



PROVINCIA DI REGGIO EMILIA - Servizio Infrastrutture, Mobilità Sostenibile, Patrimonio ed Edilizia

IL DIRIGENTE: Dott.Ing. Valerio Bussei

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Francesca Guatteri

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE:



RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE  
Ing. Marcello Mancone

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE  
Ing. Alessandro Cecchelli

OPERE A VERDE, ASPETTI PAESAGGISTICI E  
URBANISTICI  
Arch. Maria Cristina Fregni

PROGETTAZIONE OPERE STRADALI  
Ing. Alessio Gori

PROGETTAZIONE OPERE IDRAULICHE  
Ing. Alessandro Cecchelli

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI  
Ing. Luciano Viscanti

CANTIERIZZAZIONE E FASI  
ESPROPRI ED INTERFERENZE  
Ing. Stefano Simonini

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI  
Ing. Francesco Frassinetti

COMPUTI E CAPITOLATI  
Geom. Riccardo Moriani

COORD. SICUREZZA IN PROGETTAZIONE  
Geom. Stefano Caccianiga

TEAM DI PROGETTO  
Ing. Alessandro Nesci  
Ing. Stefano Tronconi  
Ing. Lorenzo Faeti  
Arch. Daniela Corsini  
Arch. Valentina Iaia  
Ing. Giulio Melosi

ELABORATO

## IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica idraulica

Gestione delle interferenze con il reticolo idrografico

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
03	PDIDRT01_21_5010	5010	-	A4

5							
4							
3							
2							
1	EMISSIONE IN RISCONTRO ALLE RICHIESTE DI INTEGRAZIONI IN FASE DI PAUR			SET 2021	A.Cecchelli	A.Cecchelli	M.Mancone
0	EMISSIONE			DIC 2020	A.Cecchelli	A.Cecchelli	M.Mancone
REV.	DESCRIZIONE			Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ELENCO RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>OBIETTIVI E CRITERI DELLA PROGETTAZIONE .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>12</b>
5.1	COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE .....	12
5.2	ANALISI MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI .....	13
5.3	ANALISI STATISTICA: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	14
5.3.1	Determinazione dello ietogramma di progetto.....	17
5.4	CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO.....	17
5.4.1	Initial and constant loss method (Ia e Ks) .....	17
5.4.2	Clark Unit Hydrograph method .....	19
<b>6</b>	<b>MODELLAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI PRINCIPALI .....</b>	<b>27</b>
6.1	MODELLO MATEMATICO A MOTO VARIO MONODIMENSIONALE.....	27
6.2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO IDRAULICO .....	28
6.2.1	Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata .....	30
6.2.2	Condizioni al contorno .....	30
6.3	VERIFICA DELLE OPERE IDRAULICHE PRINCIPALI .....	30
6.3.1	Tombino di attraversamento idraulico - TP04.....	31
6.3.2	Tombino di attraversamento idraulico – TP03 .....	32
6.3.3	Tombino di attraversamento idraulico – TP02 .....	33
6.3.4	Ponte sul Rio Lavachiello – P02 .....	35
6.4	STIMA DEI TIRANTI IDRICI NELLE AREE ESONDABILI.....	36
<b>7</b>	<b>ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO CANALE DI SECCHIA.....</b>	<b>38</b>
7.1	STIMA DELLA PORTATA SMALTIBILE ALLO STATO ATTUALE .....	39

7.2	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEL TOMBAMENTO A SIFONE.....	40
<b>8</b>	<b>ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO TORRENTE ACQUA CHIARA .....</b>	<b>42</b>
8.1	MODELLO MATEMATICO A MOTO PERMANENTE MONODIMENSIONALE .....	42
8.2	Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....	44
8.3	Coefficienti di scabrezza.....	45
8.4	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	46
8.5	RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO.....	46
<b>9</b>	<b>RISOLUZIONE INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO .....</b>	<b>48</b>

## 1 PREMESSA

---

La presente “*Relazione Idrologica e Idraulica – Gestione interferenze con il reticolo idrografico*” riguarda le scelte tipologiche e progettuali, il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche per la risoluzione delle interferenze tra il reticolo idrografico superficiale esistente e il nuovo asse viario di collegamento tra le località di Fogliano e Due Maestà, sino al raccordo all'esistente SP114.

La progettazione è stata sviluppata in osservanza alle raccomandazioni e prescrizioni formulate dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (CBEC) nel corso della procedura di “*Definizione dei contenuti dello Studio di Impatto Ambientale (Scoping)*” ai sensi dell'art 21 del D.Lgs n. 152/2006 e dell'art 14 della L.R 4/2018, con particolare riferimento ai passaggi di cui si riporta stralcio:

- *Nel caso di presenza di tratti che rimarranno interclusi tra la nuova strada e le infrastrutture esistenti (nello specifico la linea ferroviaria) di tratti di corsi d'acqua occorrerà definire con il Consorzio se prolungare il tombamento, se rivestire il canale/fosso o altra soluzione.*
- *Inoltre, dovrà essere data continuità anche a tutta la rete capillare di scolo, comprensiva di fossi stradali e interpoderali, la cui funzionalità contribuisce al mantenimento della corretta regimazione dei canali consortili.*
- *Per quanto riguarda le distanze di rispetto, dal ciglio dei canali a cielo aperto o, nel caso di tombamenti, dal limite esterno del tubo o dello scatolare di competenza del Consorzio, occorrerà lasciare libera e accessibile (senza recinzioni, piante, siepi, scarpate, cunette, cordoli, etc.) una distanza di rispetto di almeno 5m fino al piede dei rilevati di strade, ferrovia o altre opere/manufatti.*

Oltre al recepimento dei precedenti punti, l'infrastruttura per tutto il suo sviluppo è stata corredata da una pista di servizio/manutenzione allo scopo di rendere pienamente accessibile la porzione di terreno rimasta interclusa tra la nuova viabilità ed il rilevato ferroviario.

Come verrà illustrato in seguito in forma dettagliata, per ripristinare la continuità delle linee d'acqua esistenti interferite dalla nuova infrastruttura, vengono previsti 4 attraversamenti idraulici principali (scatolari), un ponte, un attraversamento sifonato e 16 tombini idraulici secondari (circolari e scatolari). Come rappresentato nell'elaborato PDIDA001\_21\_5010, il reticolo principale interessato dall'opera in progetto è composto da sei linee d'acqua, nello specifico, procedendo da sud verso nord, il Rio Valcavi, il Rio Lavachiello (denominato anche Rio di Fogliano), il Fosso Francesca, la Fossetta Fogliano, il Canale di Secchia e il Rio Acquachiara; oltre al reticolo principale, la variante stradale insiste poi su un fitto sistema di fossi, colatori minori e canalette irrigue, tenuti anch'essi in debita considerazione nella progettazione idraulica dell'intervento.

L'inquadramento generale delle opere appena introdotte è schematizzato nell' elaborato grafico PDIDA001\_20\_5010 mentre per i dettagli tipologici e specifici si rimanda ai seguenti elaborati:

- Ponte sul Rio Lavachiello: PDS3N001\_20\_5010, PDS3N002\_20\_5010;
- Ponte sul Torrente Acquachiara: PDS2N001\_20\_5010, PDS2N002\_20\_5010;
- Tombini principali:
  - Canale di Secchia: PDT1N001\_21\_5010;
  - Fossetta di Fogliano: PDT2N001\_21\_5010;
  - Fosso Francesca: PDT3N001\_21\_5010;
  - Rio Valcavi: PDT4N001\_21\_5010
- Tombini su ulteriori corsi d'acqua in capo al C.B.E.C: PDT6N001\_21\_5010
- Tombini secondari: PDT5N001\_21\_5010

Per quanto riguarda la compatibilità idraulica dell'infrastruttura ai sensi delle vigenti normative in termini di pericolosità e rischio idraulico si rimanda all'elaborati specifico PDIDRT01\_21\_5010 - Relazione di compatibilità idraulica ai sensi della DGR 1300/2016.

Per le valutazioni, il dimensionamento e le verifiche delle opere idrauliche atte alla raccolta e alla gestione delle acque intercettate dalla nuova piattaforma stradale si rimanda invece alla relazione PDIDRT02\_21\_5010\_Drenaggio e gestione delle acque di piattaforma.

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'intervento di cui alla presente relazione prevede la realizzazione di un nuovo asse viario di collegamento tra le località Fogliano e Due Maestà nel Comune di Reggio Emilia. Il nuovo tracciato inizia dal raccordo con la SP114 per poi inoltrarsi, parallelamente alla ferrovia, in direzione sud verso le località Due Maestà e Fogliano ed infine raccordarsi con l'esistente SP467.

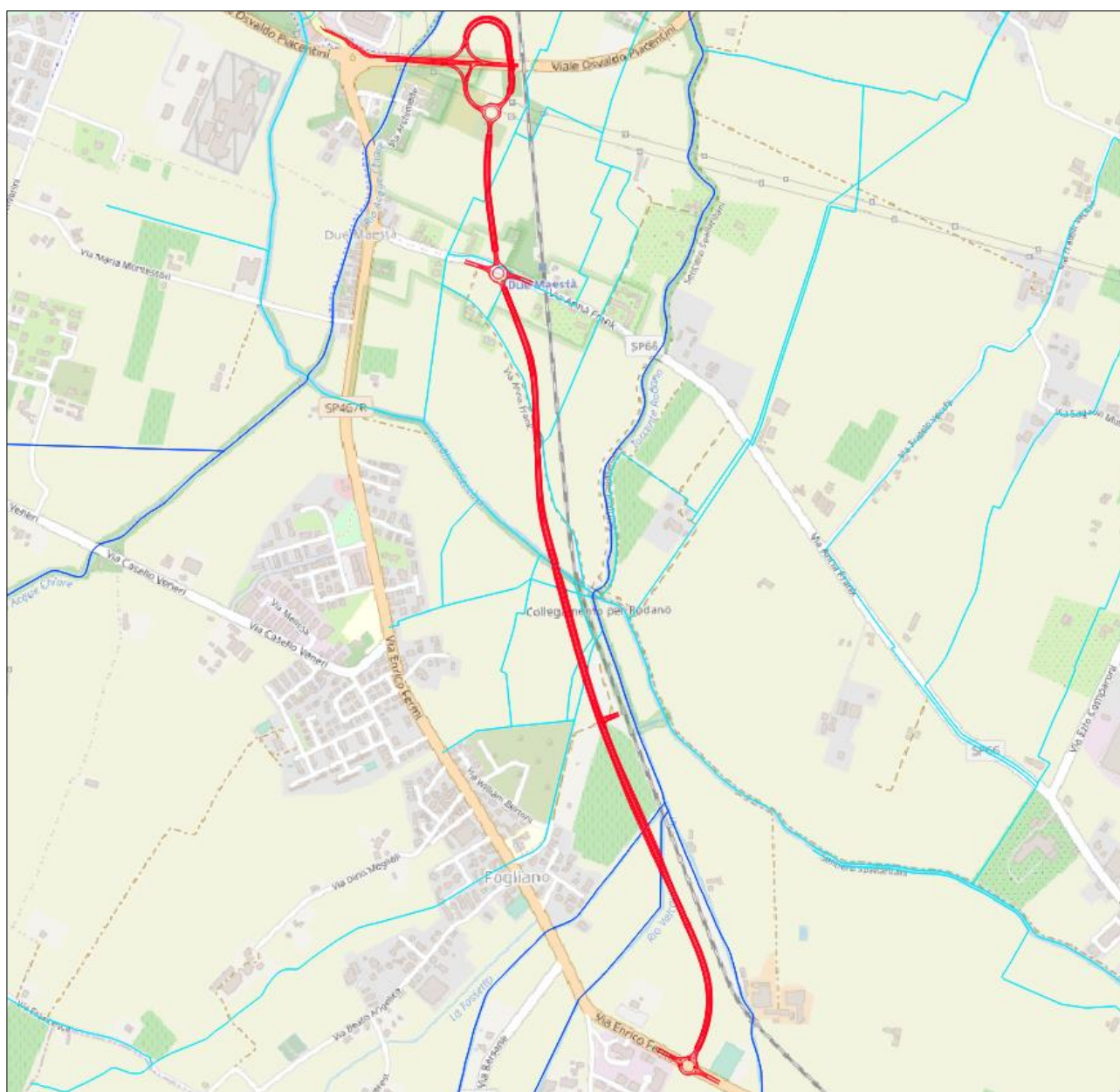


Figura 2.1- Inquadramento dell'opera

L'area interessata dall'opera in progetto è pianeggiante, caratterizzata dalla presenza di un fitto reticolo di bonifica. L'uso del suolo in questa area è prevalentemente agricolo, con la presenza molto estesa di campi coltivati intorno ai piccoli abitati presenti lungo la SP467. Il consorzio di bonifica cui fa capo il reticolo idrografico interessato dal nuovo asse stradale è il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (CBEC).

Si riporta di seguito un'immagine che rappresenta i canali gestiti dal consorzio presenti nell'area interessata dal progetto del nuovo asse stradale.

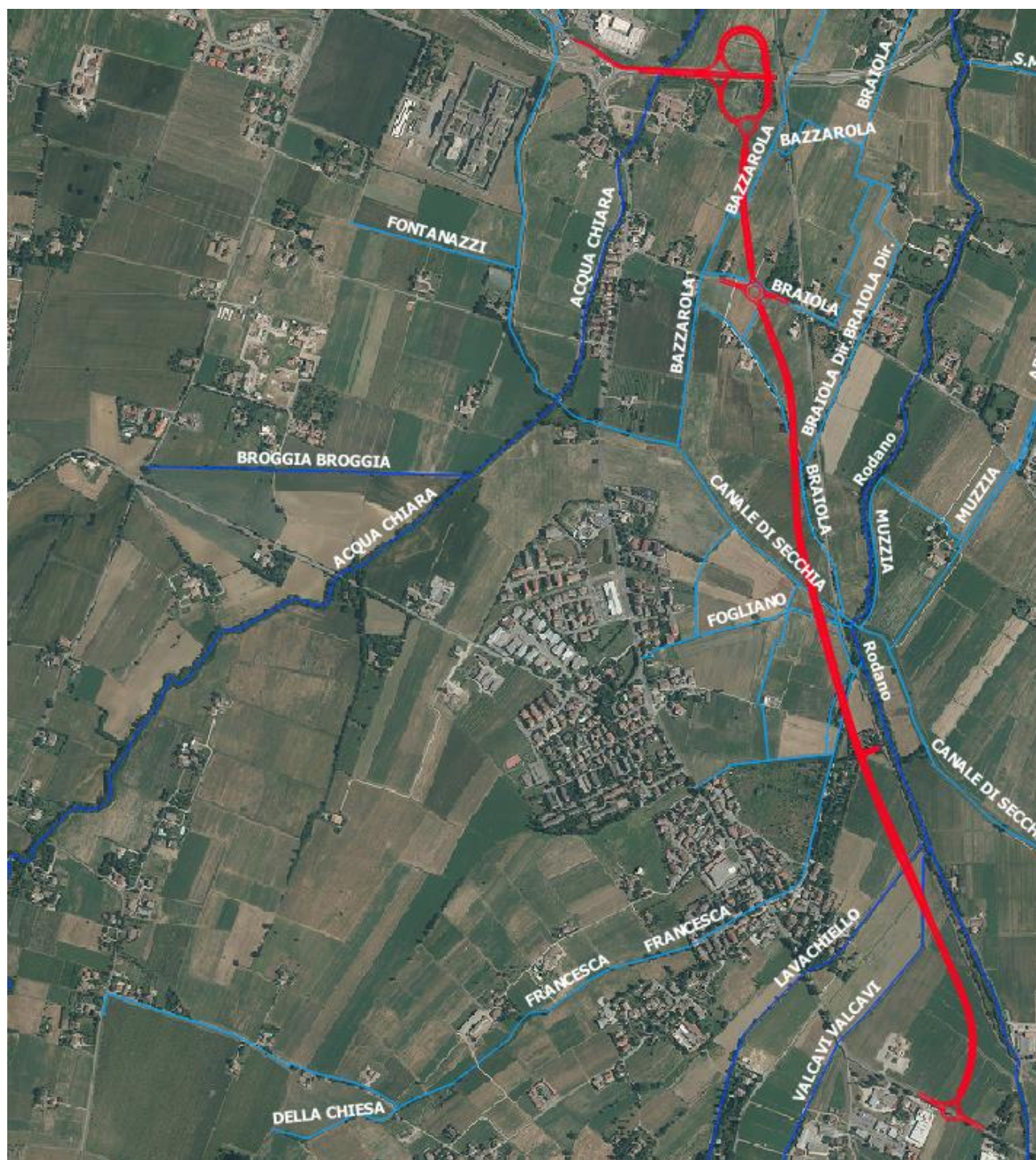


Figura 2.2 - Porzione del reticolo idrografico in capo al Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale interessato dal nuovo asse stradale

Come si può osservare, le principali interferenze idrauliche con i corsi d'acqua codificati e in capo al Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, sono 12: 6 di queste interessano corsi d'acqua primari, ossia il rio Valcavi, il rio Lavachiello, il fosso Francesca, la fossetta Fogliano, il canale di Secchia e il torrente Acquachiaia; le rimanenti 6 interessano invece linee d'acqua e canali secondari.

A queste 12 interferenze si aggiungono ulteriori 12 interferenze con altre linee d'acqua minori, ossia fossi e scoline non censite ma presenti e interferenti con l'asse stradale e di cui occorre assicurare continuità idraulica anche in condizioni post operam.

Si riportano di seguito due tabelle riassuntive delle interferenze con il reticolo idrografico secondario, una per le linee d'acqua di pertinenza del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale e una invece per le interferenze con le fossette o scoline secondarie. Per ciascuna linea d'acqua di interesse viene indicato l'asse stradale di progetto con cui interferisce, la progressiva dell'asse stradale in cui risolvere l'interferenza e una breve descrizione di come è stato scelto di risolvere l'interferenza.

Tabella 2.1 - Linee d'acqua interferenti, in capo al Consorzio di Bonifica dell'Emilia

Asse stradale	Progressiva	Tipologia interferenza	Descrizione interferenza	Tipologia risoluzione
3 - 14	0 + 230.62	Attraversamento	Condotto Bazzarola	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.20 m x 0.80 m
4 - 27	0 + 475	Attraversamento	Condotta Braiola	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione DN600 con comportamento a sifone
4 - 48	0 + 860	Attraversamento	Canale di Secchia	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare 4.00 m x 2.00 m con comportamento a sifone
4 - 52	0 + 940	Attraversamento	Fossetta di Fogliano 1	Tombino di attraversamento costituito 1 scatolare 3.00m x 2.50m
4 - 63	1 + 140	Attraversamento	Condotto di Fogliano1	Da dismettere nel tratto compreso tra la nuova tangenziale e la ferrovia
4 - 66	1 + 200	Attraversamento	Fosso Francesca	Tombino di attraversamento costituito 1 scatolare 3.00m x 2.50m
4 - 90	1 + 660	Attraversamento	Rio Lavacchiello	Ponte con luce netta 12.00 m
4 - 96	1 + 780	Attraversamento	Rio Valcavi	Tombino di attraversamento costituito 1 scatolare 3.00m x 2.50m
SP -114	-----	Attraversamento	Torrente Acqua Chiara	Prolungamento attraversamento esistente con scatolare 6.60x3.00m
3 - 25	0 + 442	Attraversamento	Fossetta Bazzarola	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.20 m x 0.80 m
4 - 60	1 + 080	Attraversamento	Condotto di Fogliano 2 dir.	Intercettato con tubazione interrata PVC DN500 SN 4 e deviato in Condotto di Fogliano 1
4 - 3	0 + 38	Attraversamento	Cavo Braiola	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.20 m x 0.80 m

Tabella 2.2 - Linee d'acqua interferenti, secondarie

Asse stradale	Progressiva	Tipologia interferenza	Descrizione interferenza	Tipologia risoluzione
1 - 8	0 + 137	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
1 - 22	0 + 370	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
3 - 6	0 + 91	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.00 m x 0.50 m
3 - 21	0 + 366	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.00 m x 0.50 m
4 - 11	0 + 173	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
4 - 16	0 + 280	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
4 - 28	0 + 512	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
4 - 33	0 + 607	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 tubazione in cls DN600
4 - 38	0 + 705	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.00 m x 0.50 m
4 - 105	1 + 951	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.20 m x 0.80 m
4 - 117	2 + 195	Attraversamento	Fosso secondario di bonifica	Tombino di attraversamento costituito da 1 scatolare in cls 1.00 m x 0.50 m

### 3 ELENCO RIFERIMENTI NORMATIVI

---

- **Decreto 17 gennaio 2018** “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”
- **Circolare 21 gennaio 2019**, n. 7 C.S.LL.PP “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- **R.D. 25-7-1904 n. 523** “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”
- **DECRETO LEGISLATIVO 3 aprile 2006, n. 152** (Norme in materia ambientale)
- **DECRETO 4 aprile 2014** “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”
- **DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE 9 giugno 2003, n. 1053** (Direttiva concernente indirizzi per l'applicazione del d.lgs 11 maggio 1999, n. 152 come modificato dal D.Lgs. 18 agosto 2000, n. 258 recante disposizioni in materia di tutela delle acque dall'inquinamento)
- **DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE 14 febbraio 2005, n. 286** (Direttiva concernente indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne (art. 39, DLgs 11 maggio 1999, n. 152)
- **DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE 18 dicembre 2006, n. 1860** (Linee guida di indirizzo per la gestione acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia in attuazione della deliberazione G.R. n. 286 del 14/2/2005)
- **Direttiva comunitaria 2007/60/CE** (cd. ‘Direttiva Alluvioni’)
- **Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n.49** “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”
- **Decreto Legislativo 10 dicembre 2010, n. 219** “Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque”
- **DGR 1587 del 26 ottobre 2015** “Approvazione delle linee guida regionali per la riqualificazione integrata dei corsi d'acqua naturali dell'Emilia-Romagna”
- **Deliberazione C.I. n. 2 del 3 marzo 2016** “Approvazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico del fiume Padano (PGRA)”
- **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.
- **Norme UNI** in materia di collettori di fognatura e sistemi di raccolta e smaltimento acque meteoriche
- **Norma UNI EN 858-1:2005** “Impianti di separazione per liquidi leggeri (per esempio benzina e petrolio) - Parte 1: Principi di progettazione, prestazione e prove sul prodotto, marcatura e controllo qualità”

## 4 OBIETTIVI E CRITERI DELLA PROGETTAZIONE

---

Il presente progetto idraulico prevede il dimensionamento delle opere di attraversamento del reticolo idrografico superficiale con cui interferisce il tracciato del nuovo asse stradale in progetto, al fine di rispettare le condizioni di sicurezza idraulica.

Il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche principali sono stati sviluppati con riferimento al tempo di ritorno 200 anni, in linea con le NTC 2018 ed in particolare con la Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP che specifica:

*punto C5.1.2.3): "L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti"*

posto che per i ponti le NTC specificano:

*punto 5.1.2.3 Compatibilità idraulica "Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ )"*

Le dimensioni e le tipologie dei manufatti preposti alla risoluzione delle interferenze tra il nuovo asse stradale e il reticolo idrografico esistente sono state impostate in ottemperanza alle prescrizioni pervenute nel corso dei confronti istruttori di PAUR con il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (C.B.E.C):

- *Per tutti gli attraversamenti dei canali/fossi in nostra gestione la risoluzione con doppia canna non è autorizzabile e dovrà essere sostituita con un unico manufatto di adeguata capacità idraulica;*
- *Per tutti gli attraversamenti dei canali/fossi in gestione al Consorzio, non saranno ammessi diametri inferiori a 600 mm*
- *All'imbocco e allo sbocco degli attraversamenti non sono ammesse griglie di trattenuta*

Le opere che sono state verificate con una modellazione idraulica di maggior dettaglio sono quelle relative agli attraversamenti idraulici che interessano rispettivamente il Rio Valcavi, il Rio Lavachiello (detto anche Rio Fogliano), il Fosso Francesca, la Fossetta di Fogliano.

Sul torrente Acquachiara è stato previsto il prolungamento, lato valle, dell'attraversamento idraulico sulla Tangenziale Sud- SP114, adottando una sezione dell'opera pari a quella esistente e verificando con una modellazione idraulica di dettaglio il grado di riempimento del manufatto di attraversamento dell'asse stradale.

Per l'attraversamento del canale di Secchia, infine, è stato necessario inserire, in analogia con l'attraversamento ferroviario esistente immediatamente a monte, un tombino a sifone con dimensioni tali da garantire il transito delle portate corrispondenti al livello di massima regolazione, assunto in questa fase, in mancanza di dati esatti, pari cautelativamente alla quota di coronamento delle arginature pensili che cingono il canale.

Considerando quindi le opere verificate per mezzo della modellazione idraulica di dettaglio, i criteri per la verifica idraulica dei manufatti sono i seguenti:

- Attraversamenti idraulici principali (ponti): verifica in condizioni di moto vario considerando un franco idraulico non inferiore ad 1.50m (Rif. normativo punto 5.1.2.3 delle NTC2018 *“Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo”*)
- Tombini idraulici principali (tombini scatolari): verifica in condizioni di moto vario considerando un franco idraulico superiore al 33% dell'altezza utile dell'opera, e comunque non inferiore a 50cm (Rif. normativo punto C5.1.2.3 della Circolare 2019 *“nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m”*)

I tombini secondari, a causa della incerta definizione delle aree tributarie e degli apporti provenienti dai canali irrigui di adduzione, sono stati dimensionati in questa fase considerando condizioni di moto uniforme e portata di progetto pari a quella massima smaltibile a sezione piena dal fosso interferito dall'infrastruttura, garantendo un grado di riempimento inferiore al 70% della sezione del tombino. Analisi più accurate potranno essere sviluppate nelle fasi di progettazioni successive, in parallelo con la definizione di miglior dettaglio del quadro conoscitivo.

Si precisa che al fine di consentire al Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale di raggiungere agevolmente l'area interclusa tra la nuova variante stradale e la linea ferroviaria FRE Sassuolo-Reggio Emilia, è stata prevista in progetto la realizzazione di una pista di servizio/manutenzione che si articola in affiancamento alle due infrastrutture garantendo la piena percorrenza da via E.Fermi (SP467) fino alla Tangenziale Sud (SP114). Per garantire lo scavalco da parte della pista sulle linee d'acqua presenti sul percorso si è provveduto al prolungamento dei tombini principali ed all'inserimento di manufatti cavalcafosse per il superamento dei colatori minori.

Nell'ottica di una futura più agevole manutenzione dei tratti di canali tra la nuova infrastruttura e la ferrovia ed al fine di limitare i ricacci vegetativi si è previsto per tali tratti il rivestimento di tutto il perimetro bagnato con massi da scogliera.

## 5 ANALISI IDROLOGICA

In questo capitolo si espone la metodologia che ha portato alla determinazione degli idrogrammi di progetto definiti come input idrologici nella modellazione idraulica condotta per il dimensionamento delle quattro opere da inserire rispettivamente nei seguenti corsi d'acqua: Rio Valcavi, Rio Lavachiello, Fosso Francesca e Fossetta Fogliano. È stato studiato anche il comportamento idrologico del bacino idrografico del torrente Acquachiara al fine di condurre una verifica in moto uniforme del tombino esistente di cui si prevede il prolungamento.

Lo studio idrologico è stato sviluppato a partire da un'analisi geomorfologica dei bacini idrografici di interesse mediante software GIS, al fine di calcolarne il tempo di corrivazione. Quindi è stata sviluppata l'analisi idrologica con l'ausilio del software HEC-HMS.

### 5.1 COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE

Si riporta di seguito la corografia dei cinque bacini dei corsi d'acqua in esame.

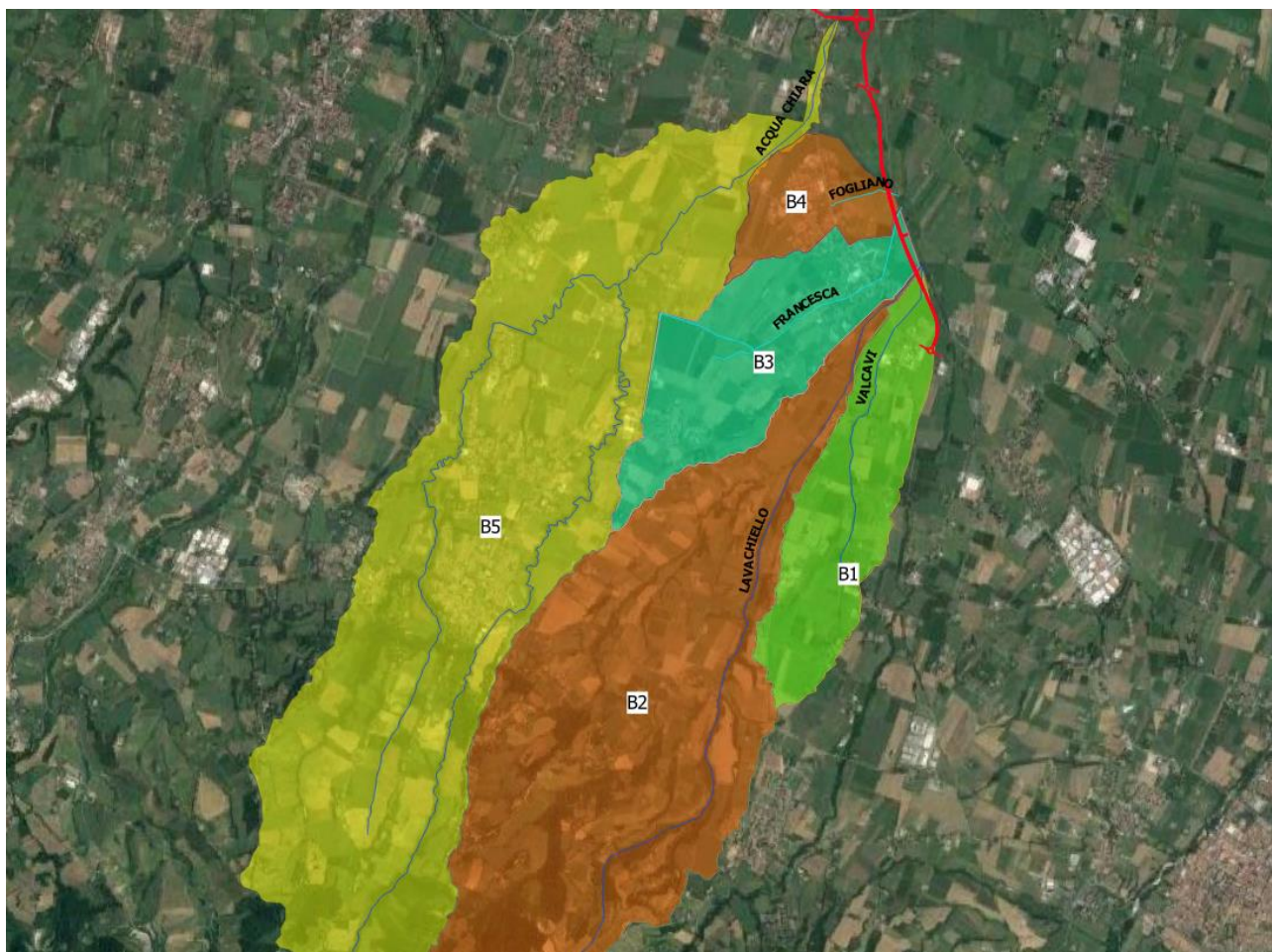


Figura 5.1 - Corografia dei bacini scolanti

## 5.2 ANALISI MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI

Con l'utilizzo del DTM (5m x 5m) disponibile sul geoportale della Regione Emilia Romagna e l'utilizzo di un software applicativo GIS sono stati determinati:

- L'estensione delle aree drenanti dei fossi in esame;
- Le caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici;
- Il tempo di corrivazione.

Per il calcolo del tempo di corrivazione sono state individuate e calcolate le seguenti caratteristiche geomorfologiche:

- $h_{min}$  = Altezza assoluta minima del bacino (alla sezione di chiusura), ricavata dai modelli digitali del terreno;
- $h_{max}$  = Altezza assoluta massima del bacino, ricavata dai modelli digitali del terreno;
- $A$  = Estensione del bacino, ricavata dai modelli digitali del terreno;
- $L$  = Lunghezza dell'asta principale, misurata sulla base del reticolo idrografico regionale;
- $h_{max\_a}$  = Altezza massima dell'asta principale, ricavata dai modelli digitali del terreno;

I tempi di corrivazione, anche in seguito ad un confronto con il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, sono stati calcolati utilizzando le seguenti formulazioni:

- Turazza

$$t_c = 1.085 \sqrt{A}$$

$t_c$  = tempo di corrivazione [giorni];

$A$  = area del bacino [ $km^2$ ];

- Ventura
  - Per bacini pianeggianti

$$t_c = 0.315 \sqrt{A}$$

- Per bacini con pendenza

$$t_c = 0.0053 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i}}$$

$t_c$  = tempo di corrivazione [giorni];

$A$  = area del bacino [ $km^2$ ];

$i$  = pendenza media del terreno [m/m];

- Pasini

$$t_c = 0.0045 \frac{\sqrt[3]{A L}}{\sqrt{i}}$$

$t_c$  = tempo di corrivazione [giorni];

A = area del bacino [km<sup>2</sup>];

i = pendenza media del terreno [m/m]

Considerando che la condizione geomorfologica caratteristica dei bacini in esame è quella di area pedecollinare e di pianura, è stata ritenuta più idonea la formulazione del tempo di corrivazione di Pasini.

Si specifica che il tempo di corrivazione non è stato utilizzato per il calcolo diretto delle portate con il metodo razionale, bensì come dato di base per andare ad individuare la durata critica di ciascun bacino idrografico. Infatti, come mostrato nei seguenti paragrafi, per ciascun bacino sono state modellate diverse durate di pioggia fra le quali è stata individuata come critica quella che massimizza il picco dell'idrogramma risultante dalla modellazione idrologica.

Di seguito si mostra in forma tabellare le caratteristiche geomorfologiche e i tempi di corrivazione di ciascun bacino idrografico.

Tabella 5.1 - Caratteristiche geomorfologiche bacini idrografici

BACINO	Area [ha]	H max bacino [m s.l.m.]	L asta princ [km]	H max asta [m s.l.m.]	H min asta [m s.l.m.]	Tc [h]
VALCAVI	251.49	143.10	2.994	98.67	66.04	2.03
LAVACHIELLO	997.02	433.80	7.746	371.5	65.67	2.31
FRANCESCA	281.44	127.30	2.909	93.66	63.09	2.12
FOGLIANO	105.23	84.80	1.483	76.73	63.04	1.30
ACQUACHIARA	1524.14	515.80	13.547	502	61.65	3.54

### 5.3 ANALISI STATISTICA: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

In linea generale, le curve di possibilità pluviometriche a cui fare riferimento per la modellazione idraulica in queste aree sono quelle:

- pubblicate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, desumibili dalla Tabella 1 allegata alla "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" del "Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico";
- suggerite dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, relative allo studio del 2009 del Prof. A.Marinelli condotto sui canali consortili;

Di seguito sono riportate entrambe le tabelle:

Tabella 5.2 - Curve di probabilità pluviometrica AdbPo

Tabella 1: curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura									
Stazione di misura		T = 20 anni		T = 100 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
Cod.	Denominazione	a	n	a	n	a	n	a	n
1885	Reggio Emilia	48.24	0.249	62.71	0.244	68.90	0.242	77.05	0.240

Tabella 5.3 - Curve di probabilità pluviometrica Consorzio di Bonifica Emilia Centrale (Prof. Marinelli-2009)

Tempo di ritorno T	Alta pianura		Media pianura		Bassa pianura	
	a	n	a	n	a	n
25	51.44	0.21	58.93	0.23	69.09	0.17
50	57.50	0.21	66.21	0.23	78.16	0.16
100	63.50	0.21	73.44	0.23	87.16	0.16

Le curve di probabilità pluviometrica sopra riportate fanno riferimento a dati storici non aggiornati, si è ritenuto pertanto, per verifica e completezza di trattazione, accompagnarle ad un'analisi statistica attualizzata ai dati pluviometrici ad oggi disponibili; sono state pertanto acquisite le precipitazioni orarie registrate presso il pluviometro di Reggio Emilia nel periodo 1988 - 2019.

Il modello statistico-probabilistico adottato per questo studio fa riferimento alla distribuzione del valore estremo EV1 o di Gumbel.

Di seguito si riportano i valori massimi annuali delle altezze di pioggia registrate dal 1988 al 2019 nel pluviometro di riferimento.

Tabella 5.4 - Valori massimi annuali di altezze di pioggia

ANNO	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1988	7.8	11.6	18.2	25.8	25.8
1989	17.8	20.8	25.4	40	55.6
1990	43.6	54.2	69.4	122.4	143.2
1991	20.4	23.4	26.4	50.6	74
1992	22.8	44.4	50	52.8	96.6
1993	41.8	41.8	41.8	41.8	58.4
1994	25	32.2	45	49.2	72.8
1996	13.6	19	27.6	37.8	65.4
1997	14.2	28.4	30.8	33.6	34.6
1998	10.6	14.6	22.4	31.4	32.2
1999	17.2	33.2	50.2	87.8	130.8
2000	17.4	27.6	42	49.4	52.6
2001	15.6	30.2	36.6	36.6	39.8
2002	26.6	38.4	51.6	51.8	52
2004	39.2	57.6	60	60.6	61.6
2005	16.2	20.2	22.6	33.2	57

2006	20	26.4	28	33.6	39.2
2007	17.8	24.2	32.6	38.6	65.6
2008	48.4	70.6	70.6	70.8	70.8
2009	30.6	35.8	35.8	35.8	40
2010	12.6	30	36.8	48.6	57.2
2011	14.8	30.4	32.6	43.8	56.2
2012	14.2	24.4	29.2	47.8	51
2013	16	18.2	33.8	45.2	59
2014	32.2	48	59.2	68.6	72
2015	16	28	28	36.4	42
2016	24.8	35.2	41	41	41
2017	22.4	23.4	28.6	55.2	67.6
2018	32	33.2	39.6	44.4	44.4
2019	24	33	47.6	64	74.6

### **Metodologia di Gumbel**

Il metodo consiste nel calcolare inizialmente i due parametri  $\alpha$  e  $u$  con le seguenti formule:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} s}{\pi}$$

$$u = m - 0.5772 \alpha$$

dove  $m$  e  $s$  sono rispettivamente la media e la deviazione standard dei valori massimi annuali per ciascuna durata.

Con questi due valori, è possibile calcolare per ciascuna durata e per ciascun tempo di ritorno  $Tr$  l'altezza di pioggia con la seguente formula

$$h = u + \alpha \left( -\ln \left( \ln \left( \frac{Tr}{Tr - 1} \right) \right) \right)$$

Infine, con una regressione logaritmica si ricavano i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  per ciascun tempo di ritorno.

I valori di  $a$  ed  $n$  determinati per il tempo di ritorno pari a 200 anni sono:

$$a = 57.8 \quad n = 0.295$$

Dal confronto fra tutti i dati sopra riportati, sia quelli forniti dagli Enti che quelli determinati per via probabilistica sui dati pluviometrici aggiornati della stazione di Reggio Emilia, si nota che:

- i parametri pluviometrici dello studio del Consorzio di Bonifica appaiono oltremodo severi, posto che l'altezza di pioggia di durata 1 ora con  $Tr$  25 anni risulta paragonabile ad una pioggia duecentennale di pari durata calcolata con gli altri due studi. Inoltre nello studio del Consorzio di Bonifica non vengono riportati i coefficienti per il  $Tr$  200 anni di interesse;
- i coefficienti pluviometrici elaborati a partire dai dati aggiornati della stazione pluviometrica di Reggio Emilia risultano sensibilmente più bassi anche dei valori pubblicati dall'Autorità di Bacino del fiume Po per la stessa stazione;

Alla luce di tutto quanto sopra esposto ed in considerazione delle durate caratteristiche dei bacini in esame, si ritiene cautelativo assumere a riferimento per il calcolo degli ietogrammi di progetto i seguenti parametri desunti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po relativi a Reggio Emilia, con  $T_r = 200$  anni:

$$a = 68.90 \quad n = 0.242$$

### 5.3.1 Determinazione dello ietogramma di progetto

Nelle simulazioni condotte si è scelto di utilizzare uno ietogramma di forma triangolare con picco a metà della durata dell'evento di pioggia. Solitamente tra gli ietogrammi di forma comune, quello triangolare risulta massimizzare il picco dell'idrogramma a parità di volume di pioggia caduto.

Date le dimensioni contenute dei bacini oggetto di studio non si sono cautelativamente applicati fattori di ragguaglio all'area delle precipitazioni.

Come premesso, sono state svolte simulazioni per durate di pioggia variabili da 1 ora a 7.5 ore, per poi scegliere, per ciascun corso d'acqua in studio, l'idrogramma con il picco di portata massimo.

## 5.4 CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

Per il calcolo degli idrogrammi di progetto sono stati utilizzati i seguenti due modelli:

- “Initial and constant loss method”, per il calcolo dell'infiltrazione del terreno e quindi le piogge nette;
- “Clark Unit Hydrograph method”, per la modellazione del processo afflussi-deflussi.

### 5.4.1 Initial and constant loss method ( $I_a$ e $K_s$ )

La trasformazione afflussi-deflussi con  $I_a$  e  $K_s$  prevede l'adozione di un “approccio asintotico a soglia” che richiede la stima di due parametri: la perdita iniziale, schematizzata introducendo un volume unitario di perdita iniziale (indicato con  $I_a$ ) che il terreno assorbe completamente durante i primi istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento  $t=0$  all'istante  $t=t_a$ ) e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una infiltrazione cumulata costante a saturazione (indicata con  $K_s$ ).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < t_a$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t > t_a$$

dove  $P(t)$  è l'intensità di precipitazione lorda sul bacino [mm/h];  $P_n(t)$  l'intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];  $I_a(t)$  il volume unitario di perdita iniziale all'istante  $t$  dell'evento [mm];  $I_a = I_a(t_a)$  il volume di perdita iniziale per unità di area [mm];  $K_s$  la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

Per la stima dei coefficienti  $la$  e  $K_s$  ci si è riferiti a tabelle reperibili in letteratura. In particolare, per la stima della velocità di infiltrazione a saturazione ci si è riferiti alla tabella fornita dal Soil Conservation Service che associa ad ogni tipologia di suolo (Soil Group A, B, C o D) un intervallo di valori di  $K_s$ :

Tabella 5.5 - Valori di  $K_s$  in funzione del tipo di suolo (SCS)

Soil Group	Description	Range of Loss Rates (in/hr)
A	Deep sand, deep loess, aggregated silts	0.30-0.45
B	Shallow loess, sandy loam	0.15-0.30
C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay	0.05-0.15
D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils	0.00-0.05

Considerando che l'area interessata da tutti i bacini in esame è prevalentemente composta da suoli appartenenti al gruppo C, ossia di tipo argilloso-limoso, è stato scelto un valore di infiltrazione a saturazione pari a 3.8 mm/h.

Per la stima delle perdite iniziali, espresse tramite il parametro  $la$ , è stata presa in considerazione la tabella 6-1 del EM 1110-2-1417:

Tabella 5.6 - Tabella 6-1 del EM 1110-2-1417

Interception Losses Agricultural Areas		
Crop	Height ft.	Interception in.
Corn .....	6	0.03
Cotton .....	4	0.33
Tobacco .....	4	0.07
Small grains .....	3	0.16
Meadow grass .....	1	0.08
Alfalfa .....	1	0.11
(from Linsley, Kohler, and Paulhus 1975)		
<b>Forest Areas</b> (from Viessman et al. 1977) 10-20% total rainfall, maximum 0.5 in.		
<b>Detention Storage</b> (from Horton 1935)		
Agricultural Areas (Depending on time sense tillage)		0.5 - 1.5 in.
Forests/Grasslands		0.5 - 1.5 in.
<b>Total Surface Loss</b>		
Urban Areas Open Areas		0.1 - 0.5 in.
Impervious Areas		0.1- 0.2 in.

Considerando che l'area in esame è di natura agricola, è stato scelto un parametro la pari a 38 mm.

### 5.4.2 Clark Unit Hydrograph method

In generale l'Idrogramma Istantaneo Unitario (IUH) rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotezzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$ , supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra ietogramma di pioggia efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

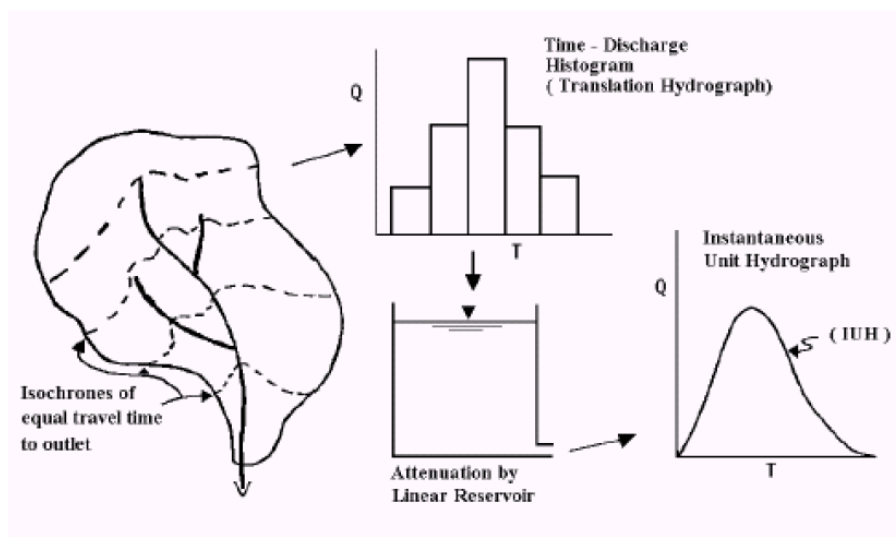
dove  $Q(t)$  è la portata defluente;  $p(t) = A_i(t)$ , con  $A$  area del bacino e  $i(t)$  intensità di pioggia netta ragguagliata sul bacino;  $U(t)$  è l'idrogramma unitario

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases}$$

$$\int_0^{\infty} U(t) dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione  $U(t)$ , che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Il modello di Clark assume che la risposta idrologica di un bacino possa essere equiparata ad un serbatoio lineare disposto in serie con un canale lineare, in modo che l'uscita dell'uno costituisca l'ingresso nel successivo.



L'idrogramma unitario istantaneo è definito come:

$$U(t) = \int_0^t \frac{e^{-(t-\tau)/R}}{R} \frac{1}{A} \frac{dA(\tau)}{d\tau} d\tau$$

La definizione dell'IU di Clark nasce dalla considerazione che i fenomeni fisici che governano la trasformazione afflussi deflussi sono essenzialmente due:

- La traslazione della pioggia netta dal suo punto di origine alla sezione di chiusura del bacino idrografico.
- I fenomeni di invaso e svaso di acqua che avvengono in un bacino soggetto a precipitazioni.

L'idrogramma di Clark considera esplicitamente tali due fenomeni. La sua applicazione richiede la definizione della curva aree tempi del bacino idrografico e della costante di invaso del serbatoio lineare che rappresenta i fenomeni di invaso nel bacino idrografico.

Numerosi studi effettuati presso la HEC hanno mostrato che ai fini della derivazione dell'idrogramma unitario l'effettiva curva aree tempi del bacino può essere sostituita da una funzione continua che rappresenta la curva aree tempi per un bacino tipico.

$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1.414 \left( \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{for } t \leq \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1.414 \left( 1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{for } t \geq \frac{t_c}{2} \end{cases}$$

I parametri richiesti per procedere con questo tipo di modellazione afflussi-deflussi sono due: il tempo di corrivazione e la costante R, ossia la costante di invaso. Il tempo di corrivazione è il medesimo calcolato precedentemente. Per la costante di invaso R invece ci si riferisce al rapporto:

$$\frac{R}{R + T_c}$$

Questo rapporto assume generalmente un valore costante all'interno di regioni idrologiche omogenee: tale parametro varia generalmente da valori prossimi a 0.1, tipici solitamente di idrogrammi caratterizzati da un ramo ascendente ripido, (ad esempio idrogrammi generati da bacini urbani o da bacini ad elevata pendenza media) fino a valori prossimi a 0.7, che si hanno per idrogrammi relativi a bacini agricoli pianeggianti o coperti da boschi, con bassa pendenza media. Nel caso in esame si è assunto un valore di tale rapporto pari a 0.6, considerando che tutti i bacini di interesse hanno la superficie prevalentemente coperta da aree agricole caratterizzate da basse pendenze.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva dei parametri del modello di Clark adottati nella modellazione idrologica:

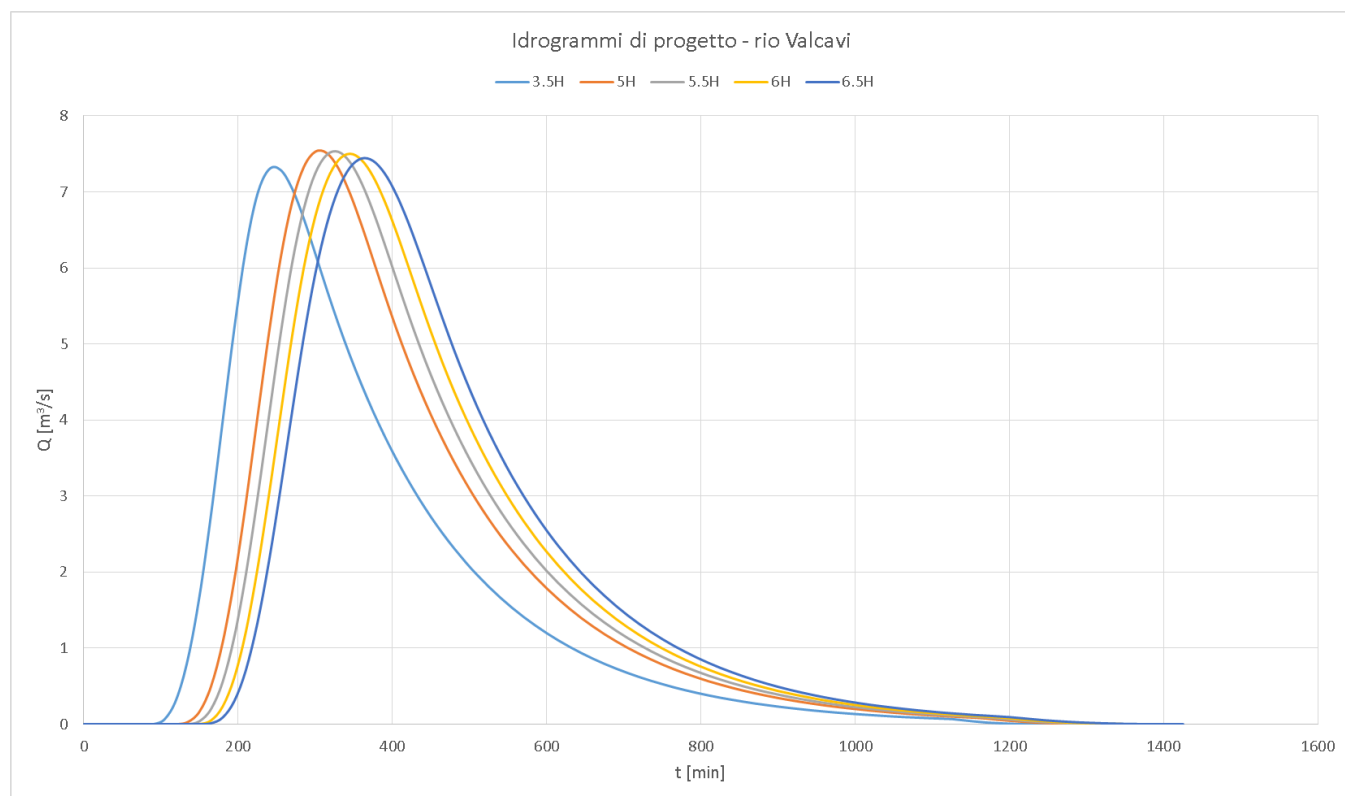
Tabella 5.7 - Parametri del modello di Clark

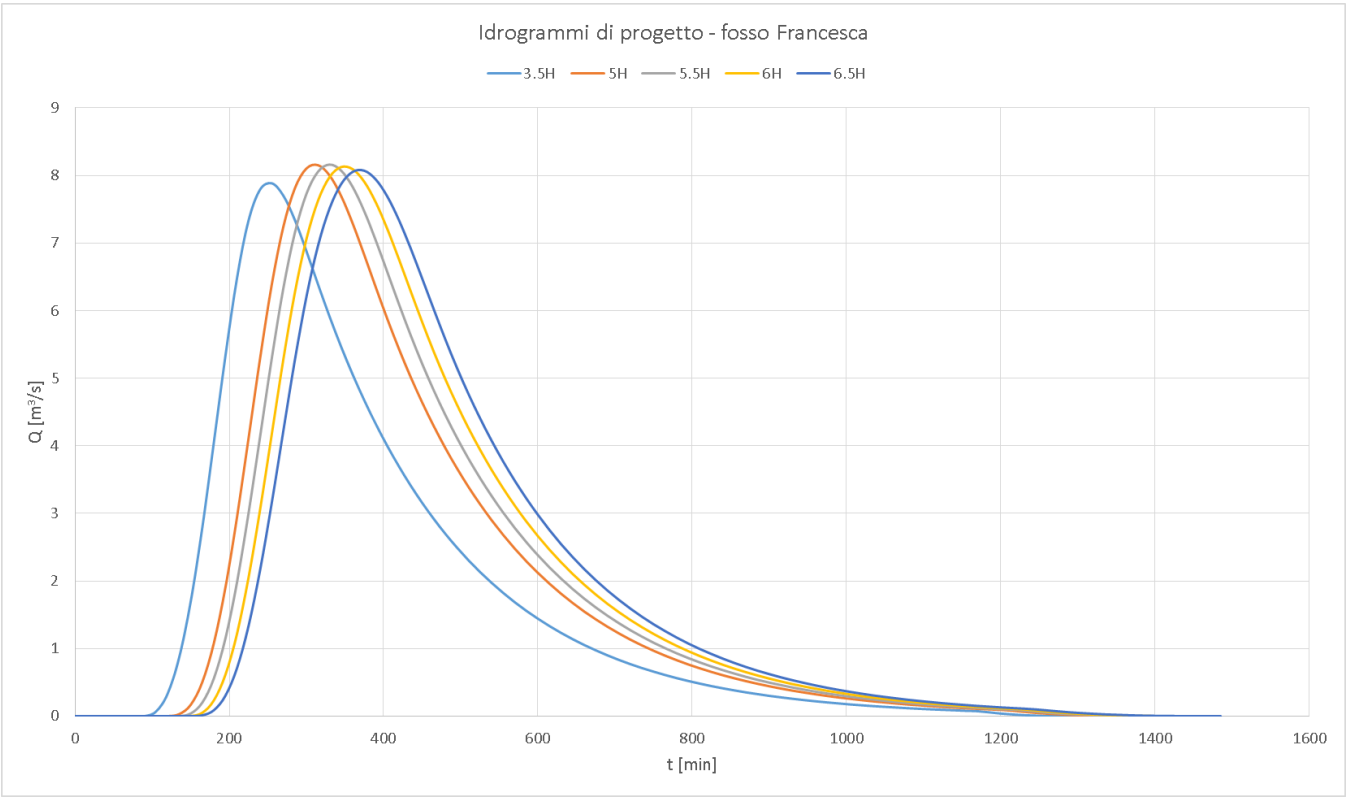
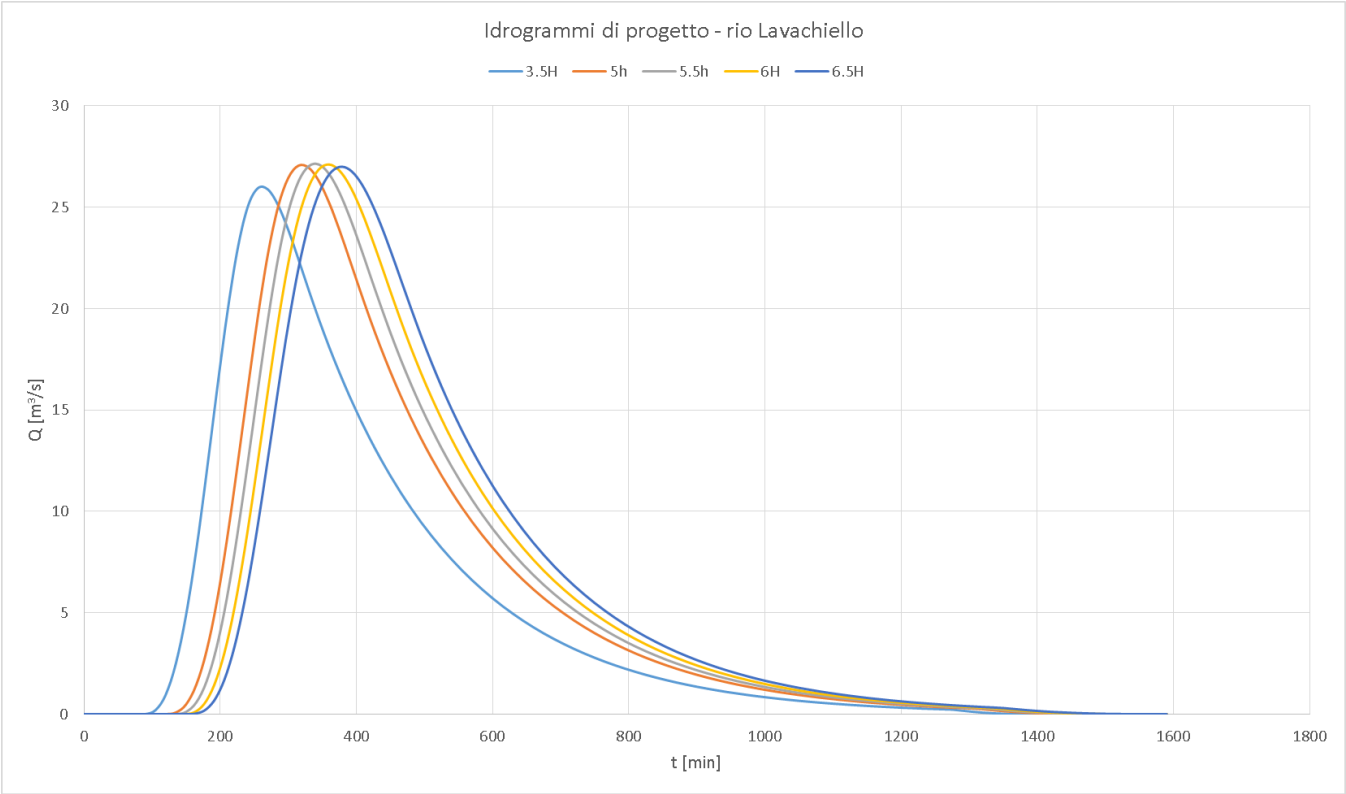
	<b>Tc [h]</b>	<b>R [h]</b>
<b>Rio Valcavi</b>	2.03	3.04
<b>Rio Lavachiello</b>	2.31	3.47
<b>Fosso Francesca</b>	2.12	3.19
<b>Fossetta di Fogliano</b>	1.30	1.96
<b>Torrente Acqua Chiara</b>	3.54	5.31

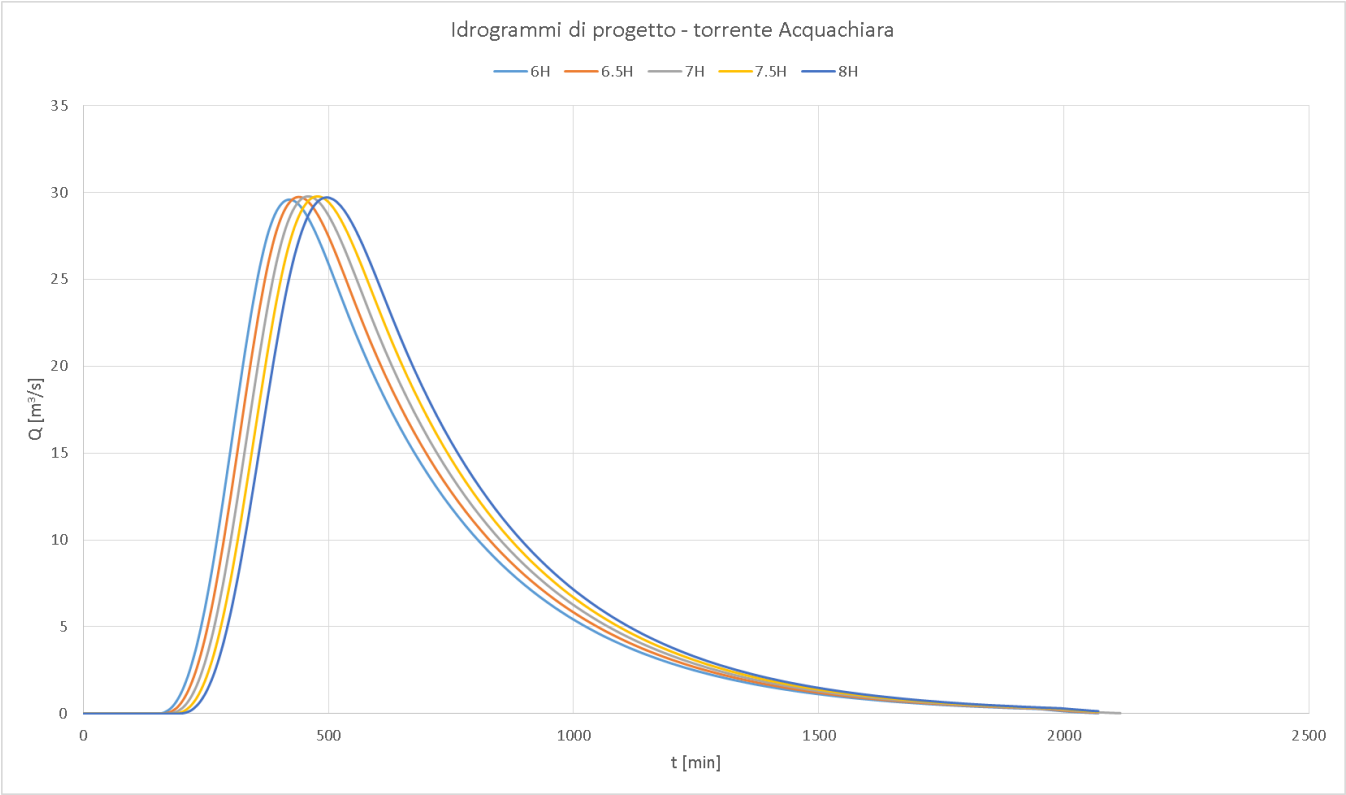
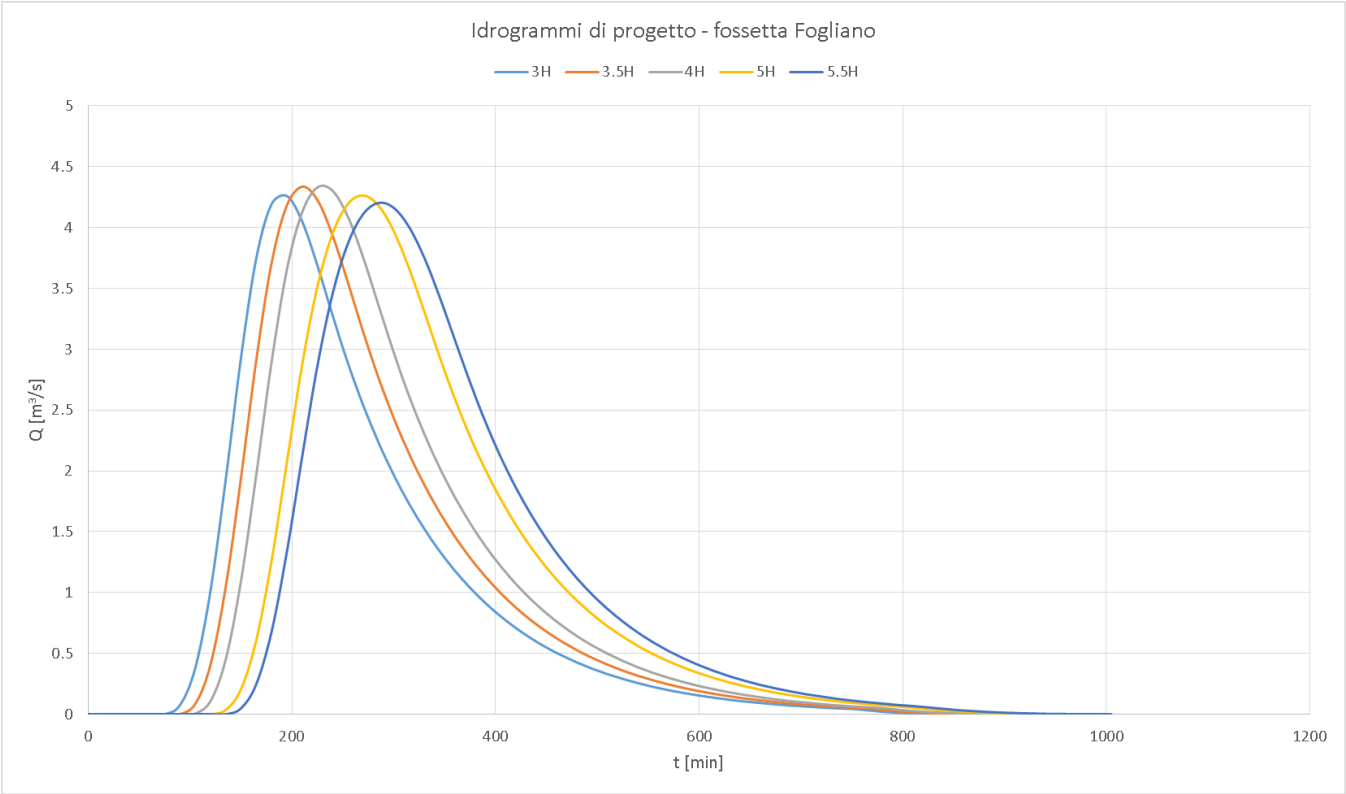
Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati utilizzando il software sviluppato dal centro di ingegneria idraulica dell'esercito statunitense HEC-HMS e permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferiti a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali.

Il programma necessita come input la struttura del bacino (Basin Models), la tipologia di modellazione idrologica (Meteorologic Models e Time-Series Data), e i parametri temporali dell'evento meteorico (Control Specification).

Di seguito si riportano gli idrogrammi di progetto risultanti dagli eventi di pioggia con tempo di ritorno pari a 200 anni e relativi ai bacini dei corsi d'acqua analizzati, ossia il Rio Valcavi, il Rio Lavachiello, il fosso Francesca, la fossetta Fogliano e il torrente Acquachiara.







TANGENZIALE DI FOGLIANO – DUE MAESTA’

Si riportano di seguito gli ietogrammi e relativi idrogrammi associati alla durata critica di ciascun bacino.

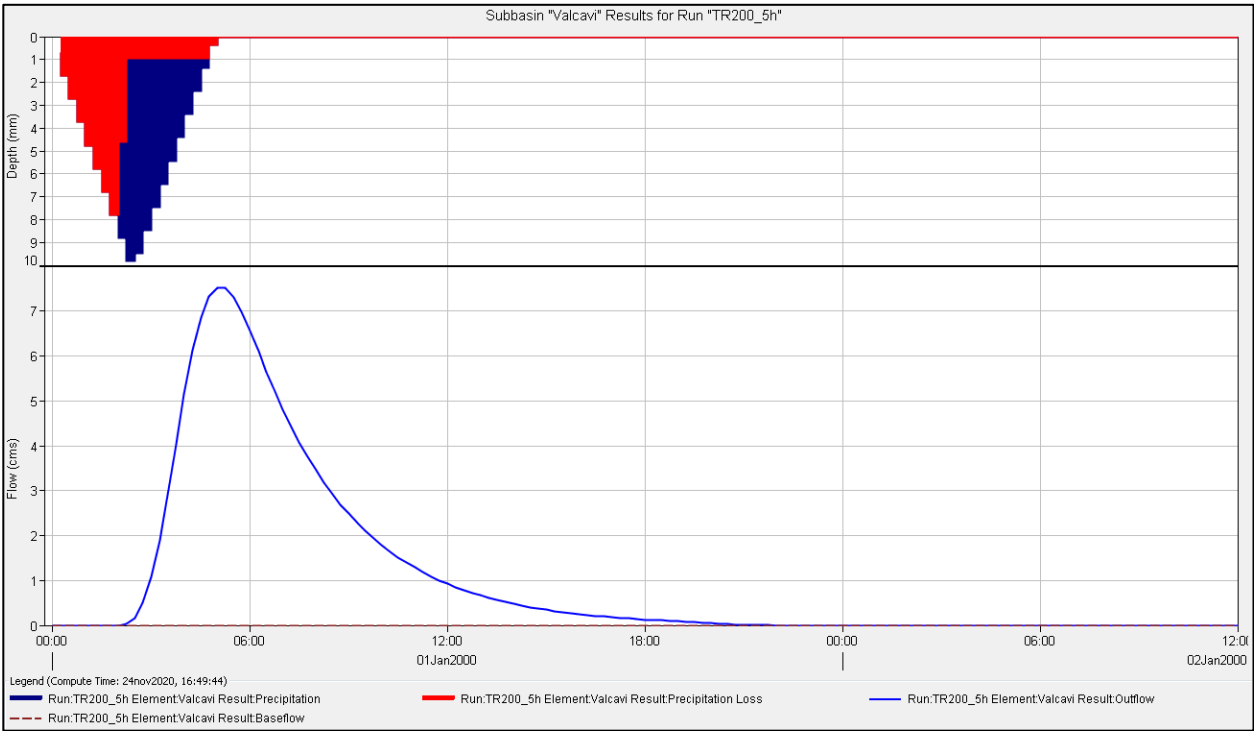


Figura 5.2 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Rio Valcavi

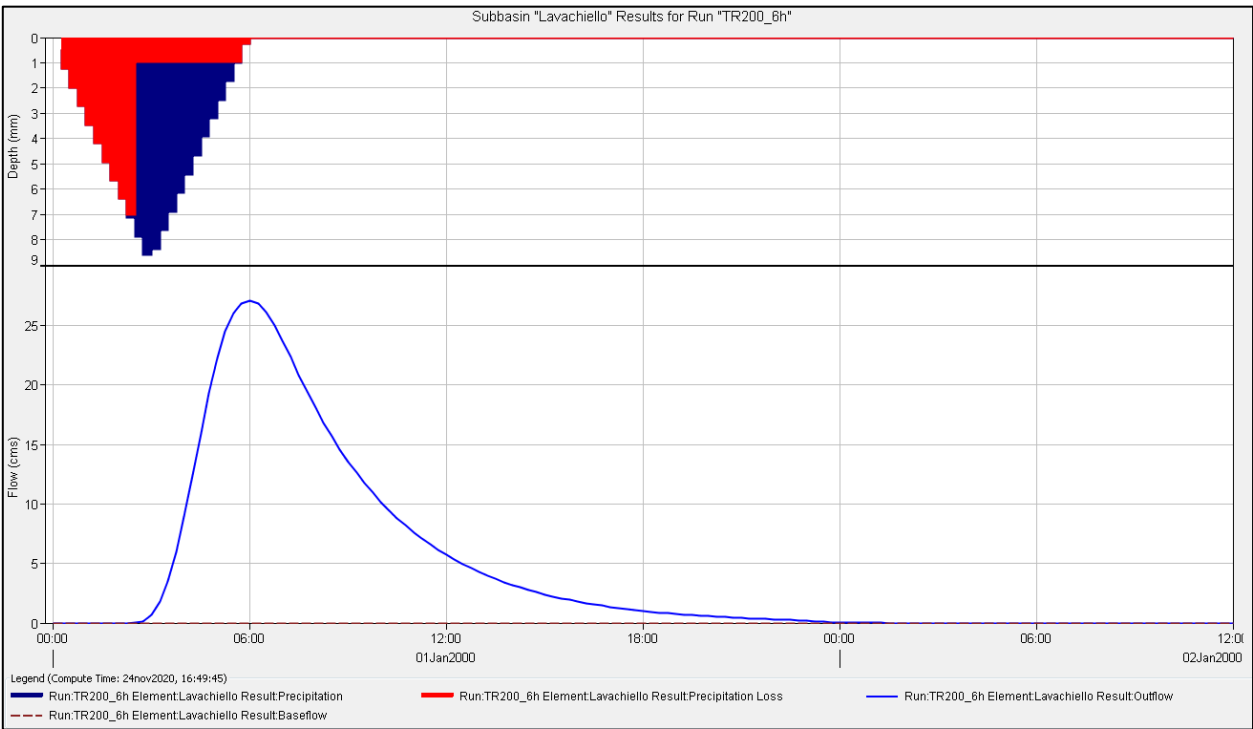


Figura 5.3 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Rio Lavachiello

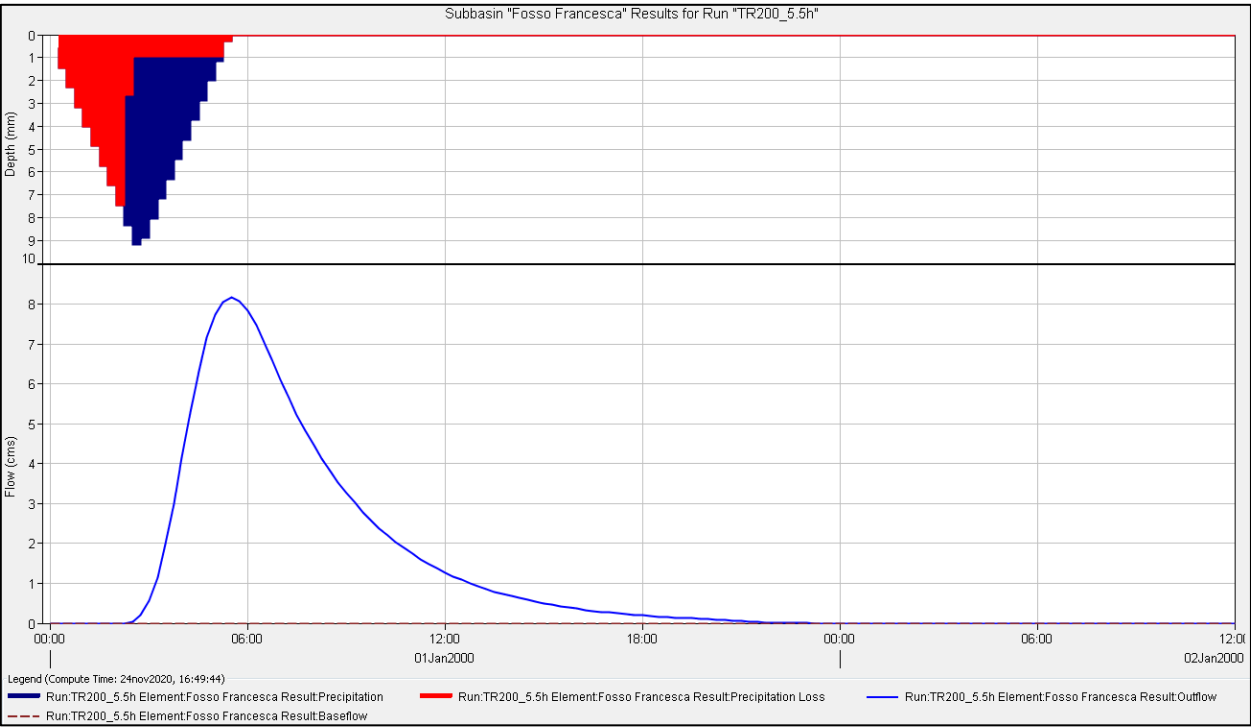


Figura 5.4 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Fosso Francesca

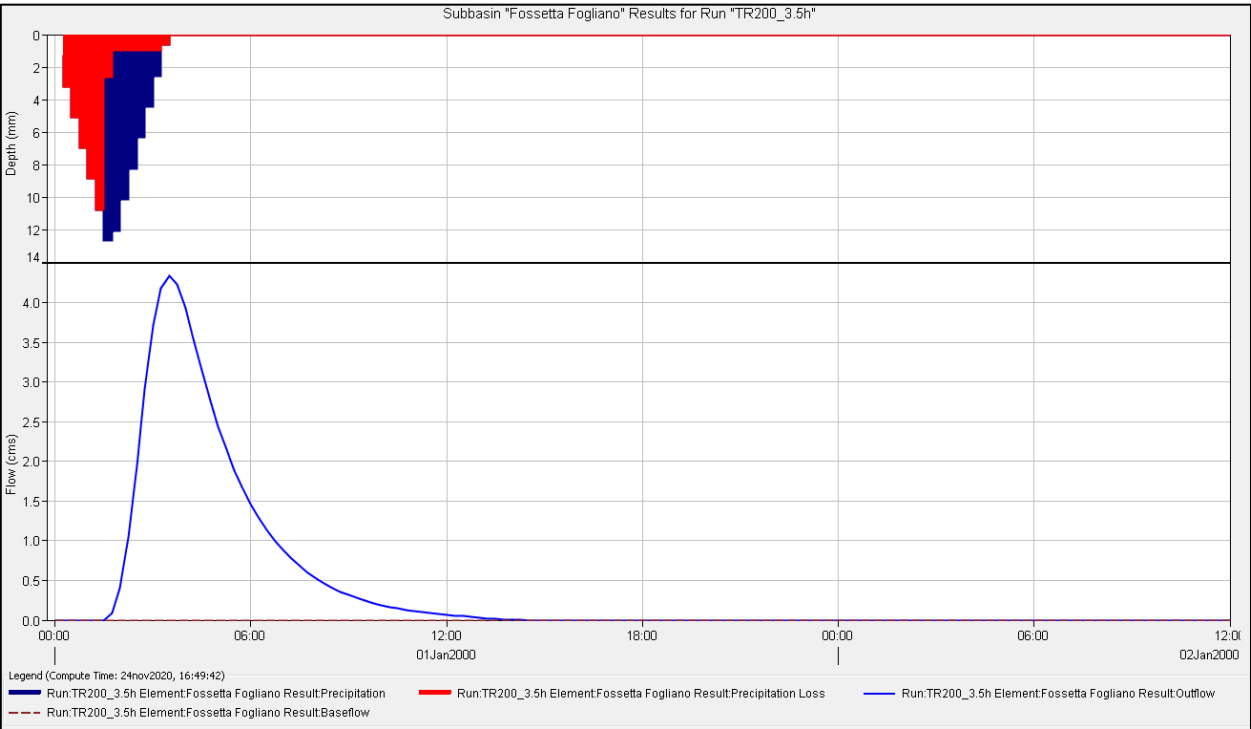


Figura 5.5 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Fossetta di Fogliano

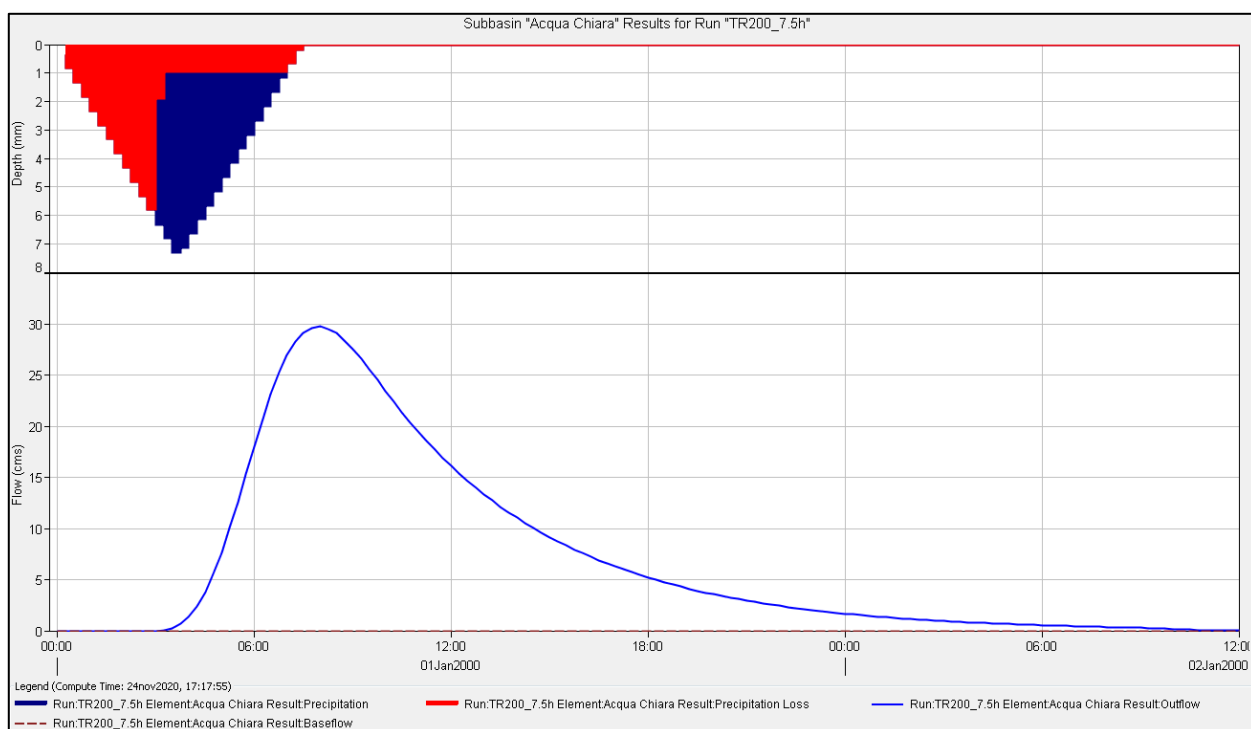


Figura 5.6 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Torrente Acquachiara

Si riporta di seguito anche una tabella riassuntiva dei valori di portata di picco relativi a ciascun corso d'acqua analizzato:

CORSO D'ACQUA	DURATA CRITICA [h]	PORTATA DI PICCO Qp [m3/s]
rio Valcavi	5.00	7.53
rio Lavachiello (o Rio di Fogliano)	6.00	27.11
fosso Francesca	5.50	8.16
fossetta di Fogliano	3.50	4.34
torrente Acquachiara	7.5	29.77

## 6 MODELLAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI PRINCIPALI

La modellazione idraulica per la verifica delle opere d'arte idrauliche principali in progetto è stata condotta mediante il software HEC-RAS 5.0.5 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE) utilizzando uno schema di calcolo a moto vario monodimensionale per la modellazione delle aste fluviali e quasi-bidimensionale per la modellazione delle aree golenali e di esondazione.

Le opere d'arte dimensionate e verificate con la modellazione di seguito descritta sono:

- Tombino scatolare (dimensioni 3m x 2.5m) per superare l'attraversamento idraulico del Rio Valcavi (TP04);
- Tombino scatolare (dimensioni 3m x 2.5m) per superare l'attraversamento idraulico del fosso Francesca (TP03);
- Tombino scatolare (dimensioni 3m x 2.5m) per superare l'attraversamento idraulico della fossetta di Fogliano (TP02);
- Ponte sul Rio Lavachiello (Rio di Fogliano) dell'asse principale di progetto (P02).

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

### 6.1 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:

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

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q$$

$$\Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

I pedici c ed f 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, Sf 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 LPI "Local Partial Inertia", 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.

## **6.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO IDRAULICO**

La geometria dello stato di progetto è stata sviluppata come segue:

- Sezioni idrauliche delle aste fluviali e degli attraversamenti idraulici presenti sotto la linea ferroviaria Sassuolo-Reggio Emilia ricavate da appositi rilievi topografici per la definizione del modello monodimensionale mediante elementi Cross Section, Bridge e Culvert. Laddove non è stato possibile ottenere direttamente l'andamento plano-altimetrico dei corsi d'acqua in esame, sono state ricostruite le sezioni a partire da quelle rilevate e ipotizzando una pendenza media dell'ordine del 0.1%
- Inserimento delle seguenti opere idrauliche di progetto:
  - Tombino idraulico scatolare di dimensioni 3mx2.5m (TP04) per l'attraversamento del Rio Valcavi. Per i dettagli geometrici si rimanda all'elaborato grafico PDT4N001\_20\_5010;
  - Tombino idraulico scatolare di dimensioni 3mx2.5m (TP03) per l'attraversamento del fosso Francesca. Per i dettagli geometrici si rimanda all'elaborato grafico PDT3N001\_20\_5010;



Il modello inizia a circa 500 m a monte dal rilevato ferroviario esistente, ossia poco a valle della strada statale SS467, e si sviluppa fino a 50 m a valle delle opere di attraversamento idraulico tra l'asse ferroviario e le quattro linee d'acqua in esame.

### **6.2.1 Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata**

I coefficienti di scabrezza  $n$  di Manning adottati nel presente studio sono stati così impostati:

- Superficie posta tra gli argini delle aste fluviali nell'elemento Cross Section: 0.041
- Superficie golenale delle aste fluviali nell'elemento Cross Section: 0.048
- Tratti tombati: 0.014
- Rivestimenti dell'alveo nei tratti compresi tra le opere di attraversamento in progetto e le opere esistenti per l'attraversamento delle linee d'acqua del rilevato ferroviario: 0.03.

I valori dei coefficienti di perdita concentrata per i tratti tombati, per gli attraversamenti idraulici e per i ponti sono stati impostati pari a 0.5 (coeff. di contrazione) e 1 (coeff. di espansione).

### **6.2.2 Condizioni al contorno**

Le condizioni al contorno sono state impostate così come segue:

- Condizioni al contorno di monte:
  - idrogrammi relativi allo scenario con tempo di ritorno pari a 200 anni per le durate critiche dei bacini idrografici di ciascun corso d'acqua in esame
- Condizione al contorno di valle: condizioni di moto uniforme, impostando una pendenza pari a 0.2%.

## **6.3 VERIFICA DELLE OPERE IDRAULICHE PRINCIPALI**

Di seguito si riportano le verifiche dei quattro attraversamenti idraulici, ricordando che sono:

- 3 tombini scatolari 3mx2.5m per il superamento delle tre linee d'acqua, ossia il Rio Valcavi (TP04), fosso Francesca (TP03) e fossetta Fogliano (TP02);
- Ponte sul Rio Lavachiello (P02).

Le verifiche sono state effettuate ai sensi della NTC 2018, rispettando un franco idraulico di 1.50 m per il ponte sul Rio Lavachiello ed un grado di riempimento massimo pari ai 2/3 della luce utile dell'attraversamento sui tre corsi d'acqua sopra menzionati.

### 6.3.1 Tombino di attraversamento idraulico - TP04

Di seguito si riportano pianta, profilo e sezione dell'elemento Culvert del modello idraulico, corrispondente al tombino di progetto sul Rio Valcavi. Come specificato, l'area utile al transito delle portate è di dimensioni 3m x 2.5m.

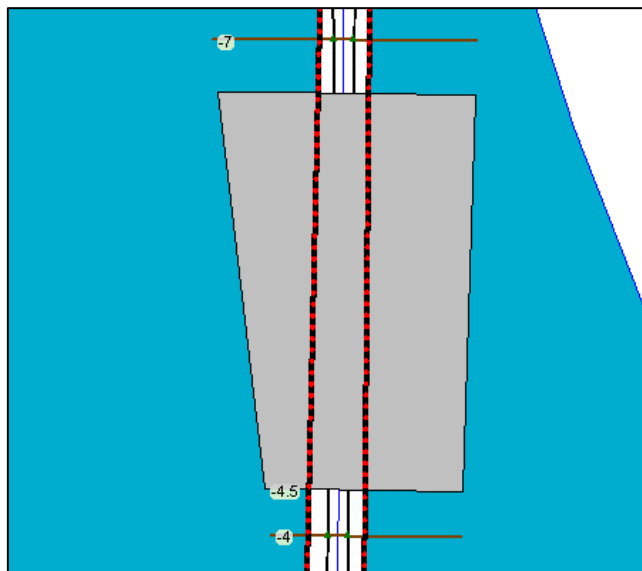


Figura 6.2 - Planimetria TP04

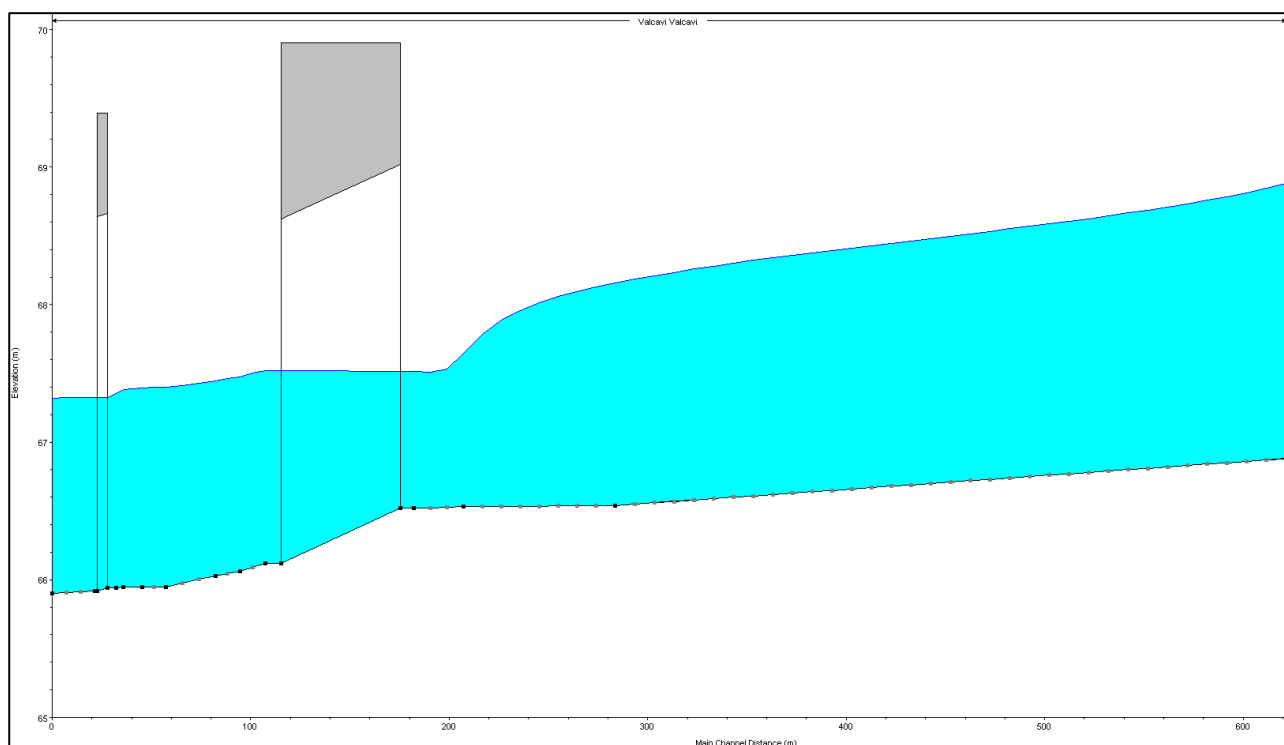


Figura 6.3 - Profilo TR200 Rio Valcavi

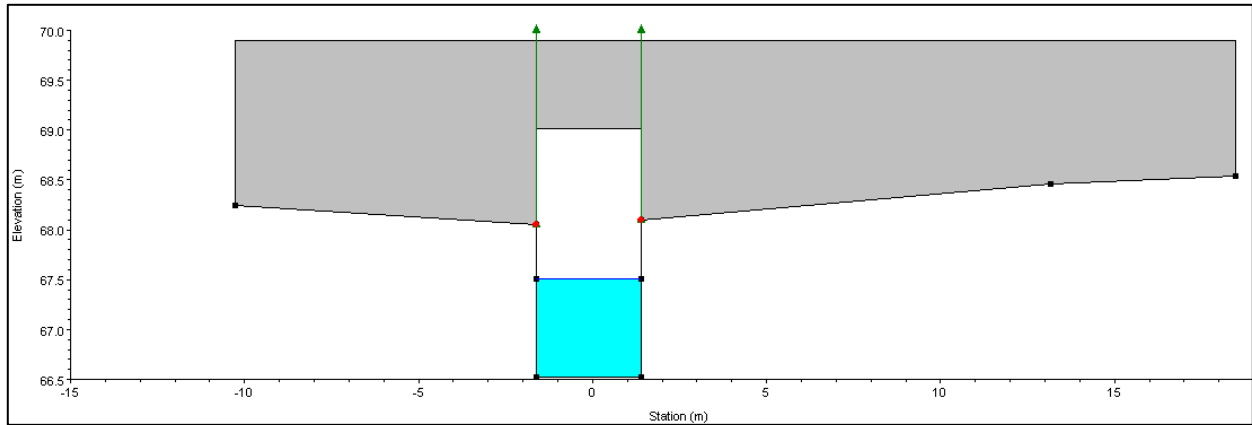


Figura 6.4 - Livello acqua sezione TP04, TR200

La quota del pelo libero per il tempo di ritorno duecentennale è pari a 67.51 m s.l.m., mentre la quota dell'intradosso del tombino è 69.02 m s.l.m. È così assicurato un franco idraulico pari a 1.51 m e un grado di riempimento pari al 40%, inferiore ai 2/3 della luce utile dell'attraversamento.

### 6.3.2 Tombino di attraversamento idraulico – TP03

Di seguito si riportano pianta, profilo e sezione dell'elemento Culvert del modello idraulico, corrispondente al tombino di progetto dell'asse stradale principale sul fosso Francesca. Come specificato, l'area utile al transito delle portate è di dimensioni 3m x 2.5m.

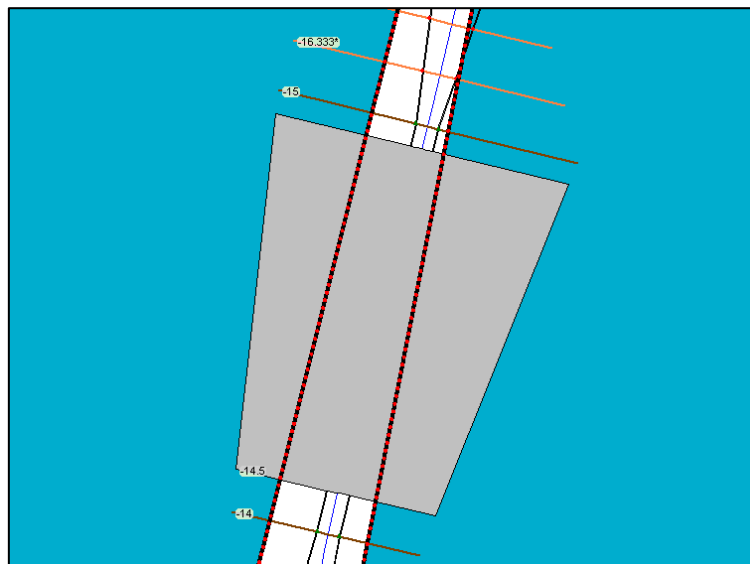


Figura 6.5 - Planimetria TP03

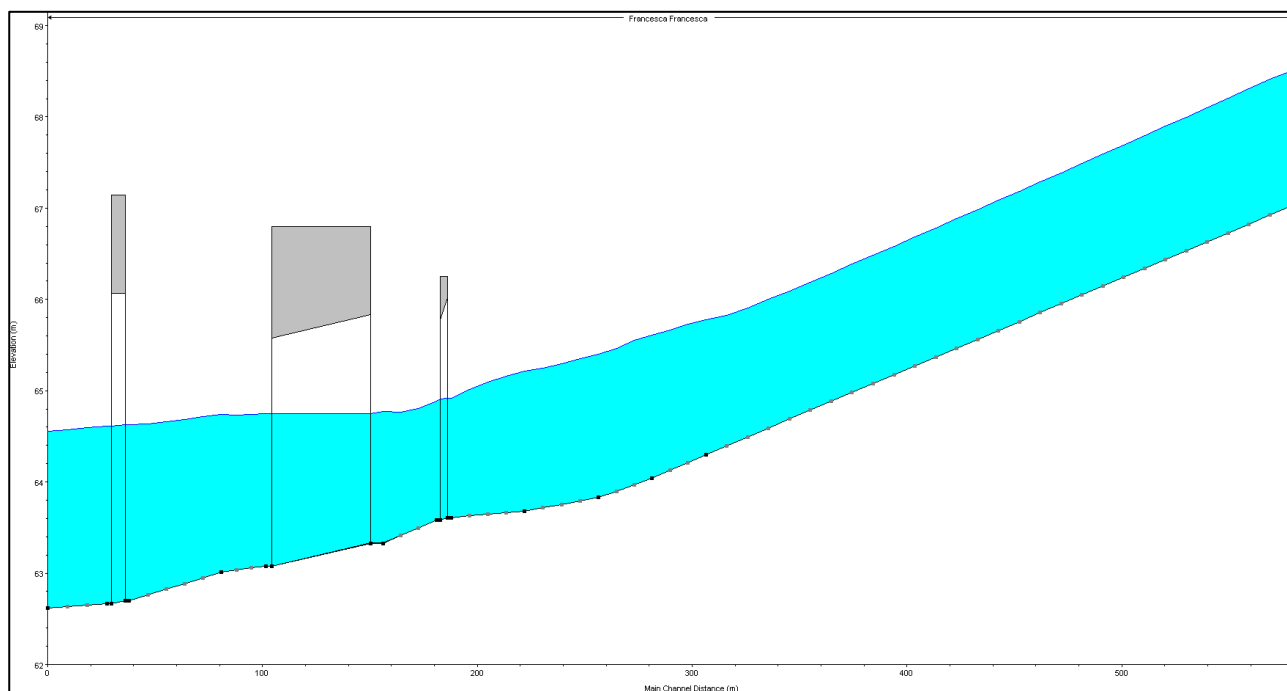


Figura 6.6 - Profilo fosso Francesca

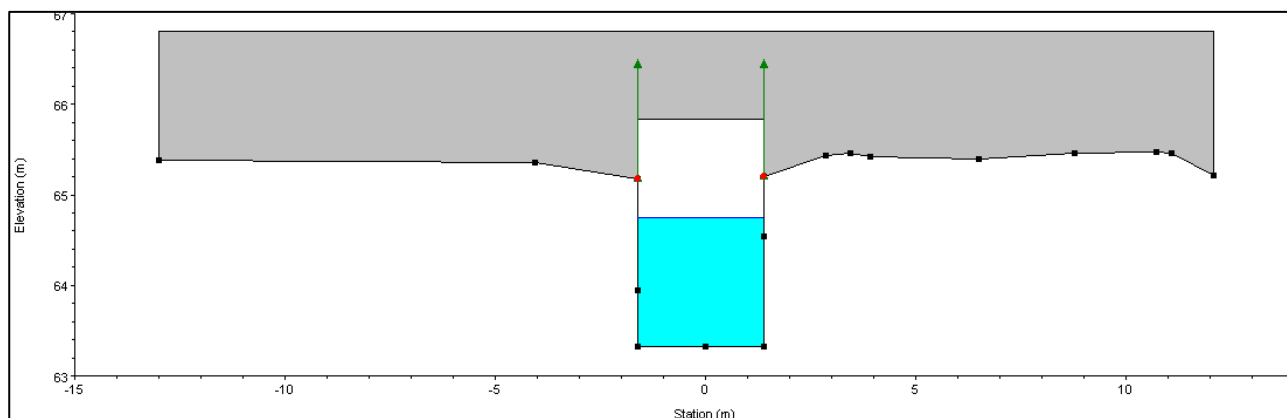


Figura 6.7 - Sezione TP03

La quota del pelo libero per il tempo di ritorno duecentennale è pari a 64.75 m s.l.m., mentre la quota dell'intradosso del tombino è 65.83 m s.l.m. E' così assicurato un franco idraulico pari a 1.08 m e un grado di riempimento del 67%, inferiore ai 2/3 della luce utile dell'attraversamento.

### 6.3.3 Tombino di attraversamento idraulico – TP02

Di seguito si riportano pianta, profilo e sezione dell'elemento Culvert del modello idraulico, corrispondente al tombino di progetto dell'asse stradale principale sulla fossetta Fogliano. Come specificato, l'area utile al transito delle portate è di dimensioni 3m x 2.5m.

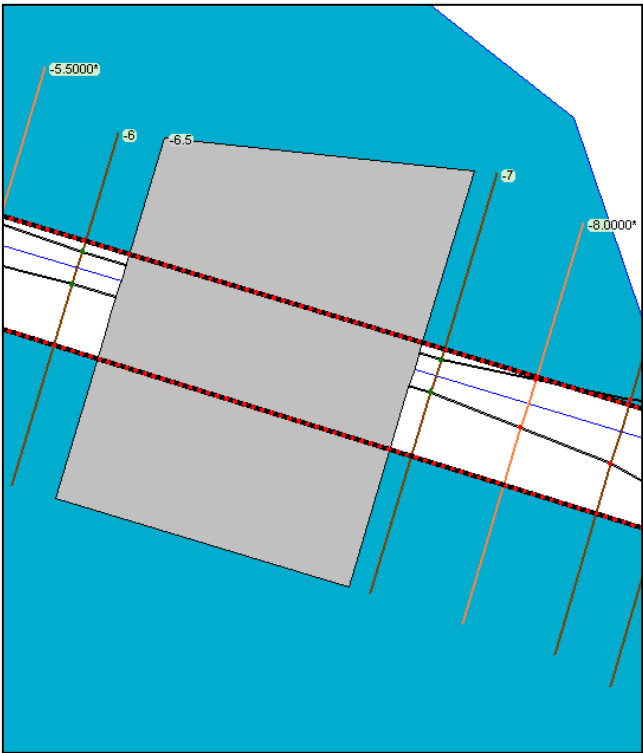


Figura 6.8 - Planimetria TP02

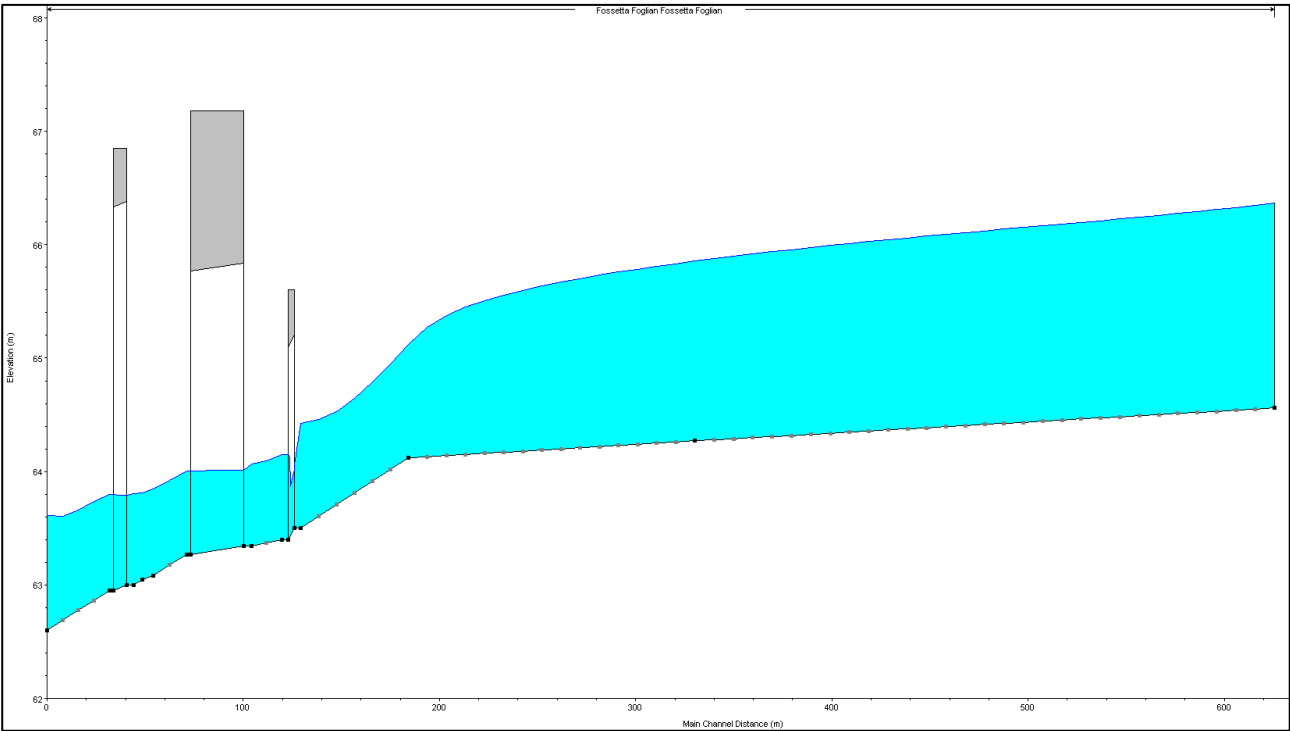


Figura 6.9 - Profilo fossatta di Fogliano



#### 6.3.4 Ponte sul Rio Lavachiello – P02

Di seguito si riportano pianta, profilo e sezione dell'elemento Bridge del modello idraulico, corrispondente al ponte di progetto dell'asse stradale principale sul Rio Lavachiello.



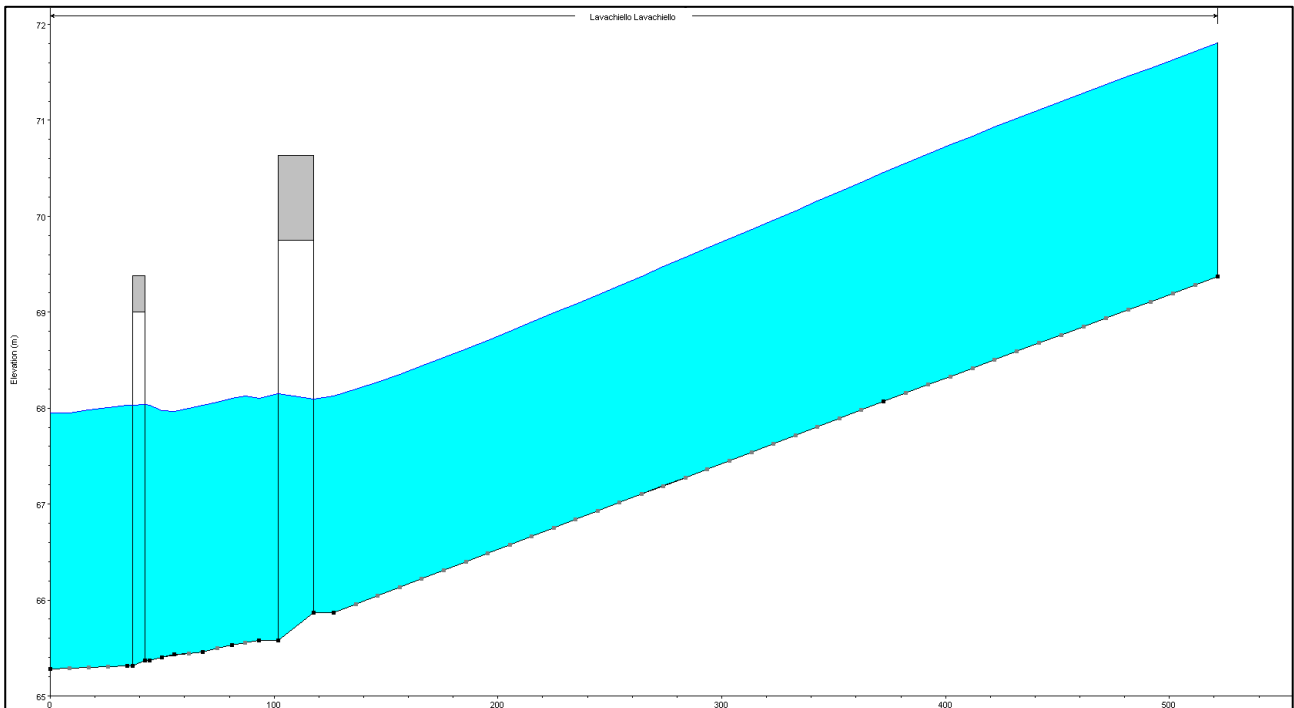


Figura 6.12 - Profilo Rio Lavachiello

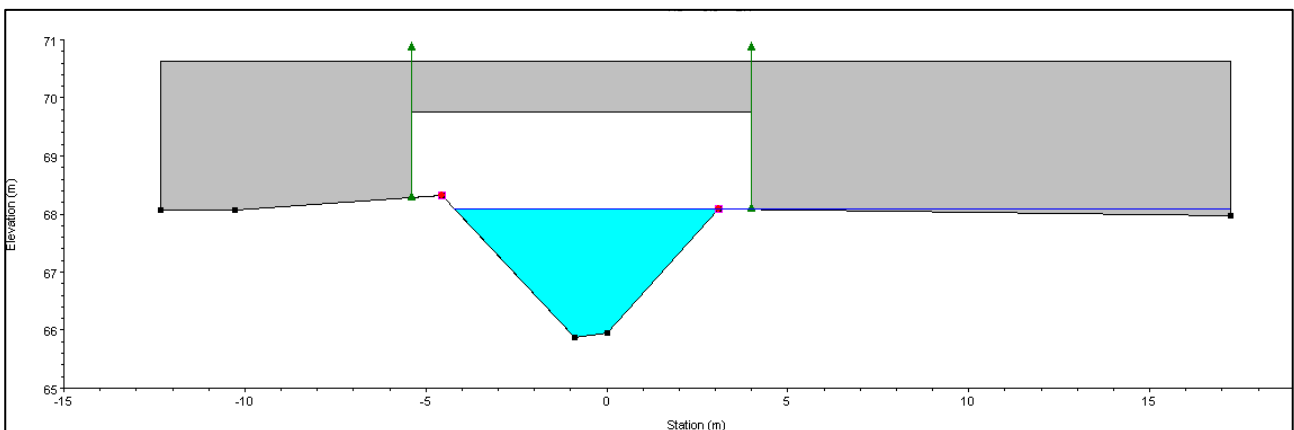


Figura 6.13 - Sezione P02

La quota del pelo libero per il tempo di ritorno duecentennale è pari a 68.09 m s.l.m., mentre la quota dell'intradosso dell'impalcato è pari 69.75 m s.l.m. La compatibilità idraulica dell'opera in esame risulta verificata, essendo il franco idraulico pari a 1.66 m, quindi superiore ad 1.50m.

## 6.4 STIMA DEI TIRANTI IDRICI NELLE AREE ESONDABILI

Come precedentemente illustrato, nella costruzione della geometria del modello sono stati inseriti cinque elementi Storage Area per rappresentare eventuali fenomeni di esondazione dagli alvei dei corsi d'acqua. La geometria di queste aree è stata costruita a partire da quella delle aree coltivate presenti tra la strada SP467 e il rilevato ferroviario.

Questi elementi sono stati collegati alle sponde dei corsi d'acqua per mezzo di Lateral Structures in grado di veicolare il flusso di portata in eccesso dall'alveo alle aree allagabili.

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva della superficie imposta alle aree allagabili e il valore del tirante idrico massimo che dai risultati delle modellazioni risulta instaurarsi in queste aree:

Storage Area	Area [1000m <sup>2</sup> ]	H rel. Max [m]
A1	66.635	0.50
A2	137.992	0.01
A3	152.069	0.14
A4	270.562	0.10
A5	191.523	0.03

Il profilo altimetrico stradale della variante di progetto è stato impostato ad una quota sempre maggiore dei battenti sopra stimati, incluso adeguato franco idraulico, sulla base degli studi eseguiti si può pertanto attestare che il nuovo tracciato risulta essere in condizioni di sicurezza idraulica nei confronti degli eventi di piena duecentennale e degli eventuali fenomeni esondativi causati dal reticolo idrografico superficiale.

## 7 ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO CANALE DI SECCHIA

Il tracciato del nuovo asse stradale, nell'ambito delle interferenze con il reticolo idrografico principale, intercetta il Canale di Secchia alla progressiva 0+864 m dell'asse 4. Il canale, che scorre in direzione ovest – est, nel tratto interessato dall'attraversamento di progetto è pensile, di sezione trapezia con base minore larga 1.6 m, altezza pari a 1.7 m e pendenza delle sponde 2:3.

La livelletta di progetto della nuova variante è stata attestata ad una quota non inferiore a quella delle arginature interferite, il cui coronamento è stato raccordato con l'arginello stradale di progetto.

La tipologia di canale, unitamente alla quota della livelletta stradale, porta a dover risolvere l'interferenza mediante un tombino di attraversamento con comportamento a sifone, analogo all'attraversamento ferroviario poco a monte.

Per risolvere questa interferenza è stato quindi inserito un tombino scatolare a sifone di sezione idraulica equivalente a quella del canale nel tratto in esame. La realizzazione dell'opera di attraversamento dell'arteria stradale in progetto è prevista mediante unica canna in C.A. di dimensioni trasversali 4.00m x 2.00m, garantendo quindi un'area utile al deflusso delle portate del canale pari a 8 m<sup>2</sup>, maggiore dell'area della sezione attuale del canale (6.3 m<sup>2</sup>), che quindi consentirà di far transitare in sicurezza le massime portate del canale.

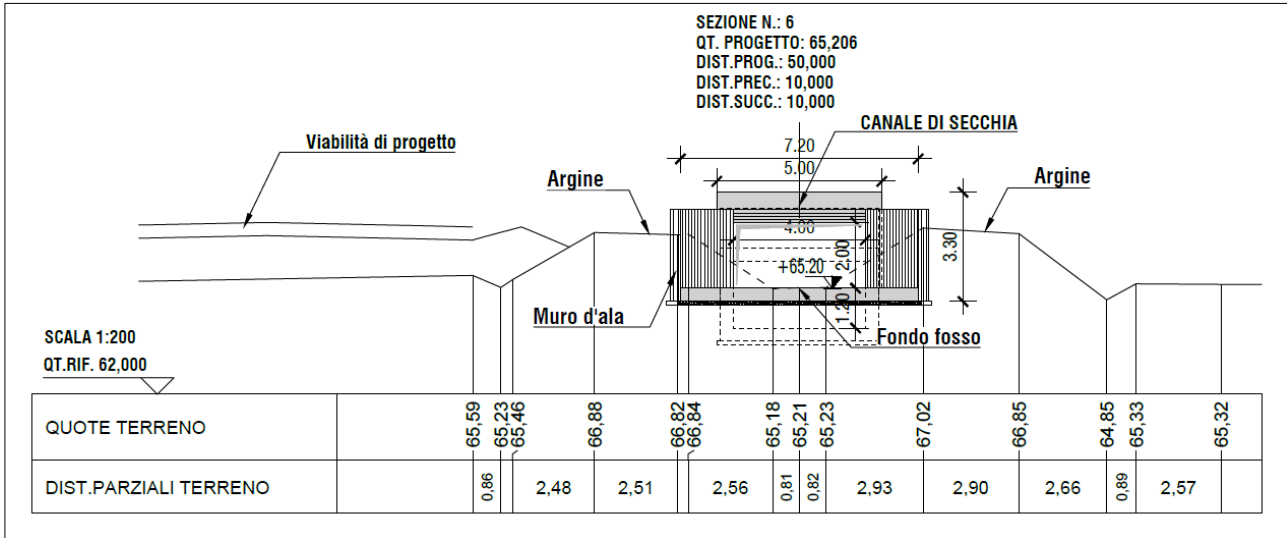


Figura 7.1- Sezione Canale di Secchia e sezione tombino a sifone

Al fine di garantire il transito della portata minimizzando le perdite di carico e le turbolenze, si prevede la realizzazione di un allargamento della sezione sia all'imbocco sia allo sbocco del sifone

La quota di imbocco del tombino è posta a 65.20 m s.l.m., ossia la medesima quota del canale di Secchia in corrispondenza della sezione interessata dall'opera. Dall'imbocco, il fondo del tombino scende sino a raggiungere la quota 63.90 m s.l.m., sviluppandosi quindi sotto la piattaforma stradale per una lunghezza pari a circa 42 m. Si prevede che nel tratto finale il fondo del tombino si risollevi sino alla quota di fondo imposta dal profilo attuale del canale, ossia 65.20 m s.l.m.

Si riporta di seguito un estratto dell'elaborato PDT1N001\_21\_5010, dove è illustrato il profilo dell'opera e il suo inserimento in continuità con il canale di Secchia.

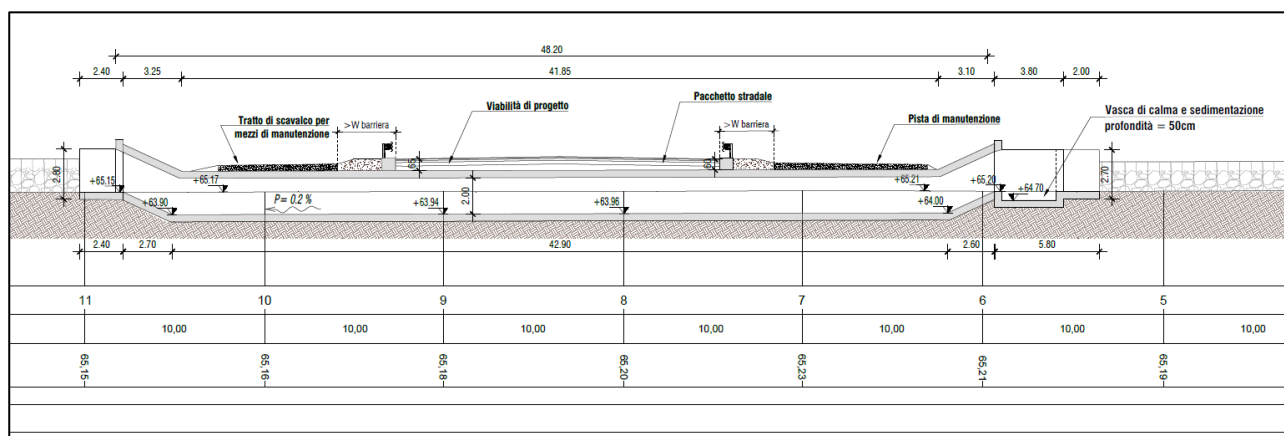


Figura 7.2 - Profilo opera TP01

La verifica è stata svolta in due fasi:

- 1) Stima della massima portata smaltibile dal Canale di Secchia allo stato attuale;
- 2) Dimensionamento del tombino a sifone e verifica della non alterazione del regime di deflusso delle portate.

## 7.1 STIMA DELLA PORTATA SMALTIBILE ALLO STATO ATTUALE

Stante la mancanza di dati ufficiali sul regime di deflusso del Canale di Secchia in termini di portate e/o battenti idrici massimi, sulla base del rilievo topografico è stata verificata la sezione idraulica in condizioni di moto uniforme e un grado di riempimento del 75%, con la seguente formula:

$$Q = k_s A R^{2/3} i^{1/2}$$

dove:  $k_s$  [ $m^{1/3}/s$ ] = coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strickler (assunto pari a  $25 m^{1/3}/s$ )

$A$  [ $m^2$ ] = area bagnata

$R$  [ $m$ ] = raggio idraulico

$i$  [ $m/m$ ] = pendenza longitudinale (impostata pari a 0.2% sulla base del rilievo topografico)

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche:

Tabella 7.1 – Verifica Canale di Secchia – stato attuale

Base	Altezza	G.R	A	P	R <sub>H</sub>	K <sub>S</sub>	i <sub>l</sub>	v	Q <sub>max</sub>
[m]	[m]		[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>1/3</sup> /s]	[m/m]	[m/s]	[mc/s]
1.58	1.7	75%	3.82	3.38	1.13	25	0.2%	1.15	4.39

Dalle verifiche risulta che il canale di Secchia, allo stato attuale, sia in grado di smaltire una portata di 4.4 mc/s.

## 7.2 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEL TOMBAMENTO A SIFONE

La verifica del tombamento con comportamento a sifone è stata eseguita con il software HY-8. Il programma HY-8 ha lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "Hydraulic Design of Highway Culverts," e HEC-14, "Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels".

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo software sono:

- determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire una portata di progetto;
- definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;
- calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco.
- determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per
- determinare il livello di rischio della struttura.
- determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

Il codice di calcolo fornisce direttamente output sintetici con le variabili principali della simulazione ed alcuni grafici che mostrano il comportamento idraulico della struttura al variare della portata di progetto o del livello idrico di monte.

Nel modello sono state impostate le seguenti condizioni al contorno:

- Condizioni al contorno di monte: portata individuata al paragrafo precedente, pari a 4.40 mc/s;
- Condizioni al contorno di valle: canale con dimensioni e pendenze del Canale di Secchia, come da paragrafo precedente.

Il coefficiente di scabrezza del canale, essendo in calcestruzzo è stato impostato pari a  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , mentre il coefficiente di scabrezza del torrente, a valle dello scatolare, è stato impostato pari a  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Il tombino di progetto sarà costituito da una tubazione scatolare di dimensioni 4.00m x 2.00m.

Di seguito sono mostrati i risultati della verifica idraulica, sia in forma grafica che tabellare.

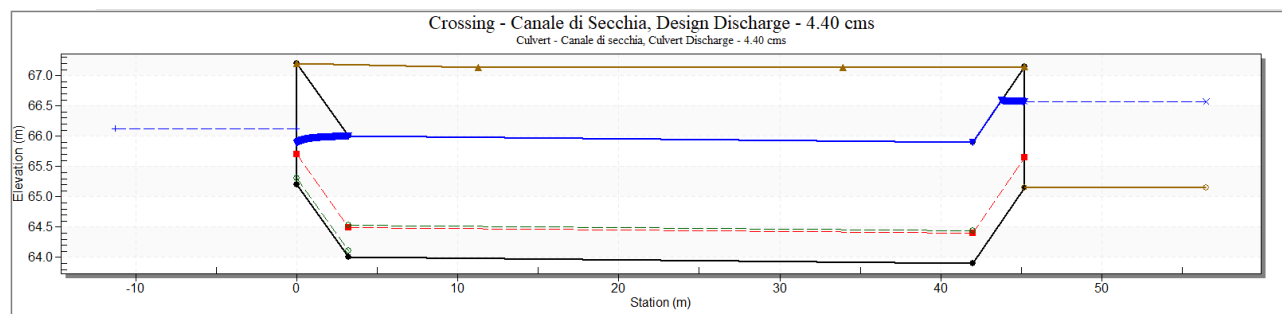


Figura 7.3 – Canale di Secchia - Risultato verifica HY-8 – profilo idrico

Tabella 7.2 - Canale di Secchia - Risultato verifica HY-8 – Battenti e velocità

Portata (mc/s)	Quota all'imbocco (m slm)	Altezza di moto uniforme (m)	Altezza di moto critico (m)	Battente allo sbocco (m)	Battente nel canale a valle dello sbocco (m)	Velocità allo sbocco (m/s)	Velocità nel canale a valle dello sbocco (m/s)
0.00	65.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.44	65.58	0.02	0.11	0.43	0.43	0.26	0.48
0.88	65.79	0.04	0.17	0.63	0.63	0.35	0.59
1.32	65.94	0.05	0.22	0.78	0.78	0.43	0.66
1.76	66.06	0.06	0.27	0.90	0.90	0.49	0.71
2.20	66.09	0.07	0.31	1.01	1.01	0.54	0.75
2.64	66.09	0.08	0.35	1.11	1.11	0.60	0.79
3.08	66.10	0.09	0.39	1.20	1.20	0.64	0.82
3.52	66.11	0.10	0.43	1.28	1.28	0.69	0.85
3.96	66.13	0.11	0.46	1.35	1.35	0.73	0.88
4.40	66.14	0.11	0.50	1.42	1.42	0.77	0.90

Come mostrato nella tabella, la quota nel canale a valle del sifone (1.42m) risulta essere inferiore all'altezza massima dell'argine (circa 1.70m). Ciò significa che il tombamento, pur avendo le quote di imbocco e sbocco vincolate alle quote di scorrimento del canale esistente, non induce un rigurgito tale da rendere la sezione idraulica del Canale di Secchia insufficiente al transito delle portate stimate.

Inoltre le velocità della corrente ricadono in un range ammissibile per gli attraversamenti in pressione, con riferimento anche a quanto prescritto dalla Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP

*- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;*

## 8 ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO TORRENTE ACQUA CHIARA

---

Il torrente Acquachiara transita al di sotto della Tangenziale Sud, in prossimità dell'intersezione a rotatoria tra Via Martiri di Cervarolo e la SP114, ed interferisce con il nuovo asse stradale in corrispondenza del raccordo tra quest'ultimo e la SP114.

Considerando che il nuovo asse stradale in corrispondenza di questo punto si allaccia alla viabilità esistente comportando un allargamento della sede stradale, si prevede di preservare l'opera esistente di attraversamento idraulico, lasciando invariate le dimensioni della sezione, prolungandone però la lunghezza.

Il tombino idraulico in questione è un manufatto scatolare in C.A. di sezione 6.00m x 3.00m., lungo 30.00 m e con pendenza pari a 1%.

Come riportato nel capitolo 5.4, è stata condotta un'analisi idrologica anche per il bacino del torrente Acquachiara. I risultati hanno fornito un valore di portata di picco critica pari a 29.80 m<sup>3</sup>/s.

Al fine di valutare la sicurezza idraulica del manufatto si è valutato il grado di riempimento che in esso si instaurerebbe mediante una modellazione idraulica di tipo mono-dimensionale in moto stazionario eseguita con il software HEC-RAS (versione 5.0.5).

### 8.1 MODELLO MATEMATICO A MOTO PERMANENTE MONODIMENSIONALE

Il modello idraulico utilizzato, denominato HEC-RAS, è stato sviluppato dall'US Army Corps Of Engineers; è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali. Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite (per i corsi d'acqua studiati non è stato necessario utilizzare questa opzione).

Per l'analisi in moto permanente il software determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico,

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

dove:

$Y_1$  e  $Y_2$  sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo

$Z_1$  e  $Z_2$  sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

$V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche;

$h_e$  è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il termine  $h_e$  dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la relazione:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

$L$  è la lunghezza del tronco considerato;

$\bar{S}_f$  è la cadente media tra le due sezioni;

$C$  è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione dell'alveo in sottosezioni all'interno dei quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente  $C$  varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verifichino transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), che è stato utilizzato nell'ambito del presente studio, tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

## **8.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MODELLO IDRAULICO**

Per comprendere la scelta della geometria del modello idraulico, è necessario fare alcune premesse:

- il tombino esistente presenta muri d'ala con inclinazione a 90° rispetto alla sezione idraulica del manufatto scatolare che si prolungano a monte e a valle dello stesso per circa 7.00 m.
- da modelli preliminari sviluppati in moto uniforme si è potuto constatare che la portata riferita al tempo di ritorno pari a 200 anni non induce un comportamento a pressione dell'attraversamento.

A valle di queste due considerazioni, nel modello idraulico è stato inserito un elemento Culvert di lunghezza pari a 30.00 m, ossia la lunghezza totale comprendente sia il manufatto scatolare coperto che il tratto scoperto in corrispondenza dei muri d'ala di monte e di valle.

Le sezioni idrauliche inserite nel modello sono invece state dedotte dai rilievi delle campagne topografiche eseguite ad hoc per il progetto di cui alla presente relazione.

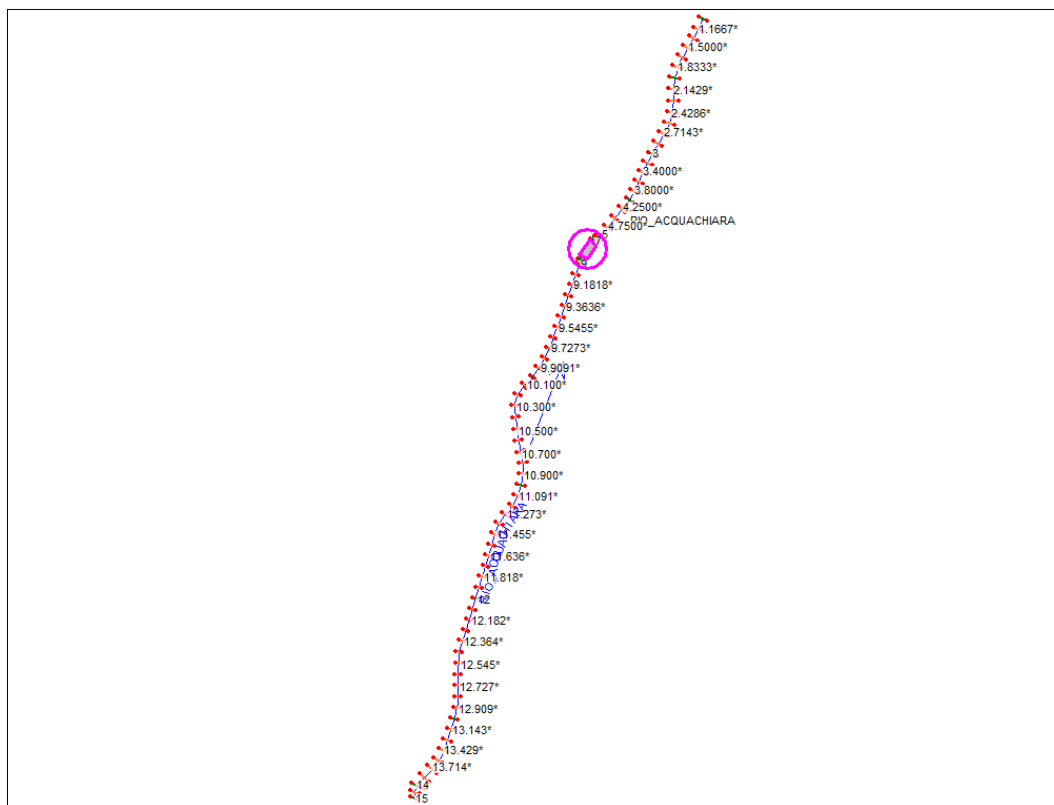


Figura 8.1 – Planimetria del modello idraulico del Torrente Acquachiara

Il modello idraulico inizia a circa 1km a monte dell'attraversamento oggetto di analisi e termina a circa 400m a valle dello stesso, in corrispondenza dell'attraversamento di Via Vincenzo Monti.

### 8.3 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

Il coefficiente di scabrezza del canale, essendo in calcestruzzo è stato impostato pari a  $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , mentre il coefficiente di scabrezza del torrente, a valle dello scatolare, è stato fatto variare da  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  a  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , in modo da simulare diverse condizioni del canale, variabili in riferimento agli interventi di pulizia/manutenzione. In seguito verranno mostrati i risultati riferiti a ciascun parametro di scabrezza.

Riferimenti:

**HEC-RAS User Manual – Tab. 3, Manning's Coefficients** (le tre colonne indicano rispettivamente i valori Minimo, Medio, Massimo):

#### 2. Earth, winding and sluggish

a. No vegetation	0.023	0.025	0.030
b. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
c. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
d. Earth bottom and rubble side	0.028	0.030	0.035
e. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
f. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050

**V.T. Chow [1959], Manning's Coefficients** (le tre colonne indicano rispettivamente i valori Minimo, Medio, Massimo):

ALVEI IN TERRA REGOLARIZZATI O ROGGE			
non vegetati	0.023	0.025	0.030
poco inerbiti, rare alghe	0.025	0.030	0.033
molto vegetati, molte alghe	0.028	0.030	0.035
con sponde in pietrame	0.028	0.030	0.035
con sponde ben inerbite	0.025	0.035	0.040
con fondo in ciottoli e sponde non vegetate	0.030	0.040	0.050

**Becciu-Paoletti “Fondamenti di Costruzioni Idrauliche” – Tab. 1.2:**

- Canali in abbandono con vegetazione alta e abbondante / Corsi d’acqua naturali con grossi ciottoli o con grossi massi sull’alveo:  $k_s = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ )
- Pareti in terra in cattive condizioni / Corsi d’acqua naturali con ciottoli e ghiaia:  $k_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $n = 0.029 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ )

## 8.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno sono state impostate così come segue:

- Condizioni al contorno di monte: portata riferita ad un tempo di ritorno duecentennale pari a 29.80 mc/s;
- Condizione al contorno di valle: pendenza pari a 0.3% impostata come elemento *Normal Depth*, ossia la pendenza media dell’alveo nel tratto a valle dell’opera analizzata. Si precisa che le condizioni al contorno di valle per il solo tratto scatolare sono direttamente garantite dall’estensione del modello idraulico in sé.

## 8.5 RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO

Nel presente paragrafo sono mostrati i risultati delle modellazioni idrauliche finora descritte, in termini di altezze del pelo libero e franchi di sicurezza in prossimità dell’attraversamento. I risultati, riportati di seguito in forma grafica, si riferiscono ad un modello con inserito un coefficiente di scabrezza pari a  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , ritenuto tra i valori modellati il più adeguato allo stato di fatto dei luoghi.

In riferimento al profilo idraulico longitudinale, i risultati mostrano il tipico profilo idrico di corrente lenta con restringimento di sezione, che provoca un aumento della velocità ed un abbassamento del battente all’interno del tombamento.

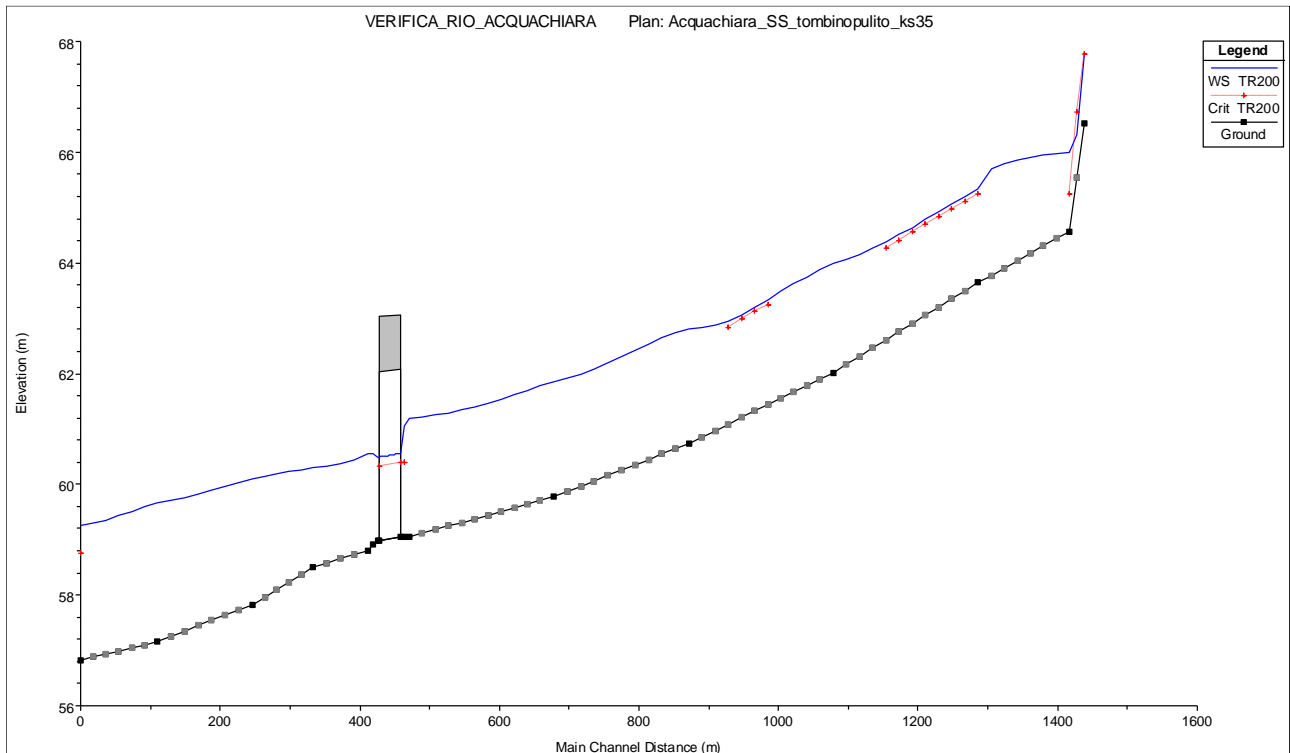


Figura 8.2 – Torrente Acqua Chiara – Risultati modellazione idraulica – Profilo longitudinale

Il battente assoluto che si riscontra nella sezione di monte del tombino risulta pari a 60.56 m slm, che corrisponde ad un livello idrico pari a 1.47 m. Il grado di riempimento risulta essere pari quindi al 49% con un franco idraulico di 1.53m. L'attraversamento idraulico esistente risulta quindi essere verificato ai sensi della NTC2018.

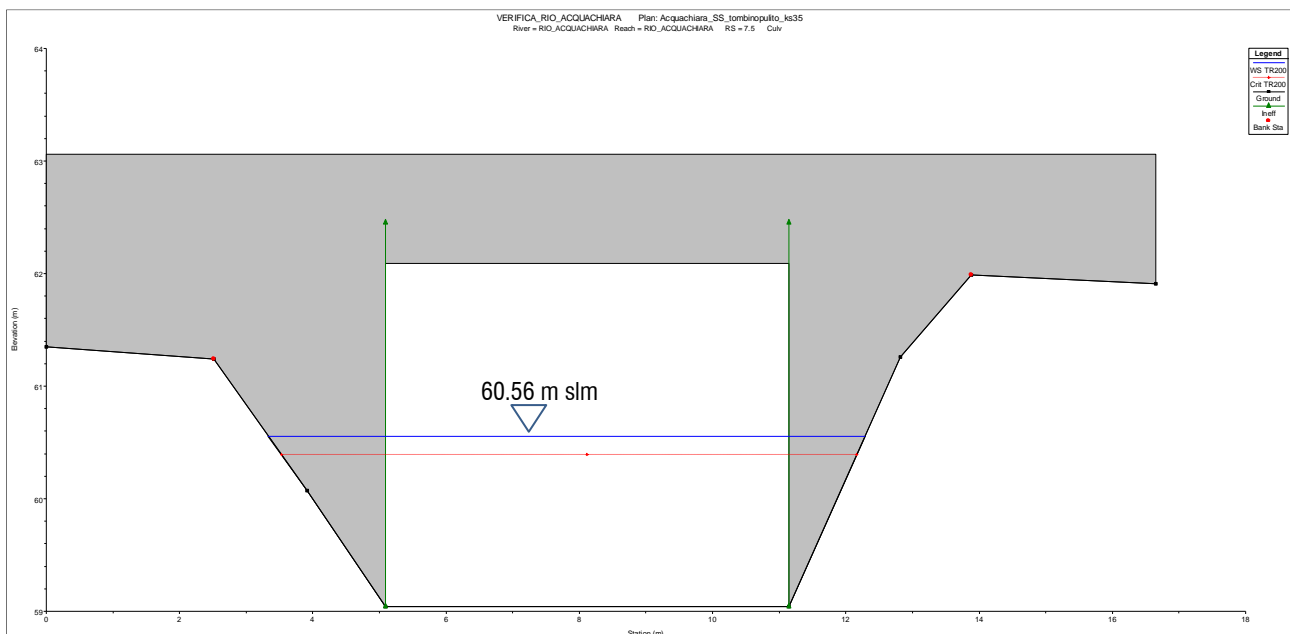


Figura 8.3 – Torrente Acqua Chiara – Risultati modellazione idraulica – Opera di attraversamento (sezione di monte)

## 9 RISOLUZIONE INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO

Al fine di recepire quanto espresso dal Consorzio di Bonifica in fase di scoping:

*“Inoltre, dovrà essere data continuità anche a tutta la rete capillare di scolo, comprensiva di fossi stradali e interpoderali, la cui funzionalità contribuisce al mantenimento della corretta regimazione dei canali consortili”*

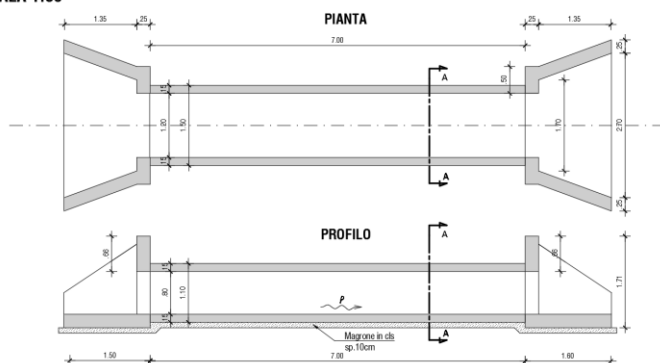
oltre alle linee d'acqua principali, è stata eseguita un'accurata ricognizione anche di tutte le interferenze idrauliche secondarie, la cui continuità è stata salvaguardata, in questa fase progettuale, mediante l'inserimento di tubazioni (eventualmente a sifone) o scatolari in CLS. Come mostrato in Figura 9.1 e in Figura 9.2, le interferenze con il reticolo secondario sono state risolte adottando tre differenti tipologie di tombino idraulico:

- Tubazione circolare con diametro interno pari a 0.60 m;
- Scatolare di dimensioni interne pari a 1.00 m x 0.80 m;
- Scatolare di dimensioni interne pari a 1.20 m x 0.80 m.

Le linee d'acqua secondarie interessate dalla nuova infrastruttura sono in tutto 17. Gli attraversamenti secondari per i quali sono stati inseriti tombini di progetto sono 15, di cui 1 con comportamento a sifone (TC01 – Condotta Braiola). Di concerto con il Consorzio di Bonifica C.B.E.C., l'interferenza con le due linee d'acqua “Condotta di Fogliano 1” e “Condotta di Fogliano 2dir” è stata risolta dismettendo il Condotta di Fogliano 1 nel tratto compreso tra la nuova infrastruttura e la ferrovia e deviando il condotto di Fogliano 2dir nello stesso Condotta di Fogliano 1, per mezzo di una tubazione interrata in PVC e DN500.

Per il dimensionamento degli attraversamenti secondari non a sifone si è provveduto, in prima battuta, a garantire un grado di riempimento inferiore al 70% della sezione del tombino, considerando condizioni di moto uniforme e portata di progetto pari a quella massima smaltibile a sezione piena dal fosso interessato dal tombino, assegnando all'alveo naturale un coefficiente di scabrezza  $k_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  in quanto i corsi d'acqua in questione sono naturali con alvei per lo più in terra.

TIPOLOGICO TOMBINO SECONDARIO - NR°1 SCATOLARE 1.20m x 0.80m  
 SCALA 1:50



TIPOLOGICO TOMBINO SECONDARIO - NR°1 SCATOLARE 1.00m x 0.80m  
 SCALA 1:50

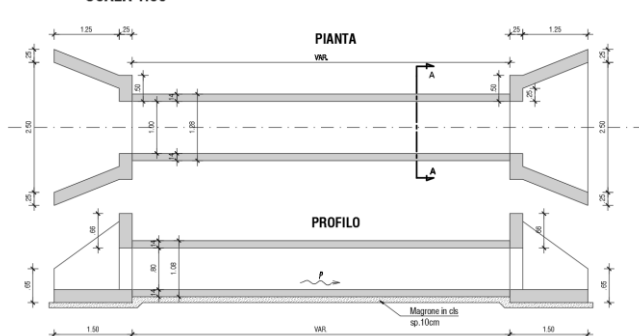


Figura 9.1 - Planimetria e profilo tombini secondari - scatolari (1.20m x 0.80m; 1.00m x 0.80m)

**TIPOLOGICO TOMBINO SECONDARIO - NR°1 TUBAZIONE DN600  
 SCALA 1:50**

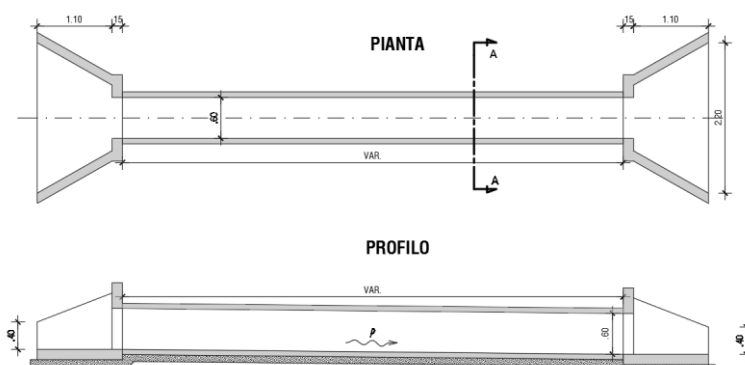


Figura 9.2 - Profilo tubazione (DN600)

Per la risoluzione dell'interferenza con la linea d'acqua denominata "Condotto Braiola" in capo al Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, come anticipato in Tabella 2.1, è stata inserita una tubazione in calcestruzzo di diametro interno pari a 0.60 m con comportamento a sifone rovescio. Si riporta di seguito uno stralcio dell'elaborato PDT6N001\_20\_5010 dove viene presentato il profilo dell'attraversamento:

**PROFILO CONDOTTO BRAIOLA Scala 1:200**

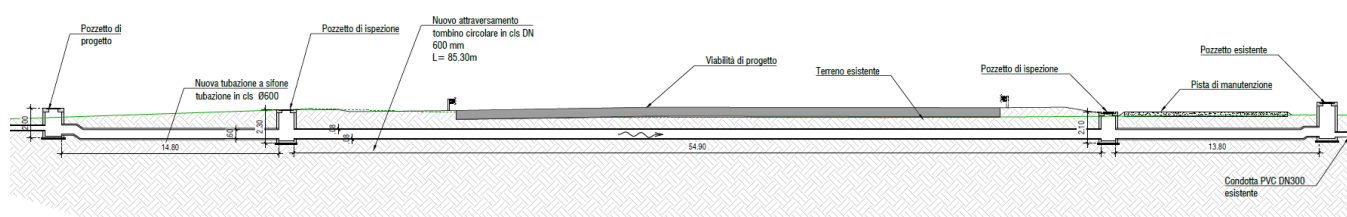


Figura 9.3 - Profilo tombino a sifone (Condotto Braiola - C.B.E.C.)

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva delle portate di ciascun fosso analizzato per il dimensionamento degli attraversamenti secondari.

**Tabella 9.1 - Portate relative a ciascun fosso di cui occorre mantenere la continuità idraulica**

ID OPERA	AREA SEZ. FOSSO [mq]	P [m]	R [m]	ks [m <sup>1/3</sup> /s]	i	Q [m <sup>3</sup> /s]
TS01	0.12	1.4	0.09	35	0.002	0.032
TS02	0.12	1.16	0.10	35	0.003	0.052
TS03	0.255	1.7	0.15	35	0.005	0.180
TS04	0.75	4.9	0.15	35	0.008	0.692
TS05	0.25	2.26	0.11	35	0.007	0.173
TS06	0.75	2.5	0.30	35	0.009	1.125
TS07	1.1	3.88	0.28	35	0.011	1.732
TS08	0.17	1.6	0.11	35	0.015	0.164
TS09	0.22	2.05	0.11	35	0.021	0.250
TS10	0.225	0.73	0.31	35	0.002	0.161
TS11	0.195	1.4	0.14	35	0.003	0.100
TS12	0.3	1.75	0.17	35	0.003	0.172
TS13	1	5.1	0.20	35	0.016	1.507
TS14	0.4	1.75	0.23	35	0.007	0.435

Si riportano quindi le verifiche per il dimensionamento dei 14 tombini secondari non a sifone:

Tabella 9.2 - Verifica grado di riempimento tombini secondari

TOMBINO	Q [m³/s]	TIPO	MATERIALE	DN [mm] o H [mm]	B [mm]	NUMERO	G.R.	Ks [m <sup>1/3</sup> /s]	i	V [m/s]
TS01	0.03	CIRCOLARE	CLS	600	[-]	1	26%	70	0.2%	0.56
TS02	0.05	CIRCOLARE	CLS	600	[-]	1	28%	70	0.3%	0.83
TS03	0.18	SCATOLARE	CLS	500	1000	1	30%	70	0.5%	1.19
TS04	0.69	SCATOLARE	CLS	800	1200	1	34%	70	0.8%	2.11
TS05	0.17	SCATOLARE	CLS	500	1000	1	26%	70	0.7%	1.33
TS06	1.13	SCATOLARE	CLS	800	1200	1	47%	70	0.9%	2.51
TS07	1.73	SCATOLARE	CLS	800	1200	1	60%	70	1.1%	3.02
TS08	0.16	CIRCOLARE	CLS	600	[-]	1	33%	70	1.5%	2.00
TS09	0.25	CIRCOLARE	CLS	600	[-]	1	38%	70	2.1%	2.51
TS10	0.16	SCATOLARE	CLS	500	1000	1	38%	70	0.2%	0.84
TS11	0.10	CIRCOLARE	CLS	600	[-]	1	39%	70	0.3%	0.97
TS12	0.17	SCATOLARE	CLS	500	1000	1	36%	70	0.3%	0.96
TS13	1.51	SCATOLARE	CLS	800	1200	1	47%	70	1.6%	3.36
TS14	0.44	SCATOLARE	CLS	500	1000	1	50%	70	0.7%	1.76

Di seguito si riportano invece le tabelle riassuntive delle caratteristiche geometriche degli attraversamenti secondari, relativi a ciascuno dei tre assi stradali da loro interessati nominati rispettivamente Asse 1, Asse 3 e Asse 4, e delle progressive d'asse in cui sono previsti.

Tabella 9.3 - Dimensioni e posizione tombini secondari

ASSE 1					
ID OPERA	PROGR.	DN o H [mm]	B [mm]	n° DI TUBAZIONI	LUNGHEZZA [m]
TS01	0+137	600	[-]	1	29.50
TS02	0+370	600	[-]	1	22.00
ASSE 3					
ID OPERA	PROGR.	DN o H [mm]	B [mm]	n° DI TUBAZIONI	LUNGHEZZA [m]
TS03	0+92	500	1000	1	23.50
TS04	0+230	800	1200	1	55.10
TS05	0+366	500	1000	1	41.00
TS06	0+442	800	1200	1	21.70
ASSE 4					
ID OPERA	PROGR.	DN o H [mm]	B [mm]	n° DI TUBAZIONI	LUNGHEZZA [m]
TS07	0+38	800	1200	1	26.10
TS08	0+173	600	[-]	1	30.20
TS09	0+280	600	[-]	1	41.40
TS10	0+512	500	1000	1	17.10
TS11	0+607	600	[-]	1	18.40
TS12	0+705	500	1000	1	29.10

---

TS13	1+951	800	1200	1	42.70
TS14	2+195	500	1000	1	29.50

La continuità idraulica di tutti gli ulteriori fossi e colatori minori su cui non sono stati inseriti tombini di progetto viene garantita mediante la realizzazione dei fossi di guardia di progetto posti al piede del rilevato (lato monte), che convoglieranno le acque in uno dei nuovi attraversamenti idraulici di cui è stata dotata l'infrastruttura.