricursali);
  - Il limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata di riferimento (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);
- La **fascia B** o **fascia di esondazione**, esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni dimensionate per la stessa portata; la delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:
  - Le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
  - Le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale;
  - La **fascia B di progetto** è costituita da quella parte della fascia B in cui il contenimento dei livelli idrici di piena è affidato a opere idrauliche non esistenti e programmate nell'ambito dello stesso PAI; la fascia B di progetto è ricondotta alla fascia B nel momento in cui le opere previste sono realizzate, "in conformità al tracciato dell'opera idraulica eseguita";
- La **fascia C** o **area di inondazione per piena catastrofica**, è costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Come portata catastrofica si assume la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con 500 anni di tempo di ritorno. Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione è effettuata con gli stessi criteri adottati per la fascia B; per i corsi d'acqua arginati, l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche relative alla piena:
  - Altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini,
  - Altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

## L'area oggetto di intervento ricade all'interno della fascia C per il Torrente Parma

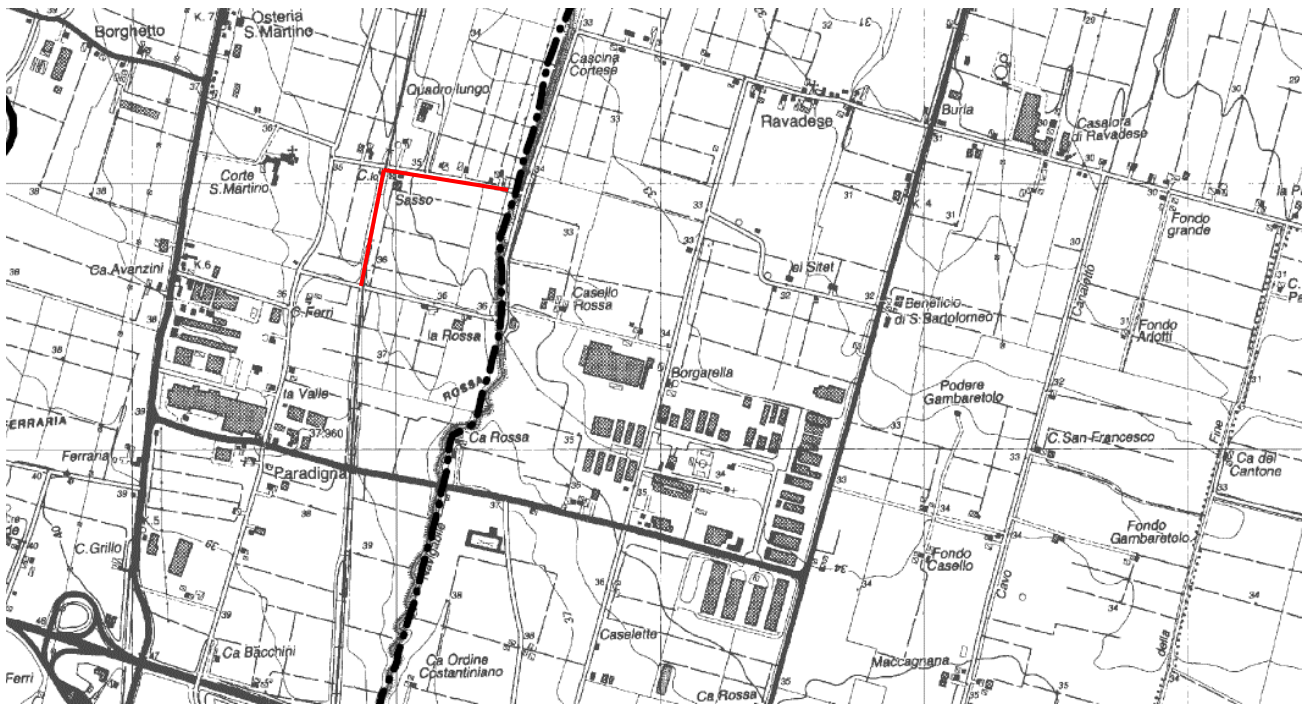


Figura 2 - Estratto carta di delimitazione delle fasce fluviali – PAI

## 2.2 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (P.T.C.P.)

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.), approvato con delibera di Consiglio provinciale n.71 del 25.07.2003, è stato redatto ai sensi dell'articolo 20, comma 2, del D.Lgs. 267/2000 e dell'articolo 26 della Legge regionale 20/2000, e, in attuazione del quadro normativo e programmatico regionale, definisce l'assetto del territorio, con riferimento agli interessi sovra comunali, in particolare:

- Orienta l'attività di governo del territorio provinciale e quello dei Comuni;
- Costituisce, nel proprio ambito territoriale, specificazione, approfondimento ed attuazione delle linee di azione della programmazione regionale;
- Costituisce momento di raccordo delle politiche settoriali della Provincia;
- Costituisce strumento di indirizzo e coordinamento per la pianificazione urbanistica comunale (art.1, comma 1 e segg.).

Il PTCP vigente, ha individuato, per quanto riguarda le tematiche ambientali, gli ambiti da sottoporre a disposizioni normative di tutela; in particolare, in accordo con le previsioni del Piano per l'Assetto Idrogeologico – PAI (DPCM 24 Maggio 2001; G.U. n.183, 8 agosto 2001) e nell'ottica di adeguamento al PAI stesso, sono state definite le zone caratterizzate da fenomeni di dissesto idrogeologico, di tutela idraulica e gli ambiti territoriali soggetti a rischio idraulico e idrogeologico.

Nella deliberazione con cui la Giunta Regionale ha espresso l'intesa sul PTCP, ai sensi dell'art. 27 comma 9 della L.R. 20/2000, l'approvazione del piano è stata condizionata da alcuni adempimenti. In particolare la Provincia è stata sollecitata ad adeguare il PTCP al PAI per consentire al PTCP di assumere il valore e gli effetti del PAI mediante il conseguimento dell'Intesa con l'Autorità di Bacino del Fiume Po, ai sensi dell'art. 27 della L.R. 20/2000.

Con la delibera di Consiglio Provinciale n.134 del 27.12.2007 è stata adottata una Variante parziale al PTCP finalizzata a conseguire una maggiore aderenza ai contenuti del PAI in materia di difesa del suolo.



Il Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume PO, con Deliberazione n.4 del 7 dicembre 2016, ha provveduto all’adozione della “Variante al Piano per l’assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI): torrente Baganza da Calestano a Confluenza Parma e torrente Parma da Parma a confluenza Po”. La Variante è stata successivamente approvata con DPCM del 22 febbraio 2018, oggetto di pubblicazione sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana del 25.05.2018 (GU Parte Prima n.120 Anno 159).

La Variante del PAI riguarda l’aggiornamento delle fasce fluviali del torrente Baganza e Parma, da Calestano a confluenza Parma in zona urbana, e il torrente Parma, da Parma alla confluenza in Po, con specifico riferimento alla definizione di obiettivi e misure di riduzione del rischio. La zona in esame non è stata oggetto di variante.

L’ABDPO provveduto in particolare all’aggiornamento dei contenuti della pianificazione di bacino vigente (PAI) sia in termini di quadro conoscitivo di base che in termini di valutazioni di pericolosità e rischio, definendo conseguentemente obiettivi e misure anche tenendo in considerazione gli effetti conseguenti all’evento alluvionale del 13 ottobre 2014.

Al fine di adeguare i contenuti e le disposizioni di riferimento della pianificazione Provinciale alle nuove previsioni di tutela della pianificazione di bacino, la Provincia di Parma, ai sensi della stessa Intesa PAI-PTCP e secondo quanto previsto dall’art. 65, commi 4 e 5, del D.Lgs.152/2006, ha provveduto all’elaborazione di una specifica variante di adeguamento del PTCP.

L’aggiornamento del P.T.C.P., in particolare del tematismo relativo alle fasce fluviali definite nella Tavola C1 “Tutela Ambientale, Paesistica e Storico-Culturale”, è previsto dallo stesso Protocollo d’Intesa, sottoscritto dalla Provincia, Regione Emilia-Romagna e ADBPO, per la definizione delle disposizioni del PTCP relative all’attuazione del PAI, ai sensi dell’Art.57 del D.Lgs. n.112 e art.21 della LR 20/2000, nonché dell’art.1 delle stesse Norme di Attuazione del PAI.

La suddetta Variante è stata elaborata quale Variante specifica al P.T.C.P., in recepimento delle previsioni di Piani sovraordinati, e pertanto in attuazione e con le procedure di cui all’art. 27-bis della L.R. 20/2000 e dell’art. 76 della L.R. 24/2017, ponendosi i seguenti obiettivi:

- Adeguamento\aggiornamento delle delimitazione delle fasce fluviali del P.T.C.P. rappresentate nella Tavola C1 “Tutela Ambientale, Paesistica e Storico-Culturale” (scala 1:25.000), approvato con Del. di C.P. n.134 del 21.12.2007, attraverso il recepimento dei contenuti (definizione aggiornata dei limiti fascia A, B, B progetto e C) della Variante PAI adottata con Del. del C.I. n.4 del 7 dicembre 2016, relativa al Torrente Baganza (tratto Calestano – confluenza T. Parma e area urbana confluenza T. Baganza e T. Parma);
- Integrazione del repertorio cartografico (Fasce di pertinenza fluviale) del Quadro Conoscitivo del PTCP.

In particolare per i corpi idrici oggetto di delimitazione delle fasce fluviali vengono individuate:

- La **zona di deflusso di piena** che costituisce la definizione cartografica e l’articolazione integrata delle zone di cui agli articoli 17 e 18 del PTPR e della *Fascia A* di deflusso di piena, così come definita dall’articolo 28 del PAI. All’interno di tale zona vengono, quindi, individuati due ambiti:
  - **Ambito A1:** costituito dall’alveo, così come individuato dell’art.18 del PTPR;
  - **Ambito A2:** interessa la restante area sede del deflusso della corrente, sino al limite esterno della zona stessa.
- La **zona di tutela ambientale e idraulica dei corsi d’acqua** che costituisce la definizione cartografica e l’articolazione integrata delle zone di tutela dei corsi d’acqua, individuate ai sensi dell’art.17 del PTPR, e della *Fascia B* di esondazione, così come definita dall’art.28 del PAI. Essa è esterna alla zona di deflusso della piena.
- I **limiti di progetto** che individuano caratteristiche e localizzazione delle nuove opere idrauliche per i contenimenti dei livelli idrici di piena e per la regimazione dell’alveo in funzione dell’assetto di progetto

del corpo idrico definito nelle *Linee di assetto idraulico e idrogeologico – Allegato 10 alle Norme tecniche di Attuazione (NTA)*.

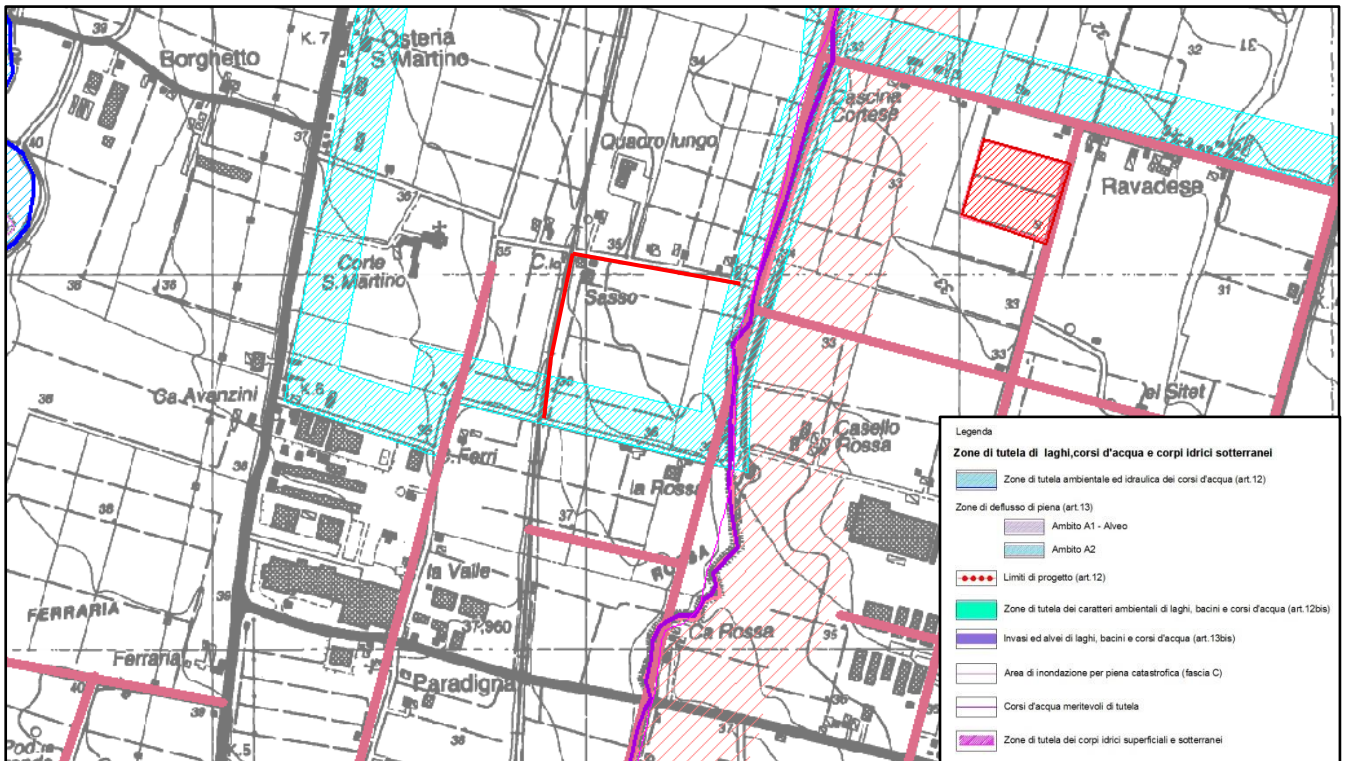


Figura 3 – Ubicazione dell'area di intervento con fasce fluviali del PTCP della Provincia di Parma

## 2.3 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI (AI SENSI DELLA DIRETTIVA 2007/60/CE E DEL D.LGS 49/2010) E RRI DEL COMUNE DI PARMA

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è un Piano introdotto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') con la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurne le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

In base a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE, il PGRA, alla stregua dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), è stralcio del Piano di Bacino ed ha valore di piano sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Alla scala di intero distretto, il PGRA agisce in sinergia con i PAI vigenti.

Il piano, sulla base delle mappe di pericolosità e di rischio di alluvione, definisce la strategia generale a livello di distretto, individua gli obiettivi distrettuali e le misure per orientare e fare convergere verso il comune obiettivo della sicurezza delle popolazioni e del territorio tutti gli strumenti di pianificazione distrettuale, territoriale e di settore vigenti compresa la pianificazione di emergenza di competenza del sistema della Protezione Civile. Definisce, inoltre, le priorità d'azione per le Aree a Rischio Potenziale Significativo, le infrastrutture strategiche, i beni culturali e le aree protette esposte a rischio, per i quali gli obiettivi generali di distretto devono essere declinati per mitigare da subito le criticità presenti con specifiche misure.

Il PGRA è stato approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 3 marzo 2016.

Le mappe della pericolosità rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali) e dal mare, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti) rappresentati con tre diverse tonalità di blu, associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore.

Le mappe del rischio indicano la presenza degli elementi potenzialmente esposti (popolazione coinvolta, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi da molto elevata (R4) a moderata o nulla (R1). Le 4 categorie di rischio sono rappresentate mediante una paletta di colori che va dal giallo (rischio moderato o nullo) al viola (rischio molto elevato), passando per l'arancione (rischio medio) e il rosso (rischio elevato). In figura sono riportate le mappe della pericolosità elaborate per il territorio comunale, e in particolare nell'area d'interesse, redatte conformemente a quanto richiesto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010.

Il primo aggiornamento (secondo ciclo) delle mappe di pericolosità e del rischio alluvioni è stato esaminato nella seduta di Conferenza Istituzionale Permanente del 20 dicembre 2019, e in data 16 marzo 2020 sono stati pubblicati gli atti della Conferenza Istituzionale Permanente e le mappe delle aree allagabili e del rischio, ai sensi di quanto disposto nelle Deliberazioni n.7 e 8 del 20 dicembre 2019. A seguito della pubblicazione delle mappe 2019, si sono succedute una serie di complesse fasi di osservazione-pubblicazione-aggiornamento, concluse 11 aprile 2022 con Approvazione definitiva con Decreto del Segretario Generale n. 43 del 11 aprile 2022 - DS n. 43/2022.

Nelle figure seguenti si riportano gli estratti delle mappe della pericolosità per il Reticolo Principale (RP) e per il Reticolo Secondario di Pianura (RSP) elaborate per il territorio comunale, e della Carta delle aree di vulnerabilità idraulica del RRI del Comune di Parma.

Le mappe della pericolosità contengono la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali), rappresentate con tre diverse tonalità di blu, associando al ridursi della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore.

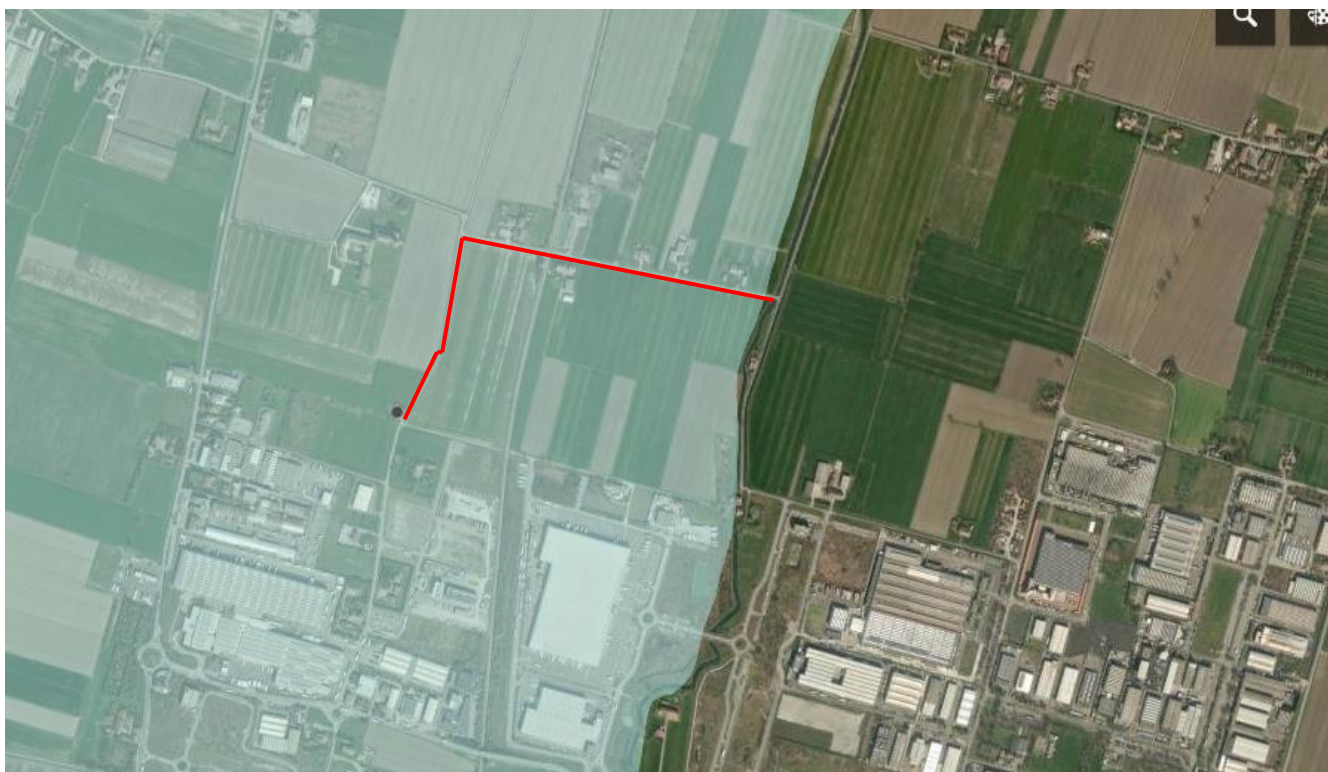


Figura 4 – Estratto della tavola Piano Gestione Rischio Alluvioni – Aree Inondabili: Mappa della Pericolosità (AIPO secondo ciclo aggiornamento fase 2 del 11.04.2022.) Reticolo Principale





Figura 5 - Estratto della tavola Piano Gestione Rischio Alluvioni – Aree Inondabili: Mappa della Pericolosità (AIPO secondo ciclo aggiornamento fase 2 del 11.04.2022.) Reticolo Secondario di Pianura

**L'area oggetto di interesse risulta classificata in fascia di pericolosità P1 del Reticolo Principale e in classe di Pericolosità P2 e P3 del Reticolo Secondario di Pianura**

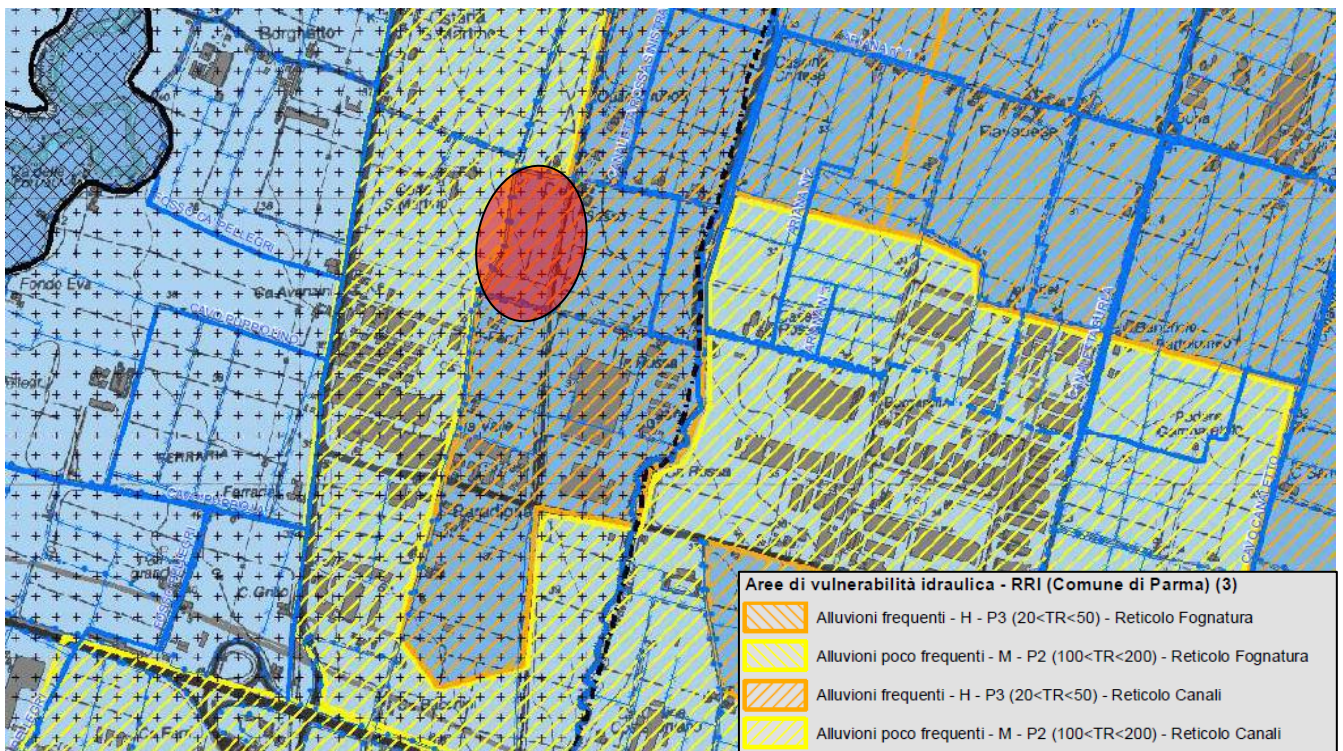


Figura 6 - Stralcio della Carta delle aree di vulnerabilità idraulica del RRI del Comune di Parma.

**L'area di intervento risulta classificata parzialmente in classe di pericolosità P3 – Reticolo dei Canali per il documento RRI del Comune di Parma.**

## 3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Le simulazioni riportate nell'elaborato R05 "Relazione idraulica" hanno evidenziato che l'adeguamento in sezione e riprofilatura del canale demaniale lungo via Paradigna consente il deflusso della portata in progetto dal civico 122 fino all'immissione nel canale Naviglio.

Ai fini della valutazione e verifica degli interventi sul canale è stata condotta una modellazione idraulica partendo dalle portate definite dall'ing. Stefano Terzi nella relazione "Studio idraulico per scenari transitori" del 16.03.2022 allegata al PUA Sub Ambito Produttivo 27S2a.

L'obiettivo del presente progetto è quello di garantire il corretto deflusso della portata stimata pari a circa  $3,40 \text{ m}^3/\text{s}$  evitando il sollevamento proposto nella fase di PUA, sia per motivi di manutenzione sia per la non disponibilità della potenza per il funzionamento delle pompe, e di evitare il ristagno delle acque in corrispondenza del civico 122, dove lo scatolare esistente riporta una quota di scorrimento inferiore di circa 0,95 m rispetto al fondo del canale.

A seguito della realizzazione dello scatolare denominato "Adduzione Ovest" si potrebbe realizzare una soglia di limitazione di portata verso valle, anche mobile con sistemi gonfiabili, in corrispondenza del nuovo tratto tombato del civico 122.

I lavori in progetto comprendono la movimentazione del terreno necessaria alla riprofilatura di un tratto di canale pari a circa 1.190 m, la realizzazione di un tratto di circa 30 m di scatolare 2000x1500 mm in corrispondenza del civico 122, il rifacimento del manufatto M03 con scatolare di sezione sempre 2000x1500 mm e la realizzazione di protezioni in massi agli ingressi e alle uscite dei manufatti in progetto e nei tratti ritenuti critici.

Gli interventi descritti consentono di migliorare, vista anche l'inserimento e la condizione attuale del tratto in esame, le condizioni di deflusso e di sicurezza idraulica anche in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno di 25 anni.

La figura seguente mostra il tratto di canale oggetto di intervento.

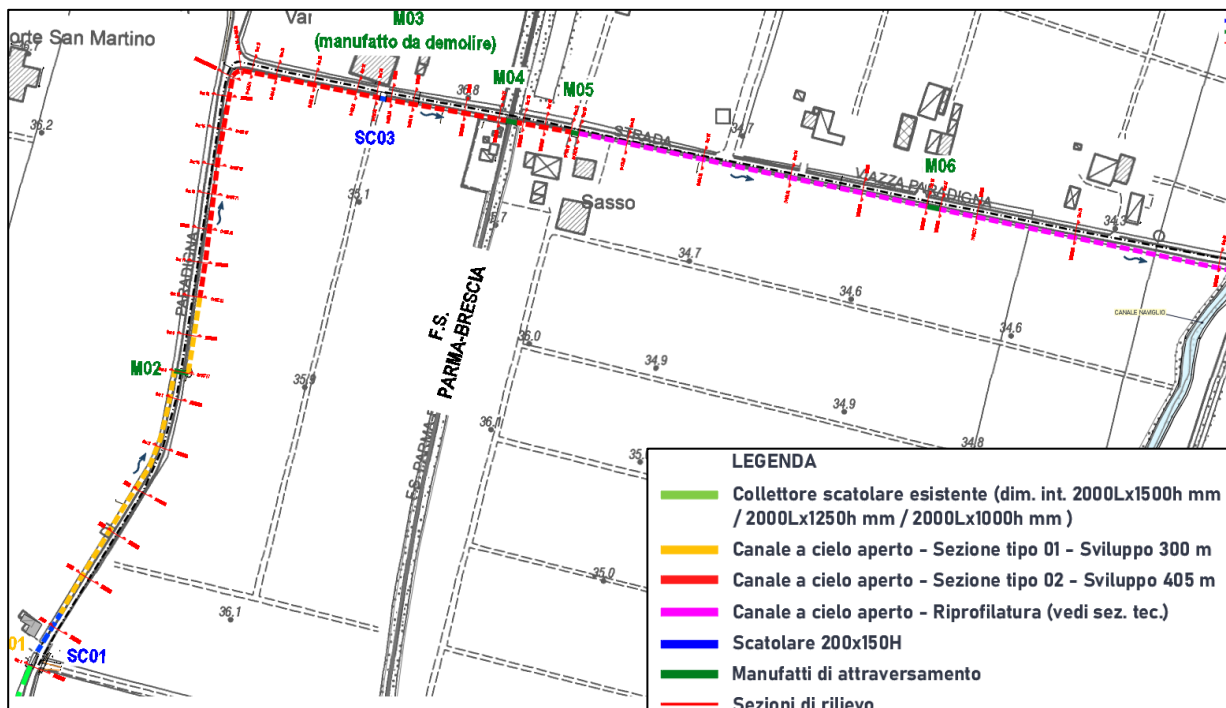


Figura 7: Planimetria di progetto.

Nel seguito si riporta la descrizione degli interventi previsti per la messa in sicurezza del canale nel tratto di intervento.



### 3.1 RISEZIONAMENTO DELLA SEZIONE DI DEFLUSSO DEL CANALE DEMANIALE

A seguito dei sopralluoghi e della restituzione del rilievo è stata riscontrata la presenza di una soglia all'imbocco del sottopasso della ferrovia che, nel tempo, ha contribuito a ridurre in modo significativo la pendenza del fosso che in tale tratto presenta ristagni ed erosioni spondali. Nei restanti tratti la pendenza longitudinale si attesta tra il 2,5 e 4 ‰. I manufatti presenti sono tutti in discrete condizioni e presentano una sezione idraulica adeguata, ad eccezione del manufatto M03 che presenta una sezione di deflusso insufficiente oltre che a problematiche di natura strutturale. Si segnala che anche il manufatto M02 (attraversamento di via Paradigna) potrebbe presentare problemi di natura strutturale.

La confluenza nel Canale Naviglio avviene trasversalmente alla direzione del flusso di quest'ultimo con un dislivello tra le quote di fondo di circa 40 cm. Considerando che il Canale Naviglio nel periodo irriguo e/o in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi può raggiungere potenzialmente un tirante idrico di 1,80 m, il tratto terminale è quindi soggetto a fenomeni di rigurgito.

La riprofilatura e il risezionamento della sezione di deflusso consente di contenere all'interno dell'alveo i livelli idrometrici dei profili di rigurgito risultanti dalle portate per tempo di ritorno TR25.

Tale intervento riguarderà l'intero tratto del canale dal civico 122 all'immissione nel canale Naviglio per uno sviluppo complessivo di circa 1.190 m.

Il progetto prevede la riprofilatura del attuale canale di scolo delle acque meteoriche provenienti dai comparti a sud e drenate attraverso una condotta con sezione finale 2000x1500 mm.

Le sponde rimarranno naturali in terra con pendenza 1/1 e non sono previste cementificazioni se non in corrispondenza di alcuni attraversamenti (M01, M02, M03 e curva tra via Paradigna e via Viazza) con l'utilizzo di massi cementati. L'intervento è stato suddiviso in due tratti omogenei per tipologia di sezione:

- **Sezione Tipologica 1:** Sezione trapezia di base pari a 1,00 m altezza media pari a 1,50 m e cielo pari a circa 4,00 m per una sezione di deflusso media pari a 3,75 m<sup>2</sup>. La sezione tipologica 1 verrà realizzata nel tratto compreso tra la sezione 1 e la sezione 10 per una lunghezza d'alveo complessiva pari a circa 300 m.

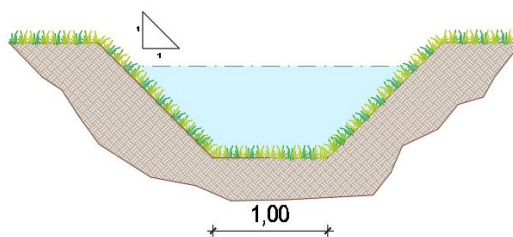


Figura 8 - Sezione Tipologica 1

- **Sezione tipologica 2:** Sezione trapezia di base pari a 2,00 m altezza media pari a 1,20 m e cielo pari a circa 4,40 m per una sezione di deflusso media pari a 3,85 m<sup>2</sup>. La sezione tipologica 2 verrà realizzata nel tratto compreso tra la sezione 10 e la sezione 30 per una lunghezza d'alveo complessiva pari a circa 405 m.

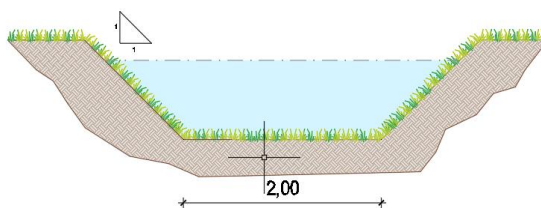


Figura 9 - Sezione tipologica 2

Dalla sezione 30 alla sezione 40 (immissione canale Naviglio) si prevede solamente una leggera riprofilatura senza modifica della sezione di deflusso che risulta già adeguata.

Si prevede, inoltre, la demolizione e ricostruzione dei manufatti M01 e M03 per insufficienza della sezione di deflusso e per sistemazione del tratto di canale, con scatolare di sezione netta 2000x1500 mm e sviluppo rispettivamente di 30 m e 4,50 m e protezione delle sponde e del fondo con massi da 300-500 kg per uno sviluppo di circa 3,0 m a monte e valle dei nuovi manufatti.

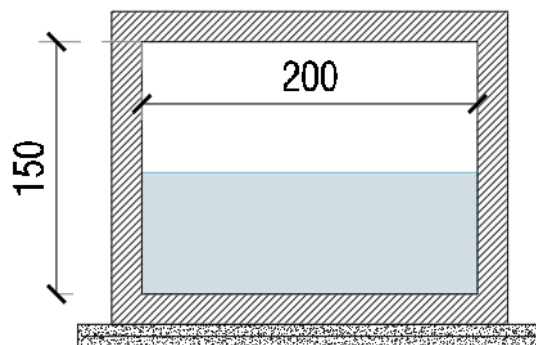


Figura 10 - Sezione tipologica scatolare attraversamento 2000x1500



## 4 CARATTERISTICHE IDRAULICHE DEL CANALE

Il tratto analizzato ha inizio in prossimità del civico 122 di via Paradigna nella quale è presente il punto terminale dello scatolare (200x150 cm) utilizzato come condotto fognario delle acque chiare dell'area urbanizzata di Via Paradigna. Il fondo di scorrimento dello scatolare è circa 0.95 m più basso rispetto al fondo del canale, questo causa la permanenza di acqua nello scatolare e nella porzione di canale a cielo aperto a valle dell'accesso carrabile realizzato con un DN200n del civico 122.

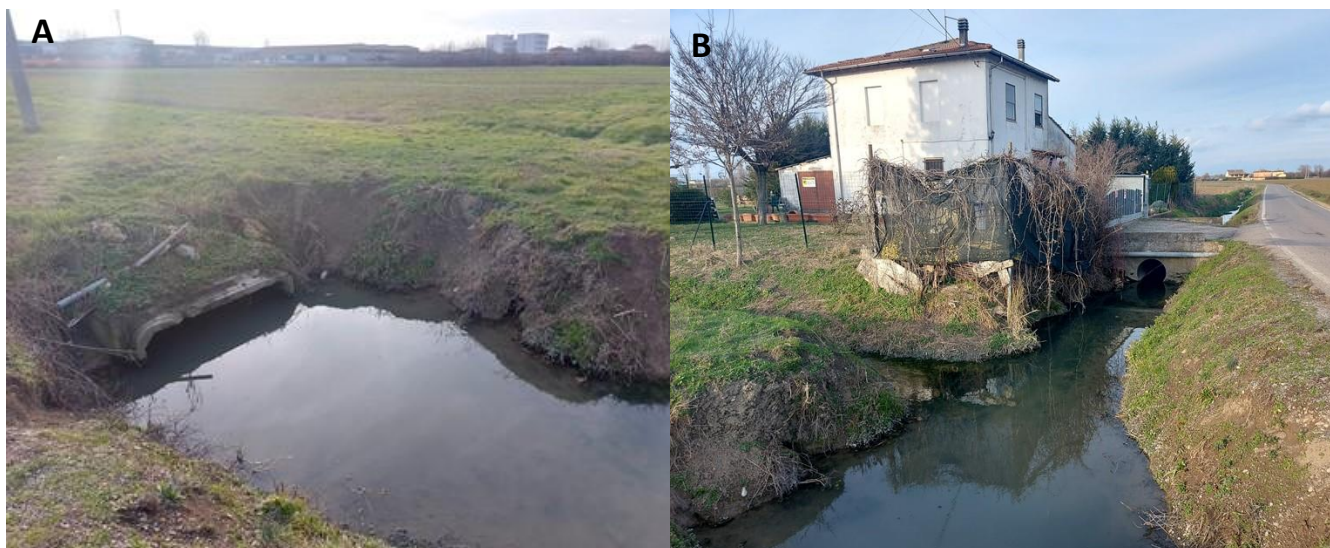


Figura 11 - A) Tratto terminale Scatolare B) Monte passo carrabile civico 122

Il reticolo a valle del civico 122 attualmente è costituito da un fosso a cielo aperto con sezione trapezoidale. La larghezza del fondo varia tra 1 e 1,50 m a secondo dei tratti con un tirante idrico massimo tra 0.90 e 1 m (come riportato dall'ing. Stefano Terzi nella relazione "Studio idraulico per scenari transitori" del 16.03.2022 allegata al PUA Sub Ambito Produttivo 27S2a).

A seguito dei sopralluoghi e della restituzione del rilievo è stata riscontrata la presenza di una soglia all'imbocco del sottopasso della ferrovia che, nel tempo, ha contribuito a ridurre in modo significativo la pendenza del fosso che in tale tratto presenta ristagni ed erosioni spondali.

Nei restanti tratti la pendenza longitudinale si attesta tra il 2,5 e 4 %.

I manufatti presenti sono tutti in discrete condizioni e presentano una sezione idraulica adeguata, ad eccezione del manufatto M03 che presenta una sezione di deflusso insufficiente oltre che a problematiche di natura strutturale.

Si segnala che anche il manufatto M02 (attraversamento di via Paradigna) potrebbe presentare problemi di natura strutturale.





Figura 12 - A) Manufatto M02 - B) Manufatto M03



Figura 13 - A) Manufatto attraversamento ferrovia M04 - B) Attraversamento M05



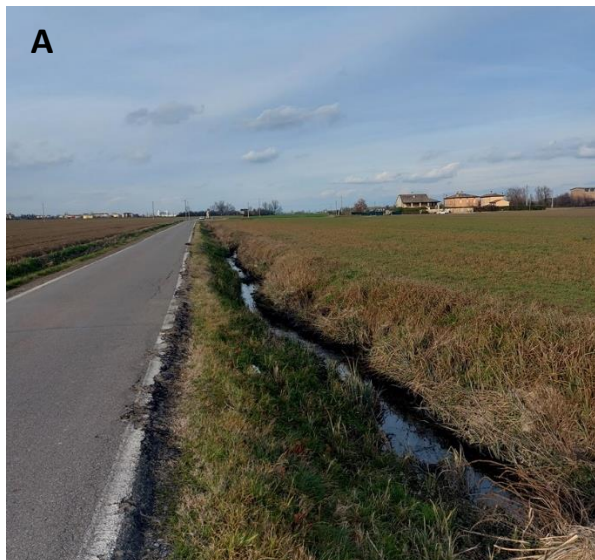


Figura 14 – A) Valle attraversamento M02 – B) Monte attraversamento M02

La confluenza nel Canale Naviglio avviene trasversalmente alla direzione del flusso di quest'ultimo con un dislivello tra le quote di fondo di circa 40 cm. Considerando che il Canale Naviglio nel periodo irriguo e/o in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi può raggiungere potenzialmente un tirante idrico di 1,80 cm, il tratto terminale è quindi soggetto a fenomeni di rigurgito.

## 4.1 PORTATE DI PROGETTO

La portata di progetto è quella definita all'interno dello studio "PUA Sub Ambito Produttivo 27S2a Via Paradigna" redatto dall'ing. Terzi. Si prevede una portata massima in uscita dalla scatola pari a circa **3.4 m<sup>3</sup>/s**.

Nella tabella seguente vengono riportate le portate limite per lo scenario transitorio delle lottizzazioni presenti:

| Descrizione                              | Superficie (ha) | Portata limite di scarico (l/s) |
|--|-----------------|---------------------------------|
| Sub Ambito 19 CP1.A – Chiesi Esistente/A | 4.14            | 166                             |
| Sub Ambito 19 CP1.A – Chiesi Esistente/B | 3.19            | 128                             |
| ZP3 - CFT esistente                      | 6.52            | 120                             |
| Sub Ambito 27 SN4 (ex C9) - esistente    | 14.31           | 30                              |
| ZP3 – Number 1 esistente                 | 14.11           | 700                             |
| ZCCD/ZP3/ZP4                             | 17.52           | 700                             |
| Lotto privato "Sub Ambito 27S2a          | 9.69            | 388                             |
| Aree urbanizzate ed agricole             | 18.95           | 1137                            |

Tabella 1 - Portate limite scenario transitorio delle lottizzazioni presenti

## 5 L'ANALISI IDRAULICHE DI DETTAGLIO

L'obiettivo di tale analisi è di verificare le condizioni di deflusso del canale stradale di via Paradigna e via Viazza di Paradigna fino all'immissione nel canale Naviglio, valutandone i tiranti idrometrici e le velocità allo stato di progetto, verificando gli effetti delle nuove sezioni di deflusso.

Al fine di procedere all'implementazione di un'analisi idraulica di maggior dettaglio del tratto oggetto di studio del fosso, è stato utilizzato, il rilievo plano-altimetrico di tutto il tratto di valle fino alla confluenza con il Naviglio con la restituzione di n.37 sezioni oltre i n.6 manufatti presenti lungo il corso d'acque e riverificato nei punti fondamentali (manufatti e civico 122) nel febbraio 2024 dal geom. Ivano Zambelli.

### 5.1 LE IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO

Il calcolo dei massimi livelli di piena procede sulla base delle equazioni classiche dell'idraulica dei moti a pelo libero; in particolare, sono integrate numericamente le equazioni differenziali per correnti monodimensionali su alveo prismatico in condizione di moto uniforme.

La scabrezza d'alveo è stata espressa attraverso il coefficiente  $c$  di Gauckler-Strickler, adottando valori mutuati dalla letteratura e dall'esperienza, pari a circa  $45 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (come definite dall'ing. Stefano Terzi nella relazione "Studio idraulico per scenari transitori" del 16.03.2022 allegata al PUA Sub Ambito Produttivo 27S2a).

### 5.2 IL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Il modello utilizzato, è HEC-RAS River Analysis System, elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell' US Army Corps of Engineers (versione 6.2, marzo 2022).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni di portata, tiranti idrometrici, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica in condizioni di moto permanente, per effetto della morfologia dell'alveo, della sua resistenza d'attrito e della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

Il modello calcola i profili di moto per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista, ed è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), calcolate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente, in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di



portata, oltre alle condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente. L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- $Y_1, Y_2$  altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,
- $Z_1, Z_2$  quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,
- $V_1, V_2$  velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,
- $\alpha_1, \alpha_2$  coefficienti di velocità,
- $h_e$  perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left( \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2
- $S_f$  pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2
- C coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito  $S_f$  è valutata secondo l'espressione di Manning:

## 5.3 RISULTATO DELLE ANALISI IDRAULICHE

Nella seguenti simulazioni è riportata la configurazione morfologica di progetto e quindi con risezionamento della sezione del canale stradale come descritto nel paragrafo 3.1.

Poiché la confluenza nel Canale Naviglio avviene trasversalmente alla direzione del flusso di quest'ultimo con un dislivello tra le quote di fondo di circa 40 cm, il Canale Naviglio nel periodo irriguo e/o in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi può raggiungere potenzialmente un tirante idrico di 1,80 cm. Per tale motivo, considerando che il tratto terminale è soggetto a fenomeni di rigurgito, si sono riportati i risultati delle simulazioni in 2 configurazioni differenti:

- Configurazione A1 – Canale Naviglio con tirante idrico minore di 0.40 m
- Configurazione A2 – canale Naviglio con tirante idrico pari a 1.80 m

### 5.3.1 CONFIGURAZIONE A1

| Profile                                     | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Elev | Froude |
|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
|   | (m3/s)  | (m)       | (m)       | (m)       | (m)       | (m/s)     |        |
| Scatolare                                   | 3.4     | 34.69     | 36.3      | 35.28     | 36.32     | 0.66      | 0.19   |
| Manufatto esistente 200x150 cm              |         |           |           |           |           |           |        |
| Monte Civico 122                            | 3.4     | 34.38     | 36.01     | 34.96     | 36.03     | 0.6       | 0.18   |
| Manufatto in progetto Civico 122 200x150 cm |         |           |           |           |           |           |        |
| Valle Civico 122                            | 3.4     | 34.37     | 35.95     |           | 35.97     | 0.63      | 0.19   |
| Sez.1                                       | 3.4     | 34.37     | 35.88     |           | 35.95     | 1.17      | 0.36   |
| Sez.3                                       | 3.4     | 34.36     | 35.82     |           | 35.87     | 0.94      | 0.31   |

| Profile       | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Elev | Froude |
|---------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
|               | (m3/s)  | (m)       | (m)       | (m)       | (m)       | (m/s)     |        |
| Sez.5         | 3.4     | 34.31     | 35.76     |           | 35.81     | 0.96      | 0.32   |
| Sez.7.1       | 3.4     | 34.31     | 35.74     | 35.06     | 35.79     | 0.92      | 0.3    |
| Manufatto M02 |         |           |           |           |           |           |        |
| Sez.7.2       | 3.4     | 34.31     | 35.56     |           | 35.62     | 1.14      | 0.4    |
| Sez.9         | 3.4     | 34.25     | 35.45     |           | 35.54     | 1.35      | 0.49   |
| Sez.11        | 3.4     | 34.22     | 35.44     |           | 35.48     | 0.86      | 0.29   |
| Sez.13        | 3.4     | 34.19     | 35.41     |           | 35.45     | 0.85      | 0.31   |
| Sez.15        | 3.4     | 34.15     | 35.38     |           | 35.42     | 0.85      | 0.3    |
| Sez.17        | 3.4     | 34.1      | 35.37     |           | 35.4      | 0.82      | 0.29   |
| Sez.19        | 3.4     | 34.09     | 35.35     |           | 35.39     | 0.83      | 0.29   |
| Sez.21        | 3.4     | 34.08     | 35.32     |           | 35.35     | 0.83      | 0.34   |
| Sez.22        | 3.4     | 34.07     | 35.3      |           | 35.34     | 0.85      | 0.33   |
| Sez.23        | 3.4     | 34.07     | 35.31     |           | 35.33     | 0.62      | 0.26   |
| Manufatto M03 |         |           |           |           |           |           |        |
| Sez.24        | 3.4     | 34.06     | 35.25     |           | 35.27     | 0.68      | 0.23   |
| Sez.25        | 3.4     | 34.06     | 35.25     |           | 35.27     | 0.68      | 0.23   |
| Sez.26        | 3.4     | 34.03     | 35.24     |           | 35.26     | 0.59      | 0.19   |
| Sez.27        | 3.4     | 33.92     | 35.21     | 34.52     | 35.25     | 0.84      | 0.28   |
| Manufatto M04 |         |           |           |           |           |           |        |
| Sez.28        | 3.4     | 33.88     | 35.1      |           | 35.13     | 0.83      | 0.28   |
| Sez.29        | 3.4     | 33.88     | 35.08     |           | 35.12     | 0.96      | 0.34   |
| Sez.30        | 3.4     | 33.82     | 35.07     | 34.42     | 35.11     | 0.83      | 0.28   |
| Manufatto M05 |         |           |           |           |           |           |        |
| Sez.31        | 3.4     | 33.81     | 34.79     |           | 34.85     | 1.09      | 0.46   |
| Sez.33        | 3.4     | 33.45     | 34.69     |           | 34.74     | 1         | 0.39   |
| Sez.35        | 3.4     | 33.17     | 34.64     | 33.84     | 34.66     | 0.68      | 0.26   |
| Manufatto M06 |         |           |           |           |           |           |        |
| Sez.37        | 3.4     | 33.06     | 34.06     |           | 34.16     | 1.4       | 0.57   |
| Sez.39        | 3.4     | 32.53     | 33.39     | 33.3      | 33.58     | 1.95      | 0.83   |

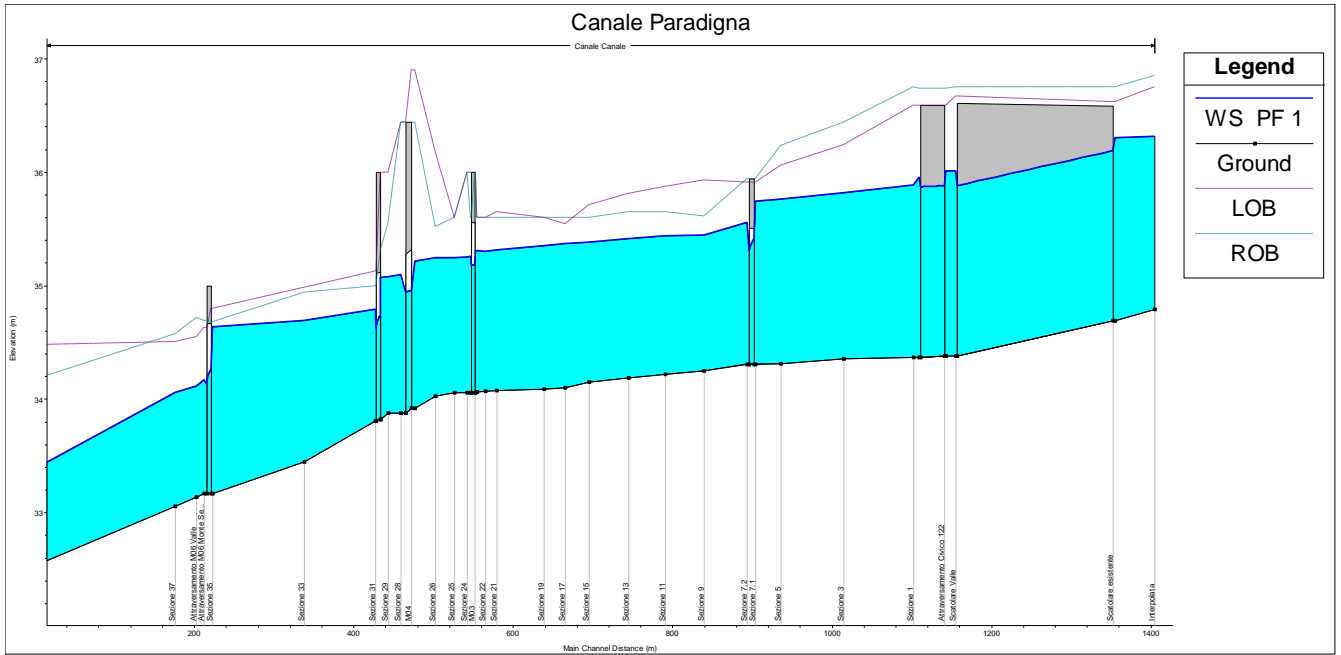


Figura 15 - Massimo inviluppo dei profili di rigurgito del tratto del fosso studiato - Stato di Progetto.

I profili di rigurgito e i risultati sopra riportati evidenziano che il tratto oggetto di intervento permette il deflusso della portata di progetto pari a  $3.4 \text{ m}^3/\text{s}$ , senza che si verifichino fuoriuscite né allagamenti. Le seguenti figure riportano i profili di rigurgito, allo stato di progetto, in corrispondenza delle sezioni trasversali rilevate lungo il tratto analizzato.

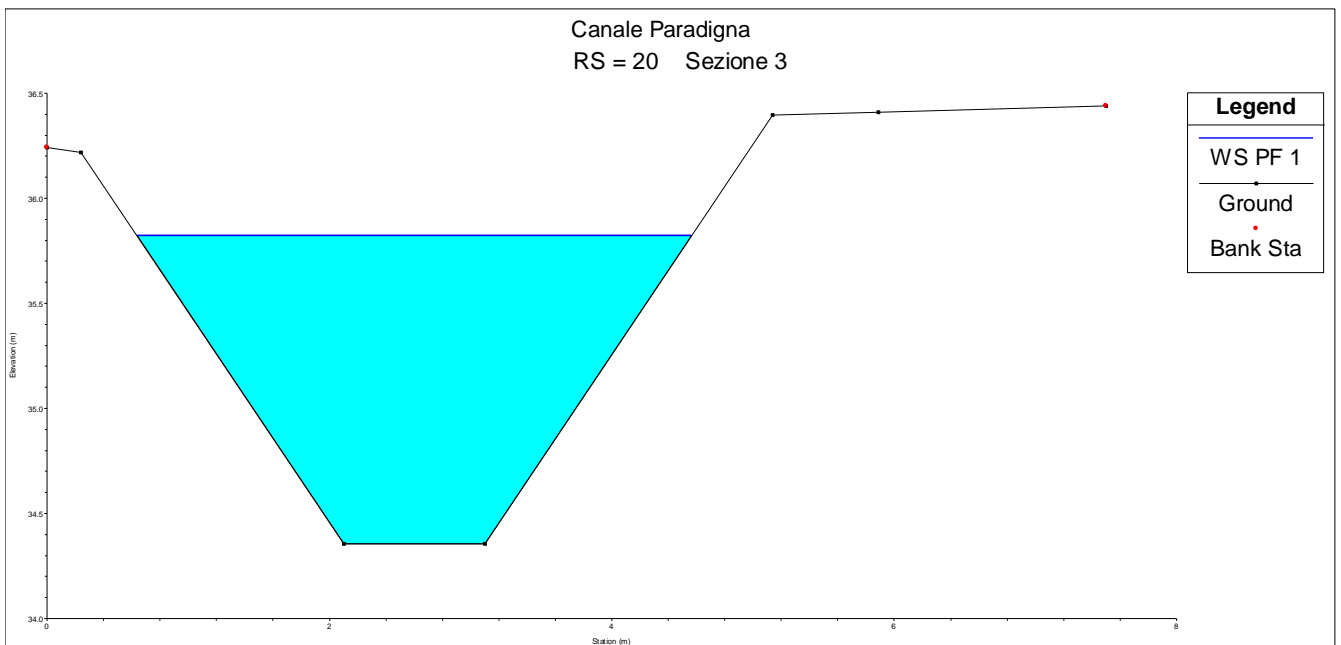


Figura 16 - Livelli idrometrici alla sezione 3 allo stato di progetto.

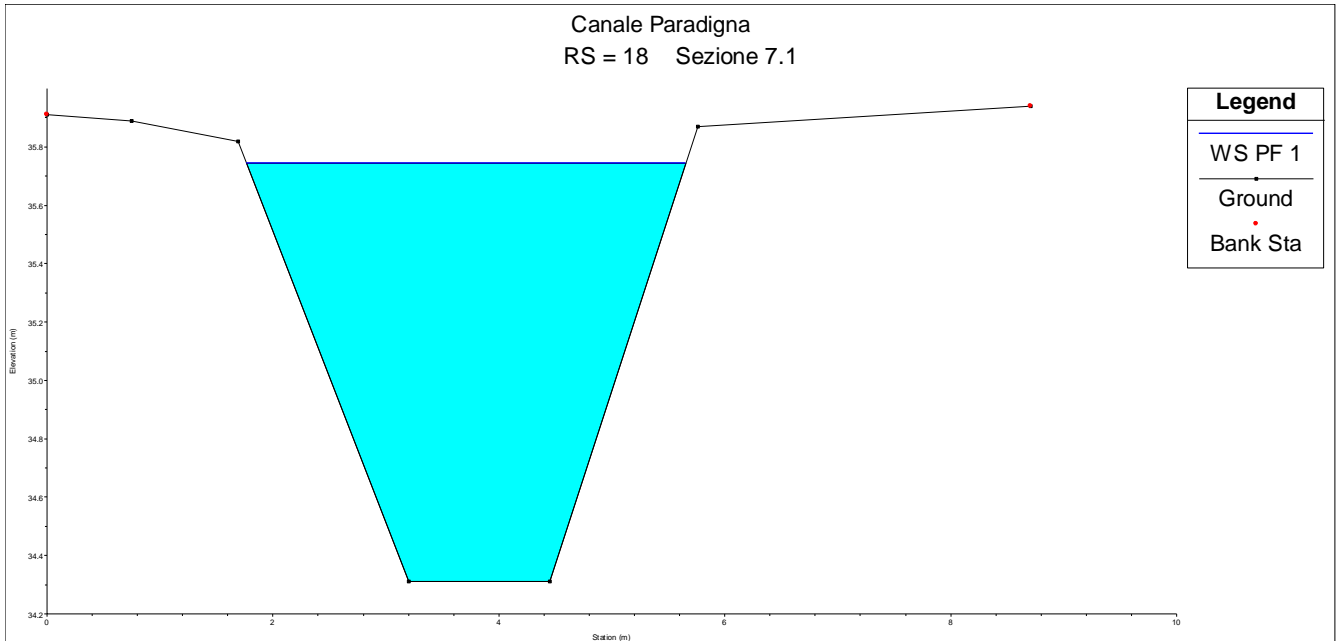


Figura 17 - Livelli idrometrici alla sezione 7.1 allo stato di progetto

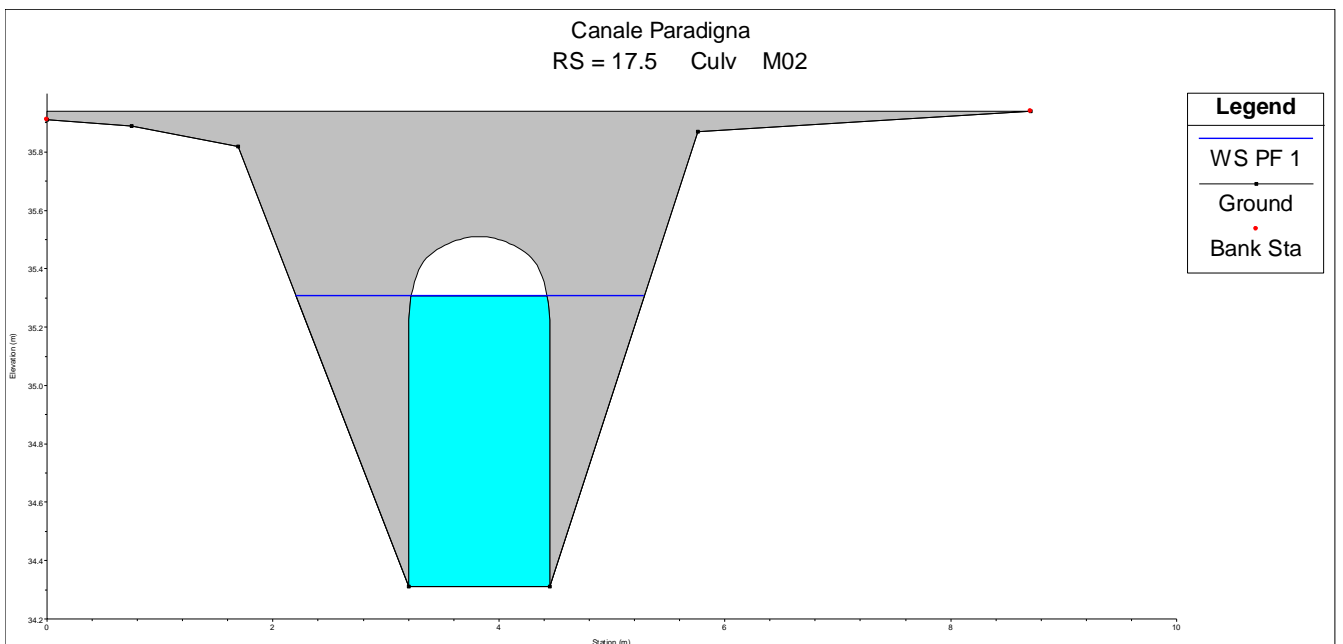


Figura 18 - Livelli idrometrici alla sezione manufatto M02 allo stato di progetto



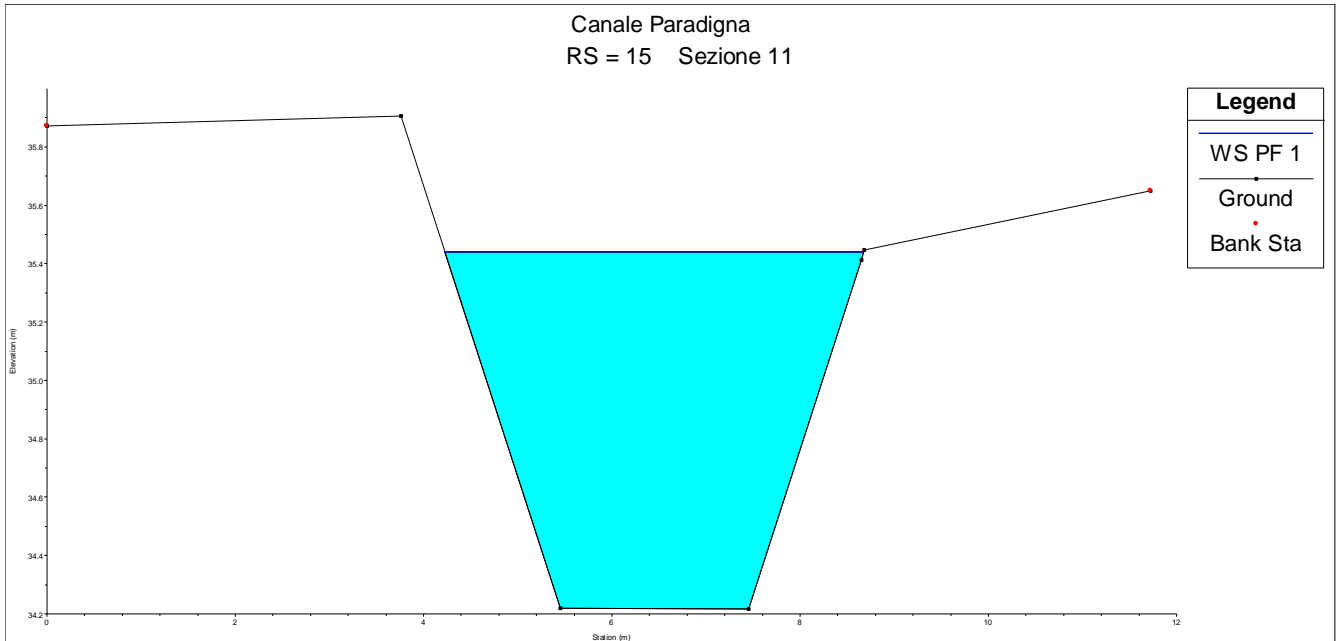


Figura 19 - Livelli idrometrici alla sezione 11 allo stato di progetto

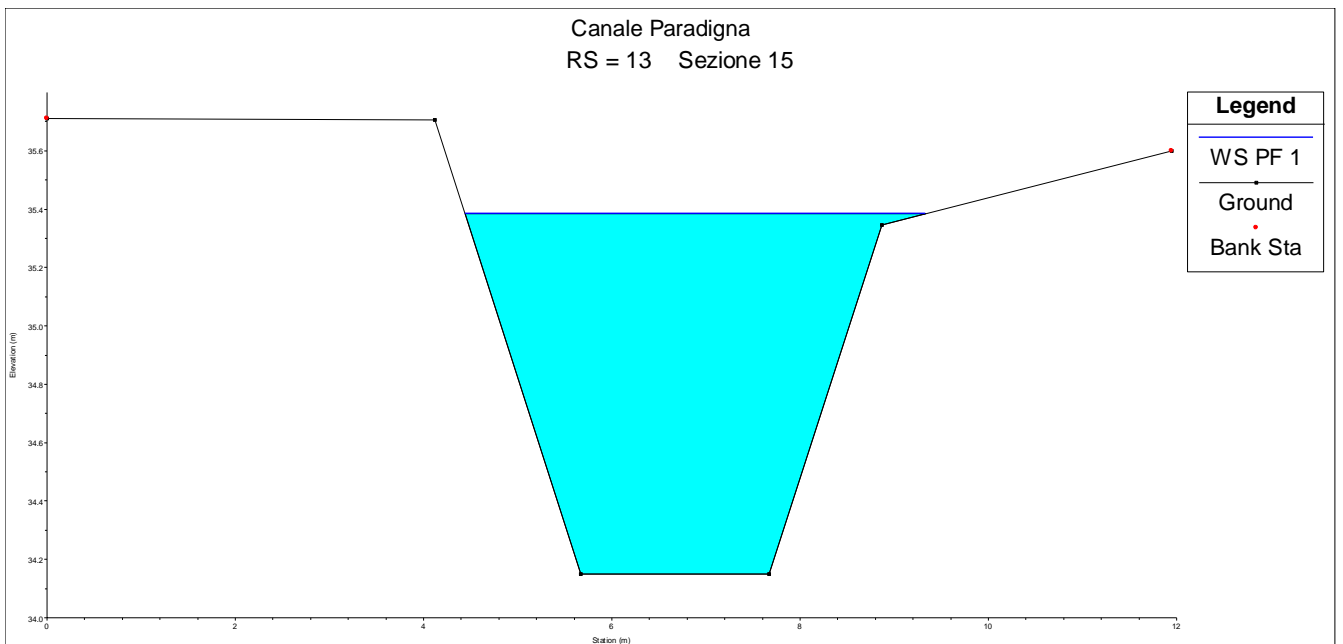


Figura 20 - Livelli idrometrici alla sezione 15 allo stato di progetto

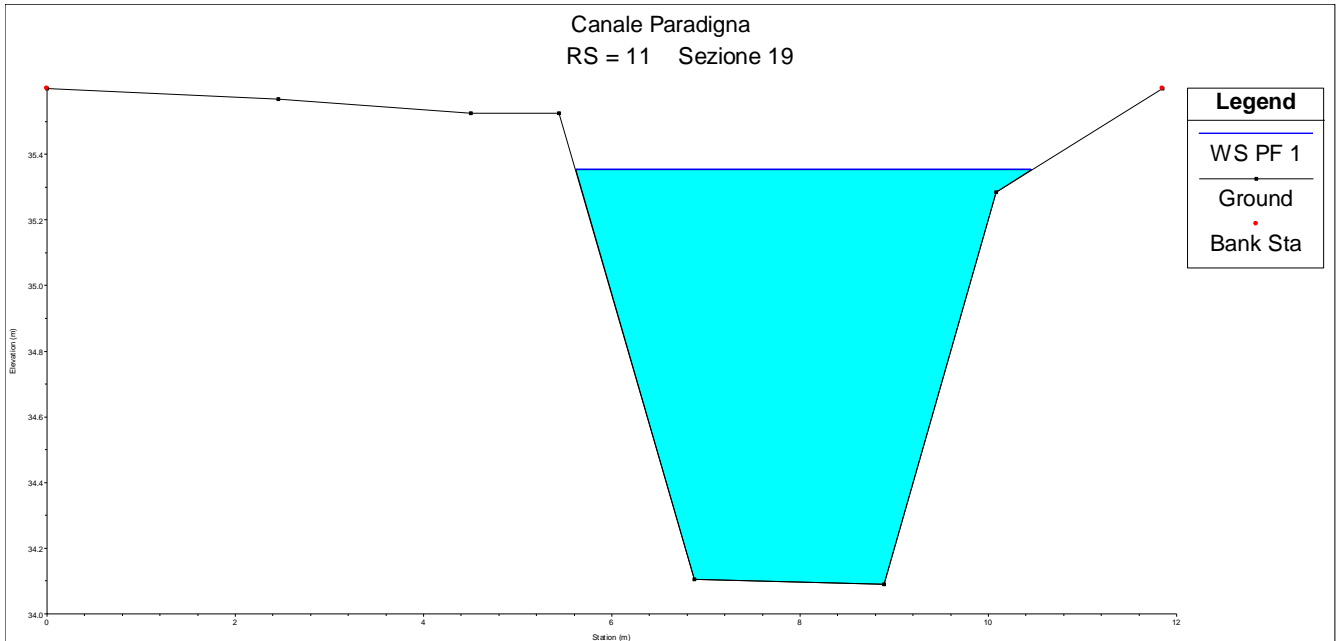


Figura 21 - Livelli idrometrici alla sezione 19 allo stato di progetto

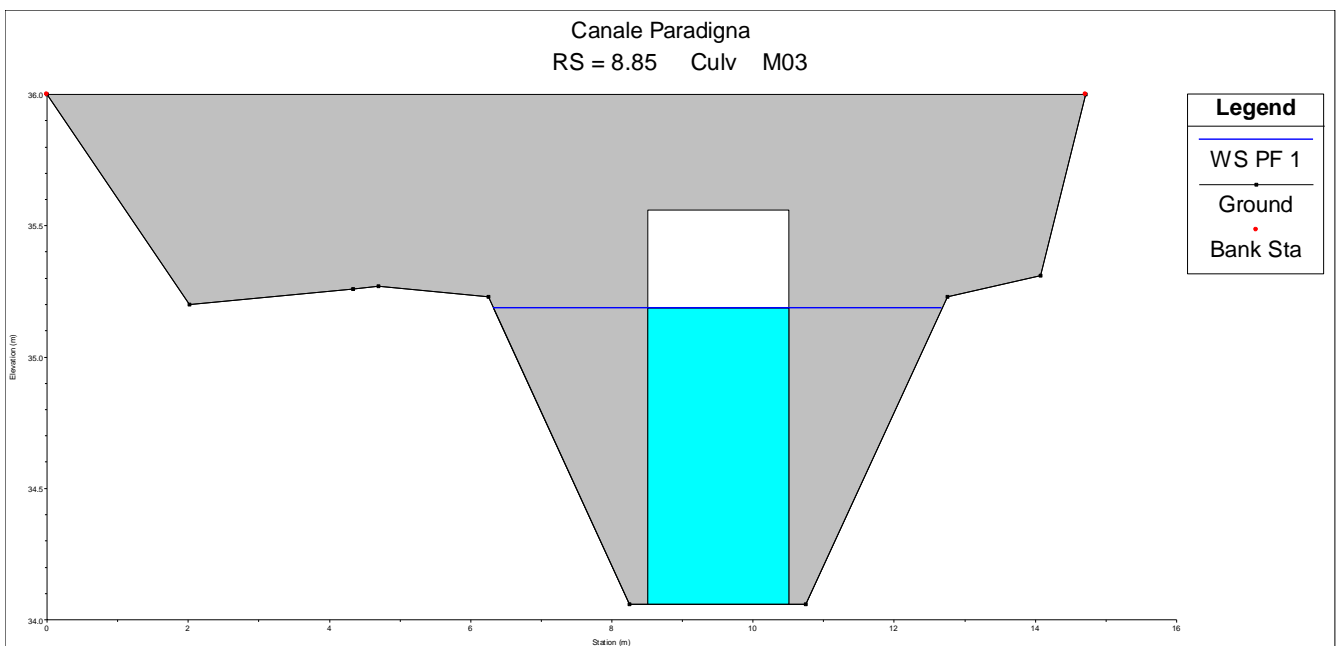


Figura 22 - Livelli idrometrici alla sezione Manufatto M03 allo stato di progetto

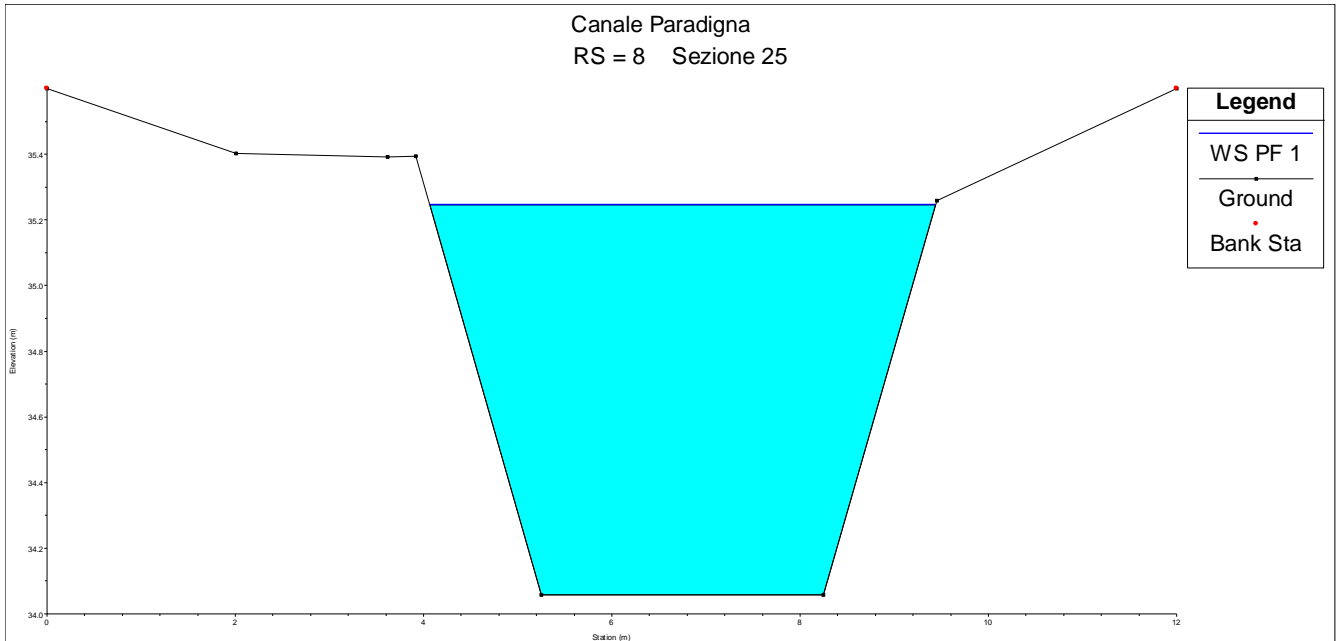


Figura 23 - Livelli idrometrici alla sezione 25 allo stato di progetto

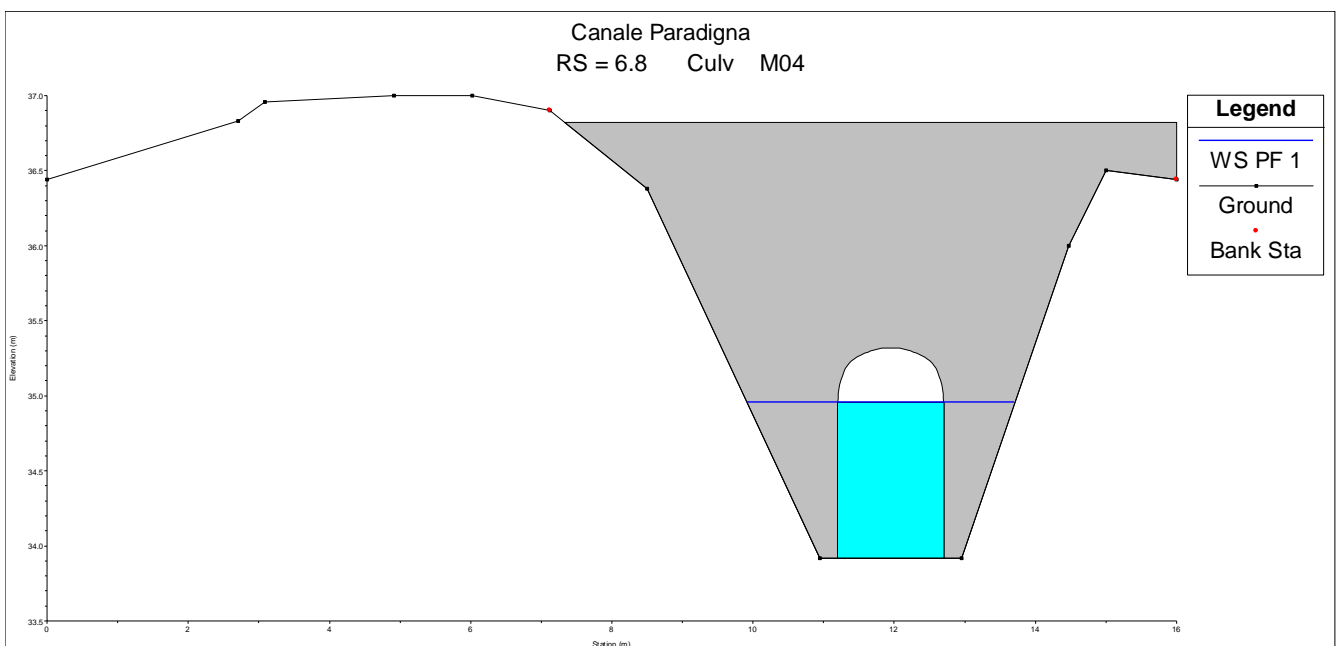


Figura 24 - Livelli idrometrici alla sezione Manufatto M04 allo stato di progetto



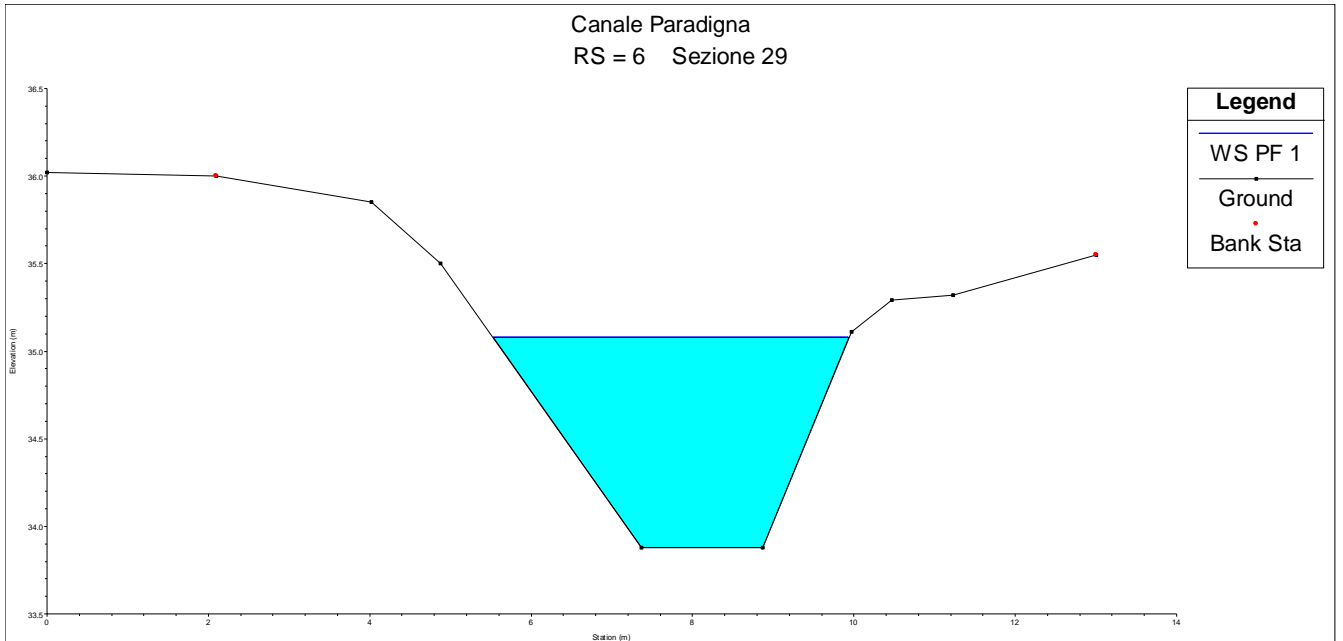


Figura 25 - Livelli idrometrici alla sezione 29 allo stato di progetto

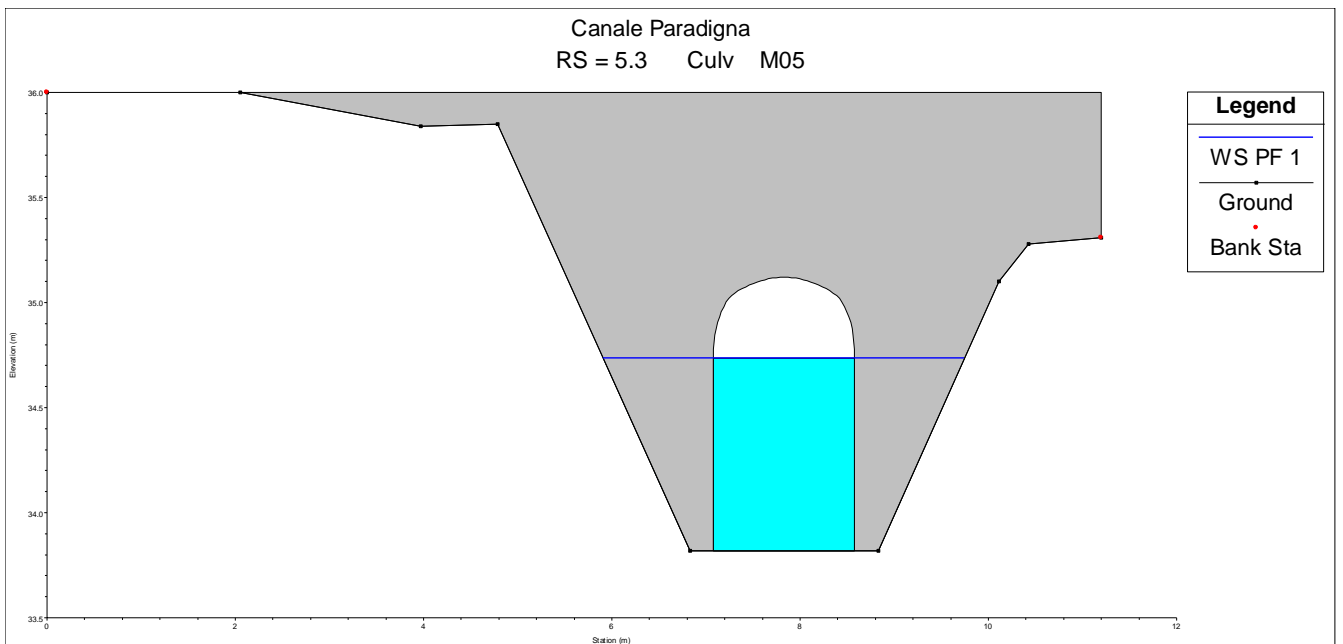


Figura 26 - Livelli idrometrici alla sezione Manufatto M06 allo stato di progetto

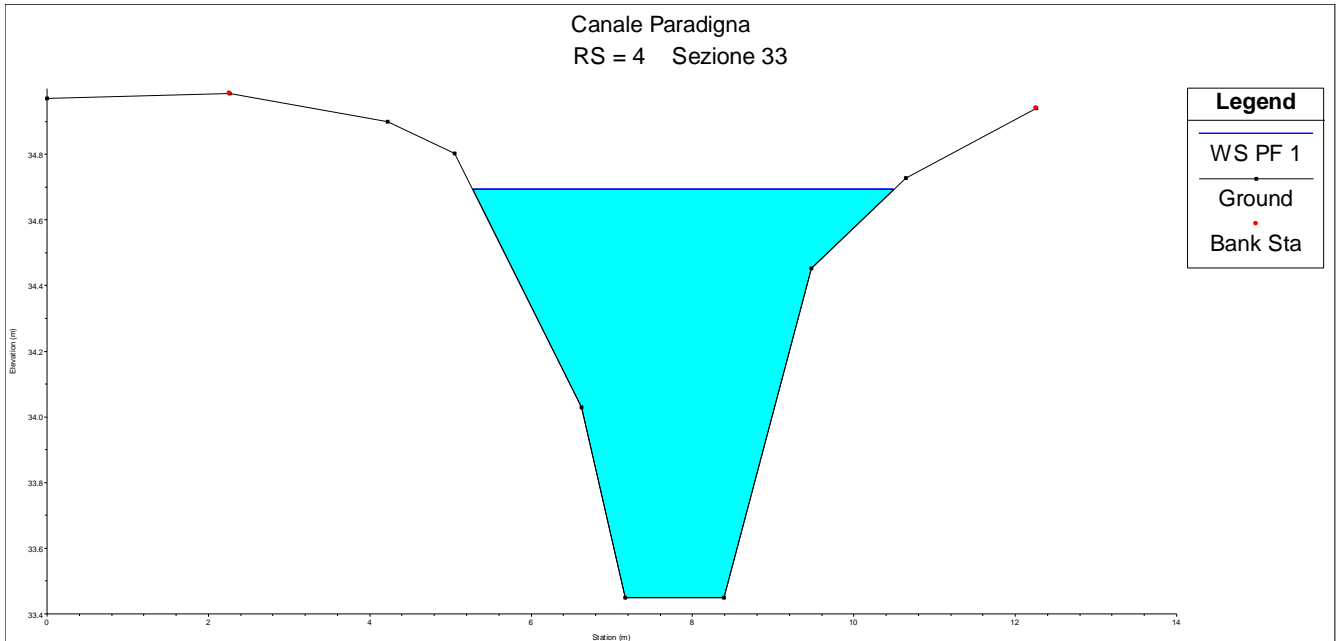


Figura 27 - Livelli idrometrici alla sezione 33 allo stato di progetto

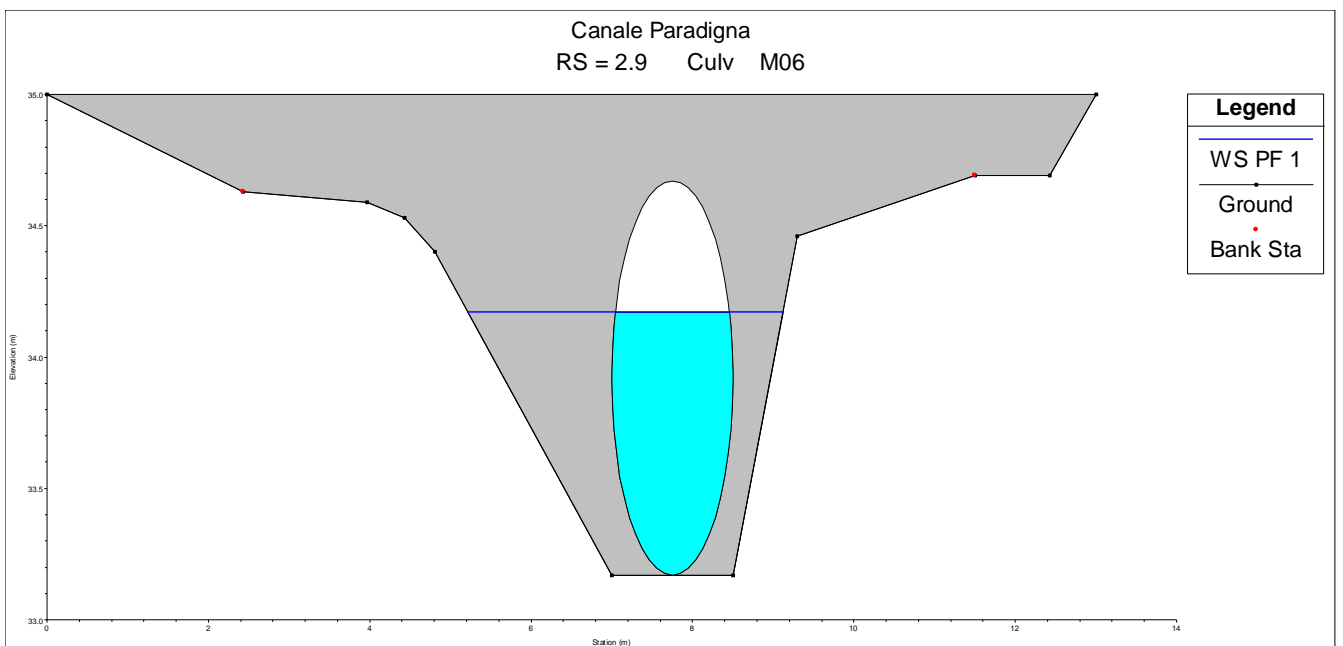


Figura 28 - Livelli idrometrici alla sezione Manufatti M06 allo stato di progetto

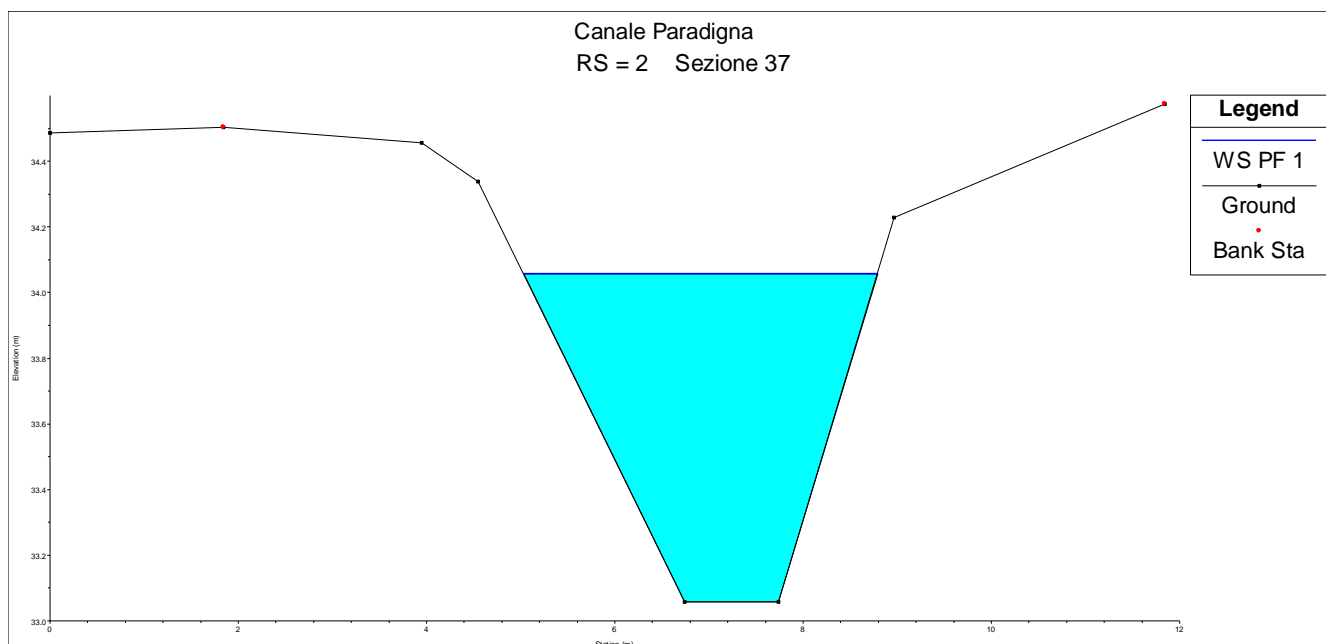


Figura 29 - Livelli idrometrici alla sezione 37 allo stato di progetto

### 5.3.2 CONFIGURAZIONE A2

| Profile                                     | Q                            | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Elev<br>(m/s) | Froude |
|---|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
|   | Total<br>(m <sup>3</sup> /s) |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Scatolare                                   | 3.4                          | 34.69            | 36.3             | 35.28            | 36.32            | 0.66               | 0.19   |
| Manufatto esistente 200x150 cm              |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Monte Civico 122                            | 3.4                          | 34.38            | 36.01            | 34.96            | 36.03            | 0.6                | 0.18   |
| Manufatto in progetto Civico 122 200x150 cm |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Valle Civico 122                            | 3.4                          | 34.37            | 35.95            |                  | 35.97            | 0.63               | 0.19   |
| Sez.1                                       | 3.4                          | 34.37            | 35.88            |                  | 35.95            | 1.17               | 0.36   |
| Sez.3                                       | 3.4                          | 34.36            | 35.82            |                  | 35.87            | 0.94               | 0.31   |
| Sez.5                                       | 3.4                          | 34.31            | 35.76            |                  | 35.81            | 0.96               | 0.32   |
| Sez.7.1                                     | 3.4                          | 34.31            | 35.74            | 35.06            | 35.79            | 0.92               | 0.3    |
| Manufatto M02                               |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.7.2                                     | 3.4                          | 34.31            | 35.56            |                  | 35.62            | 1.14               | 0.4    |
| Sez.9                                       | 3.4                          | 34.25            | 35.45            |                  | 35.54            | 1.35               | 0.49   |
| Sez.11                                      | 3.4                          | 34.22            | 35.44            |                  | 35.48            | 0.86               | 0.29   |
| Sez.13                                      | 3.4                          | 34.19            | 35.41            |                  | 35.45            | 0.85               | 0.31   |
| Sez.15                                      | 3.4                          | 34.15            | 35.38            |                  | 35.42            | 0.85               | 0.3    |
| Sez.17                                      | 3.4                          | 34.1             | 35.37            |                  | 35.4             | 0.82               | 0.29   |
| Sez.19                                      | 3.4                          | 34.09            | 35.35            |                  | 35.39            | 0.83               | 0.29   |
| Sez.21                                      | 3.4                          | 34.08            | 35.32            |                  | 35.35            | 0.83               | 0.34   |
| Sez.22                                      | 3.4                          | 34.07            | 35.3             |                  | 35.34            | 0.85               | 0.33   |
| Sez.23                                      | 3.4                          | 34.07            | 35.31            |                  | 35.33            | 0.62               | 0.26   |
| Manufatto M03                               |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.24                                      | 3.4                          | 34.06            | 35.25            |                  | 35.27            | 0.68               | 0.23   |



| Profile       | Q                            | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Elev<br>(m/s) | Froude |
|---------------|------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------|
|               | Total<br>(m <sup>3</sup> /s) |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.25        | 3.4                          | 34.06            | 35.25            |                  | 35.27            | 0.68               | 0.23   |
| Sez.26        | 3.4                          | 34.03            | 35.24            |                  | 35.26            | 0.59               | 0.19   |
| Sez.27        | 3.4                          | 33.92            | 35.21            | 34.52            | 35.25            | 0.84               | 0.28   |
| Manufatto M04 |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.28        | 3.4                          | 33.88            | 35.1             |                  | 35.13            | 0.83               | 0.28   |
| Sez.29        | 3.4                          | 33.88            | 35.08            |                  | 35.12            | 0.96               | 0.34   |
| Sez.30        | 3.4                          | 33.82            | 35.07            | 34.42            | 35.11            | 0.83               | 0.28   |
| Manufatto M05 |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.31        | 3.4                          | 33.81            | 34.79            |                  | 34.85            | 1.09               | 0.46   |
| Sez.33        | 3.4                          | 33.45            | 34.69            |                  | 34.74            | 1                  | 0.39   |
| Sez.35        | 3.4                          | 33.17            | 34.64            | 33.84            | 34.66            | 0.68               | 0.26   |
| Manufatto M06 |                              |                  |                  |                  |                  |                    |        |
| Sez.37        | 3.4                          | 33.06            | 34.07            |                  | 34.17            | 1.4                | 0.56   |
| Sez.39        | 3.4                          | 32.53            | 33.9             | 33.3             | 33.94            | 0.93               | 0.34   |

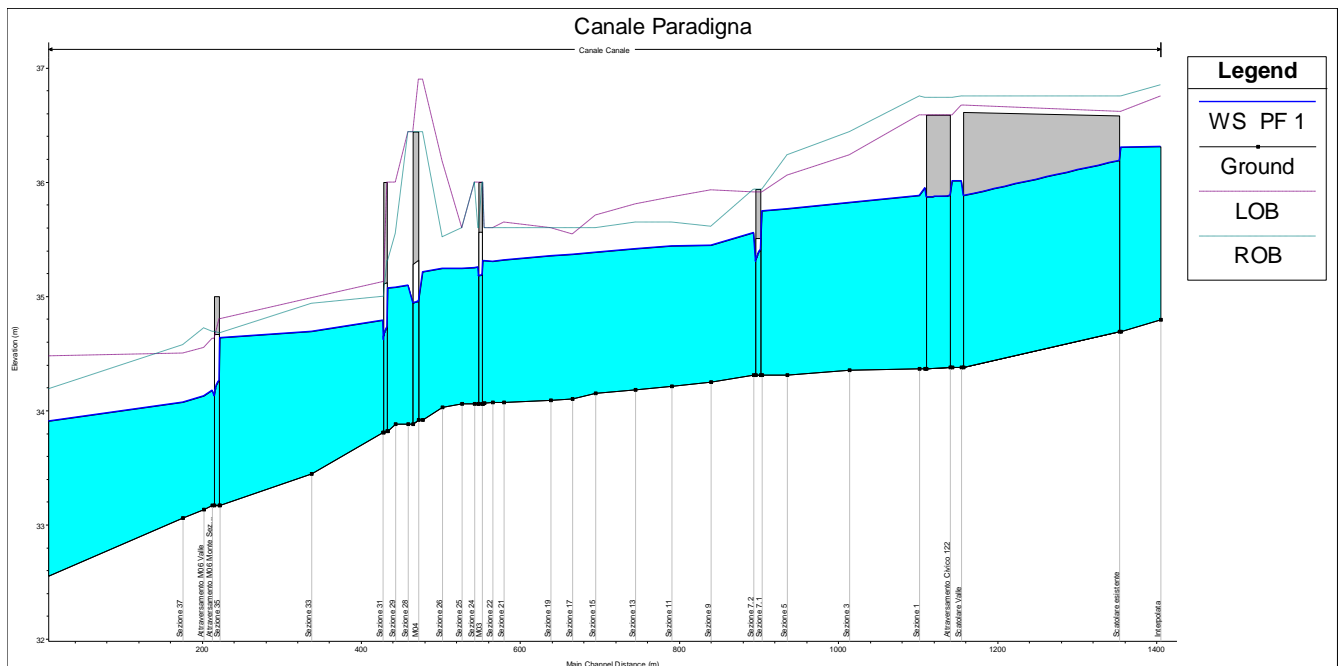


Figura 30 - Massimo inviluppo dei profili di rigurgito del tratto del canale nella configurazione A2

L'effetto di rigurgito del Canale Naviglio comporta nel tratto terminale del canale oggetto di studio un aumento dei livelli idrici in media di circa 50 cm senza che si verifichino fuoriuscite né allagamenti.

**Gli interventi di adeguamento in progetto, da realizzare attraverso la riprofilatura di fondo e il rizezionamento d'alveo del tratto a cielo aperto con allargamento della sezione di deflusso, permettono il deflusso della portata di progetto (3.4 m<sup>3</sup>/s), senza che si verifichino fuoriuscite né allagamenti lungo il tratto analizzato.**