

**COMUNE DI  
SANTA MARIA HOE' (LC)**

**VERIFICHE IDRAULICHE DEL RETICOLO IDRICO  
MINORE IN COMUNE DI SANTA MARIA HOE'  
FINALIZZATO ALLA RIDEFINIZIONE  
DELLE FASCE DI RISPETTO**

11 LUGLIO 2020



Dott. Ing. Leopoldo A. Cafaro

Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia  
di Monza e della Brianza al n. A1354

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSE</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ELABORATI DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>7</b>
4.1	IL RETICOLO IDRICO MINORE DEL COMUNE DI SANTA MARIA HOÈ	7
4.2	FASCE DI RISPETTO	12
4.3	INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEI PUNTI DI CRITICITÀ ESISTENTI LUNGO IL RETICOLO IDRICO MINORE NEL COMUNE DI SANTA MARIA HOÈ	15
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b>	<b>19</b>
5.1	INQUADRAMENTO IDROMORFOLOGICO	19
5.2	ANALISI PLUVIOMETRICA	22
	<b>5.2.1 DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA</b>	<b>22</b>
	<b>5.2.2 IETOGRAMMA CENTENNALE</b>	<b>24</b>
<b>5.3</b>	<b>MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI</b>	<b>26</b>
	<b>5.3.1 MODELLAZIONE DETERMINISTICA</b>	<b>27</b>
	<b>5.3.2 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI IDRAULICA</b>	<b>40</b>
6.1	DOMINIO E GEOMETRIA DEL MODELLO	40
6.2	PORTATA DI PIENA E CONDIZIONI AL CONTORNO	48
6.3	RISULTATI	51
<b>7</b>	<b>TORRENTI MINORI</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>AGGIORNAMENTO DELLE FASCE DI RISPETTO</b>	<b>63</b>
<b>9</b>	<b>ULTERIORI SEGNALAZIONI</b>	<b>65</b>
<b>10</b>	<b>ALLEGATI</b>	<b>67</b>

## 1 PREMESSE

La presente relazione tecnica è stata predisposta su incarico dell'Amministrazione comunale di Santa Maria Hoe' (LC) in base alla Determina R.G. n. 89 del 02/03/2020 (CIG Z4E2C4223E) e descrive l'aggiornamento delle fasce di rispetto comunali nell'ambito della polizia idraulica. In ottemperanza del D.G.R. n. 10/7581 la proposta di individuazione delle fasce di rispetto in deroga a quanto previsto dall'art. 96 lett. f) R.D. n.523/1904 è stata eseguita mediante un apposito studio idrologico e idraulico realizzato ai sensi della Direttiva IV dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (AdBPo) *Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B* e della DGR 30 novembre 2011 n. 2616 *Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'articolo 57 comma 1 della legge regionale 11 Marzo 2005 n. 12*.

L'aggiornamento si è reso necessario in seguito a:

- revisione e adeguamento del regolamento di polizia idraulica all'attuale normativa vigente (D.G.R. n. 10/7581 del 18 dicembre 2017 emessa dalla regione Lombardia in merito ai "criteri per l'esercizio dell'attività idraulica di competenza comunale").
- realizzazione di una serie di interventi – nell'anno 2015 – volti alla risoluzione di criticità diffuse lungo diverse aste fluviali ricadenti all'interno del reticolo idrico comunale, nell'ambito del progetto *Interventi di sistemazione dei punti di criticità esistenti lungo il reticolo idrico minore nel Comune di Santa Maria Hoè* (in seguito denominato *Progetto 2015* per brevità).

Il presente studio ha riguardato in generale l'intero reticolo idrico minore; più nello specifico le aree analizzate con particolare attenzione dal punto di vista idraulico in prospettiva di un aggiornamento rispetto alla situazione attuale sono le seguenti:

- A: confluenza tra Rio Corneri e Rio Prà dell'Ora, con particolare riferimento all'area esondabile presente in sinistra idraulica di quest'ultimo;
- B: Rio Foppina nei pressi dell'attraversamento di Via dei Ronchi, dove è stato effettuato l'intervento 3.2 del Progetto 2015;
- C: Rio Prà dell'Ora a monte della confluenza con il torrente Molgora, dove è stato effettuato l'intervento 3.4 del 2015 ed è attualmente presente un'area esondabile di circa 4500 m<sup>2</sup> in sinistra idraulica;
- D-E: aste fluviali denominate rispettivamente 1.1 e 4 all'interno della esistente carta di inquadramento del reticolo idrico minore.

Il presente documento si intende come aggiornamento del progetto di *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle relative fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000* – Comune di Santa Maria Hoè, redatto nell'anno 2012, ed è stato declinato nei seguenti capitoli:

- normativa di riferimento;
- elaborati di riferimento;
- inquadramento generale dello stato di fatto:
  - reticolo idrico comunale;
  - fasce di rispetto;
  - sintesi degli interventi realizzati nell'anno 2015;
- analisi idrologica;
- analisi idraulica;
- proposta di aggiornamento delle fasce di rispetto;
- ulteriori criticità riscontrate.

In **ALLEGATO** alla presente relazione vengono riportati i risultati del modello di calcolo idraulico (**A**), una planimetria generale del reticolo minore in Comune di S. Maria Hoè (**B**) in cui vengono sintetizzati gli aggiornamenti proposti alle fasce di rispetto ed infine una descrizione del Codice di calcolo adottato per la modellazione idraulica (**C**).

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

**D.G.R. Lombardia n. X/7581 - 18 dicembre 2017** Aggiornamento della d.g.r. 23 ottobre 2015 – n. X/4229 e ss.mm.ii. «Riordino dei reticoli idrici di Regione Lombardia e revisione dei canoni di polizia idraulica» e determinazione della percentuale di riduzione dei canoni di polizia idraulica (attuazione della legge regionale 15 marzo 2016, n. 4, art. 13, comma 4).

**R.D. n. 523/1904** - Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse Categorie.

**Direttiva IV dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (AdBPo)** "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

**DGR 30 novembre 2011 n. 2616** "Aggiornamento dei criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'articolo 57 comma 1 della legge regionale 11 Marzo 2005 n. 12.

### **3 ELABORATI DI RIFERIMENTO**

*Piano di Governo del Territorio (PGT) del Comune di Santa Maria Hoè, anno 2014.*

*Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000 – Comune di Santa Maria Hoè.*

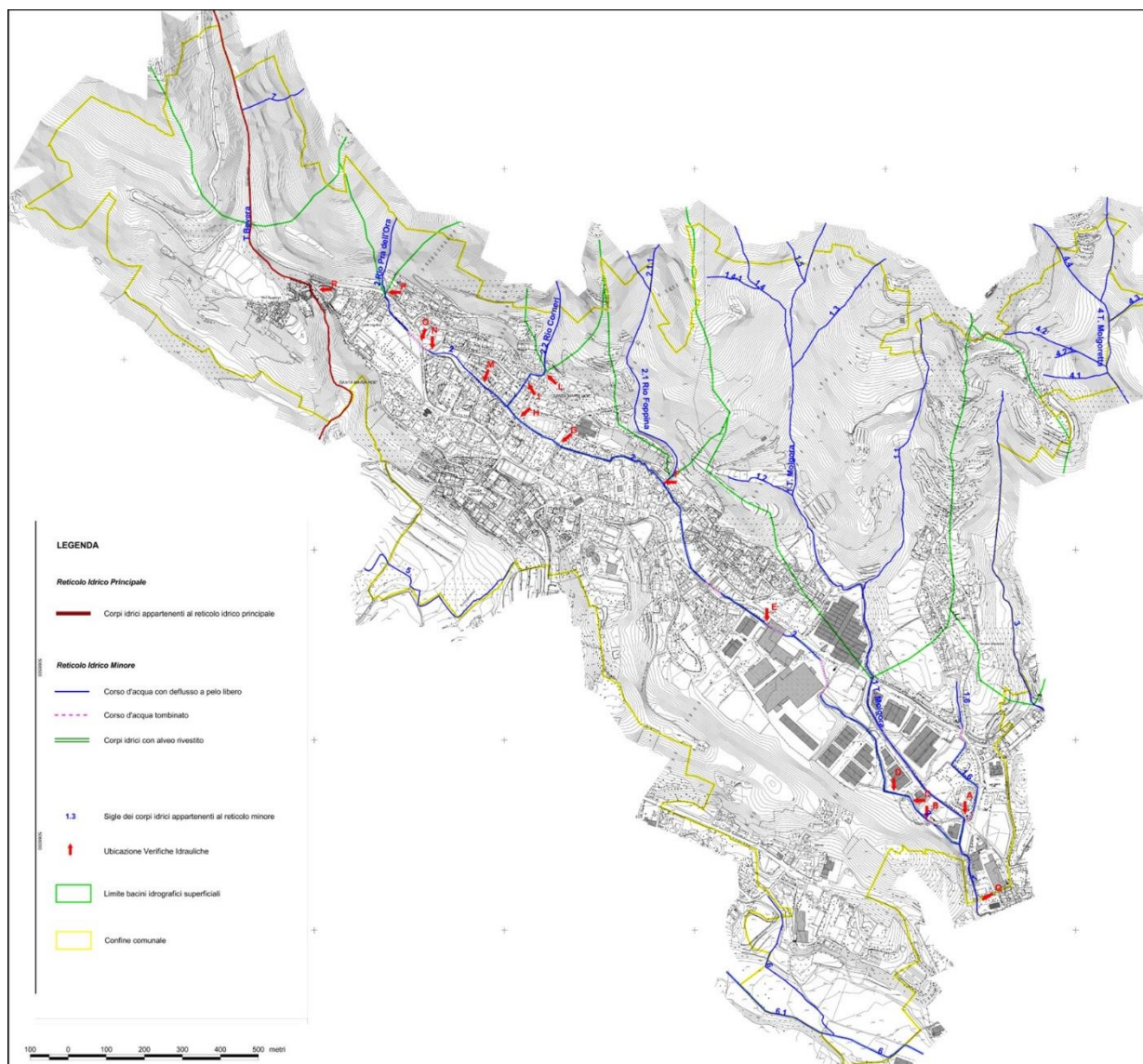
*Interventi di sistemazione dei punti di criticità esistenti lungo il reticolo idrico minore nel Comune di Santa Maria Hoè – Progetto definitivo ed esecutivo.*

## **4 INQUADRAMENTO GENERALE**

All'interno del presente capitolo vengono sintetizzate le principali caratteristiche del reticolo idrico minore comunale, in termini di aste fluviali che lo compongono e fasce di rispetto, così come riportato all'interno del documento *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000*. Si aggiunge a seguire un sottocapitolo specifico riguardante gli interventi realizzati nell'ambito del Progetto 2015 inerenti ai tratti dei corsi d'acqua oggetto del presente studio di aggiornamento.

### **4.1 IL RETICOLO IDRICO MINORE DEL COMUNE DI SANTA MARIA HOÈ**

Si riporta di seguito uno stralcio della Carta d'Inquadramento (**Figura 1**) facente parte del vigente Documento di Polizia idraulica del Comune di Santa Maria Hoe', redatto nell'anno 2012, in cui vengono evidenziati in blu i diversi tratti del Reticolo Idrico Minore (il torrente Bevera di Brianza, che attraversa il territorio comunale nella zona ovest, fa parte del reticolo principale e pertanto l'autorità idraulica non è il Comune).



**Figura 1:** Individuazione del reticolo idrico minore

Osservando la carta in figura, si nota come l'intero centro abitato sia attraversato, in direzione nord-est -> sud-ovest dal Rio Prà dell'Ora (asta n° 2), in cui confluiscono in sinistra idraulica, procedendo verso valle, il Rio Corneri (asta n° 2.2) in località "Villaggio Primula" e il Rio Foppina (asta n° 2.1) in località "Dossello" all'altezza di Via dei Ronchi.

Il Torrente Molgora (asta n° 1) percorre l'area occidentale del territorio comunale, attraversandolo sempre in direzione nord-est -> sud-ovest ed entrando nel centro abitato all'altezza della zona industriale, fino a ricevere le acque del Rio Prà dell'Ora nei pressi della SP58 (Via Papa Giovanni XXIII) a valle dello stabilimento Galbusera, all'estremità sudoccidentale del territorio comunale.

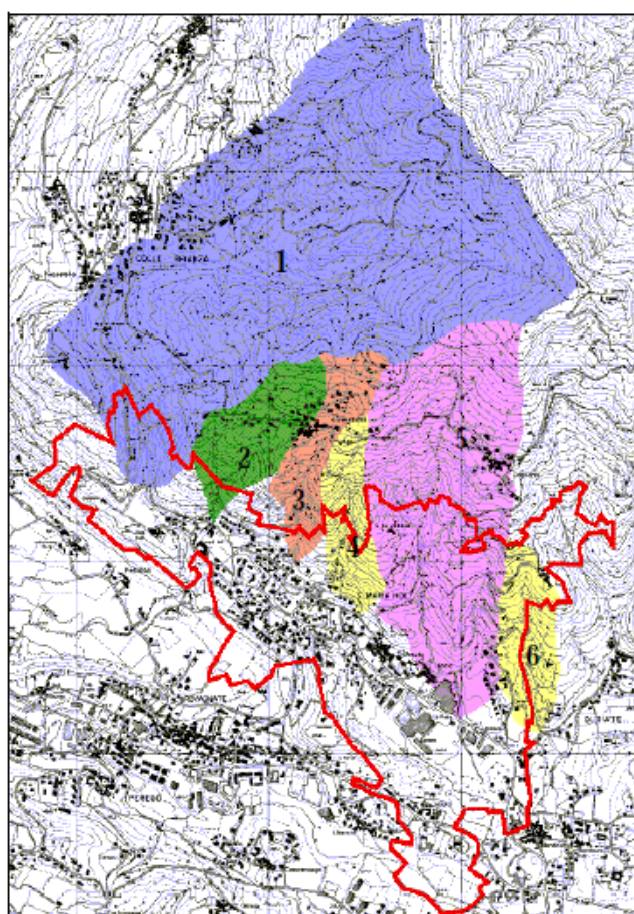
Il Rio Polverino (asta n° 3) e il Rio Molgoretta (asta n° 4, composta da diversi rami) lambiscono



marginalmente il territorio comunale lungo il suo confine occidentale in direzione nord-sud, all'interno di impluvi acclivi e non urbanizzati.

In generale, tutti i corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrico minore comunale assumono le caratteristiche tipiche delle aste fluviali pedemontane, rete di drenaggio delle acque superficiali di impluvi scarsamente urbanizzati e fortemente acclivi, con portate di magra trascurabili e regime di piena di tipo torrentizio in corrente veloce.

Si riporta di seguito la descrizione dettagliata delle caratteristiche idromorfometriche dei bacini delle aste fluviali sopracitate (osservabili in **Figura 2**), partendo da quella contenuta all'interno del documento *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000*, poi aggiornata per tenere conto dei recenti interventi.



**Bacino 1** – Ramo apicale  
Bevera di Molteno

**Bacino 2** – Valle Pra dell'Ora

**Bacino 3** – Valle Del Corneri

**Bacino 4** – Rio Foppina

**Bacino 5** – Torrente Molgora

**Bacino 6** – Rio Polverino

**Figura 2:** *Principali bacini imbriferi presenti nel territorio del comune di Santa Maria Hoé (Estratto "Studio idrologico e idraulico per l'individuazione del reticolo idrico minore del comune di Santa Maria Hoé" (Lc))*

#### Bacino 2: Ramo apicale della Valle Pra dell'Ora

*Il ramo apicale del Rio Pra dell'Ora drena le acque di un bacino, prevalentemente naturale, localizzato a monte dell'abitato di Santa Maria Hoè e sotteso dalla sezione di chiusura posta a quota 415 m s.l.m. in corrispondenza dell'attraversamento del valgello in via Papa Giovanni XXIII (un tubo in calcestruzzo di diametro 1000 mm); ha un'estensione limitata ( $0.33 \text{ Km}^2$ ) e forma allungata, sviluppandosi sino ad una quota massima di 750 metri. Il collettore principale deriva dalla coalescenza di due aste secondarie, le quali si originano poco a valle dell'abitato di Giovenzana e si uniscono a quota 490 m s.l.m.. La porzione di monte di tale bacino è caratterizzata da versanti mediamente acclivi a cui segue un pendio più marcatamente scosceso a valle dell'abitato. In questo tratto la copertura detritica non assume mai spessori considerevoli e ricopre in modo discontinuo il substrato roccioso che affiora in maniera diffusa lungo gli assi vallivi. Nel tratto compreso nel territorio comunale non sono stati riscontrati particolari situazioni di dissesto concentrato, si segnala tuttavia un generale abbandono del versante boscato segnato dalla presenza di numerosi alberi sradicati.*

#### Bacino 3: Valle dei Corneri

*Ha estensione molto limitata ( $0.28 \text{ Km}^2$ ) e si sviluppa tra quota 390 m s.l.m., in corrispondenza delle prime abitazioni di S. Maria, dove è stata posta la sezione di chiusura, e 761 m s.l.m. in prossimità del crinale spartiacque con la Valle della Taiada. Il basso valore del rapporto di circolarità ( $K_r = 0.3$ ) testimonia di una forma decisamente allungata di tale bacino, con conseguente valore del tempo di corrivazione ( $T_c$ ) più elevato rispetto a un bacino di ugual superficie ma forma più raccolta e conseguentemente caratterizzato da ondate di piena improvvise e marcate. L'asta principale nasce a quota 645 metri, poco a valle della strada provinciale per Giovenzana, e presenta uno sviluppo lineare totale di 0.88 Km. Due sono le aste torrentizie secondarie le quali non raggiungono comunque sviluppi superiori a 50 metri. Il corso d'acqua scorre, per la quasi totalità del suo percorso, in un impluvio inciso caratterizzato da depositi di copertura che non assumono mai spessori considerevoli, in genere dell'ordine di qualche decimetro; lungo l'alveo affiora diffusamente il substrato roccioso. Si segnala la presenza di una risorgiva captata ad uso idropotabile in destra idrografica presso località "La sorgente". Poco a monte della sua confluenza con il Rio Pra dell'Ora, il deflusso viene limitato dal passaggio attraverso un tubo in calcestruzzo di diametro 800 mm.*



**Figura 3:** Foto del tratto terminale del Rio Corneri dalla confluenza col Rio Pra dell'Ora

#### Bacino 4: Rio Foppina

*Con tale nome viene indicato il bacino idrografico che alimenta il corso d'acqua, denominato Rio Foppina in mancanza di toponimi precisi nella cartografia in nostro possesso, il quale si sviluppa a partire da quota 711 m s.l.m. lungo il versante a valle di Giovenzana ed è stato fatto chiudere in corrispondenza delle prime abitazioni dell'abitato di Santa Maria Hoè in prossimità di località "Dossello" (370 m s.l.m.). Tale bacino è caratterizzato, come nel caso dei restanti bacini individuati all'interno del territorio comunale di Santa Maria Hoè, da un'estensione limitata (0.21 Km<sup>2</sup>) e da una forma decisamente allungata. Tre aste di primo ordine confluiscono nell'asta principale di secondo ordine alla quota di circa 500 m s.l.m.; non si segnalano particolari situazioni di dissesto, salvo locali e limitati fenomeni erosivi lungo le scarpate torrentizie, oltre ad un generale abbandono dei versanti boscati. Prima della sua confluenza con il Rio Pra dell'Ora, il corso d'acqua viene limitato al passaggio di una scatolare in calcestruzzo di dimensioni 125x100 cm per l'attraversamento di Via dei Ronchi.*

#### Bacino 5: Torrente Molgora

*E' il bacino idrografico più esteso tra quelli considerati (1.33 Km<sup>2</sup>), il quale si sviluppa nella porzione orientale del comune, tra la sezione di chiusura, posta a quota 323,5 m s.l.m. poco a valle dell'attraversamento di via Cenisio e quota 830 m in prossimità della cima del monte San Genesio. Si possono riconoscere due rami principali sviluppatisi rispettivamente nella porzione Est ed in quella Ovest del bacino idrografico. Il ramo orientale nasce a quota 753 m s.l.m., lambisce località "Cascina Mirabella", dove si segnala la presenza di una sorgente non captata, e confluisce nel ramo occidentale*

*a quota 355 m s.l.m.. Questo nasce lungo il versante a monte di Cagliano (750 m s.l.m.) e presenta uno sviluppo lineare di 1.7 km. Il valore di densità di drenaggio di questo tratto di versante è decisamente elevato, numerose sono le aste torrentizie che incidono la coltre superficiale dei depositi eterometrici mettendo a giorno il substrato roccioso. Si segnalano infine limitati dissesti lungo le aste torrentizie, riconducibili essenzialmente a fenomeni erosivi di sponda e a scivolamenti della copertura superficiale.*

Bacino urbanizzato del Rio Pra dell'Ora

*Si tratta del bacino imbrifero del torrente che alimenta il corso d'acqua lungo il suo passaggio del centro abitato di Santa Maria Hoé: tra l'attraversamento sotto via Papa Giovanni XXIII, all'altezza di via Europa, a quota 415 m s.l.m. e la confluenza con il Torrente Molgora a quota 324 m s.l.m., per una lunghezza complessiva pari a circa 2,3 km; Il bacino, caratterizzato nella sua porzione iniziale da un tessuto residenziale continuo mediamente denso, procedendo verso valle viene progressivamente interessato da insediamenti industriali che costringono il corso d'acqua a diversi intubamenti; ha un estensione di circa 0,73 Km<sup>2</sup> ed una quota massima pari a 523 m s.l.m.*

*Tale bacino (osservabile in **Figura 9**) è stato incluso nell'ambito del presente studio in quanto componente fondamentale per una corretta determinazione delle portate di piena in ingresso al modello idraulico, come meglio illustrato nel capitolo successivo.*

I bacini idrografici sopra descritti sono stati ricalcolati nell'ambito del presente studio (in ambiente GIS a partire dal DTM regionale a risoluzione 5 metri), come punto di partenza dell'analisi idrologica descritta in dettaglio nel capitolo successivo, all'interno del quale verranno esposte le caratteristiche idromorfometriche di interesse per ciascuno di essi (generalmente molto simili a quelle descritte all'interno del documento *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000*).

## **4.2 FASCE DI RISPETTO**

Oltre all'individuazione delle aste fluviali facenti parte del reticolo idrico minore, all'interno del documento *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000* è contenuta anche la definizione delle fasce di rispetto (sulla base di quanto previsto dall'art. 96, lett. f), R.D. n. 523/1904) per tali corsi d'acqua, seguendo i medesimi principi poi ripresi all'interno dell'Allegato D alla D.g.r. 7581/2017, per cui *le fasce di rispetto dovranno essere individuate da un tecnico con adeguata professionalità, tenendo conto:*



- delle aree storicamente soggette ad esondazioni;
- delle aree interessabili da fenomeni erosivi e di divagazione dell'alveo;
- della necessità di garantire un fascia di rispetto sufficiente a consentire l'accessibilità al corso d'acqua ai fini della sua manutenzione, fruizione e riqualificazione ambientale.

Si riporta di seguito il paragrafo del suddetto documento in cui si giustificano le scelte compiute per la definizione dell'attuale larghezza della fasce di rispetto, unitamente a una tabella di dettaglio riassuntiva di ciascuna asta.

*In relazione alle caratteristiche morfologiche del territorio in oggetto si osserva che l'estensione delle aree alluvionabili risulta contenuta e sempre ben individuabile, circoscritta alle porzioni di territorio immediatamente adiacenti agli alvei torrentizi. La maggior parte dei deflussi idrici infatti avviene lungo alvei morfologicamente sempre ben definiti, caratterizzati ovunque da dinamiche erosive talora anche intense. Ciò ha determinato la formazione di valli torrentizie, sviluppatesi all'interno dei depositi di copertura e del substrato roccioso, che localmente risultano essere molto incise e nettamente delimitate da orli di scarpata torrentizia in arretramento. Dove è presente il substrato roccioso i deflussi incidono direttamente le formazioni costituenti il substrato.*

*In corrispondenza del terrazzo morfologico su cui sorgono gli ambiti urbanizzati i corpi idrici risultano scorrere per lo più entro alvei arginati ed in alcuni tratti coperti (in corrispondenza di attraversamenti stradali e di un tratto dell'area industriale). In tali ambiti si rilevano settori limitati dove sono possibili fenomeni di esondazione parziale nel caso di occlusione o restringimenti delle sezioni utili di deflusso, in ogni caso con valori di velocità della corrente e tirante idrico tali da non rappresentare un fattore di rischio per le persone. Tali aree sono state distinte e azionate come fasce di rispetto parziale. Pertanto, [...], sui corsi d'acqua presenti sul territorio comunale l'estensione della fascia di rispetto assoluta è stata mantenuta pari a 10 m con le seguenti eccezioni:*

- 1. La fascia di rispetto assoluta è stata ridotta a 4 m di estensione in corrispondenza dei tratti intubati dei corsi d'acqua ed in corrispondenza della maggior parte dei tratti arginati dei corpi idrici.*
- 2. La fascia di rispetto assoluta è stata ridotta a 4 m di estensione in corrispondenza di alcuni dei corpi idrici minori in quanto caratterizzati da portate ridotte e sezioni di deflusso in grado di smaltirle in sicurezza (non sono segnalati episodi di esondazioni storiche).*

*Nella tabella seguente (Tabella 1) sono riepilogati i tratti dei corsi d'acqua attribuiti al reticolo idrico minore e le relative estensioni delle fasce di rispetto:*



SIGLA	NOME	Deflusso	Alveo	Competenza	Fascia di rispetto assoluta	Note
1	T. Molgora	Pelo Libero	Naturale	Comune	10	da confine comunale a confluenza con torrente 2
1	T. Molgora	Pelo Libero	Rivestito	Comune	4 in dx 10 in sx	da confluenza con torrente 2 a incrocio stradale q 326,7 m s.l.m.
1	T. Molgora	Pelo Libero	Naturale	Comune	4	da incrocio stradale q 326,7 m s.l.m. fino a quota 354,4 m s.l.m.
1.1		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.2		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.3		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.4		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.4.1		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.5		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
1.6		Tombinato	Rivestito	Comune	4	da incrocio stradale q 326,7 m s.l.m. lungo il tratto intubato
1.6		Pelo Libero	Rivestito	Comune	4	da tratto fine tombinato fino a quota 335 m s.l.m.
1.6		Tombinato	Rivestito	Comune	4	da quota 335 m s.l.m. fino a monte di via papa giovanni
1.6		Pelo Libero	Naturale	Comune	4	tutto il tratto a monte di via papa giovanni
2	Rio Prà dell'Ora	Pelo Libero	Rivestito	Comune	10	da quota 325 m s.l.m. fino a quota 345m s.l.m.
2		Tombinato	Rivestito	Comune	4	da quota 345 m s.l.m. fino a 348,5 m s.l.m.



SIGLA	NOME	Deflusso	Alveo	Competenza	Fascia di rispetto assoluta	Note
2		Pelo libero	Rivestito	Comune	4	da quota 348,5 m s.l.m. fino a 352,0 m s.l.m.
2		Tombinato	Rivestito	Comune	4	da quota 352 m s.l.m. fino a 353,0 m s.l.m.
2		Pelo Libero	Rivestito	Comune	4	da quota 353 m s.l.m. fino a 388,0 m s.l.m.
2		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	da quota 388 m s.l.m. fino a confine comunale
2.1	Rio Foppina	Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
2.2	Rio Corneri	Pelo Libero	Rivestito	Comune	4	da confluenza con tratto 2 fino a quota 399,6 m s.l.m.
2.2	Rio Corneri	Pelo Libero	Naturale	Comune	10	da quota 399,6 m s.l.m. fino a confine comunale
3		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
3.1		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
3.2		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4	T. Molgoretta	Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4.1		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4.2		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4.2.1		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4.3		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
4.4		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
5		Pelo Libero	Naturale	Comune	4	tutto il tratto
6		Pelo Libero	Naturale	Comune	4	da confine comunale a confluenza con tratto 6.1
6		Pelo Libero	Rivestito	Comune	4	da confluenza con tratto 6.1 fino a quota 329 m s.l.m.
6.1		Pelo Libero	Rivestito	Comune	4	tutto il tratto
7		Pelo Libero	Naturale	Comune	10	tutto il tratto
Ret. principale	T Bevera	Pelo Libero	Naturale	Regione	10	tutto il tratto

**Tabella 1:** fasce di rispetto esistenti per le aste del reticolo idrico minore comunale

### **4.3 INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEI PUNTI DI CRITICITÀ ESISTENTI LUNGO IL RETICOLO IDRICO MINORE NEL COMUNE DI SANTA MARIA HOÈ**

Nell'anno 2015 a seguito degli interventi migliorativi individuati dal progetto a cura degli Ingg. Paolo

Broggi e Leopoldo Marelli sono state realizzate alcune opere in determinati tratti critici del reticolo idrico minore del comune di Santa Maria Hoe', al duplice fine di aumentare la portata transitabile (solitamente mediante allargamenti dell'alveo inciso o sostituzione dei manufatti di attraversamento con altri di dimensioni maggiori) e mettere in sicurezza le sponde mediante l'impiego di scogliere in massi ciclopici sciolti. Dai sopralluoghi effettuati dallo scrivente in data 06/05/2020 e 20/05/2020 si è potuta constatare la risoluzione di diverse criticità idrauliche mediante il suddetto intervento, come dimostrato dal modello idraulico illustrato al capitolo 6.

In **Figura 4** vengono sintetizzati gli interventi effettuati.

CORSO D'ACQUA		INTERVENTI DI MITIGAZIONE 2015		
Sigla	Nome	Codice Intervento	Ubicazione	Lavori previsti
<u>2</u>	<u>Rio Prà dell'Ora</u>	3.3	Via Papa Giovanni XXIII - Lato ristorante "La Vigliacca"	- Installazione di un manufatto scatolare - Realizzazione di un tratto in selciatoone di fondo e scogliera in sponda destra intasati in cls
<u>2</u>	<u>Rio Prà dell'Ora</u>	2.1	Via Avis/Via Ronchetto	- Sottomurazione di alcuni tratti delle sponde per una lunghezza di circa 70m - Realizzazione di alcuni tratti di scogliera e selciatoone di fondo
<u>1.6</u>	<u>Affluente del Torrente Molgora</u>	2.4	A monte di Via Papa Giovanni XXIII	- Prolungamento verso monte per circa 12 m della scogliera a protezione sponde. - Formazione di selciatoone di fondo per una lunghezza di 30m a partire dall'attraversamento di Via Papa Giovanni XXIII verso monte. - Protezione caditoie stradali con pietrame per evitare l'incisione del terreno da parte delle acque scaricate in uscita dalla caditoia.
<u>1.6</u>	<u>Affluente del Torrente Molgora</u>	2.5	A valle di Via Papa Giovanni XXIII	- Realizzazione di scogliera in massi ciclopici e selciatoone di fondo intasati in cls per una lunghezza di circa 4m in sponda destra e 7m in sponda sinistra.
<u>2.1</u>	<u>Rio Foppina</u>	3.2	Via Dei Ronchi - in prossimità dell'immissione del Rio Foppina nel Prà dell'Ora	- Demolizione del condotto di attraversamento di via Dei Ronchi e ricostruzione mediante posizionamento di manufatto scatolare. - Realizzazione a monte dell'attraversamento di una vasca di sghiaamento - Protezione delle sponde con scogliera in pietra intasata con cls a monte della vasca di sghiaamento
<u>2</u>	<u>Rio Prà dell'Ora</u>	2.2	Via Dei Ronchi	- Sottomurazione delle murature in sponda destra e sinistra per circa 30m con messa in sicurezza della muratura fessurata in sponda sinistra - Protezione delle sponde in corrispondenza del tratto situato in aderenza a via Dei Ronchi - Realizzazione di una scogliera di lunghezza pari a 5m a valle della confluenza col il Rio Foppina.
<u>2</u>	<u>Affluente del Torrente Molgora</u>	2.3	Località Torcello	- Realizzazione trincea drenante - Sistemazione alveo con scogliera di protezione e selciatoone di fondo
<u>2</u>	<u>Rio Prà dell'Ora</u>	3.4	Via Cenisio - Cascina Ceppera	- Rifacimento tratto coperto - Risagomatura alveo a monte del tratto coperto - Sistemazione alveo allo sbocco del tratto coperto

**Figura 4:** Riassunto interventi idraulici realizzati

Nelle immagini seguenti (**Figura 5- Figura 8**) si riportano alcune fotografie scattate durante i sopralluoghi effettuati, relative agli interventi realizzati lungo i tratti di maggiore interesse per il presente studio.





**Figura 5:** *Intervento 2.1 – Rio Prà dell’Ora a valle della confluenza con il Rio Corneri – zona Via Avis*



**Figura 6:** *Intervento 2.2 – Rio Prà dell’Ora, risezionamento dell’alveo inciso e protezione spondale mediante scogliera in massi ciclopici*





**Figura 7:** Intervento 3.2 - Rio Foppina, attraversamento di Via Ronchi mediante scatolare in cls di dimensioni 200x125 cm e realizzazione di una trappola per detriti a monte mediante briglia in cls



**Figura 8:** Intervento 3.4 - Rio Prà dell'Ora, risezionamento dell'alveo inciso in località Ceppera e sostituzione del manufatto di attraversamento nei pressi di Via Cenisio con uno scatolare di dimensioni 200x125 cm

## **5 ANALISI IDROLOGICA**

Su richiesta dell'Amministrazione Comunale è stato effettuato uno studio di dettaglio sul reticolo idrografico del Rio Prà dell'Ora e dei tratti terminali dei suoi affluenti: Rio Corneri, Rio Foppina e Rio Molgora.

La prima parte dell'analisi è consistita in uno studio idrologico del bacino imbrifero del corso d'acqua, e quindi dei relativi affluenti, allo scopo di individuare le portate afferenti al rio in relazione ad eventi meteorologici corrispondenti ad un determinato tempo di ritorno.

La scelta del tipo di modellazione da effettuare è dipesa dall'assenza di idrometri lungo l'asta del rio, per cui non è stato possibile ricavare l'idrogramma di progetto mediante metodi diretti di elaborazione statistica degli eventi estremi registrati (es. Annual Flood Series [AFS] or Partial Duration Series [PDS]), né attraverso un processo di taratura e validazione dei parametri di un modello afflussi-deflussi di tipo concettuale, sulla base di dati idrometeorologici misurati.

Si è pertanto deciso di realizzare un modello idrologico concettuale dei bacini idrografici relativi alle aste fluviali di interesse, stimando i parametri di progetto mediante relazioni empiriche tarate su bacini di caratteristiche idromorfologiche comparabili.

Il processo di modellazione idrologica è stato dunque suddiviso nei seguenti passaggi, debitamente illustrati nei successivi paragrafi:

- inquadramento idromorfologico;
- analisi pluviometrica;
- modellazione afflussi-deflussi.

Infine, la medesima analisi è stata effettuata anche per le aste 1.1. e 4, unitamente alle relative verifiche idrauliche, come illustrato al capitolo 7.

### **5.1 INQUADRAMENTO IDROMORFOLOGICO**

Dal momento che, come verrà illustrato successivamente, l'analisi idrologica si è principalmente basata sulla costruzione di un modello afflussi-deflussi di tipo deterministico a parametri concentrati, la prima fase del lavoro è consistita nella delimitazione dei sottobacini costituenti il bacino imbrifero del Rio Prà dell'Ora fino alla sezione di chiusura posizionata, come precedentemente anticipato, al confine Comunale tra Santa Maria Hoé e Olgiate Molgora, in corrispondenza dell'attraversamento di Via Mons. Mozzanica, e alla successiva definizione delle sue caratteristiche geometriche, idrologiche e

morfologiche necessarie alla quantificazione di tali parametri.

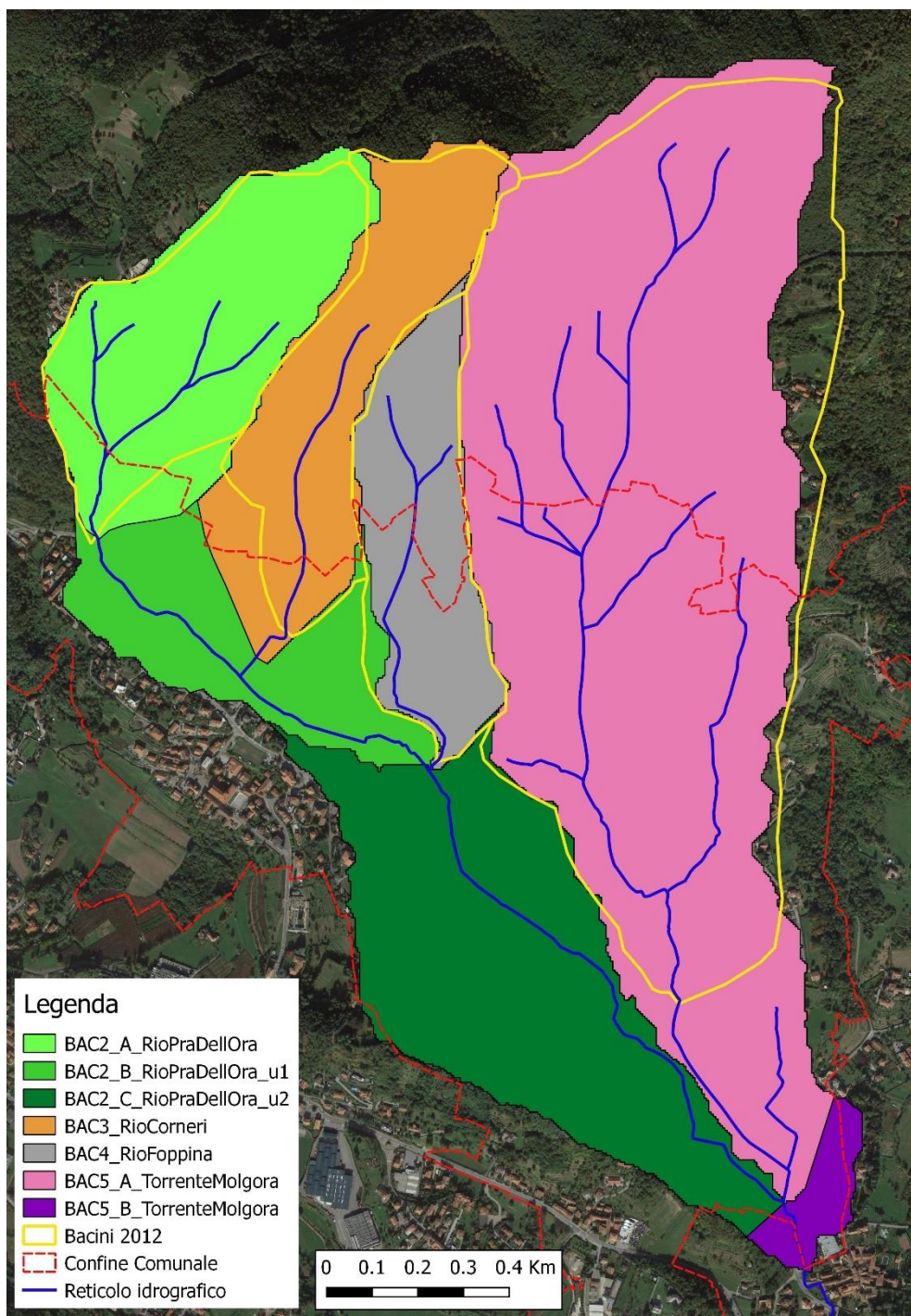
Tale fase del lavoro si è svolta in ambiente GIS, partendo dai seguenti dati:

- modello digitale del terreno (DTM) a risoluzione 5 m, realizzato da rilievo LIDAR, fornito dal Geoportale di Regione Lombardia;
- shapefile del tracciato della roggia, sempre provenienti dal Database fornito da Regione Lombardia;
- planimetrie fornite dal precedente Studio sul reticolo minore del Comune di Santa Maria Hoé.

Il sistema di riferimento adottato per lo svolgimento delle analisi, il calcolo delle grandezze e la restituzione dei risultati è il sistema proiettato in coordinate metriche (EN) UTM WGS84, zona 32 N. Qualsiasi dato in input originariamente rappresentato secondo un sistema differente (o in coordinate geografiche) è stato riportato al sistema di cui sopra mediante un'adeguata trasformazione di coordinate o un processo di georeferenziazione.

Come si può vedere dalla figura seguente (*Figura 9*), i bacini imbriferi considerati ed estrapolati da elaborazioni e considerazioni effettuate dal DTM risultano aderenti alle delimitazioni riportate nello studio idrologico e idraulico per la *Individuazione del reticolo idrico minore e determinazione delle fasce di rispetto ai sensi della L.R. 1/2000* del Comune di Santa Maria Hoé (2012); Le principali differenze si riscontrano per il bacino del Rio Foppina e del Torrente Molgora e sono dovute principalmente alla diversa localizzazione della sezione di chiusura.





**Figura 9:** Bacini imbriferi considerati

I parametri idromorfologici di interesse allo sviluppo del modello afflussi-deflussi per i vari sottobacini sono sintetizzati all'interno della successiva **Tabella 2:**

	<u>BAC2_A</u> <u>RioPra</u>	<u>BAC2_B</u> <u>RioPra_u1</u>	<u>BAC2_C</u> <u>RioPra_u2</u>	<u>BAC3</u> <u>RioCorneri</u>	<u>BAC4</u> <u>RioFoppina</u>	<u>BAC5_A</u> <u>TorMolgora</u>	<u>BAC5_B</u> <u>TorMolgora</u>
A[km <sup>2</sup> ]	0.33	0.21	0.47	0.28	0.21	1.33	0.05
Z <sub>min bac</sub> [m slm]	414.1	369.6	323.5	390.0	369.6	323.5	319.8
Z <sub>max bac</sub> [m slm]	750.4	534.5	431.1	760.9	711.1	830.0	355.5
Z <sub>mean bac</sub> [m slm]	611.7	405.2	364.7	597.7	518.0	531.7	329.9
SI <sub>mean bac</sub> [%]	41%	20%	17%	25%	46%	32%	15%
L <sub>AP</sub> [km]	0.68	0.95	1.51	0.88	0.92	2.63	0.16
Z <sub>min AP</sub> [m slm]	414.1	370.3	323.5	386.9	369.6	323.5	319.8
Z <sub>max AP</sub> [m slm]	640.0	413.8	370.3	645.4	619.5	753.3	323.5
Z <sub>mean AP</sub> [m slm]	535.2	389.0	346.9	507.2	457.5	450.9	321.6
SI <sub>mean AP</sub> [m/m]	0.23	0.04	0.03	0.19	0.19	0.11	0.03

**Tabella 2:** parametrici idromorfologici di interesse per i sottobacini in esame

## 5.2 ANALISI PLUVIOMETRICA

### 5.2.1 Determinazione della curva di possibilità pluviometrica

Per determinare i parametri relativi alle piogge intense in un determinato luogo, è stata determinata la curva di possibilità pluviometrica la quale esprime la relazione tra la durata e l'altezza di pioggia, per un assegnato tempo di ritorno.

La curva di possibilità pluviometrica è determinata da un'equazione del tipo:

$$h(t) = a \times t^n$$

in cui i parametri "a" ed "n" dipendono dal tempo di ritorno considerato.

Il sito di ARPA Lombardia fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica per ogni località della Lombardia nella forma:

$$h = a_1 \times w_T \times D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

in cui:

$h$  =altezza di pioggia

$D$  =durata di pioggia

$a_1$ =coefficiente pluviometrico orario

$w_T$ =coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno  $T$

$n$  =esponente della curva di possibilità pluviometrica

$\alpha, \epsilon, k$  = parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate

Poiché tali parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica riportati da ARPA Lombardia si riferiscono generalmente a durate di pioggia maggiori dell'ora, per le durate inferiori all'ora si possono utilizzare, in carenza di dati specifici, tutti i parametri indicati da ARPA tranne il parametro  $n$  per il quale si indica il valore  $n=0.5$ , in aderenza agli standard suggeriti dalla letteratura tecnica-idrologica.

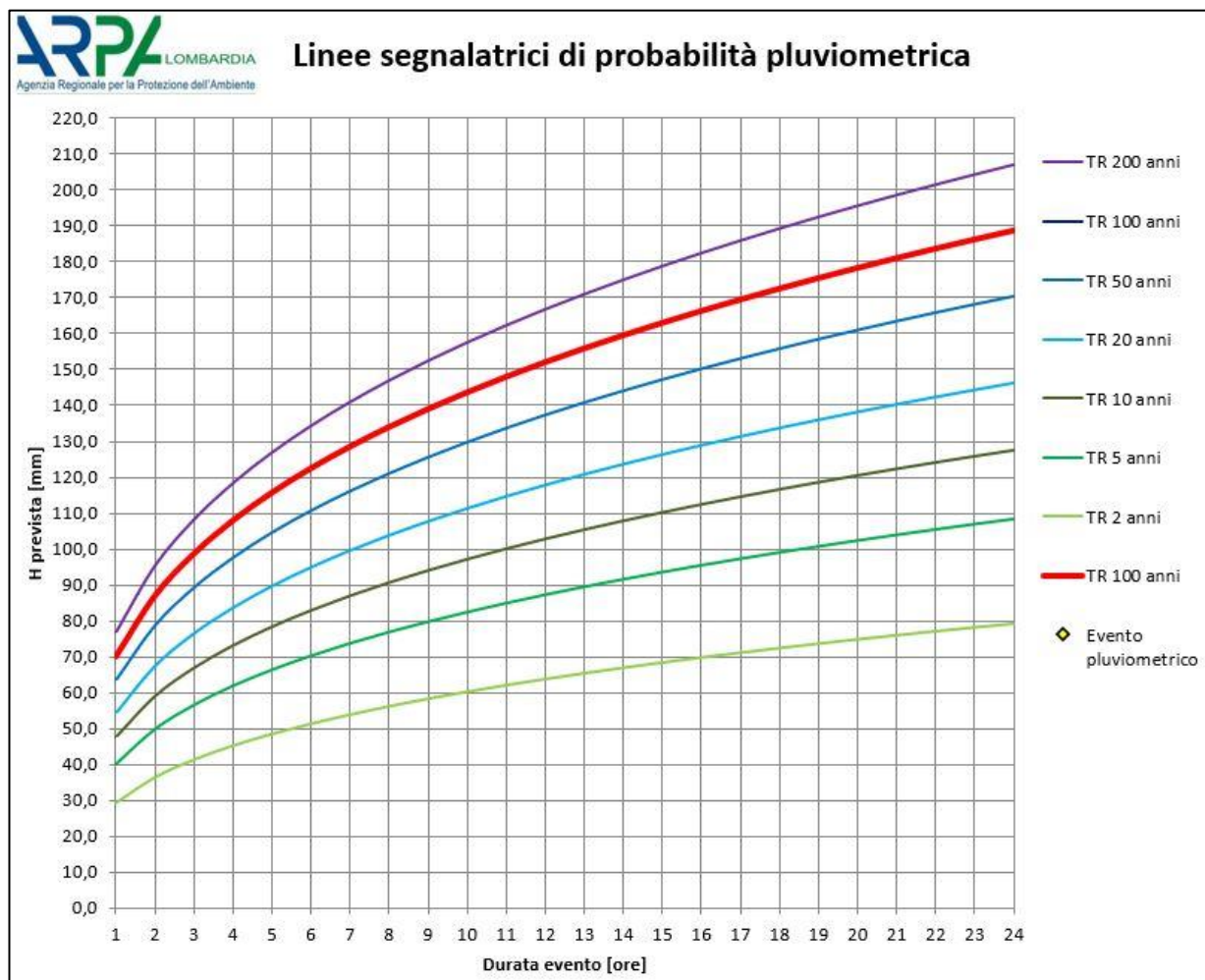
Per il sito oggetto d'intervento si ricavano, dal sito ARPA Lombardia, i seguenti parametri della curva di possibilità pluviometrica, riferiti ad una pioggia di durata compresa tra 1 e 24 ore:

$a=70.11$

$n=0.5$  per durate  $D < 1$  ora e  $0.3115$  per durate  $D \geq 1$  ora

Il tempo di ritorno considerato è pari a  $T=100$  anni.

Nell'immagine seguente (**Figura 10**) è riportato il dettaglio della curva di possibilità pluviometrica del sito in esame, con l'individuazione dai parametri  $a$  e  $n$ .



**Figura 10:** Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

### 5.2.2 Ietogramma centennale

Una volta definita la LSPP, è il momento di scegliere la forma dello ietogramma. A questo proposito, la scelta è ricaduta sullo ietogramma Chicago, il più utilizzato degli ietogrammi sintetici per modellazioni idrologiche tese a determinare la portata al colmo alla sezione di chiusura di un corso d'acqua naturale, poiché caratterizzato dalle seguenti proprietà:

- forma impulsiva, che garantisce una risposta del bacino più severa e generalmente più aderente alla realtà rispetto allo ietogramma costante, a parità di volume di pioggia generato;
- la concentrazione della maggior parte del volume idrico precipitato in una durata ridotta fa sì che uno ietogramma Chicago di una certa durata  $\theta$  contenga al suo interno gli eventi critici per tutti i sottobacini aventi un tempo di corrvazione inferiore a  $\theta$  (la finestra di tempo che





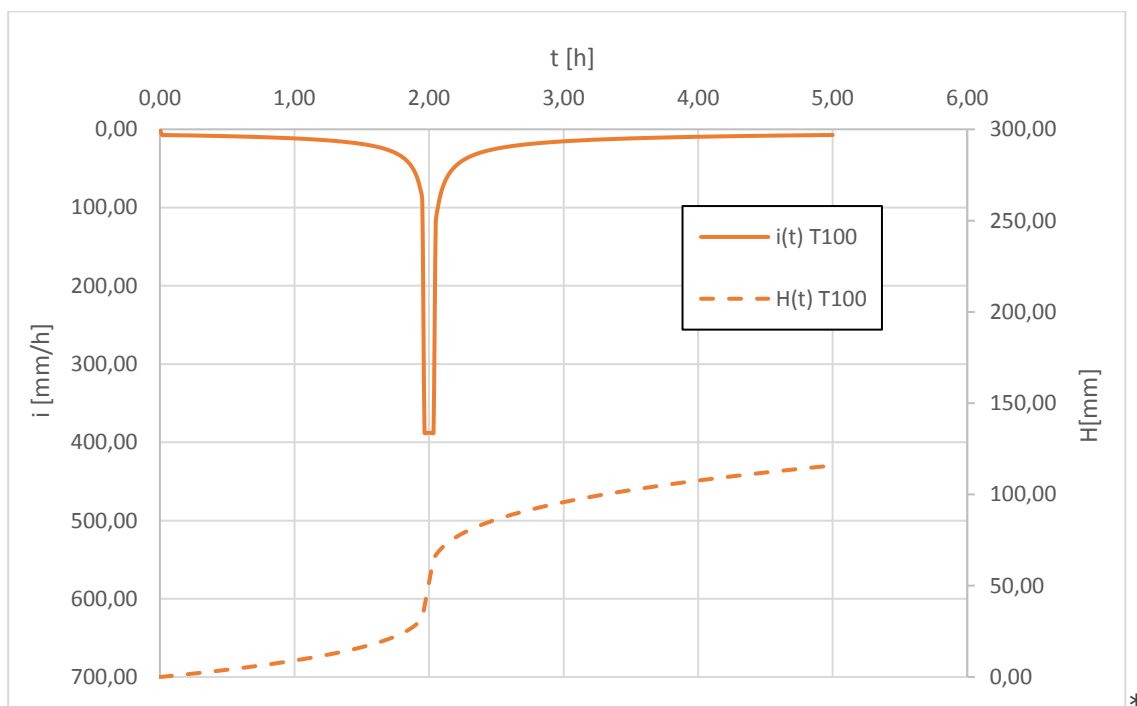
produrrà l'evento critico per il generico sottobacino si svilupperà nell'intorno dell'impulso, escludendo le sole code dello ietogramma, aventi intensità di precipitazione molto ridotta);

- tasso di precipitazione ( $i(t)$  [mm/h]) espresso dalla seguente equazione per il generico istante  $t$  [h]:

$$i(t) = \begin{cases} na \left( \frac{t_r - t}{k} \right)^{n-1} & \text{per } t \leq t_r \\ na \left( \frac{t - t_r}{1 - k} \right)^{n-1} & \text{per } t \geq t_r \end{cases}$$
$$t_r = k\theta$$

dove  $a$  [mm],  $n$  [/] sono i parametri della LSPP di progetto,  $\theta$  [h] è la durata della precipitazione,  $t_r$  [h] è la posizione del picco di pioggia, determinata dal valore del parametro adimensionale  $k$ , solitamente pari a 0.4 in assenza di specifico processo di taratura.

Considerando una durata dello ietogramma pari a 5 ore (intervallo di tempo sufficientemente elevato da comprendere i diversi tempi di corrivazione caratteristici dei bacini), si riporta lo ietogramma corrispondente al tempo di ritorno di riferimento (100 anni) in **Figura 11**.



**Figura 11:** Ietogramma di progetto

Si noterà immediatamente che rispetto alla sua forma "teorica" in corrispondenza del picco, che

prevede un'intensità di precipitazione tendente a infinito, lo ietogramma è stato tagliato in modo da garantire una soluzione realistica della trasformazione afflussi-deflussi, secondo queste ipotesi:

- l'altezza complessivamente precipitata deve rimanere inalterata e pari al valore fornito dalla LSPP;
- il tasso di precipitazione non può mai superare il valore ottenuto considerando l'evento di minima durata per cui si ritiene valida la LSPP adottata, ovvero 5 minuti;
- il volume in eccesso sotteso dallo ietogramma teorico al di sopra di tale limite viene "spalmato" in un intorno temporale di 15 minuti rispetto al picco nello ietogramma tagliato.

Si è quindi deciso di procedere secondo la procedura di seguito descritta:

- calcolare la massima intensità di precipitazione considerata fisicamente accettabile per la LSPP adottata, mediante l'equazione:

$$i_{MAX} = i(\theta_{min}) = a_1 \cdot w_T \cdot \theta_{min}^{n-1}$$

di solito si assume quale durata minima  $\theta_{min} = 5$  minuti;

- calcolare  $i(t)$  come da equazioni dello ietogramma Chicago sopra indicate;
- per ogni istante discretizzato  $j$ :
  - se  $i(t_j) \geq i_{MAX}$ ,  $i(t_j) = i_{MAX}$ ;
  - altrimenti, a partire dall'istante di picco e muovendosi sia verso l'istante successivo ( $t_{j+1}$ ) che precedente ( $t_{j-1}$ ),  $i(t) = i_{MAX}$  finchè il volume complessivo dello ietogramma tagliato non eguaglia (o approssima al meglio) il volume dello ietogramma reale. Da quel punto in poi, le "code" di  $i(t)$  assumono i medesimi valori dello ietogramma reale.

In tal modo lo ietogramma rimane il più aderente possibile a quello teorico in termini di precipitazione cumulata, mantenendo allo stesso tempo un significato fisico ragionevole e dei valori matematicamente compatibili con la discretizzazione e le successive fasi della modellazione.

### 5.3 MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

Nel seguente paragrafo, per ciascuno dei bacini idrografici principali del territorio comunale di Santa Maria Hoé, viene effettuata una stima delle portate di massima piena attendibili con tempo di ritorno pari a 100 anni.

In mancanza di un'analisi statistica diretta della frequenza dei valori di piena registrati nel corso degli anni lungo i corsi d'acqua in questione, per la stima delle portate di piena si ricorre necessariamente ad una modellazione afflussi-deflussi rappresentativa del comportamento idrologico del sistema.

### 5.3.1 Modellazione deterministica

E' stato definito un modello afflussi-deflussi deterministico a parametri concentrati per la definizione di un idrogramma di piena a partire da un ietogramma noto (riportato al paragrafo precedente).

Tale modello è stato realizzato utilizzando il software Hec -HMS, sviluppato dall'USACE (US Army Corps of Engineers), un programma che permette la risoluzione numerica di modelli afflussi-deflussi concentrati una volta note la meteorologia, la geometria e le caratteristiche idrologiche del problema.

La costruzione di un modello afflussi-deflussi mediante Hec-HMS prevede una serie di passaggi standardizzati di seguito elencati e volti alla definizione dei vari processi coinvolti nella trasformazione afflussi-deflussi e che, una volta completati, consentono di effettuare la simulazione dell'evento di piena di riferimento, ottenendo in output il relativo idrogramma. Sono stati quindi definiti i seguenti tre insiemi di dati (componenti idrologici):

1. Basin Model: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico;
2. Meteorologic Model: dati meteorologici relativi alle precipitazioni;
3. Control specifications: informazione temporali necessarie per la simulazione (finestra temporale, intervallo di calcolo, ecc.)

#### BASIN MODEL

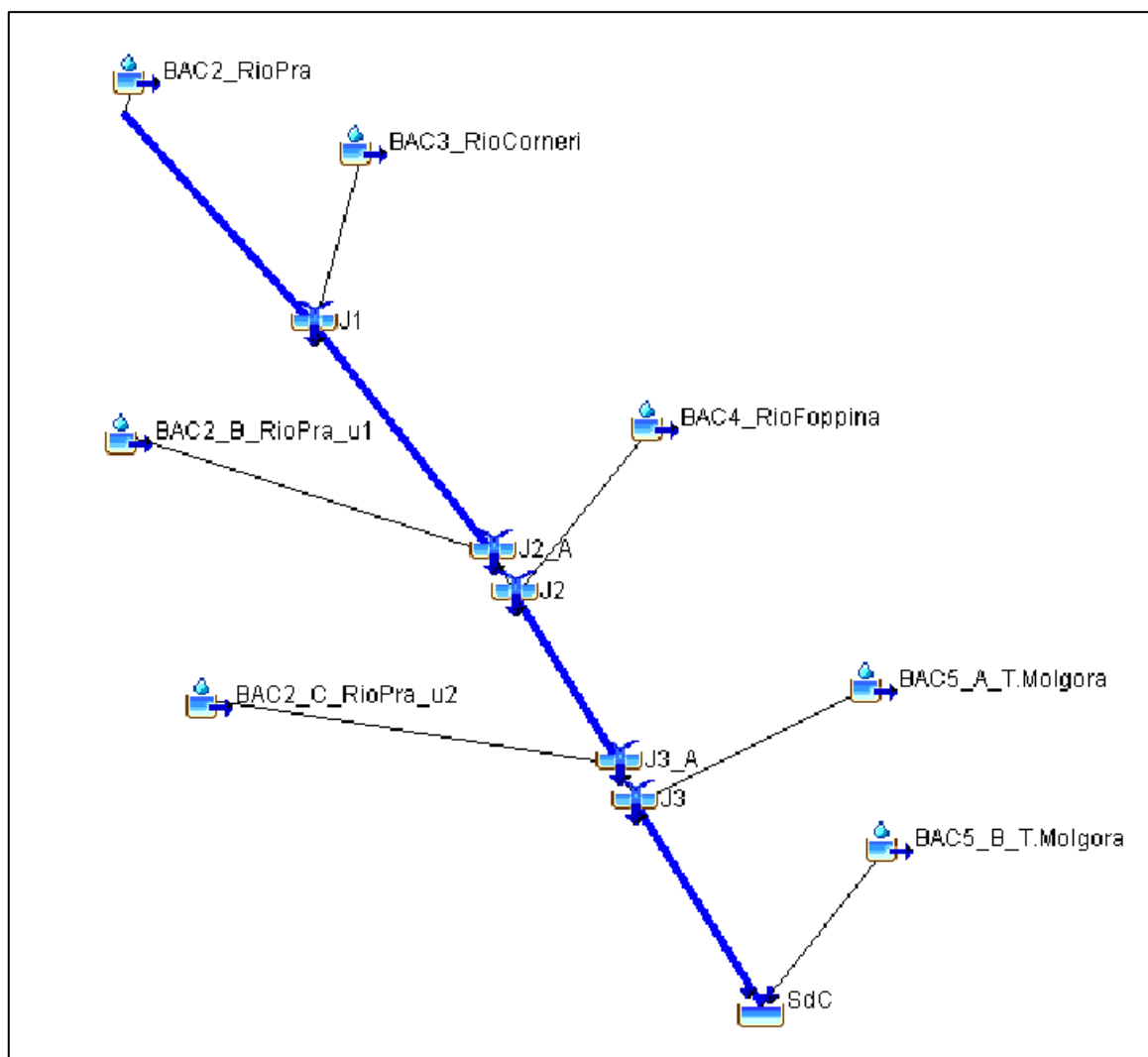
Il componente Basin Model permette di specificare:

- Elementi idrologici: sottobacini, invasi, confluenze, ecc.
- Metodi di calcolo delle perdite di bacino;
- Metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi;
- Metodo di calcolo del deflusso a pelo libero nei corsi d'acqua.

Per il caso in esame, il bacino è stato sintetizzato, come rappresentato in **Figura 12**, attraverso:

- 7 elementi di tipo *subbasin*: uno rappresentante il bacino naturale del Rio Pra dell'Ora (BAC2\_A\_RioPra, prima dell'ingresso del centro abitato), due rappresentanti i bacini dei corsi d'acqua affluenti (BAC3\_Rio Corneri, BAC4\_Rio Foppina ), due rappresentanti il bacino urbanizzato di Santa Maria Hoé direttamente scolante nel Rio Pra dell'Ora (BAC2\_B\_RioPra\_u1 e BAC2\_C\_RioPra\_u2), uno rappresentante il bacino del Torrente Molgora a monte della confluenza con il Rio Pra dell'Ora (BAC5\_A\_T. Molgora) e l'ultimo rappresentante la porzione di bacino del Torrente Molgora tra la confluenza con il Rio Pra dell'Ora e la sezione di chiusura (BAC5\_B\_T. Molgora);
- 4 *reaches*: elementi lineari rappresentanti i tratti di reticolo che collegano i diversi punti di confluenza, utili a modellare i processi di traslazione dell'onda lungo la rete;

- 5 *junctions*: elementi di confluenza tra elementi sottobacino e/o reaches: J1, J2\_A, J2 (rispettivamente monte e valle della confluenza del Rio Pra dell'Ora con il Rio Foppina), J3\_A, J3 (rispettivamente monte e valle della confluenza del Rio Pra dell'Ora con il Torrente Molgora).



**Figura 12:** Schematizzazione del bacino in Hec-HMS

Come anticipato, per ciascun elemento di tipo *subbasin* devono essere definiti: il modello di perdite idrologiche, la forma dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) e la portata di base del corso d'acqua.

#### Perdite idrologiche

Il modello di perdite idrologiche definisce la quota parte della precipitazione in ingresso che si trasforma in deflusso superficiale, andando a contribuire direttamente all'idrogramma di piena. Per il problema in esame è stato impiegato uno dei metodi più popolari nella letteratura idrologica, per la sua semplicità

applicativa unita ad un maggiore livello di dettaglio rispetto alla semplice applicazione di un coefficiente di afflusso, ossia il metodo SCS – Curve Number (sviluppato dal Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture).

Tale metodologia semi-empirica lega il coefficiente di afflusso della pioggia in maniera non lineare alla sua durata, sulla base di due relazioni fondanti:

- continuità. L'altezza di pioggia lorda ( $I$ ) viene bilanciata nel modello dalla somma di imbibimento iniziale ( $I_a$ ), infiltrazione ( $F$ ) e deflusso superficiale ( $P$ ), tutte espresse in mm:

$$I = I_a + F + P ;$$

- "moto". In realtà è un'equazione empirica di proporzionalità, che stabilisce che il deflusso superficiale sta alla precipitazione lorda, depurata dell'imbibimento iniziale, come la quantità di acqua filtrata sta al potenziale di ritenzione idrica del terreno ( $S$ ):

$$\frac{P}{I - I_a} = \frac{F}{S} ;$$

Combinando le due equazioni, si ottiene l'altezza di pioggia netta in funzione di quella lorda:

$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

Dal momento che, in genere, si considera l'imbibimento iniziale come una quota parte di  $S$  (in mancanza di dati precisi sui tassi di infiltrazione si può assumere, per aree non prevalentemente urbanizzate,  $I_a = 0.2S$ ), il potenziale di ritenzione del terreno rimane l'unico parametro da stabilire all'interno del modello. Lo si ottiene attraverso la seguente formula:

$$S = S_0 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove  $S_0$  è il massimo potenziale di ritenzione idrica di un terreno, pari a 254 mm, e  $CN$  è il Curve Number, un indice empirico che, sulla base delle caratteristiche geologiche e di uso del suolo, definisce il grado di impermeabilità del terreno nei confronti della pioggia in ingresso. È compreso tra 1, infiltrazione massima, e 100, deflusso massimo (**Tabella 3**).

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ....	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

**Tabella 3:** Valori standard del Curve Number

Per valutare il CN, dapprima si stabilisce una classe idrologica per il bacino, sulla base delle informazioni geologiche a disposizione (si va da A – suoli più drenanti - a D – suoli più impermeabili, **Tabella 4**), calcolando poi il valore del Curve Number complessivo come media pesata dei singoli valori assegnati alle varie aree a seconda della destinazione d’uso del rispettivo suolo.

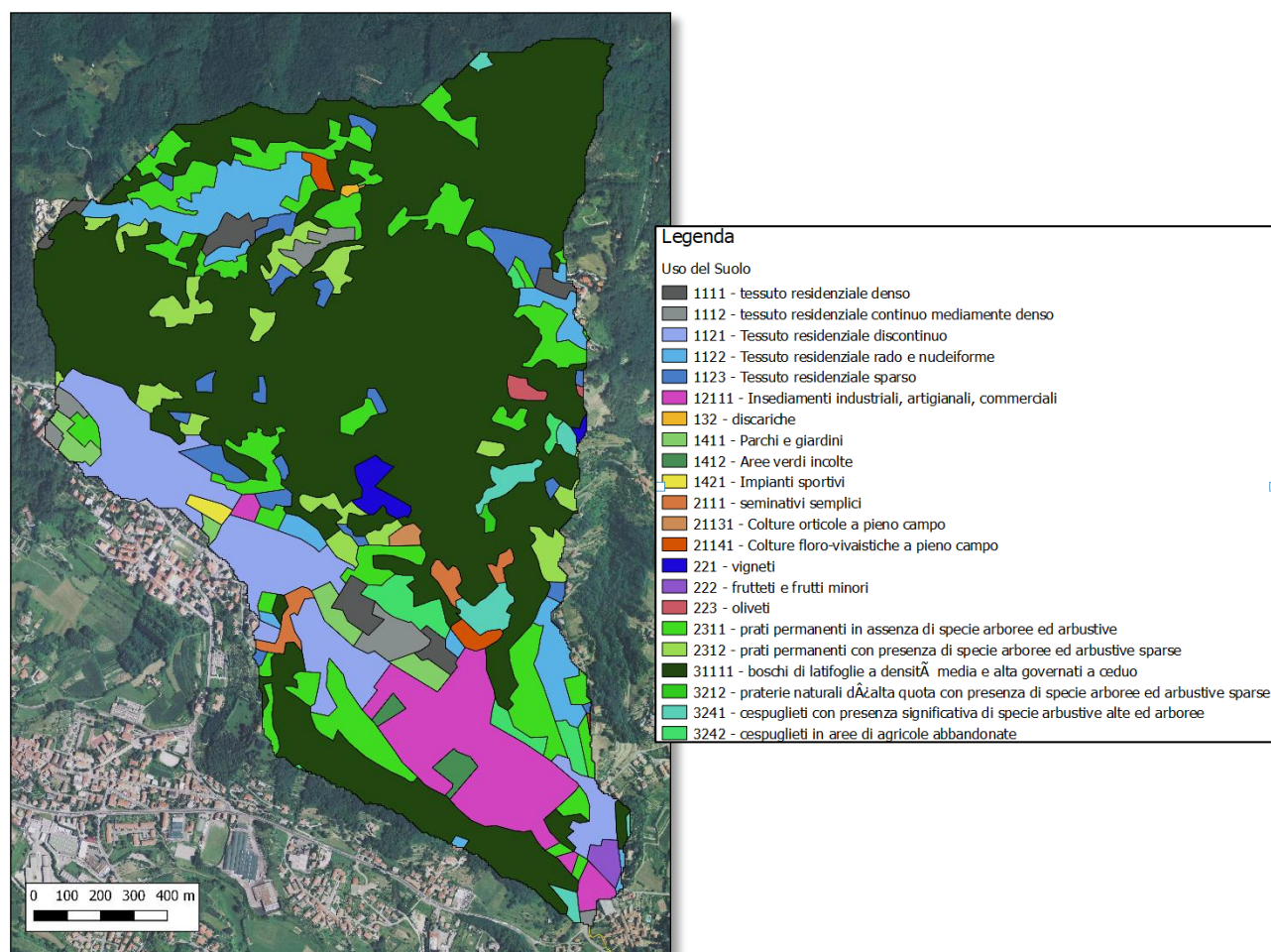


Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il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

**Tabella 4:** Classi idrologiche secondo il metodo del Curve Number

In linea con le valutazioni effettuate nel progetto definitivo ed esecutivo "Interventi di sistemazione dei punti di criticità esistenti lungo il reticolo idrico minore nel Comune di Santa Maria Hoè" circa la classificazione idrologica dei suoli presenti nei bacini di interesse, sono stati considerati suoli di tipo B, con potenzialità di deflusso quindi moderatamente bassa. Sulla base poi delle informazioni contenute all'interno della carta di uso del suolo DUSAF4 (**Figura 13**), reperibile gratuitamente dal portale regionale, è stato possibile assegnare i valori di CN ai vari appezzamenti di terreno considerando sempre una condizione di imbibimento media (CN<sub>II</sub>).





**Figura 13** - Classificazione uso del suolo (DUSAF4)

I valori ottenuti dalla media pesata sulle aree dei singoli lotti costituenti i bacini sono riassunti in

**Tabella 5:**

CN <sub>BAC2_RioPra</sub>	59,08	CN <sub>BAC3_RioCorneri</sub>	59,92	CN <sub>BAC4_RioFoppina</sub>	57,92
S <sub>0</sub> [mm]	254	S <sub>0</sub> [mm]	254	S <sub>0</sub> [mm]	254
S [mm]	176,0	S [mm]	169,9	S [mm]	184,5
I <sub>a</sub> [mm]	35,2	I <sub>a</sub> [mm]	34,0	I <sub>a</sub> [mm]	36,9

CN <sub>BAC2_A_RioPra_u1</sub>	69,09	CN <sub>BAC2_B_RioPra_u2</sub>	69,17
S <sub>0</sub> [mm]	254	S <sub>0</sub> [mm]	254
S [mm]	113,7	S [mm]	113,2
I <sub>a</sub> [mm]	22,7	I <sub>a</sub> [mm]	22,6





<b>CN<sub>BAC5_A_Tmolgora</sub></b>	<b>59,72</b>	<b>CN<sub>BAC5_B_Tmolgora</sub></b>	<b>71,13</b>
S <sub>0</sub> [mm]	254	S <sub>0</sub> [mm]	254
S [mm]	171,3	S [mm]	103,1
I <sub>a</sub> [mm]	34,3	I <sub>a</sub> [mm]	20,6

**Tabella 5:** *parametri del modello delle perdite idrologiche*

## Idrogramma unitario istantaneo

Una volta definito il modello di perdite idrologiche da applicare al bacino, bisogna stabilire la tipologia di risposta dello stesso alla sollecitazione meteorologica. Tale risposta è sintetizzato nell'IUH, acronimo inglese per idrogramma unitario istantaneo, ovvero la forma che l'idrogramma di piena assumerebbe a seguito di una precipitazione impulsiva di volume unitario. Definita la forma dell'IUH, l'idrogramma di progetto si ottiene risolvendo – solitamente per via numerica – il seguente integrale di convoluzione:

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

dove  $u(t - \tau)$  è l'IUH e  $p(\tau)$  è la precipitazione netta all'istante  $\tau$ . Nota la pioggia netta dalla combinazione dello idrogramma di progetto e del modello di perdite idrologiche, entrambi illustrati in precedenza, rimane da definire l'idrogramma unitario istantaneo.

I modelli di IUH largamente più utilizzati nella modellazione afflussi-deflussi sono quelli di tipo lineare, in cui la relazione ingresso-uscita è descritta da un'equazione differenziale lineare a coefficienti costanti. Tra essi, i due modelli più semplici e popolari si basano su due differenti interpretazioni del bacino idrografico, esaltandone ciascuno una caratteristica:

- modello cinematico o della corrivazione: schematizza il bacino come un insieme di canali lineari caratterizzati da tempi di percorrenza invarianti, per cui la forma dell'IUH consiste in una curva area tempi che descrive ad ogni istante temporale la porzione di bacino che contribuisce attivamente alla formazione di deflusso presso la sezione di chiusura, ed è funzione del solo tempo di corrivazione del bacino nell'ipotesi di linearità della curva:

$$u(t) = \frac{1}{A_{BAC}} \cdot \frac{dA}{dt} = \frac{1}{t_c} (hp \text{ curva } A - t \text{ lineare})$$

dove  $t_c$  è il tempo di corrivazione del bacino e rappresenta anche la durata critica dell'evento meteorologico che causa la massima portata di piena presso la sezione di chiusura;

- modello dell'invaso lineare: il secondo modello rappresenta invece la capacità di accumulo

temporaneo dei volumi di piena del bacino, in cui l'IUH assume la forma di una curva di esaurimento di un serbatoio lineare, regolata dalla costante  $k$ :

$$u(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k}$$

Per il presente studio, si è scelto un idrogramma unitario istantaneo in grado di sintetizzare entrambe le proprietà precedentemente descritte, ovvero l'idrogramma di Clark: questo modello prevede infatti il calcolo dell'idrogramma di piena come output di un serbatoio lineare, la cui portata in ingresso è costituita dall'idrogramma prodotto da un processo di corrivazione lineare della precipitazione, avente la seguente curva area – tempi (HEC-HMS Technical Reference Manual, 2000) :

$$\frac{A(t)}{A_{BAC}} = \begin{cases} 1.414 \left(\frac{t}{T_c}\right)^{1.5} & t \leq \frac{T_c}{2} \\ 1 - 1.414 \left(\frac{t}{T_c}\right)^{1.5} & t > \frac{T_c}{2} \end{cases}$$

Dove  $T_c$  [h] è il primo dei due parametri necessari in ingresso all'idrogramma di Clark, e rappresenta il tempo di concentrazione del bacino. Tale grandezza, nell'ambito di questo modello, è leggermente differente dal tempo di corrivazione come precedentemente definito, in quanto consiste nella differenza temporale tra il termine delle piogge efficaci e il punto di inflessione della curva di esaurimento dell'idrogramma (Usai, Manuale di idrologia per la progettazione, HOEPLI ed., 2012). Poiché il punto di inflessione della curva di esaurimento rappresenta il momento in cui il flusso di versante in direzione dei vari rami del reticolo termina,  $T_c$ , per il modello di Clark, rappresenta il tempo necessario alla goccia idrologicamente più lontana del bacino a raggiungere la rete di drenaggio. È dunque prevedibile che  $T_c$  assumerà un valore inferiore rispetto al tempo di corrivazione ottenuto al paragrafo 2.1.2, tuttavia l'impiego dello ietogramma Chicago garantisce il raggiungimento dell'evento critico anche per tutti i processi corrivativi di durata inferiore a quella della precipitazione.

Il serbatoio lineare, idealmente posto nei pressi della sezione di chiusura (a valle della rete di drenaggio), è rappresentato matematicamente dall'equazione di continuità, unitamente alla legge di efflusso del serbatoio:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(t)$$

$$V(t) = RQ_{OUT}(t)$$

dove, per il generico istante  $t$ ,  $V$  rappresenta il volume accumulato nel serbatoio,  $Q_{IN}$  la portata in ingresso, fornita ad ogni istante dalla risoluzione del processo corrivativo descritto precedentemente,  $Q_{OUT}$  la portata in uscita, ossia l'idrogramma di progetto;  $R$  il coefficiente di immagazzimento del serbatoio, che costituisce il secondo parametro da definire all'interno del modello di Clark, rappresenta la capacità di trattenuta dei volumi di piena da parte dell'invaso (dimensionalmente è un tempo, anche se il significato fisico del parametro ha valore solo a livello qualitativo).

La stima dei parametri richiesti,  $TC$  e  $R$ , è stata effettuata sulla base delle caratteristiche idromorfologiche riportate in **Tabella 6**, adottando formule empiriche tarate su bacini aventi caratteristiche simili ai bacini in esame, ovvero le formule di Straub, Melching e Kocher (2000), validate per piccoli bacini rurali dell'Illinois.

	<u>BAC2 A</u> <u>RioPra</u>	<u>BAC2 B</u> <u>RioPra u1</u>	<u>BAC2 C</u> <u>RioPra u2</u>	<u>BAC3</u> <u>RioCorneri</u>	<u>BAC4</u> <u>RioFoppina</u>	<u>BAC5 A</u> <u>TorMolgora</u>	<u>BAC5 B</u> <u>TorMolgora</u>
A[km <sup>2</sup> ]	0,33	0,21	0,47	0,28	0,21	1,33	0,05
Z <sub>min bac</sub> [m slm]	414,1	369,6	323,5	390,0	369,6	323,5	319,8
Z <sub>max bac</sub> [m slm]	750,4	534,5	431,1	760,9	711,1	830,0	355,5
Z <sub>mean bac</sub> [m slm]	611,7	405,2	364,7	597,7	518,0	531,7	329,9
Sl <sub>mean bac</sub> [%]	41%	20%	17%	25%	46%	32%	15%
L <sub>AP</sub> [km]	0,68	0,95	1,51	0,88	0,92	2,63	0,16
Z <sub>min AP</sub> [m slm]	414,1	370,3	323,5	386,9	369,6	323,5	319,8
Z <sub>max AP</sub> [m slm]	640,0	413,8	370,3	645,4	619,5	753,3	323,5
Z <sub>mean AP</sub> [m slm]	535,2	389,0	346,9	507,2	457,5	450,9	321,6
Sl <sub>mean AP</sub> [m/m]	0,23	0,04	0,03	0,19	0,19	0,11	0,03

**Tabella 6:** Caratteristiche idromorfologiche dei bacini

È importante notare che, poiché tali formule sono state tarate su bacini statunitensi, le grandezze riportate sono espresse secondo il sistema imperiale (miglia, pollici, etc.). In particolare:

- per  $T_c$  [h], vale la seguente espressione:

$$T_c = 1.54 L_{AP}^{0.875} S^{-0.181}$$

dove:

- $L_{AP}$  [mi] è la lunghezza dell'asta principale;
  - $-S$  [ft/mi] è la pendenza media dell'asta principale;
- per  $R$  [h], vale la seguente espressione:

$$R = 16.4 L_{AP}^{0.342} S^{-0.790}$$

Applicando le due formule precedenti si ottengono i seguenti valori di  $T_c$  e  $R$  (**Tabella 7**):

	BAC2_A_RioPra	BAC3_RioCorneri	BAC4_RioFoppina
$T_c$ [h]	0,199	0,260	0,270
$R_{STR}$ [h]	0,044	0,057	0,057

	BAC2_B_RioPra_u1	BAC2_C_RioPra_u2
$T_c$ [h]	0,361	0,571
$R_{STR}$ [h]	0,186	0,268

	BAC5_A_T.Molgora	BAC5_B_T.Molgora
$T_c$ [h]	0,747	0,085
$R_{STR}$ [h]	0,127	0,149

**Tabella 7:** parametri del modello di Clark

Noti i valori di entrambi dei parametri del modello di Clark, la risoluzione numerica (alle differenze finite) e ricorsiva dell'equazione di continuità, illustrata in dettaglio all'interno del HEC-HMS Technical Reference Manual e naturalmente implementata nel programma, fornisce come risultato l'idrogramma di piena alla sezione di chiusura scelta.

Portata di base

Il valore di portata di base del corso d'acqua va a sommarsi all'idrogramma in uscita dal modello di

Clark per ottenere l'output finale. Tuttavia, dal momento che la roggia in fase di magra ha una portata trascurabile rispetto al deflusso di piena, ai fini della modellazione si considera la portata di base del modello pari a zero.

Deflusso a pelo libero lungo il reticolo

Per la simulazione del deflusso lungo la rete idrografica è stato scelto il metodo di Muskingum. Tale metodo si basa sul semplice approccio di conservazione della massa per la propagazione dell'onda lungo il corso d'acqua, in questo modo il programma è in grado di calcolare il deflusso dell'onda nella rete attraverso la definizione di due parametri:  $K$ , corrispondente al tempo di traslazione dell'onda (espresso in ore e calcolato considerando una celerità dell'onda di piena di 5 m/s ottenuta ricorsivamente dai valori di velocità della corrente ottenuti dal modello idraulico descritto nel capitolo seguente, moltiplicati in prima approssimazione per un fattore 1.5), e  $X$ , che tiene in considerazione il fenomeno di attenuazione dell'onda (adimensionale, compreso tra 0 = massima attenuazione e 0.5 = non attenuazione).

#### METEOROLOGIC MODEL E TIMES SERIES DATA

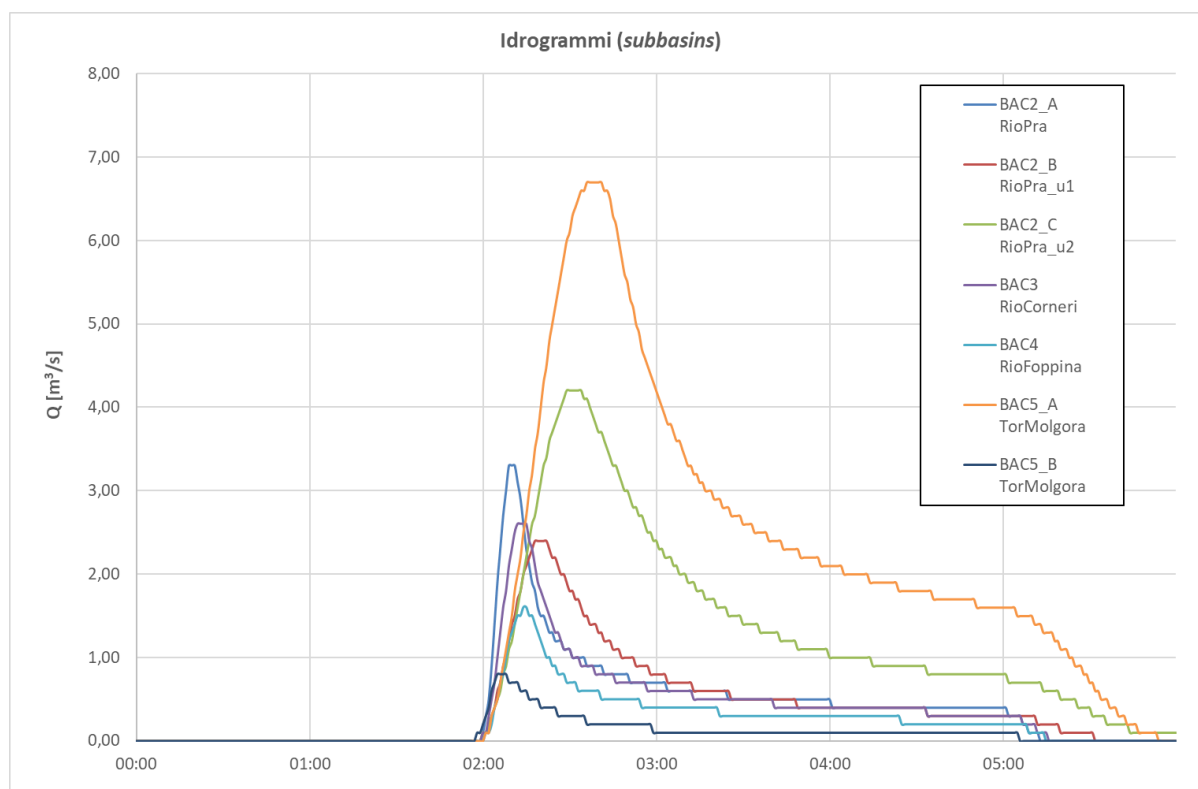
Insieme, forniscono il modello di precipitazione lorda adottato in ingresso a ciascun sottobacino della schematizzazione. Come affermato in precedenza, si è optato per un evento di precipitazione con ietogramma Chicago, illustrato in Figura 11, costruito tramite le Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica fornite da ARPA Lombardia su tutto il territorio regionale per un tempo di ritorno di 100 anni.

#### CONTROL SPECIFICATIONS

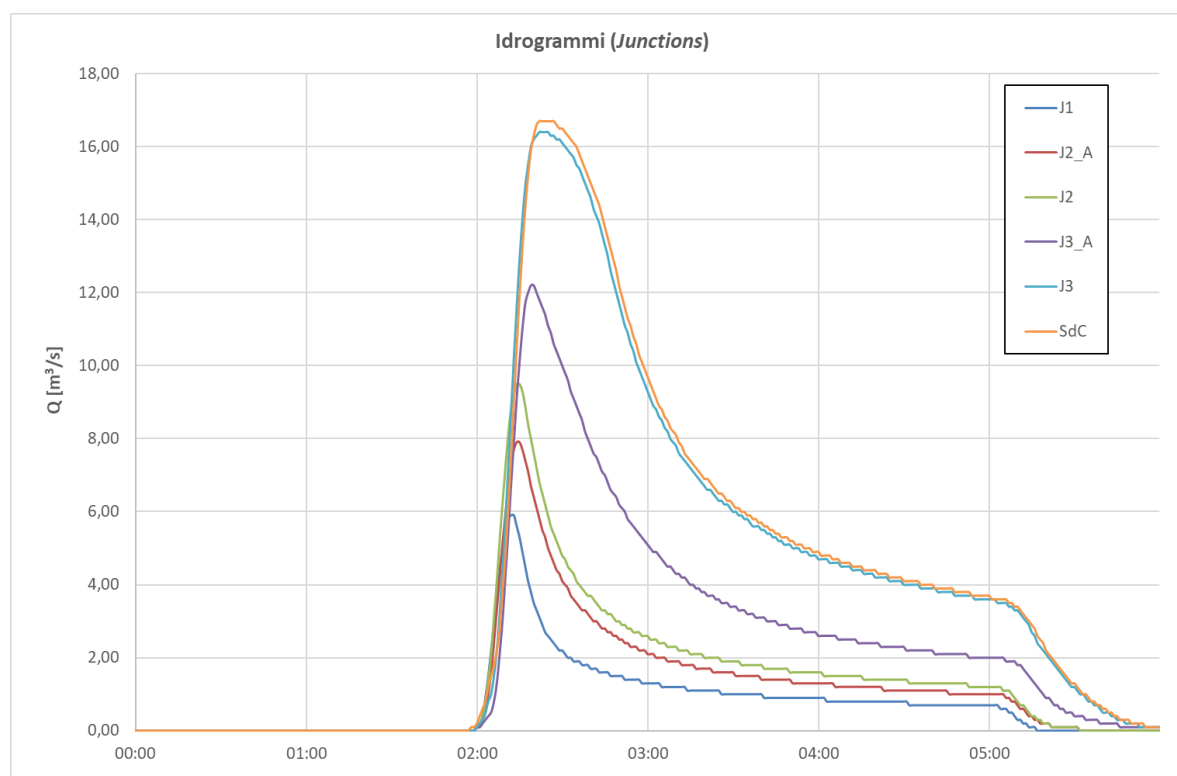
Componente che gestisce la durata della simulazione, da calibrare in relazione alla durata critica dell'evento meteorologico.

### **5.3.2 Risultati della modellazione**

Una volta definiti la pluviometria, il modello di perdite idrologiche e tutti i parametri della modellazione afflussi-deflussi, è stato possibile simulare l'evento di piena utilizzando il software Hec – HMS. Si riportano di seguito (**Figura 14**, **Figura 15**) gli idrogrammi di piena dei diversi sottobacini e quelli in corrispondenza delle confluenze e della sezione di chiusura, i cui valori di picco sono riassunti in **Tabella 8**.



**Figura 14** –idrogrammi di piena in uscita dai sottobacini



**Figura 15** –idrogrammi di piena in corrispondenza delle junctions e della sezione di chiusura



Elemento idrologico	Area drenata [km <sup>2</sup> ]	Portata al colmo Qc[m <sup>3</sup> /s]	Volume [m <sup>3</sup> ]
BAC2_RioPra	0,33	3,3	8,3
BAC3_RioCorneri	0,28	2,6	7,5
J1	0,61	5,9	15,9
BAC2_B_RioPra_u1	0,21	2,4	8,7
J2_A	0,82	7,9	24,6
BAC4_RioFoppina	0,21	1,6	4,9
J2	1,03	9,5	29,5
BAC2_C_RioPra_u2	0,47	4,2	20,0
J3_A	1,50	12,2	49,6
BAC5_A_T.Molgora	1,33	6,7	34,9
J3	2,83	16,4	84,5
BAC5_B_T.Molgora	0,05	0,8	2,1
SdC	2,88	16,7	86,5

**Tabella 8:** Caratteristiche degli idrogrammi di piena

Dal confronto dei valori di picco ottenuti con i valori stimati nel progetto definitivo-esecutivo *Interventi di sistemazione dei punti di criticità esistenti lungo il reticolo idrico minore nel Comune di Santa Maria Hoè* del 2015, si evidenzia una buona coerenza tra i risultati ottenuti in termini di portate di picco (differenza di circa il 15%): il progetto del 2015 individua infatti, seguendo la modellazione SCS per la trasformazione afflussi-deflussi, un valore di portata in uscita da Rio Foppina di 1,4 m<sup>3</sup>/s ed un valore pari a 9,9 m<sup>3</sup>/s lungo il Rio Pra dell'Ora, appena a monte della confluenza con il Torrente Molgora, sezione rappresentata dalla J3\_A secondo l'attuale nomenclatura.

## 6 ANALISI IDRAULICA

Una volta determinati gli idrogrammi di piena di progetto (T 100 anni) per i corsi d'acqua interessati dal presente studio, si è passati alla costruzione di un modello idraulico che consentisse la verifica di dettaglio dei tratti d'interesse, in particolare:

- valutazione della sufficienza idraulica degli attraversamenti esistenti (inclusi quelli recentemente rinnovati con il Progetto 2015);
- valutazione della condizione di criticità delle attuali aree di esondazione.

Sulla base di queste considerazioni, si è sviluppato un modello idraulico monodimensionale di moto permanente utilizzando il software Hec-Ras, un programma tra i più popolari per la simulazione numerica delle correnti a pelo libero in alvei naturali, anch'esso sviluppato dall'USACE.

Nei sottocapitoli successivi verranno illustrati in dettaglio i seguenti aspetti:

- definizione del dominio e della geometria del modello;
- portata di piena e condizioni al contorno;
- risultati ottenuti;

La spiegazione dettagliata dei principi di funzionamento del software è contenuta all'interno del relativo *Reference Manual*, mentre nell'Allegato A è possibile consultare gli outputs di dettaglio del modello non direttamente riportati in relazione.

La modellazione idraulica mediante Hec-Ras ha riguardato tutti i tratti indagati maggiormente critici, situati all'interno del centro abitato comunale. Alla verifica idraulica delle aste 1.1 e 4, invece, è dedicato il successivo capitolo, giudicando che per esse fosse sufficiente una verifica di moto uniforme delle relative sezioni-tipo, in merito alle rispettive portate di piena.

### 6.1 DOMINIO E GEOMETRIA DEL MODELLO

Dominio di indagine

Il primo aspetto da affrontare nella costruzione della geometria è la definizione del dominio di indagine. A differenza della componente idrologica, l'analisi idraulica di un corso d'acqua è solitamente estesa, per l'elevato grado di dettaglio richiesto nella definizione delle caratteristiche geometriche dello stesso, al solo tratto di interesse per il progetto, adeguatamente esteso al fine di garantire che le condizioni al contorno adottate non influenzino il profilo di corrente del tratto interessato (se non specificatamente ricercato).

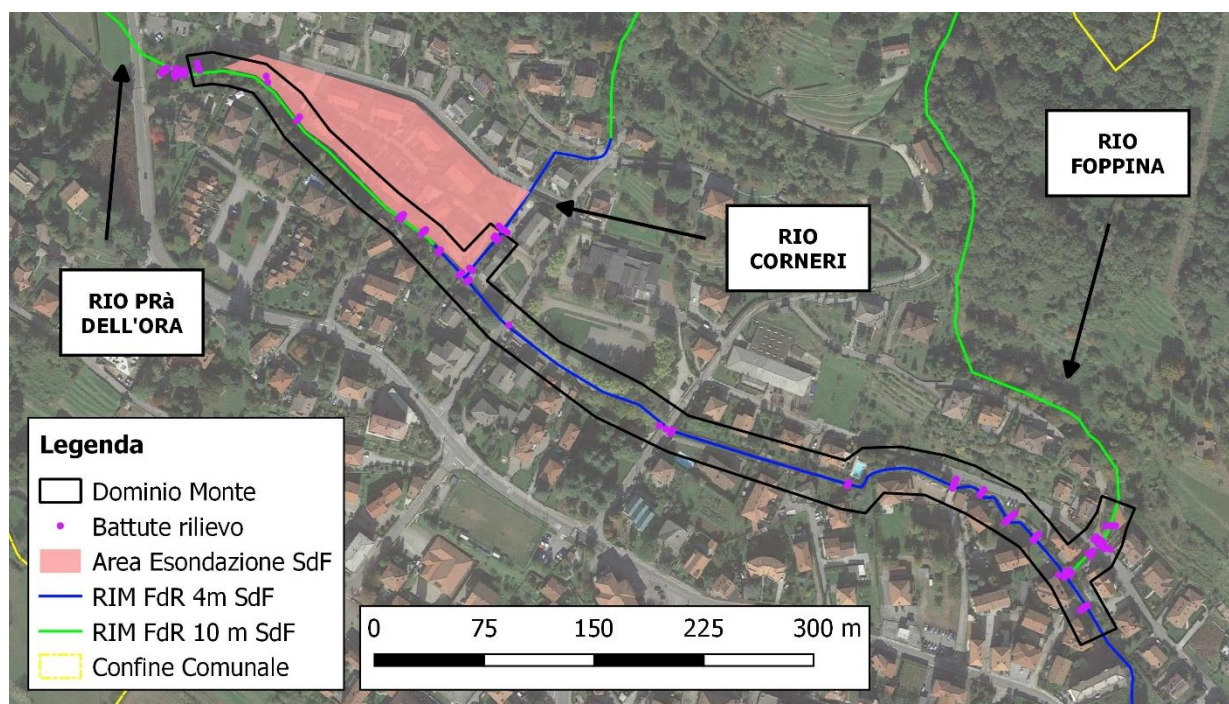
Nel caso specifico, si è deciso di realizzare due distinti modelli, che complessivamente includono la



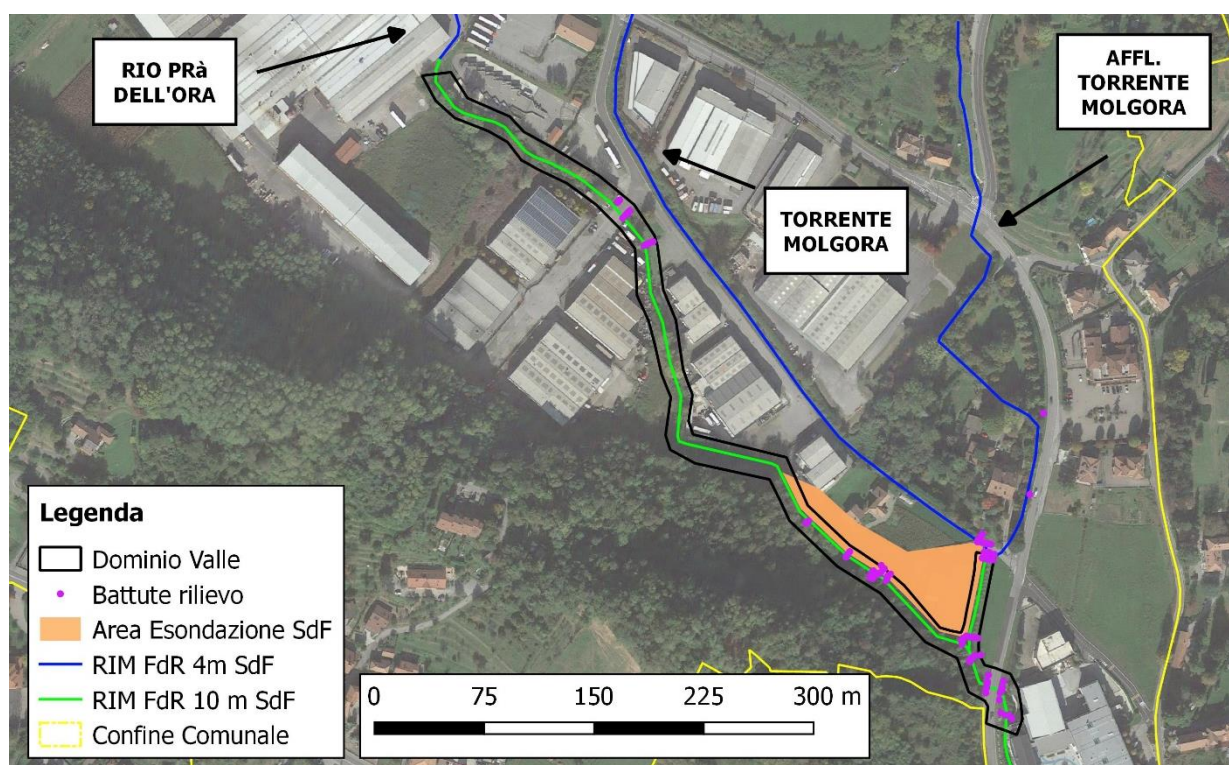
totalità dei tratti critici di interesse per l'amministrazione comunale. Nello specifico:

- il modello denominato *Monte* (**Figura 16**) analizza il comportamento del Rio Prà dell'Ora nell'area Nord-Est del centro abitato, iniziando in località Villaggio Primula, immediatamente a valle di Via Papa Giovanni XXIII, e terminando a valle della confluenza con il Rio Foppina, nei pressi di Via dei Ronchi, per un totale di circa 760 metri. Vengono modellati anche i tratti terminali del Rio Corneri e del Rio Foppina;
- il modello denominato *Valle* (**Figura 17**) analizza il comportamento del Rio Prà dell'Ora nell'area Sud-Ovest del centro abitato, a partire dal termine del tratto tombinato a monte dell'attraversamento di Via delle Industrie, sino alla sua immissione nel Torrente Molgora, per un totale di circa 580 metri. Anche il tratto terminale del Torrente Molgora ricompreso all'interno del territorio comunale è incluso nel modello, partendo da valle dell'attraversamento di Via Cenisio fino a valle dell'attraversamento di Via Papa Giovanni XXIII, per un totale di circa 120 metri.

In entrambi i casi, i dati planoaltimetrici a disposizione (DTM regionale, aerofotogrammetria comunale) non possedevano risoluzione spaziale (e precisione) sufficiente a caratterizzare geometricamente in maniera adeguata le aste fluviali da modellare. Si è resa pertanto necessaria la realizzazione di un rilievo topografico di dettaglio al fine di poter opportunamente modellare un numero sufficiente di sezioni dei corsi d'acqua ricompresi nei modelli. I punti battuti sono indicati nelle figure sottostanti, mentre per i valori di dettaglio delle quote delle varie sezioni si rimanda ai risultati in Allegato A.



**Figura 16:** dominio di indagine del modello denominato "monte"



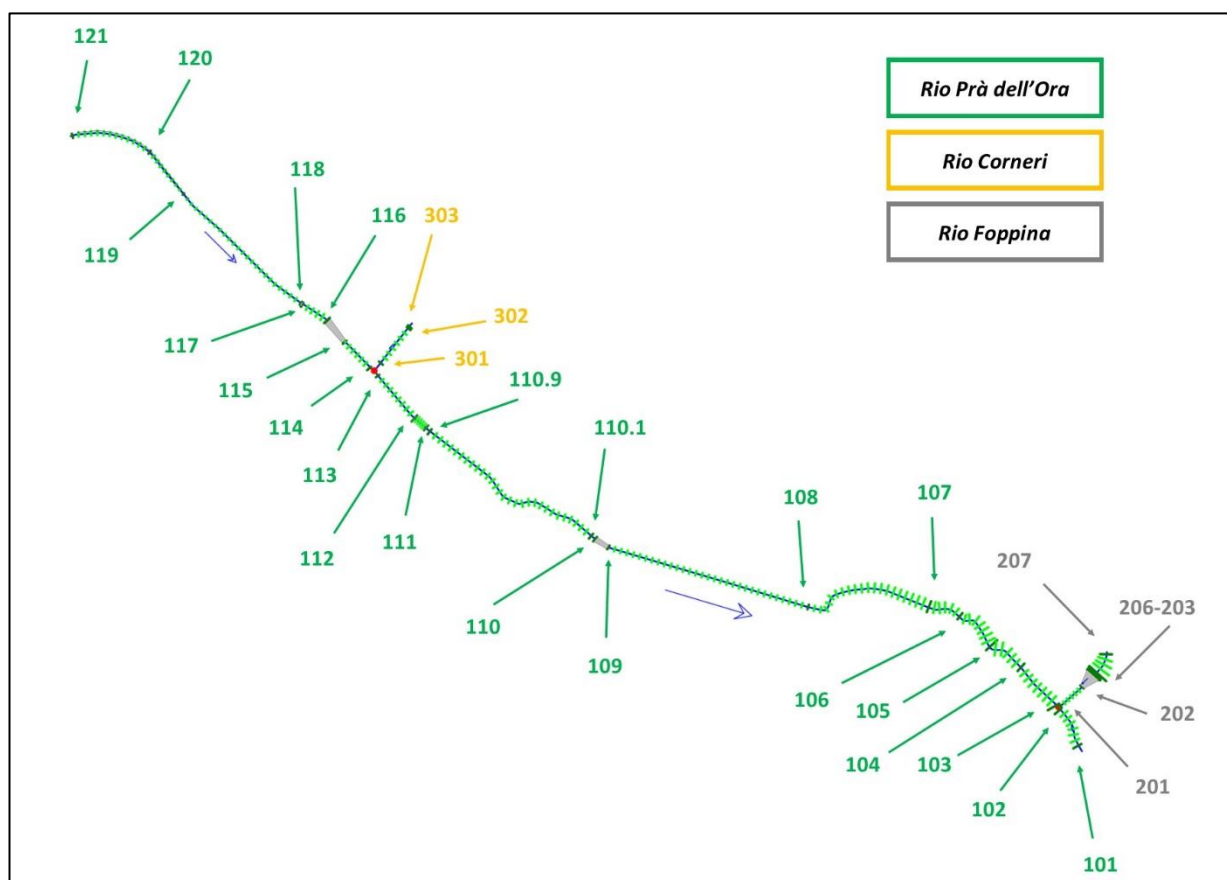
**Figura 17:** dominio di indagine del modello denominato "monte"

Geometria del modello

A partire dai dati del rilievo planoaltimetrico (integrati, per alcune sezioni, dalle quote di progetto del

Progetto 2015), si è costruito in Hec-Ras il modello geometrico delle sezioni dei tratti dei corsi d'acqua indagati, per le estensioni indicate al precedente sottocapitolo. Alla geometria di base sono stati successivamente aggiunti tutti gli attraversamenti presenti, le cui caratteristiche geometriche e idrauliche sono state rilevate in occasione dei rilievi effettuati. In dettaglio, i due modelli risultano così costituiti:

- Monte (planimetria in **Figura 18**):



**Figura 18:** planimetria della geometria realizzata in Hec-Ras per il modello "monte"

- 33 sezioni trasversali (22 Rio Prà dell'Ora, 3 Rio Corneri, 8 Rio Foppina), così caratterizzate:
  - geometria: riportata in Allegato A per ciascuna sezione;
  - distanza dalla sezione di valle: elencate in **Tabella 9** a seguire:

REACH	SEZ	L <sub>down_sez</sub> [m]
Pra_A	121	49.4
Pra_A	120	32.5



Pra_A	119	96.8
Pra_A	118	1.2
Pra_A	117	17.7
Pra_A	116	10.5
Pra_A	115.1	6.5
Pra_A	115	21.6
Pra_A	114	6.8
Pra_B	113	33.8
Pra_B	112	9
Pra_B	111	3.2
Pra_B	110.9	120
Pra_B	110.1	3
Pra_B	110	9.5
Pra_B	109	125.6
Pra_B	108	80.9
Pra_B	107	20.4
Pra_B	106	28.2
Pra_B	105	23.8
Pra_B	104	31.3
Pra_B	103	3.4
Pra_C	102	25
Pra_C	101	4
Corneri	303	1.2
Corneri	302	26.7
Corneri	301	6.2
Foppina	207	13
Foppina	206	1.3
Foppina	205.1	0.3
Foppina	205	0.2
Foppina	204	0.6
Foppina	203	9.9
Foppina	202	17.3
Foppina	201	1.5

**Tabella 9:** lunghezze di ciascun tratto delle aste ricomprese nel modello "monte"





- valori di scabrezza secondo manning ( $n [s/m^{1/3}]$ ): pari a 0.03 per i tratti di alveo inciso naturalizzati, a 0.013 per i tratti artificializzati, a 0.035 lungo le aree golenali;
- coefficienti di contrazione ed espansione: rispettivamente pari a 0.1 e a 0.3 per ciascuna sezione (le uniche perdite concentrate rilevanti si verificano in corrispondenza degli intubamenti e vengono già considerate nella modellazione degli stessi, come illustrato in seguito).
- sfioratore laterale posto tra le sezioni 121 e 119 in corrispondenza della golenale sx: struttura modellata come *lateral structure*, utile a quantificare sommariamente (per un'analisi di dettaglio, che esula dagli scopi del presente elaborato, servirebbe una modellazione 2D in moto vario) la quota parte di portata uscente dal Rio Prà dell'Ora in direzione dell'area di espansione in località Villaggio Primula. Le caratteristiche sono le seguenti:
  - lunghezza: circa 121 metri;
  - coefficiente di efflusso: stabilito pari a 0.3, concordemente con quanto indicato all'interno del *2D Modeling User's Manual* di Hec-Ras per gli sfioratori laterali fittizi, costituiti dalla naturale conformazione della sponda.
- attraversamento di Via Ronchetto (sez. 113 – 112): considerata l'assenza di pile o altre repentine variazioni di geometria o scabrezza rispetto alle sezioni poste immediatamente a monte e a valle, nell'ipotesi (successivamente dimostrata) di assenza di sormonto si è modellato l'attraversamento come semplice sezione "coperta", la cui geometria è specificata in Allegato A.
- attraversamenti tombinati (Rio Prà dell'Ora sez. 118-117, 116-115, 110-109; Rio Foppina sez. 203-202): attraversamenti la cui sezione – costituita da una o più tubazioni o da uno scatolare in cls – differisce significativamente rispetto alle sezioni di monte e di valle, provocando variazioni spesso significative all'andamento del profilo idraulico. Vengono tutti modellati come elementi di tipo *culvert* in Hec-Ras, le cui caratteristiche geometriche e idrauliche di maggior interesse sono riportate nella **Tabella 10** a seguire.

	# CULVERT				
	117.5	115.5	109.5_A	109.5_B	202.5
tipo geom.	circ.	circ.	circ.	circ.	rett

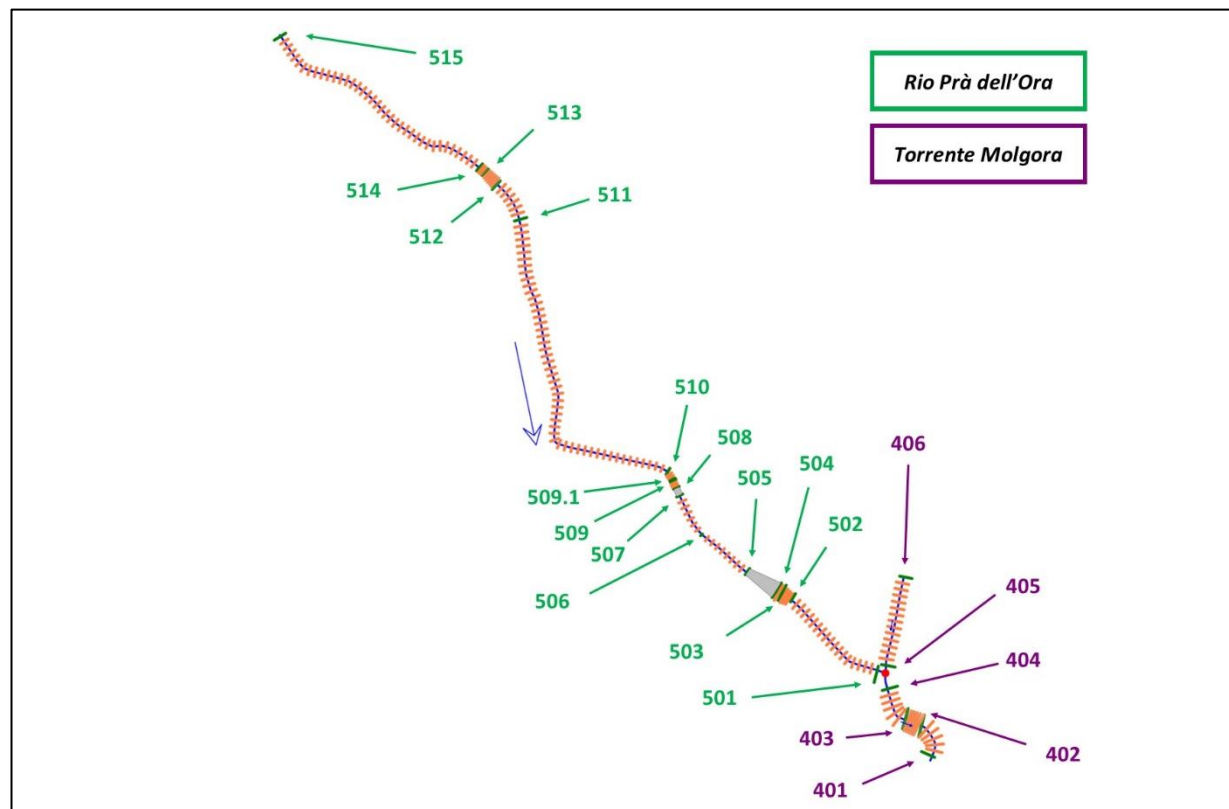


D/B [m]	1	1	1	0.8	1.25
H [m]	/	/	/	/	1
d <sub>up</sub> [m]	0.2	0.5	0.5	0.5	0.25
L [m]	0.8	9.5	8.5	8.5	9.4
C <sub>in</sub> [/]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.2
C <sub>out</sub> [/]	1	1	1	1	0.8
n [s/m <sup>1/3</sup> ]	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013
Z <sub>up</sub> [m slm]	390.99	389.1	381.79	381.79	370.68
Z <sub>down</sub> [m slm]	390.82	388.71	381.43	381.43	370.06

**Tabella 10:** parametri degli elementi culvert ricompresi nel modello "monte"

dove D è il diametro della tubazione; B e H sono rispettivamente la larghezza e l'altezza dello scatolare; d<sub>up</sub> è la distanza rispetto alla sezione di monte, L è la lunghezza della tubazione/scatolare; C<sub>in</sub> e C<sub>out</sub> sono i coefficienti delle perdite concentrate in ingresso e in uscita; n è il coefficiente di scabrezza di Manning; Z<sub>up</sub> e Z<sub>down</sub> sono le quote di fondo all'ingresso e all'uscita della culvert.

- Valle (planimetria in **Figura 19**):



**Figura 19:** planimetria della geometria realizzata in Hec-Ras per il modello "valle"



- 22 sezioni trasversali (16 Rio Prà dell'Ora, 6 Torrente Molgora), così caratterizzate:
  - geometria: riportata in Allegato A per ciascuna sezione;
  - distanza dalla sezione di valle: elencate in **Tabella 11** a seguire:

REACH	SEZ	L <sub>down_sez</sub> [m]
Pra_D	515	148.2
Pra_D	514	4.5
Pra_D	513	10.2
Pra_D	512	25.7
Pra_D	511	207.4
Pra_D	510	5.2
Pra_D	509.1	0.9
Pra_D	509	4.7
Pra_D	508	5
Pra_D	507	27.2
Pra_D	506	35.4
Pra_D	505	21
Pra_D	504	2.7
Pra_D	503	7
Pra_D	502	68.4
Pra_D	501	15
Molgora_A	406	54.4
Molgora_A	405	14.4
Molgora_B	404	22.8
Molgora_B	403	10.6
Molgora_B	402	21.7
Molgora_B	401	2.7

**Tabella 11:** lunghezze di ciascun tratto delle aste ricomprese nel modello "valle"

- valori di scabrezza secondo manning ( $n [s/m^{1/3}]$ ): pari a 0.03 per i tratti di alveo inciso naturalizzati, a 0.013 per i tratti artificializzati, a 0.035 lungo le aree golenali;
- coefficienti di contrazione ed espansione: rispettivamente pari a 0.1 e a 0.3 per ciascuna sezione;
- attraversamento di Papa Giovanni XXIII lungo il Torrente Molgora (sez. 403 – 402):



considerata l'assenza di pile o altre repentine variazioni di geometria o scabrezza rispetto alle sezioni poste immediatamente a monte e a valle, nell'ipotesi (successivamente dimostrata) di assenza di sormonto si è modellato l'attraversamento come semplice sezione "coperta", la cui geometria è specificata nell'Allegato A.

- attraversamenti tombinati (Rio Prà dell'Ora sez. 508-507, 505-504): attraversamenti la aventi sezione composta da uno scatolare in cls 200x125 installato in occasione dei lavori del Progetto 2015, continua con la geometria del corso d'acqua di monte e di valle, si sceglie di modellarli come elementi di tipo *culvert* in continuità con quanto fatto per il tratto di monte. Le relative caratteristiche geometriche e idrauliche di maggior interesse sono riportate nella **Tabella 12** a seguire.

	# CULVERT	
	507.5	504.5
tipo geom.	rett	rett
D/B [m]	2	2
H [m]	1.25	1.25
d <sub>UP</sub> [m]	0.25	0.25
L [m]	4.5	20.5
C <sub>in</sub> [/]	0.2	0.2
C <sub>out</sub> [/]	0.8	0.8
n [s/m <sup>1/3</sup> ]	0.013	0.013
Z <sub>up</sub> [m slm]	330.64	328.21
Z <sub>down</sub> [m slm]	330.46	327.23

**Tabella 12:** parametri degli elementi culvert ricompresi nel modello "valle"

## 6.2 PORTATA DI PIENA E CONDIZIONI AL CONTORNO

### Portata

Trattandosi di un modello in moto permanente, il valore di portata inserito (corrispondente al valore di picco della piena di progetto, T100) non varia nel tempo. Tuttavia, vista la presenza di diverse confluenze all'interno del modello realizzato, nonché il non trascurabile apporto dei bacini urbanizzati (u1 e u2) del Rio Prà dell'Ora, si è optato per assegnare un valore di portata diverso in corrispondenza di ciascuna sezione, secondo la seguente metodologia:

- per il Rio Corneri e il Rio Foppina il tratto indagato è sufficientemente ridotto da poter considerare come unico valore di portata quello calcolato durante l'analisi idrologica in

corrispondenza della sezione di chiusura (in entrambi i casi considerata nei pressi della confluenza). Si fa notare che il primo dei due corsi d'acqua presenta una serie di brevi tratti intubati (cls,  $\phi$  800 mm), in corrispondenza di alcune proprietà private prima di giungere alla sezione 303 da cui prende origine il modello: ciò potrebbe costituire un vincolo al deflusso della totalità della portata idrologica precedentemente calcolata, tuttavia, dai valori delle pendenze del tratto combinate alla geometria e alla scabrezza degli attraversamenti, si è verificato che questi ultimi fossi effettivamente sufficienti, come peraltro confermato dagli abitanti locali che non riportano a memoria esondazioni lungo il tratto;

- per il Torrente Molgora viene fornito il valore di portata idrologica valutato precedentemente in corrispondenza della sezione 406, mentre dalla prima sezione a valle della confluenza (sez. 404) si utilizza il valore di portata ottenuto alla sezione di chiusura del modello di valle, inclusivo del Rio Prà dell'Ora e del secondo, ridotto, bacino del torrente Molgora stesso;
- per il Rio Prà dell'Ora si è proceduto partendo dal valore di portata idrologica nei pressi della sezione di chiusura del bacino non urbanizzato di monte, incrementato linearmente (rispetto alla frazione di asta percorsa) procedendo verso valle del valore progressivamente fornito dai bacini urbanizzati. A valle delle confluenze, infine, sono stati naturalmente sommati i contributi degli affluenti, tenendo debitamente conto dello sfalsamento nei relativi picchi di piena.

I valori di portata di piena di progetto adottati nel modello vengono riportati, sezione per sezione (riferiti al tratto immediatamente a valle) all'interno della successiva **Tabella 13**.

MONTE			VALLE		
REACH	SEZ.	Q [m <sup>3</sup> /s]	REACH	SEZ.	Q [m <sup>3</sup> /s]
Pra_A	121	3.9	Pra_D	515	11.0
Pra_A	120	3.9	Pra_D	514	11.3
Pra_A	119	4.0	Pra_D	513	11.3
Pra_A	118	4.2	Pra_D	512	11.4
Pra_A	117	4.2	Pra_D	511	11.4
Pra_A	116	4.2	Pra_D	510	11.8
Pra_A	115.1	4.3	Pra_D	509.1	11.8
Pra_A	115	4.3	Pra_D	509	11.9
Pra_A	114	4.3	Pra_D	508	11.9
Pra_B	113	6.9	Pra_D	507	11.9
Pra_B	112	7.0	Pra_D	506	11.9



Pra_B	111	7.0	Pra_D	505	12.0
Pra_B	110.9	7.0	Pra_D	504	12.0
Pra_B	110.1	7.3	Pra_D	503	12.0
Pra_B	110	7.3	Pra_D	502	12.1
Pra_B	109	7.3	Pra_D	501	12.2
Pra_B	108	7.5	Molgora_A	406	6.4
Pra_B	107	7.7	Molgora_A	405	6.4
Pra_B	106	7.7	Molgora_B	404	16.7
Pra_B	105	7.8	Molgora_B	403	16.7
Pra_B	104	7.8	Molgora_B	402	16.7
Pra_B	103	7.9	Molgora_B	401	16.7
Pra_C	102	9.5			
Pra_C	101	9.5			
Corneri	303	2.6			
Corneri	302	2.6			
Corneri	301	2.6			
Foppina	207	1.6			
Foppina	206	1.6			
Foppina	205.1	1.6			
Foppina	205	1.6			
Foppina	204	1.6			
Foppina	203	1.6			
Foppina	202	1.6			
Foppina	201	1.6			

**Tabella 13:** valori di portata (T100) inseriti all'interno del modello Hec-Ras

#### Condizioni al contorno

Il dominio di entrambi i modelli realizzati è stato esteso il più possibile a monte e a valle rispetto alle aree e alle strutture di maggiore interesse ai fini dello studio, con l'obiettivo di minimizzare l'influenza delle condizioni al contorno assegnate rispetto ai suddetti elementi. Si è dunque deciso di adottare, per tutti i confini di monte e di valle di entrambi i modelli, la condizioni Normal Depth di Hec-Ras, ipotizzando in ciascuna sezione di ingresso e di uscita una situazione di moto uniforme, con una pendenza del fondo assegnata pari alla pendenza media del relativo area in prossimità della stessa. Le singole condizioni al contorno adottate sono riassunte in **Tabella 14** a seguire.





MODELLO MONTE		CC	
RIVER	REACH	UPSTREAM	DOWNSTREAM
Rio Prà dell'Ora	Prà_A	ND, S = 0.1 m/m	/
Rio Prà dell'Ora	Prà_B	/	/
Rio Prà dell'Ora	Prà_C	/	ND, S = 0.03 m/m
Rio Corneri	Corneri	ND, S = 0.04 m/m	/
Rio Foppina	Foppina	ND, S = 0.035 m/m	/
MODELLO VALLE		CC	
RIVER	REACH	UPSTREAM	DOWNSTREAM
Rio Prà dell'Ora	Prà_D	ND, S = 0.03 m/m	/
Torrente Molgora	Molgora_A	ND, S = 0.025 m/m	/
Torrente Molgora	Molgora_B	/	ND, S = 0.01 m/m

**Tabella 14:** condizioni al contorno adottate all'interno del modello Hec-Ras

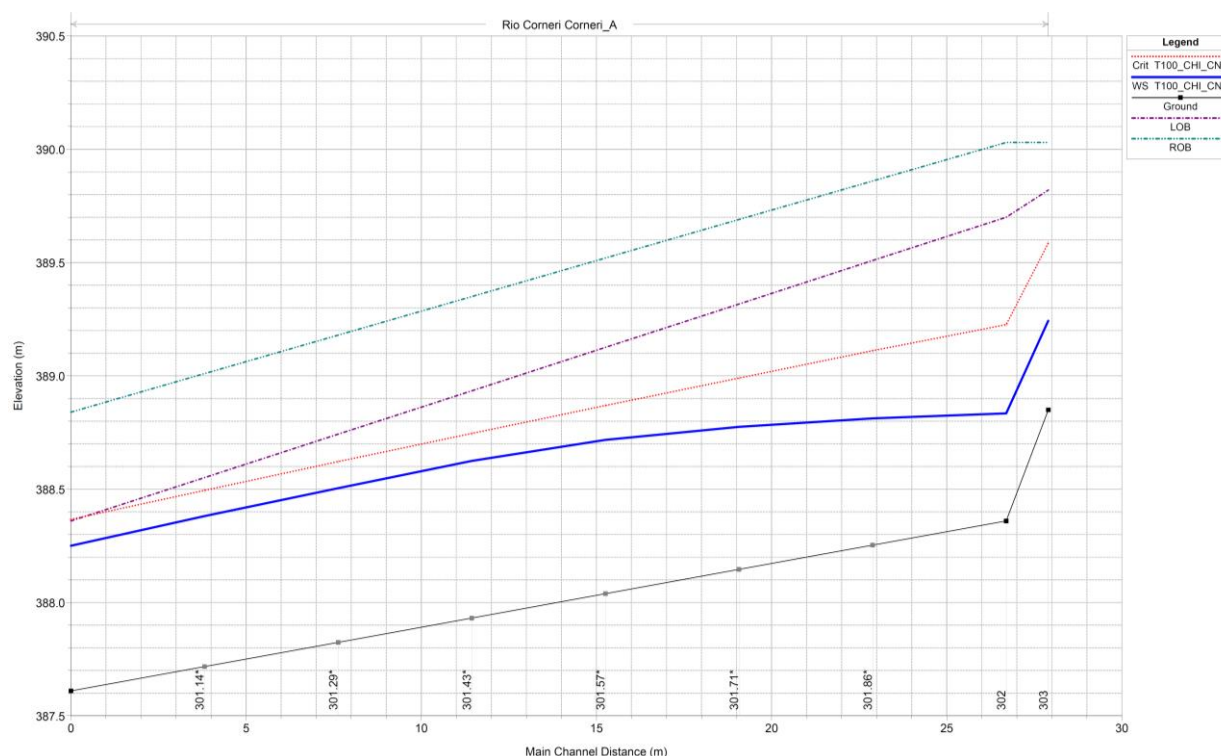
## 6.3 RISULTATI

Una volta descritte in dettaglio le caratteristiche geometriche e idrauliche dei modelli realizzati, nonché le ipotesi alla base della simulazione, si passa al commento dei risultati ottenuti, enfatizzando in particolar modo i tratti di maggior interesse per la committenza.

Monte

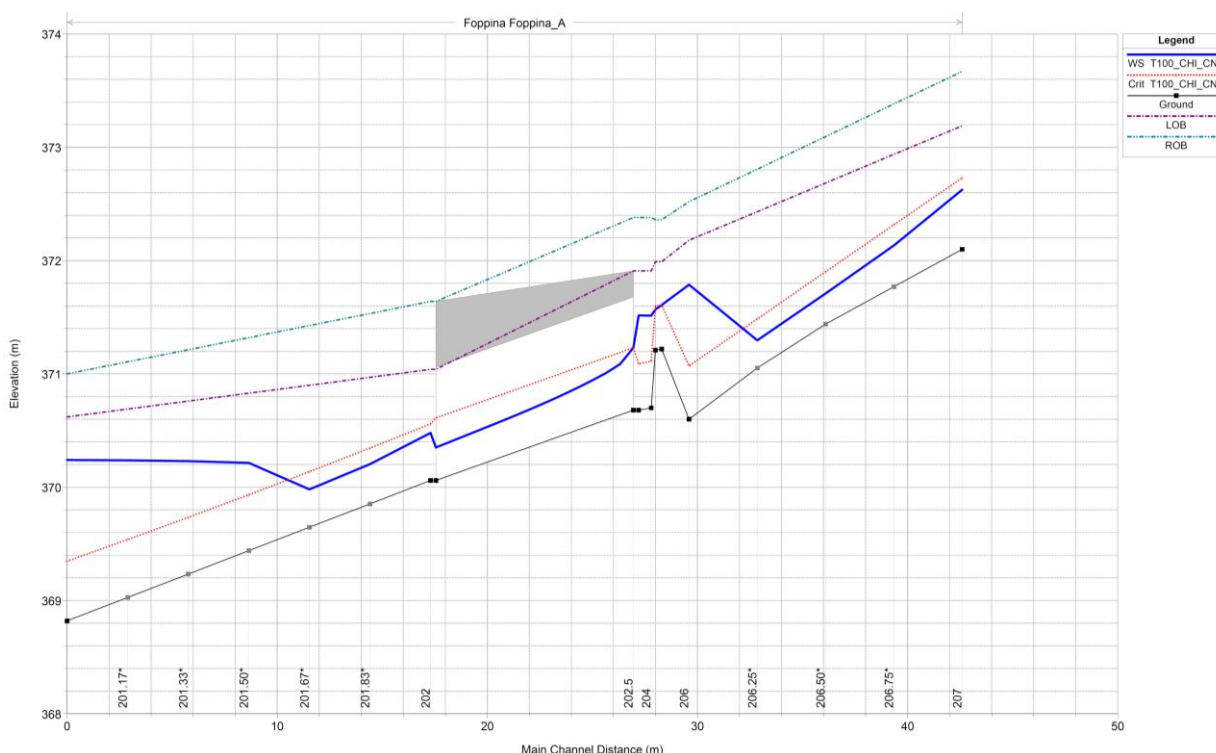
L'analisi del modello di monte si incentra sull'osservazione dei profilo longitudinali di moto ottenuti, in particolare:

- Rio Corneri (sez 303 – 301, **Figura 20**): il tratto terminale del Rio Corneri si dimostra sufficiente con adeguato franco di sicurezza dall'uscita dell'ultimo intubamento sino alla confluenza con il Rio Prà dell'Ora, in linea con quanto già stabilito nel precedente studio di definizione del reticolo idrico minore, datato 2012. L'intero tratto si trova in corrente veloce, caratteristica che si ripeterà pressoché lungo la totalità dei tratti analizzati (in assenza di altri vincoli), viste le pendenze piuttosto elevate che caratterizzano l'alveo inciso (generalmente pari o superiori al 3%).



**Figura 20:** profilo longitudinale di piena del Rio Corneri

- Rio Foppina (sez. 207 – 201, **Figura 21**): similamente a quanto visto per il Rio Corneri, anche il tratto terminale del Rio Foppina risulta sufficiente con adeguato franco di sicurezza lungo la totalità del tratto indagato. In questo caso, il comportamento idraulico è maggiormente variegato, ed è evidente l'influenza degli interventi effettuati sull'andamento del profilo di corrente: la presenza della briglia forza infatti un breve passaggio in corrente lenta, mediante un risalto idraulico, appena a monte dello scatolare di attraversamento di Via dei Ronchi, che si dimostra essere sufficiente, così come l'intero tratto di valle fino alla confluenza con il Rio Prà dell'Ora. Dopo essere tornato in corrente veloce all'interno dello scatolare, si verifica un secondo risalto idraulico nei pressi della confluenza a causa del rigurgito proveniente dal Rio Prà dell'Ora;

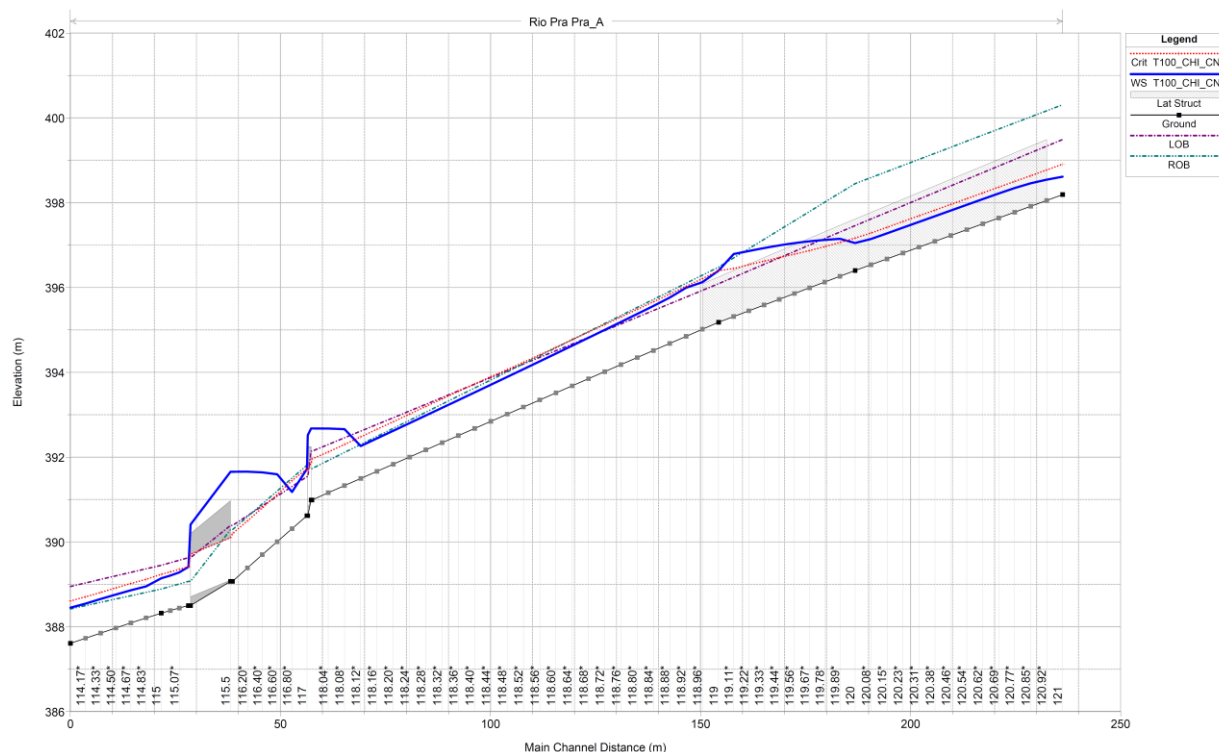


**Figura 21:** profilo longitudinale di piena del Rio Foppina

- Rio Prà dell’Ora: il Rio Prà dell’Ora costituisce l’asta principale del modello, e dall’osservazione del relativo profilo di piena si possono fare diverse considerazioni:
  - reach\_A (sez. 121 – 114, **Figura 22**): partendo dal tratto più a monte, ossia quello che percorre la località Villaggio Primula fino alla confluenza con il Rio Corneri, si sottolineano le seguenti criticità:
    - dopo un primo tratto sufficiente e in corrente veloce, al progressivo restringersi dell’alveo inciso tra le sezioni 120 e 119, prevedibilmente il corso d’acqua risalta passando in corrente lenta, ed esonda in sponda sinistra, all’interno dell’area già indicata come esondabile nello studio del 2012. A questo proposito, lo sfioratore laterale fittizio posto tra le sezioni 121 e 119 fornisce un valore di  $0.75 \text{ m}^3$  di portata esodata, ma per un’adeguata analisi del processo si raccomanda lo sviluppo di un modello 2D in moto vario all’interno dell’intera area;
    - procedendo verso valle, il Rio Prà ritorna sufficiente e in corrente veloce, salvo poi rigurgitare significativamente in corrispondenza dei due successivi attraversamenti (117.5 e 115.5, rispettivamente un attraversamento privato e

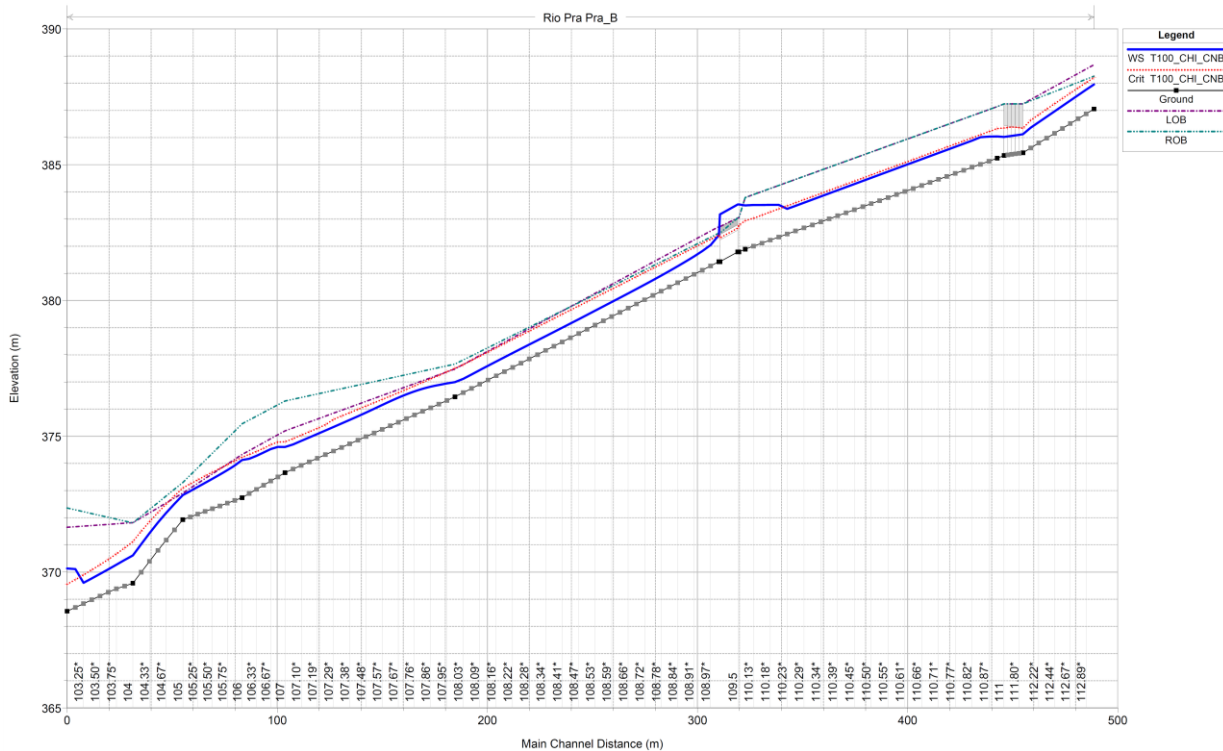
l'attraversamento di Via Avis), entrambi insufficienti a smaltire la portata di piena in ingresso;

- a valle dell'ultimo attraversamento, il Rio Prà torna sufficiente e in corrente veloce fino alla confluenza con il Rio Corneri;



**Figura 22:** profilo longitudinale di piena del Rio Prà dell'Ora, reach\_A

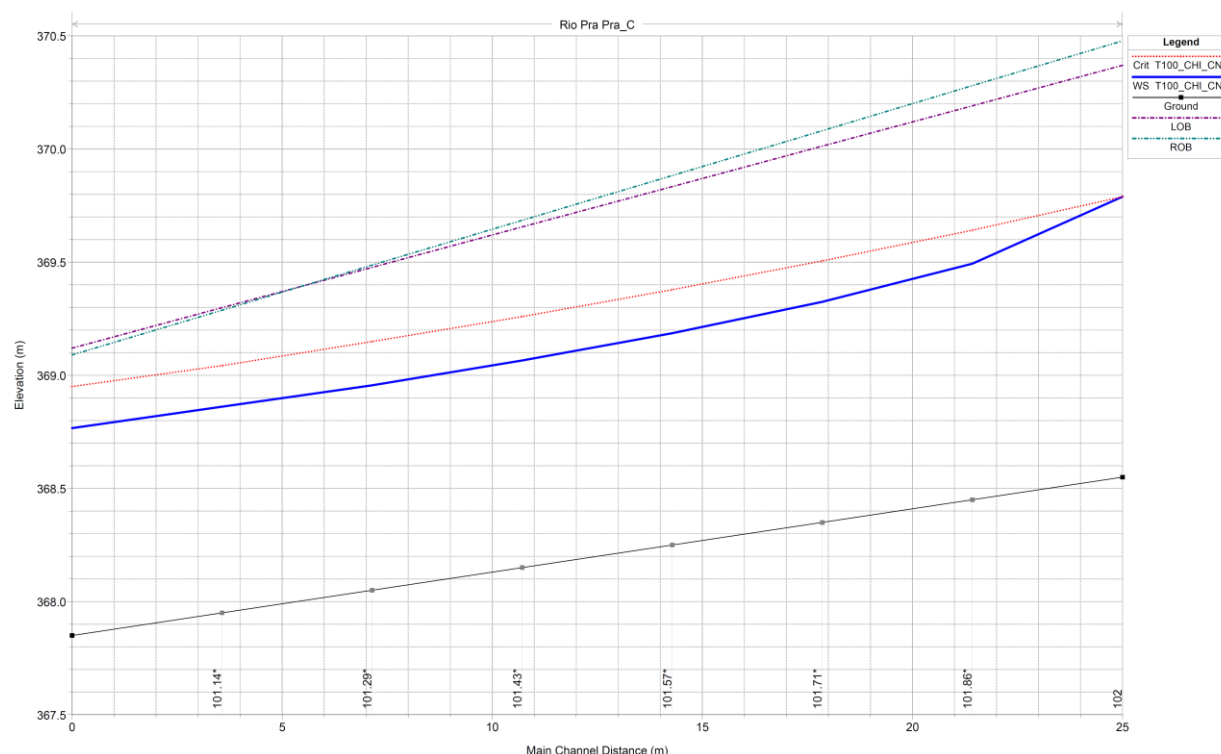
- reach\_B (sez. 113 – 103, **Figura 23**): il tratto centrale del Rio Prà ha un comportamento più uniforme, generalmente sufficiente e in corrente veloce (si sottolinea il fatto che, prevedibilmente, l'unico attraversamento di tipo scatolare – sez. 112 - 111 – è anche l'unico sufficiente dell'intero tratto indagato), eccezion fatta per l'attraversamento di Via Lombardia, dove l'insufficienza idraulica delle tubazioni genera un notevole rigurgito a monte e il conseguente sormonto dello stesso, con allagamento della strada. Si fa notare infine il breve passaggio in corrente lenta nei pressi della confluenza con il Rio Foppina, generato dal repentino incremento della portata a valle);



**Figura 23:** profilo longitudinale di piena del Rio Prà dell'Ora, reach\_B

- reach\_C (sez. 102 – 101, **Figura 24**): breve tratto a valle della confluenza con il Rio Foppina, necessario per una corretta chiusura del modello. Non presenta particolari criticità, dal momento che la corrente, dopo un passaggio in stato critico nei pressi della confluenza, risulta veloce e sufficiente lungo l'intero tratto.





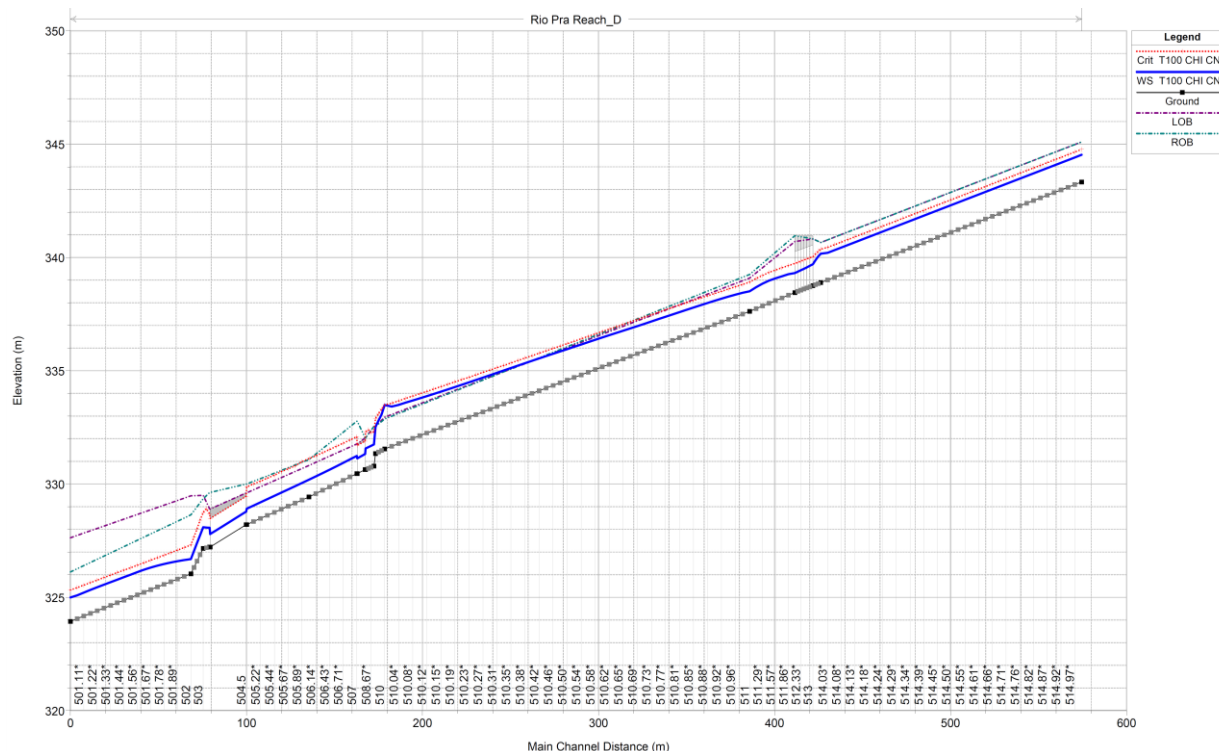
**Figura 24:** profilo longitudinale di piena del Rio Prà dell'Ora, reach\_C

## Valle

L'analisi del modello di valle, analogamente a quella precedente, si basa sull'osservazione del profilo longitudinale delle varie aste modellate, in particolare:

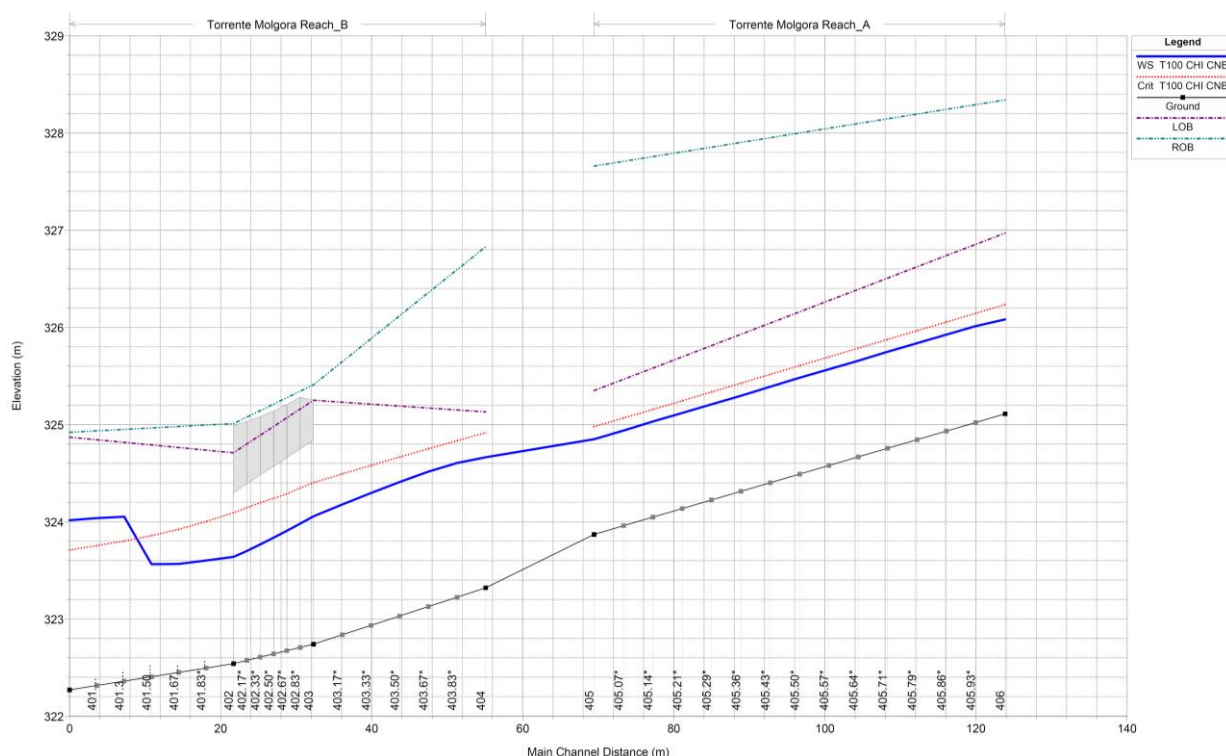
- Rio Prà dell'Ora, reach\_D (sez. 515 – 501, **Figura 25**): questo rappresenta il tratto terminale del corso d'acqua prima della sua confluenza nel Torrente Molgora, all'estremità meridionale del confine comunale. La modellazione inizia, a monte, al ritorno del corso d'acqua a cielo aperto a seguito del tombinamento della zona industriale di via Papa Giovanni XXIII. Il comportamento idraulico dell'asta è sostanzialmente uniforme per tutta la sua lunghezza, con una corrente veloce tendente al moto uniforme sino alla confluenza con il Torrente Molgora, con una importante eccezione: nonostante lungo il tratto che è stato oggetto dei lavori del Progetto 2015 (località Ceppera, sez. 510 – 502) il Rio Prà risulti sempre sufficiente, confermando l'efficacia degli interventi effettuati, il restringimento dell'alveo inciso lungo il tratto immediatamente a monte (sia rispetto alla situazione di monte che di valle, sez. 511 – 510) genera un collo di bottiglia non sufficiente a smaltire la portata di piena in arrivo, provocando esondazioni nell'area industriale circostante. Analogamente a quanto scritto per l'analoga situazione della località Villaggio Primula, servirebbe un modello bidimensionale

dell'area per un'analisi dettagliata del processo di allagamento.



**Figura 25:** profilo longitudinale di piena del Rio Prà dell'Ora, reach\_D

- Torrente Molgora, reach\_A e reach\_B (sez. 406 – 401, **Figura 26**): il Torrente Molgora è stato indagato lungo il tratto nei pressi della confluenza con il Rio Prà dell'Ora, principalmente al fine di verificarne eventuali influenze sul comportamento idraulico di quest'ultimo. Come si può osservare dal profilo, il corso d'acqua assume un comportamento piuttosto omogeneo lungo l'intero tratto, rimanendo sempre sufficiente e in corrente veloce, eccezion fatta che in corrispondenza della sezione di chiusura di valle, dove si verifica un (ininfluente ai fini della presente analisi) risalto idraulico e conseguente passaggio in corrente lenta, dovuto al ridursi della pendenza di fondo nel tratto terminale (circa 1%).

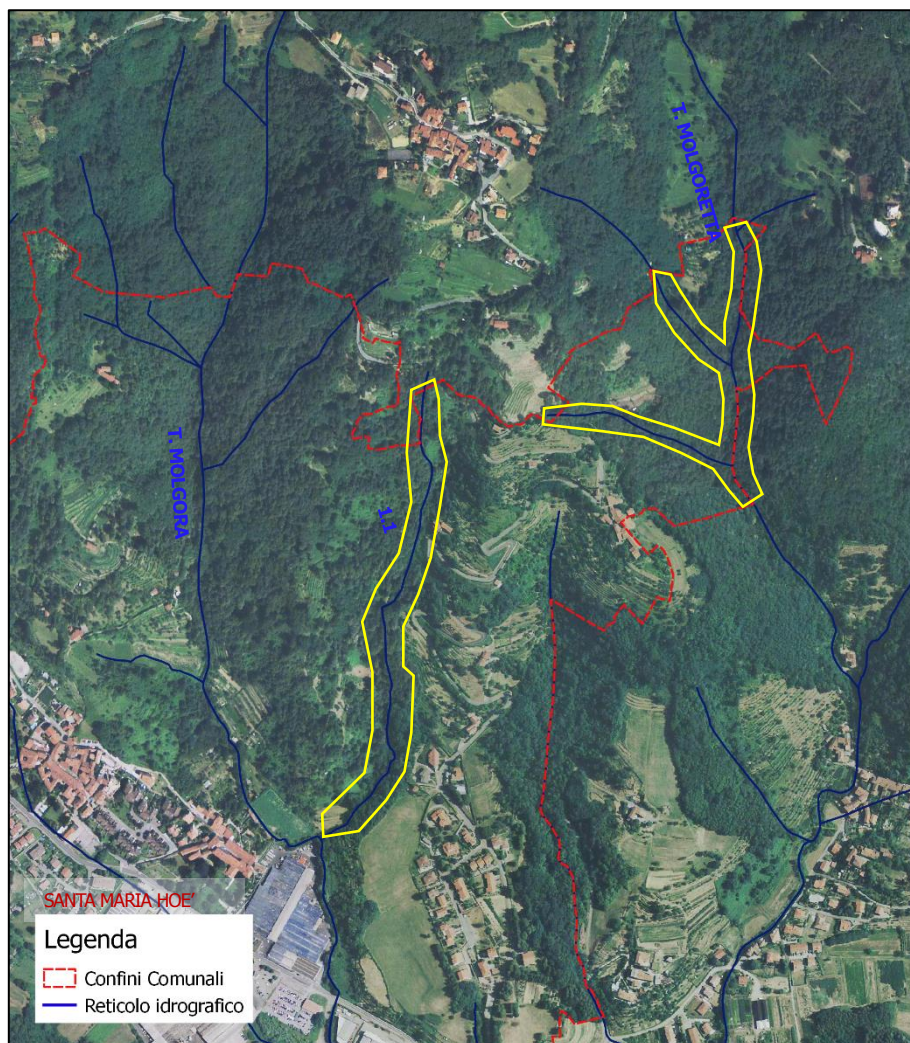


**Figura 26:** profilo longitudinale di piena del Torrente Molgora, reach\_A e reach\_B

La descrizione del comportamento idraulico delle varie aste oggetto del presente studio è completata dall'Allegato A, in cui si riportano in dettaglio la geometria e tiranti idrici ottenuti in ciascuna sezione utilizzata (escluse le sezioni interpolate, utilizzate per ottimizzare gli aspetti di calcolo numerico), nonché i valori di velocità della corrente lungo i corsi d'acqua. La valutazione delle velocità non è lo scopo primario di questo studio, incentrato sulla possibile ridefinizione di alcuni tratti delle fasce di rispetto, tuttavia è opportuno sottolineare come i risultati ottenuti sono in linea con quanto ci si può aspettare da correnti veloci in piena, con valori dell'ordine dei 3-5 m/s.

## 7 TORRENTI MINORI

Sono stati infine indagati alcuni corsi d'acqua del reticolo minore presenti lungo i versanti più acclivi e naturali del territorio comunale: il Torrente Molgoretta, che corre lungo la porzione Nord-Est del territorio comunale, e l'affluente sinistro del Torrente Molgora, indentificato con la sigla 1.1, indicati in giallo in **Figura 27**.



**Figura 27:** Torrente Molgoretta e affluente 1.1 del T. Molgora

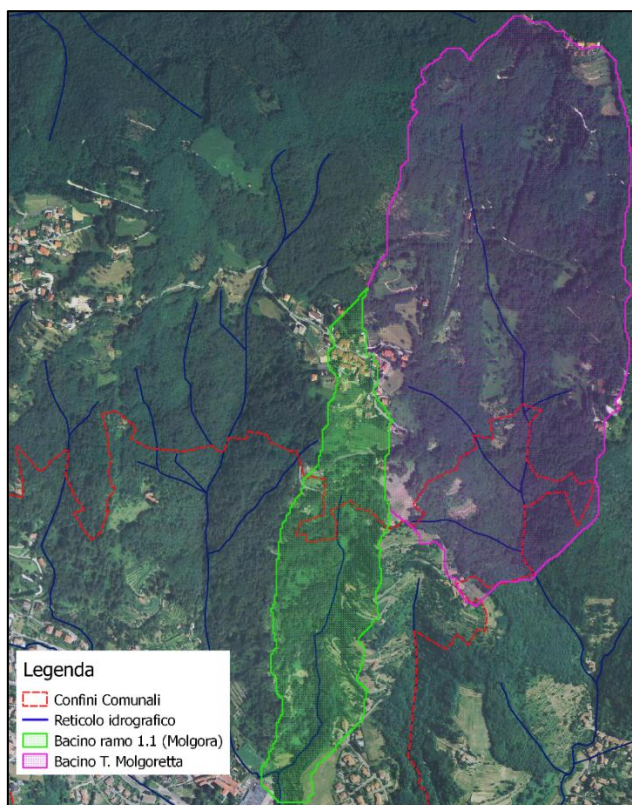
Si tratta per lo più di solchi di ruscellamento concentrato, impostati lungo vallecole secondarie che nascono in corrispondenza di risorgive con testate d'incisione in progressiva regressione. Sono quindi caratterizzati da un regime periodico e discontinuo, legato all'intensità e frequenza delle precipitazioni meteoriche.





**Figura 28:** Foto scattate lungo l'affluente 1.1 del T. Molgora

Analogamente a quanto fatto precedentemente per il T. Molgora, il Rio Pra dell'Ora e i relativi affluenti, è stata effettuata una modellazione idrologica attraverso il software di calcolo Hec-HMS (vedere cap. 5) per l'individuazione di valori di portata centennali. In **Figura 29** vengono mostrati i bacini imbriferi che alimentano i due torrenti, ottenuti dall'elaborazione del DTM, e in **Tabella 15** sono riportate le caratteristiche idromorfologiche e idrologiche.



**Figura 29:** Bacini imbriferi di alimentazione del T. Molgoretta e dell'affluente 1.1 del T. Molgora



	<u><b>BAC<sub>Ramo 1.1</sub></b></u>	<u><b>BAC<sub>T. Molgoretta</sub></b></u>
<b>A</b> [km <sup>2</sup> ]	0,25	0,82
<b>Z<sub>min bac</sub></b> [m slm]	347,97	411,73
<b>Z<sub>max bac</sub></b> [m slm]	681,74	850,17
<b>Z<sub>med bac</sub></b> [m slm]	479,9	641,62
<b>L<sub>AstaPrincipale</sub></b> [m]	703	1064
<b>L<sub>AP</sub></b> [km]	0,7	1,1
<b>Z<sub>min AP</sub></b> [m slm]	347,51	410,42
<b>Z<sub>max AP</sub></b> [m slm]	456,19	674,02
<b>Z<sub>med AP</sub></b> [m slm]	388,52	533,85
<b>i<sub>med AP</sub></b> [m/m]	0,078	0,153
<b>Classe suolo</b>	B	B
<b>CN</b>	59,78	56,62
<b>T<sub>c</sub></b> [h]	0,251	0,319
<b>R<sub>STR</sub></b> [h]	0,107	0,072

**Tabella 15:** Caratteristiche idrologiche dei bacini (1.1 e T. Molgoretta)

Le analisi effettuate, considerando una pioggia impulsiva con tempo di ritorno centennale riportata al capitolo 5, hanno fornito valori di portata, in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei due bacini di **Figura 29**, pari a:

- Ramo 1.1 (T. Molgora) = 2 m<sup>3</sup>/s;
- T. Molgoretta = 4,8 m<sup>3</sup>/s.

Come accennato in precedenza, questi corsi d'acqua, impluvi e solchi di ruscellamento che scorrono lungo versanti molto acclivi, sono caratterizzati da ridotte portate e sezioni di deflusso in grado di smaltire in sicurezza le portate in transito. Una valutazione di massima della capacità di smaltimento di questi torrenti può essere effettuata calcolando l'altezza di moto uniforme, applicando la formula di Chezy:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

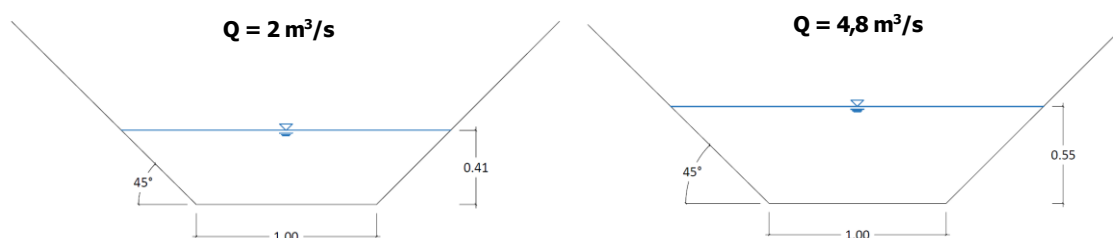
con

$$\chi = K_s \cdot R^{1/6}$$

considerando un valore di scabrezza  $K_s$  pari 30 m<sup>1/3</sup>/s, lungo una sezione tipo caratterizzata da una larghezza di fondo alveo di circa 1 m e sponde/versanti inclinati a 45°, e pendenze d'alveo come riportate nella tabella precedente.

Considerando i valori di picco ottenuti dalle analisi idrologiche, e ricordando che tali valori sono relativi

alle sezioni di chiusura dei bacini individuati (si presume pertanto che i valori di portata e quindi di altezza d'acqua, nei tratti a monte, siano ridotti), si ottengono i seguenti valori di  $h_0$ :



Le sezioni interessate dal deflusso di piena rimangono quindi limitate, ampiamente contenute in una fascia di rispetto che può essere ragionevolmente ridotta a 4 m di estensione anche in corrispondenza dei suddetti corpi idrici minori.

## 8 AGGIORNAMENTO DELLE FASCE DI RISPETTO

Sulla base dei risultati ottenuti e illustrati in dettaglio all'interno della presente relazione, si formula una proposta di aggiornamento delle vigenti fasce di rispetto lungo il reticolo idrico minore comunale, seguendo i tratti indicati dall'amministrazione comunale e riportati in premessa:

- **A**, Rio Prà dell'Ora a monte della confluenza con il Rio Corneri (località Villaggio Primula): il modello ha confermato l'attuale insufficienza idraulica del tratto nei confronti dell'evento di piena di riferimento. Si propone pertanto di non ridurre ulteriormente la fascia di rispetto dove essa è rimasta a 10 metri, nonché di mantenere attiva l'area di esondazione in località Villaggio Primula;
- **B**, Rio Foppina nei pressi dell'attraversamento di Via dei Ronchi: il modello ha dimostrato l'efficacia degli interventi recentemente realizzati, verificando che il corso d'acqua sia sufficiente nei confronti della piena di riferimento per tutto il tratto terminale indagato. Si propone dunque di ridurre la fascia di rispetto da 10 a 4 metri per la totalità del tratto indagato, così come specificato in dettaglio nella planimetria in Allegato B.
- **C**, Rio Prà dell'Ora a monte della confluenza con il Torrente Molgora; il modello ha anche in questo caso confermato l'efficacia degli interventi realizzati nell'anno 2015 e in generale la sufficienza di gran parte del tratto oggetto di indagine. Tuttavia, si è anche verificata la presenza di un restringimento a monte dell'area degli interventi e la conseguente esondazione di parte della portata di piena. Si propone quindi la riduzione della fascia di rispetto da 10 a 4 metri per tratto di corso d'acqua limitato tra il termine dell'intubamento a valle dell'area industriale e l'inizio del parcheggio in sinistra idraulica a monte dell'attraversamento di Via delle Industrie, così come specificato in Allegato B, mantenendo invece la fascia di rispetto a 10 metri per il rimanente tratto indagato sino alla confluenza con il Torrente Molgora. Si propone anche di mantenere attiva l'area di espansione esistente in località Ceppera, almeno fino a che verrà realizzato un modello idraulico bidimensionale di approfondimento sulle dinamiche di esondazione del tratto indagato, che permetta di delimitare una nuova area di esondazione verosimilmente posta a monte, oppure fino a che anche il tratto immediatamente a monte della località Ceppera (sez. 511-510 del modello) venga opportunamente adeguato al fine di renderlo sufficiente nei confronti della portata di progetto.
- **D – E**, aste 1.1 (affluente Torrente Molgora) e 4 (Torrente Molgoretta, diversi rami): la collocazione di tali corsi d'acqua all'interno del territorio comunale, verificata dai sopralluoghi condotti in loco, unitamente all'analisi idrologica e alla successiva verifica idraulica condotta,

porta a proporre la riduzione della fascia di rispetto attualmente esistente da 10 a 4 metri lungo la totalità delle suddette aste per i rispettivi tratti ricompresi all'interno del territorio comunale.

## 9 ULTERIORI SEGNALAZIONI

Sebbene dai sopralluoghi realizzati diffusamente, nell'arco del presente lavoro, lungo le aste fluviali del territorio comunale sia emersa un livello generalmente buono dello stato degli alvei, come dimostrato dai numerosi interventi di protezione idraulica realizzati negli ultimi anni, in un territorio avente queste caratteristiche idromorfologiche (comune vallivo avente un reticolo idrico molto pendente e correnti generalmente veloci) è normale che la morfologia dell'alveo muti rapidamente, esponendo nuove criticità. Si segnalano di seguito le problematiche locali riscontrate durante i vari sopralluoghi svolti sul territorio del Comune di S. Maria Hoè.

Rio Prà dell'Ora, ostruzione dell'attraversamento di Via delle Industrie

Parziale occlusione della luce della struttura causata dalla presenza di un bancale incastrato contro ai puntelli del ponte, riduce significativamente l'officiosità idraulica dello stesso con potenziale rischio di allagamento delle aree circostanti (tra cui un parcheggio).



**Figura 30:** *occlusione dell'attraversamento del Rio Prà dell'Ora nei pressi di Via delle Industrie*

Tratto terminale del Rio Prà dell'Ora a monte della confluenza con il Torrente Molgora

Tratto situato a valle degli interventi realizzati in località Ceppera che presenta diffusi segni di ammaloramento (protezioni spondali in massi scalzate al piede, diversi tratti erosi, piante inclinate o pericolanti), in necessità di un intervento di manutenzione straordinaria.





**Figura 31:** dissesti diffusi lungo il tratto terminale del Rio Prà dell'Ora

#### Manutenzione ordinaria delle aste del reticolo idrico

Alle criticità puntuali precedentemente indicate, si vuole aggiungere l'importanza, dal punto di vista idraulico, di mantenere sotto controllo la crescita arbustiva e arborea nei pressi dell'alveo inciso e lungo le sponde delle aste fluviali: trascurare questo aspetto porta, nel medio e nel lungo periodo, a un progressivo intasamento del letto dei corsi d'acqua, con conseguente aumento della scabrezza e riduzione della portata transitabile, causando possibilmente in ultimo fenomeni di esondazione anche per eventi di precipitazione relativamente ordinari; a ciò si aggiunge la possibilità di schianti improvvisi di piante in alveo durante un evento di piena, con potenziale occlusione da parte delle stesse di un vincolo idraulico (tubazione, scatolare, ponte) situato a valle.



## **10 ALLEGATI**

**Allegato A – Risultati del modello di calcolo**

**Allegato B – Planimetria della proposta di modifica alle fasce di rispetto del RIM in  
ottemperanza D.g.r. 10/7581**

**Allegato C - Descrizione del codice di calcolo di Hec – Ras**

