



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

| PARTE D'OPERA | DISCIPLINA | DOC. E PROG. | FASE | REV. |
|---------------|------------|--------------|----------|----------|
| PD | ID | RT01 | 2 | 2 |

| Cartella | File name | Prot. | Scala | Formato |
|-----------|------------------|-------------|-------|-----------|
| 03 | PDIDRT01_22_5010 | 5010 | - | A4 |

| | | | | | |
|------|---|----------|-------------|-------------|-----------|
| 5 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 2 | PROGETTO DEFINITIVO - LOTTO 2 | SET 2024 | A.Cecchelli | A.Cecchelli | M.Mancone |
| 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

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO DELL'AREA | 4 |
| 3 | ELENCO RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 8 |
| 4 | OBIETTIVI E CRITERI DELLA PROGETTAZIONE | 9 |
| 5 | ANALISI IDROLOGICA..... | 11 |
| 5.1 | COROGRAFIA DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE | 11 |
| 5.2 | ANALISI MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI | 12 |
| 5.3 | ANALISI STATISTICA: CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA..... | 13 |
| 5.3.1 | Determinazione dello ietogramma di progetto..... | 16 |
| 5.4 | CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO..... | 16 |
| 5.4.1 | Initial and constant loss method (Ia e Ks) | 16 |
| 5.4.2 | Clark Unit Hydrograph method | 18 |
| 6 | MODELLAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI PRINCIPALI | 26 |
| 7 | ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO TORRENTE ACQUA CHIARA | 27 |
| 7.1 | MODELLO MATEMATICO A MOTO PERMANENTE MONODIMENSIONALE | 27 |
| 7.2 | Caratteristiche geometriche del modello idraulico..... | 29 |
| 7.3 | Coefficienti di scabrezza..... | 30 |
| 7.4 | CONDIZIONI AL CONTORNO | 31 |
| 7.5 | RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO..... | 31 |
| 8 | RISOLUZIONE INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO | 33 |

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.

Con Prot. N. 0073039 del 23/03/2021 la Provincia ha trasmesso al Comune di Reggio Emilia la proposta di esecuzione dell'opera mediante **due lotti funzionali** in coerenza con la disponibilità finanziaria definita negli strumenti di programmazione del Comune. Allo stato attuale il Lotto 1 si trova in fase di completamento lavori; il Lotto 2 è oggetto del presente appalto.

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), di cui 6 ricadenti nel Lotto 2.. 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; di questi, solamente il Rio Acquachiara interferisce con il Lotto 2 oggetto del presente appalto. Le rimanenti interferenze idrauliche ricadono nel Lotto 1 e gli interventi risolutivi sono in fase di realizzazione. 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.

Si riportano le opere previste in progetto con indicazione del Lotto di appartenenza. Saranno trattate nella presente relazione le opere ricadenti nel Lotto 2.

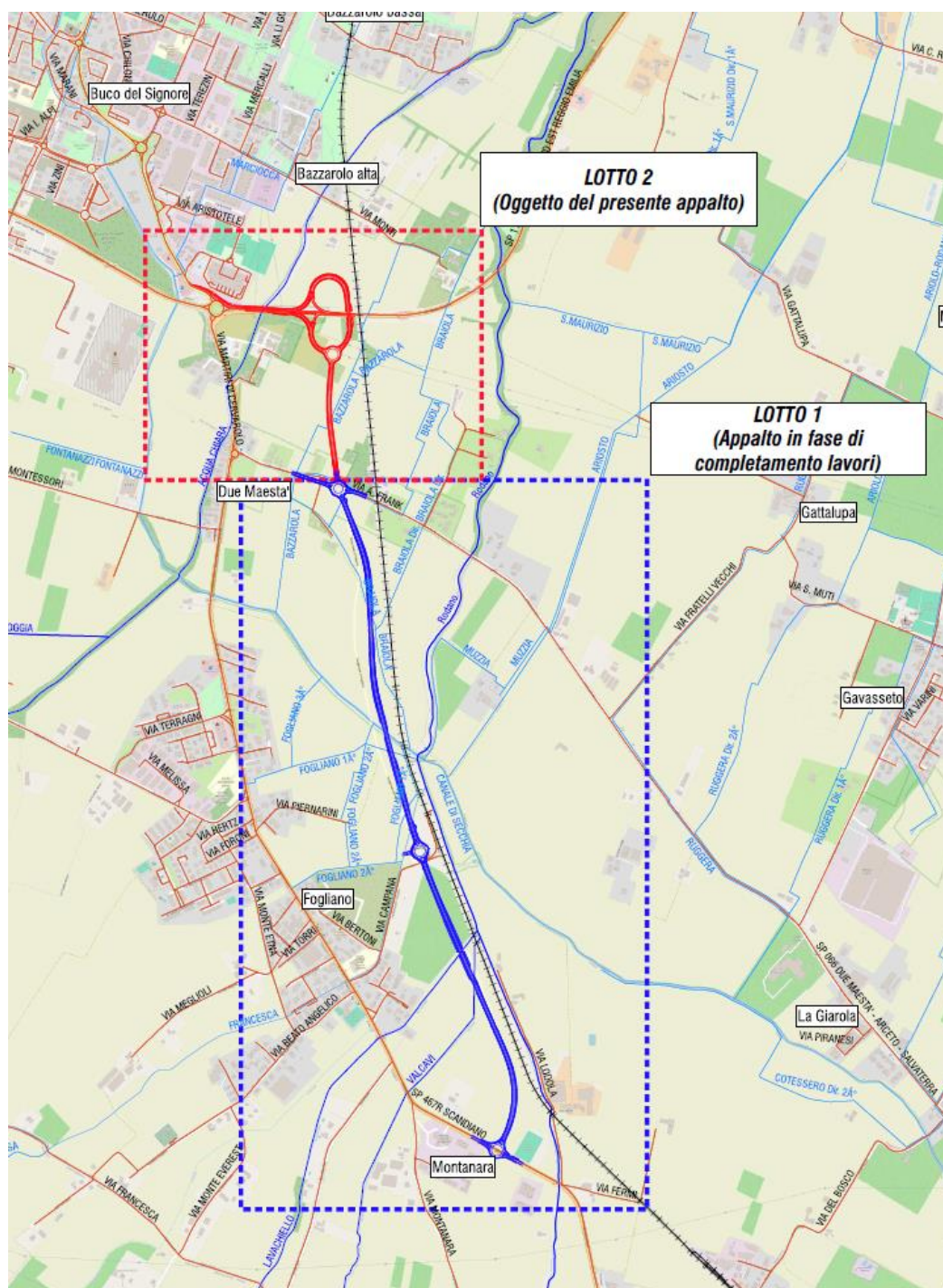
- Ponte sul Rio Lavachiell (Lotto 1 – In fase di completamento lavori);
- Ponte sul Torrente Acquachiarà: (**Lotto 2 – Elaborato PDS2N001_21_5010**)
- Tombini principali:
 - Canale di Secchia (Lotto 1 – In fase di completamento lavori);
 - Fossetta di Fogliano: (Lotto 1 – In fase di completamento lavori);
 - Fosso Francesca: (Lotto 1 – In fase di completamento lavori);
 - Rio Valcavi: (Lotto 1 – In fase di completamento lavori)
- Tombini su ulteriori corsi d'acqua in capo al C.B.E.C:
- Tombini secondari (**Lotto 2: da TS01 a TS06, tra cui Condotto Bazzarola - PDT6N001_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'elaborato specifico PDIDRT01_22_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_22_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.



TANGENZIALE DI FOGLIANO – DUE MAESTA'

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.

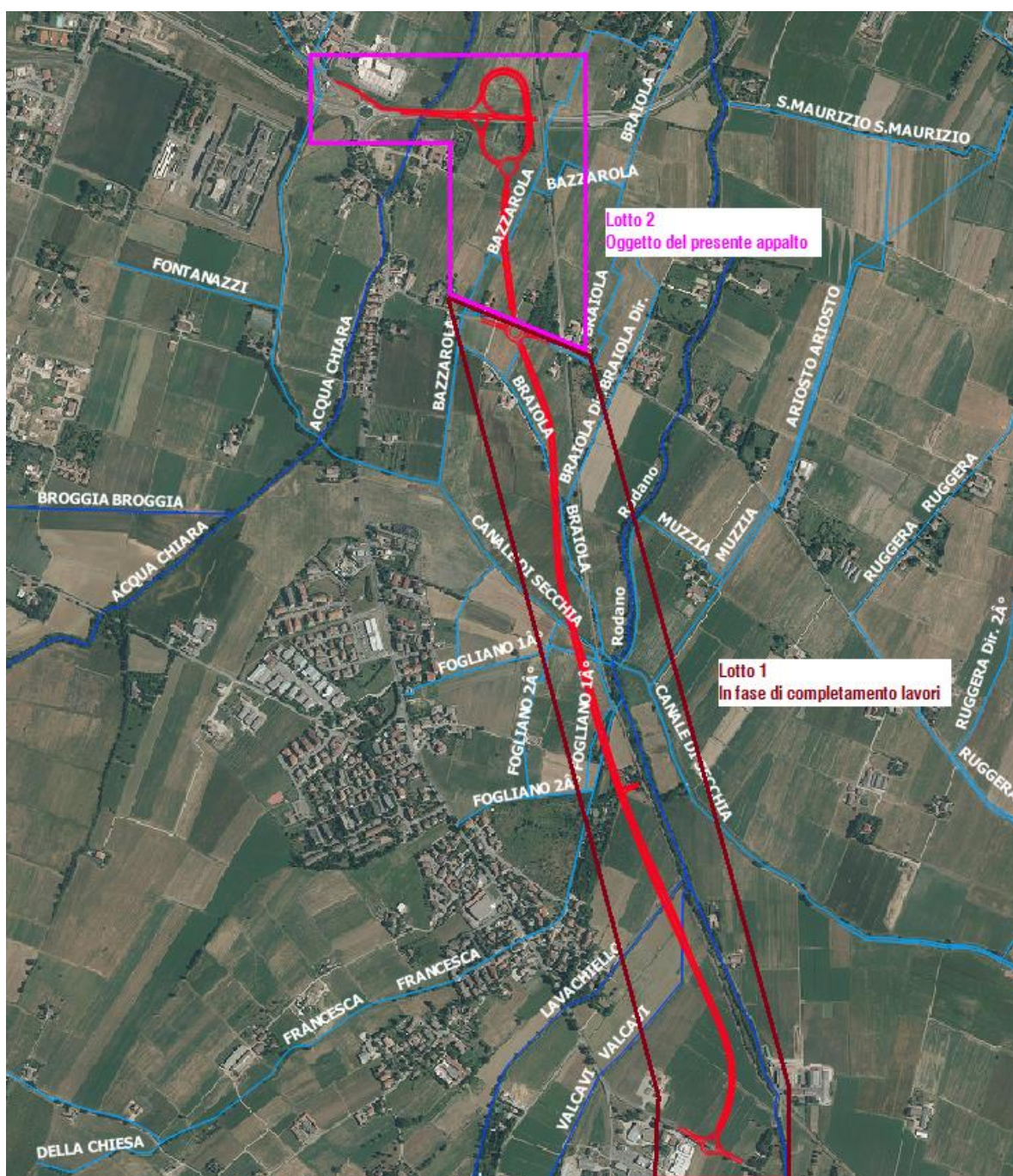


Figura 2.2 - Porzione del reticolo idrografico in capo al Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale interessato dal nuovo asse stradale

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 Acquachiara (di queste solamente il torrente Acquachiara ricadente nel Lotto 2); 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. **Per la presente fase progettuale, focalizzata sul Lotto 2, sono da escludere le interferenze ricadenti sull' Asse 4.**

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, ricadenti nel Lotto 1 e attualmente in fase di realizzazione.

Per l'attraversamento del canale di Secchia, anch'esso in fase di realizzazione, 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.

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.

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.

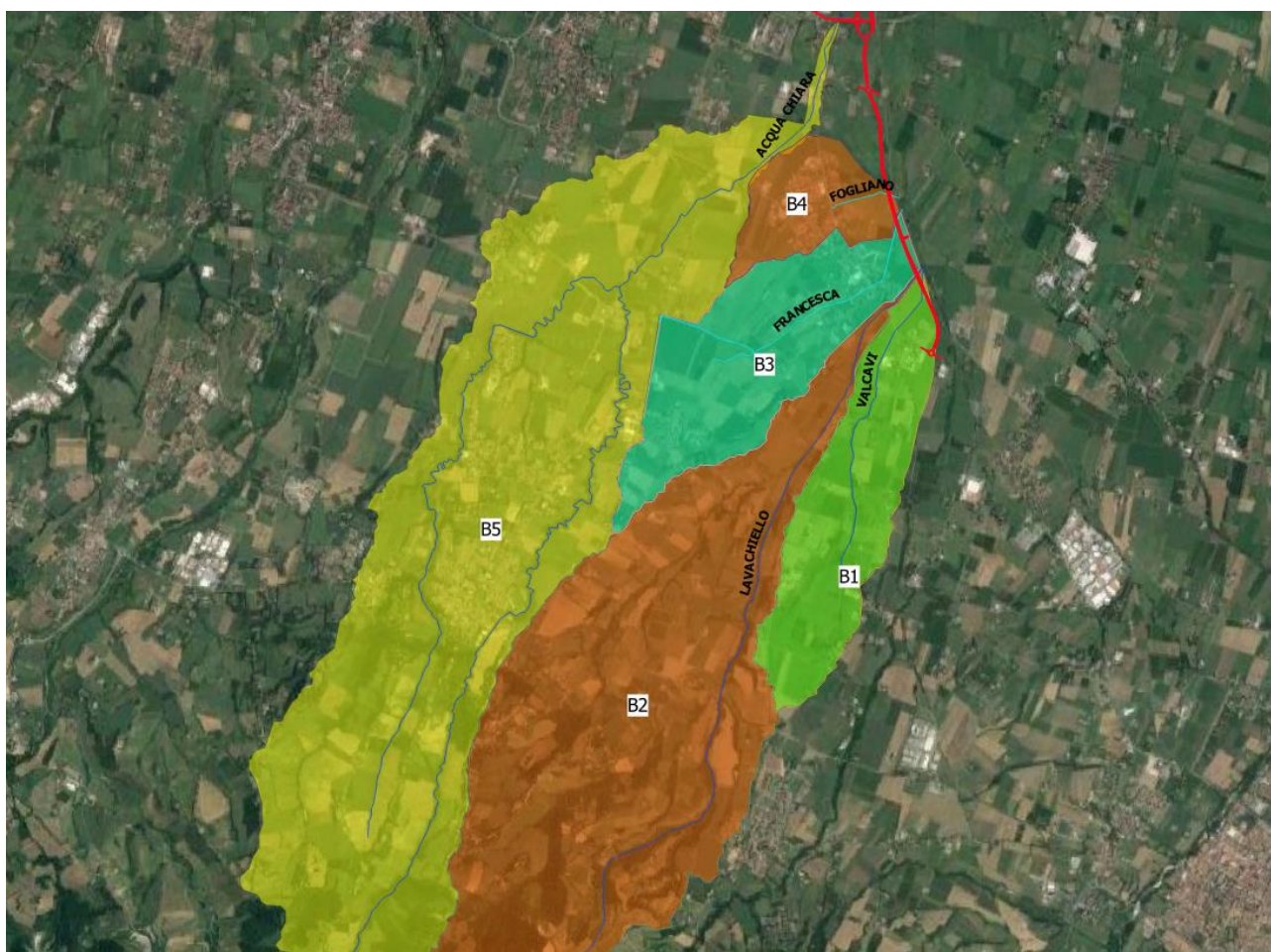


Figura 5.1 - Corografia dei bacini scolanti

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 [km²];
- 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

| 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 α 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 Ks 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 Ks :

Tabella 5.5 - Valori di Ks 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) | | |
| Forest Areas (from Viessman et al. 1977) 10-20% total rainfall, maximum 0.5 in. | | |
| Detention Storage (from Horton 1935) | | |
| Agricultural Areas (Depending on time sense tillage) | 0.5 - 1.5 in. | |
| Forests/Grasslands | 0.5 - 1.5 in. | |
| Total Surface Loss | | |
| 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. Ipotizzando 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:

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

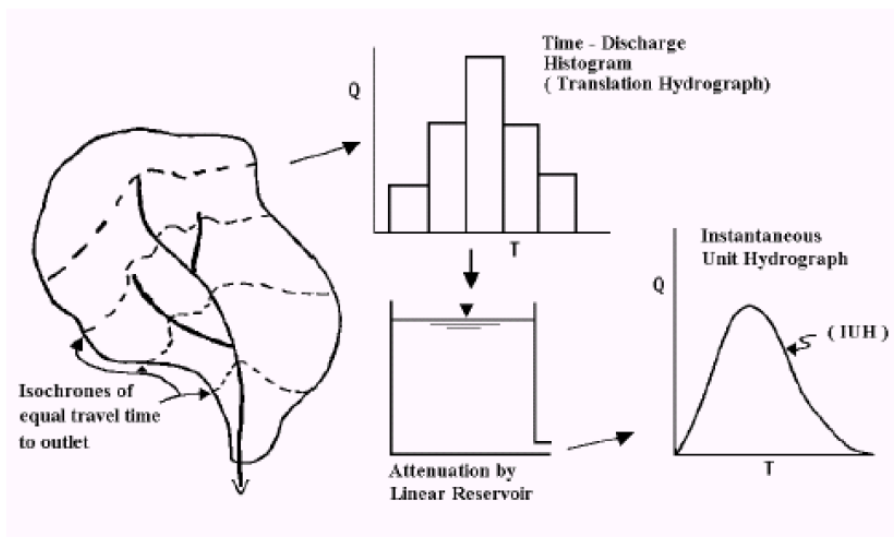
dove $Q(t)$ è la portata defluente; $p(t) = Ai(t)$, con A area del bacino e $i(t)$ intensità di pioggia netta ragguagliata sul bacino; $U(t)$ è l'idrogramma unitario

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

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

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:

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

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:

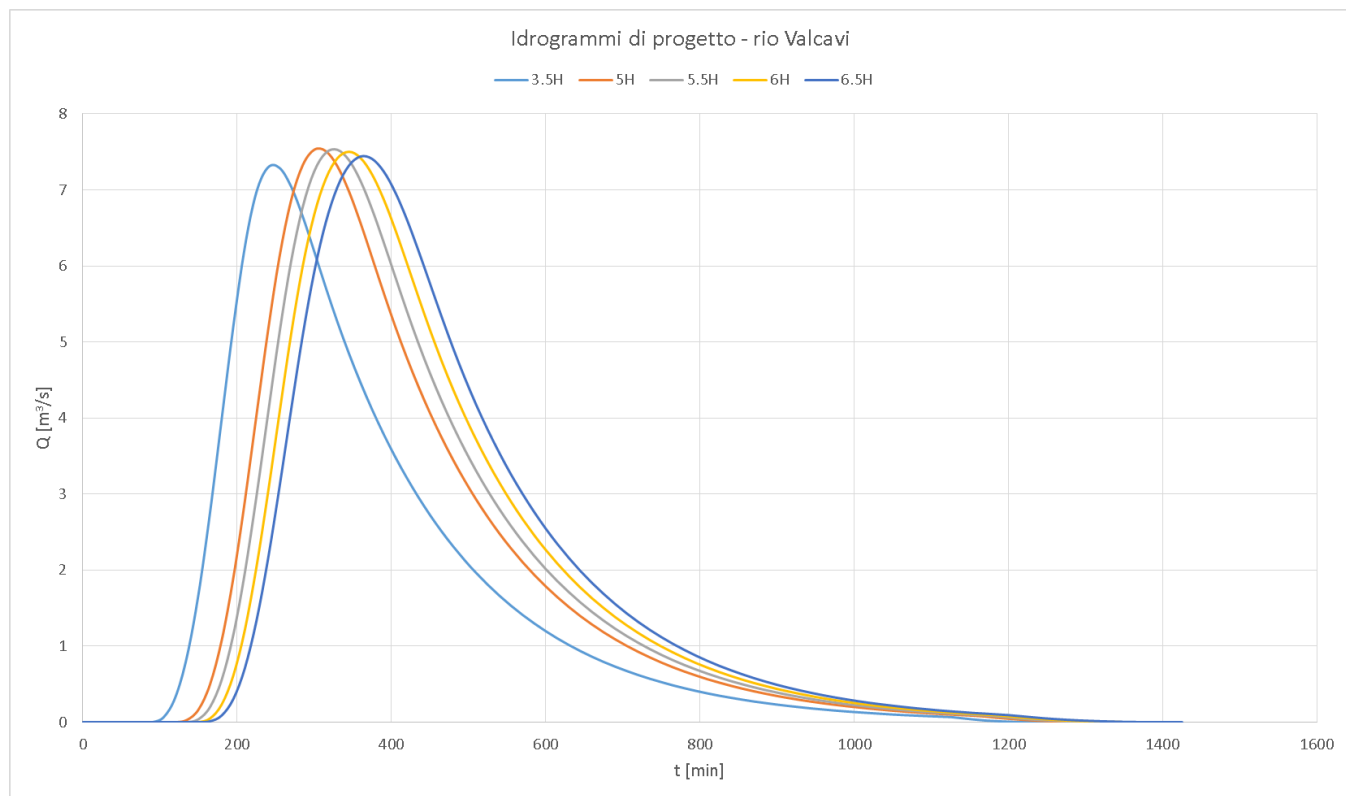
Tabella 5.7 - Parametri del modello di Clark

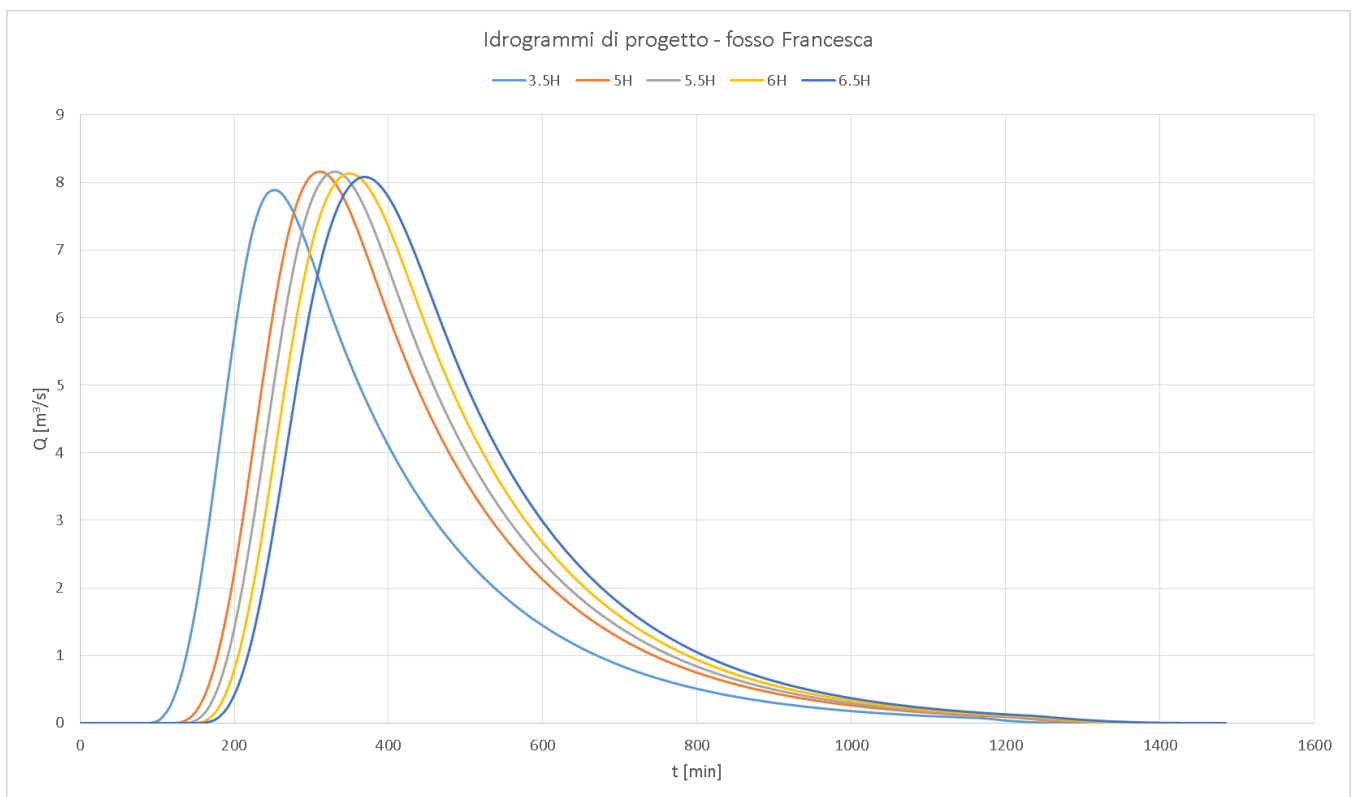
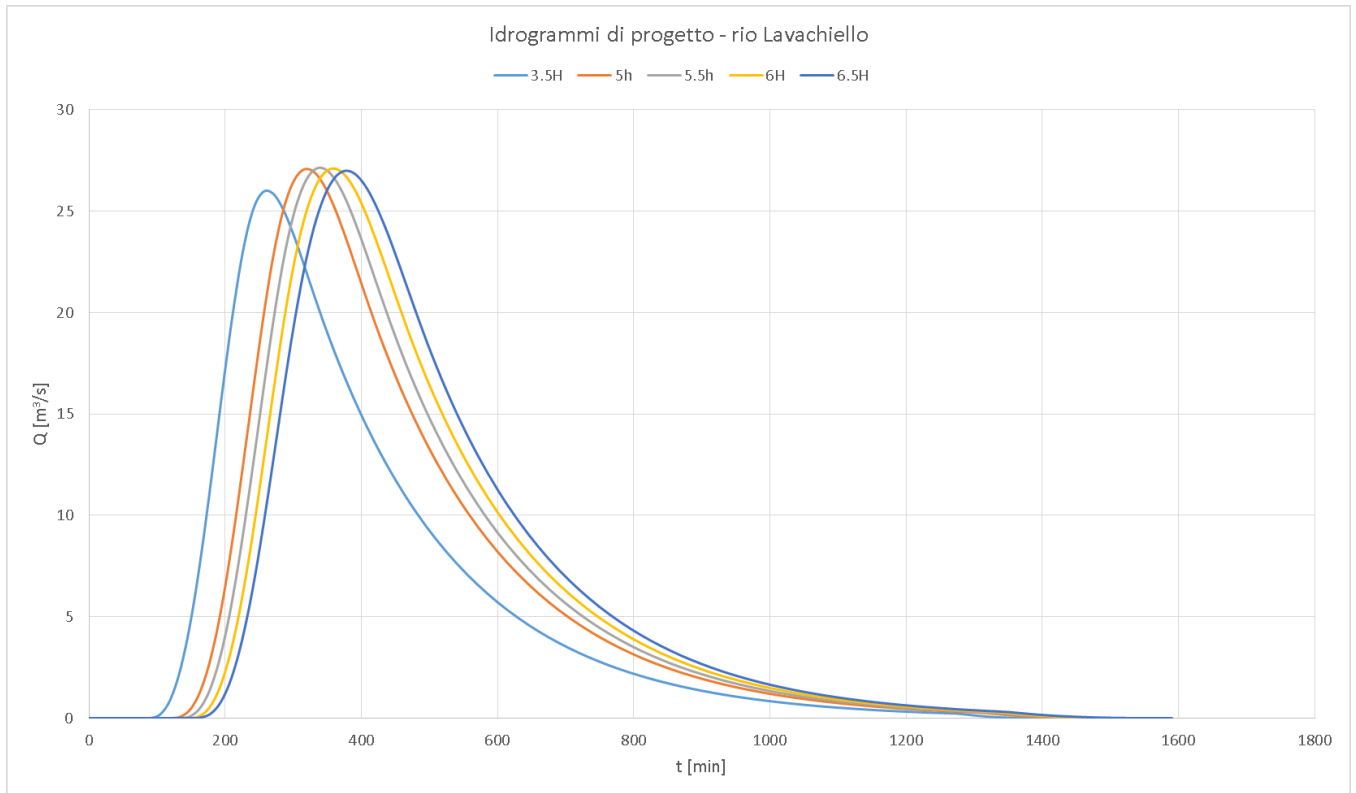
| | Tc [h] | R [h] |
|------------------------------|---------------|--------------|
| Rio Valcavi | 2.03 | 3.04 |
| Rio Lavachiello | 2.31 | 3.47 |
| Fosso Francesca | 2.12 | 3.19 |
| Fossetta di Fogliano | 1.30 | 1.96 |
| Torrente Acqua Chiara | 3.54 | 5.31 |

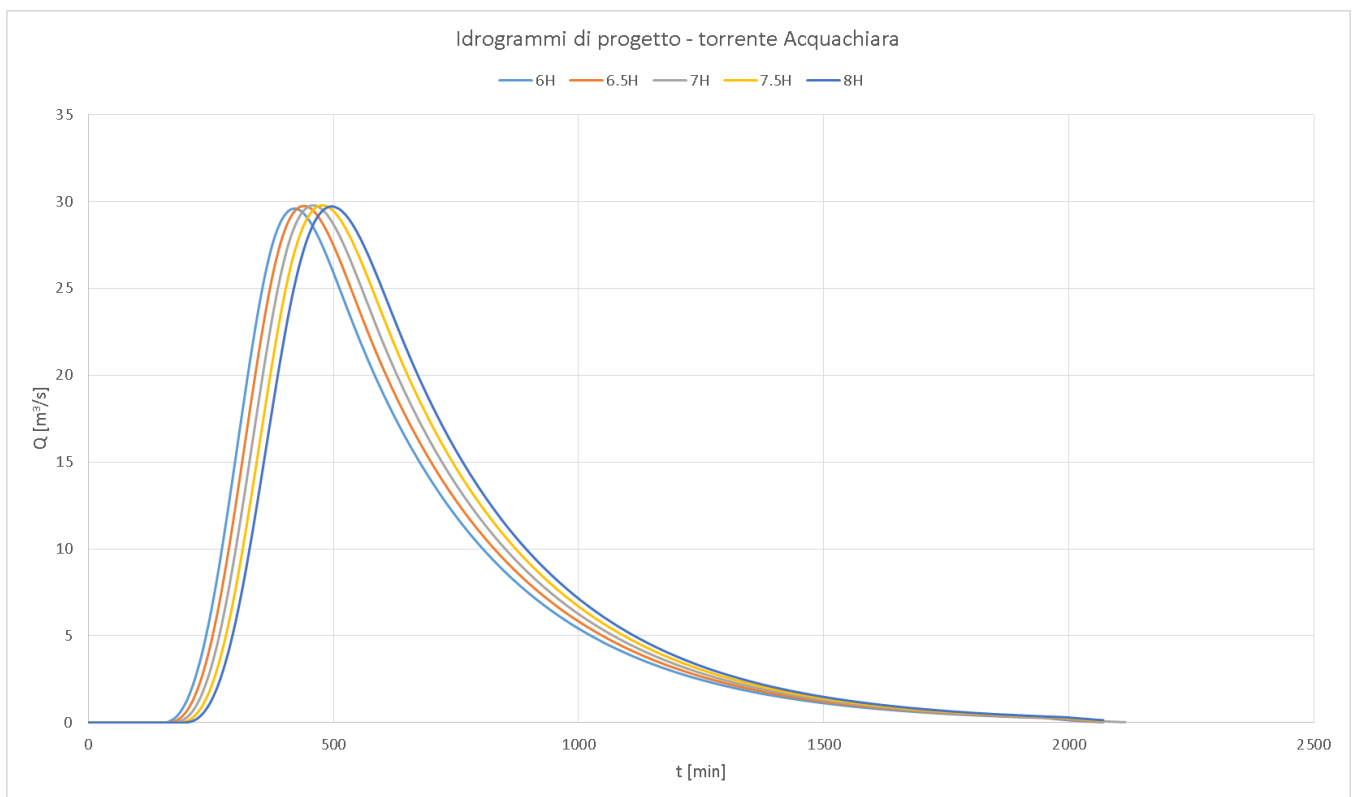
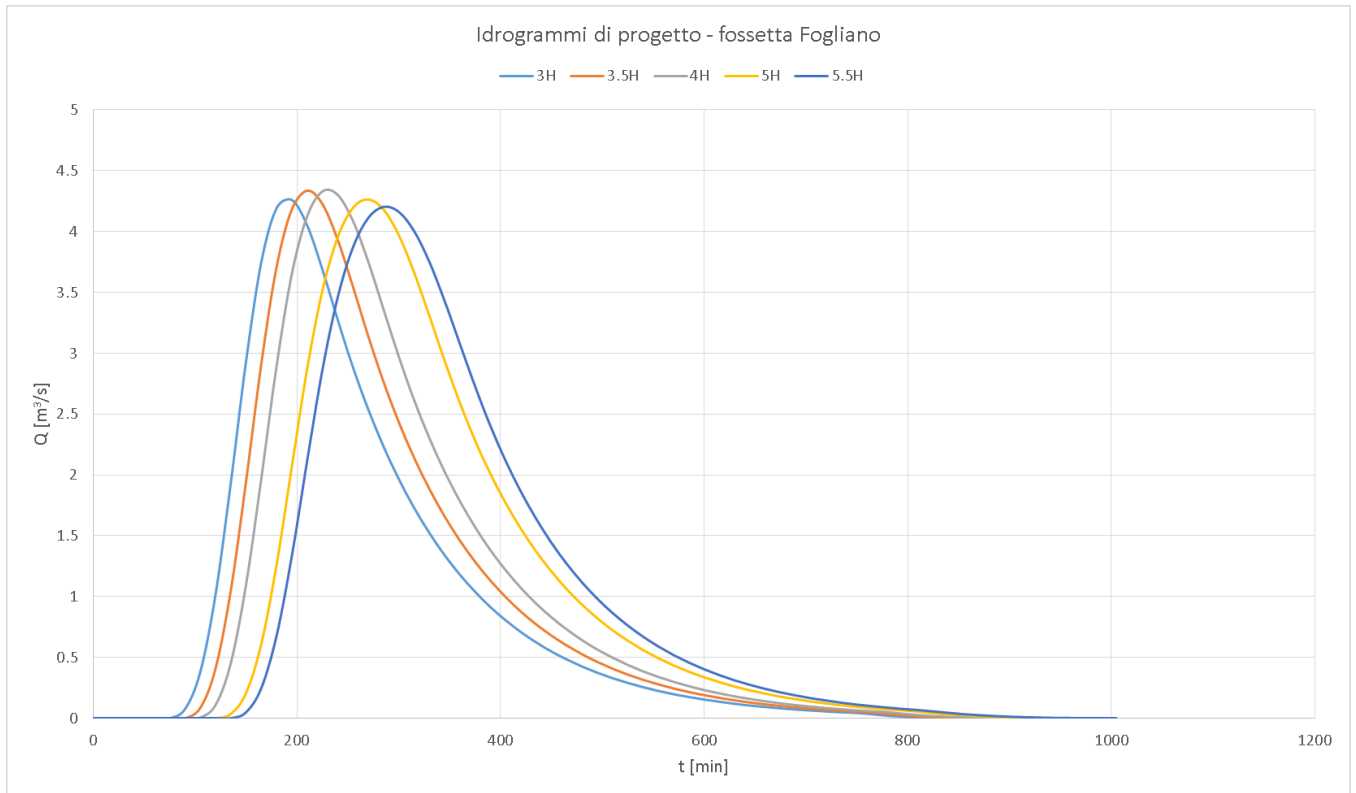
Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati utilizzando il software sviluppato dal centro di ingegneria idraulica dell'esercito statunitense HEC-HMS e permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è 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.







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

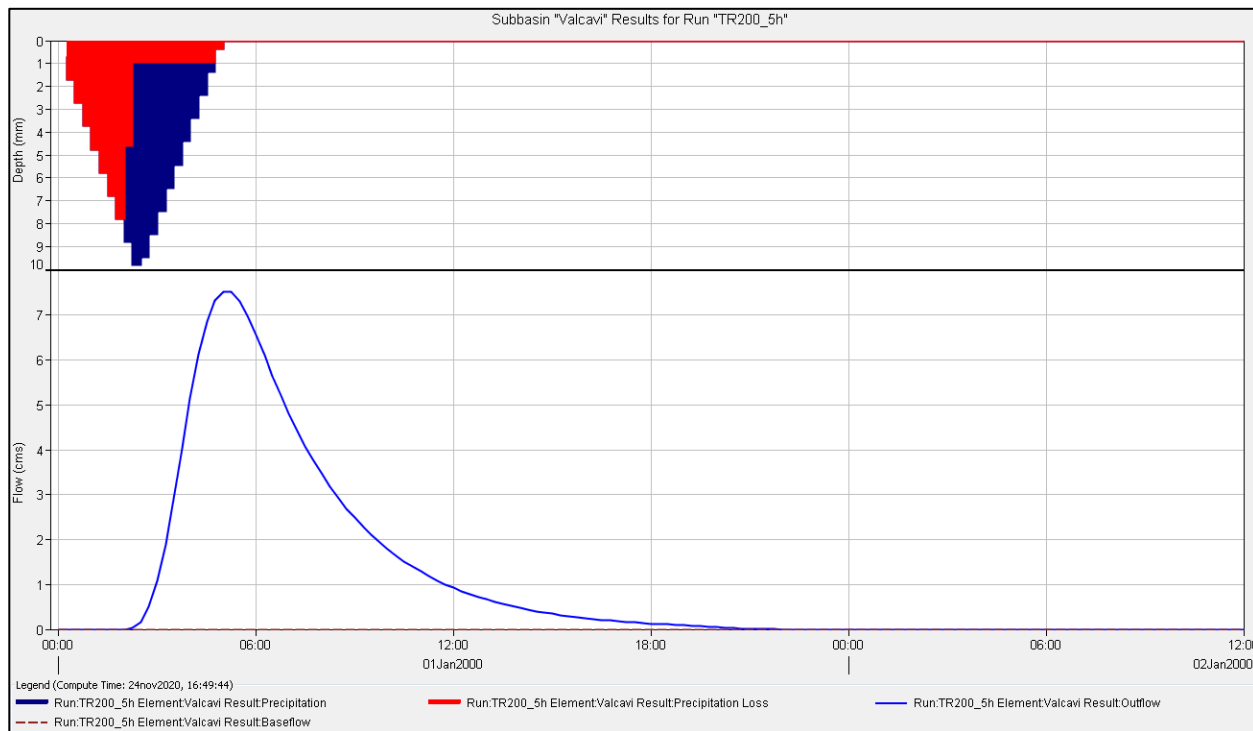


Figura 5.2 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Rio Valcavi

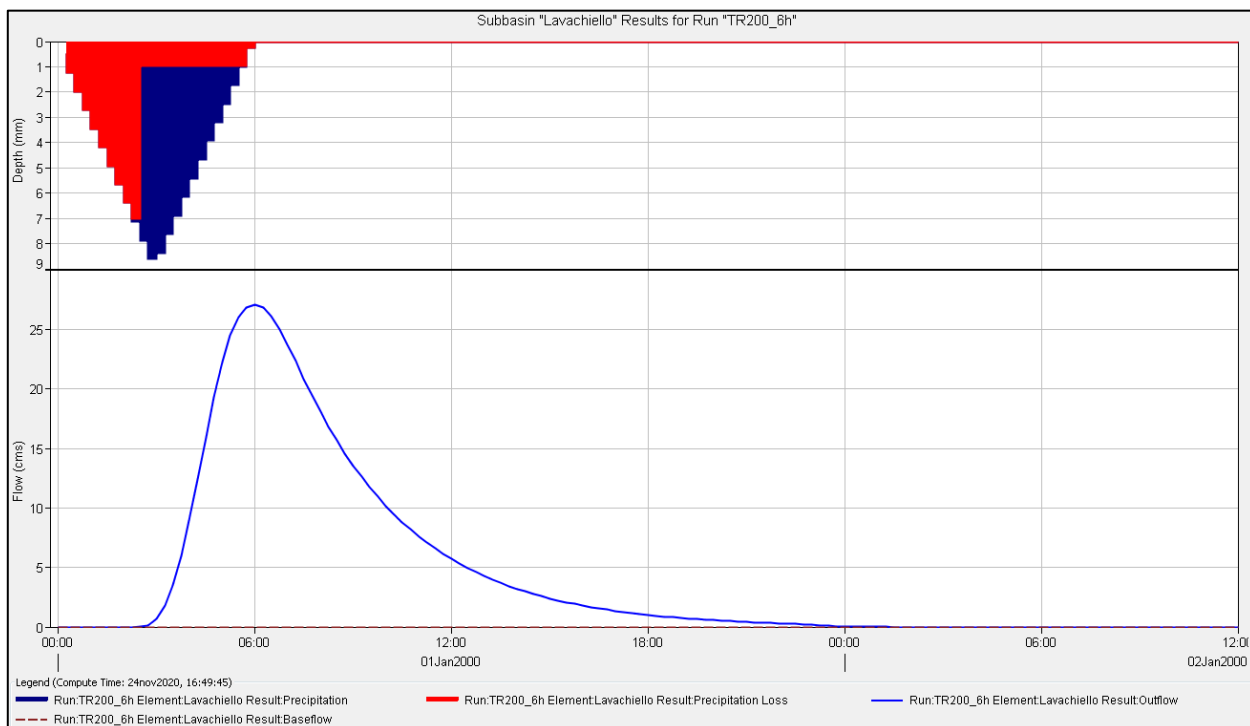


Figura 5.3 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Rio Lavachiello

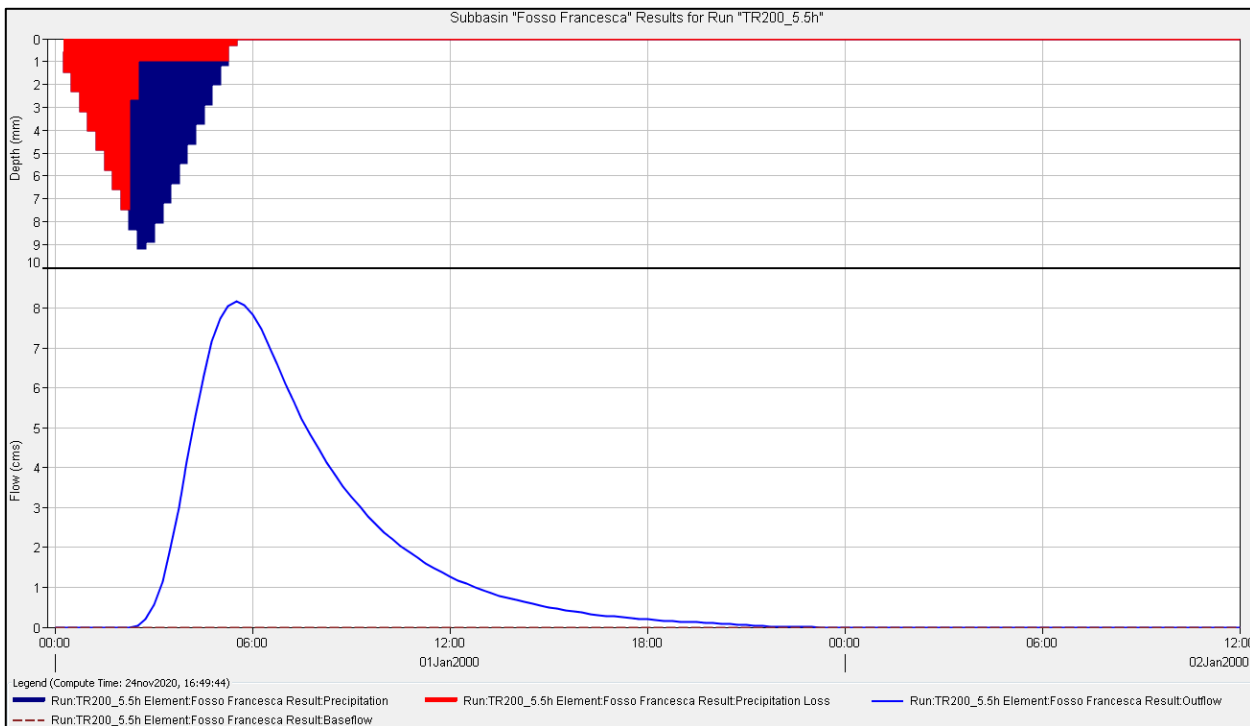


Figura 5.4 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Fosso Francesca

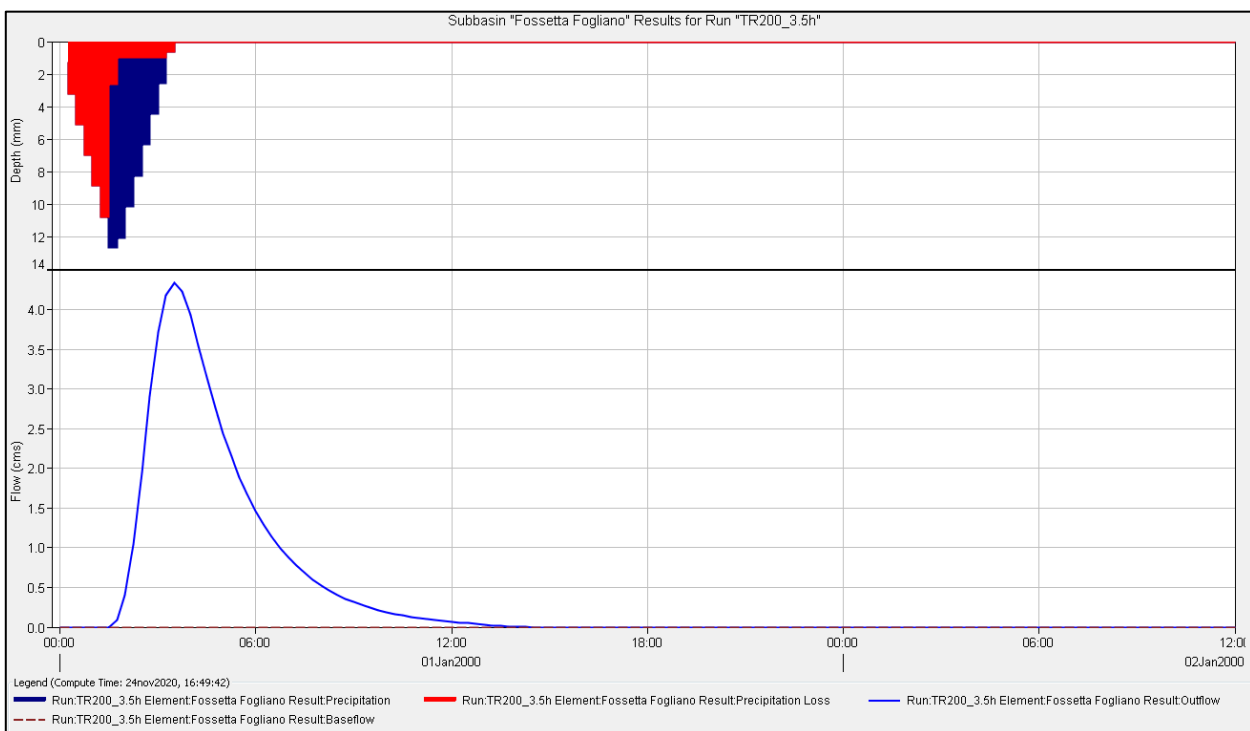


Figura 5.5 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Fossetta di Fogliano

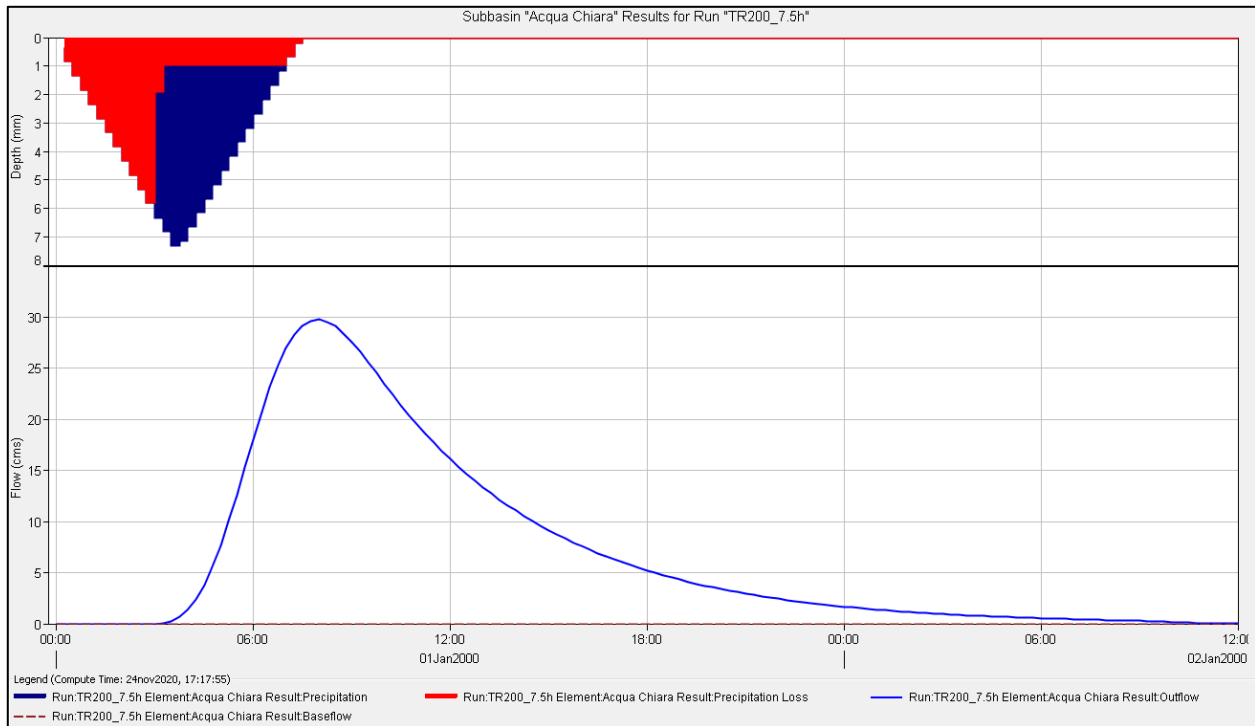


Figura 5.6 - Ietogramma e idrogramma di progetto - Torrente Acquachiara

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 |

(*) Ricadente nel Lotto 2, oggetto del presente appalto

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).
- Attraversamento idraulico Canale di Secchia

Gli attraversamenti idraulici principali, qui riportati per completezza, ricadono nel Lotto 1 e sono attualmente in fase di realizzazione.

7 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 m³/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).

7.1 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;

α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio 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;

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 subcritiche, 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 verificano 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.

7.2 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.

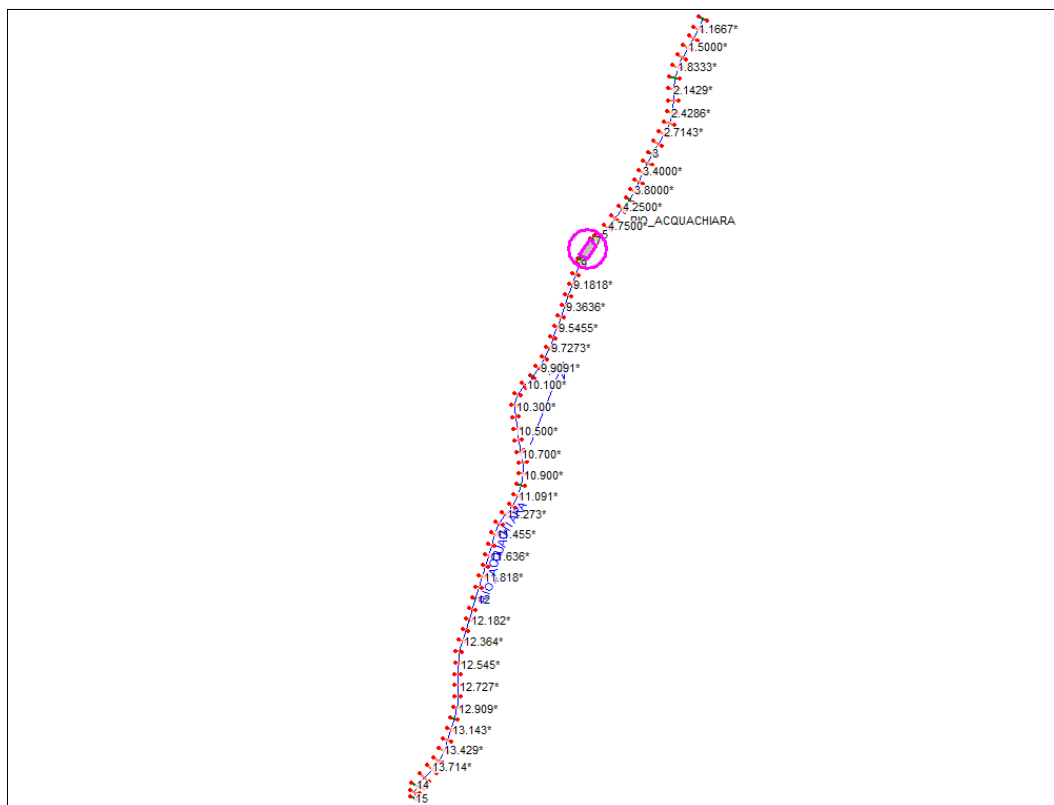


Figura 7.1 – Planimetria del modello idraulico del Torrente Acquachiara

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.

7.3 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: $k_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n = 0.029 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$)

7.4 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.

7.5 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.

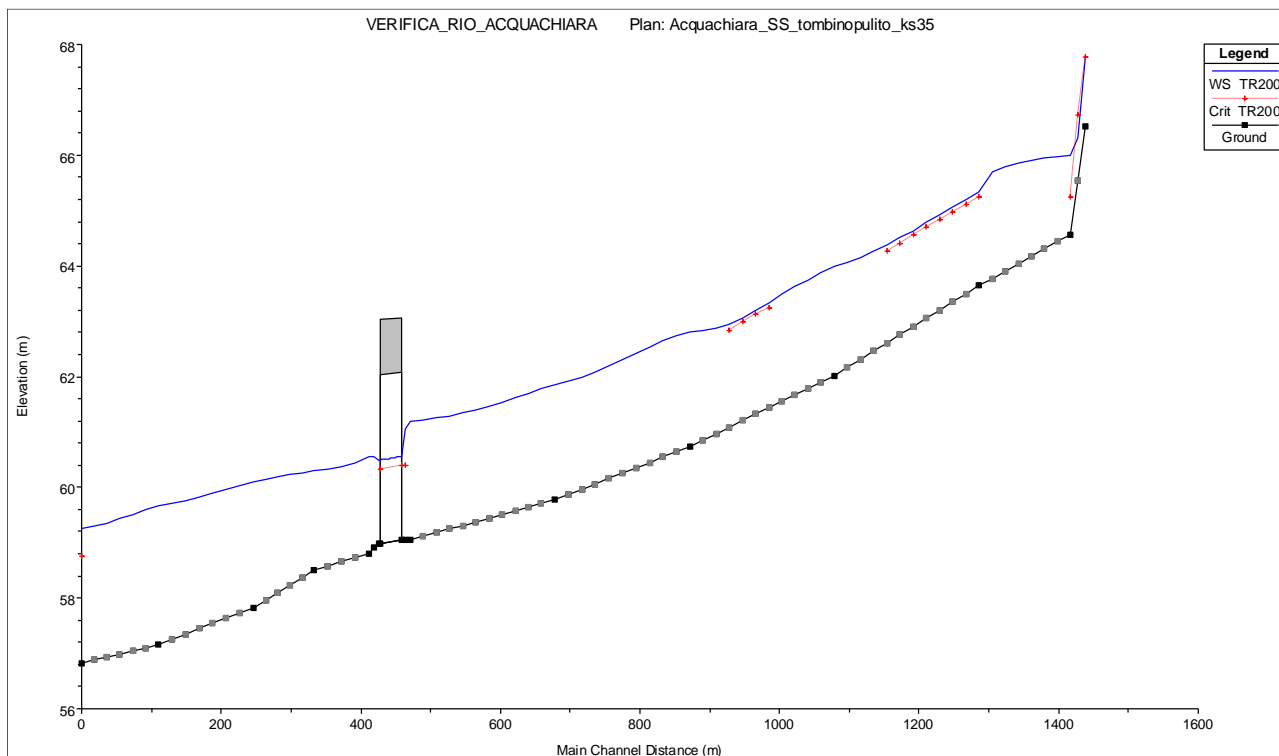


Figura 7.2 – Torrente Acqua Chiara – Risultati modellazione idraulica – Profilo longitudinale

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.

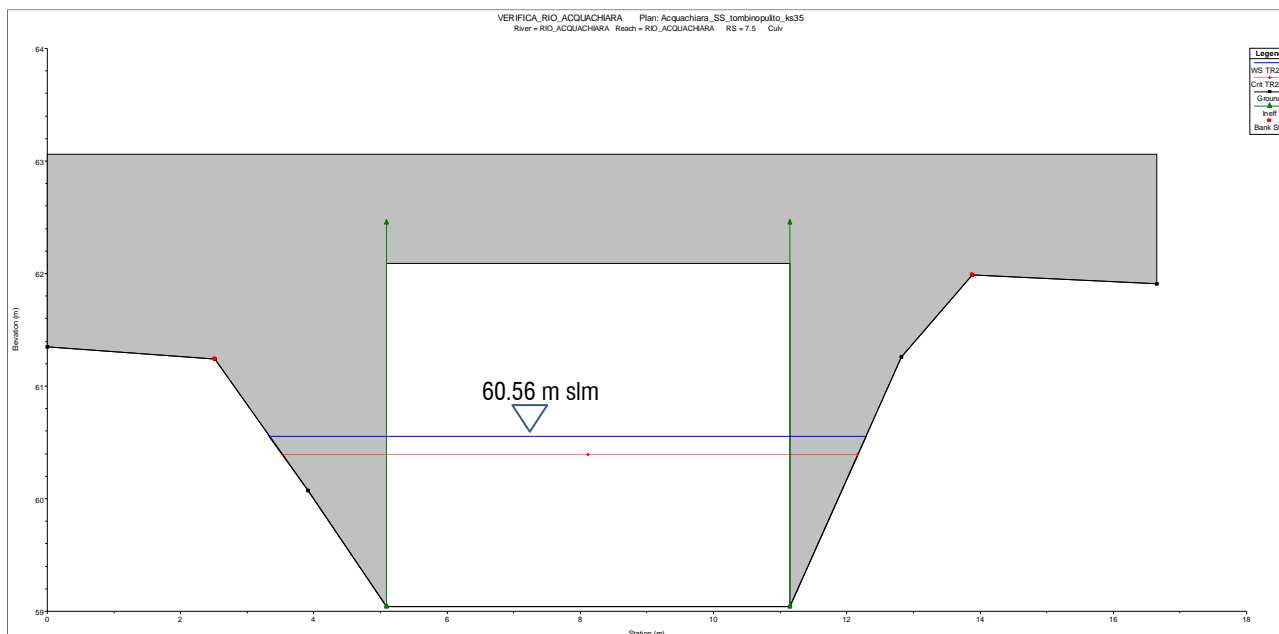


Figura 7.3 – Torrente Acqua Chiara – Risultati modellazione idraulica – Opera di attraversamento (sezione di monte)

8 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 8.1 e in Figura 8.2, le interferenze con il reticolo secondario sono state risolte adottando tre differenti tipologie di tombino idraulico:

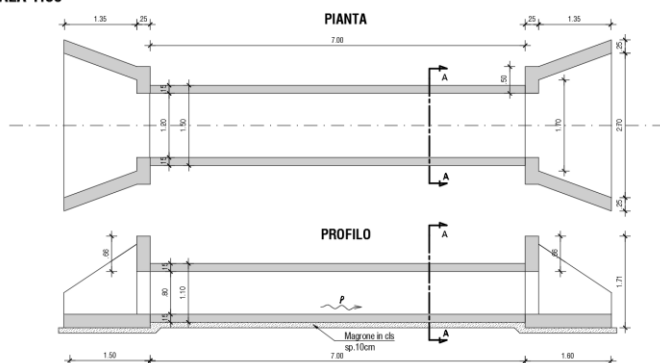
- Tubazione circolare con diametro interno pari a 0.60 m;
- Scatolare di dimensioni interne pari a 1.00 m x 0.80 m;
- Scatolare di dimensioni interne pari a 1.20 m x 0.80 m.

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 questi, 6 ricadono nel Lotto 2, oggetto del presente appalto (da TS01 a TS06). 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

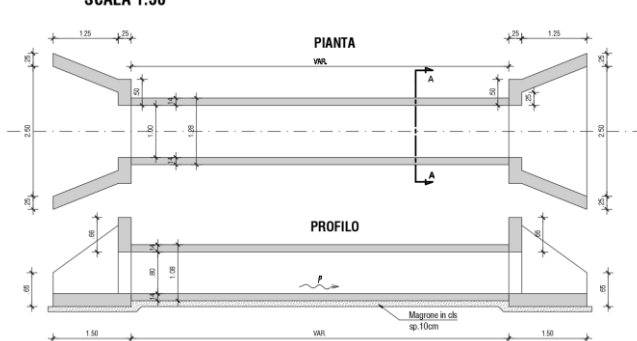


Figura 8.1 - Planimetria e profilo tombini secondari - scatolari (1.20m x 0.80m; 1.00m x 0.80m)

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

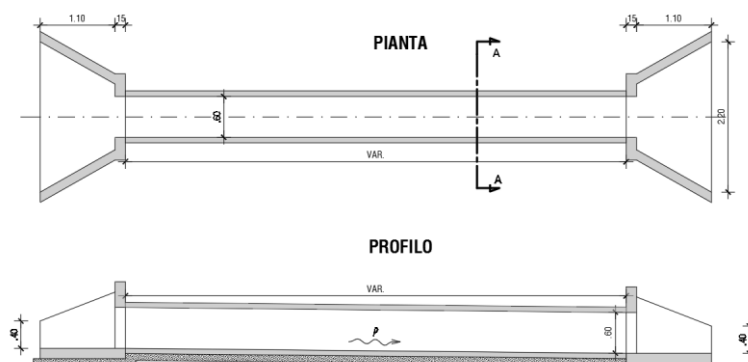


Figura 8.2 - Profilo tubazione (DN600)

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

NB: Nelle tabelle seguenti in grigio si riportano i tombini secondari ricadenti nel Lotto 1 e attualmente in fase di realizzazione.

Tabella 8.1 - Portate relative a ciascun fosso di cui occorre mantenere la continuità idraulica

| ID OPERA | AREA SEZ. FOSSO [mq] | P [m] | R [m] | ks [m ^{1/3} /s] | i | Q [m ³ /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 8.2 - Verifica grado di riempimento tombini secondari

| TOMBINO | Q [m ³ /s] | TIPO | MATERIALE | DN [mm] o H [mm] | B [mm] | NUMERO | G.R. | Ks [m ^{1/3} /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 8.3 - 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 |

TANGENZIALE DI FOGLIANO – DUE MAESTA' - PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - GESTIONE INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

| | | | | | |
|------|-------|-----|------|---|-------|
| 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.