

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J81H02000000001

## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

## COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE)

### TRATTA PARMA - VICOFERTILE

#### 09-IDRAULICA E IDROLOGIA

IN11 - INTERFERENZA CAVO MARETTO (pk.6+700)

#### RELAZIONE DI MODELLAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

SCALA:

-

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

I P 0 0    0 0    D    2 6    R I    I N 1 1 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P. Cucino	Feb 2022	C. Cappellini	Feb 2022	G. Fadda	Feb 2022	A. Perego Ott 2022
B	AGGIORNAMENTO POST VERIFICA RFI	P. Cucino	Ott 2022	C. Cappellini	Ott 2022	G. Fadda	Ott 2022	

File: IP0000D26RIIN1100001B.docx

n. Elab.

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>OGGETTO DELLA RELAZIONE .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>NORMATIVA NAZIONALE .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>NORMATIVA REGIONALE E LOCALE .....</b>	<b>7</b>
<b>3.3</b>	<b>DOCUMENTI TECNICI .....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>DISPOSIZIONI NORMATIVE .....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>PAI-AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO.....</b>	<b>10</b>
<b>4.2</b>	<b>PGRA-DISTRETTO IDROGRAFICO PADANO .....</b>	<b>12</b>
<b>4.3</b>	<b>COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>INQUADRAMENTO MORFOLOGICO DELL'AREA INTERESSATA.....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>18</b>
<b>6.1</b>	<b>DEFINIZIONE DEGLI INPUT PLUVIOMETRICI .....</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>ANALISI GEOMORFOLOGICA DEL BACINO .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>MODELLAZIONE IDROLOGICA .....</b>	<b>24</b>
<b>9.1</b>	<b>LE PERDITE DI BACINO: METODO CN DEL SCS.....</b>	<b>24</b>
<b>9.2</b>	<b>TRASFORMAZIONE AFFLUSSI NETTI – DEFLUSSI .....</b>	<b>27</b>
<b>9.2.1</b>	<b>L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS).....</b>	<b>27</b>
<b>9.3</b>	<b>RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA: IDROGRAMMI DI PIENA.....</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>31</b>
<b>10.1</b>	<b>MODELLO MATEMATICO A MOTO VARIO MONODIMENSIONALE .....</b>	<b>31</b>
<b>10.2</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO IDRAULICO .....</b>	<b>32</b>
<b>10.3</b>	<b>PARAMETRI DI SCABREZZA E COEFFICIENTI DI PERDITA CONCENTRATA.....</b>	<b>34</b>
<b>10.4</b>	<b>CRITERI DI MODELLAZIONE DI PONTI E TOMBINI .....</b>	<b>34</b>
<b>10.5</b>	<b>CONDIZIONI AL CONTORNO E IDROGRAMMI DI PIENA.....</b>	<b>35</b>

<b>10.6 IMPOSTAZIONI DI CALCOLO.....</b>	<b>35</b>
<b>11 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE.....</b>	<b>36</b>
<b>11.1 SCENARI DI CALCOLO .....</b>	<b>36</b>
<b>11.2 SITUAZIONE ANTE-OPERAM.....</b>	<b>36</b>
<b>11.3 SITUAZIONE POST-OPERAM.....</b>	<b>41</b>
<b>11.4 CONCLUSIONI.....</b>	<b>44</b>
<b>12 ALLEGATI HEC-RAS .....</b>	<b>45</b>
<b>12.1 STATO ANTE-OPERAM .....</b>	<b>45</b>
<b>12.2 STATO POST-OPERAM .....</b>	<b>49</b>

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 4 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 4-1 SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI .....	9
FIGURA 4-2 INQUADRAMENTO FASCE DI ESONDAZIONE DA PAI.....	11
FIGURA 4-3 INQUADRAMENTO AREE DI ESONDAZIONE DA PGRA E RRI PARMA.....	13
FIGURA 5-1 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO E INDICAZIONE DEI PRINCIPALI CORSI D'ACQUA .....	17
FIGURA 7-1 BACINO IDROGRAFICO .....	20
FIGURA 9-1 VARIABILITÀ DEL PARAMETRO CN3.....	26
FIGURA 9-2 IDROGRAMMA UNITARIO SCS .....	27
FIGURA 9-3 MODELLO HMS IMPLEMENTATO .....	29
FIGURA 10-1 PLANIMETRIA DI MODELLAZIONE IDRAULICA .....	33
FIGURA 11-1 PROSPETTO NORD DELLO STATO ATTUALE DELL'ATTRAVERSAMENTO.....	37
FIGURA 11-2 STATO ATTUALE DELL'ATTRAVERSAMENTO CAVO MARETTO – PROSPETTO NORD.....	37
FIGURA 11-3 PROSPETTO SUD DELLO STATO ATTUALE DELL'ATTRAVERSAMENTO .....	38
FIGURA 11-4 STATO ATTUALE DELL'ATTRAVERSAMENTO CAVO MARETTO – PROSPETTO SUD .....	38
FIGURA 11-5 STATO DI PROGETTO DELL'ATTRAVERSAMENTO IN11 – SEZIONE SCATOLARE.....	41
FIGURA 11-6 STATO DI PROGETTO DELL'ATTRAVERSAMENTO IN11 – PROFILO LONGITUDINALE .....	41

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4-1 DEFINIZIONE DEI TEMPI DI RITORNO PER CIASCUN AMBITO TERRITORIALE .....	12
TABELLA 6-1 LSPP.....	18
TABELLA 7-1 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEL BACINO. ....	21
TABELLA 8-1 VALORI DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE E DI RITARDO .....	23
TABELLA 9-1 VALORI DEL PARAMETRO CN FORNITI DAL CBP.....	25
TABELLA 9-2 CLASSI AMC METODO CN .....	26
TABELLA 9-3 VALORI CURVE NUMBER IMPIEGATI NELLA MODELLAZIONE.....	27
TABELLA 9-4 TABELLA DI CORRISPONDENZA PER LA SCELTA DEL PRF.....	28
TABELLA 9-5 VALORI DI PRF SCELTI .....	28
TABELLA 9-6 ELENCO SIMULAZIONI IDROLOGICHE .....	29
TABELLA 9-7 PICCHI DI PIENA [M <sup>3</sup> /s].....	30
TABELLA 10-1 VALORI DEL COEFFICIENTE DI MANNING NELLA MODELLAZIONE 1D .....	34
TABELLA 10-2 ASSEGNAZIONE DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO DENTRO IL MODELLO IDRAULICO .....	35
TABELLA 11-1 ELENCO SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	36

## 1 PREMESSA

Con “Pontremolese” viene comunemente intesa la linea ferroviaria Parma – La Spezia, linea che congiunge come trasversale la linea Tirrenica con la dorsale Roma-Firenze-Bologna-Milano.

Nel 1976 entra a far parte del Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero (Ti-Bre) e fra gli anni '80 e '90 vengono realizzati il raddoppio delle tratte Vezzano Ligure-S.Stefano di Magra, e Ghiare di Berceto-Solignano e successivamente viene realizzato il prolungamento del raddoppio Solignano-Fornovo. A seguito dell’emanazione della Legge n. 443 del 21 dicembre 2001 (Legge Obiettivo), la restante parte da raddoppiare della linea (Parma-Osteriazza e Berceto-Chiesaccia) è stata inserita fra le opere strategiche.

Con Delibera n.19 del 8 maggio 2009, pubblicata sulla G.U.R.I. n. 301 del 29 dicembre 2009, il CIPE approva il Progetto Preliminare del Completamento del 2003. Delle tratte comprese tra Parma e Osteriazza e tra Berceto e Chiesaccia, vengono individuati tre lotti funzionali:

- Parma-Osteriazza
- Berceto-Pontremoli
- Pontremoli-Chiesaccia.

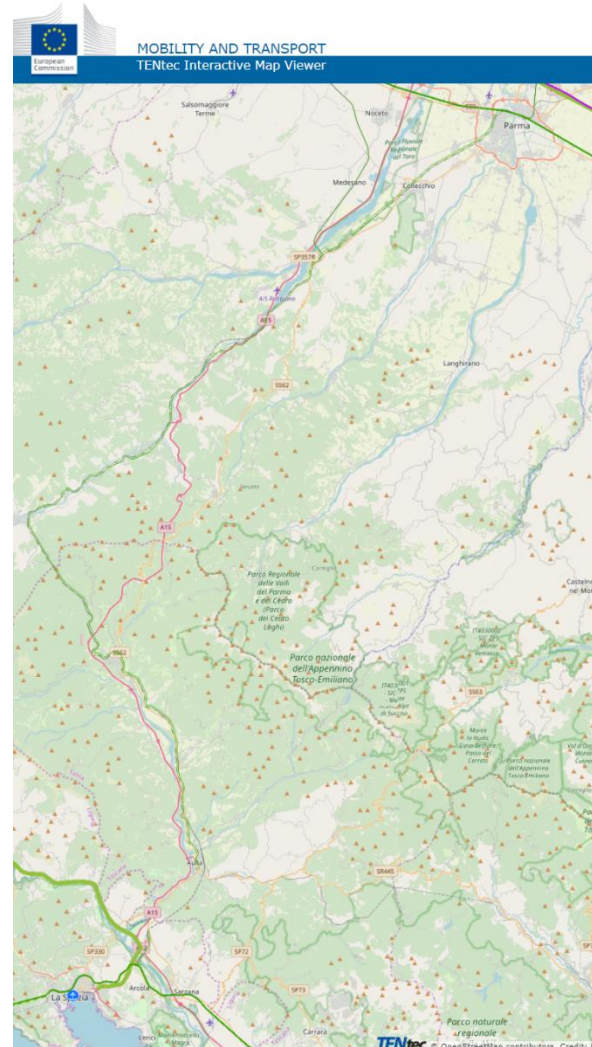
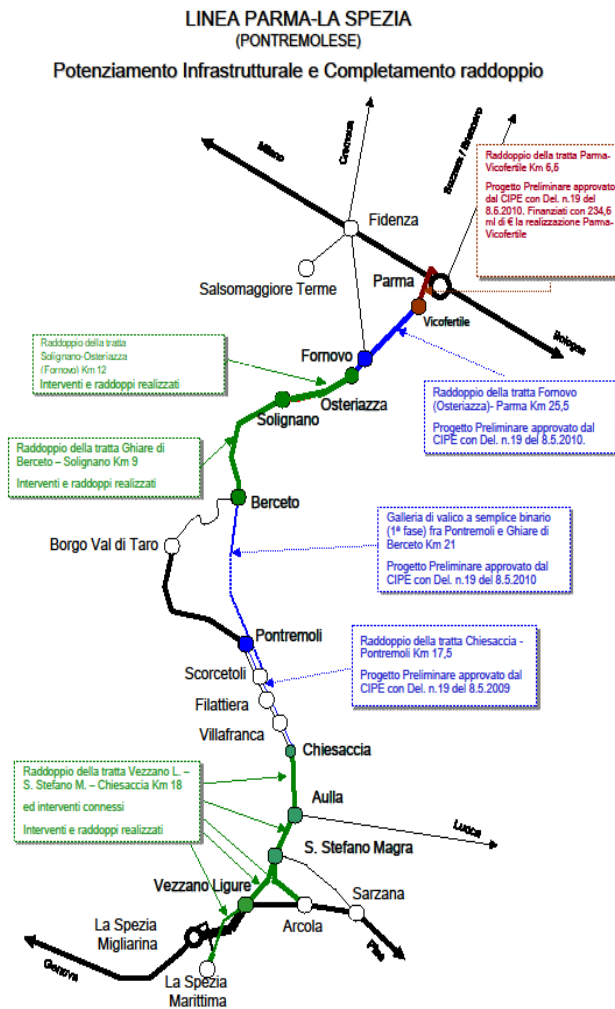
Di questi tre lotti funzionali, nella stessa Delibera, è stato individuato il primo, quello Parma-Osteriazza, come lotto prioritario, a sua volta suddiviso nei tre sub lotti Parma-Vicofertile, Vicofertile-Collecchio e Collecchio-Osteriazza.

Il progetto in oggetto è relativo al progetto definitivo del raddoppio della tratta Parma- Vicofertile

Rispetto al tracciato sviluppato nel Progetto Preliminare del 2004, il Progetto Definitivo vede una variante di tracciato per la parte d’innesto del raddoppio nei binari della stazione di Parma: la coppia di binari garantisce le relazioni merci Fornovo Bologna (direzioni P/D) e il solo binario dispari garantisce le relazioni viaggiatori con La Spezia attestata a Parma (evitando di fuori uscire dal corridoio urbanistico).

Tale variante, oltre a portare notevoli benefici ferroviari nella Stazione di Parma, permetterà di risolvere all’interno dell’abitato di Parma le interferenze della linea Pontremolese con la viabilità ordinaria e di rendere disponibile alla città un tratto di circa 3,5 km (il vecchio binario di tracciato).

Nel seguente schema si riporta lo stato attuale della linea con evidenziati i tratti già raddoppiati, quelli in corso di realizzazione e di progettazione.



## 2 OGGETTO DELLA RELAZIONE

La presente relazione ha come obiettivo quello di simulare il comportamento idraulico dell'attraversamento del Cavo Maretto, al fine di determinare le dimensioni di progetto del tombino sullo stesso corso d'acqua, nel rispetto delle NTC2018.

La determinazione della portata avverrà con il software HEC-HMS; la simulazione idraulica verrà svolta in moto vario con il software HEC-RAS, entrambi sviluppati dall'U.S. Army Corp of Engineers.

### 3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Con specifico riferimento agli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, i riferimenti principali nel campo idrologico-idraulico sono elencati nel seguito.

#### 3.1 NORMATIVA NAZIONALE

- [1] R.D. 25/07/1904, n. 523 – “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- [2] Legge 18 maggio 1989, n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo;
- [3] L. 36/94 (Legge Galli). Disposizioni in materia di risorse idriche;
- [4] D.P.R. 14 aprile 1994. Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale;
- [5] Dpcm 4/3/96. Disposizioni in materia di risorse idriche;
- [6] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale;
- [7] Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta “Direttiva Alluvioni”
- [8] Manuale di Progettazione RFI – Edizione 2021;
- [9] Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018)
- [10] Circolare 21 gennaio 2019 n.7 “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;

#### 3.2 NORMATIVA REGIONALE E LOCALE

- [1] DGR 1300 del 1° agosto 2016: prime disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione del rischio di alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell’art. 58 elaborato n. 7 (norme di attuazione) e dell’art. 22 elaborato n. 5 (norme di attuazione) del progetto di variante al PAI e al PAI Delta adottato dal Comitato Istituzionale Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazioni n. 5/2015;
- [2] PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) approvato con Deliberazione n.2/2016 dall’Autorità di Bacino del Po;
- [3] Variante di coordinamento PAI-PGRA" (DGR 2112/2016) - AdBRR;

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 8 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

- [4] REGOLAMENTO DI POLIZIA IDRAULICA DEL CONSORZIO DI BONIFICA PARMENSE, 2018;
- [5] Regolamento di gestione del Rischio Idraulico (RRI) - Comune di Parma, Febbraio 2020;
- [6] Piano Stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI, AdBPo) – DPCM 24/05/2001;
- [7] Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica – Norme di Attuazione del PAI dell'AdBPo, Allegato 3;
- [8] Adeguamento tematico del P.T.C.P. alla "Variante al Piano per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI): torrente Baganza da Calestano a confluenza Parma e torrente Parma zona confluenza Baganza" – Del. del C.I. n. 4 del 7 dicembre 2016;

### **3.3 DOCUMENTI TECNICI**

- [1] D. Citrini, G. Nosedà – "Idraulica" – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- [2] F. Arredi – "Costruzioni Idrauliche" – Utet – 1987;
- [3] L. Da Deppo, C. Datei – "Fognature" – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- [4] S. Artina et al. – "Sistemi di Fognatura" – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997;



Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 9 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

## 4 DISPOSIZIONI NORMATIVE

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 7 distretti idrografici, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di Bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico e responsabile della redazione del Piano di Gestione (art. 117).



**Figura 4-1 Suddivisione territoriale in distretti**

Le opere in progetto, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE ricadono nel bacino idrografico del fiume Po, di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

Di conseguenza, l'analisi idraulica condotta nel seguito dovrà considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore nella zona in esame; in particolare:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino idrografico del fiume Po;
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) approvato con Deliberazione n.2/2016 dall'Autorità di Bacino del Po.

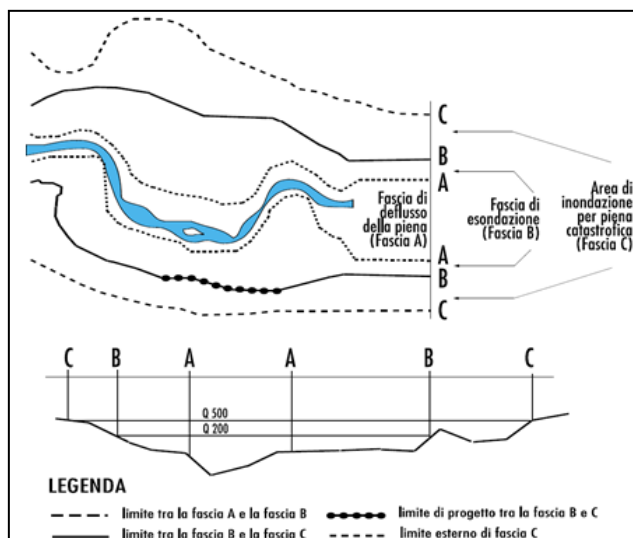
## 4.1 PAI-AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO

Il Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po, attraverso le sue disposizioni, persegue l'obiettivo di garantire al territorio del bacino del fiume Po un livello di sicurezza adeguato rispetto ai fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico, attraverso il ripristino degli equilibri idrogeologici e ambientali, il recupero degli ambiti fluviali e del sistema delle acque, la programmazione degli usi del suolo ai fini della difesa, della stabilizzazione e del consolidamento dei terreni, il recupero delle aree fluviali, con particolare attenzione a quelle degradate, anche attraverso usi ricreativi.

Sulla base del PAI, l'alveo fluviale e la parte di territorio limitrofo costituente nel complesso la regione fluviale, sono oggetto di una suddivisione in fasce fluviali, la cui delimitazione è eseguita in funzione dei principali elementi dell'alveo che ne determinano la connotazione fisica: caratteristiche geomorfologiche, dinamica evolutiva, opere idrauliche, caratteristiche naturali e ambientali. Nello specifico, le fasce fluviali definite dal PAI sono le seguenti:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena, si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.
- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

La figura seguente riporta uno schema esplicativo della definizione delle fasce fluviali.



Schema per la delimitazione delle fasce fluviali

Dagli inquadramenti delle aree di esondazione PAI/PGRA (cod. elaborato IP0000D26N4ID0002001A), di seguito si riportano:

- In rosso il tracciato dell'infrastruttura ferroviaria in progetto
- le fasce fluviali definite dal PAI.

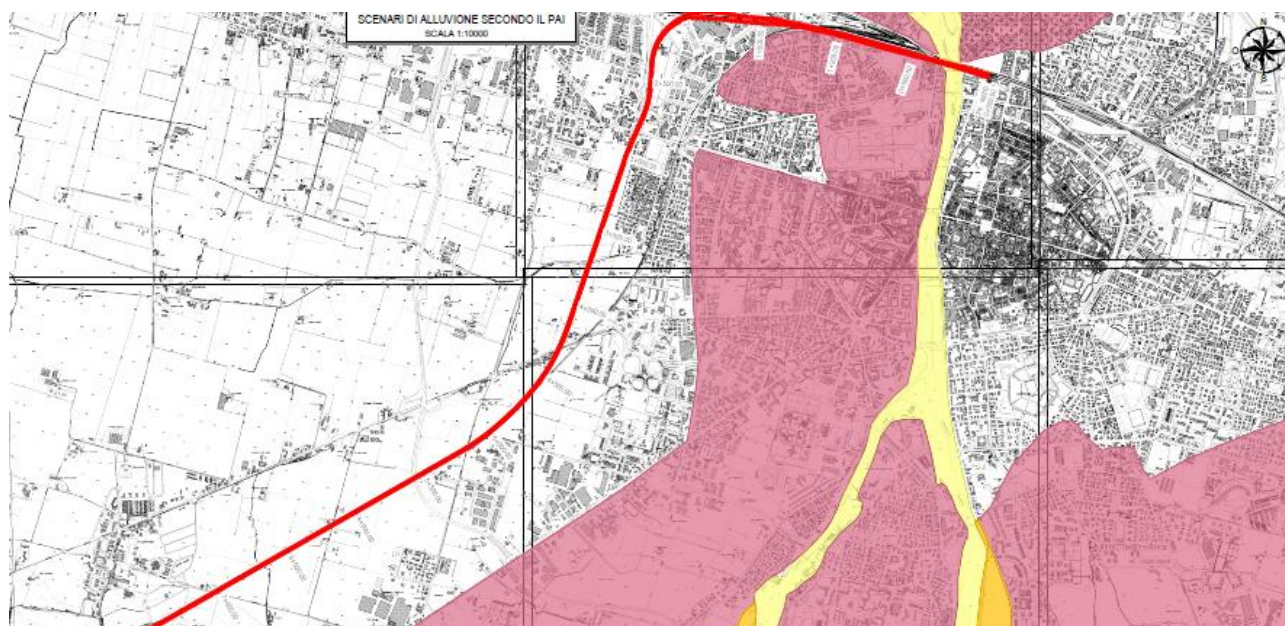


Figura 4-2 Inquadramento fasce di esondazione da PAI.

Come si evince dalla tavola del PAI del bacino del fiume Po, l'intervento infrastrutturale in progetto è esterno alle aree di pericolosità idraulica, ad eccezione della stazione di Parma la quale è però rialzata rispetto al piano campagna adiacente.

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 12 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

## 4.2 PGRA-DISTRETTO IDROGRAFICO PADANO

Le norme comunitarie prevedono l'obbligo di predisporre per ogni distretto, a partire dal quadro della pericolosità e del rischio di alluvioni definito con l'attività di mappatura, uno o più Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (art. 7 D. Lgs. 49/2010 e art. 7 Dir. 2007/60/CE), contenenti le misure necessarie per raggiungere l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali nei confronti della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali. A tal proposito, l'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE identifica tre scenari su cui valutare la pericolosità idraulica:

- scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (tempo di ritorno > 500 anni);
- alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità di alluvione);
- alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni (elevata probabilità di alluvione).

Il Distretto idrografico Padano, vista la rilevante estensione del bacino del fiume Po e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico, ha disposto di effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali di seguito definiti:

- Reticolo principale (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura (RSP);
- Aree costiere marine (ACM);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe delle aree allagabili rappresentano l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento, come riportato nella tabella seguente:

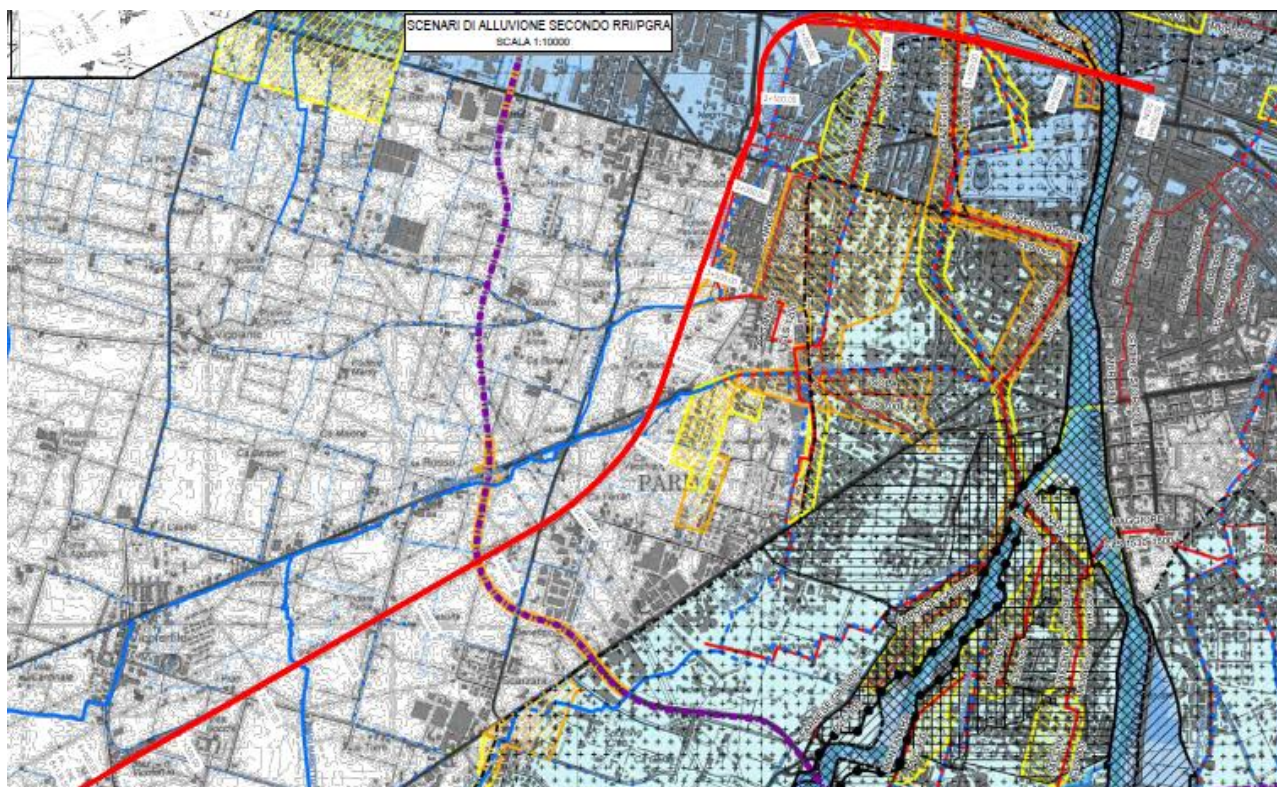
Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Tabella 4-1 Definizione dei tempi di ritorno per ciascun ambito territoriale

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 13 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Dagli inquadramenti delle aree di esondazione PAI/PGRA (cod. elaborato IP0000D26N4ID0002001A), di seguito si riportano:

- In rosso il tracciato dell'infrastruttura ferroviaria in progetto
- le aree a pericolosità idraulica definita dal PGRA.



**Figura 4-3 Inquadramento aree di esondazione da PGRA e RRI Parma.**

Come si evince dalla tavola del Regolamento del Rischio Idraulico del Comune di Parma (integrativo rispetto al PGRA), l'intervento infrastrutturale ricade in aree a pericolosità di alluvioni media secondo il PGRA, con tempo di ritorno atteso dell'evento di 200 anni. In particolare, il tratto d'opera di progetto che ricade in aree a pericolosità idraulica P2 si estende dalla stazione di Parma (che si trova in posizione rialzata rispetto al circostante piano campagna) fino alla rotatoria di Via Emilia Ovest (sempre nel comune di Parma).

### 4.3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Dall'analisi della normativa vigente in materia di aree di esondazione si evidenzia che l'area interessata dalla realizzazione delle opere di progetto lambisce le fasce fluviali di esondazione ai sensi del PAI, mentre interessa in alcuni punti aree a pericolosità di alluvioni media secondo il PGRA, con tempo di ritorno dell'evento di 200 anni. In particolare, il tratto d'opera di progetto che ricade in aree a pericolosità idraulica P2 si estende dalla stazione di Parma (che si trova in posizione decisamente rialzata rispetto al circostante piano campagna) fino alla rotatoria di Via Emilia Ovest (sempre nel comune di Parma).

Tuttavia, la porzione citata ricade in aree a pericolosità idraulica da RSP (Reticolo Secondario di Pianura), la cui mappatura è stata messa a punto secondo un criterio "storico-inventariale" ed i cui valori di tiranti e velocità risultano "esigui", così come riportato nel documento messo a punto dalla regione Emilia-Romagna "Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell'art. 58 elaborato n. 7 (norme di attuazione) e dell'art. 22 elaborato n. 5 (norme di attuazione) del Progetto di variante al PAI e al PAI Delta, adottato dal comitato istituzionale Autorità di bacino del fiume Po con deliberazioni n. 5/2015".

In aggiunta a ciò, gli interventi in progetto sono stati protetti dall'ingresso dell'acqua mediante la realizzazione di dispositivi di disconnessione idraulica (sopraelevazione delle opere in progetto laddove possibile, dossi lungo le viabilità, muri perimetrali ad imbocco/sbocco della galleria, cancelli a tenuta stagna), in maniera tale da proteggerli da possibili allagamenti. Per maggiori dettagli, si rimanda all'elaborato IP0000D26RIID0102001.

Inoltre, essendo gli interventi in progetto classificabili come interventi di interesse pubblico, si richiamano le indicazioni fornite dall'art. 38 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po, per inquadrarne la fattibilità.

**Art. 38. Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico**

1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modificano i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui la comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.
2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.

Alla luce di quanto esplicitato in precedenza, si può affermare che l'intervento in oggetto non concorre ad incrementare le condizioni di rischio idraulica, né in loco né in aree limitrofe. Inoltre, l'intervento in essere:

- non pregiudica la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area;
- non produce effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico, assicurando l'assenza di interferenze negative con il regime delle falde freatiche presenti;
- garantisce il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;
- assicura il mantenimento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e la sicurezza delle opere di difesa esistenti;
- non produce effetti in termini di squilibrio degli attuali bilanci della risorsa idrica (prelievi e scarichi).

In conseguenza di ciò, è possibile affermare che le nuove opere in progetto risultano idraulicamente compatibili con le norme che disciplinano gli interventi ricadenti in aree interessate da inondazioni.

## 5 DESCRIZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria compresa tra le stazioni di Parma e Vicofertile, il presente Progetto Definitivo prevede il raddoppio della linea storica con affiancamento alla linea esistente, ad eccezione del tratto che corre all'interno del centro abitato di Parma, laddove è prevista una galleria artificiale sotterranea, così come da elaborati redatti nella precedente fase progettuale.

Dal punto di vista idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria interferisce con il reticolo idrografico superficiale costituito principalmente da canali irrigui gestiti dal Consorzio di Bonifica Parmense (di seguito indicato CBP) e dal Consorzio Naviglio-Taro (di seguito indicato CNT).

Nel tracciato di variante, a causa della forte urbanizzazione del territorio, viene previsto, come prima accennato, l'inserimento di una galleria artificiale tra il km 1+790 e il km 3+760. In questo tratto l'opera interferisce con due canali principali, tra cui l'Abbeveratoioia (km 2+070) e il cavo Via Cava (km 3+730) e per cui si è resa necessaria la risoluzione delle due interferenze attraverso due sifoni. Una terza interferenza è rappresentata dal canale Navile del Taro (km 4+500), che nello specifico viene risolta mediante deviazione del corso d'acqua, affinché questo attraversi in retto la linea di progetto con un canale tombinato in calcestruzzo.

Successivamente, il tracciato, all'altezza del km 4+700, si ricongiunge alla linea esistente e si dirige verso la stazione di Vicofertile. L'interferenza idraulica della linea con il cavo Maretto è risolta mediante il rifacimento e prolungamento del tombino esistente al km 6+698.

Sono altresì presenti una serie di attraversamenti di canali irrigui esistenti di minori dimensioni risolti attraverso la ricucitura con il sistema di drenaggio ferroviario mediante il rifacimento dei tombini con sezione circolare seguendo le prescrizioni del MdP RFI e dell .

### 5.1 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO DELL'AREA INTERESSATA

Il tracciato si sviluppa all'interno del Bacino del Fiume Po, in particolare nella fascia interclusa tra il Fiume Taro ed il Fiume Parma a valle della confluenza con il Torrente Baganza.

Il bacino del Taro è costituito da due sottobacini: quello del F. Taro e quello del T. Ceno. Le rispettive vallate confluiscono poco a monte di Fornovo Taro; la superficie complessiva del bacino montano è di 1.207,49 Km<sup>2</sup>, di cui 536,99 appartenenti al T. Ceno.

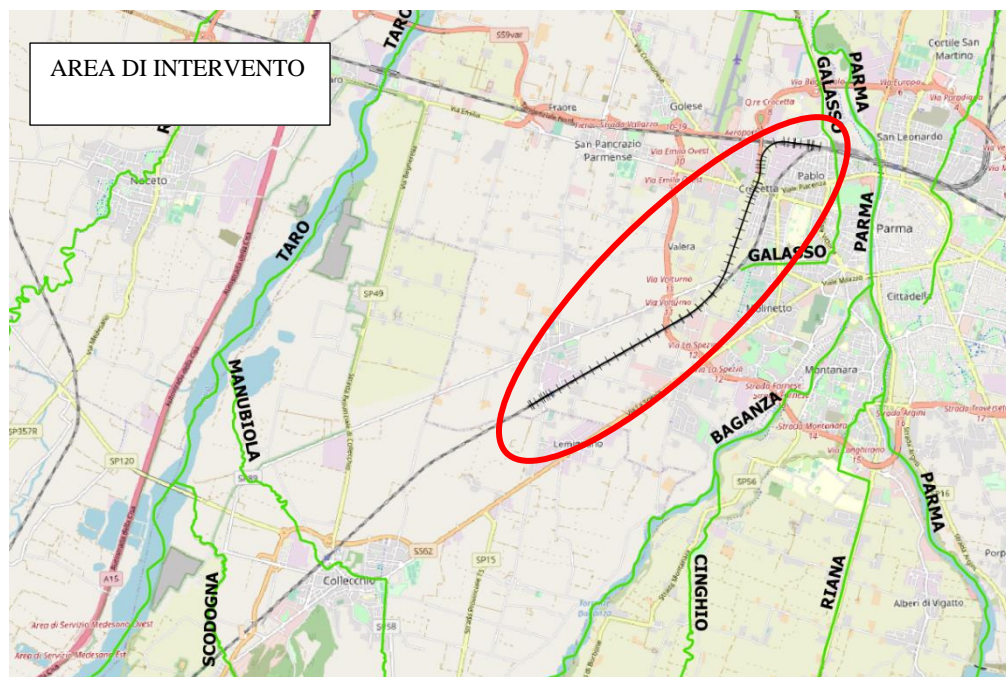
Il Fiume Parma e il Torrente Baganza formano due sottobacini montani indipendenti.

Il Baganza confluisce nel Parma alle porte della Città.

Le superfici dei bacini montani e le corrispondenti lunghezze delle aste fluviali sono rispettivamente di 316,60 Km<sup>2</sup> e 42 Km per il F. Parma e di 173,02 Km<sup>2</sup> e 38,30 Km per il T. Baganza. La quota massima presente nel



bacino del T. Baganza è di 1.401 m s.l.m. (M.te Borgognone) e quella di chiusura di 165 m s.l.m. (a Sala Baganza). La quota massima del bacino del T. Parma è toccata ai 1.852 m s.l.m. del M.te Marmagna, quella inferiore di 160 m s.l.m. alla chiusura del Ponte di Pannocchia, a valle di Langhirano.



**Figura 5-1 Inquadramento dell'area di intervento e indicazione dei principali corsi d'acqua**

## 6 ANALISI IDROLOGICA

### 6.1 DEFINIZIONE DEGLI INPUT PLUVIOMETRICI

Nell'ambito del presente progetto è stato sviluppato uno studio idrologico al fine di:

- ricavare le caratteristiche idrologiche dell'area di studio;
- individuare le portate di progetto per i principali corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria di progetto.
- Individuare le portate di progetto per il dimensionamento dei manufatti di drenaggio per lo smaltimento idraulico di piattaforma ferroviaria e stradale, ivi compreso FV e piazzali.

Per la determinazione delle leggi di pioggia si sono confrontate, per le piogge di durata maggiori di un'ora:

- Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate e fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'Allegato 3 "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense" delle Norme di attuazione del PAI;
- Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate e fornite dal Consorzio di Bonifica Parmense (CBP);
- Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate e fornite dal Comune di Parma nel Regolamento di gestione del Rischio Idraulico (RRI).

Per le piogge di durata inferiori all'ora (scrosci), si è ricorsi invece al confronto tra:

- l'analisi statistica delle piogge brevi contenuta nel RRI del Comune di Parma;
- le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate dal CBP;
- le piogge orarie fornite dall' AdB del fiume Po, modificate secondo la formula di Bell.

Dal confronto tra le varie metodologie è emerso che le curve più cautelative sono, per tutte le durate, quelle del CBP:

Tabella 6-1 LSPP

- Durate < 1 ora – Legge di pioggia fornita dal CBP:

T = 25 anni		T = 50 anni		T = 100 anni		T = 200 anni	
a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)
56.69	0.384	64.33	0.376	71.91	0.370	79.46	0.366

- Durate > 1 ora – Legge di pioggia fornita dal CBP:

T = 25 anni		T = 50 anni		T = 100 anni		T = 200 anni	
a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)	a (mm/h)	n (-)
50.46	0.295	56.76	0.300	63.01	0.304	69.26	0.307

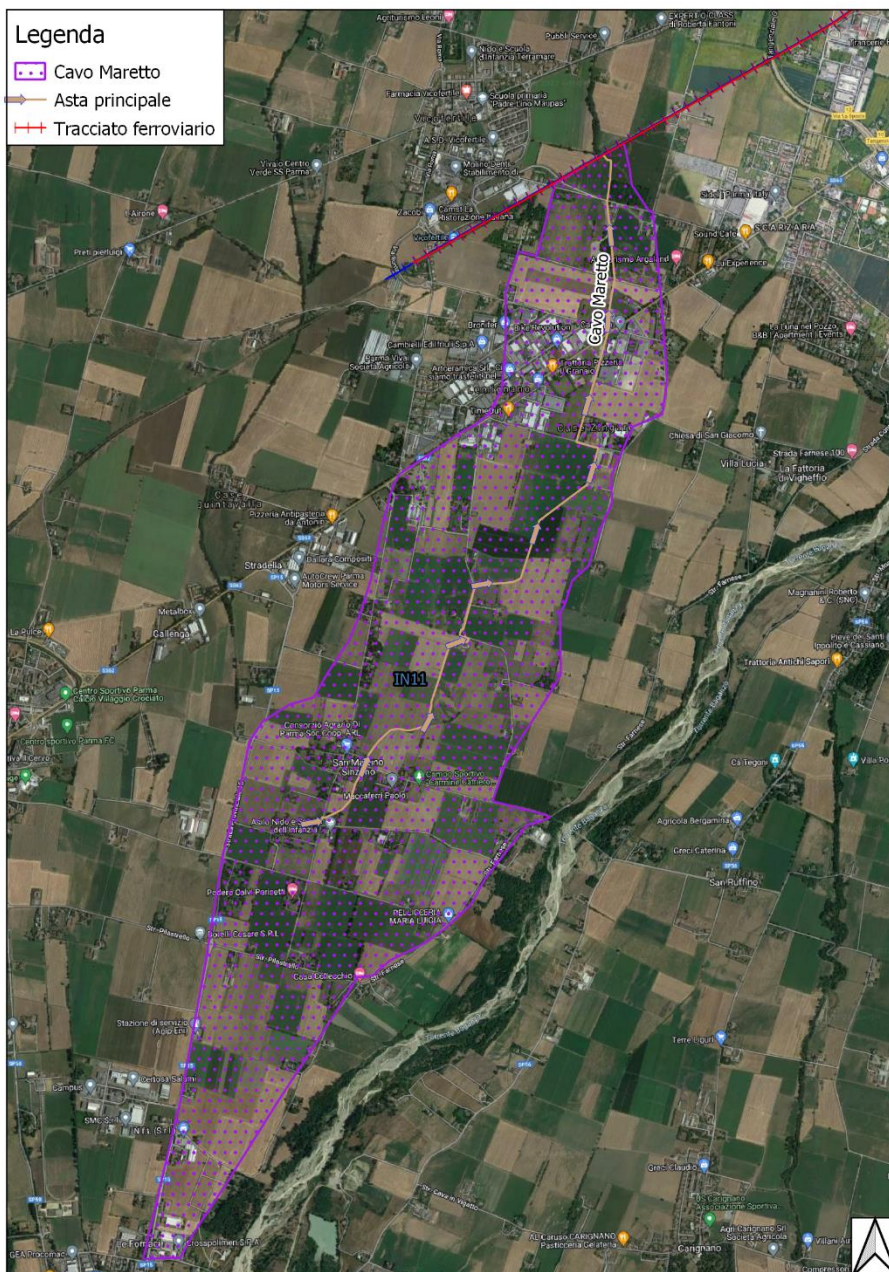
Dunque, noto l'input pluviometrico di pioggia, si procede nel seguito a:

1. Definizione della caratteristiche geomorfologiche del bacino;
2. Stima del tempo di corrivazione;
3. Stima della portata idrologica associata a tempi di ritorno duecentennali;
4. Verifica idraulica in moto vario del tombino sul Cavo Maretto.

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 20 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

## 7 ANALISI GEOMORFOLOGICA DEL BACINO

La ricostruzione degli idrogrammi di piena non può prescindere dalla definizione dei parametri morfometrici che caratterizzano il bacino idrografico del Cavo Maretto, chiuso all'interferenza con il tracciato di progetto.



**Figura 7-1 Bacino idrografico**

L'area del bacino e le principali caratteristiche geomorfologiche sono riportate nella tabella seguente; in essa,  $A$  [Km<sup>2</sup>] indica l'area del bacino,  $l_b$  [m/m] la pendenza media del bacino,  $L$  [Km] la lunghezza dell'asta principale,  $l_a$  [m/m] la pendenza media dell'asta principale,  $Z_{max}$  [msm] la quota massima,  $Z_{min}$  [msm] la quota minima,  $Z_{med}$  [msm] la quota media.

**Tabella 7-1 Caratteristiche geomorfologiche del bacino.**

<b>ID_BACINO</b>	<b>A [Km<sup>2</sup>]</b>	<b>I<sub>b</sub> [m/m]</b>	<b>L [Km]</b>	<b>I<sub>a</sub> [m/m]</b>	<b>Z<sub>max</sub> [msm]</b>	<b>Z<sub>med</sub> [msm]</b>	<b>Z<sub>min</sub> [msm]</b>
IN11 MARETTO	6.11	0.01646	4.997	0.006	148.16	108.87	77.62

## 8 STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione, valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio, è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame. Esso varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

In questo caso, il tempo di corrivazione è stato stimato in prima approssimazione sulla base di varie formule di letteratura. Sulla base delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini, si sono considerate le seguenti formule:

$$T_c = \frac{0.26}{0.6} \left( \frac{L^{0.82} (1 + S02)^{0.13}}{S_w^{0.2}} \right)$$

Rosso, Bocchiola, De Michele e Pecora

$$T_c = 0.675 A^{0.5}$$

Ferro

$$T_c = 0.02221 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.8}$$

Ferro (da dati di Kirpich-Chow-Watt-Pezzoli)

$$T_c = 0.108 \cdot \left( \frac{(AL)^{0.333}}{I^{0.5}} \right)$$

Pasini

$$T_c = 0.3 \cdot \left( \frac{L}{I^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Temez

$$T_c = 0.055 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{I}} \right)$$

Pezzoli

Nelle relazioni sopra  $A$ ,  $l$ ,  $L$ ,  $S_w$ ,  $S02$ ,  $Hm$  indicano rispettivamente l'area del bacino (Km<sup>2</sup>), la pendenza media dell'asta principale (m/m), la lunghezza dell'asta principale (Km), la pendenza media del bacino (m/m), la ritenzione massima (espressa in mm in funzione del valore del CN2) e la quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (msm).

Il tempo di ritardo  $T_{Lag}$  è calcolato a partire dal tempo di corrivazione  $T_c$ , con la seguente formula:

$$T_{Lag} = 0.6 T_c$$

Di seguito si riportano i valori adottati per la presente progettazione; il tempo di corrivazione scelto è quello che si ottiene con la formula di Pasini perché meglio si adatta alle caratteristiche geomorfologiche del bacino oggetto di studio.

**Tabella 8-1 Valori del tempo di corrivazione e di ritardo**

<b>ID_BACINO</b>	<b>T<sub>c</sub> [ore]</b>	<b>T<sub>lag</sub> [min]</b>
IN 11 – MARETTO	4.36	156.9

## 9 MODELLAZIONE IDROLOGICA

Il modello idrologico implementato per il bacino del Cavo Maretto è stato realizzato con il software HEC-HMS.

Al bacino è stato assegnato un input pluviometrico sotto forma di ietogramma triangolare con picco di piena posto a metà della durata di precipitazione.

La pioggia netta è stata calcolata adottando il modello di calcolo delle perdite sviluppato dal *Soil Conservation Service SCS* (oggi denominato “*Natural Resources Conservation Service*” – NRCS) e basato sul parametro adimensionale *Curve Number (CN)*.

La trasformazione afflussi netti – deflussi è stata effettuata con il modello *dell'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS)*.

Nei paragrafi seguenti, una volta definite le principali caratteristiche del bacino oggetto di studio, vengono riportati i fondamenti teorici dei metodi di calcolo alla base della modellazione condotta. Vengono infine riportati i parametri adottati per la modellazione idrologica finalizzata alla stima delle portate massime per i tempi di ritorno di interesse.

### 9.1 LE PERDITE DI BACINO: METODO CN DEL SCS

Le perdite di bacino sono state valutate mediante l'applicazione del metodo elaborato dal *Soil Conservation Service* e basato sul parametro adimensionale CN. Tale metodo trae origine dall'equazione di continuità, espressa dalla seguente formula:

$$P_{net} = P - S'$$

con  $P_{net}$  volume specifico (mm) di pioggia netta,  $P$  volume specifico affluito,  $S'$  volume specifico infiltrato. Il metodo ipotizza la validità della seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{S'}{S} = \frac{P_{net}}{P - I_a}$$

dove  $S$  è il massimo volume d'acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione e  $I_a$  la perdita iniziale. Combinando le due equazioni precedenti si ottiene:

$$P_{net} = 0 \quad \text{per } P < I_a$$

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad \text{per } P > I_a$$

Per la stima di  $I_a$  si può far ricorso alla relazione:  $I_a = \beta \cdot S$ . La valutazione di  $S$  è ricondotta a quella dell'indice CN, secondo la seguente relazione:



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

valida per S espressa in mm.

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, definito in funzione dei seguenti elementi:

- gruppo idrologico di suolo

Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarssimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidii, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

- tipologia di uso del suolo
- condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione.

Il parametro del CN impiegato per la presente modellazione è stato fornito direttamente dal Consorzio di Bonifica Parmense, secondo la seguente tabella di corrispondenza:

**Tabella 9-1 Valori del parametro CN forniti dal CBP**

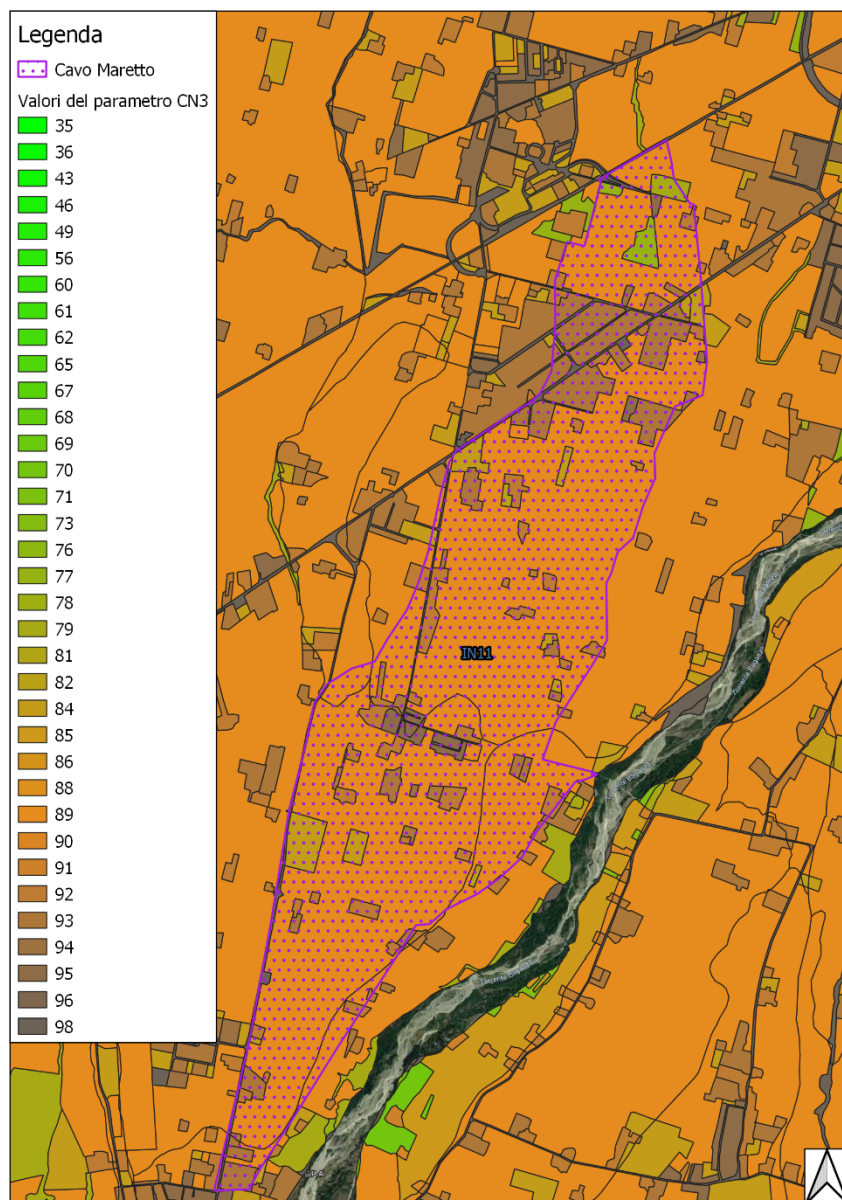
Uso suolo	CN (I)	CN (II)	CN (III)
Area boscata	49	70	84
Coltivo	56	75	87
Aree residenziali	63	80	90
Strade asfaltate	95	98	99

Il valore del parametro CN è inoltre influenzato dalla condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione. A tal proposito sono state individuate tre classi denominate AMC (Antecedent Moisture Condition) in base ai mm di pioggia che si sono avuti nei 5 giorni precedenti all'evento, come indicato nella seguente tabella:

**Tabella 9-2 Classi AMC metodo CN**

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti all'evento (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 13	< 36
II	13-28	36 - 54
III	> 28	> 54

Sempre su indicazione del CBP, si è scelto di impiegare, a favore di sicurezza, il valore del parametro CN3: la seguente immagine mostra la variabilità di tale parametro all'interno del bacino di interesse.



**Figura 9-1 Variabilità del parametro CN3.**

Dunque, per la stima delle portate di progetto, sono state considerate condizioni di imbibizione massima, adottando il valore CN II. Per la stima della perdita iniziale  $I_a$ , si è assunto  $I_a = 0.2 S$ .

Nella seguente tabella sono riassunti i parametri utilizzati nel modello idrologico per la determinazione delle perdite di bacino ai fini della stima degli idrogrammi di progetto:

**Tabella 9-3 Valori Curve Number impiegati nella modellazione**

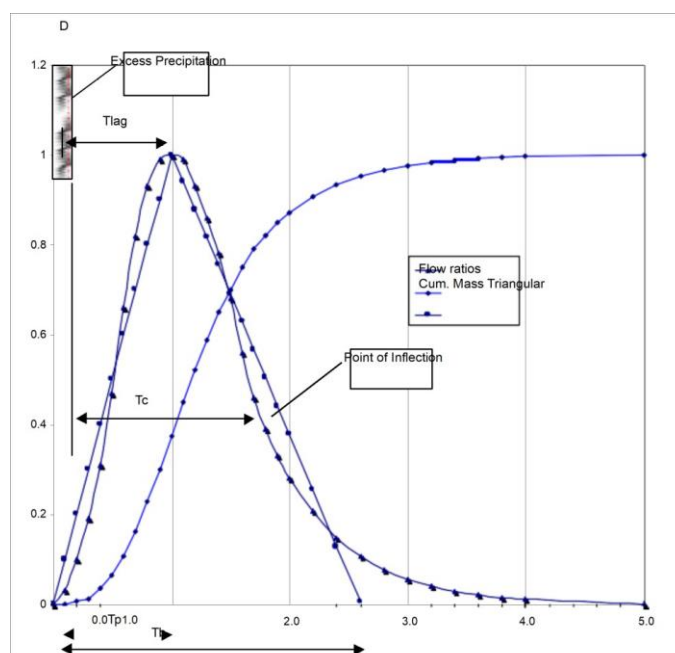
ID_BACINO	CN III
IN 11 – MARETTO	87.83

## 9.2 TRASFORMAZIONE AFFLUSSI NETTI – DEFLUSSI

Per la trasformazione da afflussi netti in deflussi è stato usato il metodo dell'idrogramma del Soil conservation Service (SCS), il quale presuppone la conoscenza del tempo di ritardo  $T_{Lag}$ , a sua volta discendente dal tempo di corrivazione  $T_c$  calcolato nei capitoli precedenti.

### 9.2.1 L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS)

L'idrogramma del Soil Conservation Service (SCS) americano è un idrogramma adimensionale definito in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazione nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi effettuate nelle applicazioni pratiche per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità.



**Figura 9-2 Idrogramma unitario SCS**

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 28 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

Per la sua definizione è necessario specificare l'area del bacino, il fattore di picco e il tempo di ritardo.

Il fattore di picco PRF (Peak Rate Factor) è un coefficiente che definisce il volume di acqua nei rami crescente e decrescente dell'idrogramma. Il NOHRSC (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center) suggerisce di impostare il fattore di picco sulla base delle caratteristiche del bacino idrografico, in particolare in base al grado di urbanizzazione e alle caratteristiche morfologiche, come evidenziato nella seguente tabella di corrispondenza.

**Tabella 9-4 Tabella di corrispondenza per la scelta del PRF**

General Description	Peaking Factor
Urban areas; steep slopes	575
Typical SCS	484
Mixed urban/rural	400
Rural, rolling hills	300
Rural, slight slopes	200
Rural, very flat	100

Per i bacini in esame si è assunto:

**Tabella 9-5 Valori di PRF scelti**

ID_BACINO	PRF
IN 11 – MARETTO	350

### 9.3 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA: IDROGRAMMI DI PIENA

Sulla base di quanto sopra esposto, è stato implementato il modello idrologico dell'area di studio, rappresentato in Figura 9-3.



**Figura 9-3 Modello HMS implementato**

Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno 200 anni con durate di pioggia pari a 4, 6, 8, 10 ore.

In generale, le simulazioni idrologiche sono individuate da un codice nella forma *IT\_TRXXXTpYYh* dove XXX indica il tempo di ritorno in anni ed YY la durata di pioggia espressa in ore.

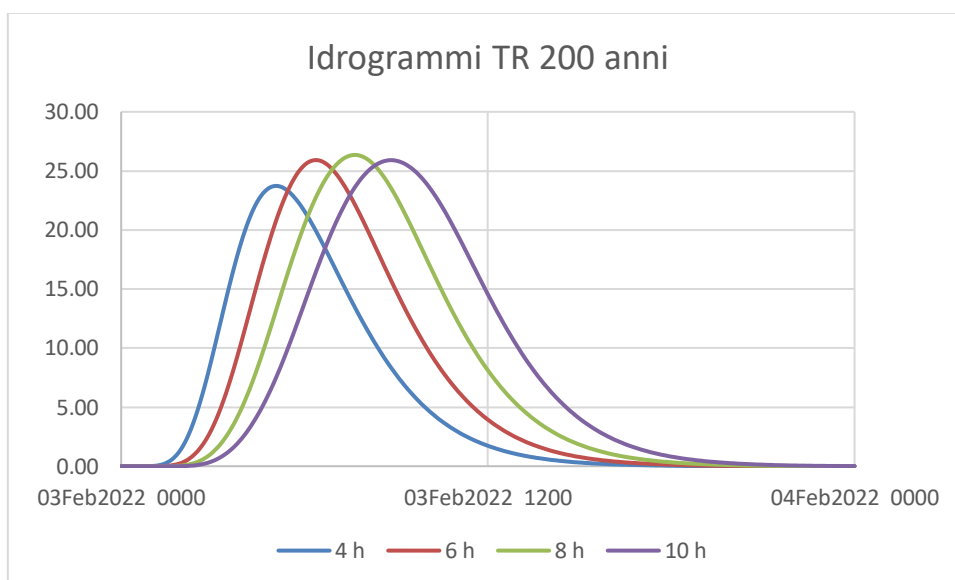
**Tabella 9-6 Elenco simulazioni idrologiche**

ID PLAN	Tr [anni]	Tp [ore]
IT_TR200Tp04h	200	4
IT_TR200Tp06h	200	6
IT_TR200Tp08h	200	8
IT_TR200Tp10h	200	10

Di seguito si riportano gli idrogrammi ed i picchi di piena (Tr 200) alla sezione di chiusura del bacino.

**Tabella 9-7 Picchi di piena [m<sup>3</sup>/s]**

TR [anni]	Tp [h]			
	4	6	8	10
<b>200</b>	23.73	25.91	26.35	25.91



Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 31 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

## 10 MODELLAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica dei tratti fluviali di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS 6.0.0 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto anch'esso dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario quasi bi-dimensionale e sono descritte in dettaglio nel seguito. In particolare, si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo in abbinamento alla predisposizione di opportune soglie di stramazzo (*lateral structures*) che si attivano ogni volta che la portata in transito nella sezione supera la massima convogliabile.

Il tratto oggetto di studio si estende oltre le aree strettamente di interesse, al fine di evitare effetti al contorno. Nel dettaglio, è stato modellato il Cavo Maretto dal ponte su Strada Bergonzi fino al recapito nel Canale Navile del Taro.

A seguire si riporta una breve descrizione dei modelli matematici di HEC-RAS, rimandando direttamente ai manuali del software per maggiori dettagli.

### 10.1 MODELLO MATEMATICO A MOTO VARIO MONODIMENSIONALE

La forma delle equazioni del moto vario (o equazioni di De Saint Venant) utilizzate in HEC-RAS è la seguente:

- *Equazione di continuità:*

$$\frac{(\partial A)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi \cdot Q))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial[(1 - \Phi) \cdot Q])}{(\partial x_f)} = 0$$

- *Equazione di conservazione della quantità di moto:*

$$\frac{(\partial Q)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial((1 - \Phi)^2 Q^2 / A_f))}{(\partial x_f)} + gA_c \left[ \frac{(\partial Z)}{(\partial x_c)} + S_{fc} \right] + gA_f \left[ \frac{(\partial Z)}{(\partial x_f)} + S_{ff} \right] = 0$$

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

I pedici *c* ed *f* nelle equazioni si riferiscono rispettivamente al *main channel* (alveo centrale) ed alle *floodplain* (aree golenali), *Q* rappresenta la portata, *g* l'accelerazione di gravità, *x* l'ascissa, *t* il tempo, *K* la *conveyance* (o fattore di trasporto) della sezione, *Z* la quota del pelo libero (somma della quota di fondo *z* e dell'altezza liquida *y*), *A* l'area liquida, *S<sub>f</sub>* la pendenza della linea dell'energia.

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. Nelle analisi in moto vario le tecniche di soluzione numerica delle equazioni del moto assumono un'importanza maggiore rispetto

alle analisi a moto permanente. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua, e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo *skyline*, specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero.

Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica *Local Partial Inertia* (LPI), mediante la quale si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore soglia definibile dall'utente (generalmente si assume  $Fr=1$ , corrispondente al passaggio della corrente attraverso lo stato critico). Il modello matematico riesce così a garantire una buona stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo.

Per ulteriori dettagli sulle equazioni e gli algoritmi di calcolo si rimanda alla manualistica di HEC-RAS ed in particolare all'*Hydraulic Reference Manual*.

## 10.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO IDRAULICO

La geometria del modello idraulico è stata implementata utilizzando i rilievi topografici disponibili per l'area di studio, condotti in loco da Italferr a Novembre 2021; tali rilievi hanno riguardato l'alveo inciso del Cavo Maretto dal ponte su Strada Bergonzi fino al recapito nel Canale Navile del Taro.

Per una più appropriata definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata nella figura seguente.





Figura 10-1 Planimetria di modellazione idraulica

### 10.3 PARAMETRI DI SCABREZZA E COEFFICIENTI DI PERDITA CONCENTRATA

Per la stima dei coefficienti di scabrezza  $n$  di Manning di primo tentativo si è proceduto al confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili per cui si hanno a disposizione misure di taratura di  $n$ , considerando anche che il corso del Cavo Maretto è caratterizzato dalla presenza di vegetazione in alveo e sulle sponde.

In definitiva, i valori adottati nella modellazione 1D sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella.

Tabella 10-1 Valori del coefficiente di Manning nella modellazione 1D

	COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING [s/m <sup>1/3</sup> ]
Alveo inciso naturale	0.05
Aree golenali naturali	0.05
Alveo e golene rivestite in CLS	0.02

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione rispettivamente pari a 0.1/0.3 per ogni sezione corrente di calcolo, ad eccezione di quelle in prossimità di ponti e attraversamenti per cui i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5.

### 10.4 CRITERI DI MODELLAZIONE DI PONTI E TOMBINI

I ponti sono stati modellati su RAS utilizzando la conservazione dell'energia per le condizioni di *low flow* (acqua non a contatto con l'impalcato) e l'opzione *pressure/weir* per le condizioni di *high flow* (acqua a contatto con l'impalcato); per i coefficienti di deflusso del funzionamento a pressione/stramazzo, si sono adottati i valori consigliati dalla FHWA.

Per i tombini - identificabili nel modello dagli attraversamenti sotto i rilevati stradali/ferroviari - si è adottata l'opzione di calcolo (Computed flow control) che fornisce il risultato più cautelativo (massima quota della linea dell'energia a monte dell'opera) tra la modalità di funzionamento idraulico di tipo *inlet* e la modalità di tipo *outlet*.

## 10.5 CONDIZIONI AL CONTORNO E IDROGRAMMI DI PIENA

Le condizioni al contorno in uscita dal modello HMS sono state così assegnate:

Tabella 10-2 Assegnazione delle condizioni al contorno dentro il modello idraulico

PORTATA IN USCITA DAL BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONE DI ASSEGNAZIONE	FATTORE MULTIPLICATIVO
Cavo Maretto	Idrogramma (condizione al contorno di monte)	Cavo Maretto	Cavo Maretto	8	1

Come condizione al contorno di valle, è stata inserita la pendenza di moto uniforme, desunta dal profilo del fondo alveo del corso d'acqua ricavato da rilievo topografico condotto in loco da Italferr a Novembre 2021; tale valore è pari a 0.4%.

## 10.6 IMPOSTAZIONI DI CALCOLO

Per la definizione dell'intervallo temporale di calcolo si è adottata l'opzione *Adaptive Time Step* di RAS, che varia l'intervallo di calcolo in modo da mantenere un valore del numero di Courant compreso tra limiti preimpostati. Nella fattispecie si è adottato un intervallo del numero di Courant variabile tra 0.7 ed 1.7, con intervallo temporale di base pari a 30 secondi.

## 11 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

Come anticipato in precedenza, il fine ultimo dell'implementazione del modello idrologico-idraulico del Cavo Maretto è verificare l'adeguatezza dell'attraversamento esistente sotto la linea ferroviaria, al fine di valutare la necessità di predisporre una nuova struttura scatolare di sottoattraversamento della sede, o mantenere l'attuale configurazione esistente, nel rispetto delle normative vigenti.

### 11.1 SCENARI DI CALCOLO

In generale, le simulazioni idrauliche sono identificate da un codice analogo a quello impiegato per le corrispondenti simulazioni idrologiche, nella forma IT\_TRXXXTpYYh (dove XXX indica il tempo di ritorno in anni ed YY la durata di pioggia espressa in ore), a cui è stato aggiunto il suffisso -SA nel caso di scenario di stato attuale o -SP nel caso di scenario di progetto.

Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno di 200 anni con durate di pioggia pari a 8 ore, ovvero quella che restituisce la portata di picco maggiore.

L'elenco delle simulazioni idrauliche eseguite è riportato nella tabella seguente:

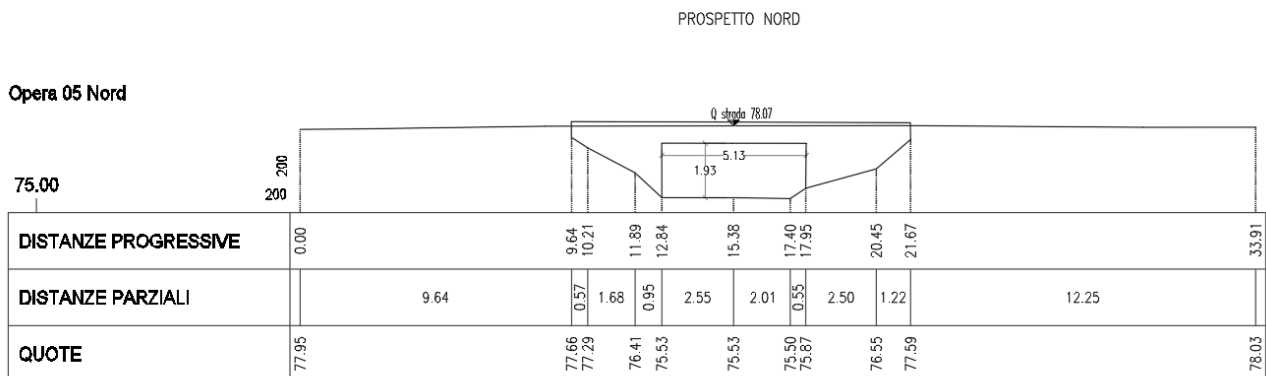
Tabella 11-1 Elenco simulazioni idrauliche

ID PLAN	Tr [anni]	Tp [ore]
IT_TR200Tp08h-SA	200	8
IT_TR200Tp08h-SP	200	8

Nel seguito, si riportano la descrizione e si sintetizzano i risultati dello stato ANTE e POST operam, rimandando poi all'allegato per maggiori dettagli.

### 11.2 SITUAZIONE ANTE-OPERAM

L'attraversamento attualmente presente sul Cavo Maretto è costituito da un tombino scatolare in calcestruzzo di dimensioni 3,40x2 m a monte (lato Sud) e 5,10x1,9 m a valle (lato Nord). La pendenza media dell'attraversamento rilevata è circa 0.25%.



**Figura 11-1 Prospetto Nord dello stato attuale dell'attraversamento**



**Figura 11-2 Stato attuale dell'attraversamento Cavo Maretto – prospetto Nord**

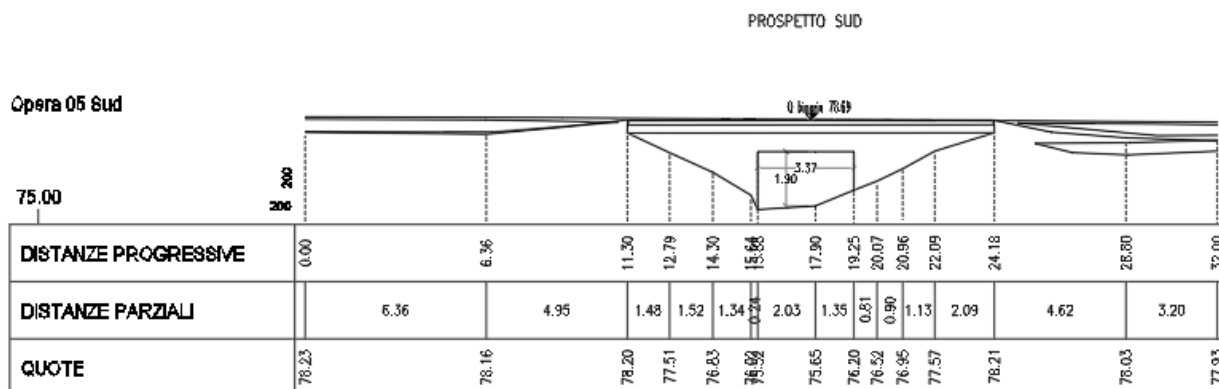


Figura 11-3 Prospetto Sud dello stato attuale dell'attraversamento



Figura 11-4 Stato attuale dell'attraversamento Cavo Maretto – prospetto Sud

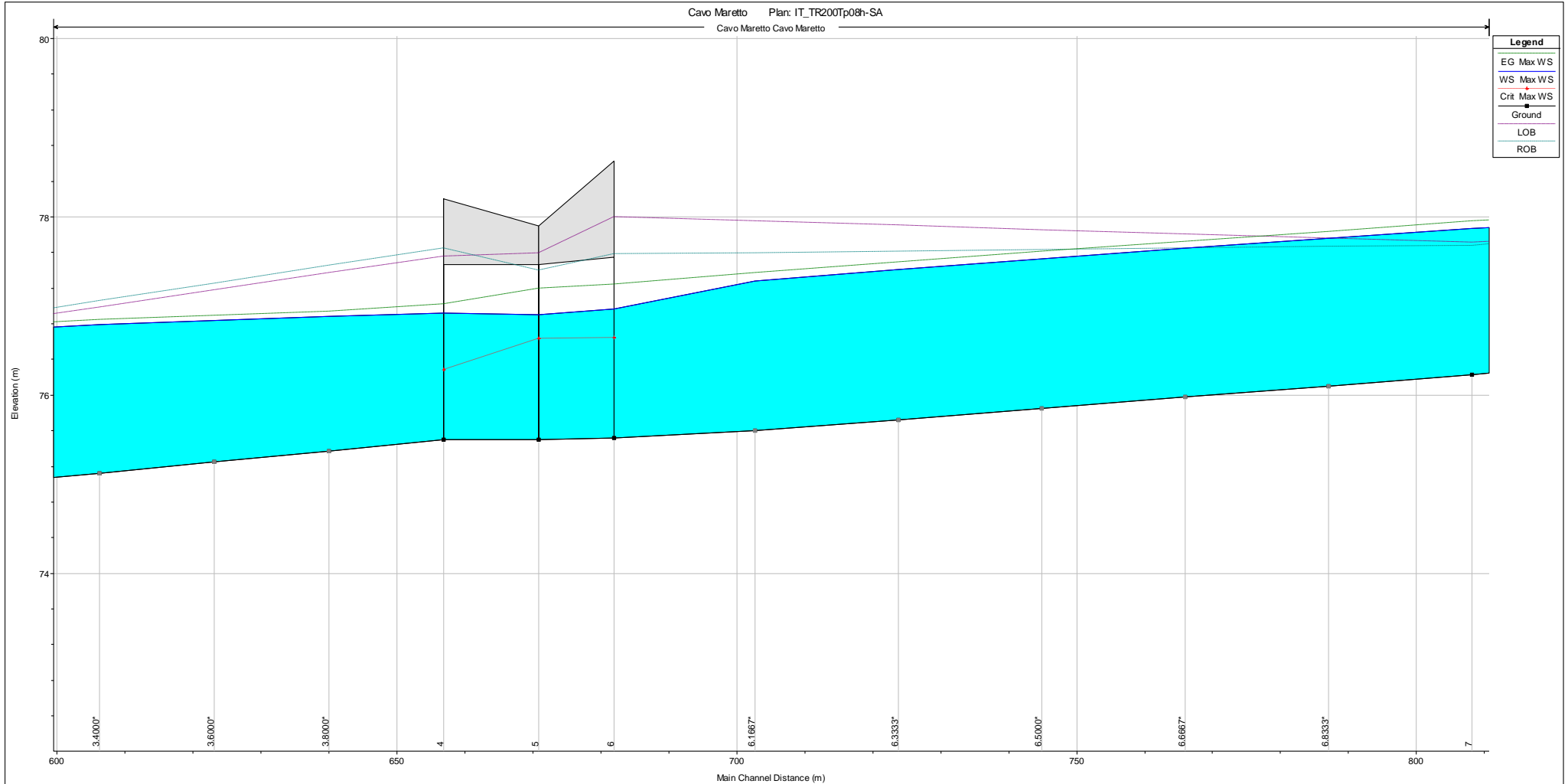
Di seguito, si riporta uno stralcio del profilo idraulico estratto dal software HEC-RAS e le sezioni in corrispondenza del manufatto esistente: come si può evincere, il tombino esistente non garantisce il grado di riempimento imposto dal NTC2018 (67%).

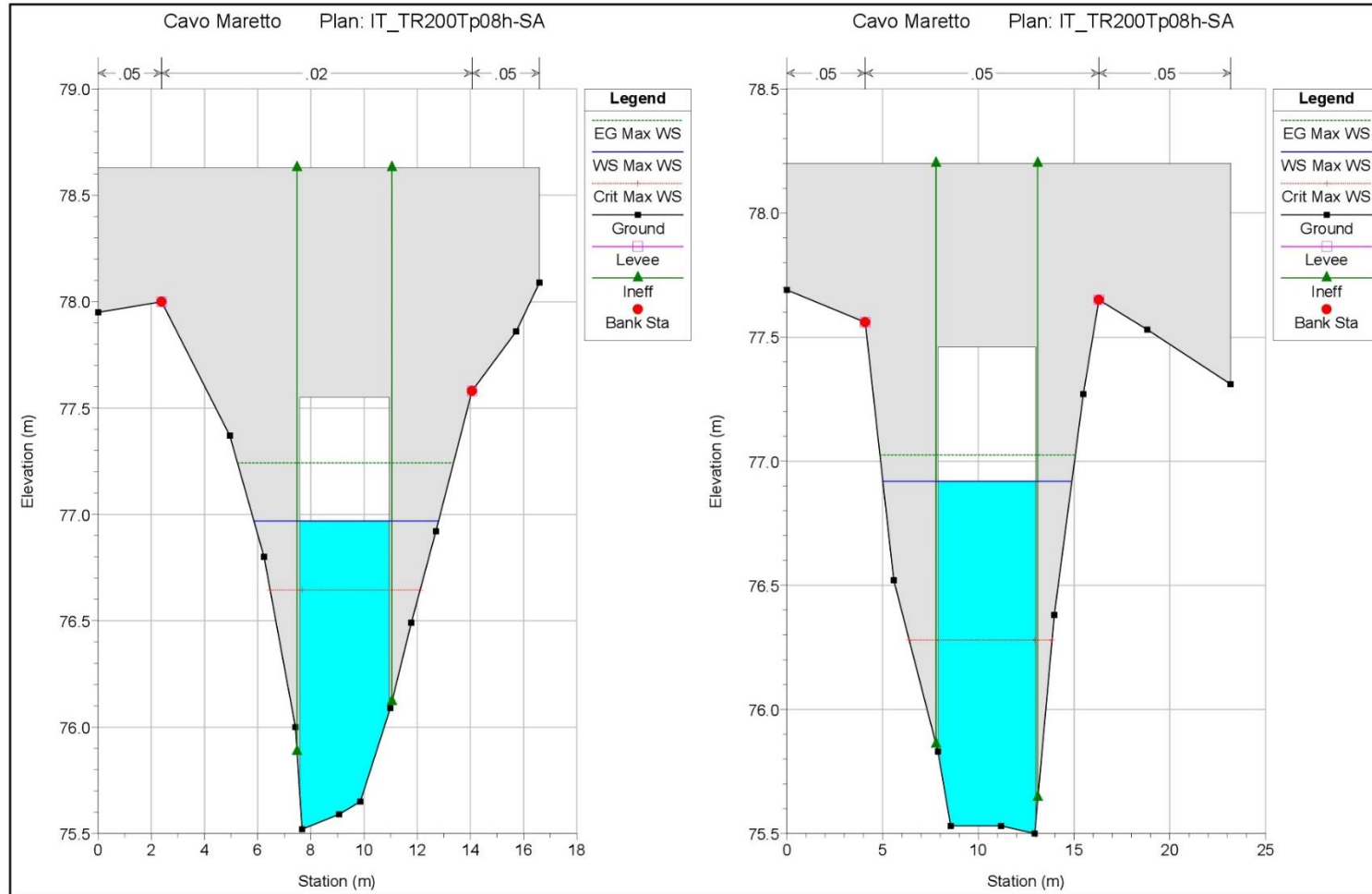


COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)  
TRATTA PARMA - VICOFERTILE

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Mareto

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D 26 RI	IN 11 0 0 001	B	39 di 52







Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 41 di 52
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

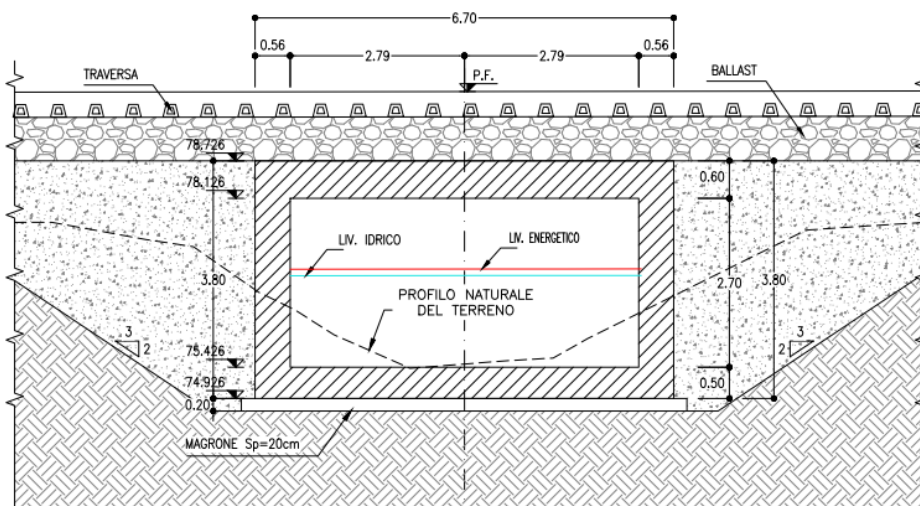
### 11.3 SITUAZIONE POST-OPERAM

Preso atto del fatto che l'attraversamento esistente non garantisce il rispetto del grado di riempimento imposto dalle NTC2018 (67%), si è provveduto a determinare la minima dimensione dello scatolare che consentisse di soddisfare tale requisito in funzione della portata duecentennale precedentemente stimata.

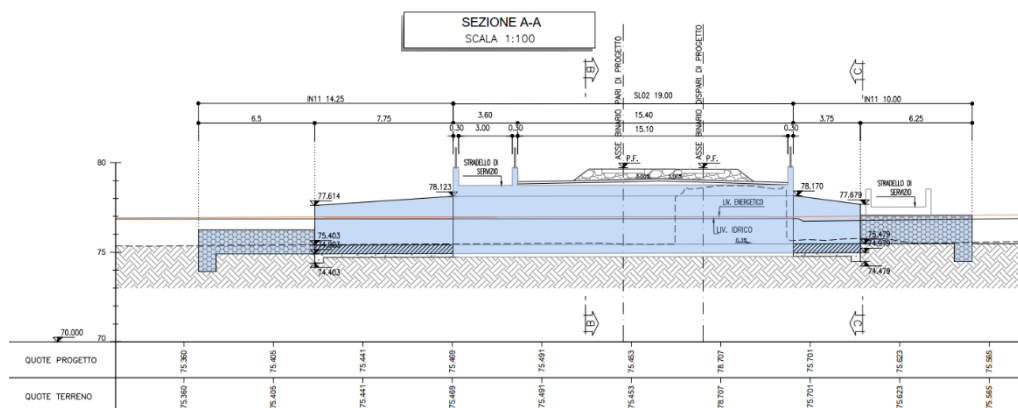
La dimensione ottimale dello scatolare individuata è pari a 5.00 m di larghezza e 2.70 m di altezza.

Di seguito, si riportano le sezioni di progetto e successivamente uno stralcio del profilo idraulico estratto dal software HEC-RAS e le sezioni in corrispondenza del manufatto di progetto:

**Figura 11-5 Stato di progetto dell'attraversamento IN11 – sezione scatolare**



**Figura 11-6 Stato di progetto dell'attraversamento IN11 – profilo longitudinale**

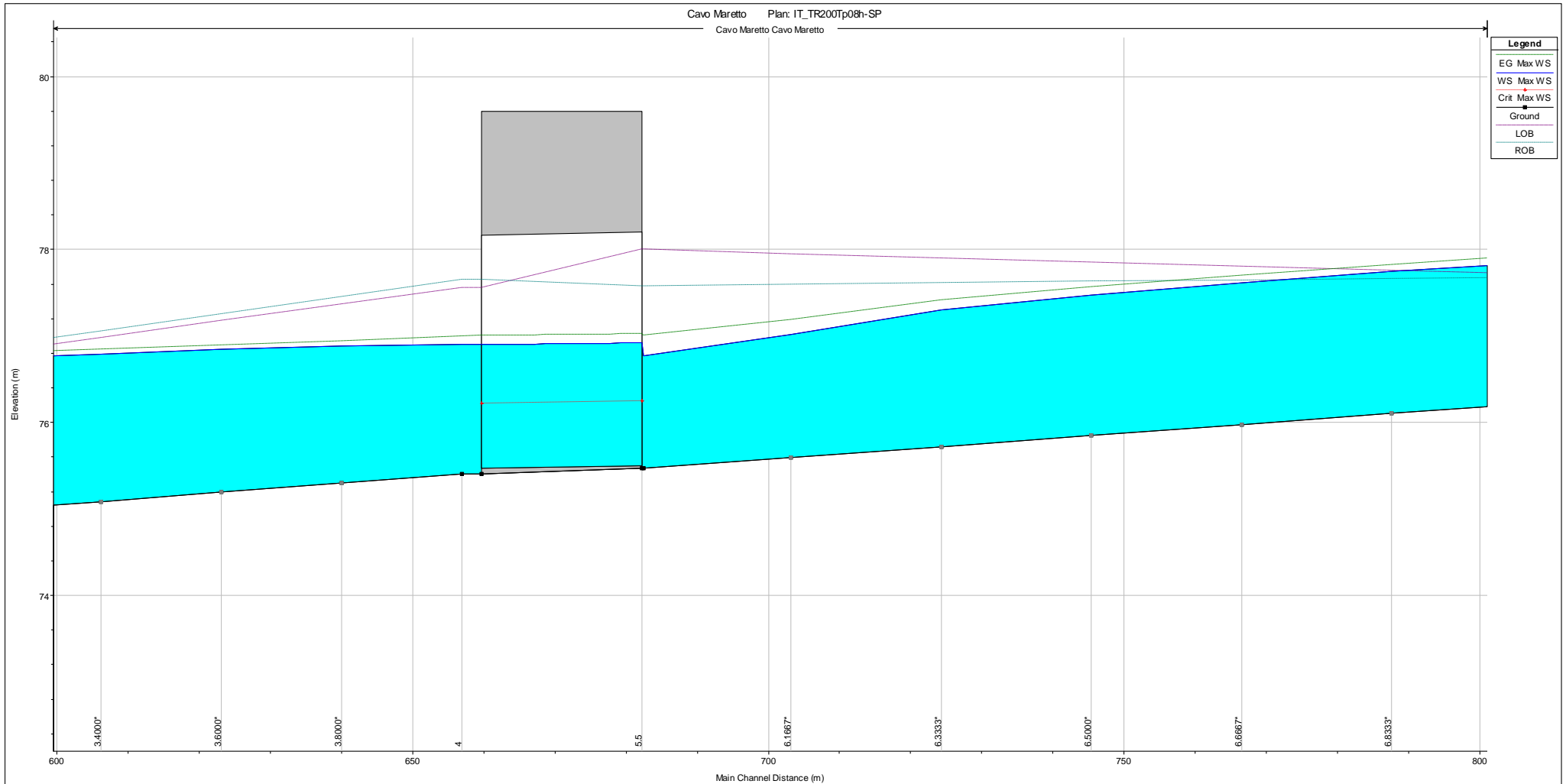




COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE)  
TRATTA PARMA - VICOFERTILE

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D 26 RI	IN 11 0 0 001	B	42 di 52

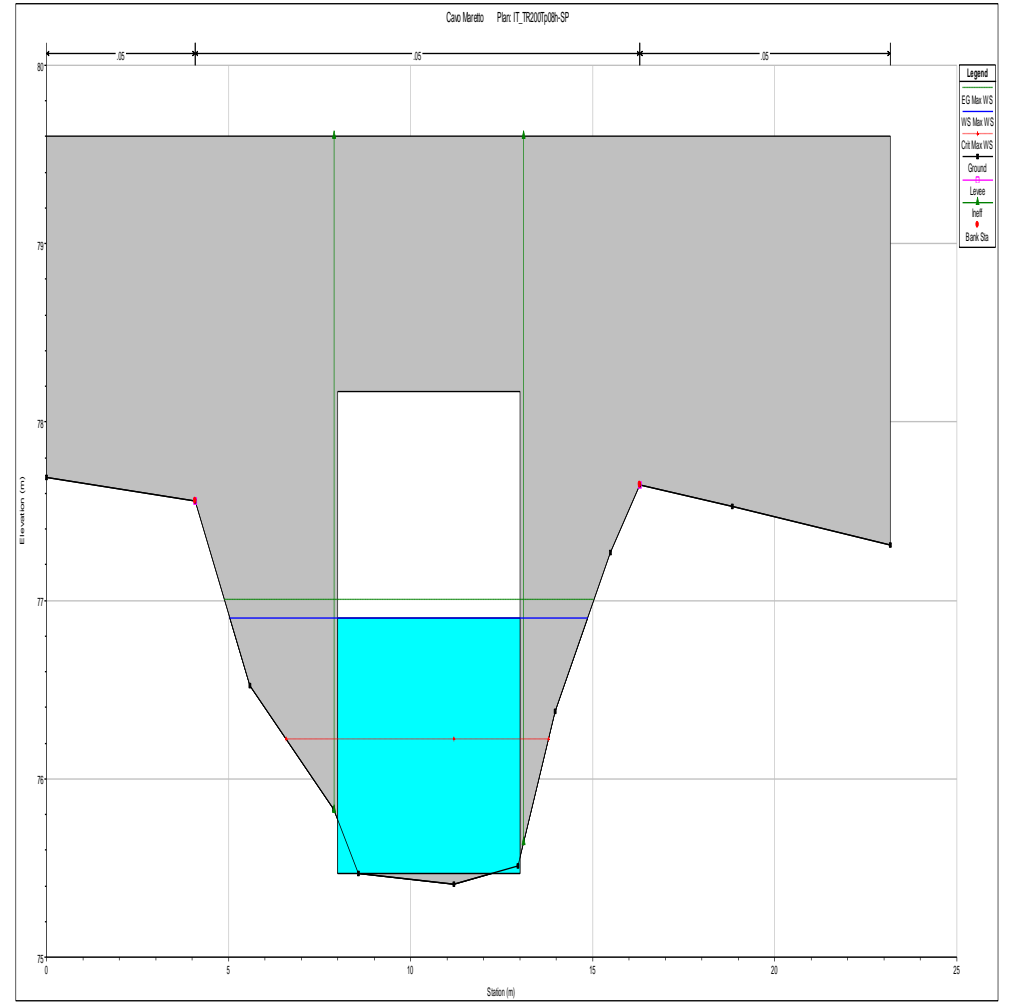
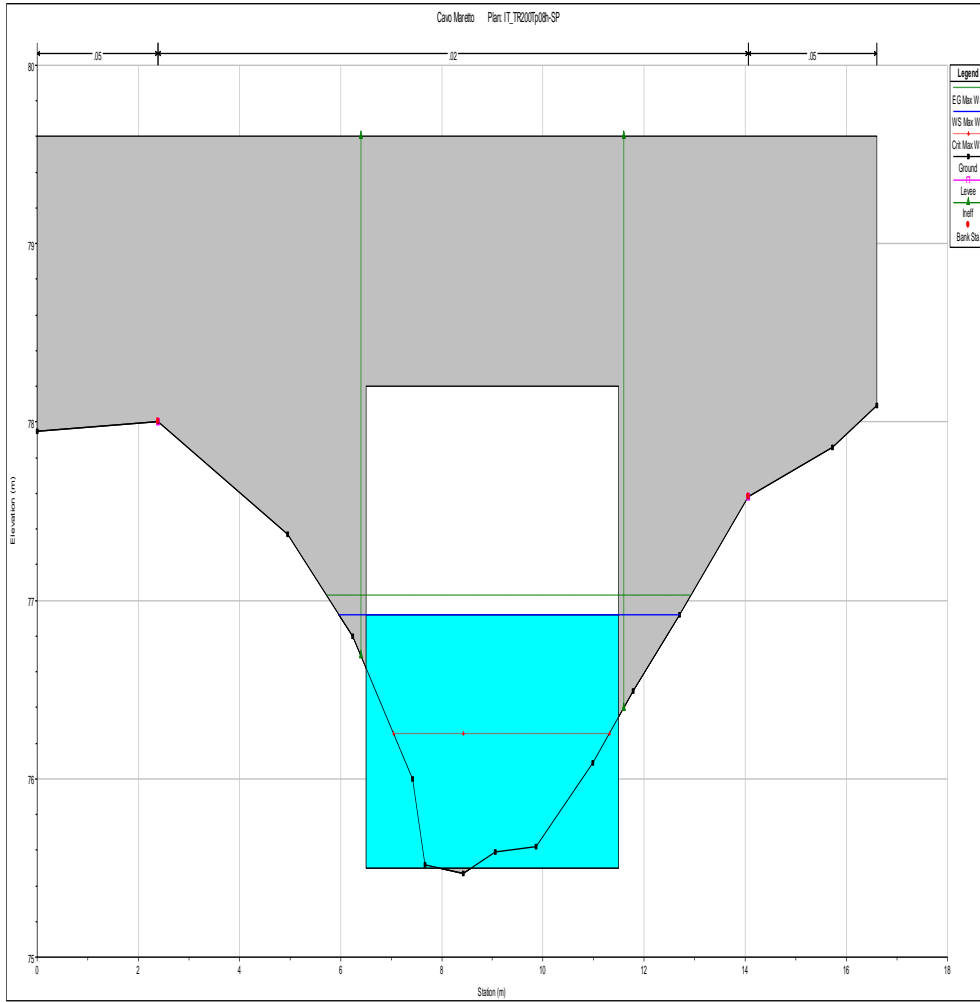




**COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)**  
**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D 26 RI	IN 11 0 0 001	B	43 di 52



## 11.4 CONCLUSIONI

Il fine ultimo dell'implementazione del modello idrologico-idraulico del Cavo Maretto era verificare l'adeguatezza dell'attraversamento esistente sotto la linea ferroviaria, al fine di valutare la necessità di predisporre una nuova struttura scatolare di sottoattraversamento della sede, o mantenere l'attuale configurazione esistente, nel rispetto delle normative vigenti.

Per determinare ciò è stato messo a punto un modello idrologico implementato con il software HMS, che ha fornito una stima della portata di picco duecentennale, pari a 26.35 m<sup>3</sup>/s.

Tale portata di picco è stata inserita come condizione al contorno di monte in un modello idraulico in moto vario, realizzato col software HEC-RAS, in cui sono stati implementati sia lo stato attuale che lo stato di progetto.

Le simulazioni idrauliche hanno evidenziato che:

- Il tombino esistente non garantisce il rispetto del grado di riempimento imposto da NTC2018 (67%) nei confronti di un evento di pioggia duecentennale; infatti, il tirante presente all'interno dello stesso si attesta su 1.45 m a fronte di una luce libera pari a 1.90 m, pari al 76% di riempimento;
- Il minimo tombino di progetto in grado di soddisfare il riempimento imposto dalle NTC2018 (67%) ha dimensioni pari a 5.00x1.80 m; infatti, il tirante presente all'interno dello stesso si attesta su 1.42 m a fronte di una luce libera pari a 2.70 m, pari al 53% di riempimento.



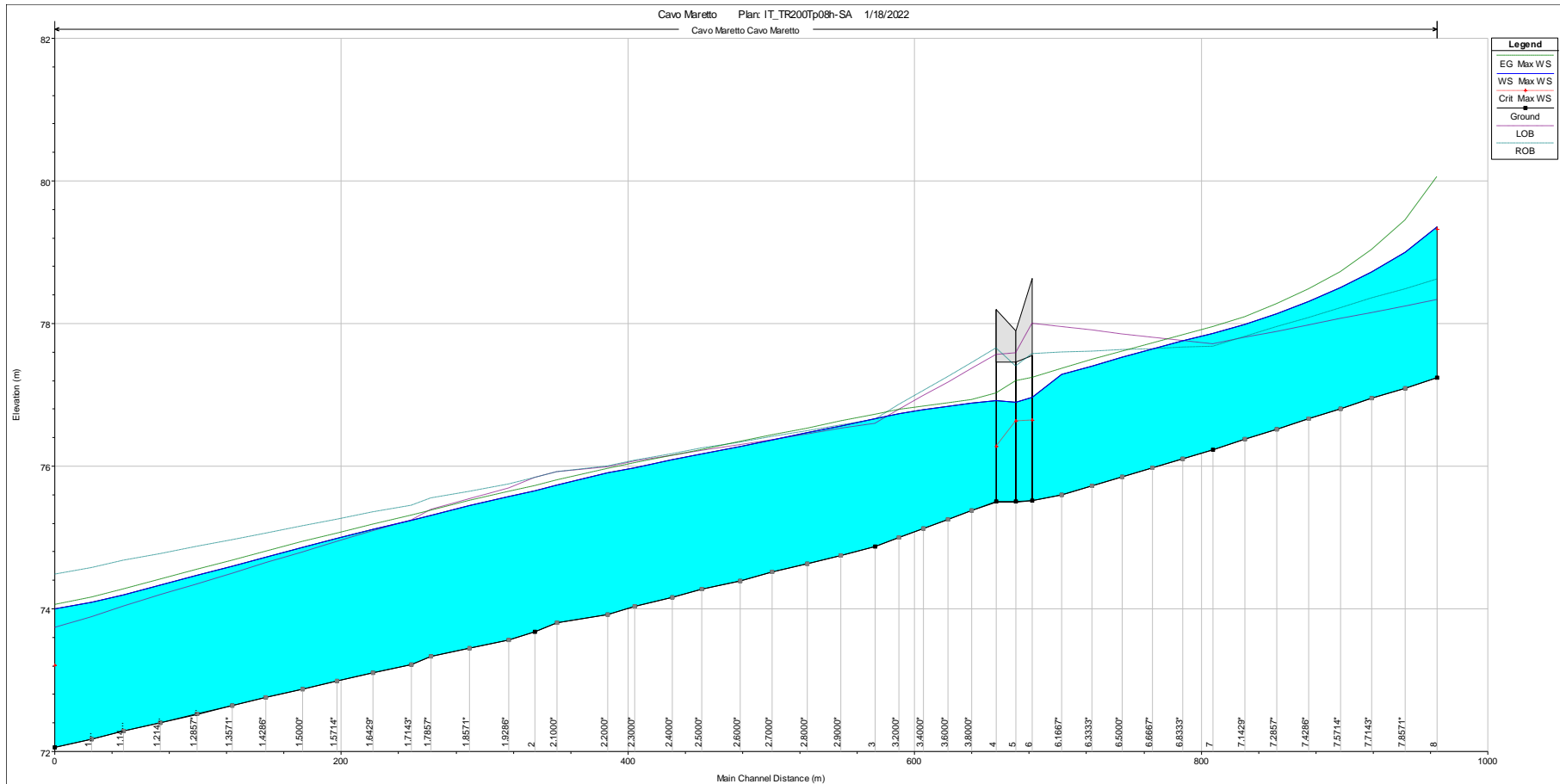
**COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)**  
**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

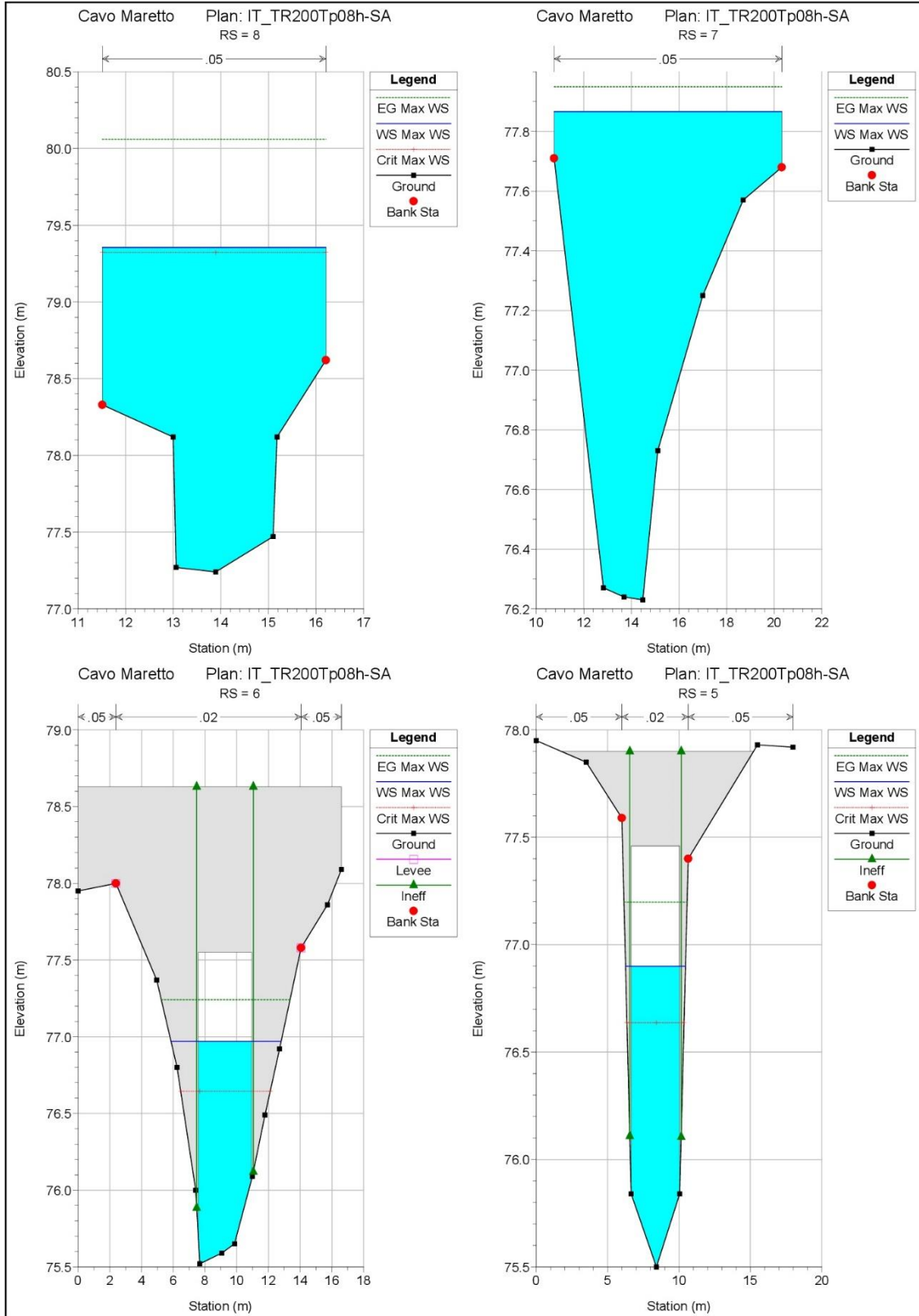
Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Mareto

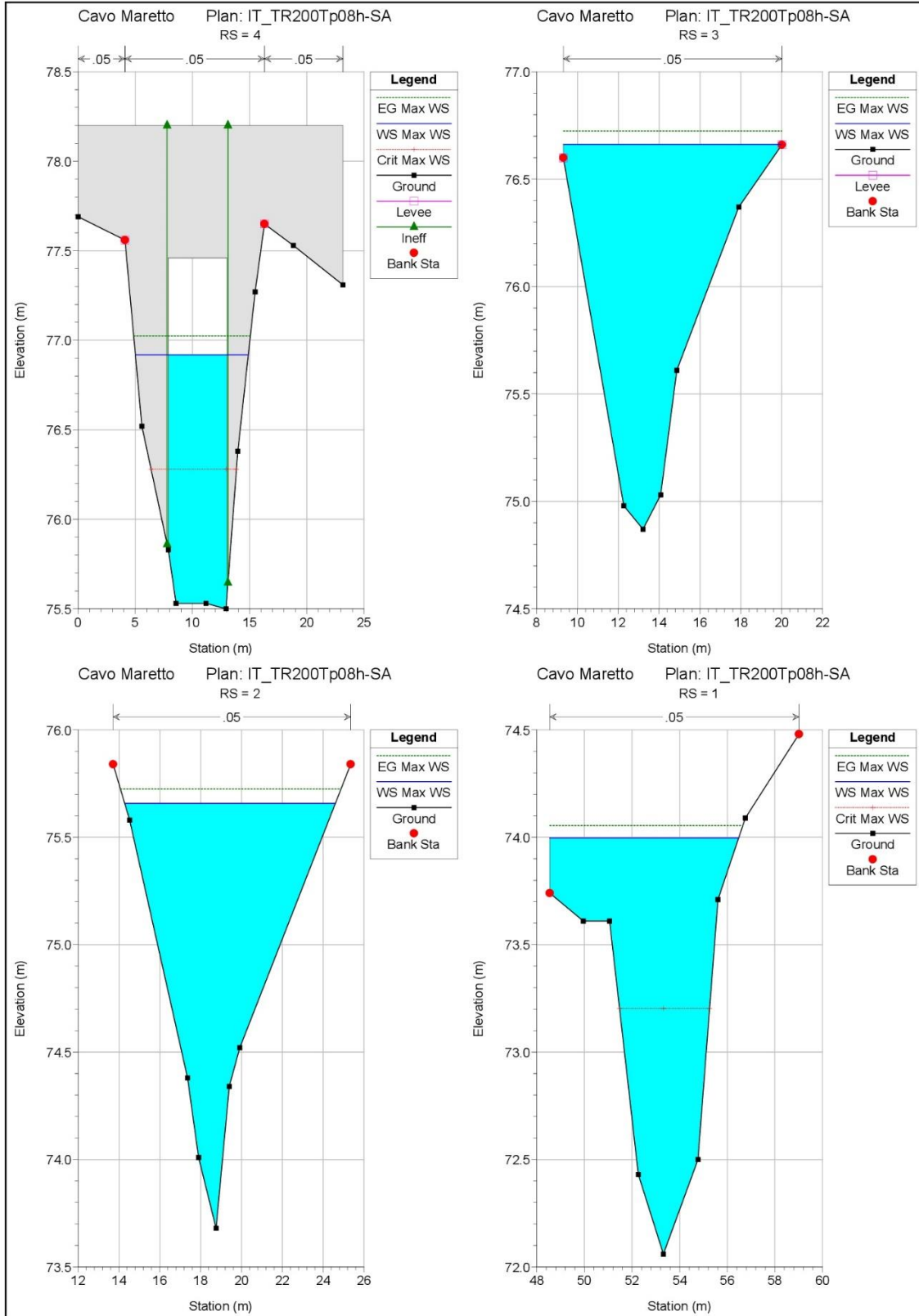
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D 26 RI	IN 11 0 0 001	B	45 di 52

## 12 ALLEGATI HEC-RAS

### 12.1 STATO ANTE-OPERAM







Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto

COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 48 di 52
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

HEC-RAS Plan: IT\_TR200Tp08h-SA Locations: User Defined Profile: Max WS

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Cavo Maretto	Cavo Maretto	8 8	Max WS	26.35	77.24	79.36	79.32	80.06	0.040480	3.72	7.09	4.70	0.97
Cavo Maretto	Cavo Maretto	7 7	Max WS	10.49	76.23	77.87		77.95	0.005780	1.28	8.20	9.57	0.44
Cavo Maretto	Cavo Maretto	6 6	Max WS	10.12	75.52	76.97	76.64	77.24	0.003067	2.31	4.37	3.37	0.61
Cavo Maretto	Cavo Maretto	5 5	Max WS	10.12	75.50	76.90	76.64	77.20	0.003449	2.42	4.18	3.40	0.65
Cavo Maretto	Cavo Maretto	4 4	Max WS	10.12	75.50	76.92	76.28	77.02	0.005780	1.44	7.04	5.12	0.39
Cavo Maretto	Cavo Maretto	3 3	Max WS	10.11	74.87	76.66		76.72	0.004194	1.11	9.12	10.71	0.38
Cavo Maretto	Cavo Maretto	2 2	Max WS	9.99	73.68	75.66		75.73	0.004739	1.16	8.63	10.32	0.40
Cavo Maretto	Cavo Maretto	1 1	Max WS	7.70	72.06	74.00	73.20	74.05	0.004008	1.06	7.26	7.93	0.35



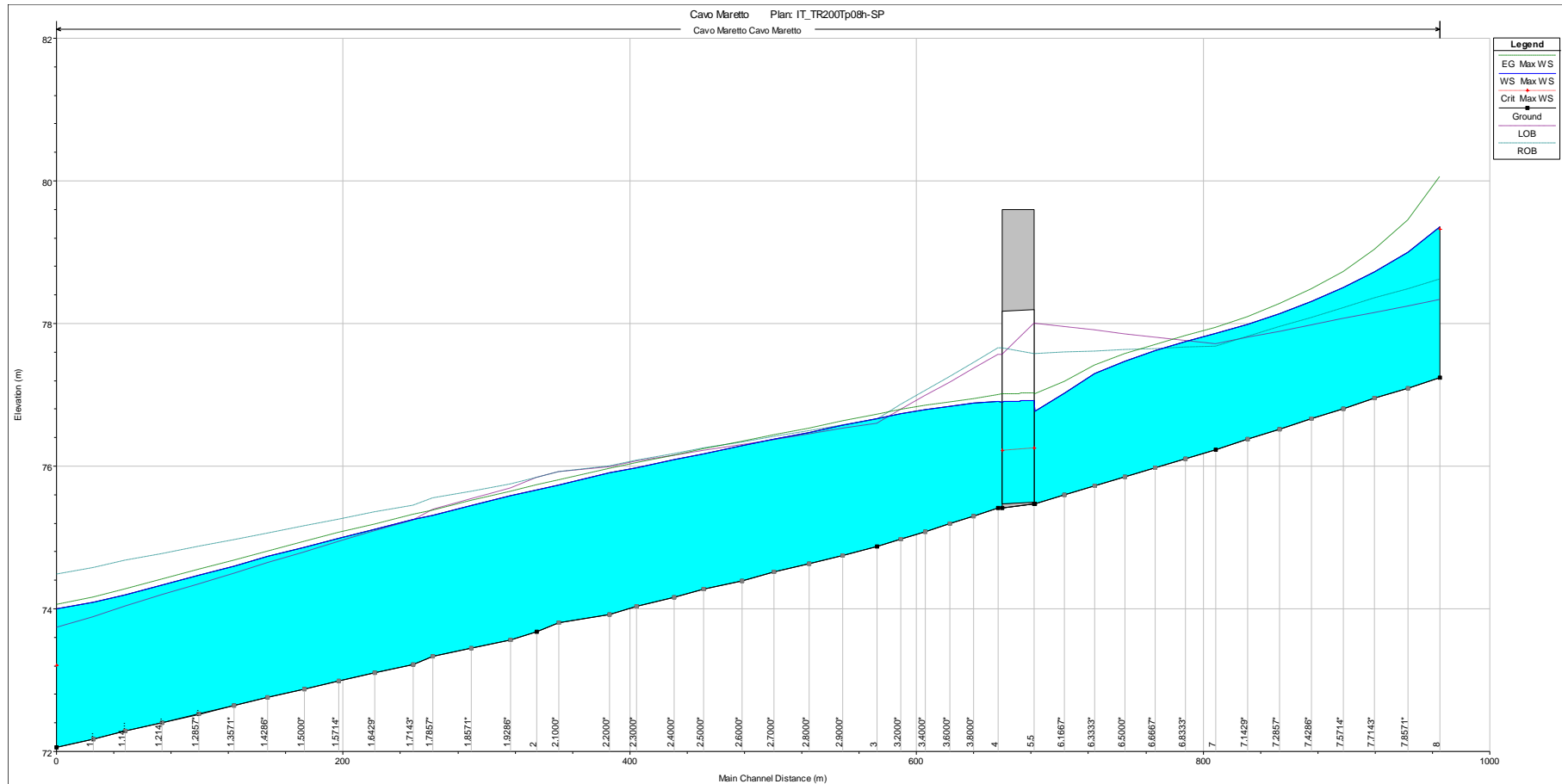


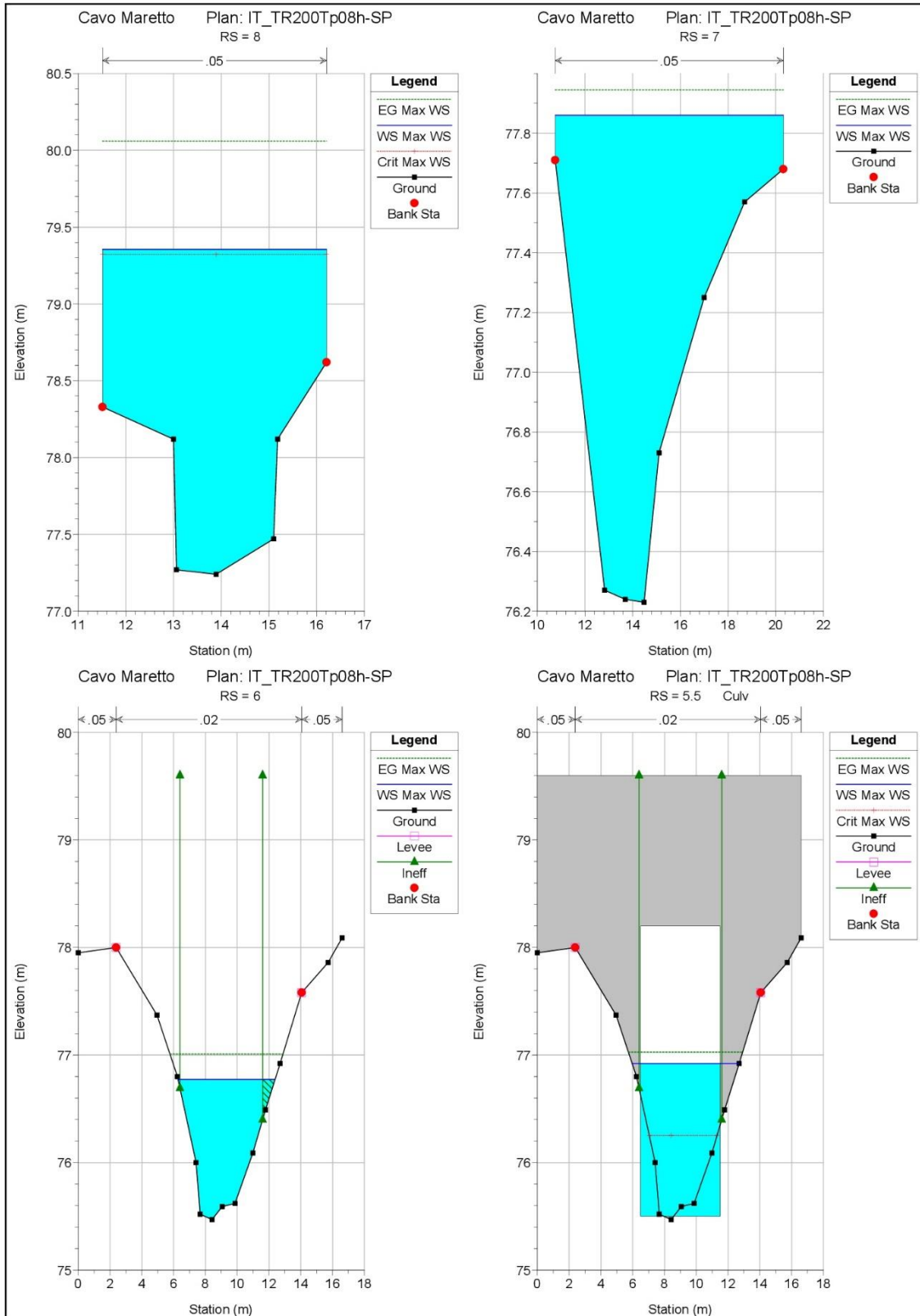
**COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)**  
**TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

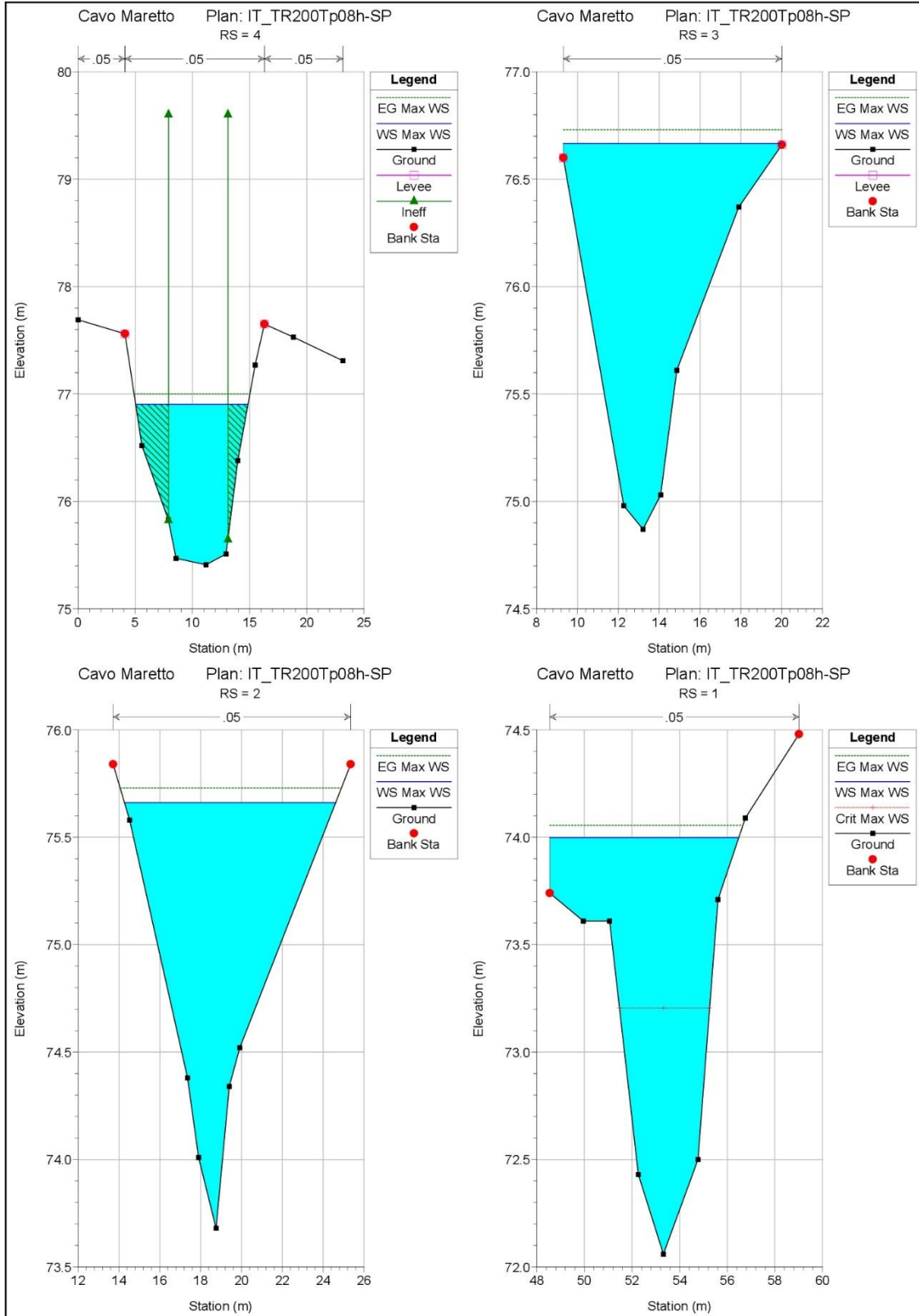
Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D 26 RI	IN 11 0 0 001	B	49 di 52

## 12.2 STATO POST-OPERAM







Relazione di modellazione idrologico-idraulica Cavo Maretto

COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO IN 11 0 0 001	REV. B	FOGLIO 52 di 52
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

HEC-RAS Plan: IT\_TR200Tp08h-SP Locations: User Defined Profile: Max WS

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Cavo Maretto	Cavo Maretto	8 8	Max WS	26.35	77.24	79.36	79.32	80.06	0.040480	3.72	7.09	4.70	0.97
Cavo Maretto	Cavo Maretto	7 7	Max WS	10.52	76.23	77.86		77.95	0.005958	1.29	8.14	9.57	0.45
Cavo Maretto	Cavo Maretto	6 6	Max WS	10.21	75.47	76.77		77.01	0.002486	2.16	4.73	6.10	0.72
Cavo Maretto	Cavo Maretto	5 5	Culvert										
Cavo Maretto	Cavo Maretto	4 4	Max WS	10.21	75.41	76.90		77.00	0.003052	1.38	7.42	9.83	0.37
Cavo Maretto	Cavo Maretto	3 3	Max WS	10.20	74.87	76.67		76.73	0.004197	1.11	9.17	10.71	0.38
Cavo Maretto	Cavo Maretto	2 2	Max WS	10.06	73.68	75.66		75.73	0.004742	1.16	8.68	10.35	0.40
Cavo Maretto	Cavo Maretto	1 1	Max WS	7.72	72.06	74.00	73.20	74.06	0.004009	1.06	7.28	7.93	0.35