




## **PSI** PIANO STRUTTURALE INTERCOMUNALE

Comune di Lucignano (AR) Comune di Marciano della Chiana (AR)



  
**Comune di Lucignano – Sindaco**  
Roberta Casini  
**Comune di Marciano della Chiana – Sindaco**  
Maria De Palma

**Responsabile del Procedimento**  
Arch. Maurizio Barbagli

**Garante dell'Informazione e Partecipazione**  
Dott.ssa Debora Cesaretti

**Progetto e coordinamento**  
Arch. Alessio Bartolozzi

**Collaboratori al progetto**  
Arch. Laura Tavanti  
Geom. Patrizia Sodi  
Arch. Desirè Gambini

**Valutazione Ambientale Strategica**  
Arch. Annalisa Pirrello

**Aspetti Geologici**  
Geol. Franco Bulgarelli  
Geol. Nicola D'Ubaldo

**Aspetti Idraulici**  
Chiarini Associati Ingegneria Civile e Ambientale  
Ing. Remo Chiarini  
Ing. Alessandro Berni  
Ing. Luigi Bigazzi

Novembre 2019



## Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione.....</b>	<b>4</b>
1.1	Criteri operativi e obiettivi dello studio.....	6
<b>2</b>	<b>Quadro normativo di riferimento.....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Analisi idrologica.....</b>	<b>10</b>
3.1	Considerazioni generali circa la stima degli idrogrammi di piena .....	10
3.2	Definizione degli afflussi meteorici .....	11
3.3	Determinazione dello ietogramma di progetto .....	14
3.4	Stima delle perdite idrologiche mediante il metodo del Curve Number.....	15
3.4.1	Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per i bacini idrografici in esame .....	17
3.5	La trasformazione afflussi – deflussi .....	17
3.5.1	Il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH).....	17
3.5.2	Il Metodo Cinematico (Kinematic Wave) .....	19
3.5.3	La propagazione delle onde di piena .....	20
3.6	Stima della portata di progetto, analisi preliminari e scelta del modello idrologico.....	21
3.6.1	Relazioni matematiche .....	22
3.6.2	Modelli matematici.....	25
3.7	Parametri idrologici dei modelli Hec-Hms.....	33
3.7.1	Modello idrologico “Marciano” ( $S = 4.62 \text{ km}^2$ , n°4 elementi) .....	33
3.7.2	Modello idrologico “Lucignano monte” ( $S = 25.74 \text{ km}^2$ , n°19 elementi) .....	33
3.7.3	Modello idrologico “Lucignano valle” ( $S = 7.70 \text{ km}^2$ , n°12 elementi).....	34
3.7.4	Modello idrologico “Esse - Leprone” ( $S = 117.83 \text{ km}^2$ , n°4 elementi) .....	35
<b>4</b>	<b>Risultati dell'analisi idrologica.....</b>	<b>36</b>
4.1	Modello idrologico “Marciano” .....	36
4.2	Modello idrologico “Lucignano monte” .....	36
4.3	Modello idrologico “Lucignano valle” .....	37
4.4	Modello idrologico “Esse - Leprone” .....	38
4.5	Confronto tra le portate al colmo di piena stimate nel presente studio e quelle desunte da studi pregressi .....	39
4.6	Input idrologici nei modelli numerici di propagazione delle onde di piena.....	40
4.6.1	Modello Hec-Ras “Pescaia – Basso – S.Giovanni” .....	40
4.6.2	Modello Hec-Ras “Riola - Canterino - Leprone - Prato” .....	42
4.6.3	Modello Hec – Ras “Prata – Fossatone – Croce” .....	45
4.6.4	Modello Hec-Ras “Vescina – Scerpella – Fossatone – Gorgo - Esse” .....	47
<b>5</b>	<b>Analisi idraulica.....</b>	<b>51</b>
5.1	Il modello numerico di simulazione idraulica .....	51
5.2	Principi teorici della modellazione numerica.....	51
5.2.1	Assegnazione dei parametri di scabrezza .....	53
5.2.2	Condizioni al contorno .....	54
<b>6</b>	<b>Risultati della modellazione idraulica.....</b>	<b>57</b>
6.1	Modello “Prata - Fossatone - Croce” .....	58
6.1.1	Tratti dei corsi d'acqua modellati .....	58
6.1.2	Scabrezze.....	58
6.1.3	Durate critiche e durate simulate .....	58
6.1.4	Schema planimetrico .....	59
6.2	Modello “Scerpella – Vescina – Fossatone – Gorgo - Esse” .....	61
6.2.1	Tratti dei corsi d'acqua modellati .....	61
6.2.2	Scabrezze.....	61
6.2.3	Durate critiche e durate simulate .....	62
6.2.4	Schema planimetrico .....	63



## Piano Strutturale Intercomunale

6.3	Modello "Riola - Canterino - Leprone - Prato" .....	65
6.3.1	Tratti dei corsi d'acqua modellati .....	65
6.3.2	Scabrezze.....	65
6.3.3	Durate critiche e durate simulate.....	66
6.3.4	Schema planimetrico.....	67
6.4	Modello "Pescaia – Basso – S.Giovanni" .....	68
6.4.1	Tratti dei corsi d'acqua modellati .....	68
6.4.2	Scabrezze.....	68
6.4.3	Durate critiche e durate simulate.....	69
6.4.4	Schema planimetrico.....	69
<b>7</b>	<b>Perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica e a diversa "magnitudo" .....</b>	<b>70</b>
<b>8</b>	<b>Carta dei battenti e Carta delle aree presidiate da sistemi arginali.....</b>	<b>72</b>
<b>9</b>	<b>Criteri che hanno condotto all'individuazione dei corsi d'acqua, appartenenti al reticolo idrografico di cui all'art.22 lett. e) della L.R. 79/2012, da sottoporre ad analisi idrologico idraulica .....</b>	<b>73</b>
9.1	UTOE 1 Lucignano .....	74
9.2	UTOE 2 Santa Maria.....	75
9.3	UTOE 3 La Croce, Padule, Pianello,.....	78
9.4	UTOE 4 Pieve Vecchia .....	80
9.5	Ulteriori corsi d'acqua oggetto di studio non interferenti con il perimetro del territorio urbanizzato ricadenti nel comune di Lucignano.....	81
9.6	UTOE 6 Marciano .....	82
9.7	UTOE 7 Cesa, Cesa area produttiva, via Cassia, Pescaia .....	83
9.8	UTOE 8 Badicorte, Crocodile .....	84
<b>10</b>	<b>Considerazioni conclusive .....</b>	<b>86</b>

- **Doc.G02a** (SU DVD-ROM) - Outputs grafici e numerici delle simulazioni effettuate in regime di moto vario con il software Hec-Ras



## 1 Introduzione

La presente relazione documenta ed illustra lo studio idrologico – idraulico redatto per conto dei comuni di Lucignano e Marciano della Chiana a supporto del Piano Strutturale Intecomunale, così come aggiornato a seguito delle richieste di integrazione espresse dal Settore Genio Civile Valdarno Superiore della Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile della Regione Toscana. In particolare, rinviando ai paragrafi successivi per ulteriori dettagli, si precisa quanto segue:

- è stata prodotta la “Carta delle aree presidiate da sistemi arginali” (elaborato G15) per l'applicazione dell'art. 14 della L.R. 41/2018, contenente anche l'individuazione della fascia dei 10 metri dai corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico di cui all'art. 22, lett. e) della L.R. 79/2012;
- sono state realizzate la “Carta dei battenti” (elaborato G13) e la “Carta della magnitudo idraulica” (elaborato G14), necessarie all'applicazione della L.R. 41/2018;
- le classi di pericolosità idraulica sono state definite conformemente a quelle indicate dalla L.R. 41/2018;
- sono state valutate e giustificate le condizioni al contorno dei tratti studiati in relazione ai possibili effetti di rigurgito dei corsi d'acqua recettori. In particolare:
  - a) nel modello numerico denominato “BLM” (vedi Tabella 1-1) è stato implementato il torrente Esse e sono stati estesi i tratti studiati dei corsi d'acqua Scerpella, Gorgo e Vescina fino alla loro immissione nel torrente Esse stesso;
  - b) nel modello numerico denominato “BLV” (vedi Tabella 1-1) è stato esteso il fosso delle Prata fino alla confluenza con il torrente Foenna, i cui livelli di piena (desunti dagli studi idrologici idraulici redatti a supporto del R.U. del Comune di Torrita di Siena e che hanno ottenuto l'esito positivo del controllo da parte della struttura regionale competente) sono stati utilizzati come condizione al contorno di valle;
  - c) nel modello numerico denominato “RIO” (vedi Tabella 1-1) oltre al rio Canterino e fosso della Riola sono stati implementati anche il torrente Leprone e il rio di Prato;
  - d) nel modello numerico denominato “PES” (vedi Tabella 1-1) non è stato necessario modificare le condizioni al contorno in quanto il dominio di studio risulta posto a quote pari o superiori alle quote del prospiciente coronamento arginale in sinistra idrografica del Canale Maestro della Chiana, che costituisce il corpo idrico recettore;



- l'estensione dei modelli idraulici descritta al punto precedente, la definizione del perimetro di studio (denominato anche “dominio di studio” negli elaborati grafici), nonché quanto descritto ai § 7 e 9 della presente relazione costituisce risposta alla richiesta di *valutare e giustificare l'assenza di studi su corsi d'acqua limitrofi a quelli indagati che insistono sulle stesse aree di fondovalle soggette ad allagamento in quanto potrebbero modificare anche significativamente le perimetrazioni proposte;*
- le motivazioni che hanno condotto ad individuare, nell'ambito del reticolo idrografico regionale di cui alla L.R. 79/2012, i corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica sono descritte al § 9 della presente relazione;
- è stata predisposta, al § 4 della presente relazione, un'accurata descrizione in cui sono indicate le portate idrologiche afferenti ai corsi d'acqua e l'ubicazione delle sezioni di ingresso di tali idrogrammi.

In particolare, suddividendo il territorio di interesse in Bacini “Marciano” (BM, afferenti al Canale Maestro della Chiana e compresi nel comune di Marciano della Chiana) e Bacini “Lucignano” (BL, afferenti al Torrente Esse ed al Torrente Foenna e compresi nel comune di Lucignano), sono state condotte analisi e verifiche di sussistenza del rischio idraulico di allagamento in relazione alle previsioni del nuovo P.S.I. in prossimità dei seguenti corsi d'acqua, appartenenti al reticolo idrografico e di gestione individuato dalla Regione Toscana con L.R. 79/2012 così come aggiornato con delibera di Consiglio 20/2019:

<b>BACINI MARCIANO (BM)</b>	
<b>LE</b>	Torrente Leprone
<b>RI</b>	Fosso della Riola
<b>CA</b>	Rio del Canterino
<b>PO</b>	Fosso di Prato
<b>SG</b>	Rio di San Giovanni
<b>aSG</b>	Affl. Rio di S. Giovanni (AV30937)
<b>BA</b>	Rio del Basso
<b>PE</b>	Rio Pescaia
<b>BACINI LUCIGNANO (BL)</b>	
<b>ES</b>	Torrente Esse
<b>FO</b>	Fossatone – AV 33938
<b>VE</b>	Torrente Vescina
<b>SC</b>	Torrente Scerpella
<b>GO</b>	Rio del Gorgo
<b>FO</b>	Fossatone – AV 37094
<b>PR</b>	Fosso delle Prata
<b>CR</b>	Croce

## 1.1 Criteri operativi e obiettivi dello studio

Il presente studio idrologico-idraulico, conformemente a quanto prescritto dal quadro normativo di riferimento descritto nei paragrafi seguenti, si è posto l'obiettivo di valutare l'effettivo livello di rischio idraulico sussistente allo stato attuale nelle aree interessate da previsioni urbanistiche in relazione ai potenziali fronti di esondazione del reticolo idrografico circostante per eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni.

Per poter redigere le carte delle aree allagabili, è stato necessario valutare preliminarmente gli idrogrammi di piena attesi nei tratti dei corsi d'acqua esaminati corrispondenti ad eventi meteorici estremi (rispettivamente con tempo di ritorno trentennale e duecentennale) di durata critica tale da massimizzare la portata al colmo nelle sezioni di interesse. L'ambito di studio è rappresentato in Figura 1-1. Lo studio è corredato di una specifica analisi idrologica dei bacini idrografici di interesse, ad eccezione dei corsi d'acqua torrente Leprone, fosso della Riola, Rio del Canterino e Rio di San Giovanni, per i quali sono state utilizzate le analisi idrologiche condotte dagli scriventi a supporto del R.U. del comune di Monte San Savino.

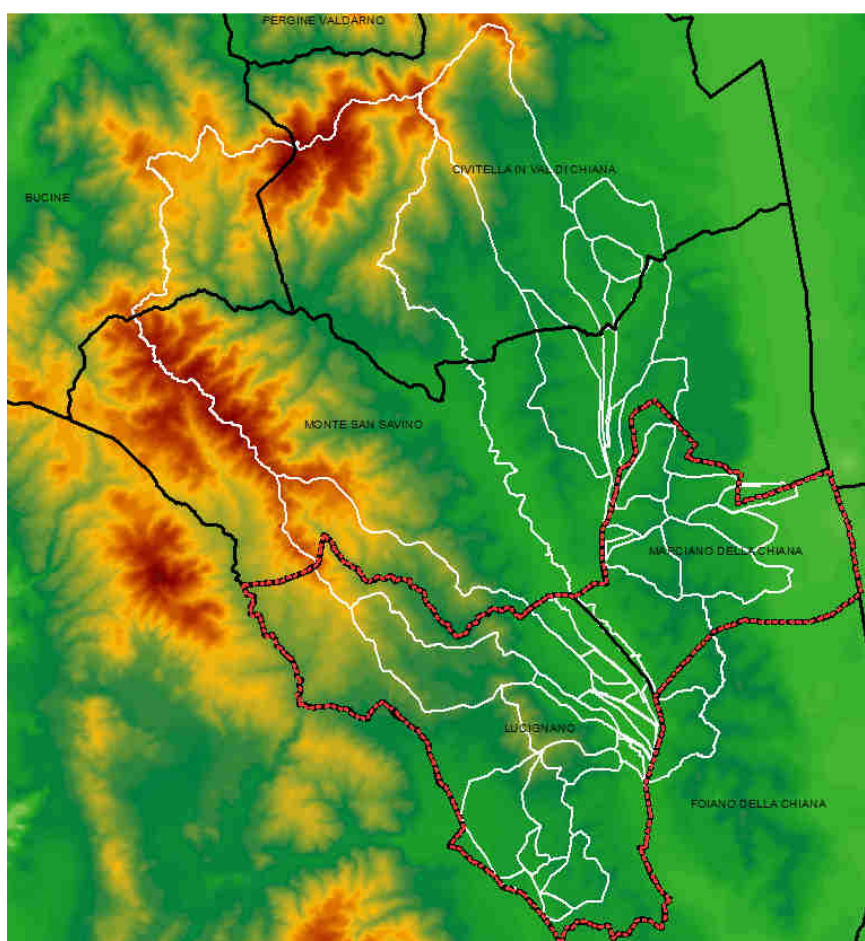


Figura 1-1: Ambito idrologico analizzato nel presente studio (in bianco i bacini idrografici investigati).





A seguito dell'analisi idrologica, sono state effettuate le simulazioni idrauliche inerenti agli eventi di piena considerati mediante l'allestimento dei seguenti modelli matematici di propagazione dell'onda di piena, in alveo ed extra-alveo, in regime di moto vario:

Tabella 1-1: modelli numerici di propagazione delle piene implementati con il software Hec-Ras v. 5.0.6

COMUNE	SIGLA	MODELLO HEC-RAS
Lucignano	BLM	Scerpella_Vescina_Fossatone_Gorgo_Esse
	BLV	Prata_Fossatone_Croce
Marciano	RIO	Riola_Canterino_Leprone_Prato
	PES	Pescaia_Basso_San Giovanni

Si rimanda alla specifica sezione della presente relazione per la descrizione di ciascun modello idraulico implementato.

Per le analisi idrauliche è stato utilizzato il software HEC-RAS vers. 5.0.6, nella opzione relativa al regime di moto vario, con schematizzazione accoppiata 1-D in alveo e puramente 2-D extra-alveo, in modo da poter valutare opportunamente gli effetti di laminazione delle portate di piena legati alle aree di naturale esondazione del corso d'acqua, nonché perimetrare le aree allagabili.

La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni (definite dalla L.R. 41/2018 come “*aree a pericolosità per alluvioni frequenti*”) e minore o uguale a 200 anni (definite come “*aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti*”), nonché delle aree a diversa “*magnitudo idraulica*” (combinazione del battente e della velocità della corrente associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti, definita nella L.R. 41/2018), è stata infine condotta con strumenti CAD/GIS sulla base dei risultati raster forniti direttamente dal modulo RAS Mapper del software HEC-RAS.

Giova comunque precisare che la procedura adottata ha assunto alcune irrinunciabili ipotesi di lavoro circa la non trattazione di fenomeni collaterali che possono aver luogo contestualmente agli eventi di piena, ma aventi carattere di ulteriore eccezionalità rispetto al mero evento idrologico estremo.

In sostanza si assumono ipotesi di regolare operatività e comportamento della rete drenante, forzate dall'imponderabilità spaziale e temporale dei casi di anomalo funzionamento delle difese o delle altre infrastrutture idrauliche coinvolte, o addirittura di



totale perdita di funzionalità (distruzione) delle stesse. Eventi, questi, che peraltro, non essendo in generale obbligatoriamente causati dal mero accadimento dell'evento meteorologico estremo, se considerati avvenire contestualmente ad esso determinerebbero una sicura diminuzione della probabilità congiunta dell'evento combinato<sup>1</sup> portando a risultati, in termini di allagabilità e di tiranti idraulici, corrispondenti in realtà ad eventi più rari di quelli di riferimento imposti dalla normativa. In ragione delle suddette considerazioni si assume dunque che:

- a) le strutture idrauliche di contenimento (argini, muri di sponda, ecc.) siano considerate tracimabili ma senza collasso della struttura. Analogamente non si considerano fenomeni di collasso dovuti a processi di mobilità dell'alveo o a moti di filtrazione;
- b) per altre strutture di contenimento non idrauliche (rilevati stradali e ferroviari), non è previsto il collasso anche in caso di tracimazione, valutandone nel contempo il grado di permeabilità macroscopico dovuto agli attraversamenti;
- c) si esclude la possibilità di ostruzione delle opere d'arte interferenti per trasporto in flottazione;
- d) non si considera l'influenza di allagamenti o ristagni dal reticolo scolante minore o da altri sistemi di drenaggio.

---

<sup>1</sup> Ad esempio: piena e collasso arginale; piena e occlusione della luce di un ponte; piena e frana che limita una sezione di deflusso; ecc.





## 2 Quadro normativo di riferimento

L'attività conoscitiva, di verifica e prescrittiva, sviluppata nel seguente lavoro è stata uniformata al quadro normativo di riferimento vigente a livello nazionale e regionale ed in particolare alle seguenti norme:

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale di cui alla Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 49/2010, approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016;
- L.R. 41 del 24/07/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014";
- D.P.G.R. del 25 Ottobre 2011, n. 53/R. "Regolamento di attuazione dell'art.62 della L.R. 3 Gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.



### 3 Analisi idrologica

#### 3.1 Considerazioni generali circa la stima degli idrogrammi di piena

Per individuare la pericolosità idraulica è stato necessario preliminarmente valutare gli idrogrammi di piena di riferimento per i corsi d'acqua elencati in premessa (analisi "idrologica").

Come meglio specificato nei paragrafi seguenti, gli idrogrammi stimati con riferimento ai tempi di ritorno 30 e 200 anni sono stati utilizzati come input idrologico nei successivi modelli di simulazione numerica delle correnti di piena.

La stima degli idrogrammi di progetto associati ai diversi tempi di ritorno per i bacini idrografici in esame, che risultano essere non strumentati, è stata eseguita mediante una modellistica idrologica afflussi-deflussi di tipo semidistribuito e considerando valida l'ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento. In particolare, la trasformazione afflussi-deflussi, a meno del deflusso di base ritenuto trascurabile, viene descritta da un approccio idrologico costituito da tre componenti in serie: un modello di infiltrazione basato sul metodo SCS-CN, due modelli di formazione della piena basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH) adimensionale e sul metodo cinematico ed, infine, il modello di Muskingum-Cunge (Cunge, 1969) per il trasferimento dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua.

I passi per determinare l'idrogramma di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno sono:

- stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP);
- ragguaglio all'area delle LSPP;
- determinazione dello ietogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima della pioggia effettiva;
- stima della portata di progetto.

Di seguito verranno analizzati i seguenti elementi:

- a) **Definizione degli afflussi meteorici:** determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (LSPP) e operazione di ragguaglio all'area;
- b) **Determinazione dello ietogramma di progetto:** scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- c) **Stima delle perdite idrologiche:** determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno (perdite), con la conseguente determinazione della pioggia effettiva (o pioggia netta) che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- d) **Trasformazione afflussi-deflussi:** schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.
- e) **Propagazione delle onde di piena:** modellazione del fenomeno di trasferimento dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.

### 3.2 Definizione degli afflussi meteorici

La forzante data dall'evento meteorico è schematizzata attraverso uno ietogramma sintetico ad intensità costante nel tempo e nello spazio, la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento delle serie storiche reali alla distribuzione TCEV ("Two Components Extreme Value").

Dette curve sono espresse, per ciascun tempo di ritorno, nella classica equazione di forma monomia nella quale l'altezza di pioggia totale  $h$  [mm] è espressa in funzione della durata  $d$  [ore] dell'evento:

$$h = a \cdot d^n$$

dove i parametri  $a$  e  $n$  sono desunti dallo studio promosso dalla Regione Toscana con DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, con il quale si è provveduto ad aggiornare l'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze). I dati pluviometrici sono liberamente consultabili nel sito della Regione Toscana nella sezione dedicata alla Difesa del Suolo

(Figura 3-1). Ad oggi le nuove LSPP sono state ricavate per durate di precipitazione  $d \geq 1$  ora ma, secondo le indicazioni fornite dagli estensori dello studio, sono estrapolabili con buona attendibilità fino a  $d \geq 0.5$  ore.



Figura 3-1: Sezione del sito della Regione Toscana dedicato ai nuovi dati di regionalizzazione delle precipitazioni.

Dal sito della Regione Toscana è possibile scaricare l'andamento spaziale dei parametri  $a$  e  $n$  con griglia di 1 km x 1 km per ciascuno dei tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni, desunto a partire dall'analisi TCEV delle altezze di pioggia osservate. I risultati resi disponibili in formato ASCII Grid. La Figura 3-2 mostra, a titolo di esempio, le griglie dei parametri  $a$  e  $n$  per il tempo di ritorno di 200 anni nell'intera regione.

I valori delle altezze di pioggia così calcolati sono validi, a rigore, solo per precipitazioni estreme puntuali, essendo stati calibrati a partire dai dati puntuali di pioggia (le LSPP sono tarate sulla base dei massimi annui misurati puntualmente in una determinata stazione pluviometrica).

All'aumentare dell'area interessata dalla precipitazione la probabilità di ottenere un'intensità media dell'evento estremo pari a quella puntuale diminuisce sensibilmente, soprattutto per eventi brevi che sono tendenzialmente più localizzati. Solitamente risulta quindi opportuno introdurre un coefficiente riduttivo da applicare alle altezze di pioggia che

prende il nome di coefficiente di ragguaglio areale, tuttavia nel presente studio si è cautelativamente assunto di non introdurre il predetto coefficiente.

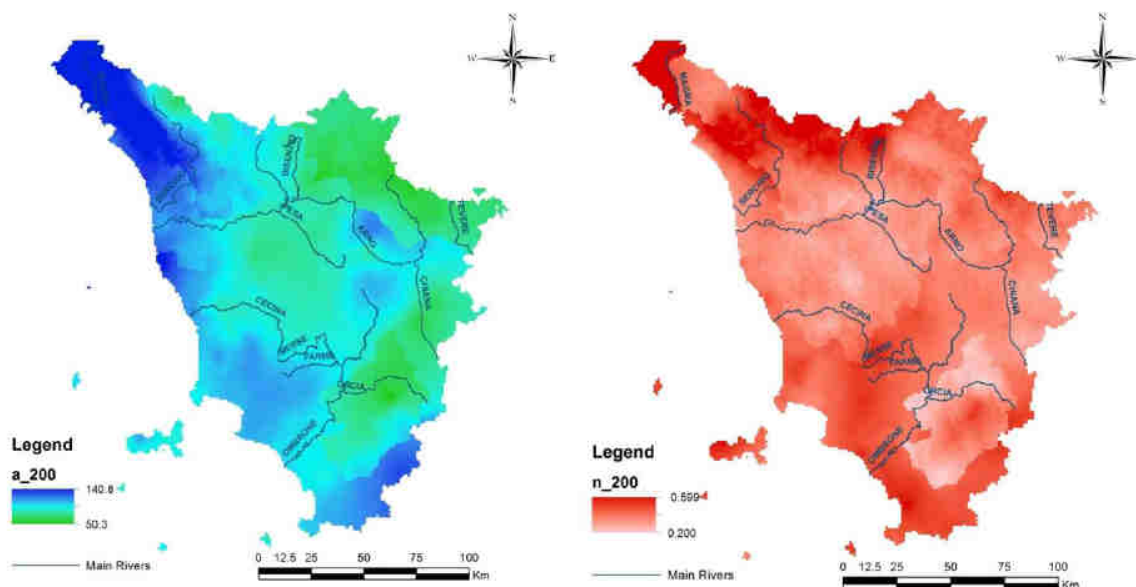


Figura 3-2: Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (a sinistra) e "n" (a destra) della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

Per poter stimare gli afflussi meteorici sono stati innanzi tutto individuati i bacini idrografici (in particolare i sottobacini e gli interbacini del modello idrologico semidistribuito che sarà descritto in seguito) separati dalle linee di spartiacque desunte dal modello digitale del terreno.

Successivamente, l'analisi dei dati pluviometrici regionali precedentemente descritti ha portato gli scriventi a individuare porzioni di territorio omogenee, rappresentate graficamente in Figura 1-1. Sono stati quindi calcolati, per ciascuna area omogenea e per i tempi di ritorno investigati (30 e 200 anni), i valori dei parametri  $a$  e  $n$  delle LSPP.

Nella tabella seguente si riportano i parametri delle curve di possibilità pluviometrica caratteristici dei macro-bacini di interesse.

Tabella 3-1: parametri delle curve di possibilità pluviometrica impiegate nel modello idrologico

Zona omogenea	TR 30 anni ( $d > 0.5$ ore)		TR 200 anni ( $d > 0.5$ ore)	
	$a$	$n$	$a$	$n$
Marciano	47.804	0.2405	66.4928	0.304
Lucignano (monte)	52.9851	0.2499	73.6991	0.3134
Lucignano (valle)	48.0824	0.2346	66.8795	0.2980



### 3.3 Determinazione dello ietogramma di progetto

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma (durata critica) nonché della distribuzione temporale degli spessori di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica areale.

La durata critica della pioggia viene determinata individuando quella la cui portata al colmo con assegnato tempo di ritorno,  $T_r$ , sia la maggiore tra le portate al colmo determinate da tutti gli eventi di pioggia a intensità costante ricavati dalla linea di possibilità pluviometrica areale. E' possibile determinare la durata critica utilizzando diverse metodologie in funzione della modellistica afflussi-deflussi impiegata. In particolare, nel caso dei metodi empirici tradizionali che si basano sul metodo razionale tale durata è data dal tempo di corrivazione del bacino, mentre nel caso di uso di modelli idrologici in grado di descrivere la trasformazione afflussi-deflussi, essa può essere stimata mediante un insieme di simulazioni. Nel presente studio è stato seguito il secondo approccio, utilizzando il primo, per una prima stima attorno alla quale determinare il corretto valore di durata critica.

In particolare, sulla base del concetto di evento critico, la determinazione della durata critica mediante simulazione idrologica consiste nell'effettuare un insieme di simulazioni con un modello afflussi-deflussi avente come dati di ingresso una serie di ietogrammi di pioggia di durata crescente, ottenuti distribuendo in modo uniforme nel tempo lo spessore di pioggia ricavato dalla LSPP areale relativa ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare della durata dell'evento, si ottengono idrogrammi di piena il cui picco assume valori crescenti fino ad un valore massimo, per poi decrescere. La durata dell'evento che corrisponde all'idrogramma con il massimo valore della portata di picco viene assunta come durata critica.

A titolo di esempio, vengono di seguito riportati i risultati delle simulazioni effettuate per un generico bacino idrografico, considerando, a parità di tempo di ritorno, ietogrammi di pioggia uniforme di differenti durate. Come si può vedere dalla Figura 3-3, la durata che massimizza la portata al colmo è quella pari a 1 ora che pertanto è assunta come durata critica del bacino.

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e



quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi (Maione, 1977). Per effettuare tale stima, è stato applicato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (1972).

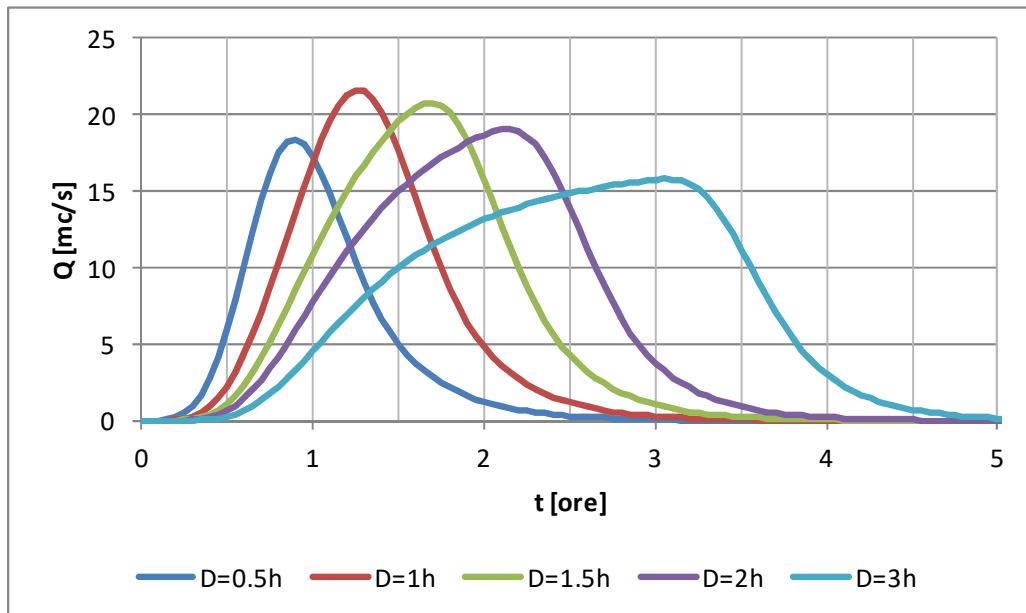


Figura 3-3: Simulazioni con ietogramma costante e diverse durate per la scelta della durata critica di un generico bacino idrografico

Mentre per valutare l'officiosità idraulica di un corso d'acqua la principale grandezza idraulica di riferimento è costituita dalla massima portata al colmo, per la stima delle aree allagabili la principale grandezza idraulica di riferimento è rappresentata dai massimi volumi di esondazione, che non necessariamente si hanno per la durata critica ma che possono aversi per durate di precipitazione superiori. Per tener conto di tale aspetto, i modelli numerici sono stati sollecitati sia con idrogrammi di piena corrispondenti ad eventi meteorici aventi durata pari a quella critica (per massimizzare le portate al colmo) sia con idrogrammi corrispondenti a durate di pioggia superiori fino al doppio della durata critica, procedendo quindi alla perimetrazione delle aree allagabili basata sull'involuppo degli scenari analizzati.

### 3.4 Stima delle perdite idrologiche mediante il metodo del Curve Number

La stima delle perdite idrologiche è stata effettuata con il metodo del Curve Number del SCS (*Soil Conservation Service*).

Questo metodo considera il deflusso superficiale come differenza fra le precipitazioni e le perdite, dove in queste ultime si inglobano, oltre alle perdite per infiltrazione, anche quelle per intercettazione da parte delle piante, quelle per accumulo sulle depressioni



superficiali e quelle per l'imbibizione iniziale del terreno. L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume defluito ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, in ogni istante, uguale al rapporto fra il volume infiltrato ed il volume massimo teorico delle perdite:

$$\frac{P_e}{P - I} = \frac{F_a}{S}$$

dove  $P_e$  è la precipitazione efficace per il deflusso,  $P$  la precipitazione lorda,  $I_a$  le perdite iniziali,  $F_a$  il volume specifico infiltrato ed  $S$  il volume specifico di saturazione del terreno. L'equazione di continuità si può riscrivere per questo modello come segue:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

nella quale le perdite iniziali (o *Initial Abstraction*) è possibile stimarle in funzione del volume specifico di saturazione tramite la relazione:

$$I_a = \beta \cdot S$$

dove si pone normalmente  $\beta = 0.2$ . Dalla combinazione delle due equazioni di continuità precedentemente scritte si ottiene l'espressione della precipitazione efficace:

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

nella quale il volume specifico di saturazione  $S$  dipende dalla natura geologica del terreno e dall'uso del suolo, caratteristiche esprimibili in funzione del coefficiente Curve Number  $CN$  secondo la relazione:

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

Il coefficiente  $CN$  può assumere valori compresi tra 0 (suolo completamente permeabile) e 100 (suolo completamente impermeabile) ed è stimabile tramite delle tabelle elaborate dalla US Soil Conservation Service a partire dalle caratteristiche geologiche, di uso del suolo e del livello di umidità antecedente l'inizio delle precipitazioni. Quest'ultimo fattore è schematizzabile in tre condizioni: terreno ben asciutto ( $CN I$ ), terreno mediamente umido ( $CN II$ ) e terreno molto umido ( $CN III$ ).

Nel modello idrologico dei corsi d'acqua del comune di Marciano sono state assunte condizioni iniziali di umidità del terreno intermedie ( $CN II$ ), mentre nei modelli implementati nel territorio comunale di Lucignano sono state assunte condizioni iniziali di suolo fortemente imbibito ( $CN III$ ). Le predette assunzioni forniscono portate al colmo



confrontabili con quelle stimate nei precedenti studi idrologico-idraulici di supporto ai vigenti strumenti urbanistici comunali (così come illustrato al § 4.6).

### **3.4.1 Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per i bacini idrografici in esame**

La determinazione del parametro di assorbimento CN (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972) è stata raggiunta attraverso l'analisi degli aspetti litologici, pedologici, vegetazionali e di uso del suolo del bacino.

Per la determinazione del CN si è utilizzato lo shape file predisposto per l'intero territorio regionale dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli studi di Firenze (DICEA, referente Prof. Fabio Castelli), liberamente consultabile all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>.

Nel caso in cui nel bacino siano presenti differenti tipi di terreno o questo sia utilizzato in differenti modi, si ricorre ad un valore medio di CN. Come suggerito da Mancini e Rosso (1989), si utilizza il valore medio a scala di bacino del parametro S, mediante un'integrazione spaziale dei valori puntuali, anziché un'integrazione dei valori di CN a causa della non linearità dell'equazione che lega i due parametri.

Quindi si ha:

$$\bar{S} = \frac{S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots + S_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (3.6)$$

dove Si rappresenta il valore di S per l'area omogenea Ai

L'andamento spaziale del parametro CN-// nell'area di interesse è rappresentato graficamente in Figura 3-13.

## **3.5 La trasformazione afflussi – deflussi**

### **3.5.1 Il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH)**

Nel vasto panorama dei modelli di formazione dei deflussi, che si propongono di rappresentare matematicamente i processi idrologici che si manifestano in un bacino idrografico descrivendone il comportamento con un operatore che lega la funzione di distribuzione temporale delle piogge effettive (ingresso al sistema) ed il corrispondente idrogramma dei deflussi diretti (risposta del sistema), è stata scelta la metodologia basata sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH). Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e

stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$  variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

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

dove  $p(t)=A i(t)$  è la portata di afflusso meteorico al generico tempo  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo).

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui il metodo dell'invaso lineare, il metodo di Nash, il metodo geomorfologico oppure facendo ricorso all'idrogramma unitario del SCS.

#### **3.5.1.1 L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS)**

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità. Questo IUH presenta il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco; inoltre, i valori della portata di picco e dell'istante  $T_p$  sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base  $2.67 T_p$  (Figura 3-4).

Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS per è necessario specificare il tempo di ritardo  $T_l$  del bacino idrografico, che può essere valutato separatamente mediante relazioni empiriche valide per l'area in esame oppure, in assenza di esse, a partire dal tempo di corrivazione secondo la relazione:

$$T_l = \frac{3}{5} T_c$$

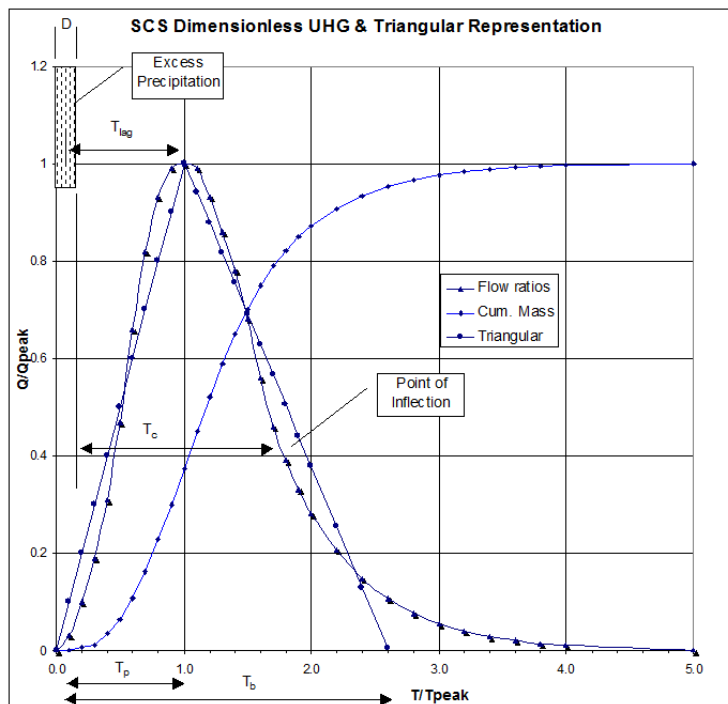


Figura 3-4: IUH-SCS

### 3.5.2 Il Metodo Cinematico (Kinematic Wave)

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale. Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale (*overland flow planes*) e canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari (Figura 3-5).

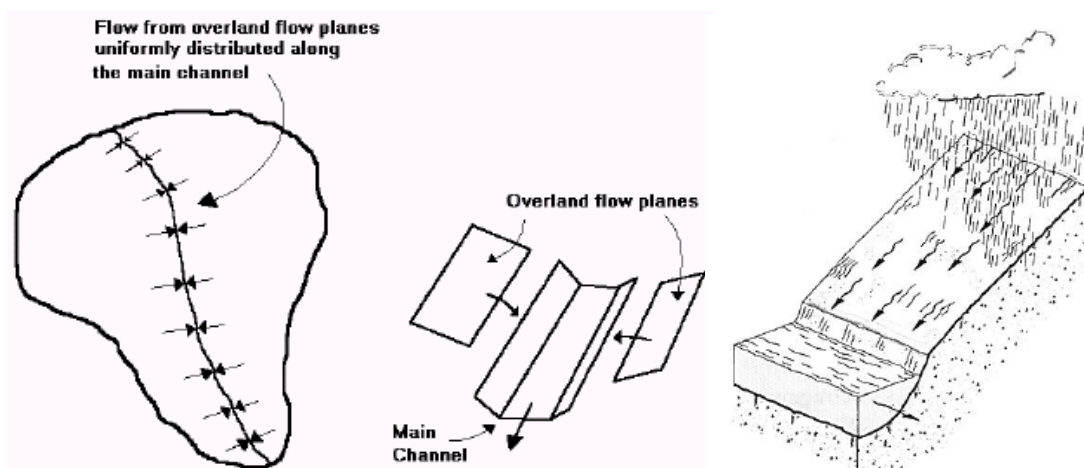


Figura 3-5: schematizzazione cinematica di un interbacino in canali e aree di drenaggio

L'equazione che modella il fenomeno di trasferimento della massa liquida sia sui versanti che nell'alveo del corso d'acqua è l'equazione dell'onda cinematica:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \alpha m A^{(m-1)} \frac{\partial A}{\partial x} = q$$

dove  $A$  è l'area liquida della sezione di deflusso,  $q$  la portata continua in ingresso lungo l'ascissa  $x$  del corso d'acqua,  $a$  ed  $m$  due parametri univocamente determinati dalla geometria e dalla scabrezza della sezione di deflusso, essendo per ipotesi, nel metodo cinematico,  $Q = aA^m$ .

Il coefficiente di scabrezza di Manning relativo al moto sui versanti è maggiore rispetto quello utilizzato negli alvei naturali e può essere ricavato da specifiche tabelle disponibili in letteratura.

### 3.5.3 La propagazione delle onde di piena

Una onda di piena che percorre un corso d'acqua viene laminata per effetto degli attriti e dei fenomeni di invaso nell'alveo e nelle zone golenali.

Il tempo di percorrenza e le caratteristiche di laminazione della portata al colmo variano a seconda del tipo di corso d'acqua considerato. In particolare, il processo di propagazione dipende dalla pendenza, dalla lunghezza del tratto, dalla scabrezza e dall'altezza d'acqua. In generale lo studio della propagazione dei deflussi può essere effettuato mediante:

- **modelli idraulici**, basati sulle equazioni di De Saint Venant , in forma completa o semplificata.
- **modelli idrologici**, basati sull'equazione di continuità e su relazioni tra portata e volumi liquidi invasati in un dato tratto di un corso d'acqua.

#### 3.5.3.1 Il Metodo di Muskingum

Nel presente metodo l'invaso in un tratto di corso d'acqua viene considerato come somma di un termine di immagazzinamento prismatico e di un termine di immagazzinamento a cuneo. Durante la fase di crescita della portata defluente l'invaso a cuneo è positivo e viene aggiunto all'invaso prismatico, mentre durante la fase calante dell'onda di piena l'invaso a cuneo è negativo e viene sottratto dall'invaso prismatico.

Nel metodo di Muskingum si pone:

$$V = K[XQ_i + (1 - X)Q_u]$$

dove  $Q_i$  rappresenta la portata in ingresso,  $Q_u$  la portata in uscita,  $K$  il tempo che impiega l'acqua a propagarsi nel tratto di corso d'acqua in esame (cioè tra la sezione di monte e quella di valle) ed  $X$  è un fattore peso, variabile tra 0 e 0.5. Generalmente i valori di  $X$  sono prossimi a 0 per canali con ampie aree golenali, prossimi a 0.5, invece, per canali a forte pendenza. Valori tipici di  $X$  sono compresi tra 0.2 e 0.3.

### 3.5.3.2 Il Metodo di Muskingum-Cunge

Il metodo di Muskingum-Cunge è basato sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant. Cunge (1969) dimostrò che quando  $K$  e  $\Delta t$  sono assunti come costanti, rappresentano un'approssimazione dell'equazione dell'onda cinematica, ed in particolare dell'equazione di diffusione del momento. Definita  $c$  la celerità di traslazione dell'onda corrispondente a  $Q$  e  $B$  ( $c = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt}$ ) dove  $B$  è la larghezza dell'alveo in superficie ed  $A$  l'area liquida, i coefficienti del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua mediante le relazioni:

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad X = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right)$$

in cui  $\Delta x$  è l'intervallo di discretizzazione spaziale,  $\Delta t$  il passo temporale di calcolo e  $S_0$  la pendenza di fondo.

## 3.6 Stima della portata di progetto, analisi preliminari e scelta del modello idrologico

La scelta del tipo di schematizzazione per rappresentare la risposta di un bacino idrografico sollecitato da un evento meteorico è condizionata sia dall'obiettivo dell'analisi che si vuole effettuare sia dalla disponibilità dei dati. Le metodologie comunemente utilizzate per rappresentare la trasformazione afflussi-deflussi possono essere distinte in relazioni matematiche e modelli matematici. Le relazioni matematiche, nelle quali il tempo non compare come variabile, sono comunemente usate quando non è necessario descrivere l'andamento temporale delle grandezze. I modelli matematici, viceversa, si usano quando le quantità in gioco sono funzioni del tempo e non è possibile trascurare l'influenza esercitata sui valori di una grandezza da quelli che la stessa ha assunto in precedenza.

### 3.6.1 Relazioni matematiche

Le relazioni matematiche forniscono solo alcune caratteristiche dell'idrogramma di progetto quali l'istante della portata al colmo, la portata al colmo o la durata. I vari metodi utilizzati nella pratica idrologica per la schematizzazione della trasformazione afflussi-deflussi si basano su alcune ipotesi semplificative che sono quelle su cui si fonda il metodo razionale e, in particolare, sono:

- per un fissato tempo di ritorno il massimo della portata al colmo di piena è prodotto dall'evento di pioggia, uniforme nello spazio e nel tempo, ricavato dalla corrispondente curva di possibilità pluviometrica ed avente una durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco dell'idrogramma di piena si osserva all'istante in cui cessa la pioggia;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione della piena nel bacino ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di significativi invasi.

Tra le varie relazioni matematiche, si ricorda quella di Ghirardelli che assume l'idrogramma di piena di forma triangolare, con tempo di risalita e di discesa pari al tempo di corrivazione. Il valore della portata al colmo è quindi dato da:

$$Q_c = \frac{1}{3.6} \frac{EA}{T_c}$$

dove  $E$  è la pioggia areale netta, denominata anche eccesso di pioggia, espressa in mm;  $T_c$  è il tempo di corrivazione, espresso in ore; e  $A$  è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>.

Nel caso di bacini idrografici strumentati, se si dispone delle osservazioni relative ad alcuni idrogrammi di piena salienti, il calcolo del tempo di corrivazione,  $T_c$ , può essere effettuato mediante l'idrogramma di pioggia effettiva e l'idrogramma di deflusso diretto. In particolare, i metodi di stima più ricorrenti per  $T_c$  sono (Singh, 1988):

- il tempo che intercorre tra il centroide della pioggia effettiva e il punto di inflessione del ramo decrescente dell'idrogramma di portata diretta;
- il tempo tra la fine della pioggia effettiva e il punto di inflessione del ramo decrescente dell'idrogramma di portata diretta.



Per bacini idrografici non strumentati, invece, la stima del tempo di corrivazione dipende da relazioni empiriche che esprimono il legame tra  $T_c$  ed alcune grandezze caratteristiche del bacino di facile determinazione. Tra le relazioni empiriche maggiormente utilizzate, ricordiamo la formula di Giandotti (1934), ricavata attraverso dati relativi a diversi bacini italiani (Dora Baltea, Trebbia, Taro, Panaro, Reno Tevere, Arno, Po), che stima  $T_c$  in ore come:

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$$

con  $A$  area del bacino in  $\text{km}^2$ ,  $L$  lunghezza dell'asta fluviale principale in km e  $H$  altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura espressa in metri. L'altezza media del bacino può essere stimata mediante un modello digitale del terreno.

Altre formule disponibili per la stima del tempo di corrivazione e ottenute su bacini aventi diverse caratteristiche fisiografiche sono quelle di Kirpich, Viparelli, Pezzoli, Aronica e Paltrinieri, Watt & Chow, Chow, NCRS-Lag method, Tournon, Puglisi e Zanframundo, Fattorelli e Marchi:

- **Kirpich**, analizzando sei piccoli bacini americani di area compresa tra 0.0051 e 0.433  $\text{Km}^2$ , ha ricavato la seguente relazione, successivamente corretta da Rowe e Thomas:

$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore, e  $L$  è la lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, espressa in metri e  $i_a$  è la sua pendenza.

- **Viparelli** calcola il tempo di corrivazione  $t_c$  come il rapporto tra la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che deve seguire la particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura e stabilire una velocità media di trasferimento  $V$  della particella nel suddetto percorso:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

e suggerisce di utilizzare valori della velocità  $V$  caratteristica per correnti di piena variabili tra 1 e 1.3 m/s, specie per corsi d'acqua pedemontani.

- **Pezzoli** propone invece la seguente espressione del tempo di corrivazione, dedotta da misure su piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in Km e  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

- Una formula analoga è quella di **Watt e Chow**, ottenuta utilizzando dati relativi a 44 bacini canadesi di area compresa tra 0.01 e 5840 Km<sup>2</sup> e caratterizzati da valori della pendenza  $i_a$  variabili tra 0.00121 e 0.0978:

$$t_L = a \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b$$

in cui  $t_L$  (tempo di ritardo o Lag) è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in m, e le costanti  $a$  e  $b$  assumono rispettivamente il valore 0.000326 e 0.79.

- **Chow** ha proposto anche la stessa formula con i coefficienti  $a=0.00116$  e  $b=0.64$ , studiando venti piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.0051 e 18.5 Km<sup>2</sup>.
- la formula del **NCRS – Lag method** propone, per bacini con superficie compresa tra 0.004 e 8.1 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{l^{0.8} (S+1)^{0.7}}{0.6 \cdot 1900 \sqrt{i_v}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $l$  è la lunghezza idraulica del bacino espressa in piedi,  $S$  è la ritenzione potenziale espressa in mm e  $i_v$  è la pendenza media dei versanti espressa in percentuale.

- la formula di **Tournon** propone, per bacini con superficie compresa tra 30 e 170 km<sup>2</sup>:

$$T_c = 0.369 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \left( \frac{A \sqrt{i_a}}{L^2 \sqrt{i_v}} \right)^{0.72}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale in km,  $A$  è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>,  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale e  $i_v$  è la pendenza media (m/m) dei versanti.

- **Puglisi e Zanframundo** hanno proposto, per bacini con superficie compresa tra 43 e 94 km<sup>2</sup>:

$$t_c = C_p \frac{L^{2/3}}{d^{1/3}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $d$  è il dislivello dell'asta principale valutato come differenza tra l'altitudine massima del bacino e la quota della sezione di chiusura, espresso in m,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in km, mentre  $C_p$  è una costante numerica pari a 6. **Fattorelli e Marchi**, per bacini con superficie compresa tra 7 e 200 km<sup>2</sup>, hanno applicato la formula pervenendo ad un valore di  $C_p$  pari a 5.13.

### 3.6.2 Modelli matematici

La modellistica idrologica si prefigge di creare modelli matematici di tipo afflussi-deflussi, capaci di riprodurre l'andamento della portata in una o più sezioni del reticolo idrografico di un bacino, in funzione della distribuzione sia spaziale che temporale delle piogge. In letteratura sono descritti differenti tipi di modelli idrologici, che possono essere classificati in funzione della complessità della trattazione del problema (Maione, 1977). Tra questi, i più appropriati per gli scopi del presente studio sono i cosiddetti modelli di piena di tipo concettuale che utilizzano rappresentazioni semplificate dei processi fisici in gioco, che vengono comunque esplicitamente presi in considerazione. Inoltre, tali modelli incorporano parametri che sono fisicamente basati riducendo così l'arbitrarietà in fase di calibrazione del modello stesso. In particolare, essi rappresentano con semplicità le perdite, mentre cercano di descrivere in modo più dettagliato la trasformazione della pioggia netta in portata diretta. Quest'ultima viene assunta pari alla portata totale, poiché in eventi salienti di piena il deflusso di base è tipicamente trascurabile.

Possono essere sviluppati modelli aventi diversi gradi di complessità, da particolarmente semplici a molto dettagliati; tuttavia, per scopi di tipo ingegneristico, è consigliabile l'uso di modelli che rispondano ad alcune particolari esigenze, quali:

- la dipendenza da un numero limitato di parametri, che ne consenta il controllo in fase di calibrazione;

- la semplicità di schematizzazione dei processi fisici, che permetta un'agevole implementazione;
- la sensibilità sufficientemente limitata alla variabilità dei parametri stessi.

I **modelli semi-distribuiti** consentono di soddisfare l'esigenza di impiegare un numero limitato di parametri che ne permetta il controllo in fase di calibrazione e nello stesso tempo utilizzano l'informazione geomorfologica distribuita, la variabilità spaziale delle piogge e delle caratteristiche del suolo, che costituiscono gli aspetti fondamentali nell'analisi della risposta idrologica a scala di bacino. I modelli semi-distribuiti si possono, quindi, considerare come una valida alternativa sia ai modelli a parametri concentrati che incorporano un numero ridotto di parametri a scapito della descrizione dei processi fisici, sia ai modelli distribuiti che, pur effettuando una schematizzazione dettagliata dei fenomeni, restano vincolati a troppi parametri. La scelta è stata quindi dettata dalla necessità di utilizzare un numero limitato di parametri, da stimare attraverso pochi eventi di piena deducibili da bacini "simili" appartenenti alla stessa area geografica, e che sia in grado di fornire gli idrogrammi di piena in qualsiasi sezione del tratto fluviale investigato.

Nel presente studio sono stati allestiti n°4 modelli idrologici di tipo concettuale e semidistribuito, implementati mediante il software americano HEC-HMS ver. 4.2.1, che coprono una superficie complessiva pari a circa 156 km<sup>2</sup>:

- Modello "Marciano",  $S = 4.62 \text{ km}^2$ , n°4 elementi idrologici (Figura 3-6);
- Modello "Lucignano monte",  $S = 25.74 \text{ km}^2$ , n°19 elementi idrologici (Figura 3-7);
- Modello "Lucignano valle",  $S = 7.70 \text{ km}^2$ , n°12 elementi idrologici (Figura 3-8);
- Modello "Esse - Leprone",  $S = 117.83 \text{ km}^2$ , n°4 elementi idrologici (Figura 3-9);

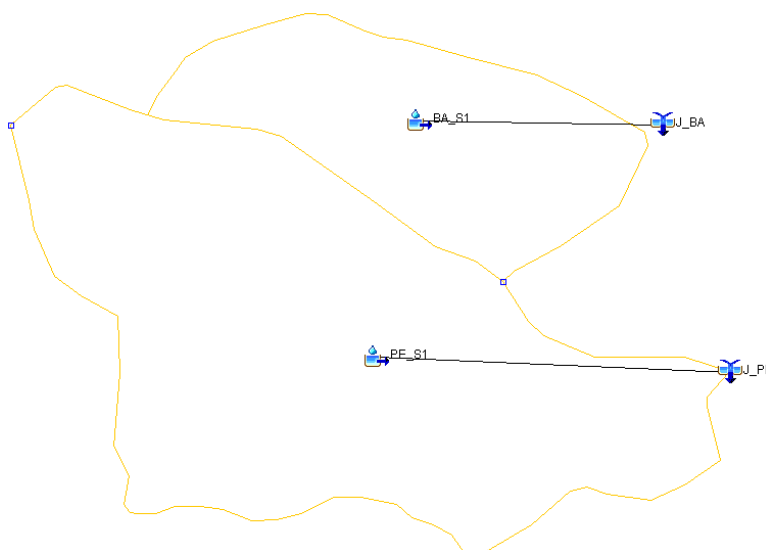


Figura 3-6: Modello idrologico semidistribuito "Marciano", implementato mediante il software HEC-HMS.

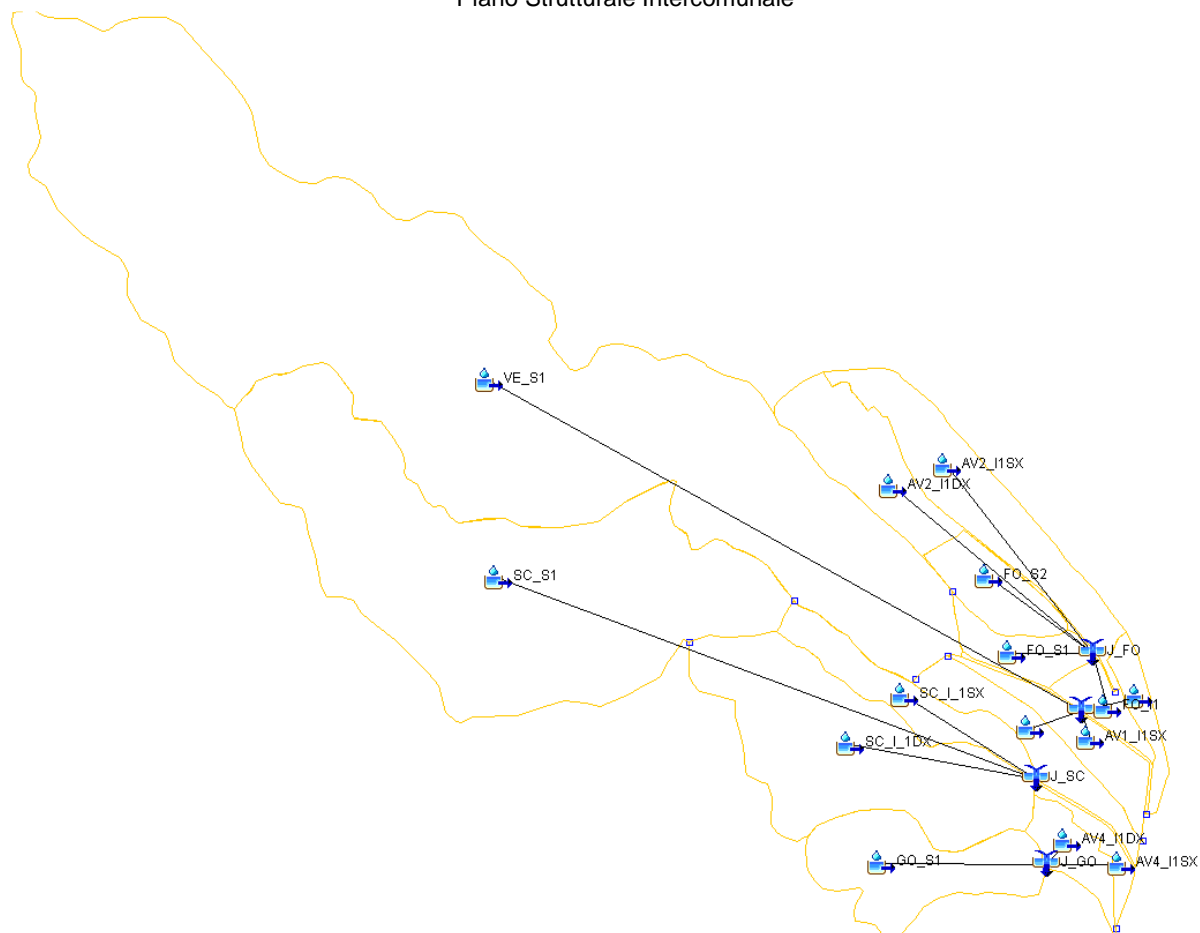


Figura 3-7: Modello idrologico semidistribuito “Lucignano monte”, implementato mediante il software HEC-HMS.

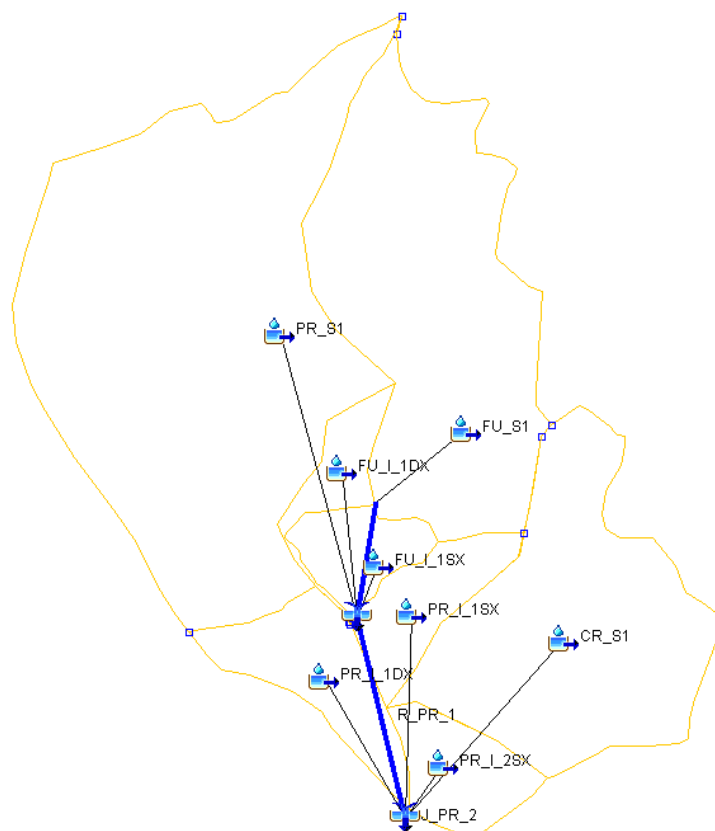


Figura 3-8: Modello idrologico semidistribuito “Lucignano valle”, implementato mediante il software HEC-HMS.

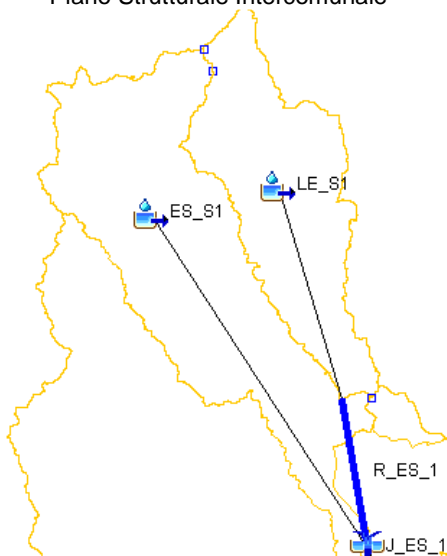


Figura 3-9: Modello idrologico semidistribuito "Esse - Leprone", implementato mediante il software HEC-HMS.

La Figura 3-10 illustra in maniera schematica e concettuale gli elementi del modello e le loro connessioni per il j-esimo segmento fluviale.

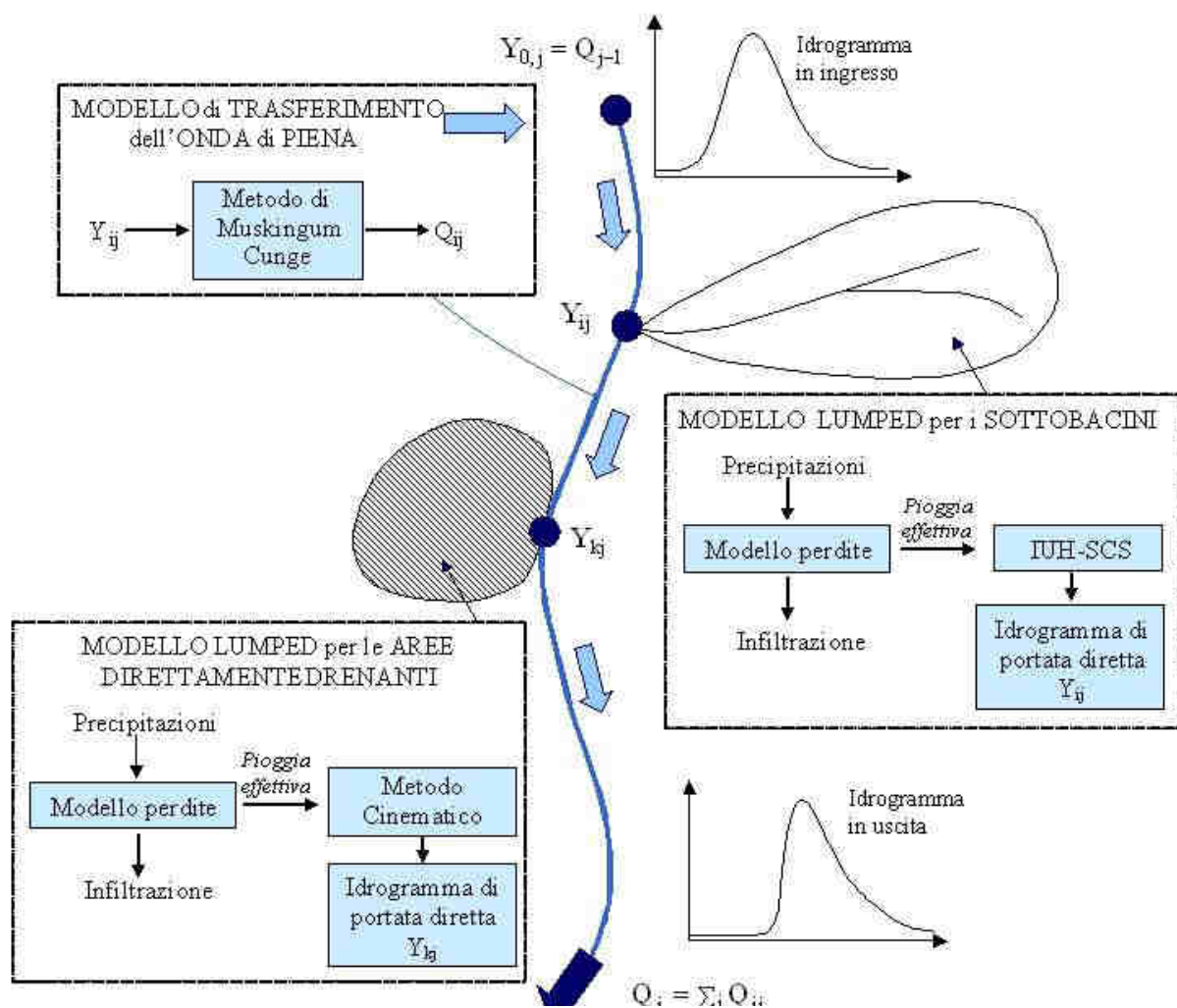


Figura 3-10: Diagramma schematico degli elementi del modello idrologico e delle loro connessioni.



Il modello idrologico scelto è in sintesi un **modello di simulazione dell'evento critico** avente le seguenti caratteristiche:

- dati di pioggia da LSPP Regione Toscana (agg. dati 2012);
- durata critica assunta in prima istanza pari al tempo di corrivazione e infine determinata con procedimento iterativo in modo da massimizzare il valore della portata al colmo;
- riduzione del tasso di pioggia in base alla superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio (riduzione non applicata in via cautelativa);
- ietogramma costante;
- stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN (adottando il CN-II per Marciano e CN-III per Lucignano);
- trasformazione afflussi deflussi basata sull'IUH del SCS per i sottobacini (con tempo di ritardo valutato a partire dal tempo di corrivazione) e sul metodo dell'onda cinematica per gli interbacini;
- trasferimento dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico principale basato sul metodo di Muskingum-Cunge.

Le caratteristiche morfometriche e di permeabilità dei singoli sottobacini e interbacini necessarie per le analisi idrologiche sono rappresentate in Figura 3-11, Figura 3-12 e Figura 3-13.



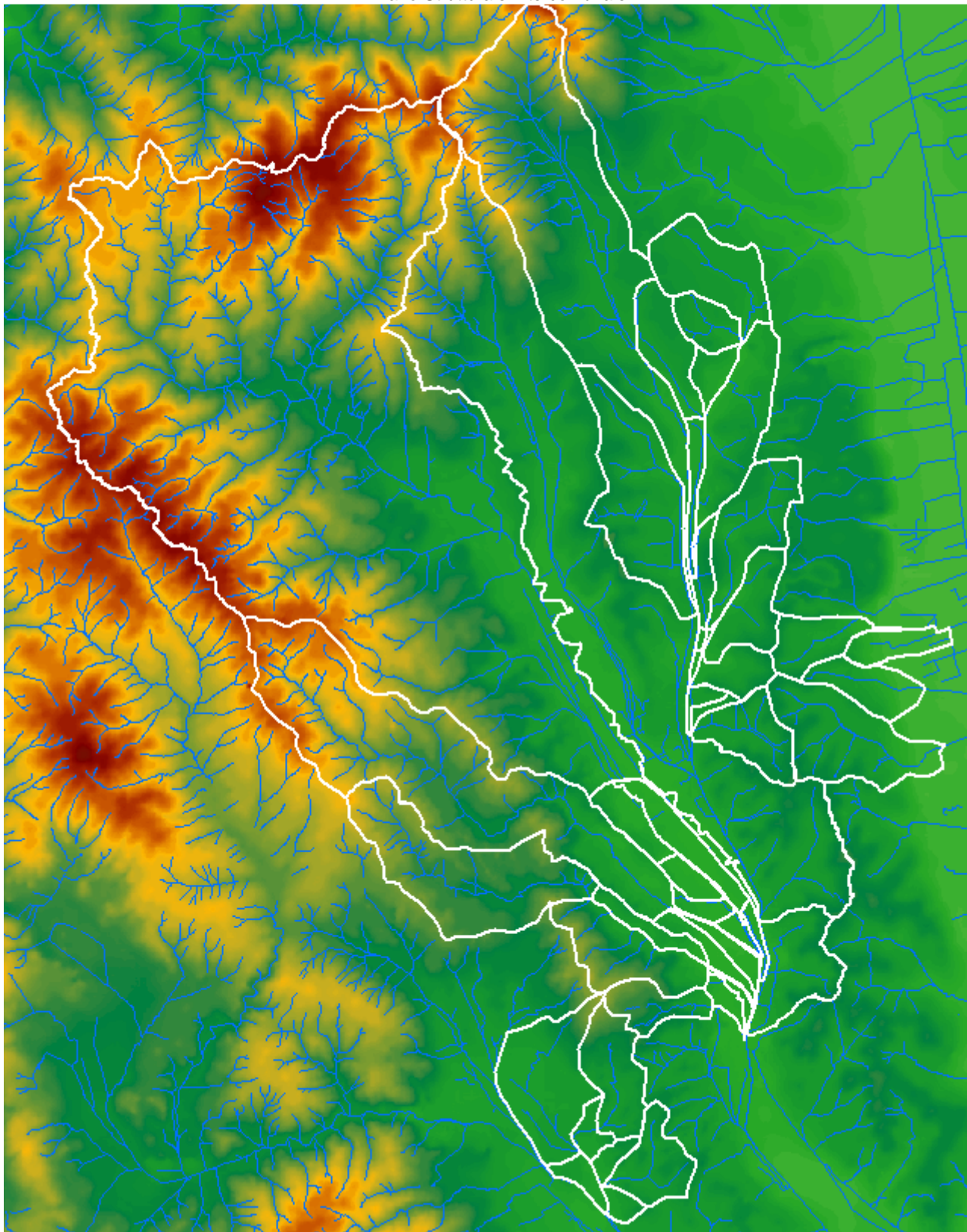


Figura 3-11: Morfologia dell'area di indagine e suddivisione in sottobacini/interbacini.



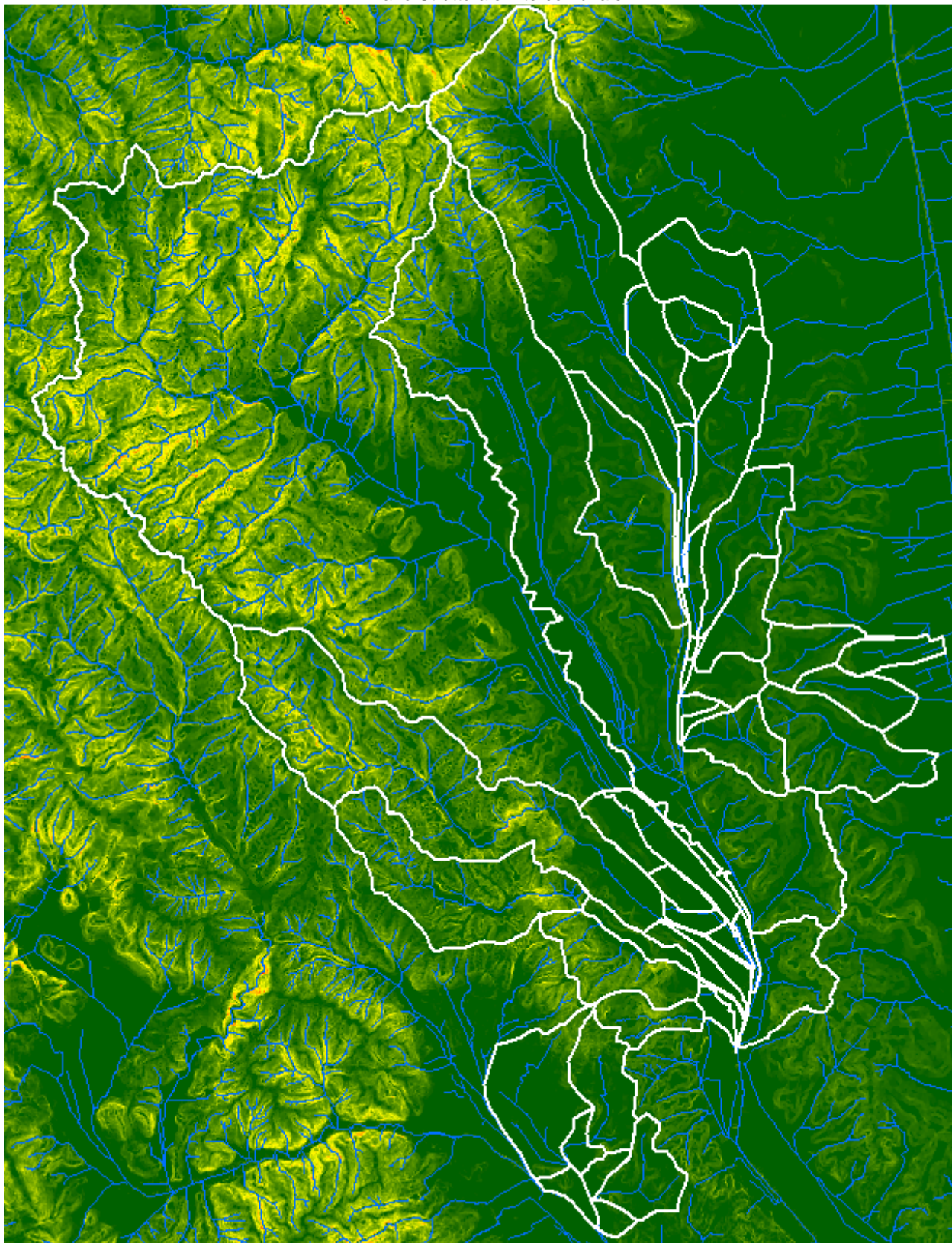


Figura 3-12: Mappa delle pendenze dell'area di indagine e suddivisione in sottobacini/interbacini.



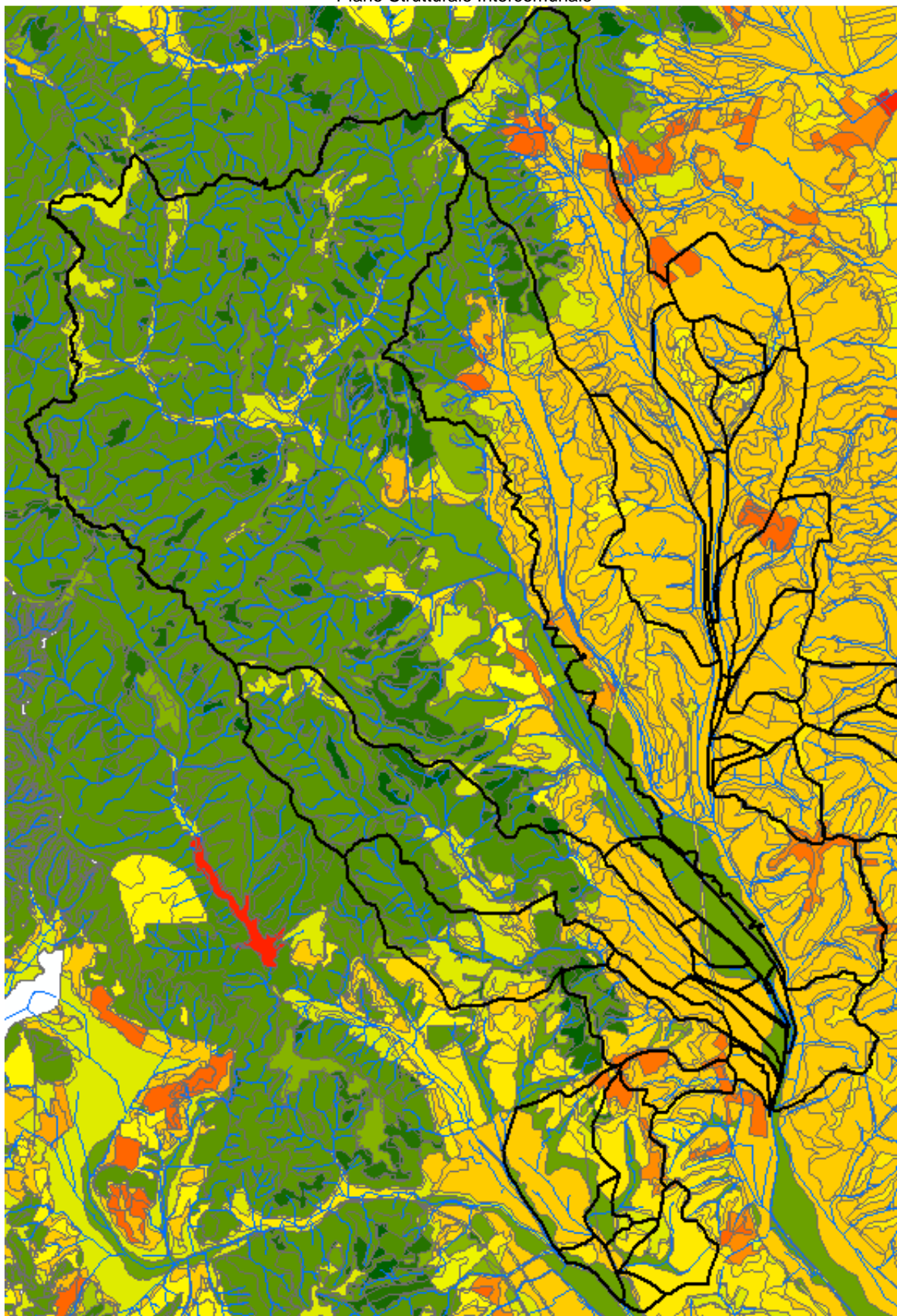


Figura 3-13: Andamento spaziale del parametro CN-II nell'area di interesse: la gradazione cromatica da verde a rosso indica aree rispettivamente da molto permeabili a sostanzialmente impermeabili. Le linee di colore nero indicano la suddivisione in sottobacini/interbacini.



### 3.7 Parametri idrologici dei modelli Hec-Hms

Per ciascuno dei modelli idrologici implementati, nei paragrafi seguenti si riporta il dettaglio dei parametri stimati per ciascun sottobacino ed interbacino.

In particolare, per ciascun elemento si riportano i valori di area del bacino  $S$  e Curve Number, CN (CN-II per Marciano CN-III per Lucignano). Inoltre, per ciascun sottobacino è indicato il valore del tempo di ritardo  $Tr$  (il cosiddetto "Lag") calcolato a partire dal tempo di corrivazione  $tc$ , a sua volta stimato con le formulazioni di letteratura descritte al § 3.6.1 applicabili all'elemento in esame.

Per ciascun interbacino, invece, sono riportati i valori dei parametri caratteristici per l'applicazione del modello Kinematic Wave (onda cinematica) accoppiato al modello di propagazione di Muskingum-Cunge: la superficie ideale rettangolare inclinata è definita dai parametri lunghezza, pendenza e scabrezza; il deflusso nel canale (channel flow) da lunghezza, pendenza del corso d'acqua, scabrezza di Manning ( $n$ ), larghezza al fondo e pendenza delle sponde della sezione trasversale.

Infine, per gli elementi "reach" adottati per la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico principale mediante il metodo di Muskingum-Cunge, si riportano i seguenti parametri: lunghezza, pendenza del corso d'acqua, scabrezza di Manning ( $n$ ), larghezza al fondo e pendenza delle sponde della sezione trasversale.

#### 3.7.1 Modello idrologico "Marciano" ( $S = 4.62 \text{ km}^2$ , $n^{\circ}4$ elementi)

Elemento	Area (km2)	CN
BM_PE_S1	3.35	83.49
BM_BA_S1	1.27	83.34

Sottobacino	LAG (min)
BM_PE_S1	65
BM_BA_S1	38

#### 3.7.2 Modello idrologico "Lucignano monte" ( $S = 25.74 \text{ km}^2$ , $n^{\circ}19$ elementi)

Elemento	Area (km2)	CN
VE_S1	11.77	78.3
AV1_I1DX	0.55	90.02
AV1_I1SX	0.43	87.31
AV3_I1	0.21	84.53
SC_S1	5.31	80.0
SC_I_1DX	2.31	82.99
SC_I_1SX	0.61	92.35



## Piano Strutturale Intercomunale

AV2_I1SX	1.14	78.91
AV2_I1DX	0.84	91.34
FO_S2	0.46	82.8
FO_S1	0.33	86.4
FO_I1	0.23	87.65
GO_S1	1.09	93.0
AV4_I1DX	0.31	92.37
AV4_I1SX	0.15	92.09

Sottobacino	LAG (min)
VE_S1	118
SC_S1	89
FO_S2	44
FO_S1	52
GO_S1	22

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Manning's n (m <sup>-1/3</sup> s)	Area (%)
AV1_I1DX(Plane 1)	181.05	0.026	0.1	100
AV1_I1SX(Plane 1)	180.98	0.016	0.10	100
AV3_I1(Plane 1)	70.50	0.023	0.1	70
AV3_I1(Plane 2)	30.54	0.023	0.1	30
SC_I_1DX(Plane 1)	569.76	0.149	0.10	100
SC_I_1SX(Plane 1)	149.53	0.053	0.10	100
AV2_I1SX(Plane 1)	234.21	0.014	0.1	100
AV2_I1DX(Plane 1)	258	0.047	0.1	100
FO_I1(Plane 1)	126.18	0.009	0.1	100
AV4_I1DX(Plane 1)	204.08	0.027	0.1	100
AV4_I1SX(Plane 1)	108.26	0.019	0.1	100

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Shape	Manning's n (m <sup>-1/3</sup> s)	Width (m)	Side Slope (xH:1V)
AV1_I1DX	1739.15	0.001	Trapezoid	0.03	1	1.5
AV1_I1SX	1739.15	0.001	Trapezoid	0.03	1	1.5
AV3_I1	1567.03	0.001	Trapezoid	0.03	1	1.5
SC_I_1DX	2458.00	0.0067	Trapezoid	0.045	3	1
SC_I_1SX	2458.00	0.0067	Trapezoid	0.045	3	1
AV2_I1SX	3558.15	0.001	Trapezoid	0.03	1.5	2
AV2_I1DX	3558.15	0.001	Trapezoid	0.03	1.5	2
FO_I1	966.24	0.001	Trapezoid	0.03	0.7	1
AV4_I1DX	1380.74	0.001	Trapezoid	0.03	1	1.5
AV4_I1SX	1380.74	0.001	Trapezoid	0.03	1	1.5

**3.7.3 Modello idrologico "Lucignano valle" (S = 7.70 km<sup>2</sup>, n°12 elementi)**

Elemento	Area (km2)	CN
PR_S1	3.12	87.7
FU_S1	1.82	89.3



## Piano Strutturale Intercomunale

FU_I_1SX	0.23	82.47
FU_I_1DX	0.17	83.44
CR_S1	1.44	88.9
PR_I_1DX	0.4	84.61
PR_I_1SX	0.3	88.08
PR_I_2SX	0.29	87.27

Sottobacino	LAG (min)
PR_S1	87
FU_S1	39
CR_S1	42

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Manning's n (m <sup>-1/3</sup> s)	Area (%)
FU_I_1SX(Plane 1)	322	0.036	0.1	100
FU_I_1DX(Plane 1)	285	0.025	0.1	100
PR_I_1DX(Plane 1)	248	0.02	0.1	100
PR_I_1SX(Plane 1)	350	0.048	0.1	100
PR_I_2SX(Plane 1)	316	0.047	0.1	100

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Shape	Manning's n (m <sup>-1/3</sup> s)	Width (m)	Side Slope (xH:1V)
FU_I_1SX	1030.08	0.0034	Trapezoid	0.025	1.2	1.5
FU_I_1DX	1030.08	0.0034	Trapezoid	0.025	1.2	1.5
PR_I_1DX	1230.15	0.00033	Trapezoid	0.04	3	1.5
PR_I_1SX	707.69	0.00028	Trapezoid	0.04	3	1.5
PR_I_2SX	522.47	0.00038	Trapezoid	0.04	3	1.5

Reach	Length (m)	Slope (m/m)	Shape	Manning's n (m <sup>-1/3</sup> s)	Width (m)	Side Slope (xH:1V)
R_FU_1	1030.08	0.00340	Trapezoid	0.025	1.2	1.5
R_PR_1	1230.16	0.00033	Trapezoid	0.04	3	1.5

**3.7.4 Modello idrologico "Esse - Leprone" (S = 117.83 km2, n°4 elementi)**

Elemento	Area (km2)	CN
ES_S1	61.64	78.1
LE_S1	56.19	88.9

Sottobacino	LAG (min)
ES_S1	245
LE_S1	448
R_ES_1	29





## 4 Risultati dell'analisi idrologica

La procedura descritta ha permesso di ricavare, per ogni corso d'acqua analizzato, nelle sezioni di chiusura di interesse ed al variare del tempo di ritorno, le portate di progetto, con evidenziazione delle portate di picco corrispondenti alla durata critica (vedi tabelle seguenti).

### 4.1 Modello idrologico "Marciano"

Tabella 4-1: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 30 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR30 - CN2			
				0.5h	1h	2h	3h
Rio della Pescaia	PE	PE_S1	3.35	7.3	9.8	11.4	10.9
Rio del Basso	BA	BA_S1	1.27	4.5	5.7	5.5	4.8

Tabella 4-2: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 200 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR200 - CN2			
				0.5h	1h	2h	3h
Rio della Pescaia	PE	PE_S1	3.35	12.9	17.9	20.8	19.9
Rio del Basso	BA	BA_S1	1.27	8.0	10.2	9.8	8.5

### 4.2 Modello idrologico "Lucignano monte"

Tabella 4-3: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 30 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR30 - CN3						
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h
Fosso Vescina	VE	VE_S1	11.77	11.4	17.0	23.4	26.3	27.0	26.6	25.7
Fosso Vescina	VE	AV1_I1DX	0.55	4.0	4.8	4.0	3.1	2.6	2.2	1.9
Fosso Vescina	VE	AV1_I1SX	0.43	2.2	2.9	2.8	2.2	1.9	1.6	1.4
Fosso Vescina	VE	AV3_I1	0.21	1.1	1.4	1.3	1.0	0.9	0.8	0.7
Fosso Vescina	VE	J_VE	12.96	11.8	17.5	24.2	27.3	28.4	28.5	28.0
Torrente Scerpella	SC	SC_S1	5.31	7.9	11.3	14.7	15.4	15.0	14.2	13.4
Torrente Scerpella	SC	SC_I_1DX	2.31	11.0	15.5	13.4	10.8	9.1	7.9	7.0
Torrente Scerpella	SC	SC_I_1SX	0.61	8.2	7.4	4.8	3.6	2.9	2.5	2.2
Torrente Scerpella	SC	J_SC	8.23	18.4	24.4	25.2	25.8	25.1	23.7	22.1
Fossatone - AV33938	FO	AV2_I1SX	1.14	1.5	2.6	3.7	4.0	3.7	3.3	3.0
Fossatone - AV33938	FO	AV2_I1DX	0.84	4.1	5.5	5.7	4.7	3.9	3.4	3.0
Fossatone - AV33938	FO	FO_S2	0.46	1.7	2.2	2.2	2.0	1.7	1.5	1.4
Fossatone - AV33938	FO	FO_S1	0.33	1.3	1.7	1.7	1.5	1.3	1.2	1.1
Fossatone - AV33938	FO	FO_I1	0.23	1.6	1.9	1.6	1.2	1.0	0.9	0.8
Fossatone - AV33938	FO	J_FO	3.00	9.0	12.4	14.2	13.2	11.7	10.3	9.2





## Piano Strutturale Intercomunale

Rio del Gorgo	GO	GO_S1	1.09	14.2	12.5	8.6	6.6	5.4	4.6	4.0
Rio del Gorgo	GO	AV4_I1DX	0.31	2.9	3.2	2.4	1.8	1.5	1.3	1.1
Rio del Gorgo	GO	AV4_I1SX	0.15	1.4	1.5	1.2	0.9	0.7	0.6	0.5
Rio del Gorgo	GO	J_GO	1.55	18.4	17.2	12.2	9.3	7.6	6.5	5.7

Tabella 4-4: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 200 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR200 - CN3						
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h
Fosso Vescina	VE	VE_S1	11.77	21.9	33.4	46.7	52.1	53.1	52.0	50.0
Fosso Vescina	VE	AV1_I1DX	0.55	7.0	8.1	6.3	4.9	4.1	3.6	3.2
Fosso Vescina	VE	AV1_I1SX	0.43	4.2	5.4	4.6	3.7	3.1	2.7	2.4
Fosso Vescina	VE	AV3_I1	0.21	2.1	2.6	2.2	1.7	1.5	1.3	1.1
Fosso Vescina	VE	J_VE	12.96	22.4	34.0	47.6	53.6	55.3	55.4	54.3
Torrente Scerpella	SC	SC_S1	5.31	14.6	21.5	28.1	29.3	28.3	26.7	24.9
Torrente Scerpella	SC	SC_I_1DX	2.31	24.7	30.8	23.2	18.6	15.7	13.7	12.2
Torrente Scerpella	SC	SC_I_1SX	0.61	13.5	11.2	7.3	5.6	4.6	4.0	3.5
Torrente Scerpella	SC	J_SC	8.23	37.9	45.5	45.5	47.7	46.2	43.3	40.2
Fossatone - AV33938	FO	AV2_I1SX	1.14	3.6	6.2	8.3	7.9	7.0	6.2	5.7
Fossatone - AV33938	FO	AV2_I1DX	0.84	7.2	9.7	9.4	7.6	6.3	5.5	4.9
Fossatone - AV33938	FO	FO_S2	0.46	2.9	3.9	3.9	3.4	3.0	2.7	2.4
Fossatone - AV33938	FO	FO_S1	0.33	2.2	2.9	2.9	2.6	2.3	2.0	1.8
Fossatone - AV33938	FO	FO_I1	0.23	2.9	3.3	2.5	2.0	1.7	1.5	1.3
Fossatone - AV33938	FO	J_FO	3.00	16.6	23.5	26.4	23.4	20.2	17.8	16.0
Rio del Gorgo	GO	GO_S1	1.09	20.8	18.7	13.1	10.1	8.4	7.2	6.4
Rio del Gorgo	GO	AV4_I1DX	0.31	4.8	5.1	3.7	2.9	2.4	2.0	1.8
Rio del Gorgo	GO	AV4_I1SX	0.15	2.3	2.5	1.8	1.4	1.1	1.0	0.9
Rio del Gorgo	GO	J_GO	1.55	27.7	26.1	18.6	14.4	11.9	10.2	9.1

## 4.3 Modello idrologico "Lucignano valle"

Tabella 4-5: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 30 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR30 - CN3					
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h
Fosso delle Prata	PR	PR_S1	5.16	7.27	9.42	10.96	10.73	9.97	9.14
Croce - AV37257	CR	CR_S1	1.44	7.35	8.55	7.75	6.50	5.51	4.78
Fosso delle Prata	PR	PR_I_1SX	0.40	0.89	1.17	1.29	1.21	1.07	0.95
Fosso delle Prata	PR	PR_I_1DX	0.40	0.72	1.04	1.31	1.33	1.24	1.13
Fosso delle Prata	PR	PR_I_2SX	0.29	1.09	1.41	1.44	1.25	1.07	0.93
Fosso delle Prata	PR	J_PR_1	7.69	15.29	18.68	20.41	19.53	17.85	16.17
Fosso Fossatone	FU	FU_I_1SX	8.69	0.70	1.17	1.11	0.89	0.76	0.66
Fosso Fossatone	FU	FU_I_1DX	9.69	0.56	0.90	0.85	0.68	0.57	0.50
Fosso Fossatone	FU	FU_S1	10.69	10.23	11.61	10.19	8.41	7.08	6.13
Fosso delle Prata	PR	J_PR_2	11.69	17.81	23.08	26.51	26.28	24.68	22.76



Tabella 4-6: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 200 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Codice	Sezione chiusura HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR200 - CN3					
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h
Fosso delle Prata	PR	PR_S1	5.16	11.93	16.02	19.01	18.63	17.30	15.84
Croce - AV37257	CR	CR_S1	1.44	11.76	14.02	12.79	10.73	9.13	7.96
Fosso delle Prata	PR	PR_I_1SX	0.40	1.58	2.09	2.25	2.06	1.82	1.62
Fosso delle Prata	PR	PR_I_1DX	0.40	1.43	2.10	2.54	2.46	2.25	2.02
Fosso delle Prata	PR	PR_I_2SX	0.29	1.99	2.55	2.49	2.11	1.80	1.58
Fosso delle Prata	PR	J_PR_1	7.69	24.12	30.60	34.51	33.33	30.58	27.73
Fosso Fossatone	FU	FU_I_1SX	8.69	1.85	2.59	1.98	1.59	1.34	1.17
Fosso Fossatone	FU	FU_I_1DX	9.69	1.42	1.96	1.50	1.20	1.01	0.88
Fosso Fossatone	FU	FU_S1	10.69	16.25	18.88	16.67	13.79	11.66	10.14
Fosso delle Prata	PR	J_PR_2	11.69	30.36	40.27	46.54	45.94	42.95	39.47

#### 4.4 Modello idrologico "Esse - Leprone"

Tabella 4-7: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 30 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Cod	Elem HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR30											
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	10h	11h	12h	13h
Esse	ES	ES_S1	61.6	8.4	17.7	31.9	42.4	50.4	56.3	60.3	65.2	65.3	64.9	64.3	63.1
Esse	ES	J_ES_1	117.8	19.4	33.8	55.0	70.9	83.5	93.6	101.7	117.1	119.9	121.5	122.3	121.6
Leprone	LE	LE_S1	56.2	15.3	23.9	35.5	43.5	49.6	54.3	57.9	64.0	64.8	65.0	64.9	64.2

Tabella 4-8: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 200 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Cod	Elem HMS	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR200											
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	9h	10h	11h	12h	13h
Esse	ES	ES_S1	61.6	20.3	40.6	71.6	94.3	111.1	122.8	130.5	137.5	136.9	135.4	133.4	131.3
Esse	ES	J_ES_1	117.8	37.6	66.7	110.5	143.6	169.4	189.8	205.9	234.7	239.3	241.6	242.2	241.7
Leprone	LE	LE_S1	56.2	26.2	41.9	63.4	78.8	90.5	99.6	106.7	118.4	119.7	120.1	119.9	119.3



#### 4.5 Confronto tra le portate al colmo di piena stimate nel presente studio e quelle desunte da studi pregressi

Nelle tabelle seguenti sono stati messi a confronto i valori delle portate al colmo di piena stimati nel presente studio con quelli desunti dai pregressi studi condotti a supporto degli strumenti urbanistici vigenti dei comuni di Marciano della Chiana e Lucignano.

Tabella 4-9: comune di Marciano della Chiana

Corso d'acqua	Studi pregressi (VAR. PS 2015)			Studio a supporto del PSI		
	Superficie [Km <sup>2</sup> ]	Portata al colmo Tr 30 [m <sup>3</sup> /s]	Portata al colmo Tr 200 [m <sup>3</sup> /s]	Superficie [Km <sup>2</sup> ]	Portata al colmo Tr 30 (CN2) [m <sup>3</sup> /s]	Portata al colmo Tr 200 (CN2) [m <sup>3</sup> /s]
Rio della Pescaia	3.68	11.90	21.00	3.35	11.40	20.80
Rio del Basso	0.94	3.02	5.32	1.27	5.70	10.20

Tabella 4-10: comune di Lucignano

Corso d'acqua	Studi pregressi (VAR. PS 2010)			Studio a supporto del PSI		
	Superficie [Km <sup>2</sup> ]	Portata al colmo Tr 30 [m <sup>3</sup> /s]	Portata al colmo Tr 200 [m <sup>3</sup> /s]	Superficie [Km <sup>2</sup> ]	Portata al colmo Tr 30 (CN3) [m <sup>3</sup> /s]	Portata al colmo Tr 200 (CN3) [m <sup>3</sup> /s]
Torrente Vescina	12.80	32.13	54.40	12.18	25.60	50.70
Fossatone	0.90	1.28	2.28	0.79	1.80	3.00
Fosso delle Prata	7.32	29.03	43.55	6.25	19.10	33.00
Croce	1.43	4.96	7.37	1.44	8.60	14.00
Rio del Gorgo	1.04	5.62	8.58	1.09	14.20	20.80
Torrente Scerpella	7.08	23.71	39.64	8.23	16.30	30.80

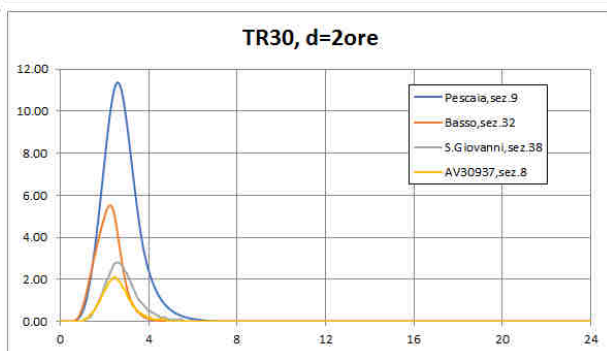
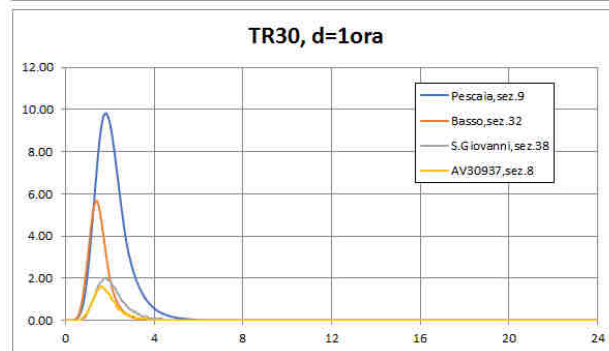
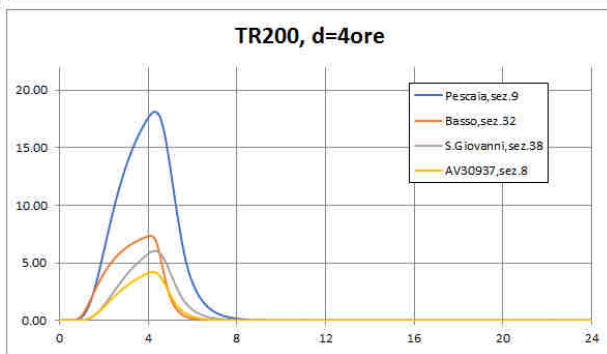
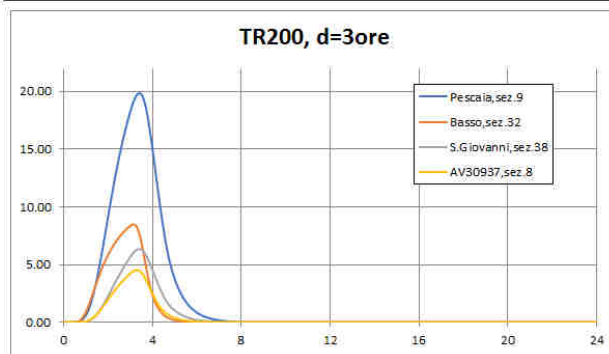
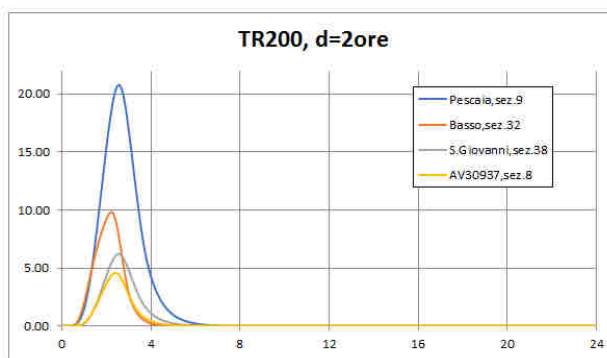
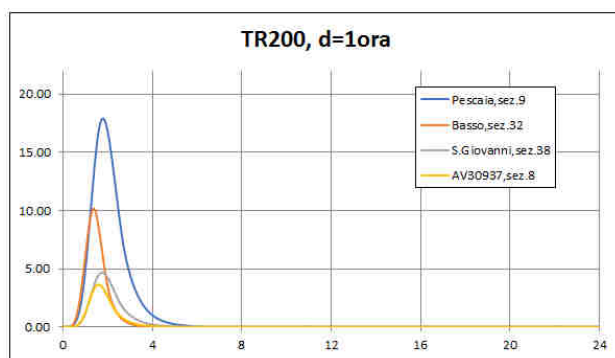
Come si desume dalle tabelle precedenti le portate al colmo di piena stimate nel presente studio idrologico-idraulico risultano confrontabili con quelle risultanti dagli studi pregressi.



## 4.6 Input idrologici nei modelli numerici di propagazione delle onde di piena

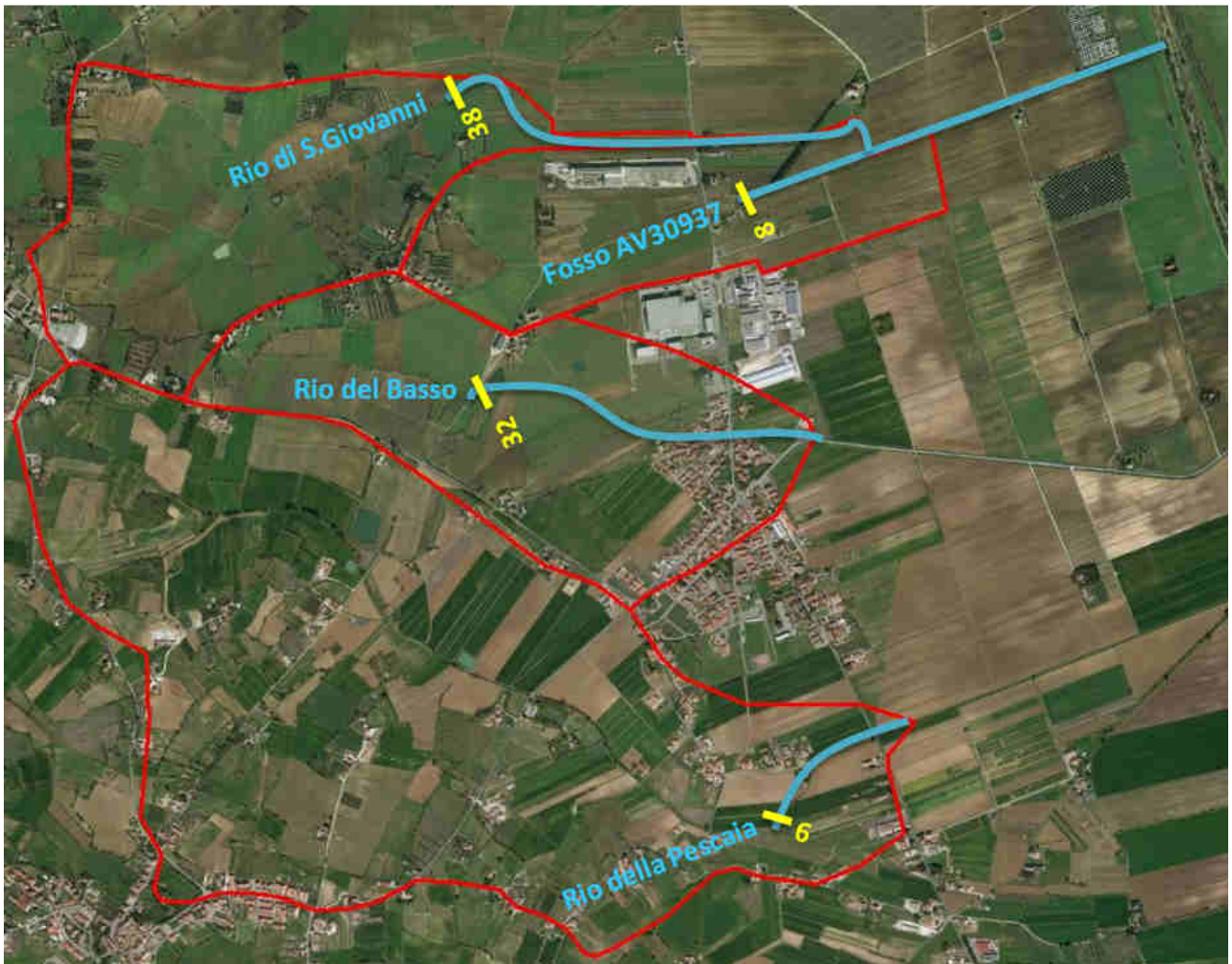
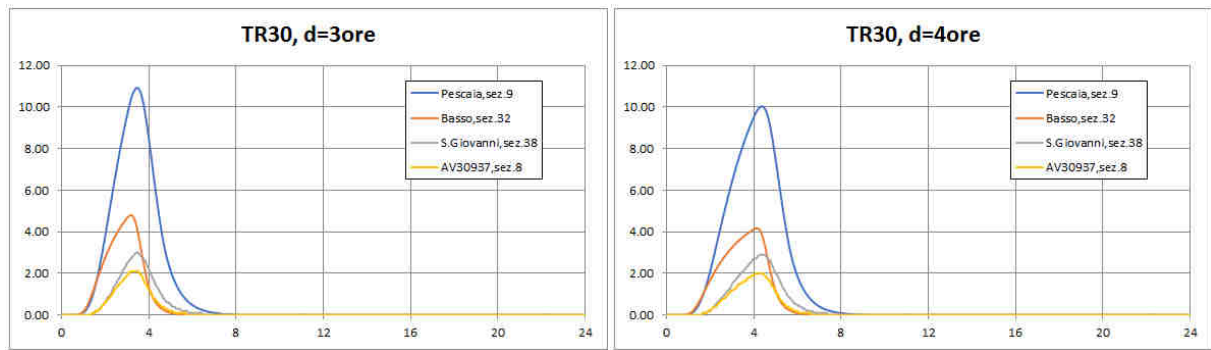
### 4.6.1 Modello Hec-Ras "Pescaia – Basso – S.Giovanni"

	Q(mc/s) - TR200				Q(mc/s) - TR30			
	1 ora	2 ore	3 ore	4 ore	1 ora	2 ore	3 ore	4 ore
<b>Rio della Pescaia</b> Sez. 9	17.92	20.79	19.85	18.13	9.82	11.37	10.92	10.03
<b>Rio del Basso</b> Sez. 32	10.18	9.82	8.49	7.36	5.67	5.52	4.80	4.17
<b>Rio di S.Giovanni</b> Sez. 38	4.68	6.20	6.35	6.04	2.00	2.80	3.00	2.90
<b>Fosso AV 30937</b> Sez. 8	3.65	4.59	4.52	4.21	1.60	2.10	2.10	2.00





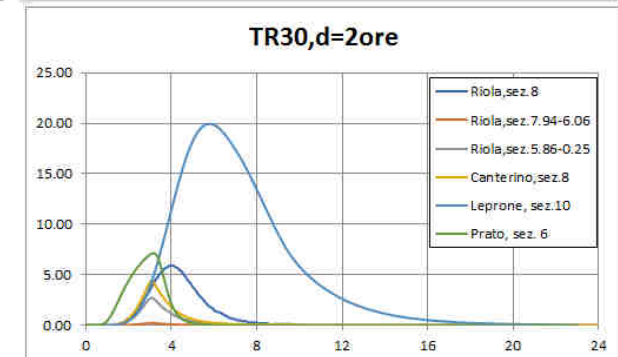
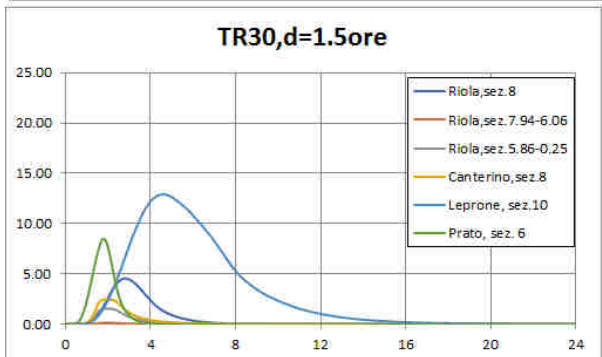
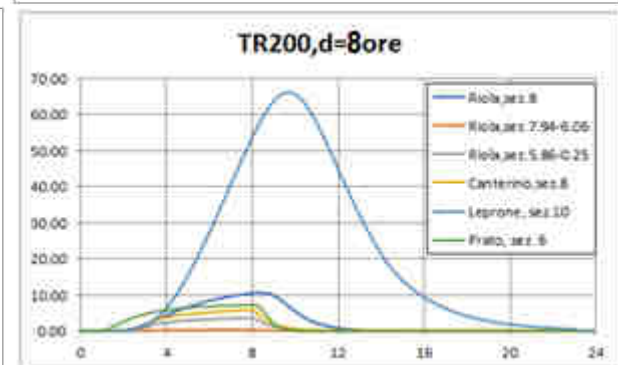
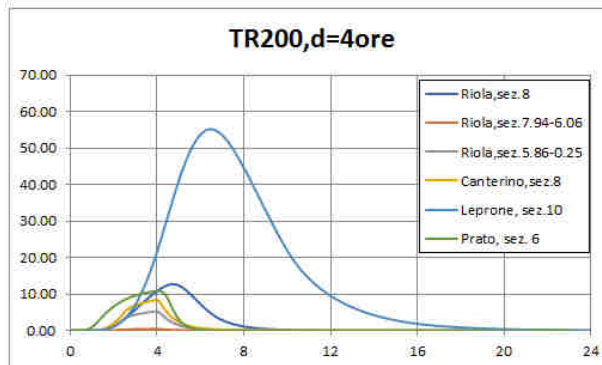
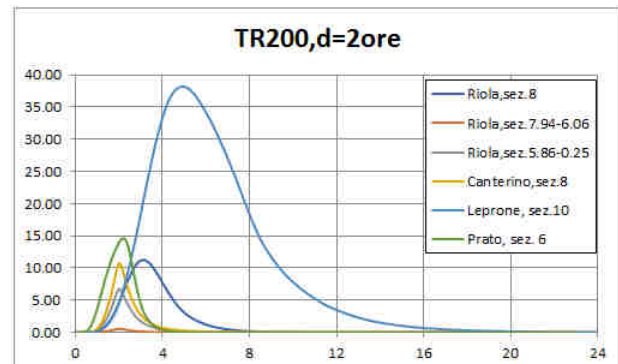
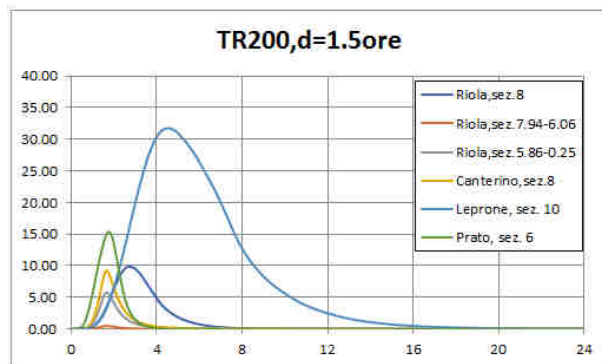
Piano Strutturale Intercomunale





**4.6.2 Modello Hec-Ras "Riola - Canterino - Leprone - Prato"**

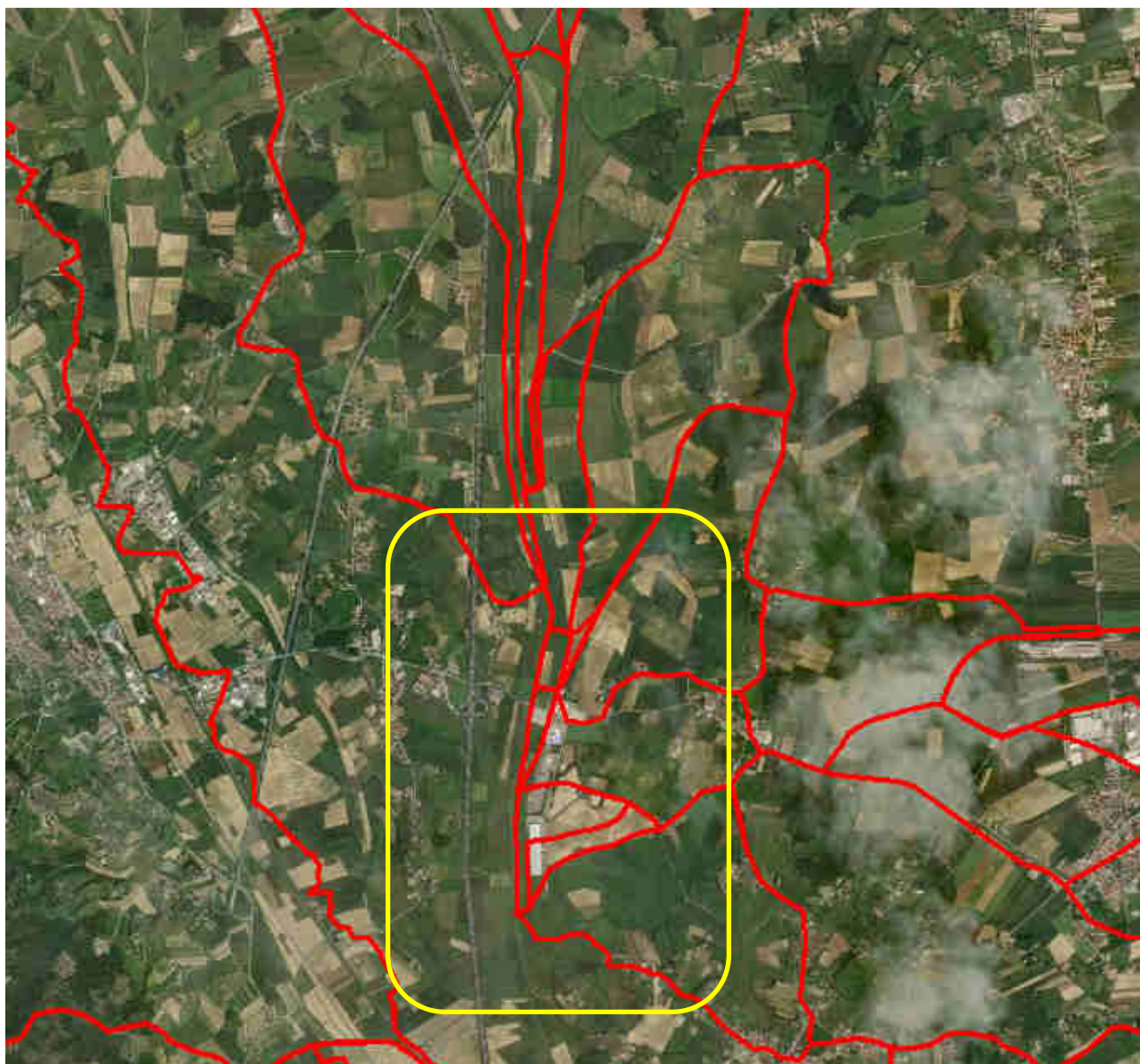
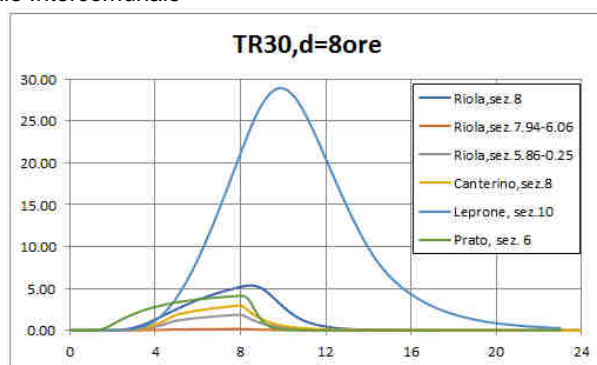
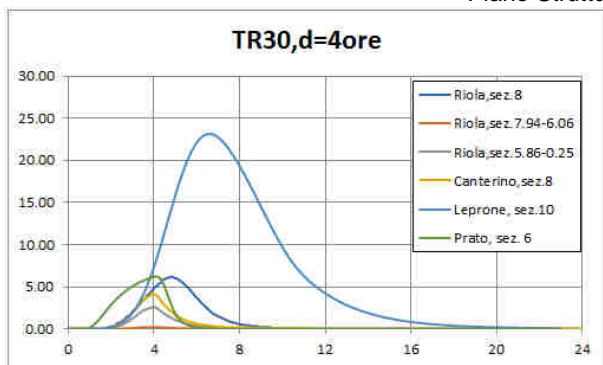
	Q(mc/s) - TR200				Q(mc/s) - TR30			
	1.5 ore	2 ore	4 ore	8 ore	1.5 ore	3 ore	4 ore	8 ore
<b>Fosso della Riola</b>								
Sez. 8	9.89	11.27	12.69	10.65	4.55	5.90	6.20	5.35
Sez. 7.94-6.06	0.5	0.58	0.45	0.31	0.13	0.23	0.22	0.16
Sez. 5.86-0.25	5.82	6.74	5.26	3.66	1.54	2.73	2.61	1.86
<b>Rio del Canterino</b>								
Sez. 8	9.25	10.72	8.37	5.82	2.44	4.34	4.16	2.97
<b>Torrente Leprone</b>								
Sez. 10	31.76	38.19	55.18	66.03	12.91	19.94	23.14	28.92
<b>Rio di Prato</b>								
Sez. 6	15.34	14.60	10.92	7.25	8.48	7.15	6.23	4.12

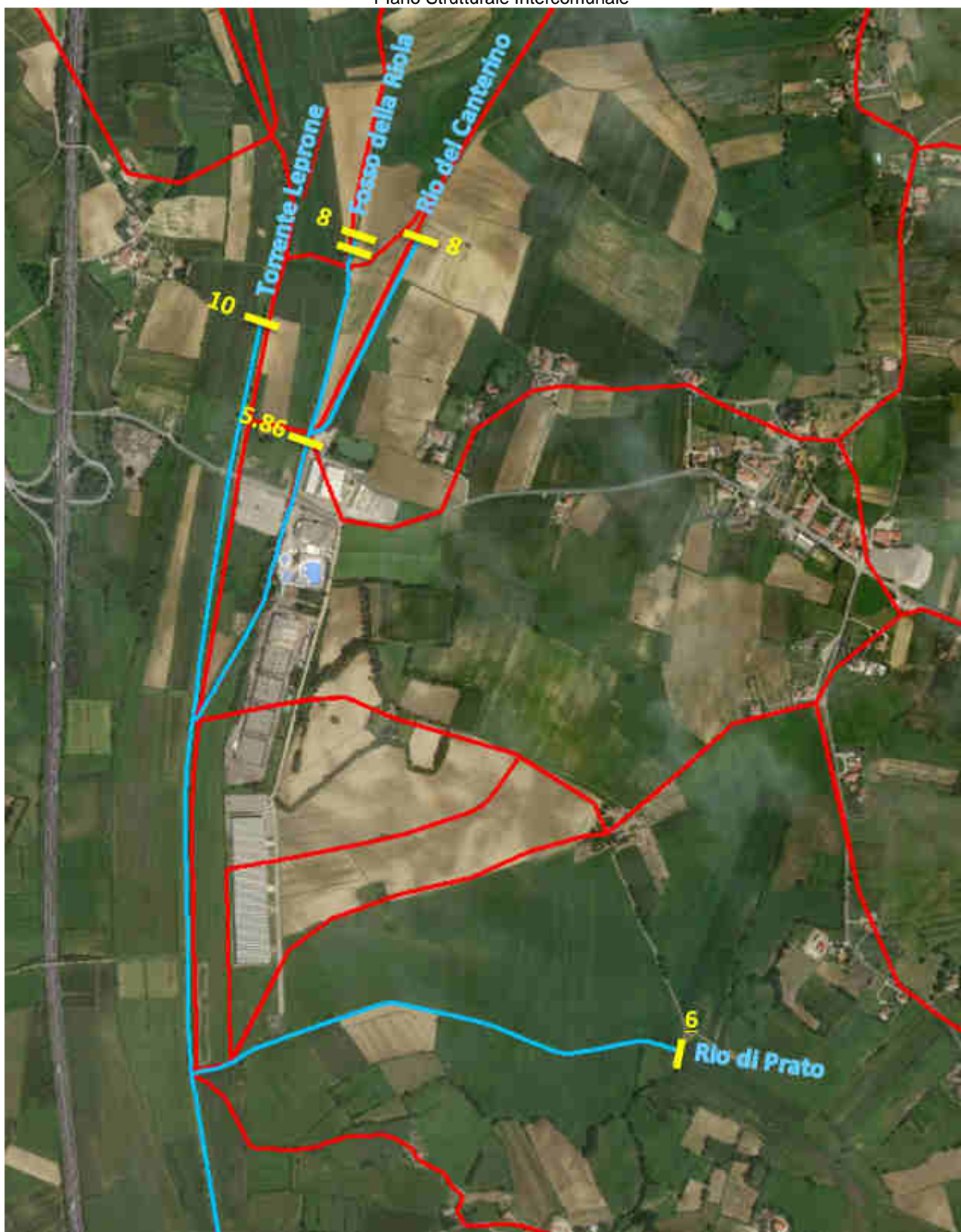






Piano Strutturale Intercomunale

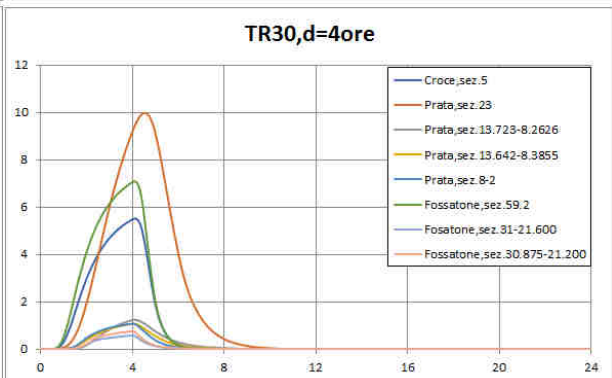
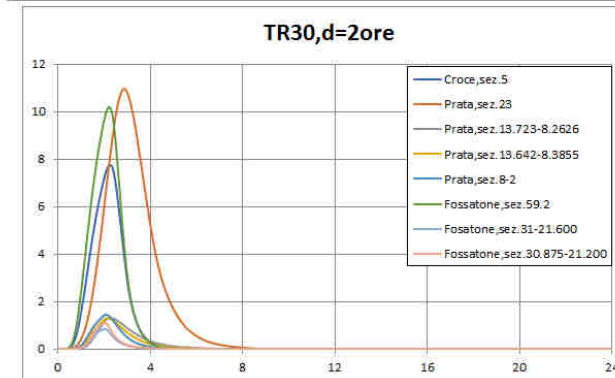
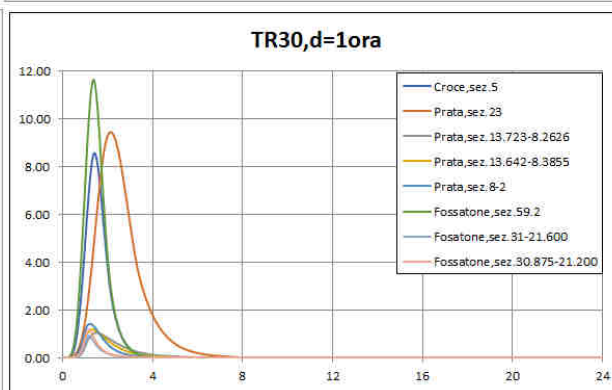
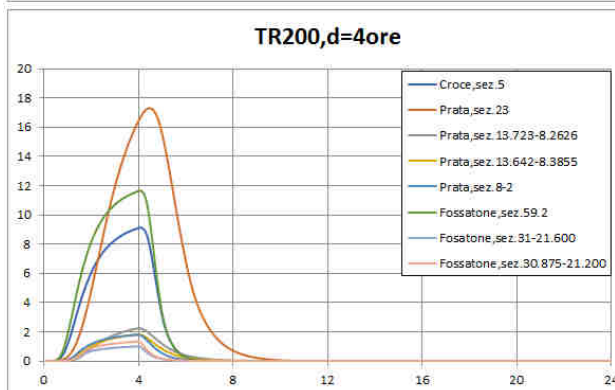
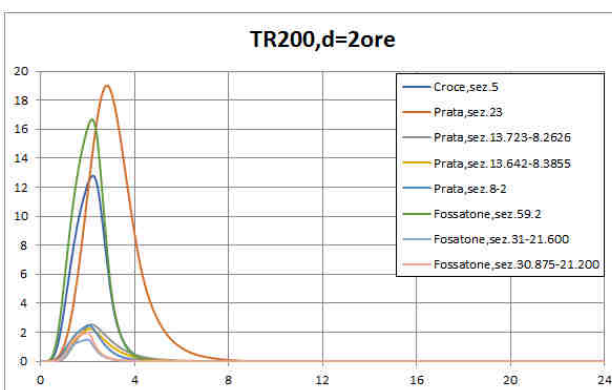
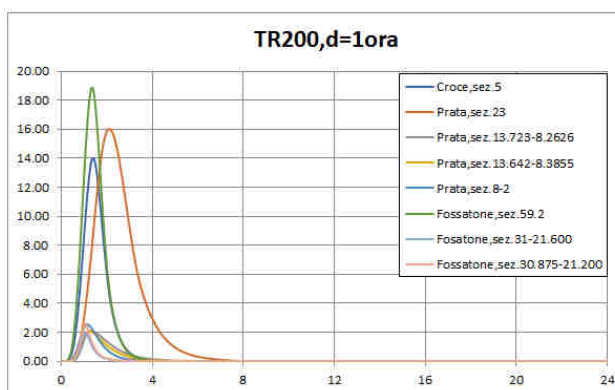






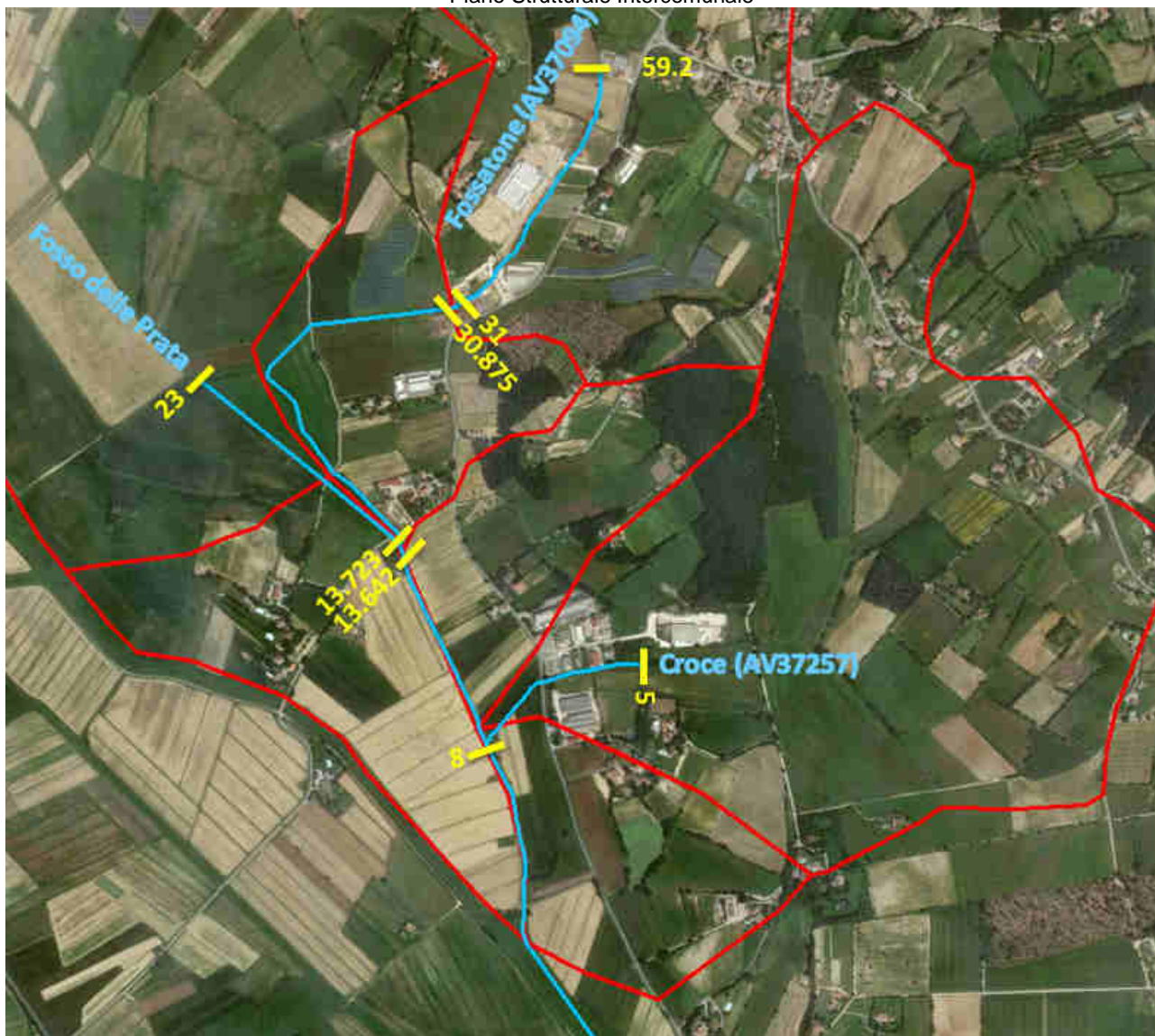
**4.6.3 Modello Hec – Ras “Prata – Fossatone – Croce”**

	Q(mc/s) - TR200			Q(mc/s) - TR30		
	1 ora	2 ore	4 ore	1 ora	2 ore	4 ore
<b>Fosso delle Prata</b>						
Sez. 23	16.02	19.01	17.30	9.42	10.96	9.97
Sez. 13.723-8.2626	2.10	2.54	2.25	1.04	1.31	1.24
Sez. 13.642-8.3855	2.09	2.25	1.82	1.17	1.29	1.07
Sez. 8-2	2.55	2.49	1.80	1.41	1.44	1.07
<b>Fossatone(AV37094)</b>						
Sez. 59.2	18.88	16.67	11.66	11.61	10.19	7.08
Sez. 31-21.600	1.96	1.50	1.01	0.90	0.85	0.57
Sez. 30.875-21.200	2.59	1.98	1.34	1.17	1.11	0.76
<b>Croce(AV37257)</b>						
Sez. 5	14.02	12.79	9.13	8.55	7.75	5.51





Piano Strutturale Intercomunale



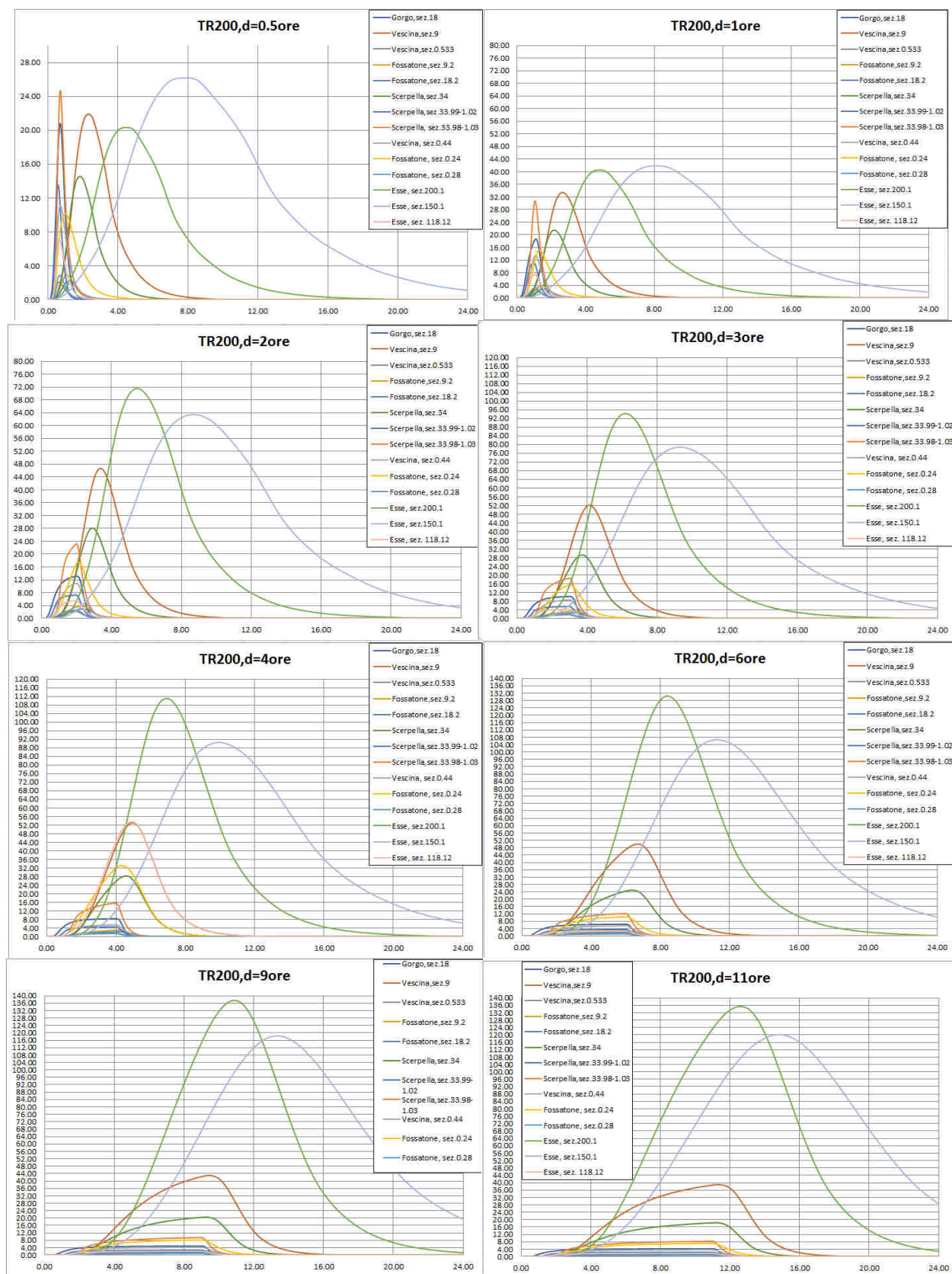
**4.6.4 Modello Hec-Ras "Vescina – Scerpella – Fossatone – Gorgo - Esse"**

	Q(mc/s) - TR200							
	0.5 ore	1 ora	2 ore	3 ore	4 ore	6 ore	9 ore	11 ore
<b>Torrente Vescina</b>								
Sez. 9	21.91	33.44	46.66	52.12	53.10	49.96	43.00	39.00
Sez.0.533	2.09	2.64	2.18	1.74	1.47	1.14	0.88	0.78
Sez.0.44	11.05	13.48	10.95	8.65	5.58	5.57	4.26	3.73
<b>Fossatone(AV33938)</b>								
Sez. 18.2	2.21	2.86	2.92	2.59	2.27	1.80	1.40	1.23
Sez. 9.2	2.93	3.86	3.90	3.45	3.02	2.41	1.89	1.67
Sez. 0.28	2.87	3.32	2.55	2.01	1.68	1.29	0.99	0.87
Sez. 0.24	10.19	15.17	17.48	15.45	33.17	10.51	8.18	7.20
<b>Rio del Gorgo</b>								
Sez. 18	20.82	18.67	13.12	10.12	8.38	6.39	4.86	4.24
<b>Torrente Scerpella</b>								
Sez. 34	14.56	21.49	28.09	29.27	28.32	24.95	20.51	18.33
Sez. 33.99-1.02	13.54	11.17	7.27	5.58	4.61	3.52	2.67	2.34
Sez. 33.98-1.03	24.71	30.82	23.25	18.59	15.69	12.23	9.48	8.34
<b>Torrente Esse</b>								
Sez. 200.1	20.33	40.57	71.57	94.26	111.05	130.47	137.51	135.42
Sez. 150.1	26.18	41.85	63.44	78.82	90.50	106.71	118.37	120.13
Sez. 118.12	7.07	7.57	5.50	4.24	53.57	2.68	2.05	1.78
	Q(mc/s) – TR30							
	0.5 ore	1 ora	2 ore	3 ore	4 ore	6 ore	10 ore	11 ore
<b>Torrente Vescina</b>								
Sez. 9	11.41	17.00	23.41	26.26	26.97	25.73	21.38	20.41
Sez.0.533	1.07	1.42	1.28	1.03	0.87	0.67	0.47	0.44
Sez.0.44	6.10	7.66	6.74	5.34	4.44	3.37	2.36	2.21
<b>Fossatone(AV33938)</b>								
Sez. 18.2	1.34	1.69	1.72	1.53	1.34	1.06	0.76	0.71
Sez. 9.2	1.68	2.17	2.21	1.96	1.72	1.38	1.00	0.94
Sez. 0.28	1.55	1.90	1.56	1.23	1.02	0.78	0.55	0.51
Sez. 0.24	5.16	7.45	9.02	8.60	7.61	6.03	4.34	4.07
<b>Rio del Gorgo</b>								
Sez. 18	14.18	12.49	8.63	6.56	5.36	4.00	2.76	2.57
<b>Torrente Scerpella</b>								
Sez. 34	7.86	11.32	14.66	15.39	15.01	13.36	10.44	9.89
Sez. 33.99-1.02	8.18	7.39	4.77	3.60	2.93	2.19	1.51	4.70
Sez. 33.98-1.03	10.97	15.53	13.42	10.78	9.09	7.03	5.01	1.41
<b>Torrente Esse</b>								
Sez. 200.1	8.44	17.65	31.86	42.39	50.35	60.29	65.34	64.91
Sez. 150.1	15.29	23.90	35.46	43.53	49.59	57.92	64.77	64.95
Sez. 118.12	4.24	4.72	3.57	2.73	2.23	1.67	1.16	1.08



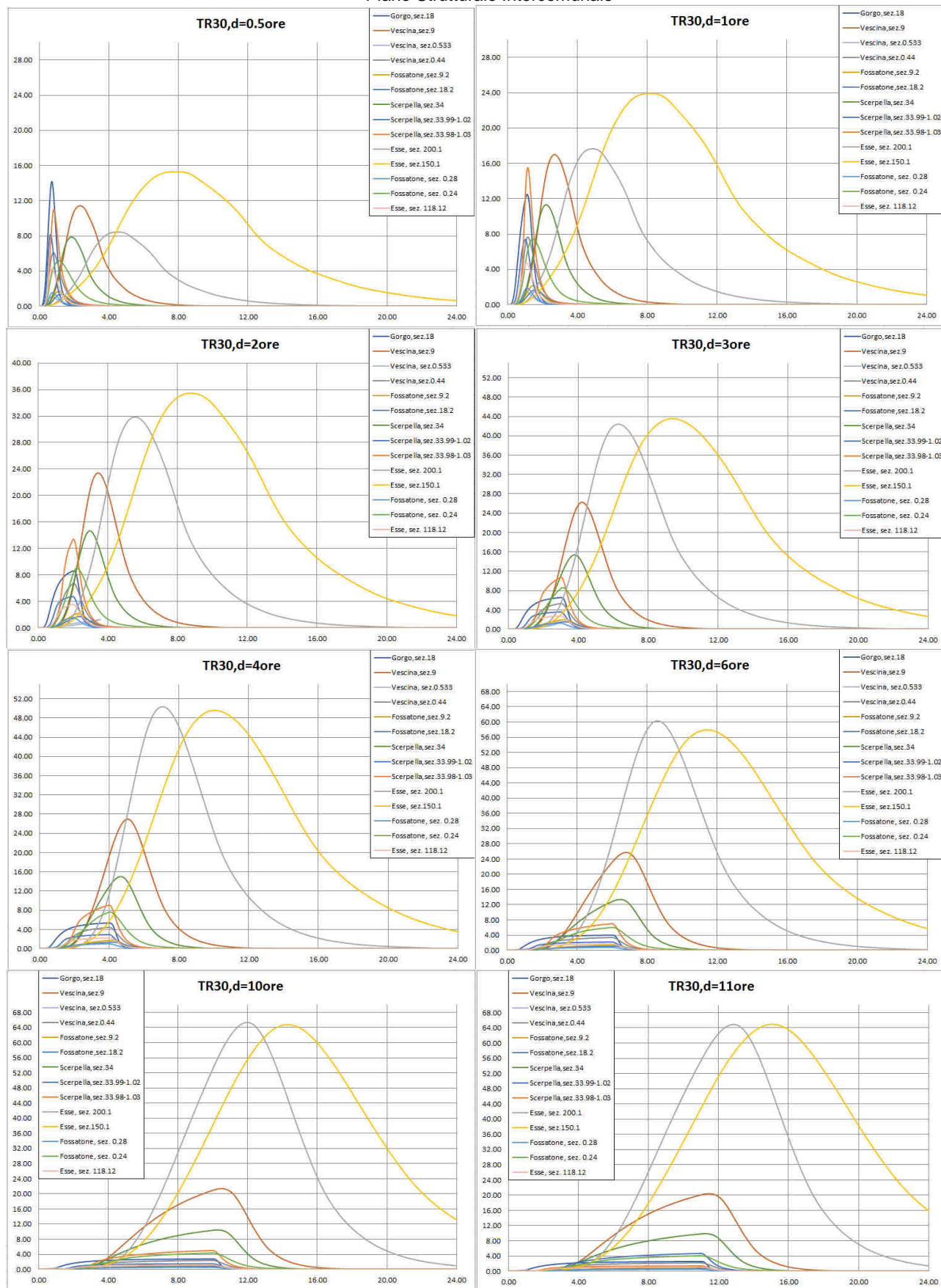


Piano Strutturale Intercomunale





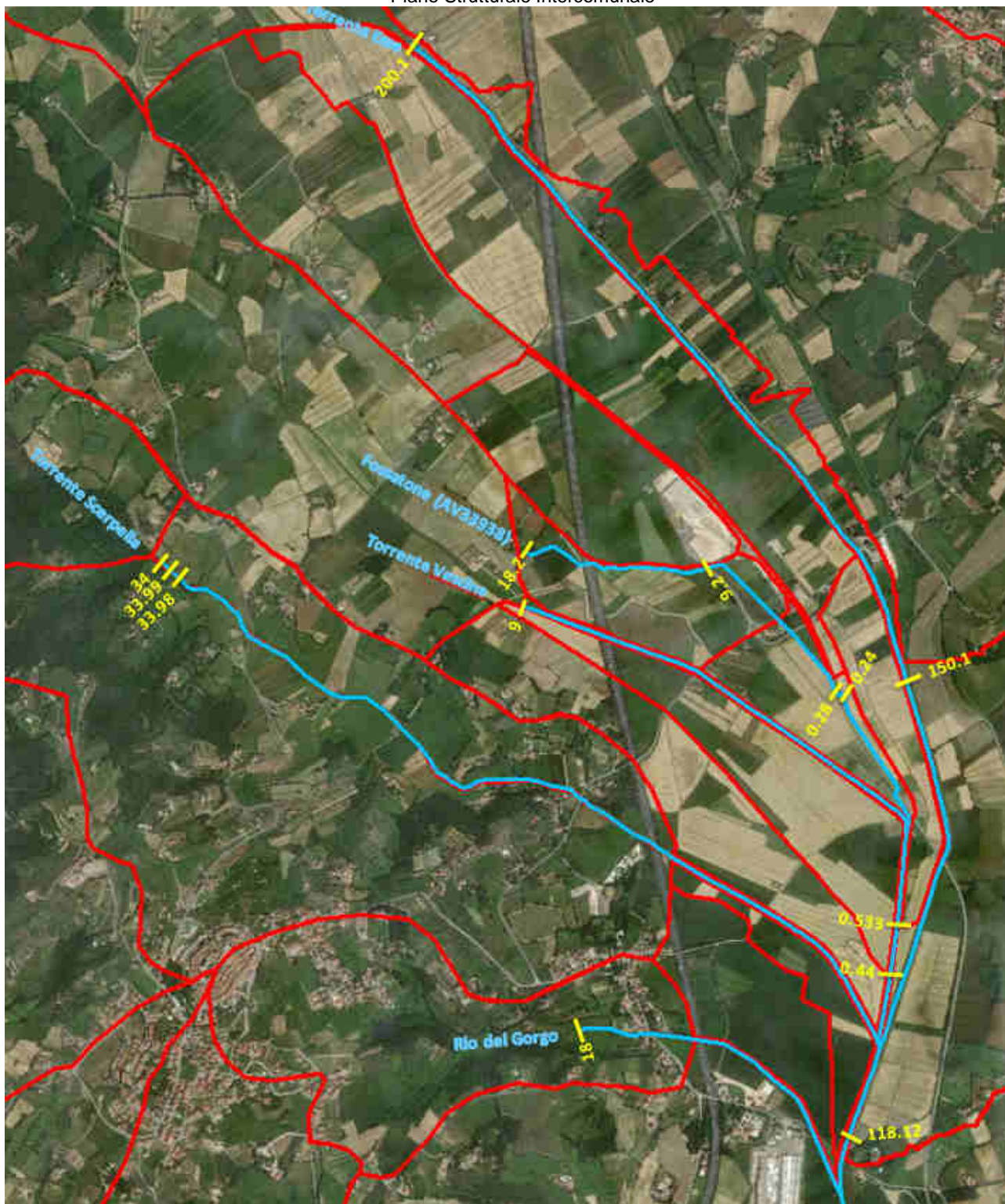
Piano Strutturale Intercomunale







Piano Strutturale Intercomunale





## 5 Analisi idraulica

### 5.1 Il modello numerico di simulazione idraulica

Come già anticipato, il presente studio idrologico - idraulico persegue l'obiettivo di individuare allo stato attuale i potenziali fronti di esondazione che potrebbero interessare le previsioni urbanistiche.

Le modalità di allagamento delle aree golenali di un corso d'acqua possono risultare molto differenti da caso a caso. Un allagamento può, infatti, verificarsi per libera espansione nelle golene non protette da difese spondali o per tracimazione degli argini o dei muri di sponda. Il volume esondato può, a sua volta, accumularsi in una determinata area oppure può trasferirsi più a valle, allagando, magari, un territorio non interessato da un fronte di esondazione diretto.

Per descrivere compiutamente il fenomeno di propagazione delle onde di piena sono stati allestiti dei modelli matematici accoppiati 1D per gli alvei incisi e puramente 2D per le aree golenali extra-alveo implementati mediante il software Hec-Ras<sup>2</sup> (rel.5.0.6).

### 5.2 Principi teorici della modellazione numerica

Rimandando all'indirizzo internet <http://www.hec.usace.army.mil> per l'esauritiva trattazione dei principi teorici sui quali si basa la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto (in particolare alle pubblicazioni "*Hydraulic Reference Manual*", "*User's Manual*" e "*Two-Dimensional Modeling User's Manual*"), si riportano di seguito alcuni brevi cenni di come viene effettuata la modellazione numerica 2D dal software Hec-Ras v.5.

Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente in base al tipo di problema da analizzare: le equazioni 2D in forma completa (Full Momentum) sono tuttavia applicabili a alla più ampia gamma di applicazioni e sono state adottate nel presente studio.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. Tale algoritmo di soluzione, oltre a consentire passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti, presenta miglioramenti in termini di stabilità e

<sup>2</sup> Hydrologic Engineering Center – River Analysis System – US Army Corps of Engineers, Davis CA.

robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.

Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere variabili e presentare forme triangolari, quadrate, rettangolari, pentagonali, esagonali, ettagonali oppure ottagonali.

Ogni cella e ogni faccia della cella, per tutta la maglia di calcolo, è pre-processata al fine di calcolare le tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM di base, che mantiene la propria risoluzione spaziale generalmente, come in questo caso, superiore a quella della mesh (Figura 5-1).

Nella Figura 5-1 è illustrato uno schema della maglia di calcolo sovrapposta ad un DTM avente maggior risoluzione spaziale della mesh. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. Il centro delle celle di calcolo è rappresentato dai nodi neri e sono i punti in cui vengono calcolati per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume viene calcolata nella fase di pre-processing per ogni cella sulla base del DTM sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra celle contigue in base ai dati morfologici sottostanti. Pertanto, un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione della mesh viene comunque rappresentato tramite le curve altezza/volume oltreché dalle proprietà idrauliche delle facce. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso si concentra inizialmente nelle zone più depresse.

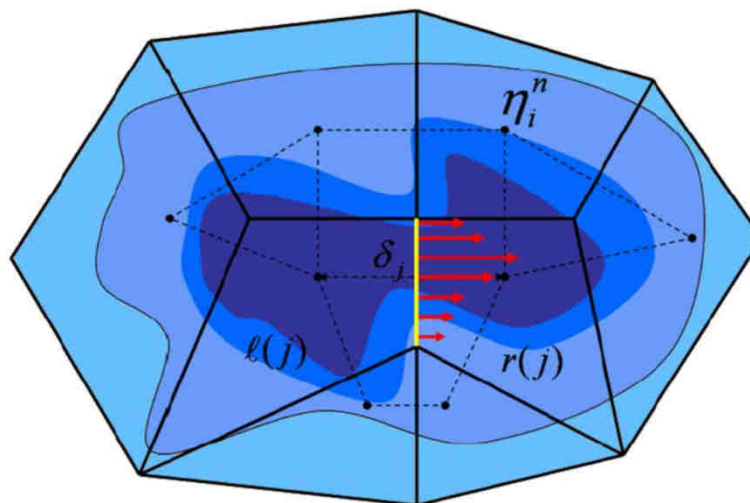


Figura 5-1: schema concettuale dell'algoritmo a volumi finiti adottato dal software Hec-Ras v.5.





Nell'ambiente RAS Mapper, il software Hec-Ras consente di effettuare la perimetrazione delle aree allagabili, la mappatura delle varie grandezze idrauliche (tra cui velocità, sforzi tangenziali, ecc...) l'animazione della propagazione della piena nel tempo. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM e ne mantiene la risoluzione: ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli morfologici del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.

### 5.2.1 Assegnazione dei parametri di scabrezza

Per quanto riguarda le scabrezze medie attribuibili ai singoli corsi d'acqua analizzati si rimanda ai successivi paragrafi relativi a ciascun modello numerico implementato, con riferimento ai valori medi del coefficiente  $n$  di Manning rappresentativi della regolarità dei corsi d'acqua e della presenza di vegetazione, coerentemente ai normali valori proposti in letteratura<sup>3</sup>:

- $0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari"*.
- $0.030 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia"*.
- $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"Canali in abbandono con grande vegetazione"*

Analogamente, per quanto riguarda le scabrezza extra-alveo da utilizzare per la modellazione idraulica bidimensionale del cosiddetto "overland flow", si è fatto riferimento alla tabella seguente, sempre tratta dalla letteratura di settore.

<sup>3</sup> Manuale di Ingegneria Civile - Volume I .Ed.Zanichelli/Esac.

Tabella 5-1: valori di scabrezza al variare del tipo di copertura per "overland flow"

Table 1. Overland Flow Manning's n Roughness Values <sup>1</sup>	
Surface	n-value
Dense turf	0.17 - 0.80
Bermuda and dense grass, dense vegetation	0.17 - 0.48
Shrubs and forest litter, pasture	0.30 - 0.40
Average grass cover	0.20 - 0.40
Poor grass cover on rough surface	0.20 - 0.30
Short prairie grass	0.10 - 0.20
Sparse vegetation	0.05 - 0.13
Sparse rangeland with debris	
0% cover	0.09 - 0.34
20 % cover	0.05 - 0.25
Plowed or tilled fields	
Fallow - no residue	0.008 - 0.012
Conventional tillage	0.06 - 0.22
Chisel plow	0.06 - 0.16
Fall disking	0.30 - 0.50
No till - no residue	0.04 - 0.10
No till (20 - 40% residue cover)	0.07 - 0.17
No till (60 - 100% residue cover)	0.17 - 0.47
Open ground with debris	0.10 - 0.20
Shallow glow on asphalt or concrete (0.25" to 1.0")	0.10 - 0.15
Fallow fields	0.08 - 0.12
Open ground, no debris	0.04 - 0.10
Asphalt or concrete	0.02 - 0.05
<sup>1</sup> Adapted from COE, HEC-1 Manual, 1990 and the COE, Technical Engineering and Design Guide, No. 19, 1997 with modifications.	

### 5.2.2 Condizioni al contorno

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una data sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa, a monte o a valle a seconda del regime di corrente.

Il programma provvede automaticamente al riconoscimento per tratti del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e, se in un tratto la corrente ad esempio è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte; viceversa, se la corrente del tratto è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri ed è in grado di processare situazioni in cui i due regimi si susseguono in qualsiasi ordine.



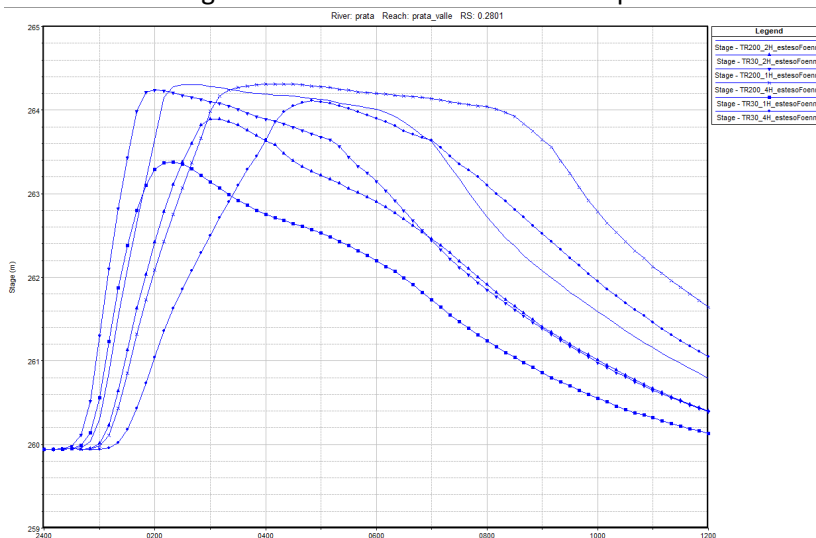
Per effettuare la simulazione è quindi necessario imporre delle condizioni al contorno a monte e a valle dei tratti in esame. Com'è noto questa condizione può essere imposta in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme, scala di deflusso.

A questo proposito va tuttavia osservato che il metodo d'integrazione numerica adottato dal software ("Standard step method") è intrinsecamente autoregolante, ovvero, dopo pochi step spaziali (sezioni), l'altezza della corrente risulta invariante rispetto alla condizione al contorno adottata. Per questo motivo, eventuali imprecisioni nella valutazione delle altezze di controllo diventano inessenziali se si dispone di un numero di sezioni in eccesso rispetto a quelle strettamente occorrenti per l'estensione del tratto da indagare.

Trattandosi di analisi in regime di moto vario, quali condizioni al contorno di monte sono stati assunti gli idrogrammi di piena; per la condizione di valle, invece, si rimanda alla tabella successiva.

Tabella 5-2: condizioni al contorno di valle assunte nei modelli numerici di propagazione delle piene implementati con il software Hec-Ras v. 5.0.6

COMUNE	SIGLA	MODELLO HEC-RAS	COND. AL CONT. DI VALLE
Lucignano	BLM	Scerpella Vescina Fossatone Gorgo Esse	t. Esse sez. 100.2 normal depth – friction slope = 0.0035
	BLV	Prata Fossatone Croce	Prata valle sez 0.2801 Limnogrammi t. Foenna isocroni e isofrequenti





COMUNE	SIGLA	MODELLO HEC-RAS	COND. AL CONT. DI VALLE
Marciano	RIO	Riola Canterino Leprone Prato	t. Leprone sez. 0.1 normal depth – friction slope = 0.001
	PES	Pescaia Basso San Giovanni	normal depth – friction slope = 0.004 normal depth – friction slope = 0.001 normal depth – friction slope = 0.0066



## 6 Risultati della modellazione idraulica

Le simulazioni numeriche delle correnti di piena condotte per eventi meteorici duecentennali e trentennali, implementati con il programma Hec-Ras, hanno consentito di individuare, per i corsi d'acqua oggetto di studio, i tratti dove si verificano le esondazioni, gli idrogrammi corrispondenti ai volumi esondati da ciascun fronte di esondazione e la relativa propagazione extra-alveo di detti volumi idrici.

Nelle tavole grafiche allegate sono indicate le relative aree a pericolosità per alluvioni frequenti e poco frequenti da cui si evincono le criticità idrauliche presenti nel territorio.

Per ulteriori dettagli si rimanda all' Appendice (**Doc.G02a**) contenenti gli outputs grafici e numerici delle simulazioni effettuate in regime di moto vario.

I modelli implementati e che saranno descritti in maggior dettaglio nei successivi paragrafi, sono riassunti nella seguente tabella in cui per ciascun modello sono indicati i corsi d'acqua considerati e gli scenari meteorologici di sollecitazione (con  $T_r$  che indica il tempo di ritorno e  $d$  la durata di precipitazione).

Tabella 6-1: tabella riassuntiva dei modelli numerici implementati con Hec-Ras ver. 5.0.6

Comune	Sigla	Corsi d'acqua	Scenari meteorologici	
LUCIGNANO	BLV	<i>Fosso delle Prata Fossatone (AV 37094) Croce Croce (AV37257)</i>	$T_r=200$ anni, $d=1$ ore $T_r=200$ anni, $d=2$ ore $T_r=200$ anni, $d=4$ ore	$T_r=30$ anni, $d=1$ ore $T_r=30$ anni, $d=2$ ore $T_r=30$ anni, $d=4$ ore
	BLM	<i>Torrente Esse Fossatone (AV33938) Torrente Vescina Torrente Scerpella Rio del Gorgo</i>	$T_r=200$ anni, $d=0.5$ ore $T_r=200$ anni, $d=1$ ore $T_r=200$ anni, $d=2$ ore $T_r=200$ anni, $d=3$ ore $T_r=200$ anni, $d=4$ ore $T_r=200$ anni, $d=6$ ore $T_r=200$ anni, $d=9$ ore $T_r=200$ anni, $d=11$ ore	$T_r=30$ anni, $d=0.5$ ore $T_r=30$ anni, $d=1$ ore $T_r=30$ anni, $d=2$ ore $T_r=30$ anni, $d=3$ ore $T_r=30$ anni, $d=4$ ore $T_r=30$ anni, $d=6$ ore $T_r=30$ anni, $d=10$ ore $T_r=30$ anni, $d=11$ ore
MARCIA DELLA CHI ANA	RIO	<i>Torrente Leprone Fosso della Riola Rio del Canterino Rio di Prato</i>	$T_r=200$ anni, $d=1.5$ ore $T_r=200$ anni, $d=2$ ore $T_r=200$ anni, $d=4$ ore $T_r=200$ anni, $d=8$ ore	$T_r=30$ anni, $d=1.5$ ore $T_r=30$ anni, $d=3$ ore $T_r=30$ anni, $d=4$ ore $T_r=30$ anni, $d=8$ ore
	PES	<i>Rio della Pescaia Rio del Basso Rio di San Giovanni Fosso AV30937</i>	$T_r=200$ anni, $d=1$ ore $T_r=200$ anni, $d=2$ ore $T_r=200$ anni, $d=3$ ore $T_r=200$ anni, $d=4$ ore	$T_r=30$ anni, $d=1$ ore $T_r=30$ anni, $d=2$ ore $T_r=30$ anni, $d=3$ ore $T_r=30$ anni, $d=4$ ore





## 6.1 Modello “Prata - Fossatone - Croce”

### 6.1.1 Tratti dei corsi d'acqua modellati

- **Fosso delle Prata:** dalla sez. 23, posta circa 542 m a monte della confluenza con il Fossatone (AV37094), alla sez. 0.2801 posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Foenna, per una lunghezza complessiva di circa 1.25 km ed un numero di sezioni pari a 50. Le sezioni comprendono 4 strutture di attraversamento.
- **Fossatone (AV37094):** dalla sez. 59.2, posta circa 100 m a valle dell'incrocio tra via dei Procacci e via G. Verdi, alla sez. 21 posta in corrispondenza della confluenza con il Fosso delle Prata, per una lunghezza complessiva di circa 1.72 km ed un numero di sezioni pari a 53. Le sezioni comprendono 9 strutture di attraversamento.
- **Croce (AV37257):** dalla sez. 5, posta circa 223 m a monte della S.P.19 (Via Procacci, località Il Pianello, comune di Lucignano), alla sez. 0.7 posta in corrispondenza della confluenza con il Fosso delle Prata, per una lunghezza complessiva di circa 0.41 km ed un numero di sezioni pari a 8. Le sezioni comprendono una struttura di attraversamento.

### 6.1.2 Scabrezze

- **Fosso delle Prata:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Fossatone (AV37094):** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Croce (AV37257):** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .

### 6.1.3 Durate critiche e durate simulate

Le analisi sono state effettuate considerando che i corsi d'acqua presenti nel modello siano simultaneamente interessati da eventi meteorici aventi lo stesso tempo di ritorno e la stessa durata di pioggia, in quanto costituiscono un sistema interconnesso.

Pertanto sono stati esaminati i seguenti scenari meteorici:

- evento meteorico 200ennale di durata critica pari a 1, 2, 4 ore;
- evento meteorico 30ennale di durata critica pari a 1, 2, 4 ore.



### 6.1.4 Schema planimetrico

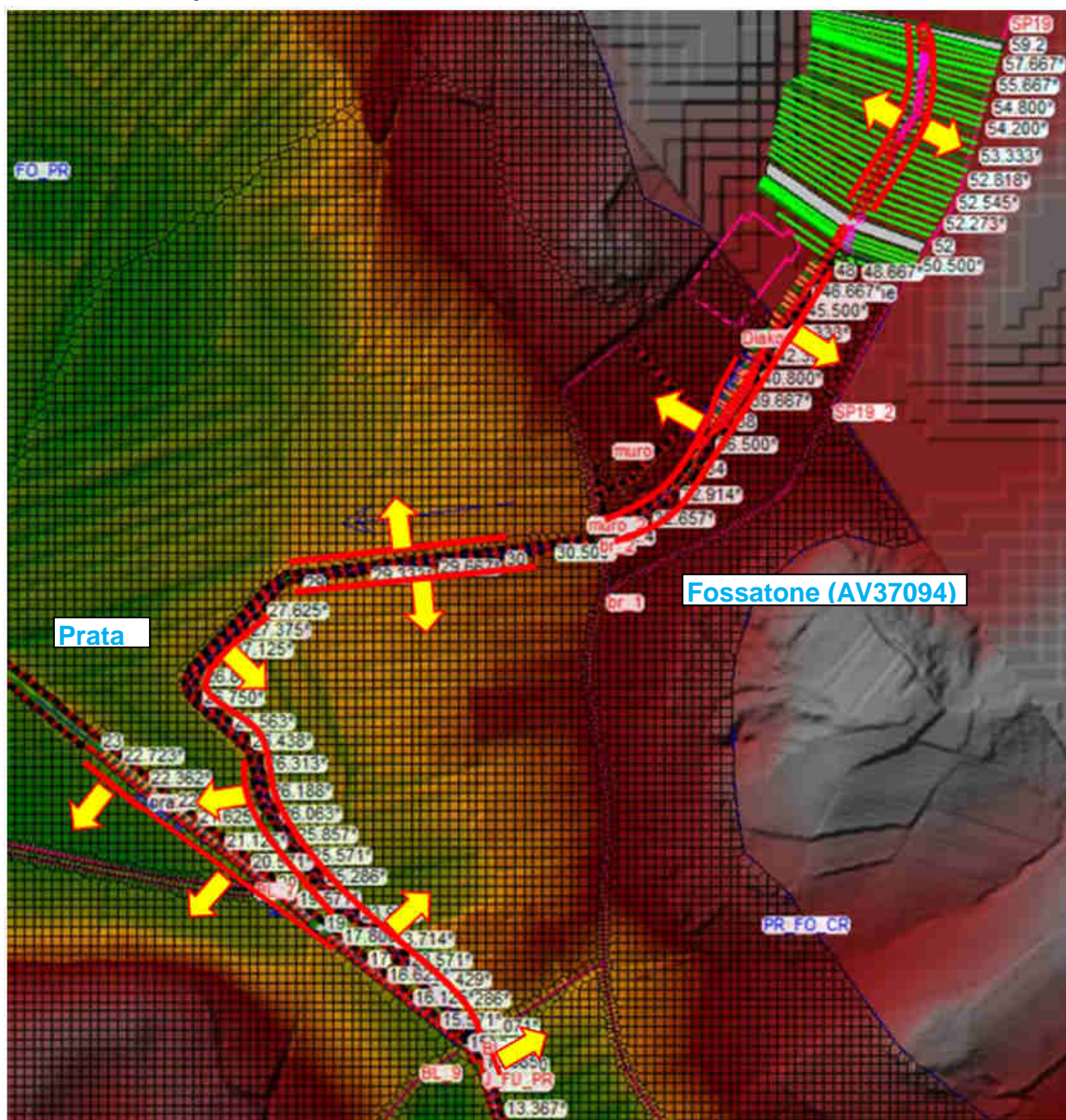


Figura 6-1: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso (freccia gialla).





Figura 6-2: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso (freccia gialla).



## 6.2 Modello “Scerpella – Vescina – Fossatone – Gorgo - Esse”

### 6.2.1 Tratti dei corsi d'acqua modellati

- **Torrente Esse:** dalla sez. EF\_200.1, posta circa a 310 m a monte dell'Autostrada A1, alla sez. EF\_100.2, posta in prossimità della confluenza con il Rio di San Smeraldo, per una lunghezza complessiva di circa 4.6 km ed un numero di sezioni pari a 66. Le sezioni 7 strutture di attraversamento.
- **Torrente Vescina:** dalla sez. 9, posta circa 305 m a monte dell'Autostrada A1 (località Poschini, comune di Lucignano), alla sez. 0.06 posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Scerpella, per una lunghezza complessiva di circa 2.6 km ed un numero di sezioni pari a 40. Le sezioni comprendono 3 strutture di attraversamento e due briglie.
- **Torrente Scerpella:** dalla sez. 34, posta circa 447 m a monte della S.P.19 Procacci, alla sez. 0.4 posta alla confluenza con il Torrente Esse, per una lunghezza complessiva di circa 3.53 km ed un numero di sezioni pari a 63. Le sezioni comprendono 7 strutture di attraversamento e una briglia.
- **Fossatone (AV33938):** dalla sez. 18.2, posta circa 241 m a monte dell'Autostrada A1 (località Poschini, comune di Lucignano), alla sez. 0.12 posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Vescina, per una lunghezza complessiva di circa 2.09 km ed un numero di sezioni pari a 54. Le sezioni comprendono 9 strutture di attraversamento.
- **Rio del Gorgo:** dalla sez. 18, posta circa 260 m a monte della S.P.28 (Via Procacci, località Pieve Vecchia, comune di Lucignano), alla sez. 0.9 posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Esse, per una lunghezza complessiva di circa 1.31 km ed un numero di sezioni pari a 32. Le sezioni comprendono 6 strutture di attraversamento, tra le quali due tratti tombati che si sviluppano rispettivamente dalla sez. 11.8 alla sez. 11, e dalla sez. 1.8 alla sez. 1, per una lunghezza pari a circa 136 m e 29 m.

### 6.2.2 Scabrezze

- **Torrente Esse:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .



- **Torrente Vescina:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ . Nel tratto dalla sez. 0.16 alla sez. 0.06 i coefficienti di scabrezza adottati sono pari a  $0.02 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra alveo.
- **Torrente Scerpella:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ . Nel tratto dalla sez. 0.55 alla sez. 0.4 i coefficienti di scabrezza adottati sono pari a  $0.02 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra alveo.
- **Fossatone (AV33938):** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.045 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Rio del Gorgo:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .

### 6.2.3 Durate critiche e durate simulate

Le analisi sono state effettuate considerando che i corsi d'acqua presenti nel modello siano simultaneamente interessati da eventi meteorici aventi lo stesso tempo di ritorno e la stessa durata di pioggia, in quanto costituiscono un sistema interconnesso.

Pertanto sono stati esaminati i seguenti scenari meteorici:

- evento meteorico 200ennale di durata critica pari a 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 11 ore;
- evento meteorico 30ennale di durata critica pari a 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 11 ore.



## 6.2.4 Schema planimetrico

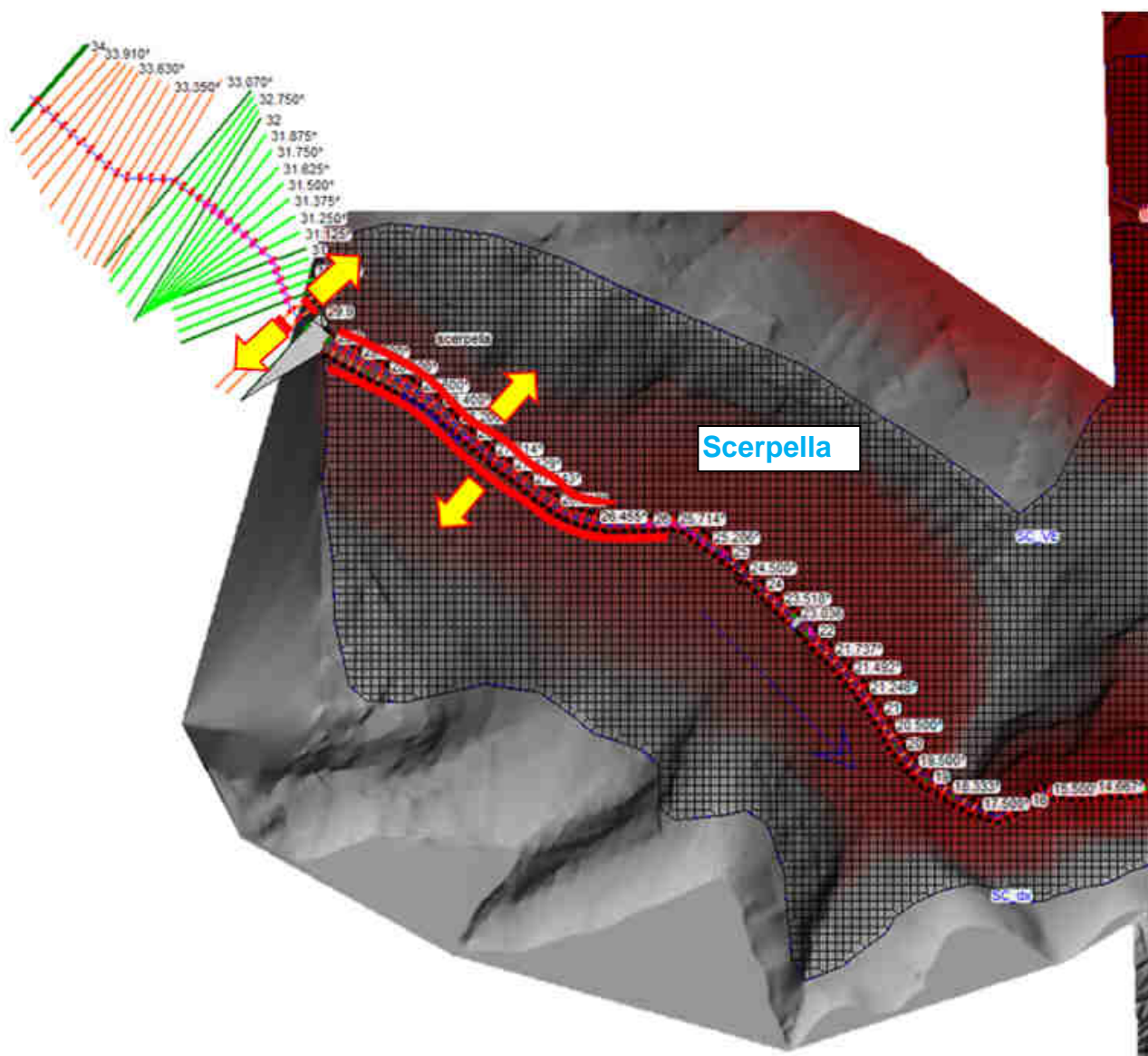


Figura 6-3: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso (freccia gialla).



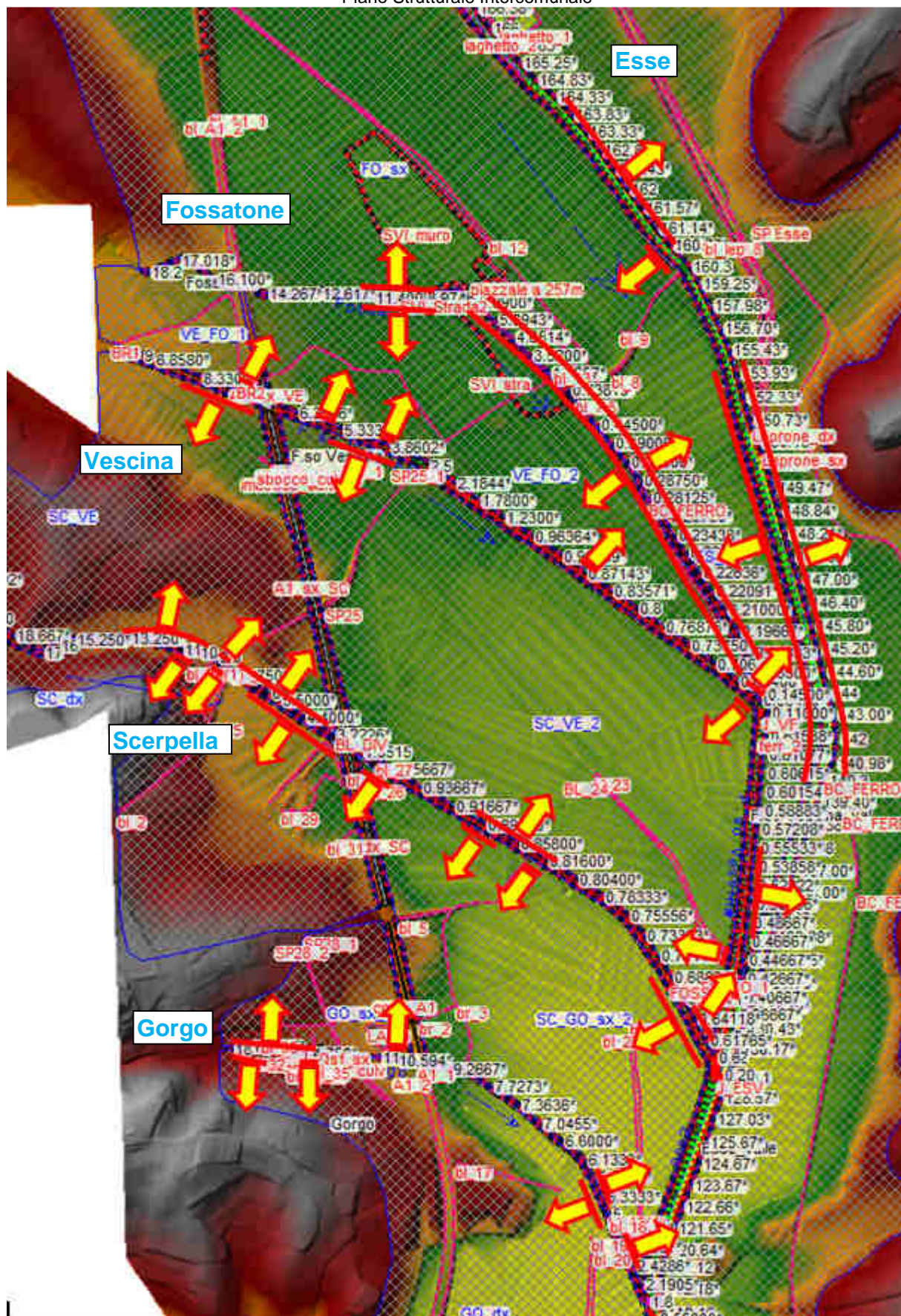


Figura 6-4: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso (freccia gialla).



## 6.3 Modello “Riola - Canterino - Leprone - Prato”

### 6.3.1 Tratti dei corsi d'acqua modellati

- **Torrente Leprone:** dalla sez. 10, posta, alla sez. 0.1 posta circa 200 m a monte della confluenza con il Fosso dell'Infernaccio, per una lunghezza complessiva di circa 2.0 km ed un numero di sezioni pari a 18. Le sezioni comprendono una struttura di attraversamento.
- **Fosso della Riola:** dalla sez. 8, posta circa 500 m a monte della S.P.25 (località Badicorte, comune di Marciano della Chiana), alla sez. 0.1 posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Leprone, per una lunghezza complessiva di circa 1.05 km ed un numero di sezioni pari a 18. Le sezioni comprendono una struttura di attraversamento.
- **Rio del Canterino:** dalla sez. 8 posta a circa 80 m a monte della strada bianca che conduce in località Pantano, alla sez. 0.9 posta in corrispondenza della confluenza con il Fosso della Riola, per una lunghezza complessiva di circa 0.49 km ed un numero di sezioni pari a 11. Le sezioni comprendono due strutture di attraversamento.
- **Rio di Prato:** dalla sez. 6 alla sez. 1, posta in corrispondenza della confluenza con il Torrente Leprone, per una lunghezza complessiva di circa 1.03 km ed un numero di sezioni pari a 7.

### 6.3.2 Scabrezze

- **Torrente Leprone:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.05 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Fosso della Riola:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Rio del Canterino:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.05 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Rio di Prato:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.05 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .





### **6.3.3 Durate critiche e durate simulate**

Le analisi sono state effettuate considerando che i corsi d'acqua presenti nel modello siano simultaneamente interessati da eventi meteorici aventi lo stesso tempo di ritorno e la stessa durata di pioggia, in quanto costituiscono un sistema interconnesso.

Pertanto sono stati esaminati i seguenti scenari meteorici:

- evento meteorico 200ennale di durata critica pari a 1.5, 2, 4, 8 ore;
- evento meteorico 30ennale di durata critica pari a 1.5, 3, 4, 8 ore.

### 6.3.4 Schema planimetrico

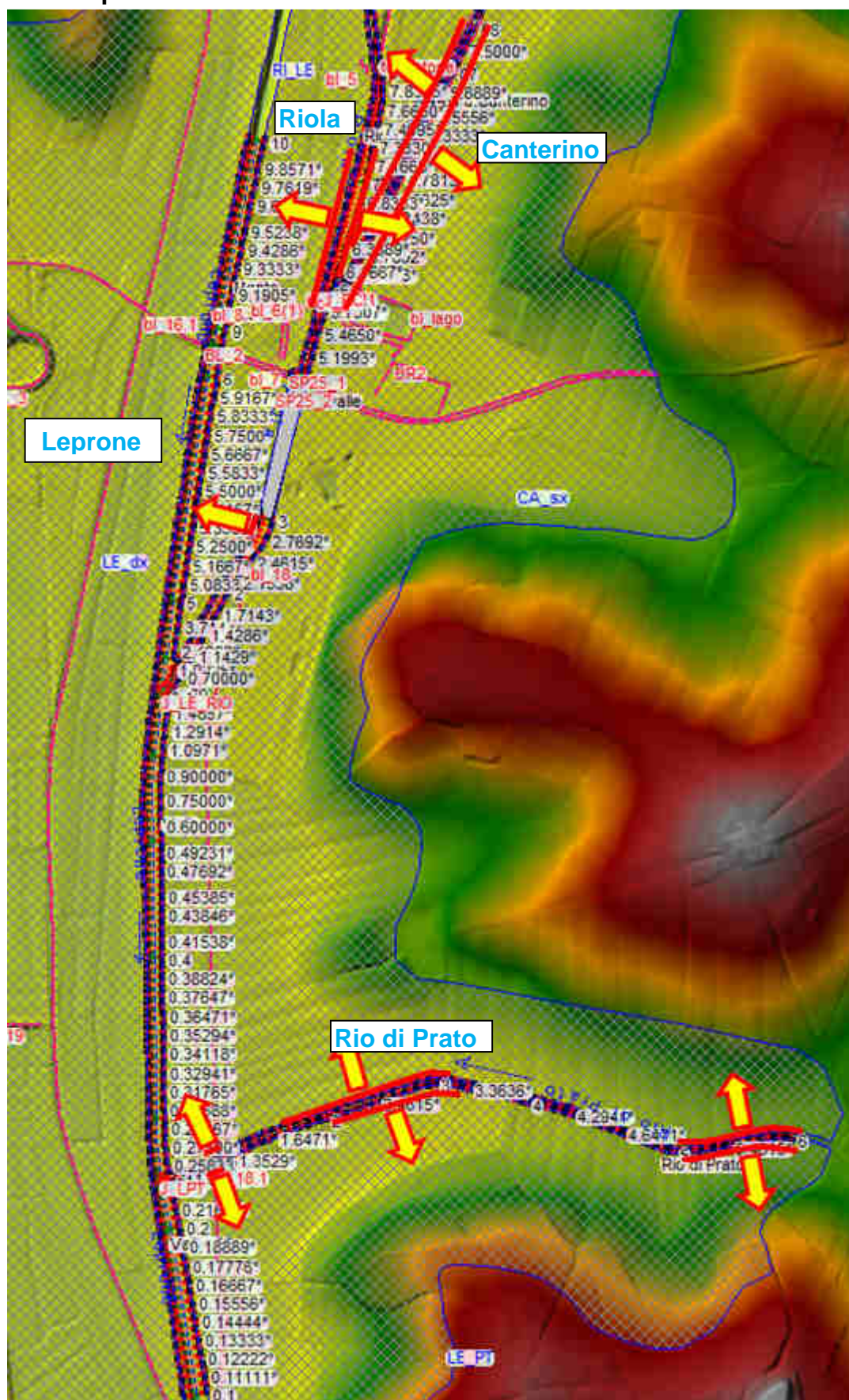


Figura 6-5: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso





## 6.4 Modello “Pescaia – Basso – S.Giovanni”

### 6.4.1 Tratti dei corsi d’acqua modellati

- **Rio della Pescaia:** dalla sez. 9, posta circa 478 m a monte della S.P.327 (Via Cassia, località Pescaia, comune di Marciano della Chiana), alla sez. 1 posta circa 145 m a valle della stessa, per una lunghezza complessiva di circa 0.64 km ed un numero di sezioni pari a 11. Le sezioni comprendono una struttura di attraversamento.
- **Rio del Basso:** dalla sez. 32 posta in prossimità della località Viallesi, alla sez. 1 posta circa 18 m a valle dell'ingresso al cimitero di Cesa (comune di Marciano della Chiana), per una lunghezza complessiva di circa 1.21 km ed un numero di sezioni pari a 40. Le sezioni comprendono 7 strutture di attraversamento, tra le quali un tratto tombato che si estende per circa 233 m dalla sez. 11 alla sez. 10.
- **Rio di San Giovanni:** dalla sez. 38, posta circa 377 m a monte di Via Vallesi (località San Giovanni, comune di Marciano della Chiana), alla sez. 1 posta circa 64 m a monte della confluenza con il Canale Maestro della Chiana, per una lunghezza complessiva di circa 2.65 km ed un numero di sezioni pari a 49. Le sezioni comprendono 7 strutture di attraversamento.
- **Fosso AV30937:** dalla sez. 8, posta circa 80 m a valle della S.P.327 (nell'intorno del km 9,400), alla sez. 0.9 posta in corrispondenza della confluenza con il Rio di San Giovanni, per una lunghezza complessiva di circa 0.51 km ed un numero di sezioni pari a 10. Le sezioni comprendono due strutture di attraversamento.

### 6.4.2 Scabrezze

- **Rio della Pescaia:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Rio del Basso:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Rio di San Giovanni:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **Fosso AV30937:** coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .

### 6.4.3 Durate critiche e durate simulate

Le analisi sono state effettuate considerando che i corsi d'acqua presenti nel modello siano simultaneamente interessati da eventi meteorici aventi lo stesso tempo di ritorno e la stessa durata di pioggia, in quanto costituiscono un sistema interconnesso.

Pertanto sono stati esaminati i seguenti scenari meteorici:

- evento meteorico 200ennale di durata critica pari a 1, 2, 3, 4 ore;
- evento meteorico 30ennale di durata critica pari a 1, 2, 3, 4 ore.

### 6.4.4 Schema planimetrico

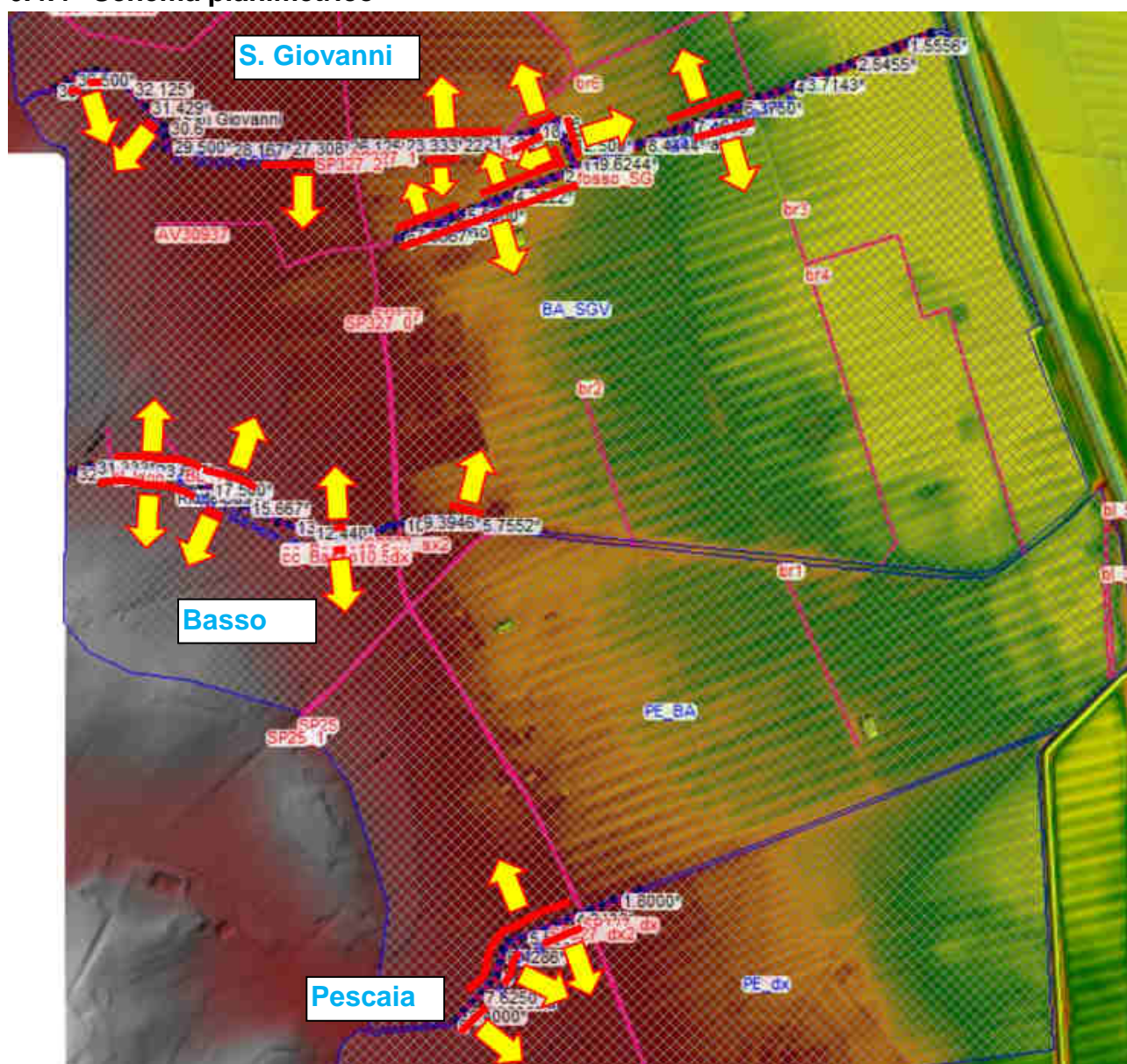


Figura 6-6: schema planimetrico con indicazione dei fronti di esonazione (linea rossa) e delle direzioni di flusso (freccia gialla).



## 7 Perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica e a diversa "magnitudo"

L'involuppo dei risultati ottenuti per ciascun tempo di ritorno (in particolare in termini di livelli idrometrici massimi raggiunti in alveo e nelle aree di esondazione) ha costituito la base numerica per il tracciamento, all'interno del perimetro di studio<sup>4</sup>, delle aree allagabili, con riferimento al DTM Lidar.

In ambiente Ras Mapper, il software ha fornito direttamente l'involuppo delle aree allagabili per ogni scenario analizzato, cioè relativamente ad un tempo di ritorno e a una durata di precipitazione. Successivamente, gli scriventi hanno creato, in ambiente GIS, per ciascun tempo di ritorno investigato, l'involuppo delle aree allagabili relative a più durate di precipitazione.

Pertanto il territorio è stato caratterizzato, all'interno del perimetro di studio, in funzione del tempo di ritorno, secondo le seguenti fasce:

- Aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR = 30$  anni (aree a pericolosità per **alluvioni frequenti**);
- Aree inondabili da eventi con tempo di ritorno  $TR = 200$  anni (aree a pericolosità per **alluvioni poco frequenti**);

Per quanto concerne la pericolosità idraulica ai sensi del Regolamento 53/R, le tavole G12 "Carta della Pericolosità Idraulica", relative all'intero territorio comunale di Lucignano e Marciano, sono state redatte adottando i seguenti criteri:

- All'interno del perimetro di studio la pericolosità idraulica per **alluvioni frequenti** e **poco frequenti** ai sensi della L.R. 41/2018, è stata definita sulla base dei risultati delle modellazioni numeriche; per la pericolosità idraulica per **alluvioni poco frequenti** derivante dal Canale Maestro della Chiana<sup>5</sup>, si è fatto riferimento alle vigenti perimetrazioni di PGRA;
- All'interno del perimetro di studio è stata inoltre indicata la pericolosità idraulica media "I.2" ai sensi del Regolamento 53/R, ricavata da criteri morfologici e storico-inventariali;

<sup>4</sup> Il perimetro di studio, indicato come "dominio di studio" nelle tavole grafiche, rappresenta la porzione di territorio comunale di Lucignano e Marciano in cui le aree allagabili sono state definite sulla base delle specifiche analisi idrologiche e idrauliche condotte nel presente studio.

<sup>5</sup> facente parte del reticolo principale di riferimento del Bacino dell'Arno ai sensi dell'Allegato 4 della Disciplina di Piano di PGRA.

- All'esterno del perimetro di studio, le pericolosità idrauliche individuate con criteri morfologici e storico-inventariali ai sensi del Regolamento 53/R, sono state desunte dagli strumenti urbanistici vigenti.

Inoltre facendo riferimento alla L.R. 41/2018, si è determinata per l'area di studio la "magnitudo idraulica". La magnitudo idraulica è definita per lo scenario per **alluvioni poco frequenti** attraverso la combinazione del battente e della velocità della corrente, così come di seguito indicato:

- "*magnitudo idraulica moderata*": valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 m/s. Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiori a 0,3 m;
- "*magnitudo idraulica severa*": valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 m/s oppure battente superiore a 0,5 m e inferiore o uguale a 1 m e velocità inferiore o uguale a 1 m/s. Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 m e inferiore o uguale a 0,5 m;
- "*magnitudo idraulica molto severa*": battente superiore a 0,5 m e inferiore o uguale a 1 m e velocità superiore a 1 m/s oppure battente superiore a 1 m. Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battenti superiori a 0,5 metri.

Nei soli tratti di aste idriche schematizzate a "sezioni estese", quindi con approccio 1D, la magnitudo idraulica è stata definita cautelativamente solo sulla base dei battenti, con la modalità riportata nella parte destra della successiva Figura 7-1.

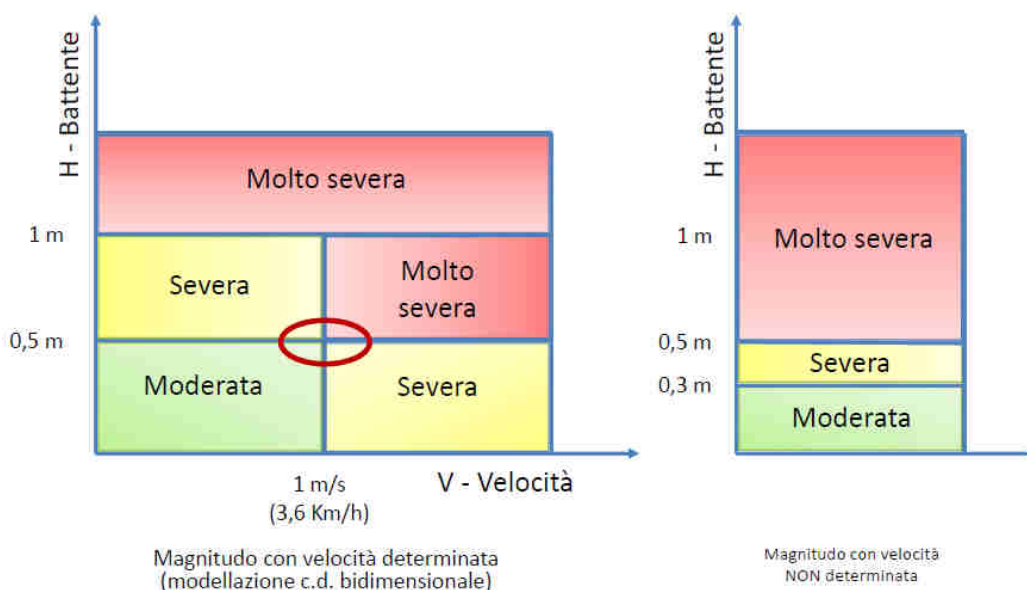


Figura 7-1: Definizione della "Magnitudo idraulica" ai sensi della L.R. 41/2018.





## 8 Carta dei battenti e Carta delle aree presidiate da sistemi arginali

Il presente studio idrologico idraulico è corredato della **Carta dei battenti** relativi all'involuppo dei livelli idrometrici massimi duecentennali raggiunti in alveo e nelle aree di esondazione con riferimento al DTM Lidar.

In ottemperanza alla L.R. 41/2018 è stata inoltre redatta la **Carta delle aree presidiate da sistemi arginali**, definite sulla base di quanto riportato all'art.2 comma 1 lettera s) della legge: "*aree presidiate da sistemi arginali*": aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine. Il limite esterno di tale aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.

Sulla base dei rilievi topografici disponibili e di appositi sopralluoghi presso i corsi d'acqua non oggetto di modellazione, sono stati individuati i tratti arginati dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico di cui all'art.22 lett. e) della L.R. 79/2012. Quindi, le aree presidiate dai sistemi arginali individuati sono state calcolate sulla base del DTM Lidar disponibile mediante strumenti GIS e riportate in mappa.

La *Carta delle aree presidiate da sistemi arginali* contiene inoltre la fascia dei 10 m dai corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico di cui di cui all'art.22 lett. e) della L.R. 79/2012.

L'individuazione delle aree presidiate da sistemi arginali costituisce la base per l'applicazione dell'art.14 della L.R. 41/2018, che recita:

### *Art. 14 Interventi nelle aree presidiate da sistemi arginali*

1. *Fermo restando quanto stabilito all'articolo 3, nelle aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni di cui all'articolo 2, comma 1, lettera s), per gli interventi di nuova costruzione sono previste misure per la gestione del rischio di alluvioni nell'ambito del piano di protezione civile comunale. A tal fine il comune, entro centottanta giorni dal rilascio del titolo abilitativo, aggiorna il relativo piano e lo trasmette alla struttura regionale competente.*





## **9 Criteri che hanno condotto all'individuazione dei corsi d'acqua, appartenenti al reticolo idrografico di cui all'art.22 lett. e) della L.R. 79/2012, da sottoporre ad analisi idrologico idraulica**

Per l'individuazione dei corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica si sono presi in esame i seguenti aspetti:

- il perimetro del territorio urbanizzato all'interno del quale potranno essere previste nuove edificazioni;
- il reticolo idrografico e di gestione individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R. 79/2012 (Rev. 2019).
- le aree a pericolosità da alluvione individuate nel P.G.R.A.;
- i corsi d'acqua oggetto di studio nei precedenti strumenti urbanistici;
- l'orografia del territorio comunale.



## 9.1 UTOE 1 Lucignano

Il perimetro del territorio urbanizzato relativo all'UTOE 1 (Lucignano) è in una situazione di alto morfologico e non è interessato dal reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012, pertanto non sono stati individuati corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica.

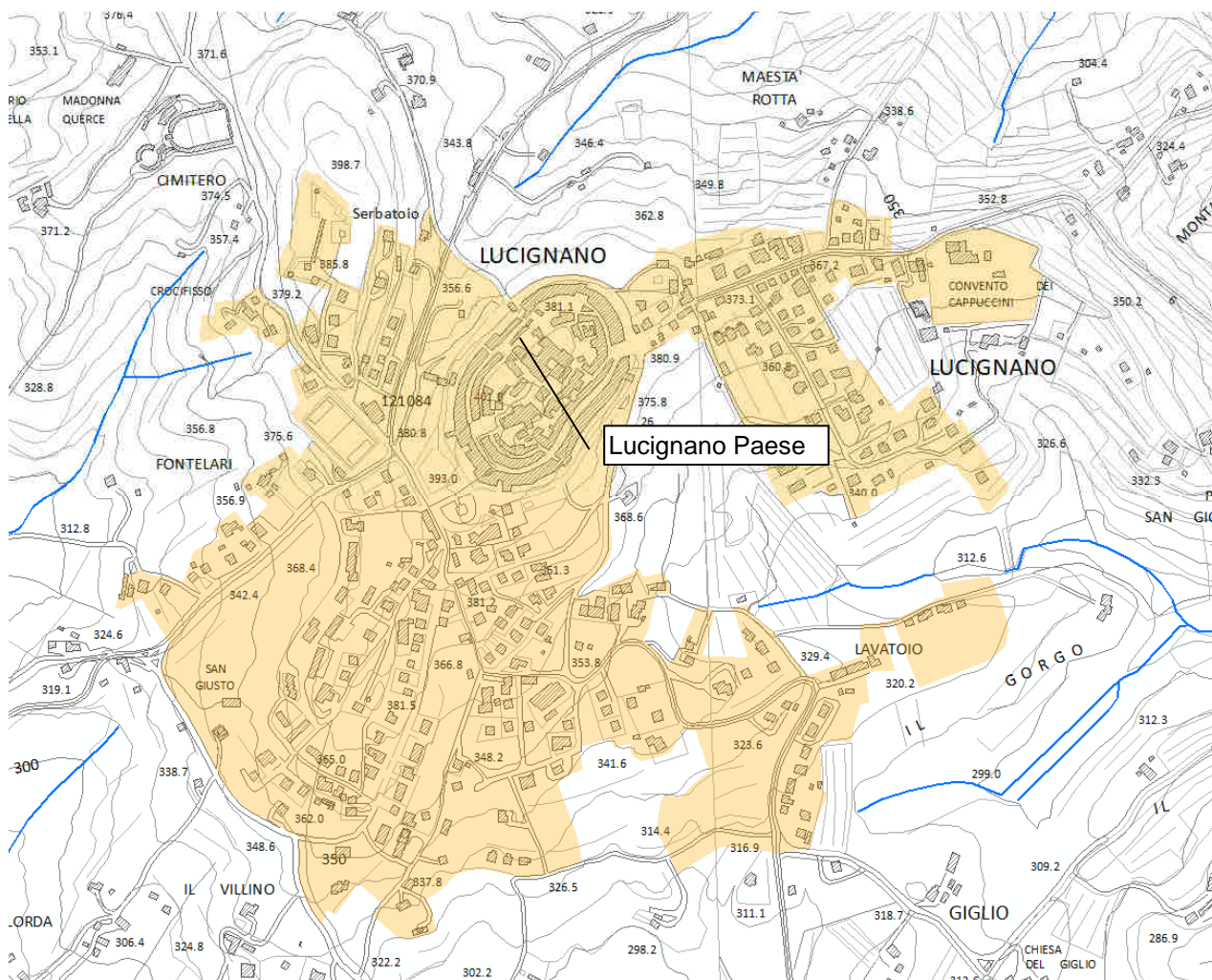


Figura 9-1: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape senape il perimetro del territorio urbanizzato inerente alla U.T.O.E 1 e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.



## 9.2 UTOE 2 Santa Maria

Il perimetro del territorio urbanizzato inerente all'UTOE 2 (Santa Maria) è in una situazione di alto morfologico rispetto al fosso AV34887 appartenente al reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 e risulta attraversata, a sud, dal fosso identificato con il codice AV 34947.

Tuttavia, il predetto corso d'acqua (AV 34947) non è stato sottoposto a modellazione idraulica perchè ritenuto non significativo ai fini della determinazione della pericolosità idraulica dell'area, sia per le modeste dimensioni del bacino imbrifero, peraltro caratterizzato da uso del suolo agricolo (circa 35 ha), sia per le modeste dimensioni dell'alveo stesso (Figura 9-3, Figura 9-4 e Figura 9-5).

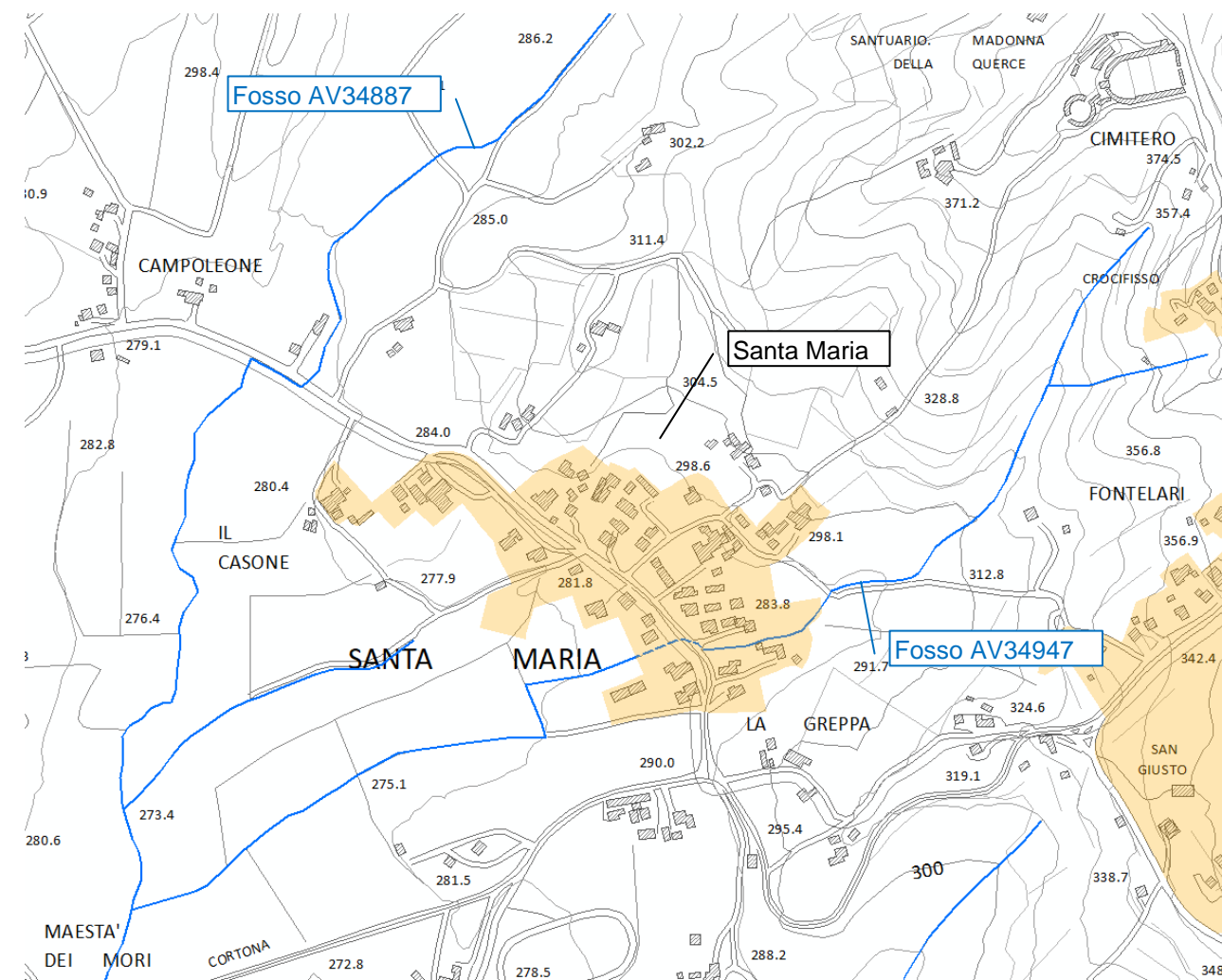


Figura 9-2: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape senape il perimetro del territorio urbanizzato inerente alla U.T.O.E 2 e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.





Figura 9-3: vista assonometrica, da monte verso valle, del fosso AV34947.





Piano Strutturale Intercomunale

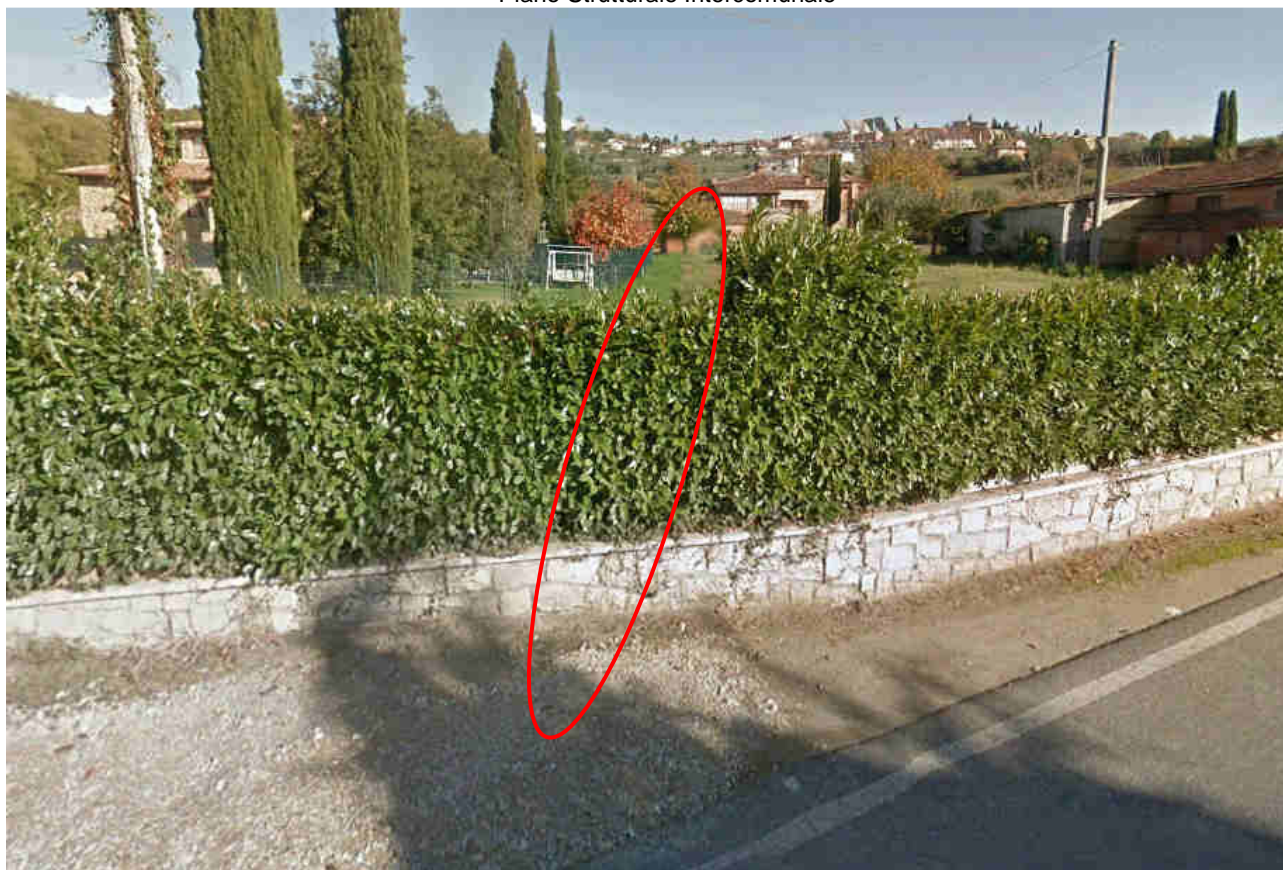


Figura 9-4: vista del fosso AV34947 da Via del Calcione, verso monte.



Figura 9-5: vista del fosso AV34947, tombato, da Via del Calcione, verso valle.





### 9.3 UTOE 3 La Croce, Padule, Pianello,

Il perimetro del territorio urbanizzato inerente all'UTOE 3 denominato La Croce si trova in una posizione di alto morfologico e non è interessata dal reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012, pertanto non sono stati individuati corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica.

Invece relativamente ai perimetri del territorio urbanizzato dell'UTOE denominati Padule e Pianello sono stati individuati i seguenti corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica: fosso della Prata (AV37011), Fossatone (AV36676), fossa della Croce (AV37257).

In particolare si segnala che i livelli nel torrente Foenna (desunti dallo studio idrologico idraulico di supporto del R.U.del Comune di Torrita di Siena) sono stati qui utilizzati come condizione al controno del fosso della Prata.



## Piano Strutturale Intercomunale

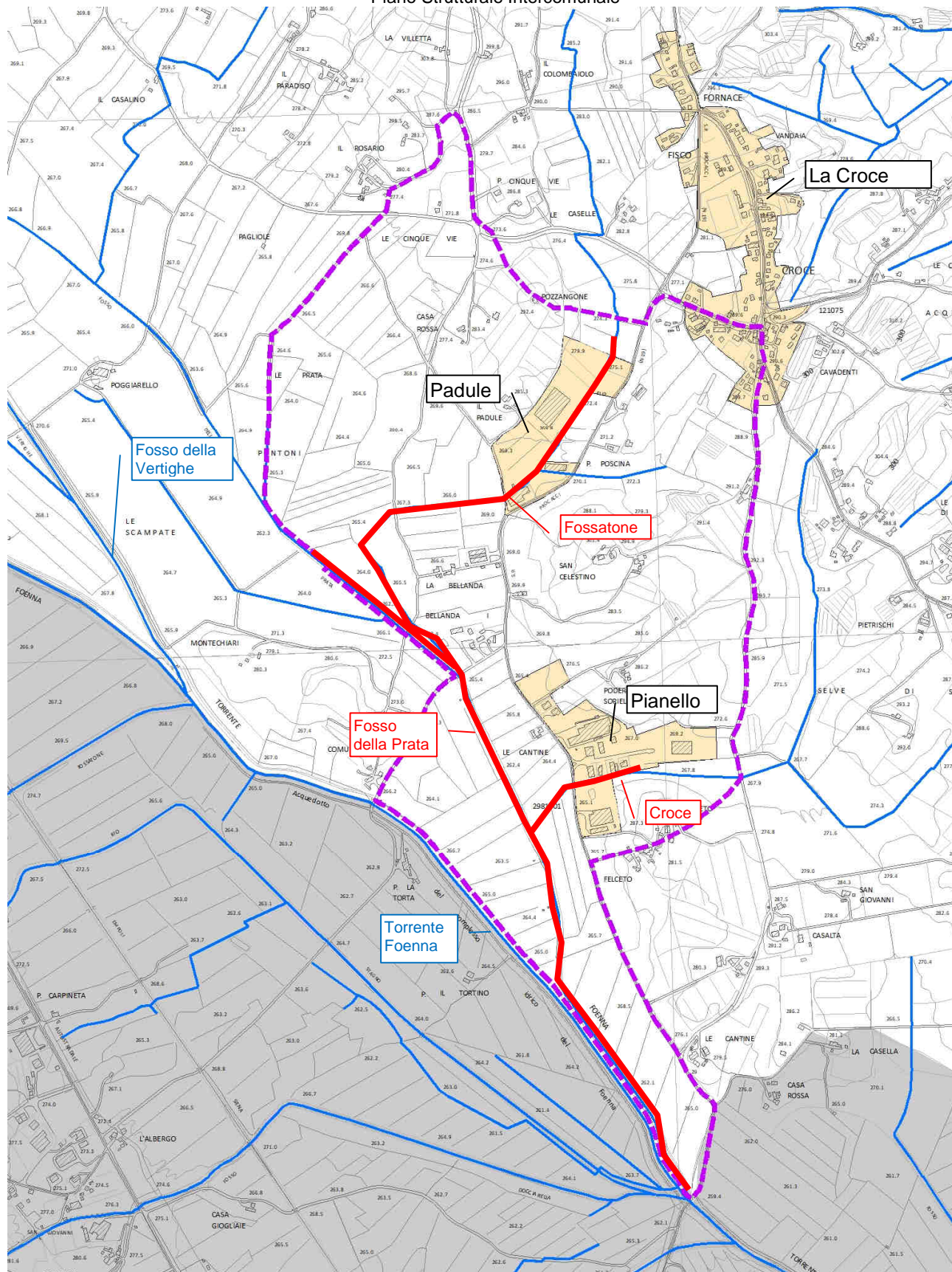


Figura 9-6: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape senape il perimetro del territorio urbanizzato inerente alla U.T.O.E 3, con il colore viola il perimetro di studio e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.



#### 9.4 UTOE 4 Pieve Vecchia

Relativamente al perimetro del territorio urbanizzato dell'UTOE 4 denominato Pieve Vecchia sono stati sottoposti a modellazione idraulica i seguenti corsi d'acqua il Rio del Gorgo (AV35055), il torrente Scerpella (AV34986), il torrente Vescina (AV34819), il torrente Esse (AV35004).

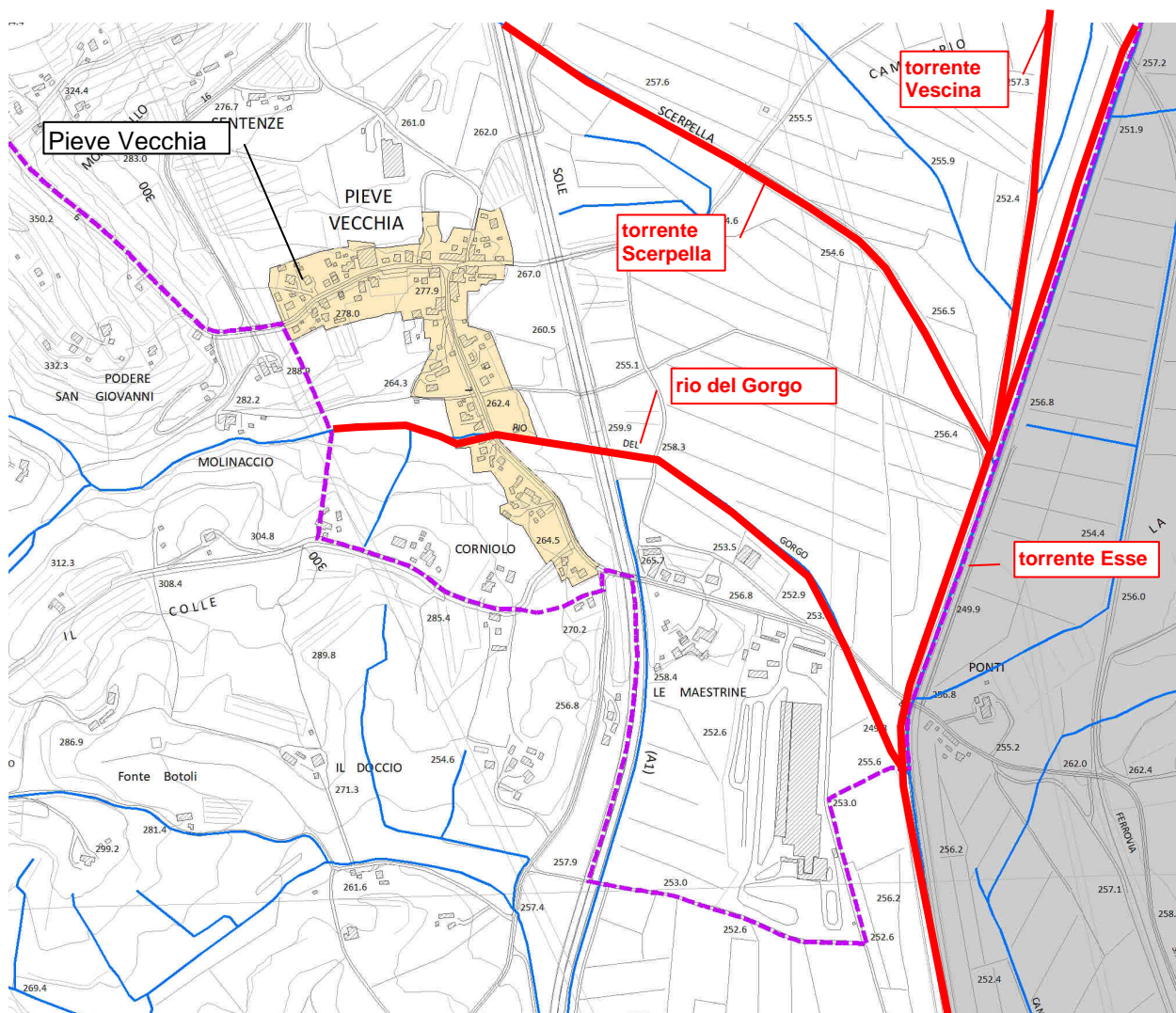


Figura 9-7: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape senape il perimetro del territorio urbanizzato inerente alla U.T.O.E 4, con il colore viola il perimetro di studio e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.



## 9.5 Ulteriori corsi d'acqua oggetto di studio non interferenti con il perimetro del territorio urbanizzato ricadenti nel comune di Lucignano.

Nel presente studio idrologico idraulico a supporto del P.S.I. sono stati oggetto di analisi, sebbene non interferenti con il perimetro del territorio urbanizzato, i seguenti tratti dei corsi d'acqua: rio del Gorgo, torrente Scerpella, torrente Vescina, fosso Fossatone, torrente Esse (vedi Figura 9-8).

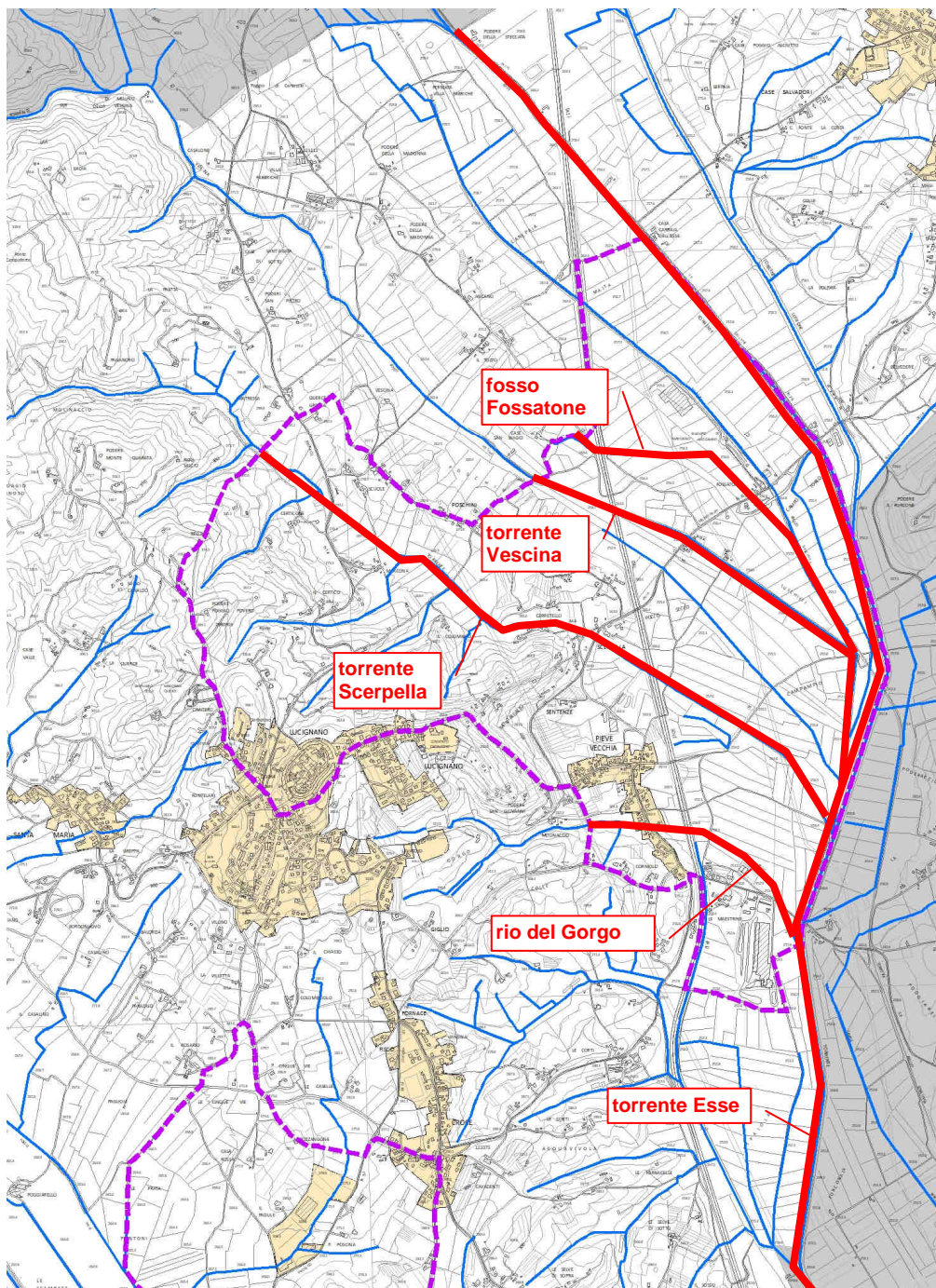


Figura 9-8: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape senape il perimetro del territorio urbanizzato, con il colore viola il perimetro di studio e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.





## 9.6 UTOE 6 Marciano

Il perimetro del territorio urbanizzato relativo all'UTOE 6, Marciano, è in una situazione di alto morfologico ed è interessato solo marginalmente dal reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012, pertanto non si è reso necessario individuare corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica.

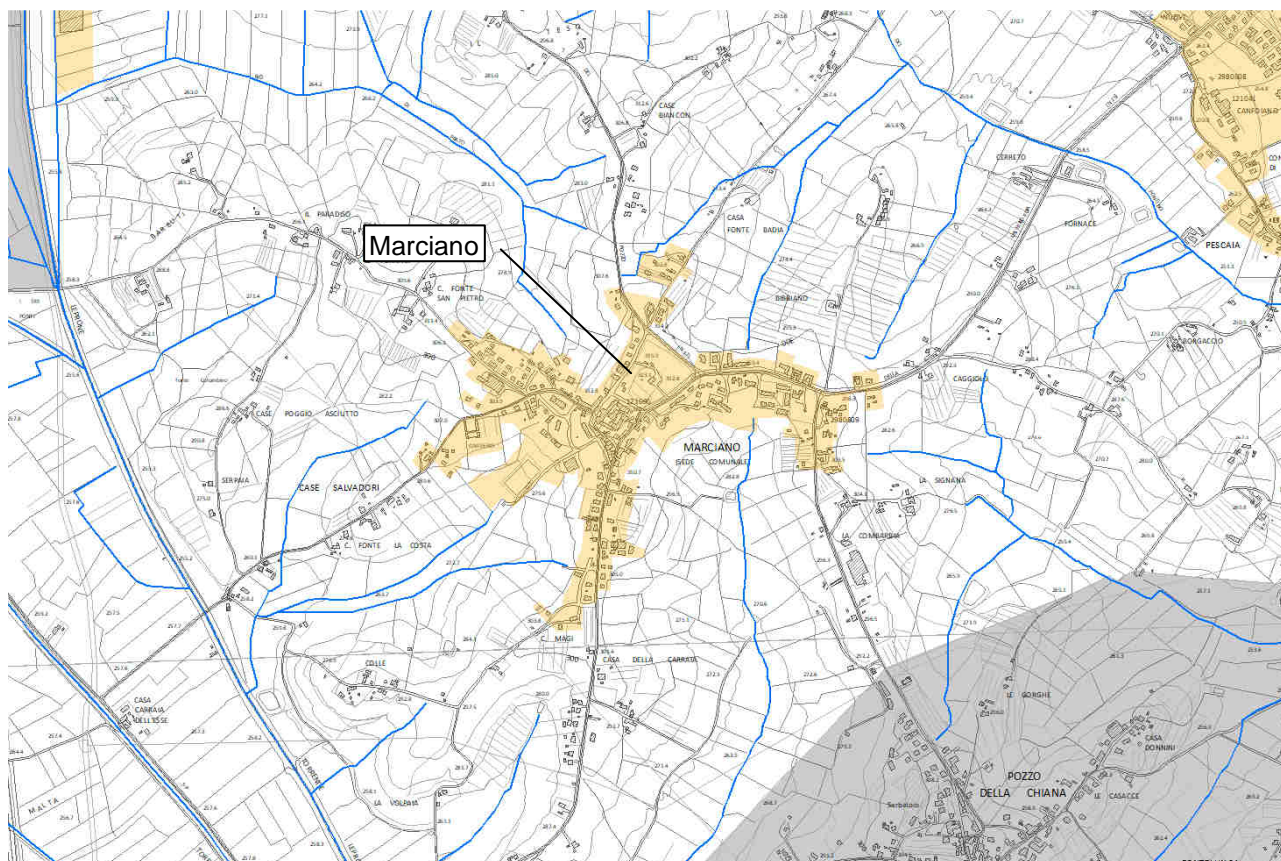


Figura 9-9: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape il perimetro del territorio urbanizzato inerente alla U.T.O.E 6 e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.

## 9.7 UTOE 7 Cesa, Cesa area produttiva, via Cassia, Pescaia

Relativamente al perimetro del territorio urbanizzato dell' UTOE 7 sono stati individuati i seguenti corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica: Rio della Pescaia (AV32482), Rio del Basso (AV31557), Rio San Giovanni (AV31057).

Il terreno va gradualmente abbassandosi in direzione est verso il Canale Maestro della Chiana, l'abbassamento medio a partire dal bordo est dell'utoe è stimabile mediamente in circa 2 m.

Tale configurazione orografica fa sì che le eventuali esondazioni a valle dei tratti sottoposti a modellazione idraulica tenderanno a propagarsi extra alveo in direzione est verso il Canale Maestro ovvero senza interessare l'UTOE. Pertanto risulta giustificata la scelta di aver interrotto i tratti da sottoporre a modellazione idraulica in prossimità del bordo est dell'UTOE senza la necessità di arrivare all'immissione nel Canale Maestro.

Per individuare la pericolosità idraulica derivante dal Canale Maestro della Chiana si è fatto ricorso al P.G.R.A.

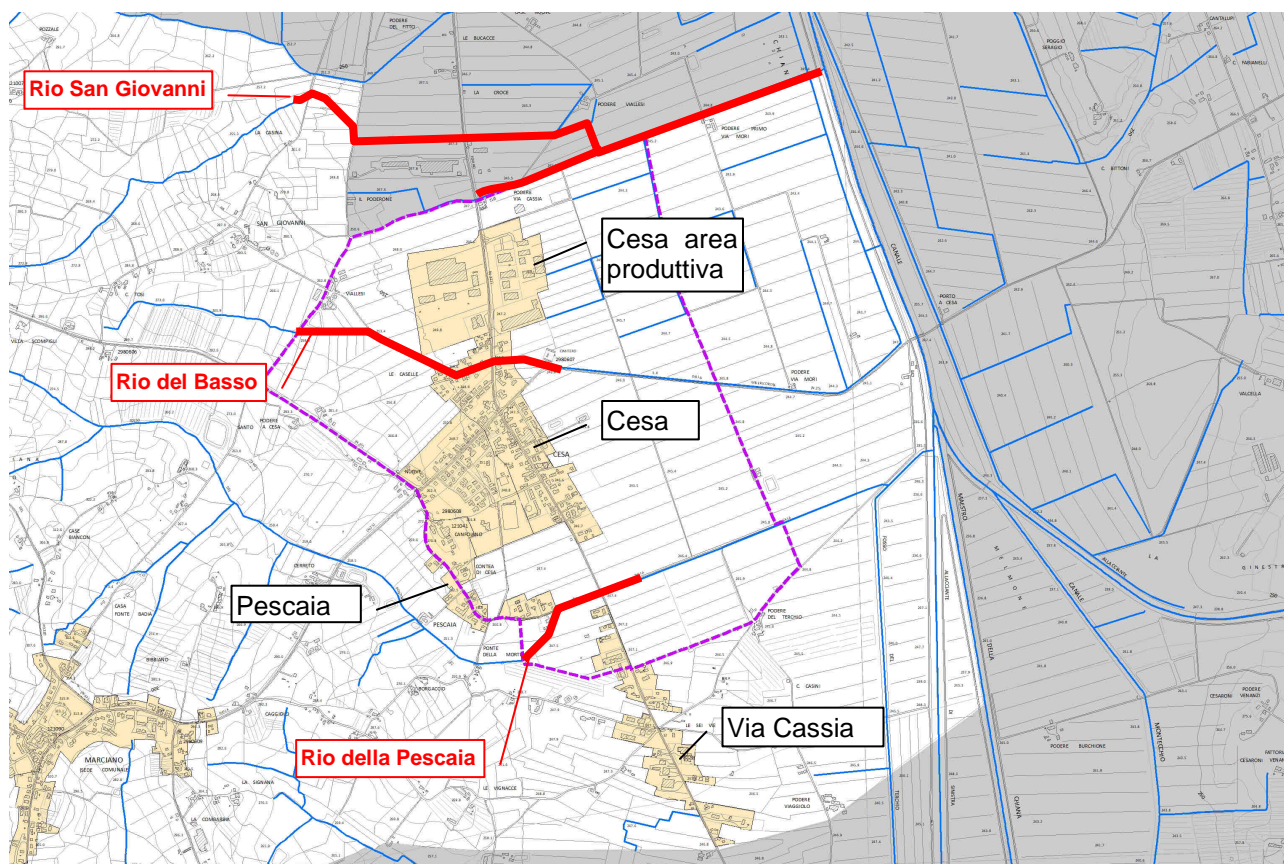


Figura 9-10: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape il perimetro del territorio urbanizzato, con il colore viola i perimetri di studio e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.



## 9.8 UTOE 8 Badicorte, Crocodile

Il perimetro del territorio urbanizzato relativo all'UTOE 8 denominato Badicorte si trova in una posizione di alto morfologico e non risulta interessato dal reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012, pertanto non sono stati individuati corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica.

Invece relativamente al perimetro del territorio urbanizzato relativo all'UTOE 8 denominato Crocodile sono stati individuati i seguenti corsi d'acqua da sottoporre a modellazione idraulica: Rio del Canterino (AV30976), Fosso della Riola (AV31081), torrente Leprone (AV32086), rio di Prato (AV32062)

Infine si evidenzia che, stante il modesto bacino afferente (circa 18 ha), il fosso AV 31787 non è stato sottoposto a modellazione idraulica perchè ritenuto non significativo ai fini della stima della pericolosità idraulica dell'area analogamente al fosso Righino (AV 32063) che risulta assimilabile ad una fossetta di campo.





## Piano Strutturale Intercomunale

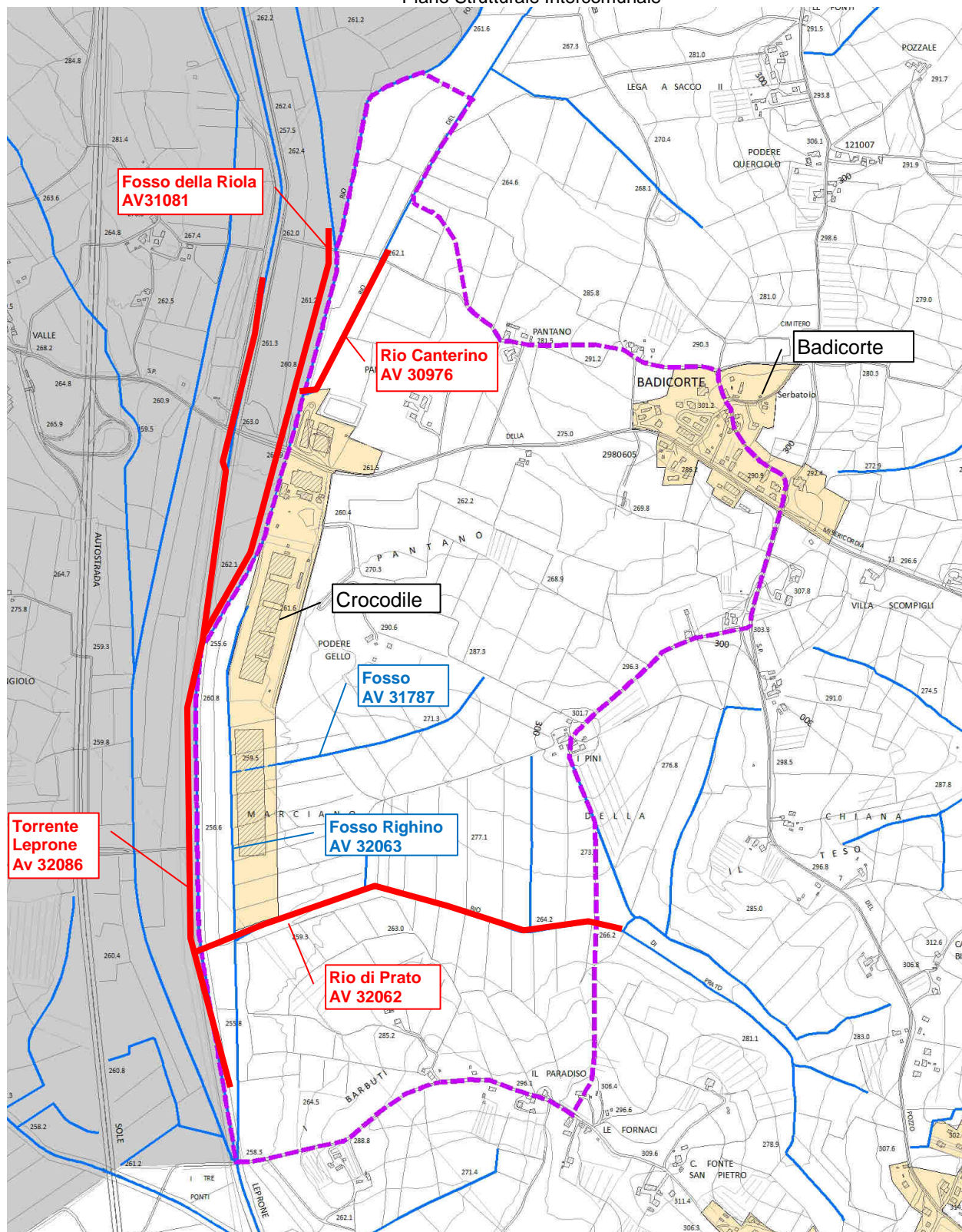


Figura 9-11: con il colore blu è individuato il reticolo di cui alla L.R. 79/2012, con il colore senape il perimetro del territorio urbanizzato, con il colore viola i perimetri di studio e con il color rosso i corsi d'acqua sottoposti a modellazione idraulica.





## 10 Considerazioni conclusive

È opportuno precisare che i risultati ottenuti con le presenti verifiche idrologiche ed idrauliche sono naturalmente basati sulle conoscenze attuali del sistema idrografico e dei dati idrologici disponibili, nonché sull'ipotesi fondamentale che le sezioni idrauliche dei corsi d'acqua oggetto di verifica siano mantenute in futuro almeno nelle medesime condizioni di officiosità idraulica.

Infatti, i risultati esposti nel presente studio sono vincolati alla sussistenza delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico idraulicamente rilevante: eventuali future modifiche di tali assetti, ovvero la modifica del quadro conoscitivo indotto da futuri eventi meteorologici estremi, imporranno adeguate revisioni dei risultati qui ottenuti ed esposti.

Inoltre, in relazione anche alla futura evoluzione del processo di espansione edilizia, a variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali o artificiali interferenti con le aree investigate, le analisi qui svolte dovranno essere aggiornate.

Infine, occorre evidenziare che i risultati qui esposti in termini di aree allagabili e pericolosità idraulica si riferiscono alle sole porzioni di territorio contermini ai tratti di corsi d'acqua investigati con appositi rilievi topografici e specifica analisi idrologico-idraulica.

I tecnici incaricati

Ing. Remo Chiarini

Ing. Alessandro Berni

Ing. Luigi Bigazzi