

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art.224 della L.R.65/2014

Arch. Giovanni Parlanti
Progettista

Brenda Barnini
Sindaco

Arch. Gabriele Banchetti
Responsabile VAS

Fabio Barsottini
*Assessore all'Urbanistica –
Edilizia privata – Lavori Pubblici*

Pian. Emanuele Bechelli
Collaborazione al progetto

Arch. Edo Rossi
Responsabile del procedimento

Pian. Manuela Fontanive
Elaborazione grafica e GIS

Arch. Chiara Lotti
Arch. Patrizia Spini

*Collaborazione tecnica
Settore III – Politiche Territoriali*

GEOPROGETTI Studio Associato
Geol. Emilio Pistilli
Studi geologici

Dott.ssa Romina Falaschi
Garante dell'informazione e della partecipazione

H.S. Ingegneria srl
Ing. Simone Pozzolini
Studi idraulici

REL-01. Relazione idrologico-idraulica

Luglio 2019



<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	6
2.1. <i>Definizione del quadro conoscitivo.....</i>	8
3. RELAZIONE IDROLOGICA.....	9
3.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse.....</i>	9
3.2. <i>Definizione degli afflussi.....</i>	11
3.2.1. <i>Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....</i>	11
3.2.2. <i>Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio.....</i>	20
3.3. <i>Classificazione dei bacini ai fini della trasformazione afflussi/deflussi.....</i>	21
3.4. <i>Determinazione delle perdite di bacino.....</i>	23
3.4.1. <i>Bacini “di monte”: metodo initial/costant.....</i>	24
3.4.2. <i>Bacini “di pianura”: coefficienti di deflusso.....</i>	28
3.5. <i>Trasformazione afflussi netti – deflussi.....</i>	28
3.5.1. <i>Tempo di corrvazione.....</i>	29
3.5.2. <i>Bacini di “monte”: idrogramma unitario di Nash.....</i>	30
3.5.3. <i>Bacini “di pianura”: metodo razionale.....</i>	31
3.6. <i>Risultati della modellazione idrologica.....</i>	31
4. RELAZIONE IDRAULICA.....	50
4.1. <i>Modelli di calcolo RAS.....</i>	50
4.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....</i>	50
4.1.2. <i>Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....</i>	51
4.1.3. <i>Impostazioni di calcolo.....</i>	53
4.2. <i>Sistema “Empoli Est”.....</i>	54
4.2.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	54
4.2.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	55
4.2.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	58
4.2.4. <i>Scenari simulati.....</i>	60
4.3. <i>Sistema “Orme-Piovola”.....</i>	61
4.3.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	61
4.3.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	63
4.3.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	64
4.3.4. <i>Scenari simulati.....</i>	65
4.4. <i>Fosso del Romito.....</i>	66
4.4.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	66
4.4.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	67
4.4.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	68
4.4.4. <i>Scenari simulati.....</i>	69
4.5. <i>Corso d’acqua MV35169.....</i>	70
4.5.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	70
4.5.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	71
4.5.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	72
4.5.4. <i>Scenari simulati.....</i>	73
4.6. <i>Corso d’acqua MV36789.....</i>	74
4.6.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	74
4.6.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	75

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.6.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....	77
4.6.4. Scenari simulati.....	77
4.7. Corso d'acqua MV37298.....	78
4.7.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....	78
4.7.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....	80
4.7.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....	81
4.7.4. Scenari simulati.....	82
5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	83

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

1. PREMESSA

La presente indagine è redatta a supporto di più varianti urbanistiche puntuali poste nel Comune di Empoli (Fi).

Il comune di Empoli è dotato di Piano Strutturale approvato con delibera del Consiglio Comunale 30 marzo 2000, n. 43, efficace dalla data di pubblicazione sul BURT n. 18 del 3 maggio 2000.

Con delibera del Consiglio Comunale n. 72 del 4 novembre 2013 è stata approvata la variante di minima entità al Piano Strutturale ed il 2° Regolamento urbanistico del Comune di Empoli, efficace con la pubblicazione sul BURT n. 52 del 24 dicembre 2013.

Il Regolamento Urbanistico si attua, oltre per mezzo dei c.d. "interventi diretti", attraverso Piani Urbanistici Attuativi (ex art. 107 della Legge regionale 10 novembre 2014, n. 65) disciplinati da schede norma (PUA).

La variante in esame in questa sede riguarda le seguenti aree di interesse:

PUA/PUC	Opere pubbliche
<i>PUA 6.2</i>	<i>OP1 – Ampliamento plesso scolastico loc. Marcignana</i>
<i>PUA 6.3</i>	<i>OP2 – Collegamento viario tra S.S. Tosco Romagnola n.67 e Via Serravalle a S. Martino</i>
<i>PUA 6.9</i>	<i>OP3 – Cassa di espansione (Orme)</i>
<i>PUA 7.4</i>	<i>OP4 – Ampliamento e sistemazione via Pietro Lari-via del Borghetto</i>
<i>PUA 9.1</i>	
<i>PUA 12.7</i>	
<i>PUA 14.2</i>	
<i>PUC 6.7</i>	

Tabella 1: aree oggetto di variante.

PROGETTO:

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

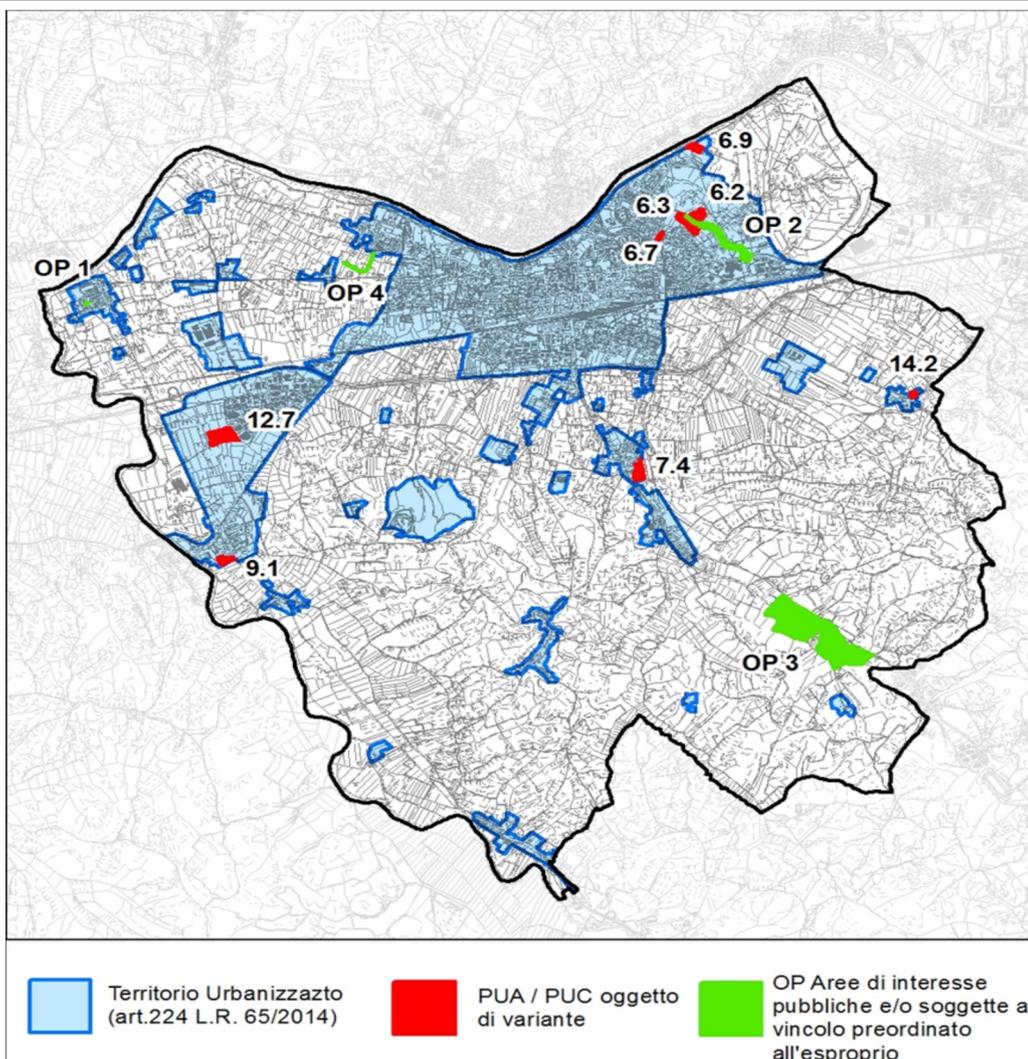


Figura 1: aree oggetto di variante.

Per quanto concerne gli aspetti di tipo geologico ed idraulico la variante si basa sugli studi specialistici di settore allegati al 2° Regolamento Urbanistico, integrati con gli approfondimenti a livello locale condotti in questa fase per le aree di interesse e con le analisi già condotte da H.S. ingegneria nell'ambito della precedente *Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi dell'art. 222 della LRT 65/201a relativa alle aree produttive.#EMPOLIFAIMPRESA*, approvata nel 2018, che hanno riguardato prevalentemente le aree centro - Ovest del territorio comunale, oltre ad i bacini di Piovola e Pratella.

Nella presente relazione vengono dettagliati in particolare gli approfondimenti di indagine condotti a livello idrologico-idraulico rispetto al quadro conoscitivo delineato nello "*Studio idrologico idraulico di supporto al nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli*", redatto nel Novembre 2012 dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di area vasta di Firenze Prato Pistoia Arezzo. Tali approfondimenti trovano peraltro motivazione nell'aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica pubblicato nel Marzo 2014 dalla Regione Toscana nell'ambito dell'accordo di collaborazione con l'Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, con il quale è stato effettuato un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme sul territorio toscano. Gli studi idraulici condotti a supporto del Secondo Regolamento Urbanistico

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

erano infatti basati sulle curve pluviometriche disponibili alla data di redazione degli studi (2012).

Il lavoro svolto in questa sede si è basato sulla modellistica idrologica ed idraulica redatta a supporto del II RU nel citato studio dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile, di cui si sono mantenute le ipotesi di base ed i metodi di calcolo. In sostanza si è proceduto ad un aggiornamento della modellazione idrologica per i bacini di interesse sulla base della nuova pluviometria ed all'aggiornamento della modellazione idraulica che è stata eseguita con modellazione bidimensionale invece che con l'approccio quasi-bidimensionale seguito nello studio generale. Alcuni modelli idrologici ed idraulici (Rio Romito, corsi d'acqua del reticolo minore della L.R. 79/2012 MV35169, MV 37298, MV 36789) sono stati realizzati ex-novo.

Per l'aggiornamento della pericolosità legata all'Orme si sono tenuti presenti gli approfondimenti già fatti in sede della citata variante Attività Produttive 2018, realizzando un unico modello integrato Orme-Piovola-Pratella.

In maniera analoga, per la definizione delle condizioni di fattibilità idraulica relative all'intervento OP1 si è fatto diretto riferimento ad i risultati degli studi idraulici redatti a supporto della variante Attività Produttive 2018, che avevano già interessato l'area in esame. Per quel che riguarda l'intervento OP4 di adeguamento di una viabilità esistente, in questa sede non sono stati fatti studi idraulici finalizzati a verificare le interferenze della sede viaria con l'adiacente corso d'acqua del reticolo idrografico MV 35639 (ricadendo tra l'altro attualmente l'area in P1 ai sensi del PGRA Appennino Settentrionale), in quanto risulterebbero necessarie informazioni di maggior dettaglio sulle caratteristiche dell'intervento di adeguamento della viabilità, ad oggi non disponibili. Nella relazione geologica allegata alla presente variante è stata comunque redatta una scheda di fattibilità per l'intervento OP4.

Trattandosi di una variante puntuale la modellistica realizzata è stata implementata in un adeguato intorno delle aree oggetto di studio (in verità interessando buona parte del territorio comunale, ed in particolare le aree ad Est), più precisamente facendo riferimento ad un dominio di modellazione tale da cogliere tutte le potenziali fonti di rischio idraulico per le aree oggetto di variante e da escludere effetti al contorno. La modellazione idraulica è stata definita su tratti significativi dei corsi d'acqua di interesse, ma coerentemente con il carattere puntuale e localizzato della presente variante urbanistica i risultati della modellazione vengono presentati solo in un congruo intorno delle aree oggetto di variante.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

I corsi d'acqua presi in esame per la definizione delle condizioni di rischio idraulico sono quelli di interesse per le aree oggetto di variante. Il reticolo idraulico considerato comprende i seguenti corsi d'acqua, ordinati da ovest a est:

- MV37298 (codice da reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012)
- MV36789 (codice da reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012)
- Torrente Orme
- Rio della Piovola
- Fosso della Pratella
- Fosso del Romito
- MV35169 (codice da reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012)
- Fosso Maestro di Cortenuova
- Rio Grande
- Borro di Montecuccoli
- Rio di Sammontana
- Rio di Citerna
- Fosso di Fabbiana

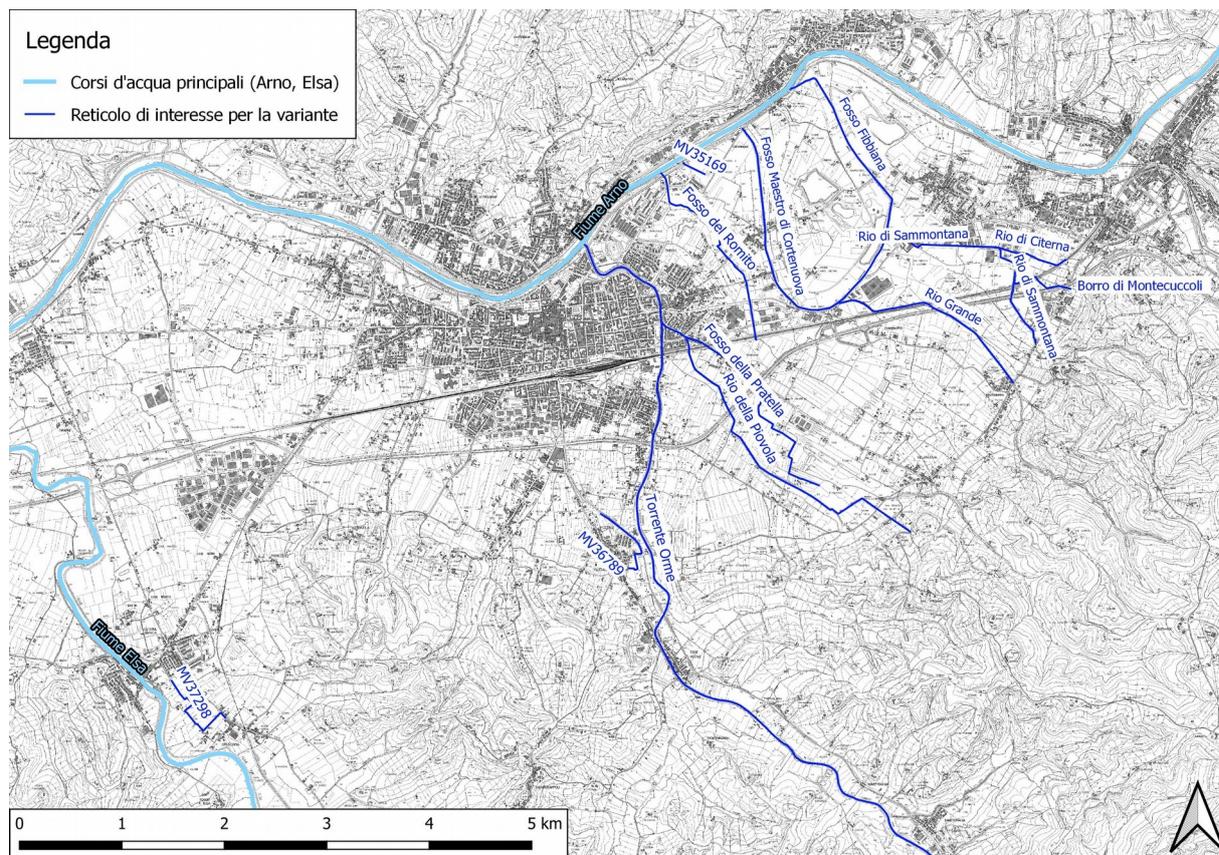


Figure 2: Inquadramento del reticolo oggetto di studio ai fini della variante urbanistica.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Le aree di interesse ai fini della presente variante sono riportate complessivamente nella seguente figura, unitamente al reticolo idrografico oggetto di indagine. Per una rappresentazione di maggior dettaglio si rimanda alle tavole grafiche allegate.

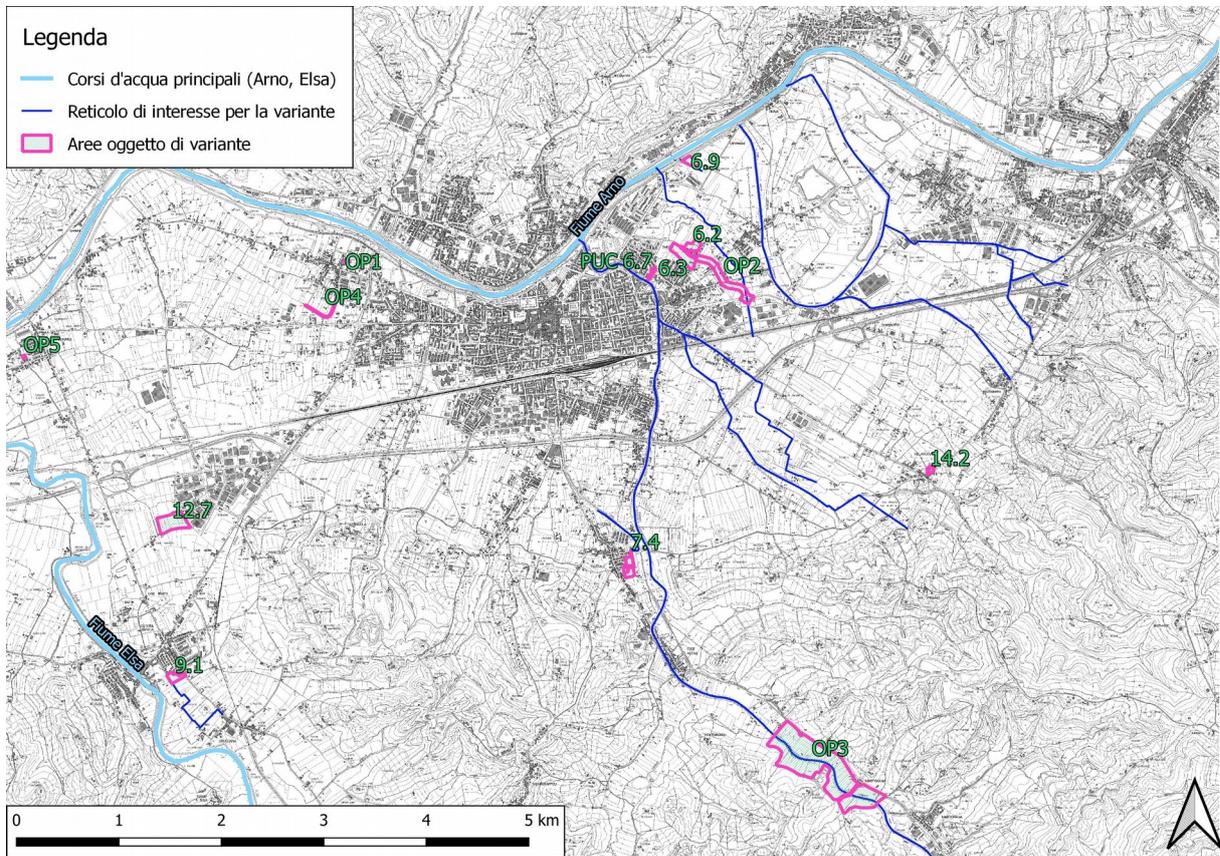


Figure 3: Aree oggetto di variante urbanistica per cui è stato effettuato l'aggiornamento del quadro conoscitivo idraulico.

Per quel che riguarda i corsi d'acqua del reticolo principale (Arno ed Elsa) si è fatto riferimento direttamente ad i dati riportati nella modellazione realizzata a corredo del II RU.

Per quel che riguarda l'Arno i livelli idrici sono contenuti dalle strutture arginali sinistre fino al tempo di ritorno centennale, così come il rigurgito nel Fiume Elsa. Per il tempo di ritorno duecentennale sono invece state stimate modeste esondazioni tra la loc. Tinaia e l'immissione del Rio Cortenuova (sez. 403 – 402) per un massimo di 125.000 mc; a valle del ponte alla Motta (sez. 360-359) e nel tratto di rigurgito del fiume Elsa (sez. 4) per un massimo di 50.000 mc.

Per quel che riguarda l'Elsa le verifiche idrauliche mostrano l'assenza di pericolosità derivante dalle piene del Fiume Elsa nel territorio di Empoli, fatta eccezione per un'area in loc. Fontanelle dove i livelli duecentennali superano l'argine in un punto in cui questo presenta una discontinuità per la presenza di una cataratta. In caso di rigurgito dall'Arno si hanno inoltre le limitate esondazioni sopra evidenziate nel tratto terminale del corso d'acqua.

Le esondazioni di Arno ed Elsa interessano le aree di variante marginalmente, solo con riferimento alla previsione in località Marcignana OP1, ricadente nel sistema di corsi d'acqua di Empoli Ovest. Come si precisa nella relazione idraulica dello studio generale del 2012 e nella relazione idraulica redatta per la Variante aree Produttive 2018, per le aree soggette al contestuale allagamento sia del fiume Arno che dei reticoli minori, le quote idriche di riferimento sono quelle

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

stimate nei modelli idraulici di quest'ultimi che tengono conto di entrambi i contributi.

2.1. Definizione del quadro conoscitivo

Il quadro conoscitivo della presente analisi è basato essenzialmente sulla stessa documentazione utilizzata nella stesura degli studi idraulici generali di supporto al II Regolamento Urbanistico (in particolare si rimanda al paragrafo 3 della Relazione idraulica), che hanno fatto da base alle analisi integrative qui condotte. In aggiunta sono stati utilizzati i seguenti documenti:

- rilievi topografici forniti dal Consorzio di Bonifica Medio Valdarno per l'asta del Rio Piovola;
- rilievi topografici realizzati direttamente da H.S. Ingegneria a supporto della presente analisi per i seguenti corsi d'acqua: Fosso Pratella, Rio di Sammontana, Borro di Montecuccoli, Rio Grande, Fosso del Romito, corsi d'acqua del reticolo idrografico minore: MV35169, MV36789, MV37298;
- rilievi topografici realizzati dal geometra S. Bianconi per i seguenti corsi d'acqua del reticolo idrografico minore: MV37298;
- rilievi e modellistica idrologica ed idraulica implementata nell'ambito dello "*Studio idrologico-idraulico a supporto della variante attività produttive del Comune di Empoli*", realizzato da H. S. Ingegneria nel 2018.

I rilievi topografici utilizzati sono stati riferiti al piano quotato del Lidar della Regione Toscana. Sono inoltre state effettuate verifiche di coerenza tra i diversi rilievi topografici disponibili, tramite il rilievo di punti topograficamente significativi.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

3. RELAZIONE IDROLOGICA

Scopo della presente relazione idrologica è quello di determinare le massime portate e gli idrogrammi di massima piena attesi nei tratti dei corsi d'acqua da analizzare per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica nelle aree di interesse ai fini urbanistici.

I tempi di ritorno assunti nell'analisi idrologica sono pari a 30 e 200 anni, conformemente alle indicazioni del D.P.G.R. 53/R del 25/11/2011.

Le analisi sono state condotte in buona parte sulla base dei numerosi dati già disponibili nella relazione tecnica dello "Studio Idrologico Idraulico di supporto al Nuovo Regolamento Urbanistico del Comune di Empoli", elaborata dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo nel Novembre 2012. Si sono adottati gli stessi metodi di calcolo implementati nel citato studio, in particolare l'analisi idrologica è stata differenziata in funzione delle caratteristiche di ciascun bacino: per i bacini di tipo collinare è stato utilizzato il modello idrologico AI.To (reimplementato sul software HEC HMS (Hydrologic Modeling System), dell'Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers), per i bacini di pianura si è fatto riferimento al metodo razionale, utilizzando la formula di Ongaro per il calcolo del tempo di corrivazione.

3.1. Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse

La definizione dei bacini dei corsi d'acqua oggetto di studio è stata eseguita sulla base della perimetrazione indicata nella relazione tecnica del Genio Civile del 2012 apportando delle modifiche alla perimetrazione del Bacino del Fosso del Romito; nel presente studio sono stati aggiunti alla modellazione idrologica ulteriori corsi d'acqua di interesse per la presente variante, . Nelle tavole grafiche allegate sono riportati i perimetri dei bacini di interesse.

Sulla base della posizione geografica e delle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche, i bacini oggetto di studio sono stati raggruppati in quattro sistemi principali (in analogia a quanto fatto nel citato studio generale del 2012). I quattro sistemi principali sono:

- **sistema "Empoli Est"**, che comprende i bacini del Rio Grande, del Rio di Sammontana, del Rio di Citerna, del Borro di Montecuccoli, del Fosso del Romito, del Fosso di Fibbiana, i bacini Castellucci Est e Castellucci Ovest, Bacino 3 e il bacino di Serravalle (MV 35169);
- **sistema "Orme-Piovola"**, che comprende il bacino del Fiume Orme, del Rio della Piovola e del Fosso della Pratella.
- **sistema "Pozzale"**, comprendente il corso d'acqua MV36789;
- **sistema "Ponte a Elsa"**, che comprende il bacino idrografico del corso d'acqua identificato con il codice MV37298 da reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012.

Ai fini della modellazione idraulica, i bacini del Fosso del Romito e di Serravalle che idrologicamente sono stati inglobati nel sistema "Empoli Est", costituiscono invece due sistemi distinti.

Le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrologici sono state individuate sulla base del modello digitale del terreno (DTM) della Regione Toscana 10m x 10m e riportate nella seguente tabella.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	Sistema	Area [kmq]	z max [m slm]	z min [m slm]	Pendenza media di bacino [-]
Castellucci Est	Empoli Est	0.31	109.190	28.620	0.097
Castellucci Ovest	Empoli Est	0.12	41.450	29.840	0.033
Citerna 1	Empoli Est	0.27	120.730	30.600	0.127
Citerna 2	Empoli Est	0.40	51.920	27.040	0.035
Fibbiana	Empoli Est	0.89	37.940	16.650	0.019
Fosso Fibbiana	Empoli Est	0.16	31.740	16.720	0.080
Rio Grande 0	Empoli Est	2.97	242.260	33.830	0.223
Rio Grande 1	Empoli Est	0.34	53.230	28.820	0.025
Rio Grande 2	Empoli Est	0.23	30.980	17.340	0.017
Rio Grande 3	Empoli Est	1.85	141.480	26.760	0.034
Rio Grande 4	Empoli Est	1.23	50.810	17.730	0.021
Sammontana 1	Empoli Est	0.99	222.420	41.250	0.218
Sammontana 2	Empoli Est	0.14	32.260	26.760	0.013
Sammontana 3	Empoli Est	0.78	39.050	17.340	0.015
Montecuccoli	Empoli Est	0.28	119.590	28.620	0.156
Romito	Empoli Est	2.55	30.830	16.580	0.019
Bacino 3	Empoli Est	2.67	33.860	16.650	0.041
Orme monte	Orme	21.81	263.280	55.430	0.197
Interbacino Orme	Orme	2.73	158.640	35.860	0.123
Ormicello	Orme	14.03	174.700	38.870	0.173
Camerata	Orme	2.53	199.420	35.290	0.172
Piovola	Orme	7.026	255.75	25.37	0.135
Pratella	Orme	1.06	41.08	25.15	0.017
Pozzale monte	Pozzale	0.64	98.430	31.410	0.091
Ponte a Elsa	Elsa	0.28	37.430	30.010	0.011
Serravalle	Empoli Est	0.10	29.090	20.300	0.056

Tabella 2: principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini oggetto di studio

PROGETTO:

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

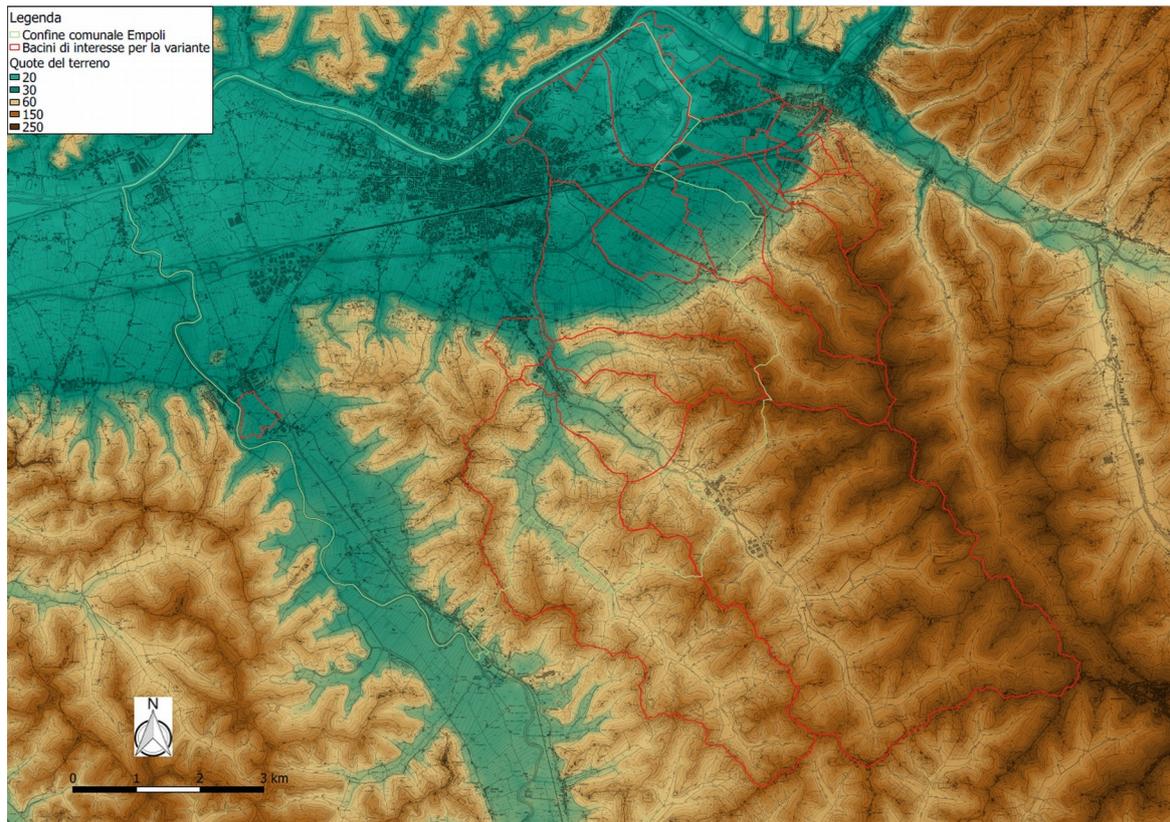


Figura 4: altimetria del terreno secondo DTM Regione Toscana 10x10

3.2. Definizione degli afflussi

3.2.1. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica

Per la stima delle piogge intense è stato utilizzato il modello TCEV (Two Component Extreme Value), facendo riferimento alle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) dedotte nell'ambito dell' "Accordo di Collaborazione Scientifica RT-UNIFI - Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", di cui alla D.G.R.T. 1133/2012 e basate sulle elaborazioni dei dati di pioggia aggiornati fino al 2012.

Il modello a doppia componente TCEV interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima relativa agli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi, e la seconda relativa agli eventi massimi straordinari, meno frequenti e spesso catastrofici. La distribuzione TCEV ha espressione:

$$P(x) = \exp\left[-\lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \lambda_2 \exp(-x/\theta_2)\right]$$

dove $P(x)$ indica la probabilità di non superamento del valore x della generica variabile casuale x mentre λ_i e θ_i ($i = 1,2$) sono i quattro parametri (positivi) della distribuzione.

H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39, 50053 Empoli (FI) Tel. - Fax 0571-725283
P.IVA e C.F. 01952520466 e.mail: info@hsingegneria.it

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

La forma canonica della distribuzione (1) è:

$$P(z) = \exp[-\exp(-z) - \lambda \exp(-z/\theta)], \quad z = (x - \varepsilon_1)/\theta_1;$$

$$\varepsilon_1 = \theta_1 \ln \lambda_1, \quad \theta = \theta_2/\theta_1, \quad \lambda = \lambda_2/(\lambda_1)^{1/\theta};$$

Per la stima dei parametri della distribuzione è stato seguito un approccio gerarchico di regionalizzazione.

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500 anni. Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n, grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno suddetti.

I parametri a ed n sono forniti in formato raster, con celle aventi risoluzione 1kmx1km.

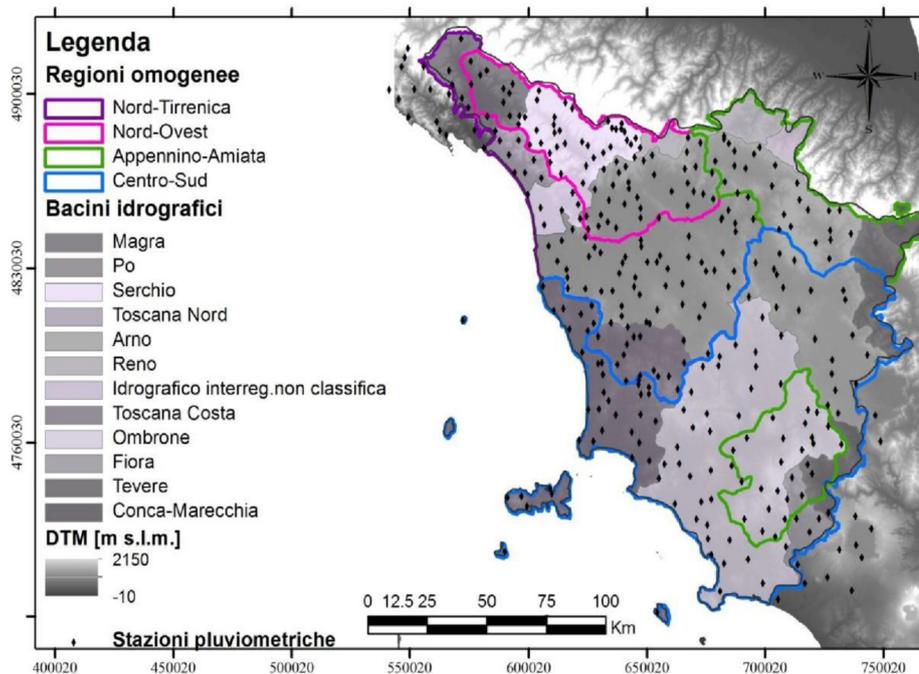


Figura 5: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee

La distribuzione dei parametri a e n per le aree di interesse e per i tempi di ritorno considerati, ovvero 30 e 200 anni è riportata nelle seguenti figure.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

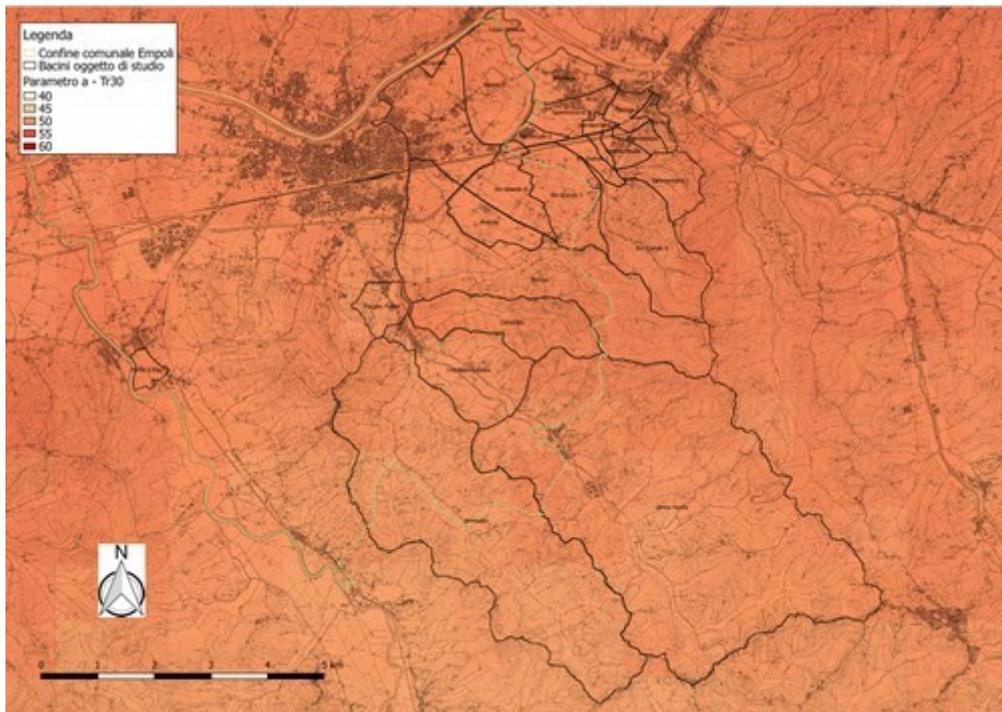


Figura 6: distribuzione del parametro a per Tr30

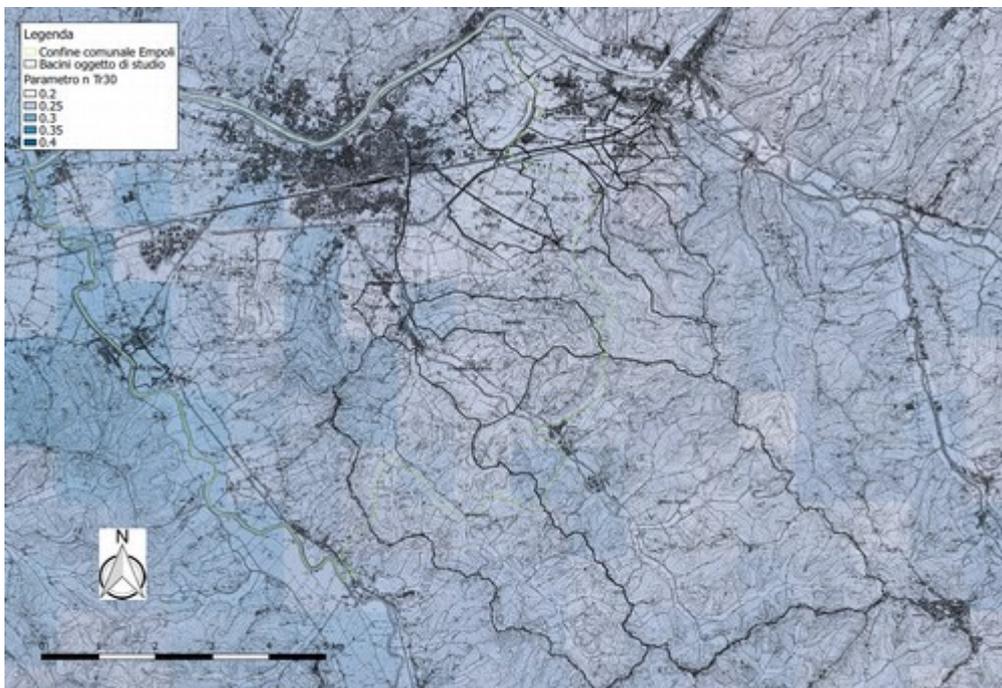


Figura 7: distribuzione del parametro n per Tr30

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

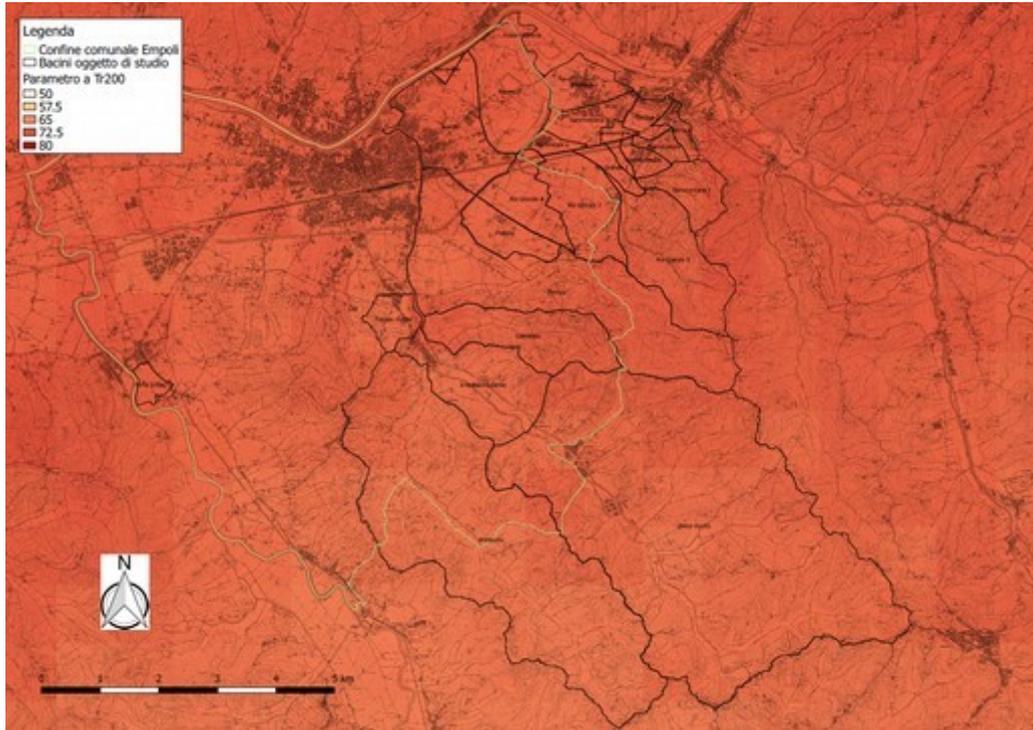


Figura 8: distribuzione del parametro a per Tr200

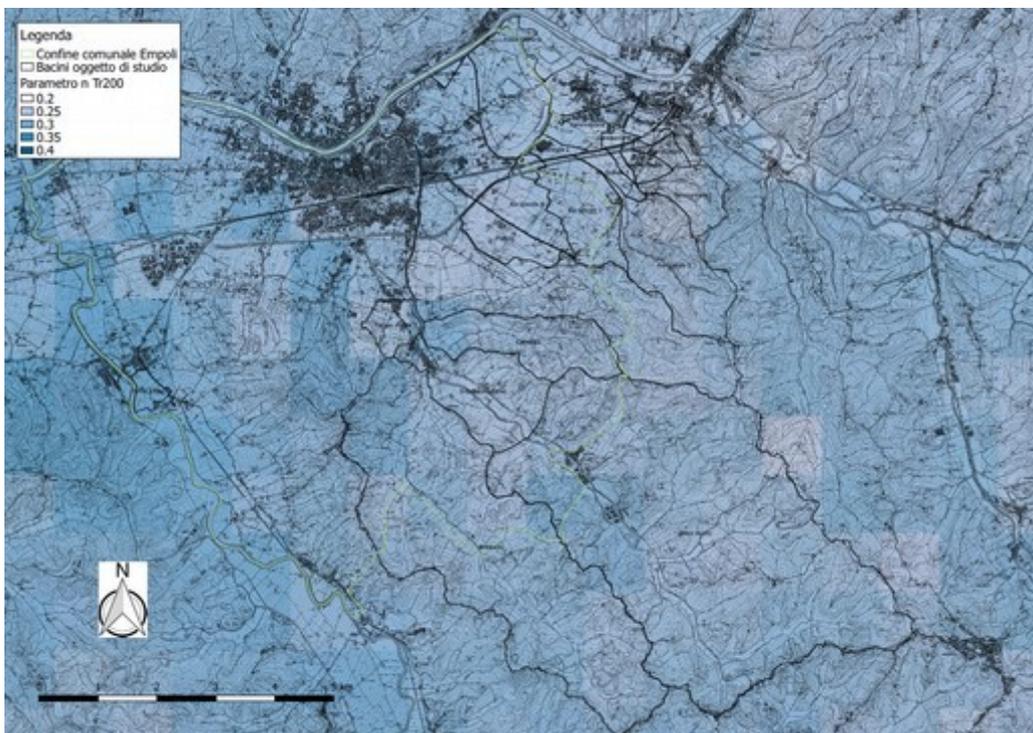


Figura 9: distribuzione del parametro n per Tr200

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

Le altezze di pioggia per le diverse durate sono calcolate con la formula seguente:

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

con t = durata di pioggia (in ore). Per quanto riguarda il sistema "Empoli Est", i parametri a ed n delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica sono stati calcolati per il bacino complessivo, mentre per quanto riguarda il sistema Orme-Piovola i parametri sono stati stimati per ciascuno dei principali sottobacini appartenenti al sistema, in analogia a quanto fatto nello studio generale del Genio Civile del 2012. Si riportano nella Tabella 3 i valori dei parametri delle LSPP.

Sistema	Tr30		Tr200	
	a	n	a	n
Empoli Est	50.516	0.243	70.298	0.268
Orme monte	49.619	0.247	69.050	0.272
Orme Interbacino	49.364	0.241	68.695	0.267
Ormicello	49.017	0.249	68.212	0.275
Camerata	50.353	0.251	70.071	0.276
Piovola	50.294	0.242	69.989	0.267
Pozzale (MV 36789)	49.521	0.244	68.913	0.270
Ponte a Elsa (MV37298)	50.553	0.275	70.351	0.300

Tabella 3: parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per ciascun sistema

Regionalizzazione DGRT 1133/2012 - Tr30										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Est	50.52	59.77	65.95	70.71	78.02	86.09	92.31	97.45	101.86	109.22
Orme monte	49.62	58.88	65.09	69.88	77.24	85.38	91.67	96.86	101.32	108.78
Orme Interbacino	49.36	58.34	64.33	68.95	76.02	83.83	89.84	94.81	99.07	106.18
Ormicello	49.02	58.25	64.44	69.22	76.58	84.71	91.00	96.20	100.67	108.15
Camerata	50.35	59.92	66.34	71.31	78.95	87.41	93.95	99.36	104.02	111.80
Piovola	50.29	59.48	65.61	70.34	77.59	85.59	91.77	96.86	101.23	108.52
Pozzale	49.52	58.66	64.77	69.49	76.72	84.71	90.88	95.98	100.35	107.66
Ponte a Elsa	50.55	61.16	68.37	73.99	82.71	92.45	100.06	106.38	111.85	121.05
Regionalizzazione DGRT 1133/2012 - Tr200										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Est	70.30	84.67	94.40	101.97	113.69	126.76	136.93	145.38	152.66	164.91
Orme monte	69.05	83.38	93.10	100.68	112.41	125.52	135.74	144.23	151.56	163.90
Orme Interbacino	68.70	82.66	92.11	99.47	110.84	123.51	133.37	141.56	148.62	160.49
Ormicello	68.21	82.54	92.27	99.87	111.65	124.82	135.09	143.64	151.03	163.46
Camerata	70.07	84.84	94.89	102.73	114.90	128.50	139.12	147.96	155.59	168.45
Piovola	69.99	84.22	93.85	101.34	112.93	125.84	135.88	144.23	151.42	163.51
Pozzale	68.91	83.10	92.71	100.20	111.79	124.73	134.81	143.18	150.40	162.55
Ponte a Elsa	70.35	86.64	97.86	106.69	120.52	136.13	148.42	158.71	167.64	182.77

Tabella 4: Altezze di pioggia calcolate con i parametri a, n della regionalizzazione DGRT 1133/2012

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

LSPP - Empoli Est

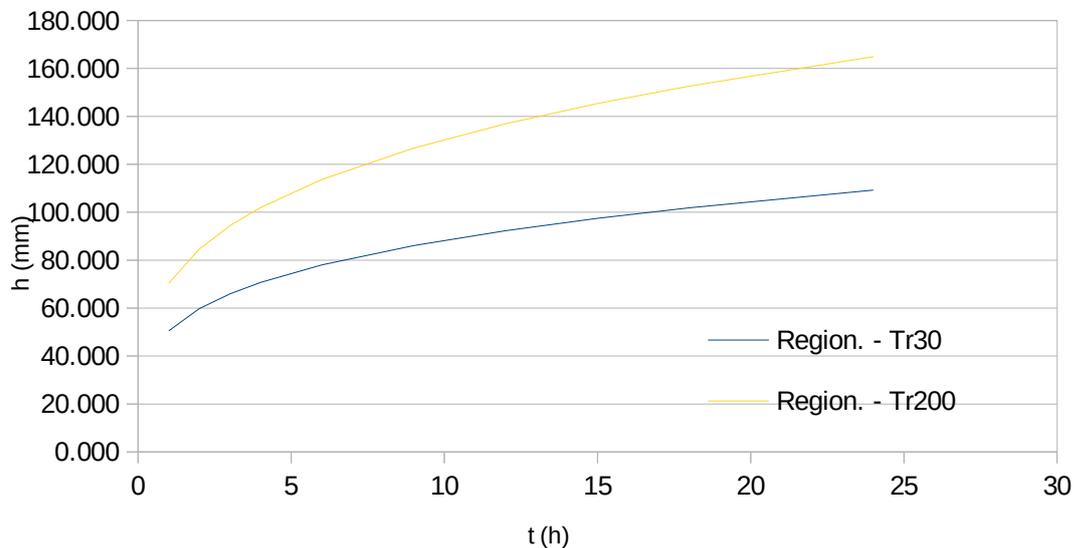


Figure 10: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema di Empoli Est.

LSPP - Orme monte

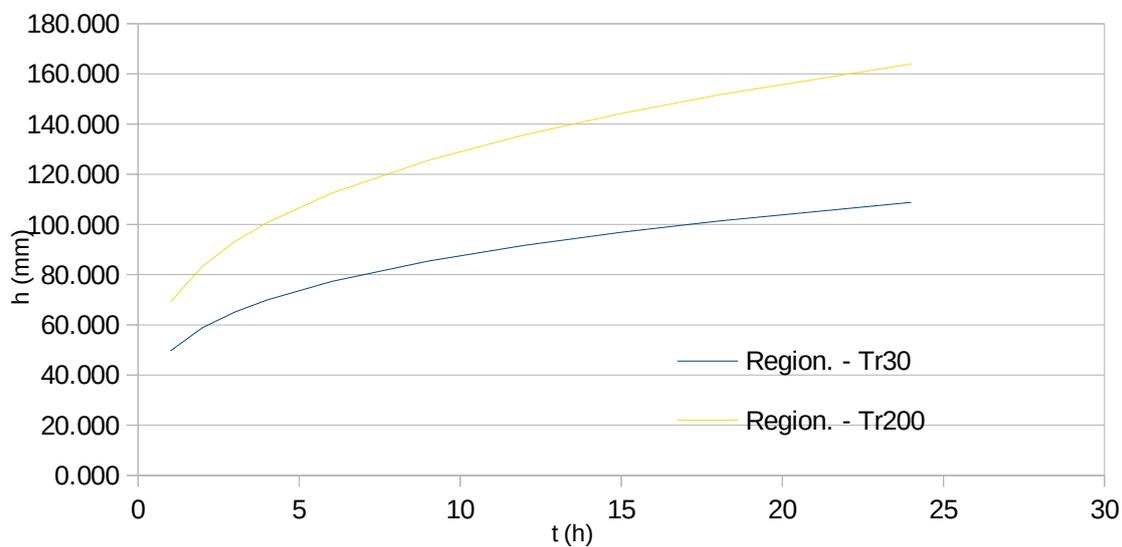


Figure 11: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Orme monte.

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

LSPP - Orme interbacino

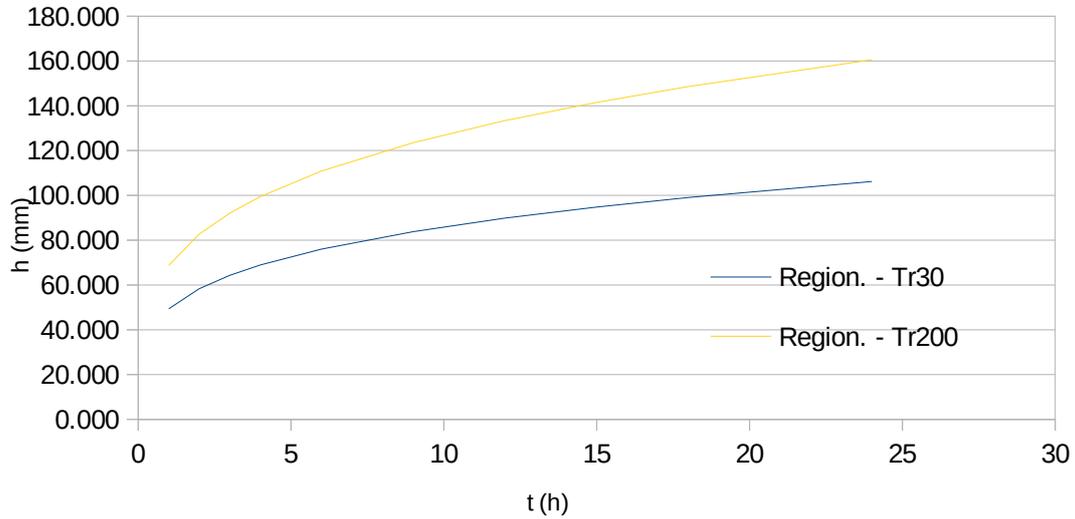


Figure 12: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Orme Interbacino.

LSPP - Ormicello

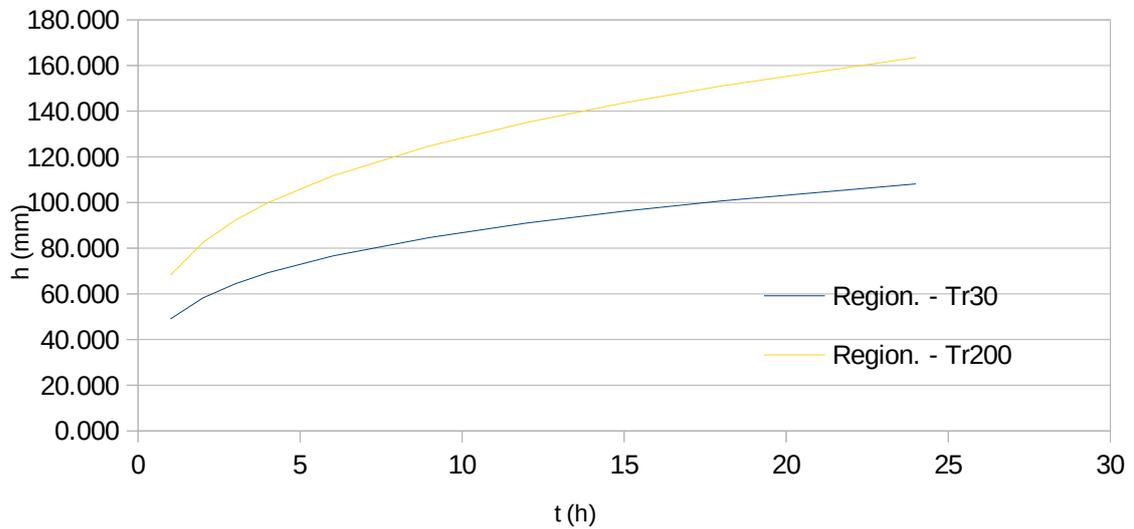


Figure 13: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Ormicello.

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

LSPP - Camerata

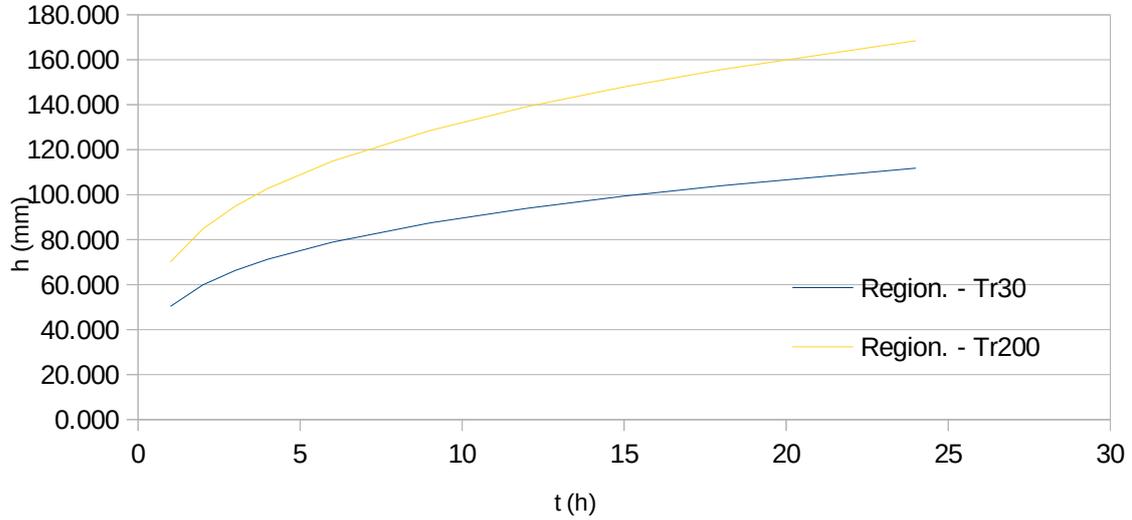


Figure 14: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Camerata.

LSPP - Piovola

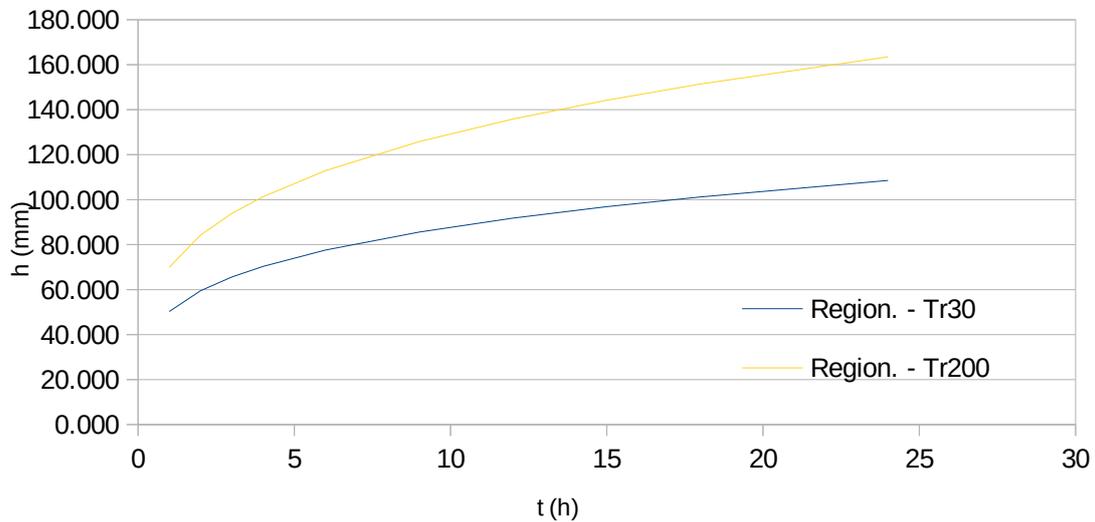


Figure 15: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Piovola.

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

LSPP - Pozzale

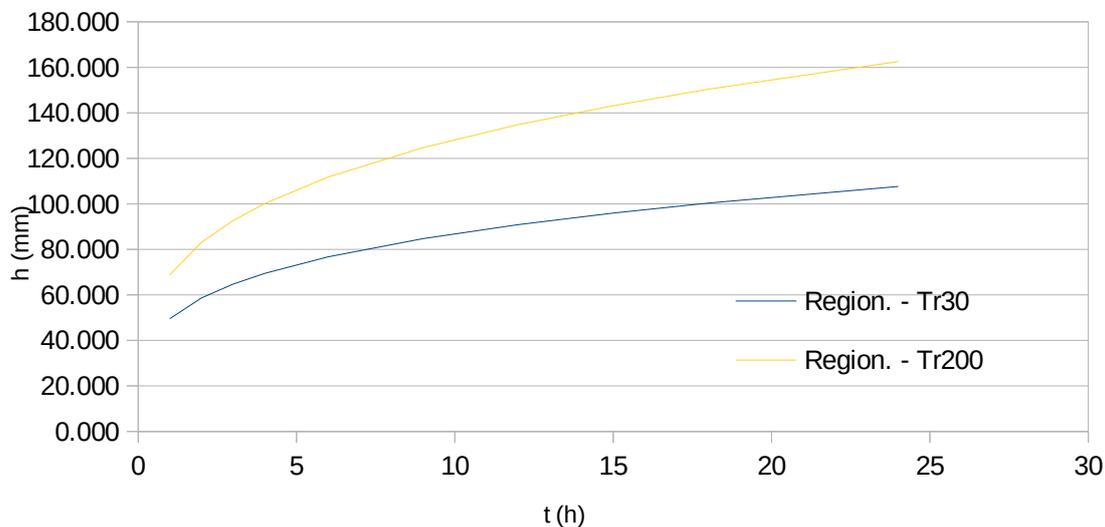


Figure 16: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema Pozzale.

LSPP - Ponte a Elsa

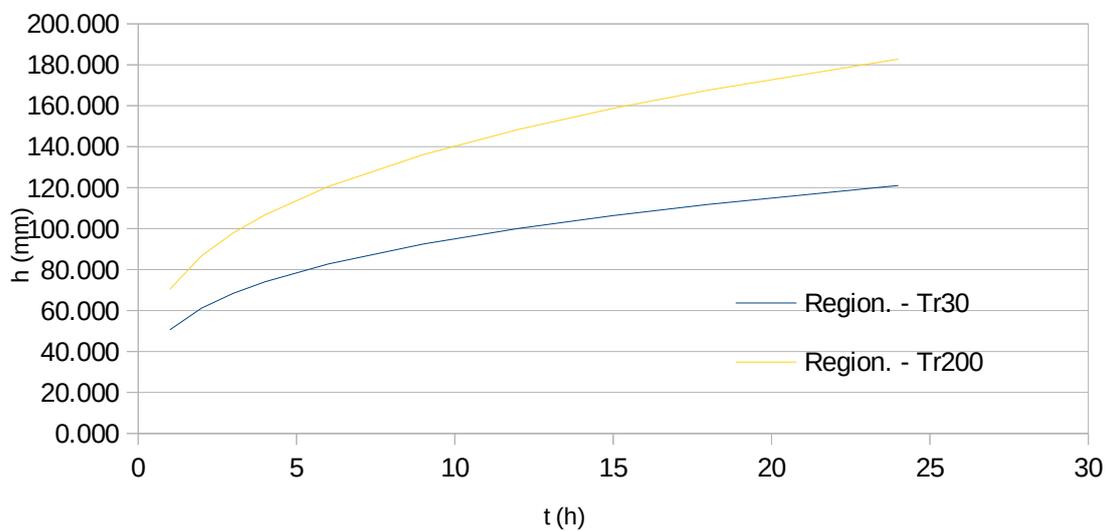


Figure 17: LSPP della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il bacino "Ponte a Elsa".

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

3.2.2. Ietogramma di progetto e fattore di ragguglio

Nelle simulazioni effettuate si è fatto riferimento all'ipotesi classica di ietogrammi caratterizzati da una intensità di pioggia costante, in accordo con le ipotesi dello studio 2012.

Le altezze di pioggia sono state raggugliate con il metodo del coefficiente di ragguglio areale K_r ricavato con la seguente formula:

$$K_r = 1 - e \times p(-\alpha \cdot t^\beta) + e \times p(-\alpha \cdot t^\beta - \gamma \cdot A)$$

dove

$\alpha = 0.036 a$

a = parametro della curva di possibilità pluviometria nella forma trinomia $h = at^n Tr^m$

$\beta = 0.25$

$\gamma = 0.01$

A = area [kmq]

Il parametro a della forma trinomia della curva di possibilità pluviometria è stato ricavato prendendo in esame per ogni sistema i valori medi del coefficiente a per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni forniti dalla Regione Toscana. Eseguendo una regressione a potenza della loro distribuzione in funzione del tempo di ritorno si ricavano i corrispondenti valori di a ed m . Di seguito si riportano le distribuzioni e le conseguenti equazioni delle linee di tendenza delle curve $a-Tr$ per ogni sistema.

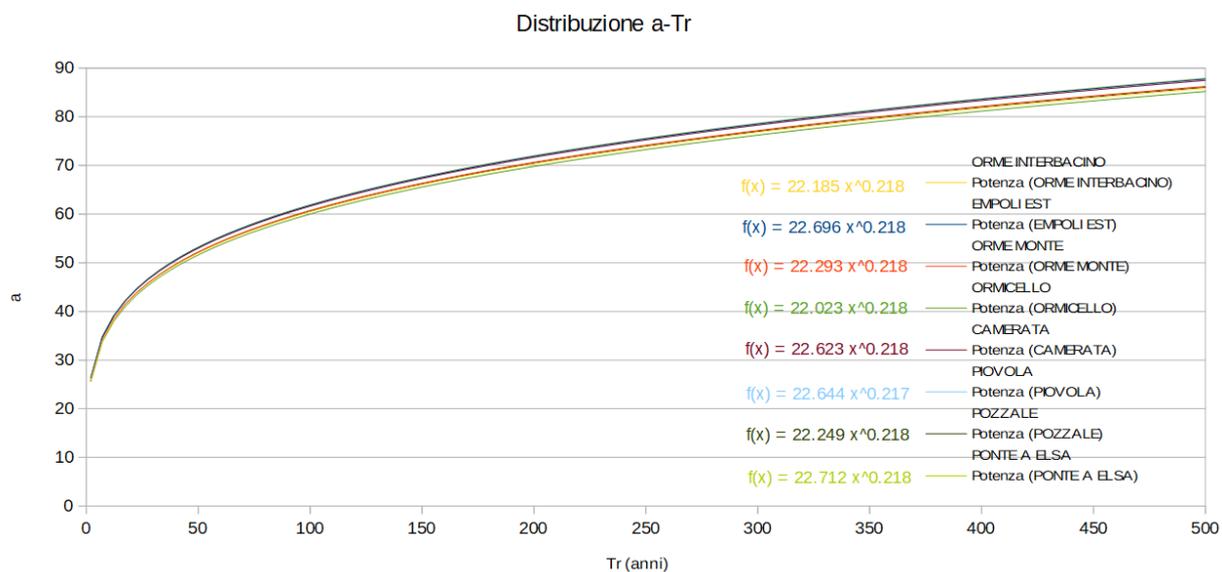


Figura 15: grafico delle curve a-Tr per ogni sistema

Per i bacini del Romito e di Serravalle, il coefficiente di ragguglio è stato calcolato a partire dai parametri della LSPP del sistema complessivo Empoli Est e raggugliando rispetto alle aree dei singoli sottobacini.

Per i sottobacini del sistema Orme-Piovola è stato calcolato un coefficiente di ragguglio di tipo

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

"globale", vale a dire considerando che i deflussi del bacino in oggetto si sommino a quelli di un bacino principale di monte. Pertanto, considerando tale bacino come sottobacino del sistema complessivo, il coefficiente di ragguglio K_r è calcolato affinché il coefficiente del bacino di valle (somma di quello principale e del sottobacino) sia uguale a quello stimabile con la formula sopra presentata. Ciò equivale ad imporre che l'altezza di pioggia calcolata sul bacino complessivo coincida con quella ricavabile dalla sommatoria delle altezze calcolate singolarmente per il bacino di monte ed il sottobacino. In pratica si assume per il sottobacino un coefficiente di ragguglio K_r che mantenga inalterato il valore del coefficiente di ragguglio K_r pertinente al bacino di valle assumendo come peso l'area dei bacini stessi secondo la seguente formula:

$$K_r = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{(A_v - A_m)}$$

dove: K_v = coefficiente di ragguglio areale per il bacino di valle; A_v = area del bacino di valle; K_m = coefficiente di ragguglio areale per il bacino di monte; A_m = area del bacino di monte.

Per quel che riguarda le piogge di lunga durata (18, 24 e 36 h), di interesse in particolare per valutare condizioni di impedito deflusso, il coefficiente di ragguglio è stato ipotizzato in riferimento ai bacini dei corsi d'acqua principali (Fiume Elsa e Fiume Arno) che recepiscono le acque drenate dal reticolo minore, in analogia con lo studio idrologico del 2012, di cui si sono ripresi direttamente i coefficienti.

3.3. Classificazione dei bacini ai fini della trasformazione afflussi/deflussi

La determinazione delle portate idrologiche è stata effettuata distinguendo i bacini di acque basse, definiti come bacini "di pianura", dagli altri, detti bacini "di monte". Il bacino della Piovola, sia per esigenze del dettaglio della modellazione sia per caratteristiche geomorfologiche intermedie, è stato ulteriormente suddiviso in sottobacini, secondo quanto mostrato nelle figure seguenti, e successivamente ripartiti nelle due categorie.

Per i bacini "di pianura", le portate sono state determinate con il metodo razionale, in accordo con quanto fatto nello studio idrologico del 2012 ad opera del Genio Civile; per i bacini "di monte", sempre in analogia con la linea già tracciata nel precedente studio, le portate sono state ricavate previa determinazione delle perdite di bacino con il metodo initial/costant e con la successiva trasformazione della pioggia netta in deflusso con il metodo dell'idrogramma di Nash, in accordo con il modello Al.To.

Le figure seguenti riportano in particolare le planimetrie dei bacini di nuovo inserimento nella modellazione rispetto allo studio idraulico 2012.

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

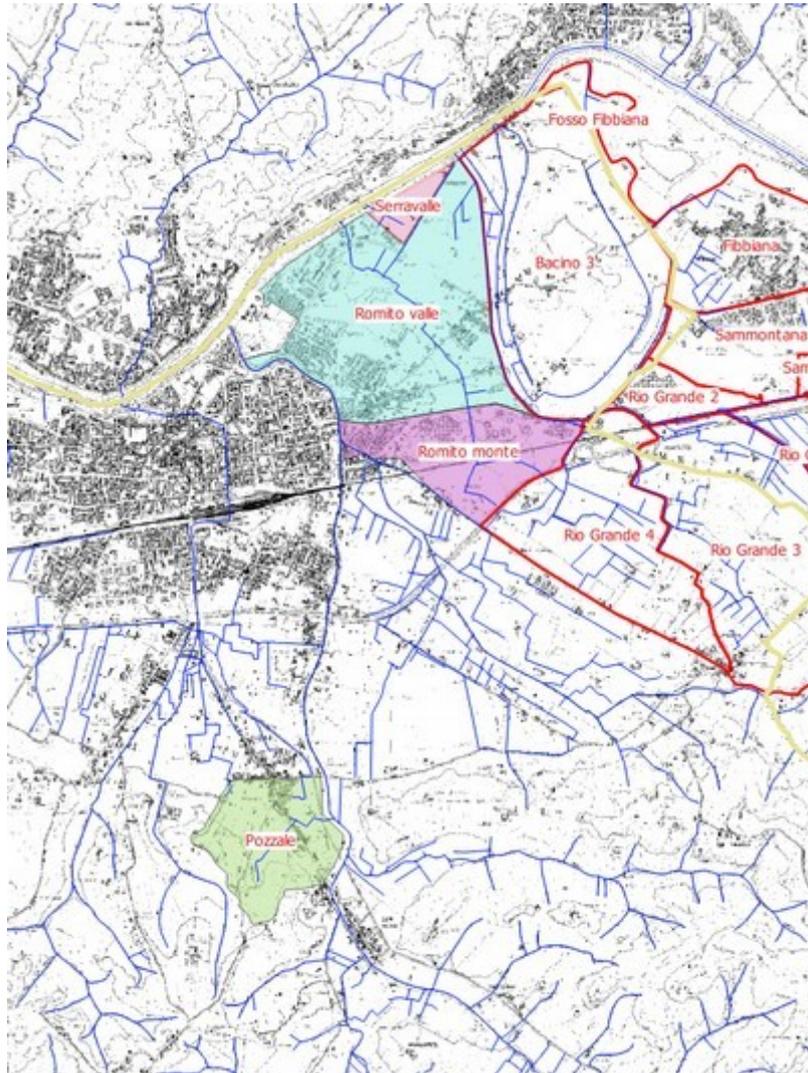


Figura 18: Bacini idrologici di Pozzale (tratto di monte), del Fosso del Romito monte, Fosso del Romito valle e di Serravalle

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

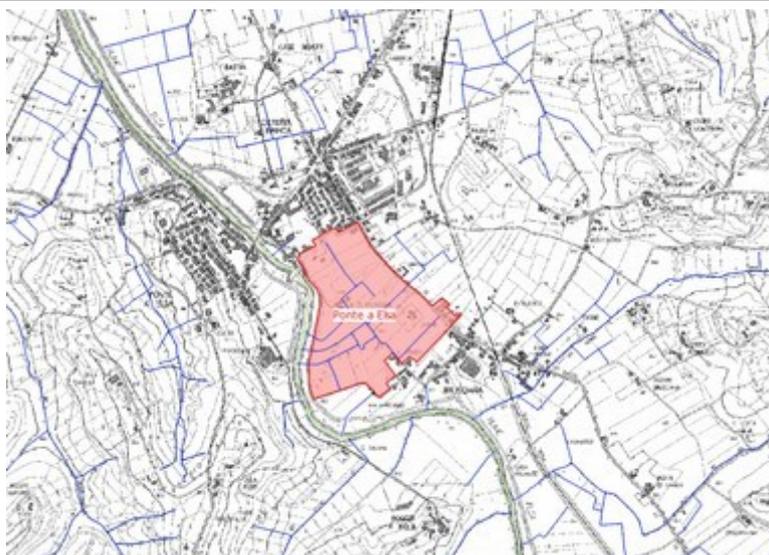


Figura 19: Bacino a Ponte a Elsa.

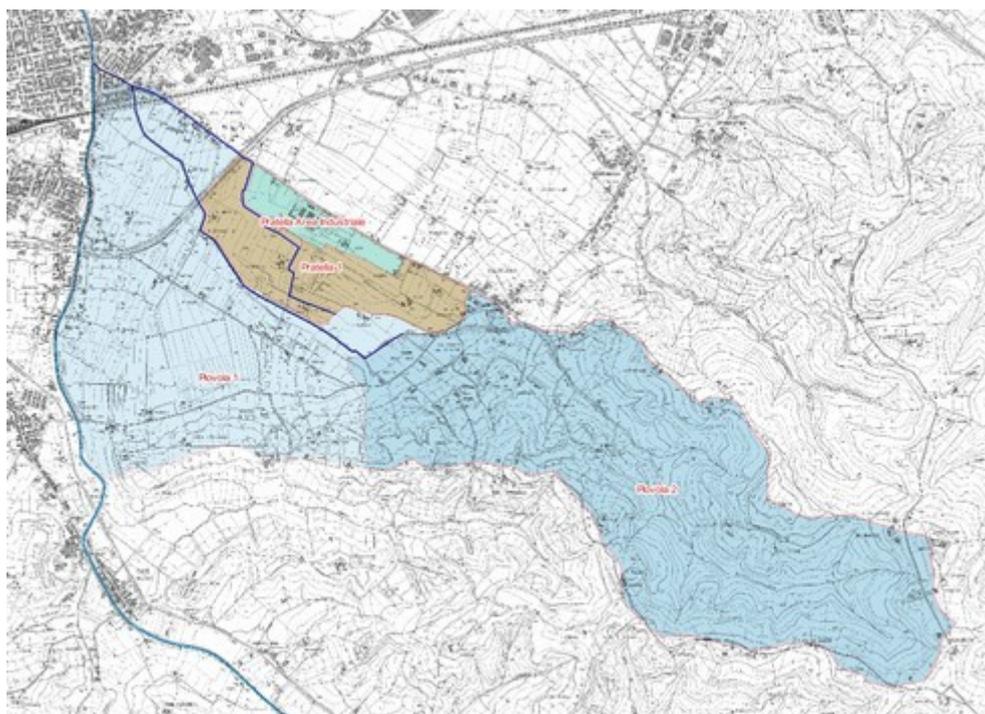


Figura 20: suddivisione dei bacini del Rio della Piovola e del Fosso della Pratella

3.4. Determinazione delle perdite di bacino

Le perdite di bacino sono costituite dalla frazione di pioggia che viene trattenuta dal bacino a causa di vari processi idrologici e sono stimate al fine di determinare, per differenza, la frazione di pioggia che andrà a trasformarsi in deflusso entro il reticolo idrografico (detta pioggia netta).

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

3.4.1. Bacini "di monte": metodo initial/costant

Nella classificazione di bacini "di monte" vengono inclusi i bacini Rio Grande 0, Rio Grande 1, Rio Grande 2, Sammontana 1, Sammontana 2, Sammontana 3, Citerna 1, Citerna 2, Castellucci Est, Castellucci Ovest del Sistema "Empoli Est", il bacino Piovola 2 del sistema "Piovola", e i bacini Orme monte, Ormicello, Interbacino Orme e Camerata del sistema "Orme".

In analogia con lo studio idrologico del 2012 ad opera del Genio Civile, per questi bacini è stato scelto di utilizzare il metodo initial/costant per la stima delle perdite idrologiche.

Il metodo initial/constant rappresenta le perdite per immagazzinamento nelle depressioni superficiali e per intercettazione tramite una perdita iniziale (*initial loss*). Tutte le altre perdite vengono modellate con un tasso di infiltrazione costante (*constant rate*), che può essere correlato con la capacità d'infiltrazione del suolo a saturazione. Il metodo prevede inoltre che non si abbia precipitazione efficace finché non sono state soddisfatte le perdite iniziali.

Il metodo risulta pertanto caratterizzato da due parametri: il valore delle perdite iniziali I_a ed il valore del tasso di infiltrazione K_s . Per la stima di tali parametri si è seguito l'approccio codificato nel modello Al.To 2000:

- le perdite iniziali, definite in mm, sono stimate in funzione della frazione di area boscata del bacino, secondo la seguente relazione:

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot (boscata)$$

- il tasso di infiltrazione, definito in mm/h, è stimato sulla base delle caratteristiche litologiche del terreno.

La percentuale di area boscata di ciascun bacino è stata dedotta dalla cartografia dell'uso del suolo della Regione Toscana facendo riferimento ai codici CLC (Corine Land Cover) 311, 312 e 313. Nella figura seguente si riporta la copertura delle aree boscate per tutti i bacini in esame.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

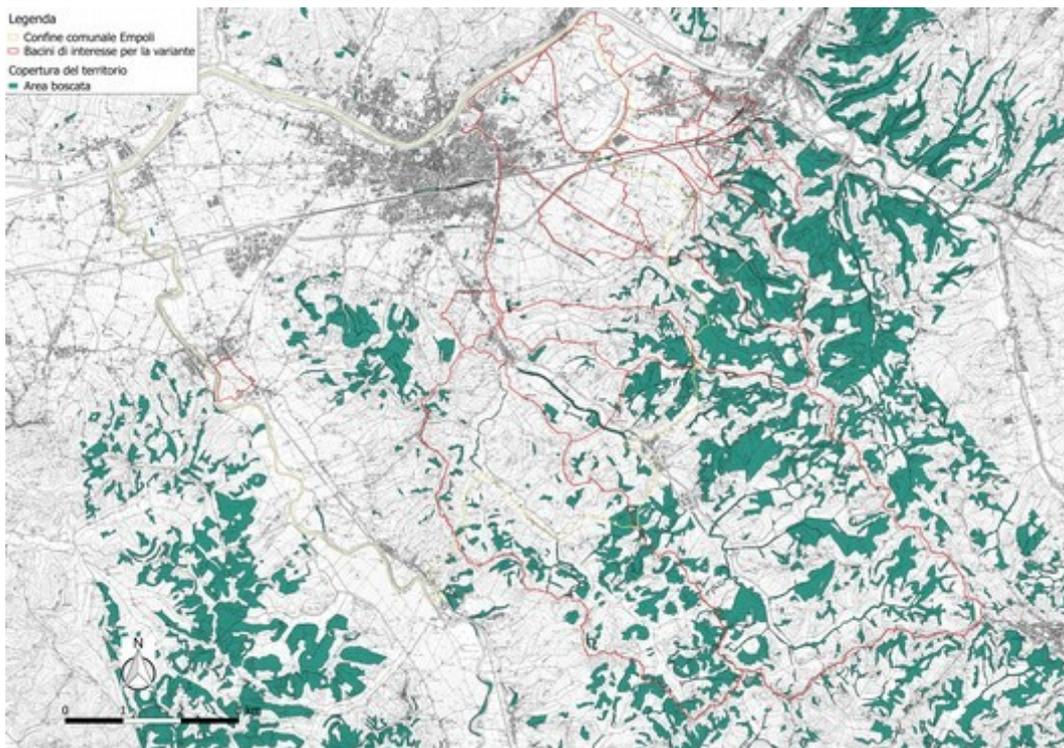


Figura 20: individuazione delle aree boscate per i bacini di interesse secondo la cartografia dell'uso del suolo della Regione Toscana

Per la determinazione del tasso di infiltrazione è stata considerata la carta del continuum geologico della Regione Toscana; ad ogni formazione litologica, secondo il modello AI.To 2000, è associato un corrispondente valore di K_s . Di seguito si riporta l'estratto della carta litologica relativamente all'area di interesse.

PROGETTO:

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

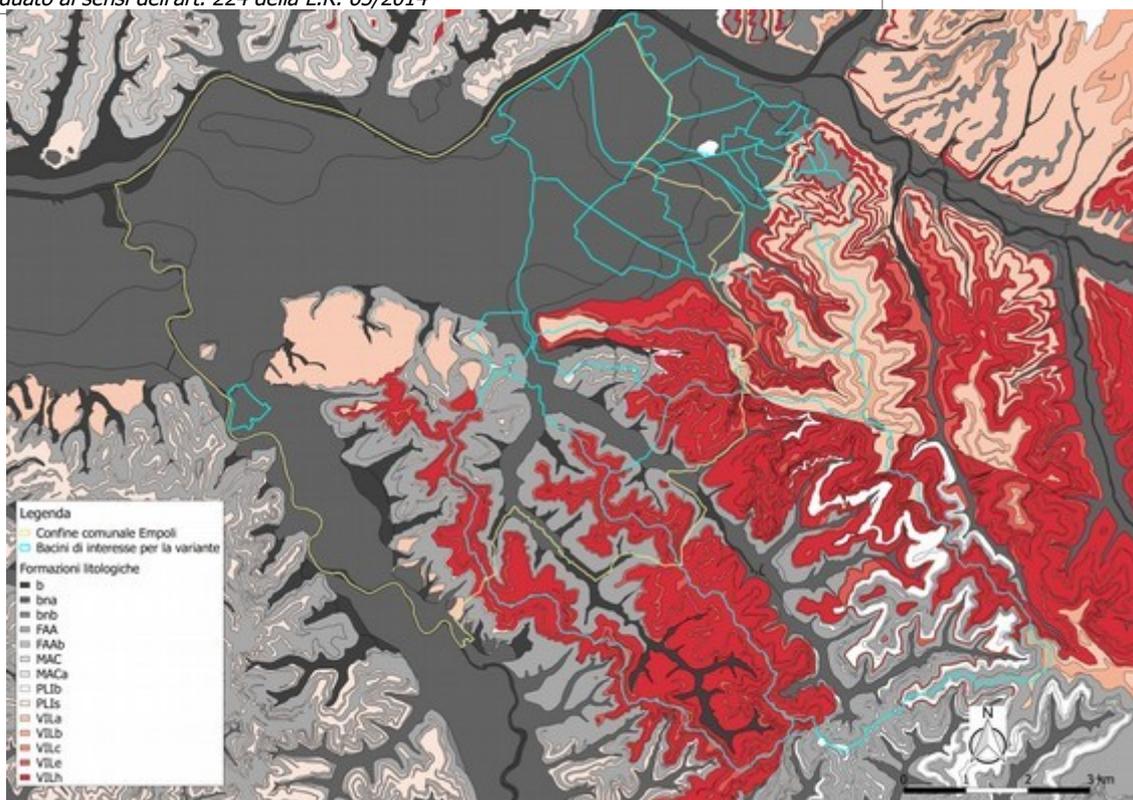


Figura 21: estratto della carta del continuum geologico della Regione Toscana relativo all'area di interesse

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

Descrizione formazione litologica	Ks medio [mm/s]
depositi limoso-argillosi moderatamente consistenti	0
depositi limoso-argillosi consistenti	0
depositi sabbiosi moderatamente addensati	2.325
depositi sabbiosi addensati poco cementati	2.325
depositi superficiali incoerenti a granulometria variabile a prevalente compo	3.1
rocce carbonatiche massicce o stratificate in grossi banchi	0.775
rocce carbonatiche stratificate	7.75
rocce carbonatiche vacuolari	3.875
rocce silicee	3.875
rocce ignee basiche ed ultrabasiche e derivati metamorfici	0
rocce intrusive acide o intermedie	0
conglomerati e breccie poco cementati	0.775
rocce carbonatiche vacuolari o poco cementate	7.75
arenarie deboli	2.325
rocce arenacee con interstrati pelitici	1.55
rocce carbonatiche con interstrati pelitici	4.65
rocce carbonatiche alternate a rocce pelitiche	4.65
rocce metamorfiche costituite da alternanze di livelli lapidei e pelitici	0
rocce pelitiche con intercalazioni lapidee	0
complessi a struttura caotica a prevalente componente pelitica	0
rocce metamorfiche scistose a pelite dominante	0

Tabella 5: tabella delle formazioni litologiche, con indicato il relativo valore del tasso di infiltrazione a saturazione

Nella tabella seguente sono riportati i valori della percentuale di area boscata per ciascun bacino e i valori dei parametri I_a e K_s .

Bacino	Sistema	Area [kmq]	% area boscata	I_a [mm]	K_s [mm/h]
Castellucci Est	Empoli Est	0.31	11.92	5.92	2.201
Castellucci Ovest	Empoli Est	0.12	0.00	3.30	3.100
Citerna 1	Empoli Est	0.27	15.78	6.77	1.963
Citerna 2	Empoli Est	0.40	2.18	3.78	3.268
Rio Grande 0	Empoli Est	2.97	43.35	12.84	0.837
Rio Grande 1	Empoli Est	0.34	0.00	3.30	3.018
Rio Grande 2	Empoli Est	0.23	0.00	3.30	3.100
Sammontana 1	Empoli Est	0.99	40.66	12.25	0.824
Sammontana 2	Empoli Est	0.14	0.00	3.30	3.100
Sammontana 3	Empoli Est	0.78	0.00	3.30	3.019
Montecuccoli	Empoli Est	0.28	19.17	7.52	1.654
Orme monte	Orme	21.81	8.47	8.616	0.799
Interbacino Orme	Orme	2.73	8.47	8.616	0.799
Ormicello	Orme	14.03	5.61	5.762	0.734
Camerata	Orme	2.53	7.06	7.21	0.779
Piovola2	Orme	3.91	6.62	6.766	1.612

Tabella 5: parametri per la stima delle perdite per i bacini "di monte"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

3.4.2. Bacini "di pianura": coefficienti di deflusso

I bacini "di pianura" sono quelli relativi al reticolo di acque basse; nella fattispecie sono: Rio Grande 3, Rio Grande 4, Fibbiana, Fosso Fibbiana, Fosso del Romito Bacino 3 e Bacino di Serravalle del sistema "Empoli Est", Piovola 1, Pratella e Pratella Area Industriale per il sistema "Orme-Piovola", il bacino Pozzale monte e il bacino di ponte a Elsa.

Per questi bacini la stima delle perdite è stata eseguita impostando il valore del coefficiente di deflusso; il coefficiente di deflusso è inteso come il rapporto tra il volume della pioggia netta e quello della pioggia totale affluita ed indica pertanto la frazione di pioggia meteorica che non viene trattenuta dal bacino e che si trasforma in deflusso idrico.

$$C_d = \frac{P_{net}}{P}$$

con P_{net} volume specifico (mm) di pioggia netta, P volume specifico affluito, C_d coefficiente di deflusso del bacino.

Di seguito si riportano i coefficienti di deflusso relativi ai bacini "di pianura" indicati nello studio idrologico del 2012 a cura del Genio Civile con le aggiunte dei nuovi bacini considerati nel presente studio, per i quali il coefficiente di deflusso è stato stimato adottando la stessa metodologia seguita nello studio 2012 ($C_d = 0.5$ per terreni agricoli di pianura, $C_d = 0.8$ per piccole aree urbane residenziali con aree a verde, $C_d = 0.9$ per aree urbane impermeabili).

Bacino	Sistema	Cd
Fibbiana	Empoli Est	0.60
Fosso Fibbiana	Empoli Est	0.50
Rio Grande 3	Empoli Est	0.50
Rio Grande 4	Empoli Est	0.50
Romito monte	Empoli Est	0.66
Romito valle	Empoli Est	0.58
Bacino 3	Empoli Est	0.54
Piovola1	Orme	0.5
Pratella	Orme	0.5
Pratella Area industriale	Orme	0.5
Pozzale monte	Pozzale	0.60
Ponte a Elsa	Elsa	0.54
Serravalle	Empoli Est	0.60

Tabella 6: Valori del coefficiente di deflusso per i bacini "di pianura".

3.5. Trasformazione afflussi netti – deflussi

Per la trasformazione del volume di pioggia netta in deflusso idraulico sono stati impiegati due metodi differenti: per i bacini "di monte" è stato impiegato il metodo dell'idrogramma unitario di Nash, mentre per i bacini "di pianura" si è ricorso al metodo razionale.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

3.5.1. Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione corrisponde al tempo necessario ad una goccia di pioggia, caduta nel punto del bacino caratterizzato dal percorso idraulico più lungo, per raggiungere la sezione di chiusura del bacino stesso.

La definizione del tempo di corrivazione si rende necessaria per la costruzione degli idrogrammi in entrambi i metodi di trasformazione afflussi-deflussi impiegati; nel caso in esame è stata condotta con lo stesso approccio seguito nello studio idrologico generale del 2012.

Nello specifico, per i bacini "di pianura" il tempo di corrivazione T_c è dato dalla relazione di Ongaro:

$$T_c = 0.18 \cdot (A \cdot L)^{(1/3)}$$

con A area del bacino [kmq] e L lunghezza asta principale [km]. Dato che per alcuni bacini quest'ultimo dato non è disponibile, nello studio idrologico del 2012 è stata applicata una regressione sui risultati dei bacini per i quali sono disponibili sia L che A per rendere la formula esclusivamente dipendente da A nella seguente forma:

$$T_c = a \cdot A^b$$

dove a e b sono i parametri stimati attraverso la regressione lineare e valutati rispettivamente 4.449 e 0.736. Di seguito sono riepilogati i valori del tempo di corrivazione per ciascun bacino "di pianura" stimato con la formula precedente.

Bacino	Area (Km2)	Tc [h]
Fibbiana	0.89	4.56
Fosso Fibbiana	0.16	1.71
Rio Grande 3	1.85	6.96
Rio Grande 4	1.23	5.48
Romito monte	0.72	4.06
Romito valle	1.83	6.91
Bacino 3	2.67	7.39
Piovola 1	3.27	10.64
Pratella 1	0.71	3.46
Pratella Area industriale	0.20	1.37
Pozzale monte	0.64	3.20
Ponte a Elsa	0.28	2.86
Serravalle	0.10	1.31

Tabella 7: Tempo di corrivazione per i bacini "di pianura".

Di seguito sono riportati i valori del tempo di corrivazione per i bacini "di monte", ripresi direttamente dai dati riportati nello studio idrologico del 2012, ed integrati con quelli aggiunti.

I tempi di corrivazione assunti nell'analisi sono riportati nella seguente tabella:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	Area (Km2)	Tc [h]
Castellucci Est	0.31	1.41
Castellucci Ovest	0.12	1.41
Citerna 1	0.27	1.41
Citerna 2	0.40	1.41
Rio Grande 0	2.97	1.77
Rio Grande 1	0.34	1.77
Rio Grande 2	0.23	1.77
Sammontana 1	0.99	1.41
Sammontana 2	0.14	1.41
Sammontana 3	0.78	1.41
Montecuccoli	0.28	1.41
Orme monte	21.81	3.64
Interbacino Orme	2.73	3.64
Ormicello	14.03	3.81
Camerata	2.53	1.17
Piovolta2	3.91	1.23

Tabella 8: Tempo di corrivazione per i bacini "di monte"

3.5.2. Bacini di "monte": idrogramma unitario di Nash

Per la trasformazione afflussi-deflussi dei bacini "di monte" è stato utilizzato l'idrogramma unitario di Nash. Il modello di Nash schematizza il bacino come un insieme di n serbatoi lineari in serie tutti caratterizzati dalla medesima costante di tempo k; è perciò caratterizzato dai due parametri n (parametro di forma) e k (parametro di scala). L'IUH relativo al modello di Nash ha la seguente espressione:

$$h(t) = \frac{1}{(k \cdot \Gamma(n))} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} \cdot e^{\left(\frac{-t}{k}\right)}$$

dove $\Gamma(n)$ è la funzione di Eulero così determinata:

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{(n-1)} \cdot e^{-x} \cdot dx$$

Le costanti n e k relative all'idrogramma di Nash possono essere determinate in base all'analisi geomorfologica dei bacini idrografici. Si può inoltre dimostrare che il prodotto n·k rappresenta il tempo di ritardo del bacino T_L (pari a 0.6·T_c, con T_c=tempo di corrivazione del bacino). Nella presente analisi sono impiegati gli stessi valori dei parametri n e k usati nello studio 2012, laddove presenti. Per i bacini di nuova definizione (Piovolta 2) si è ripetuta l'analisi geomorfologica per la stima di n, mentre il parametro k è stato stimato a partire dal tempo di ritardo del sottobacino.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Bacino	Area [kmq]	N	k
Castellucci Est	0.31	2.490	0.340
Castellucci Ovest	0.12	2.490	0.340
Citerna 1	0.27	2.490	0.340
Citerna 2	0.40	2.490	0.340
Rio Grande 0	2.97	2.850	0.373
Rio Grande 1	0.34	2.850	0.373
Rio Grande 2	0.23	2.850	0.373
Sammontana 1	0.99	2.490	0.340
Sammontana 2	0.14	2.490	0.340
Sammontana 3	0.78	2.490	0.340
Montecuccoli	0.28	2.490	0.340
Orme monte	21.81	3.186	0.686
Interbacino Orme	2.73	3.186	0.686
Ormicello	14.03	3.393	0.674
Camerata	2.53	2.590	0.272
Piovola2	3.91	2.484	0.297

Tabella 9: Parametri n e k dell'idrogramma di NASH per i bacini "di monte"

3.5.3. Bacini "di pianura": metodo razionale

Per i bacini "di pianura" la portata massima è determinata in funzione del tempo di corrivazione e della durata dell'evento di pioggia secondo la formula razionale:

$$Q = 0.278 \cdot C_d \cdot A \cdot i_p$$

dove C_d rappresenta il coefficiente di deflusso del bacino in esame, A l'area scolante [kmq], i_p l'intensità di pioggia, data dal rapporto tra l'altezza di pioggia (h) espressa in mm e la durata di pioggia (d) espressa in ore. Nelle ipotesi del metodo razionale la portata massima si ha per durate di pioggia pari al tempo di corrivazione e la forma dell'idrogramma varia a seconda della relazione tra la durata dell'evento pluviometrico ed il tempo di corrivazione:

- se $d \leq t_c$ l'idrogramma assume forma triangolare con tempo di picco pari a d e durata complessiva pari a $2d$;
- se $d > t_c$ l'idrogramma assume forma trapezia con i rami crescenti e decrescenti di durata pari a t_c e con il ramo a portata costante di durata pari a $d - t_c$.

3.6. Risultati della modellazione idrologica

Sulla base di quanto sopra esposto sono stati implementati i modelli idrologici suddivisi per sistema dell'intera area di studio. Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno 30 e 200 anni con diverse durate di pioggia significative per i sistemi in esame.

Le simulazioni idrologiche sono individuate da un codice nella forma TRxxxTPyy.yyh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno espresso in anni e "yy.yy" la durata di pioggia espressa in ore.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di picco degli idrogrammi di piena (riportati a loro volta nelle figure successive) per i bacini considerati nell'analisi.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	TR030TP01H	TR030TP02.5H	TR030TP04H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Piovola 2	23.54	19.32	14.04	3.74	2.88	1.93
Piovola 1	1.53	2.06	2.39	2.04	1.69	1.28
Pratella 1	1.02	1.37	1.38	0.44	0.37	0.28
Pratella Area industriale	0.73	0.54	0.39	0.13	0.1	0.08
	TR200TP01H	TR200TP02.5H	TR200TP04H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Piovola 2	36.04	28.24	20.73	6.17	4.92	3.53
Piovola 1	2.13	2.93	3.44	3.06	2.54	1.96
Pratella 1	1.42	1.96	1.99	0.66	0.55	0.42
Pratella Area industriale	1.02	0.77	0.57	0.19	0.16	0.12

Tabella 10: portate idrologiche massime dei bacini del rio della Piovola appartenenti al sistema "Orme-Piovola".

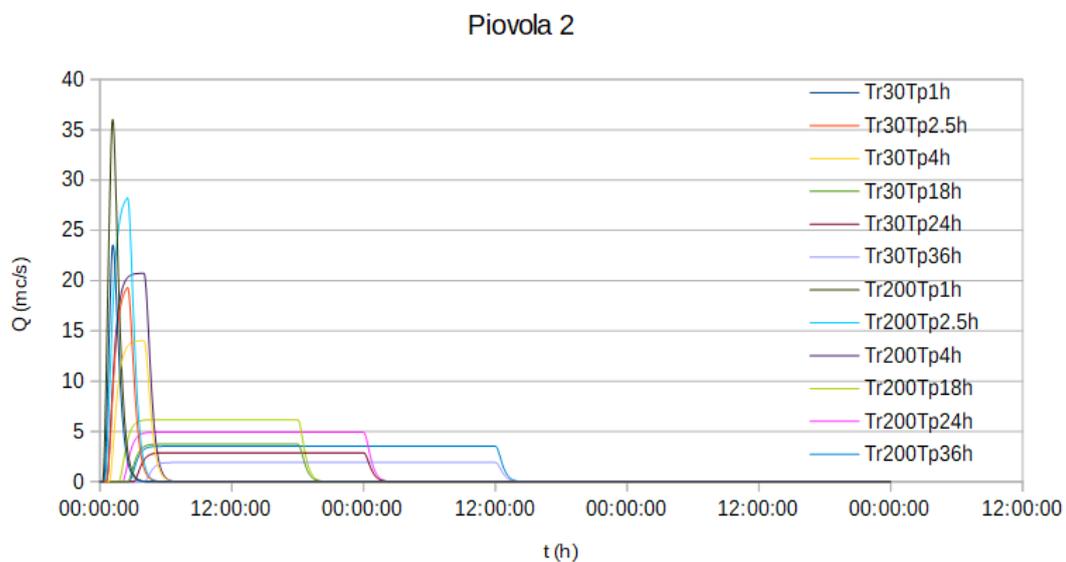


Figura 22: idrogrammi relativi al bacino Piovola 2

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

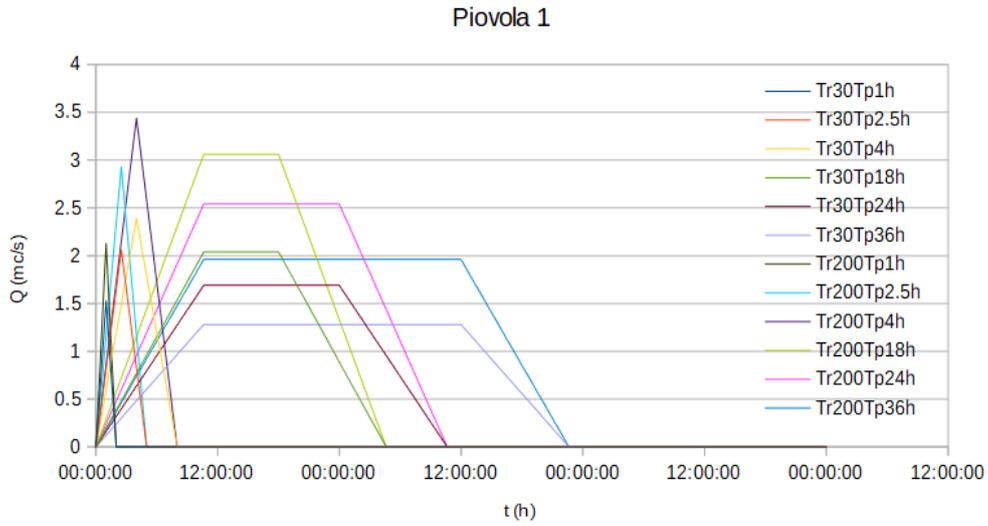


Figura 23: idrogrammi relativi al bacino Piovola 1

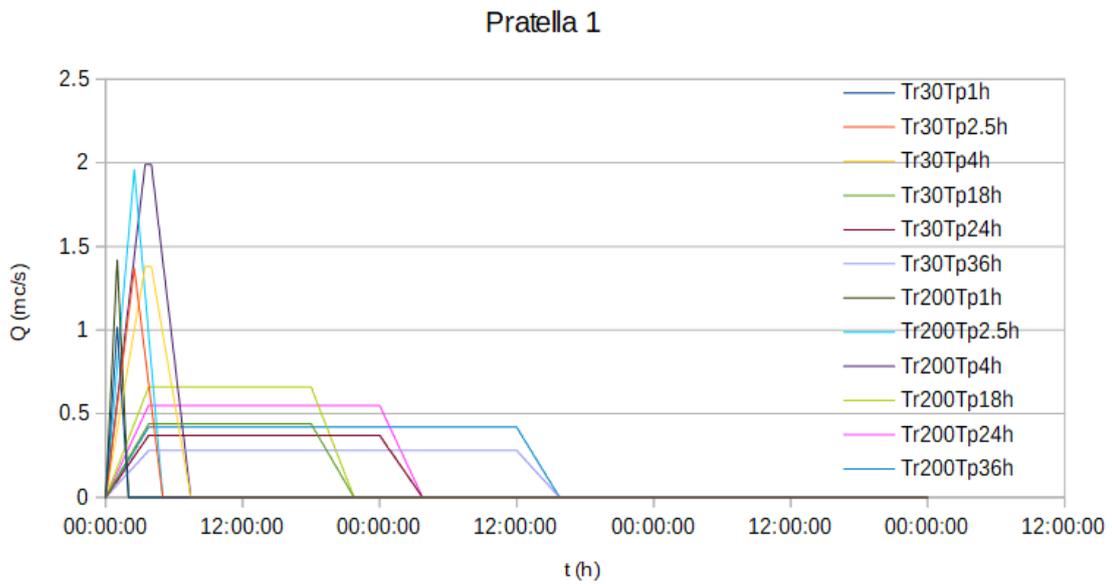


Figura 24: idrogrammi relativi al bacino Pratella 1

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

Pratella Area Industriale

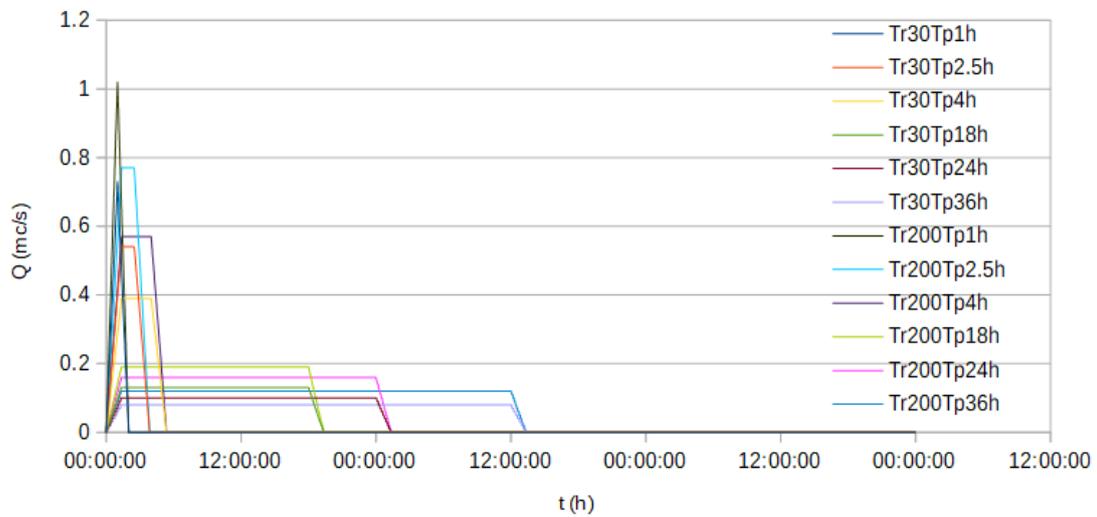


Figura 25: idrogrammi relativi al bacino Pratella Area Industriale

	TR030TP01H	TR030TP02.5H	TR030TP04H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Orme monte	80.45	92.07	83.90	22.44	17.95	12.36
Ormicello	44.17	51.90	47.88	15.01	12.07	8.41
Interbacino Orme	8.77	10.32	9.53	2.73	2.18	1.49
Camerata	19.85	14.18	10.20	2.70	2.13	1.50
	TR200TP01H	TR200TP02.5H	TR200TP04H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Orme monte	119.57	137.14	124.78	35.97	29.50	21.34
Ormicello	64.74	76.75	71.05	23.95	19.70	14.35
Interbacino Orme	13.15	15.48	14.25	4.40	3.60	2.59
Camerata	28.83	20.46	14.94	4.31	3.49	2.57

Tabella 11: portate idrologiche massime dei bacini dell'Orme appartenenti al sistema Orme-Piovoia

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

Orme monte

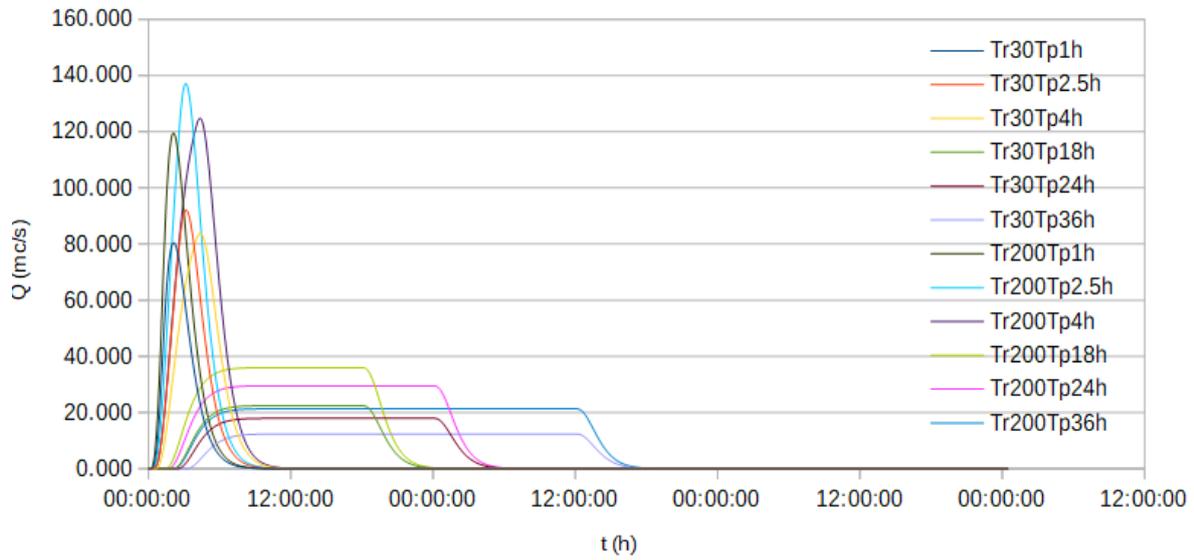


Figura 21: idrogrammi relativi al bacino Orme monte

Ormicello

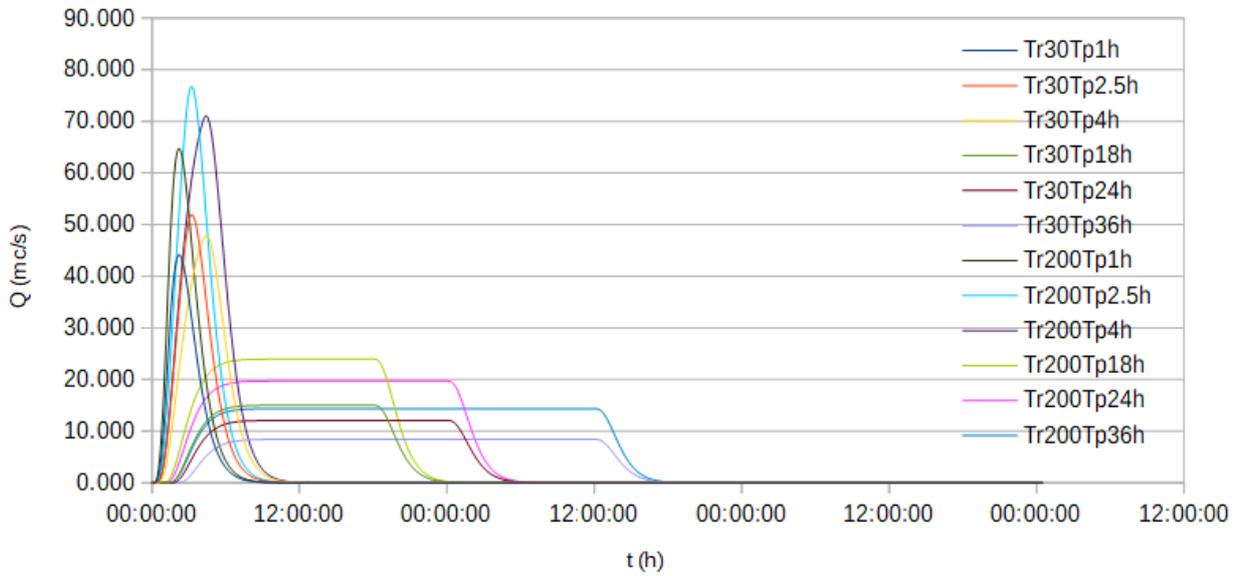


Figura 22: idrogrammi relativi al bacino Ormicello

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

Interbacino Orme

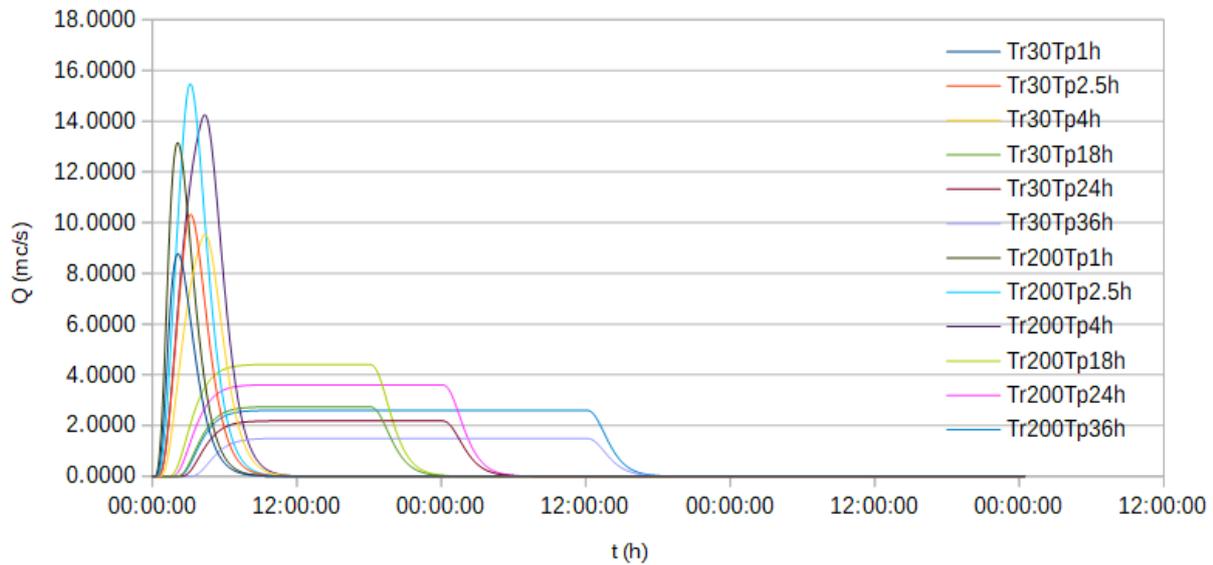


Figura 23: idrogrammi relativi all'Interbacino Orme

Camerata

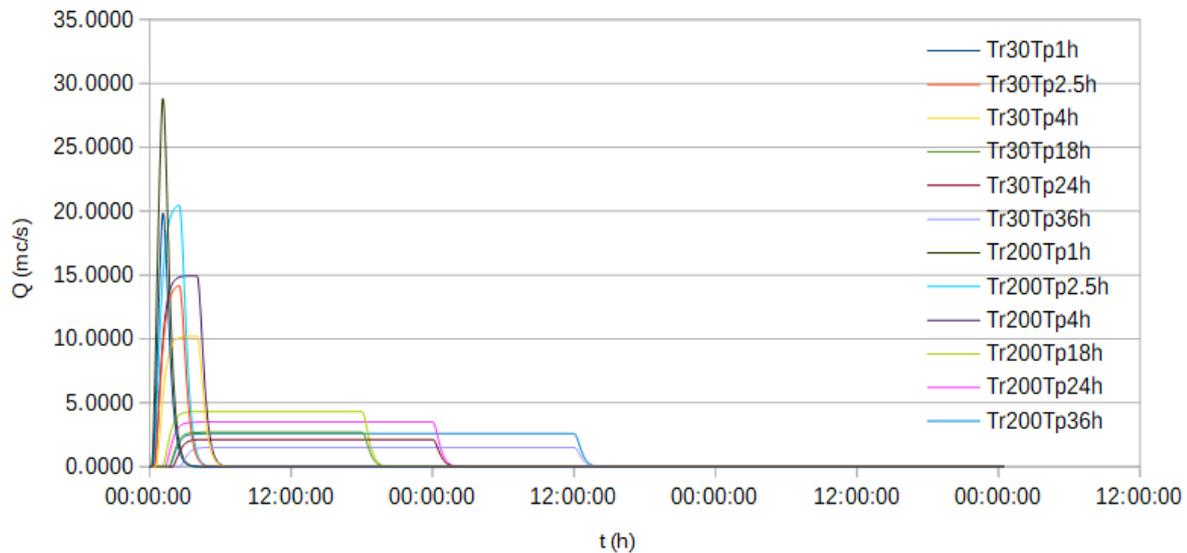


Figura 24: idrogrammi relativi al bacino Camerata

PROGETTO:	ELABORATO:
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	TR030TP01.1H	TR030TP03H	TR030TP06H	TR030TP09H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Castellucci Est	2.53	1.60	0.88	0.60	0.20	0.13	0.06
Castellucci Ovest	0.99	0.59	0.31	0.20	0.05	0.02	0.00
Citerna 1	2.19	1.41	0.79	0.54	0.19	0.13	0.07
Citerna 2	3.26	1.95	1.02	0.66	0.14	0.05	0.00
Montecuccoli	2.26	1.49	0.84	0.59	0.22	0.16	0.09
Rio Grande 0	19.33	15.95	9.59	6.92	3.04	2.38	1.65
Rio Grande 1	2.49	1.66	0.89	0.58	0.14	0.07	0.00
Rio Grande 2	1.69	1.12	0.60	0.39	0.09	0.04	0.00
Sammontana 1	7.51	5.45	3.20	2.31	1.02	0.80	0.56
Sammontana 2	1.15	0.69	0.36	0.24	0.06	0.02	0.00
Sammontana 3	6.44	3.86	2.05	1.35	0.33	0.15	0.00
	TR200TP01.1H	TR200TP03H	TR200TP06H	TR200TP09H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Castellucci Est	3.66	2.37	1.37	0.98	0.39	0.30	0.18
Castellucci Ovest	1.43	0.89	0.50	0.35	0.12	0.08	0.04
Citerna 1	3.18	2.09	1.22	0.87	0.36	0.28	0.18
Citerna 2	4.73	2.95	1.66	1.15	0.39	0.26	0.12
Montecuccoli	3.29	2.19	1.28	0.93	0.40	0.31	0.21
Rio Grande 0	29.24	23.37	14.29	10.51	4.90	3.95	2.89
Rio Grande 1	3.59	2.49	1.42	0.99	0.35	0.25	0.12
Rio Grande 2	2.44	1.69	0.96	0.67	0.23	0.16	0.08
Sammontana 1	11.21	7.93	4.77	3.51	1.64	1.32	0.97
Sammontana 2	1.67	1.04	0.58	0.41	0.14	0.10	0.05
Sammontana 3	9.30	5.80	3.28	2.29	0.82	0.57	0.29

Tabella 12: portate idrologiche massime dei bacini "di monte" del sistema Empoli Est

	TR030TP01.1H	TR030TP03H	TR030TP06H	TR030TP09H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Rio Grande 4	1.52	1.96	2.14	1.58	0.78	0.64	0.49
Rio Grande 3	1.79	2.32	2.77	2.37	1.16	0.96	0.73
Fibbiana	1.58	2.04	1.86	1.37	0.67	0.55	0.42
Fosso Fibbiana	0.62	0.46	0.28	0.2	0.1	0.08	0.063
Bacino 3	2.04	2.64	3.15	2.87	1.41	1.16	0.88
	TR200TP01.1H	TR200TP03H	TR200TP06H	TR200TP09H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Rio Grande 4	2.11	2.736	2.99	2.21	1.09	0.9	0.68
Rio Grande 3	2.49	3.23	3.87	3.32	1.63	1.34	1.03
Fibbiana	2.2	2.92	2.7	2.02	1.01	0.84	0.65
Fosso Fibbiana	0.87	0.66	0.4	0.3	0.15	0.12	0.1
Bacino 3	2.84	3.78	4.59	4.23	2.11	1.75	1.35

Tabella 13: portate idrologiche massime dei bacini "di pianura" del sistema Empoli Est

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

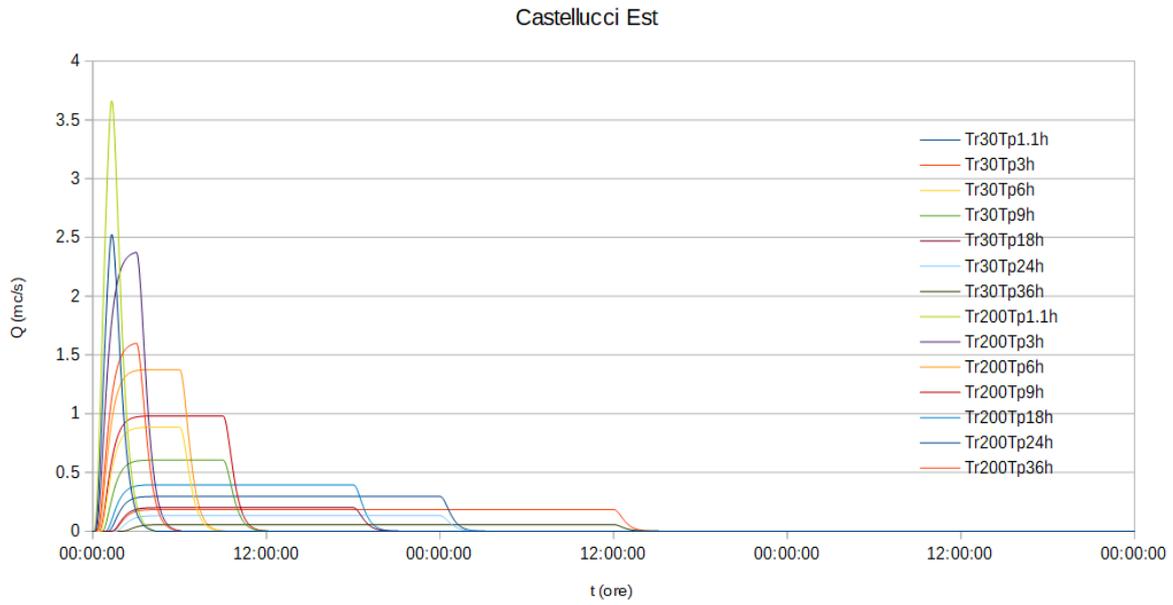


Figura 25: idrogrammi relativi al bacino Castellucci Est

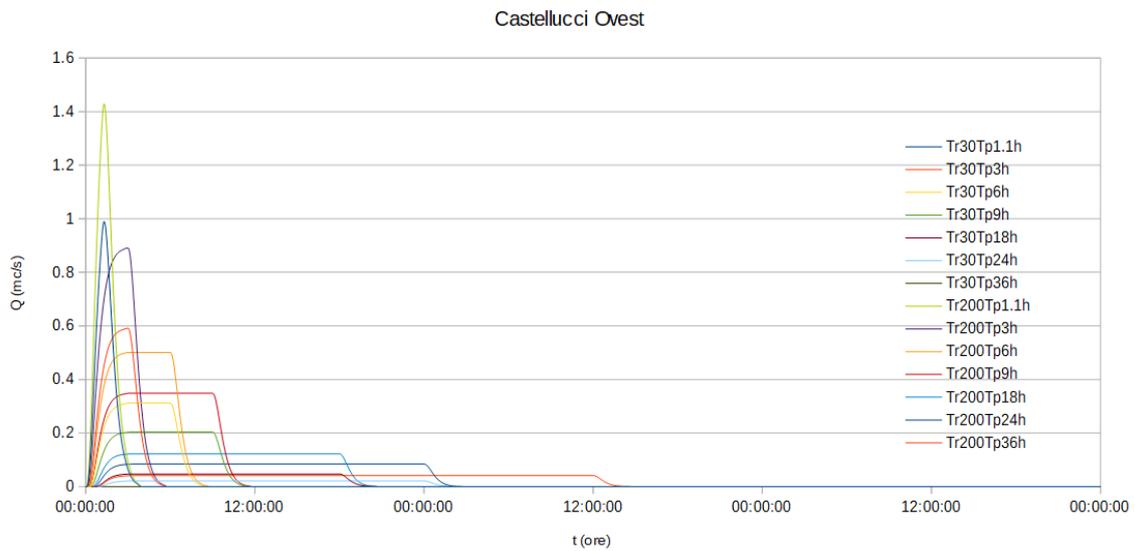


Figura 26: idrogrammi relativi al bacino Castellucci Ovest

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

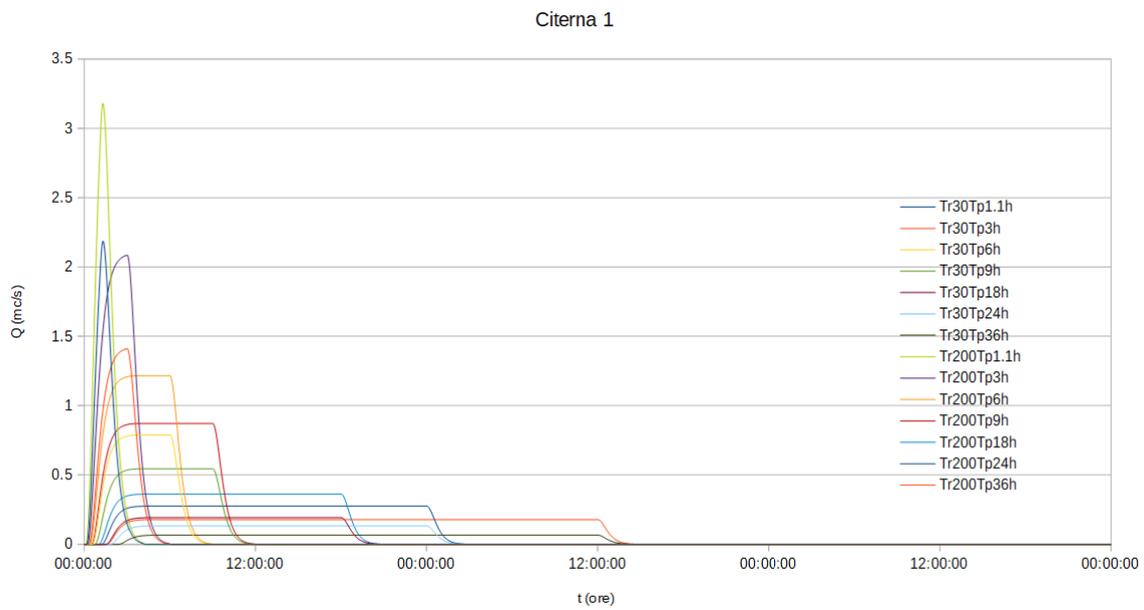


Figura 27: idrogrammi relativi al bacino Citerna 1

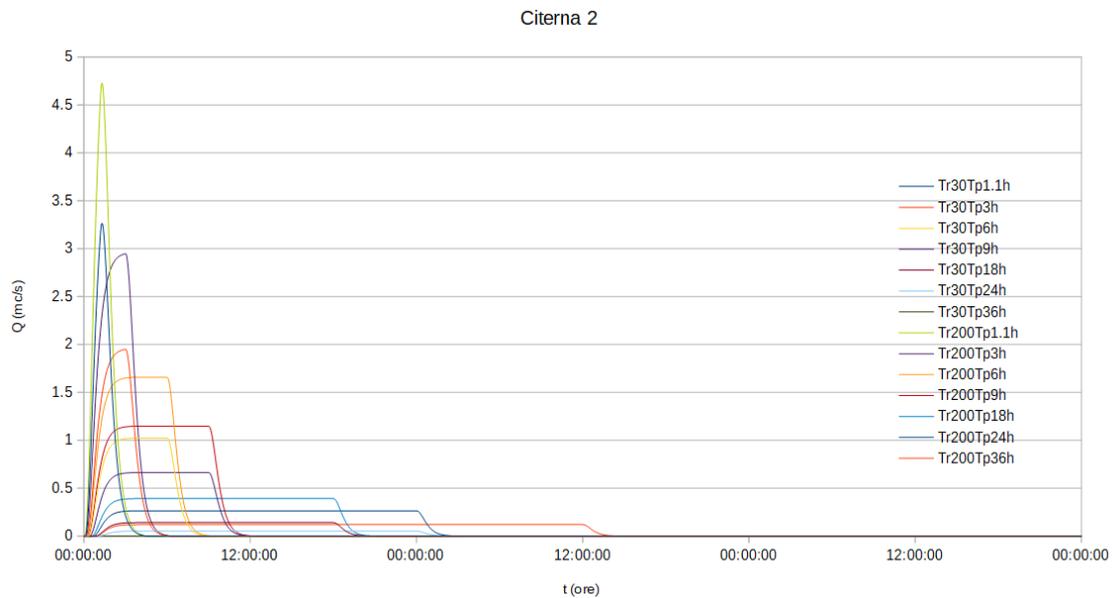


Figura 28: idrogrammi relativi al bacino Citerna 2

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

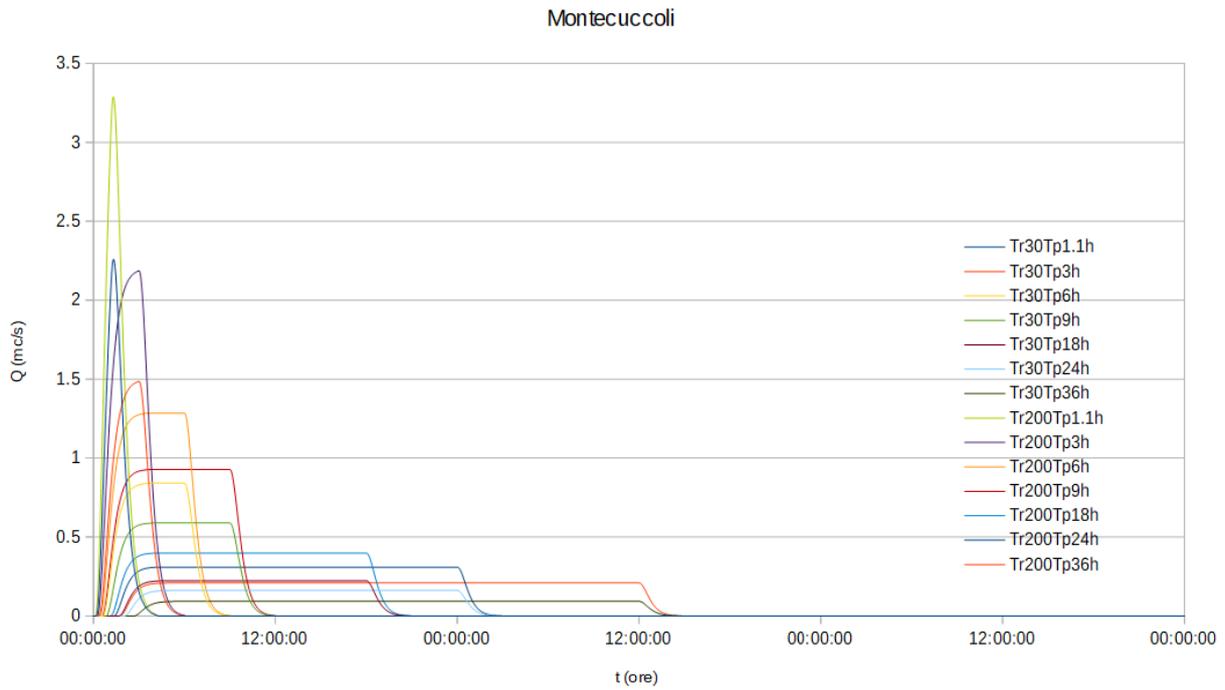


Figura 29: idrogrammi relativi al bacino Montecuccoli

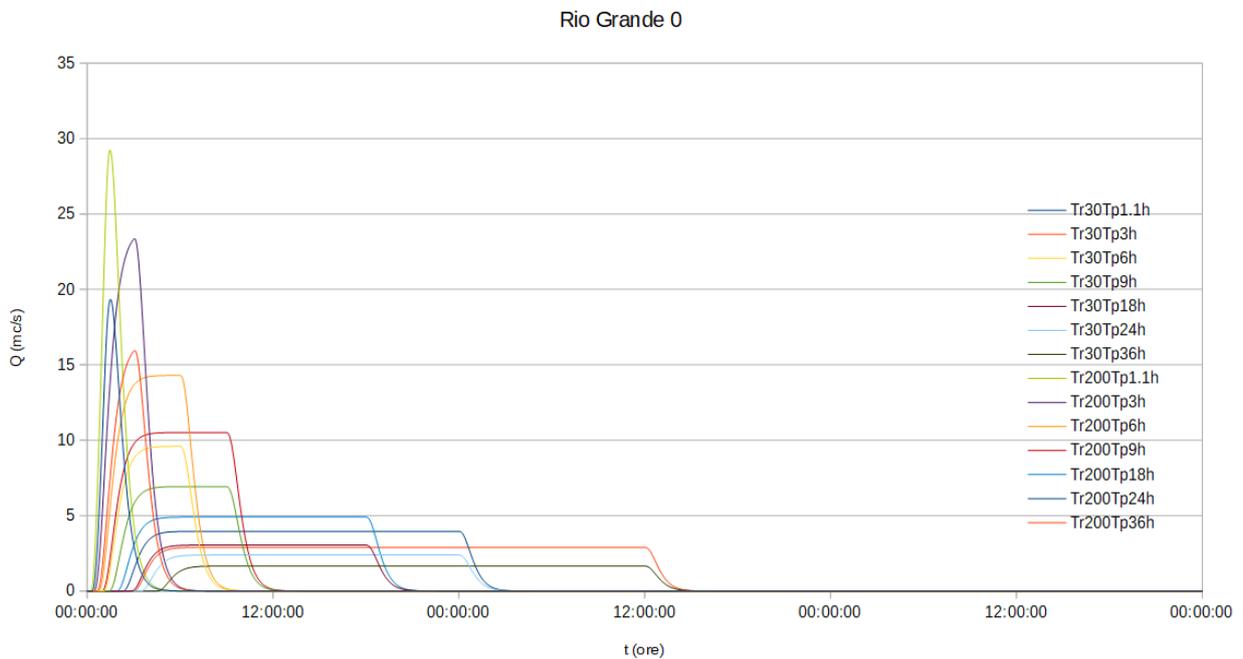


Figura 30: idrogrammi relativi al bacino Rio Grande 0

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

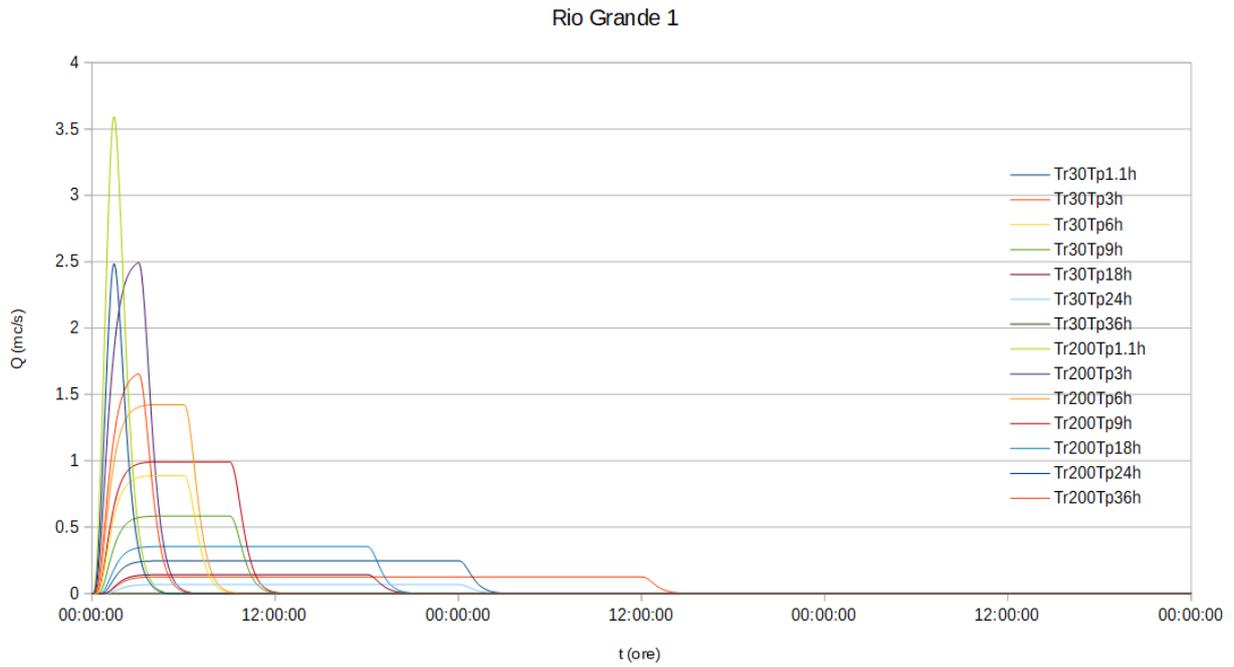


Figura 31: idrogrammi relativi al bacino Rio Grande 1

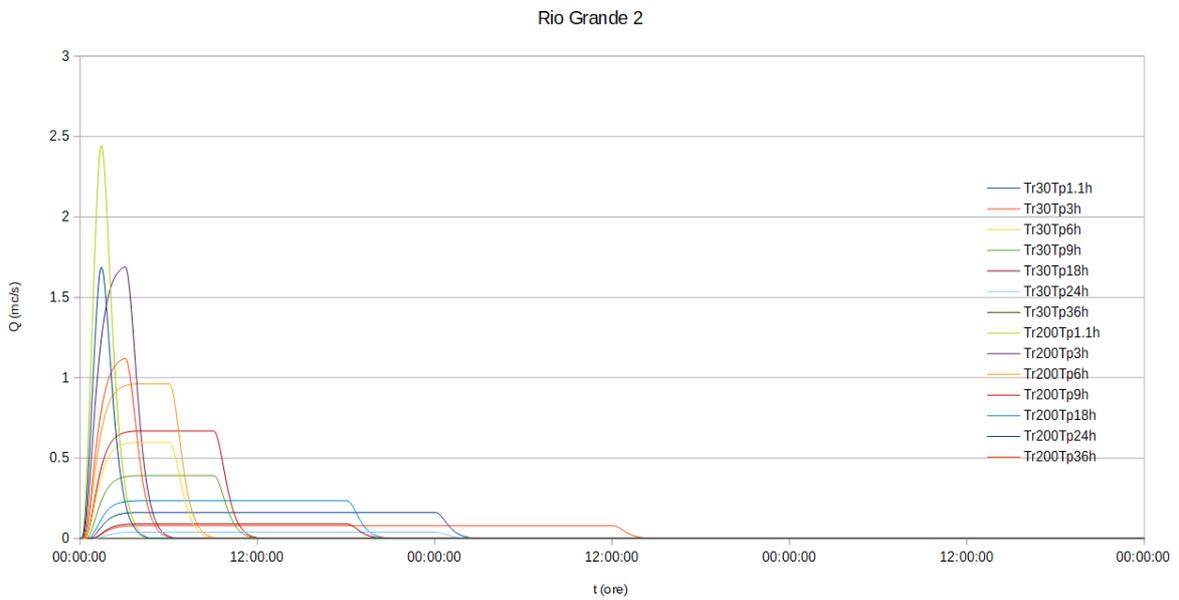


Figura 32: idrogrammi relativi al bacino Rio Grande 2

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

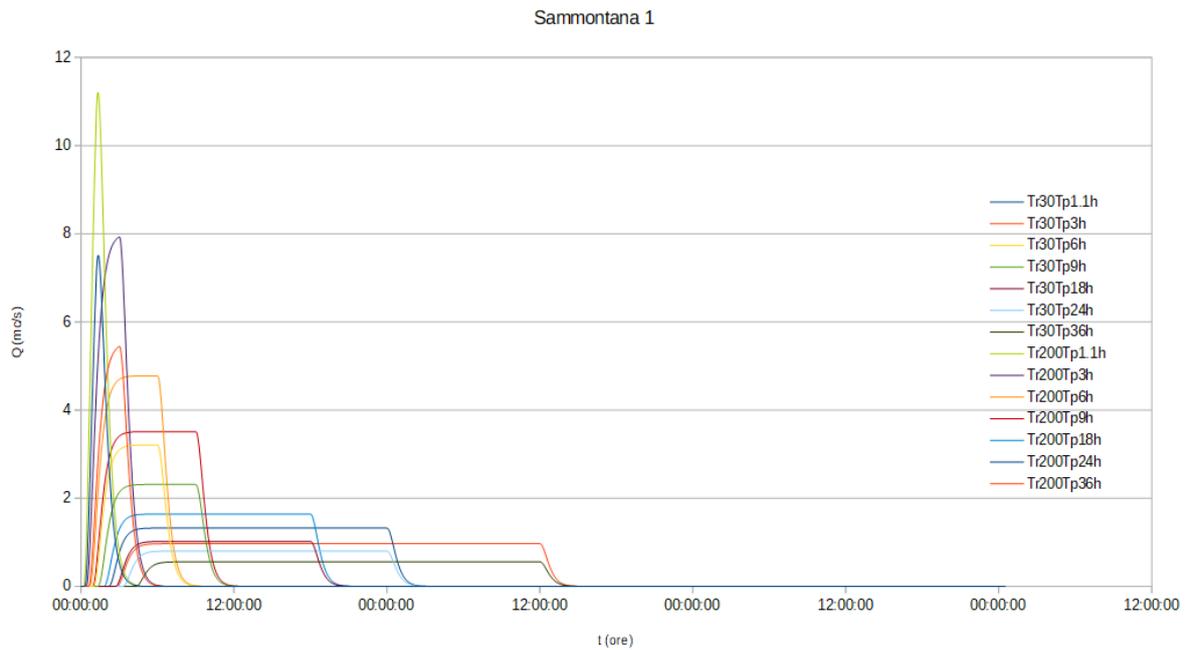


Figura 33: idrogrammi relativi al bacino Sammontana 1

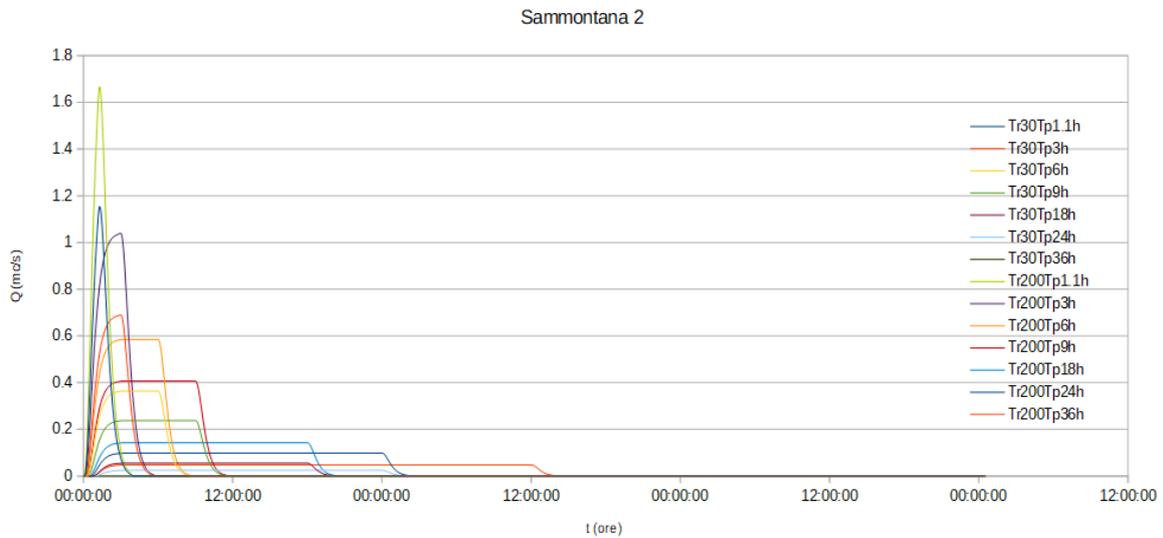


Figura 34: idrogrammi relativi al bacino Sammontana 2

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

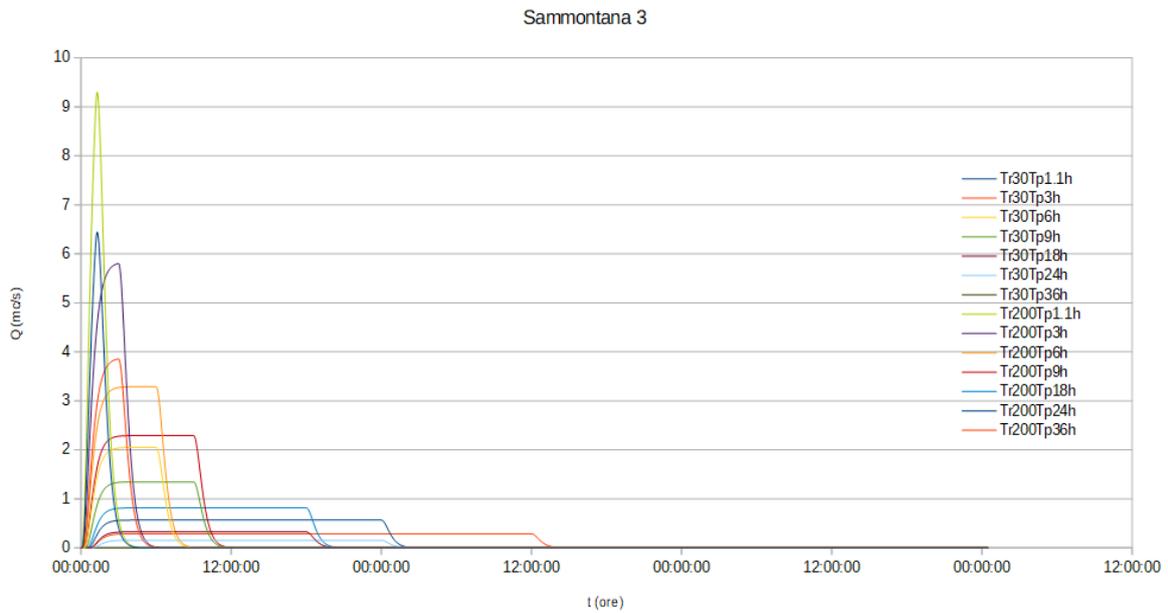


Figura 35: idrogrammi relativi al bacino Sammontana 3

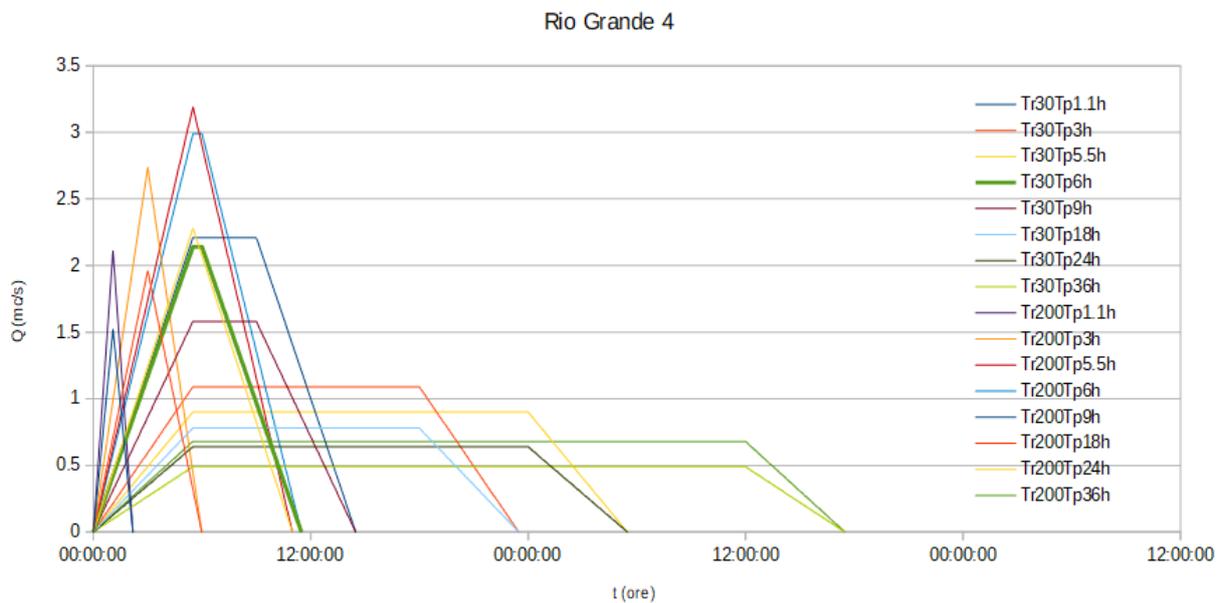


Figura 36: idrogrammi relativi al bacino Rio Grande 4

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

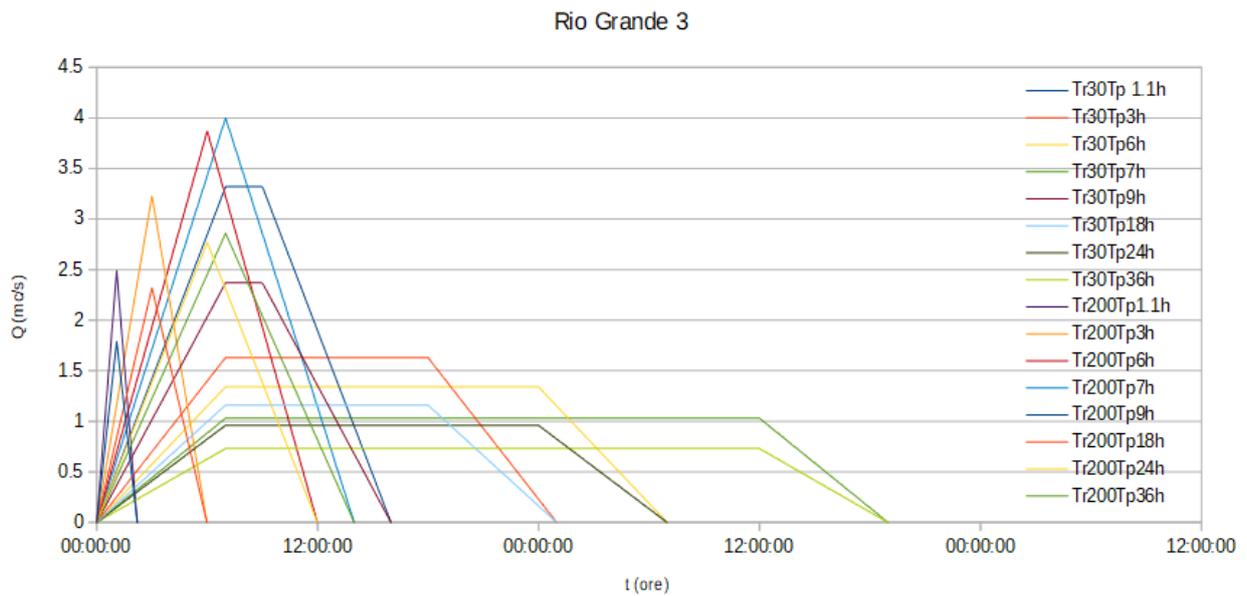


Figura 37: idrogrammi relativi al bacino Rio Grande 3

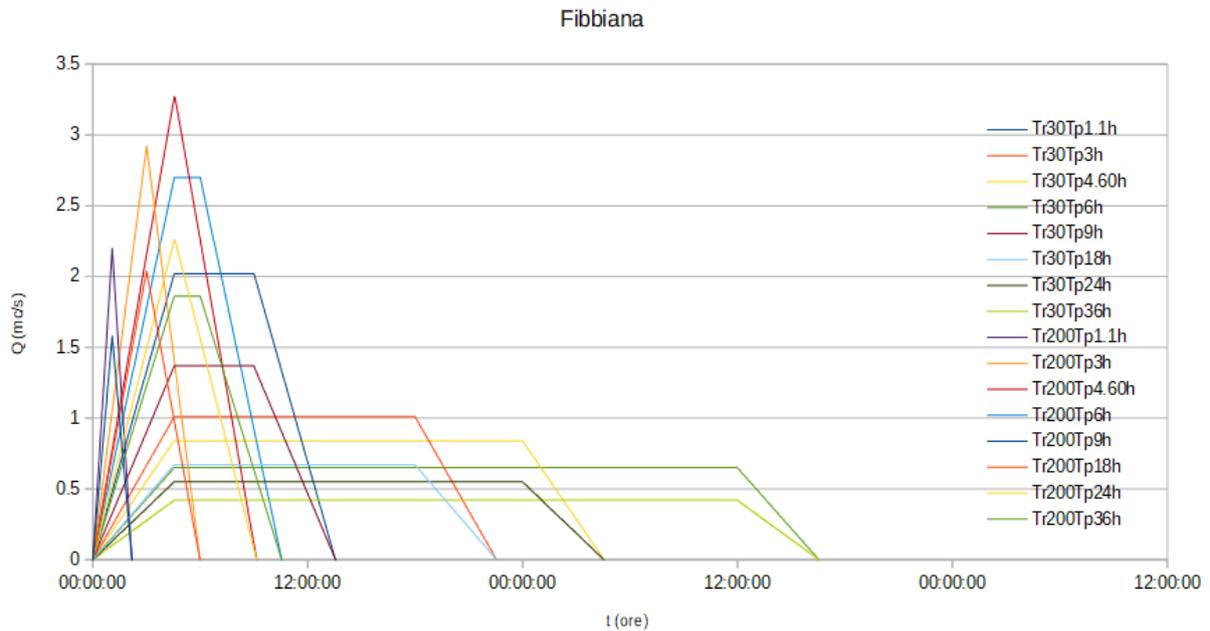


Figura 38: idrogrammi relativi al bacino Fibbiana

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

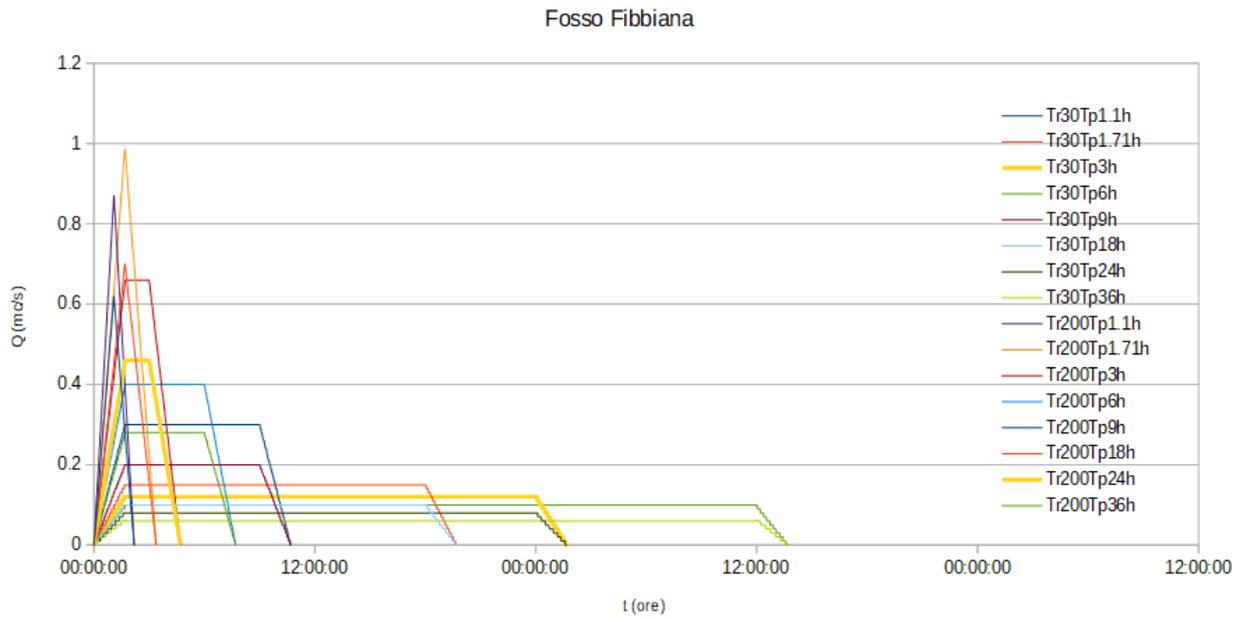


Figura 39: idrogrammi relativi al bacino Fosso Fibbiana

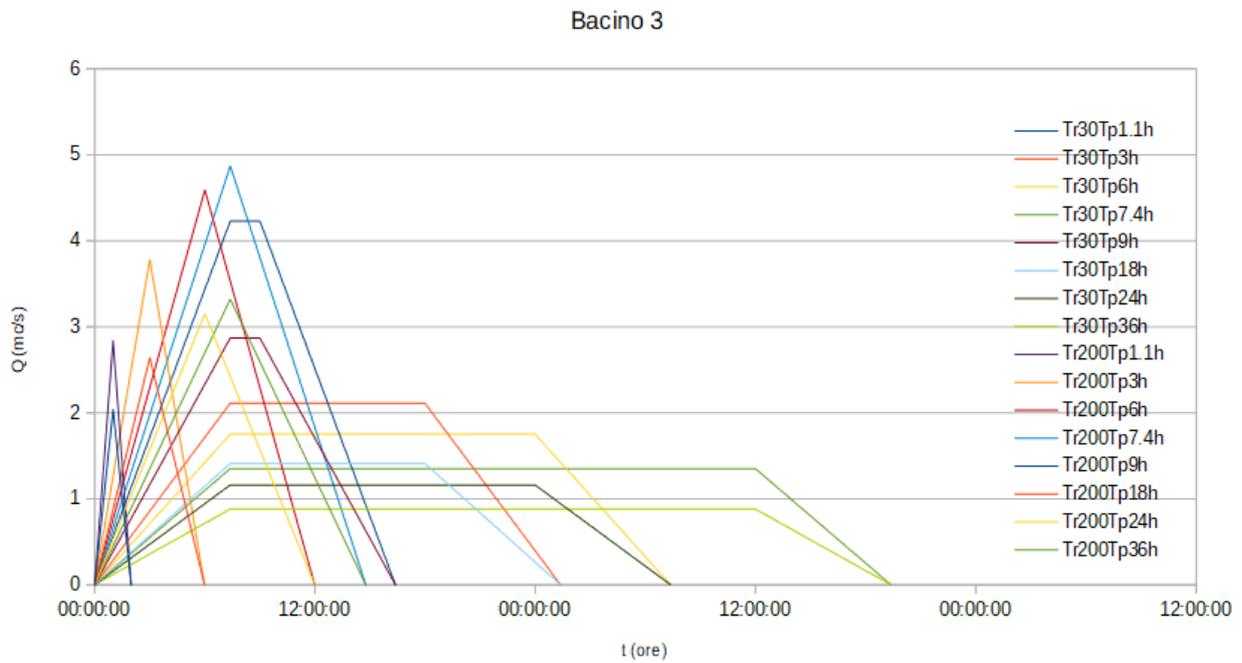


Figura 40: idrogrammi relativi al Bacino 3

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	TR030TP04.1H	TR030TP06.9H	TR030TP09H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Romito monte	2.28	1.53	1.25	0.6	0.49	0.37
Romito valle	2.99	3.4	2.79	1.33	1.09	0.83
	TR030TP04.1H	TR030TP06.9H	TR200TP09H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Romito monte	3.3	2.24	1.84	0.89	0.74	0.57
Romito valle	4.31	4.98	4.11	1.99	1.65	1.27

Tabella 14: portate idrologiche massime dei bacini del sistema Romito

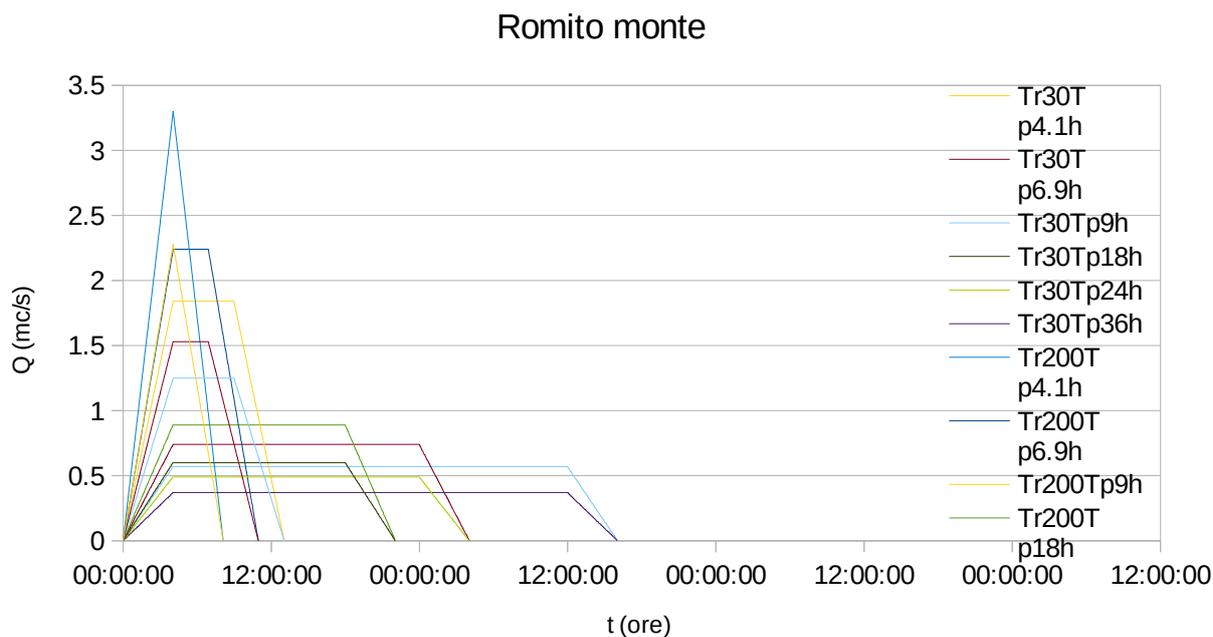


Figura 41: idrogrammi relativi al bacino Romito monte

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

Romito valle

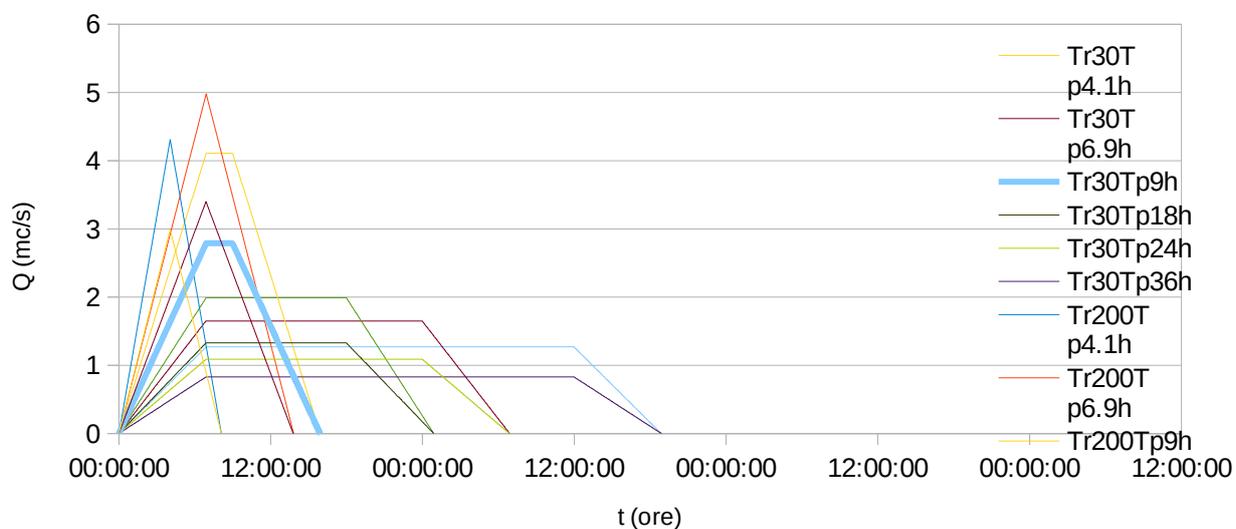


Figura 42: idrogrammi relativi al bacino Romito valle

	TR030TP02.9H	TR030TP06H	TR030TP09H	TR030TP18H	TR030TP24H
Ponte a Elsa	1	0.58	0.34	0.22	0.18
	TR200TP02.9H	TR200TP06H	TR200TP09H	TR200TP18H	TR200TP24H
Ponte a Elsa	1.43	0.85	0.50	0.33	0.27

Tabella 15: portate idrologiche massime del bacino Ponte a Elsa

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

Ponte a Elsa

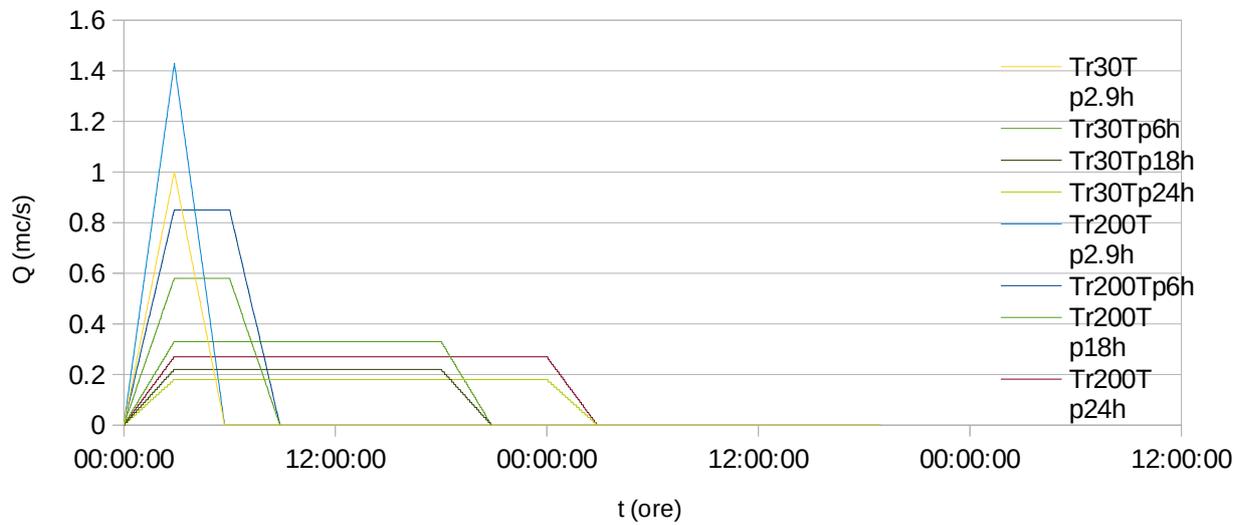


Figura 43: idrogrammi relativi al bacino Ponte a Elsa

	TR030TP01.31H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Serravalle	0.70	0.08	0.06	0.05
	TR200TP01.31H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Serravalle	0.980	0.120	0.100	0.070

Tabella 16: portate idrologiche massime del bacino Serravalle

<i>PROGETTO:</i> Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica idraulica
--	---

Serravalle

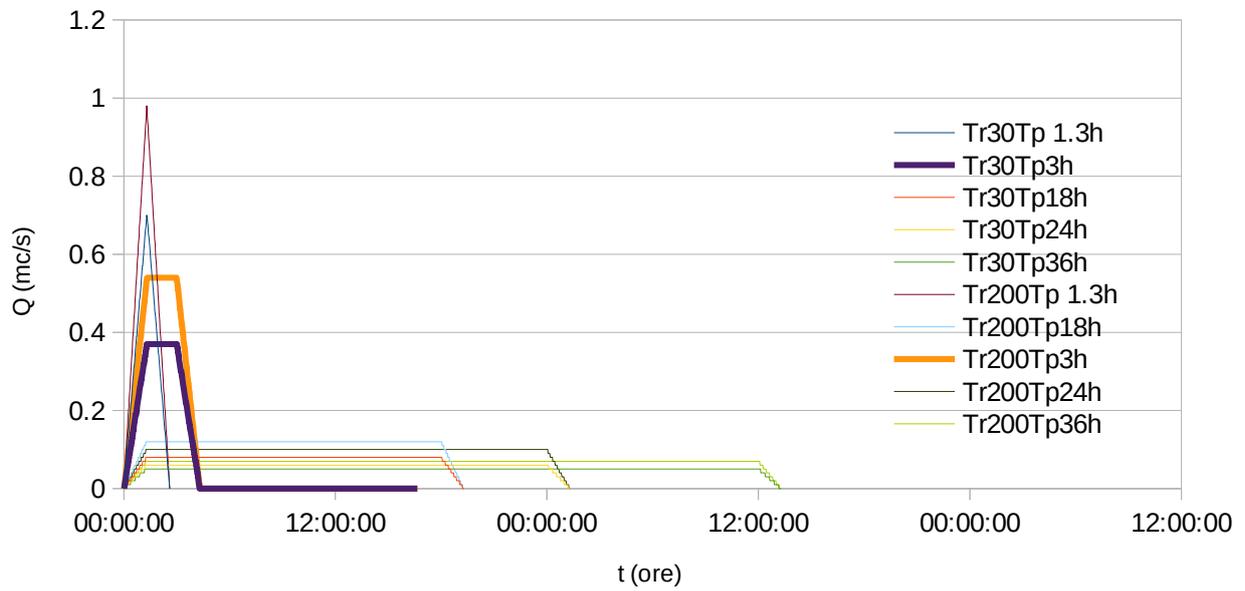


Figura 44: idrogrammi relativi al bacino Serravalle

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4. RELAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica dei corsi d'acqua di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS 5.0 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto anch'esso dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario mono e bidimensionale e sono descritte in dettaglio nel seguito, con riferimento ai diversi corsi d'acqua studiati. In particolare si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso.

La base di partenza per l'esecuzione delle simulazioni idrauliche è stata la modellazione realizzata su HEC-RAS dal Genio Civile a supporto del II RU, fornita dal Comune di Empoli. Rispetto a tale modello, implementato nell'ipotesi di moto vario quasi bidimensionale, sono stati necessari minime variazioni per l'esecuzione delle simulazioni idrauliche sull'ultima versione disponibile del software HEC-RAS, che consente l'esecuzione di simulazioni bidimensionali. Il contorno delle aree 2D è stato definito a partire dalle celle di esondazione definite nel II RU, procedendo in taluni casi con l'accorpamento di più celle, vista la diversa tipologia di modellazione implementata che consente di avere risultati di calcolo non direttamente legati alla dimensione delle aree di potenziale esondazione. Il passaggio all'analisi 2D ha portato ad un sensibile incremento dei tempi di calcolo ma ha consentito di ottenere anche il dato sulle velocità di esondazione nelle aree oggetto di variante, e di conseguenza informazioni di maggior dettaglio sulla magnitudo idraulica. Rispetto alla modellazione 2012 sono state fatte aggiunte ed integrazioni al fine di coprire tutte le aree oggetto della presente variante urbanistica. Tali modifiche sono descritte più in dettaglio nei paragrafi seguenti. L'estensione dei tratti oggetto di modellazione è riportata nelle tavole grafiche allegate, unitamente con le sezioni di calcolo.

Dove disponibili sono stati utilizzati anche i modelli idraulici redatti per la Variante Aree Produttive 2018, in particolare per l'Orme, nel cui modello idraulico sono stati inseriti i modelli di Piovola e Pratella già redatti per la precedente variante.

Nel seguito, dopo una succinta esposizione delle caratteristiche dei modelli matematici implementati su RAS, si procede con la descrizione dei parametri di modellazione adottati per i corsi d'acqua indagati.

4.1. Modelli di calcolo RAS

4.1.1. Modello di calcolo a moto vario monodimensionale

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

Equazione di continuità:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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

con:

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

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

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

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

4.1.2. Modello di calcolo a moto vario bidimensionale

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

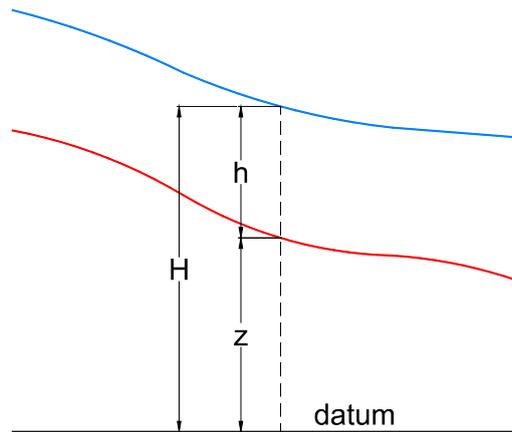


Figura 45: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial v}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot v - f \cdot u$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy ed R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6} / n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di preprocessione viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

4.1.3. Impostazioni di calcolo

Le simulazioni sono state effettuate adottando il modello completo di calcolo (*Full Momentum*) basato sulle equazioni di De Saint Venant sia per la parte 1D che per la parte 2D del dominio di calcolo.

Per la definizione dell'intervallo temporale di calcolo si è adottata l'opzione *Adaptive Time Step* di RAS, che varia l'intervallo di calcolo in modo da mantenere un valore del numero di Courant compreso tra limiti preimpostati. Nella fattispecie si è adottato un intervallo del numero di Courant variabile tra 0.7 ed 1.7, Gli intervalli temporali di calcolo di base sono riportati nella seguente tabella.

Modello	Time step iniziale (sec)
<i>Sistema "Empoli Est"</i>	<i>10</i>
<i>Sistema "Orme-Piovola"</i>	<i>3</i>
<i>Fosso del Romito</i>	<i>5</i>
<i>Corso d'acqua MV35169</i>	<i>5</i>
<i>Corso d'acqua MV36789</i>	<i>5</i>
<i>Corso d'acqua MV37298</i>	<i>10</i>

Tabella 17 Intervalli temporali di calcolo di base.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.2. Sistema "Empoli Est"

4.2.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il modello idraulico, in accordo con quanto fatto dal Genio Civile nel 2012 nel modello redatto a supporto del II RU, è costituito dai seguenti corsi d'acqua:

- Rio di Citerna
- Borro di Montecuccoli
- Rio Grande
- Rio di Sammontana
- Fosso di Fibbiana
- Fosso maestro di Cortenuova

La geometria dei corsi d'acqua è stata definita sulla base delle sezioni disponibili nel modello del Genio Civile del 2012, integrati con limitati rilievi topografici di maggior dettaglio condotti direttamente da H.S. Ingegneria per il presente studio a Febbraio 2019 relativi ad i tratti di testa dei corsi d'acqua Rio di Sammontana, Borro di Montecuccoli, Rio Grande: tali rilievi sono poi stati collegati con i rilievi a supporto dello studio 2012.

In particolare, il tratto modellato parte a monte del rilevato stradale SGC Fi-Pi-Li per i corsi d'acqua "Rio Grande", "Rio di Sammontana" e "Rio di Montecuccoli", a cui si aggiunge il "Rio di Citerna" in corrispondenza del rilevato ferroviario della tratta Pisa-Firenze, ed arriva fino allo sbocco del Fosso di Fibbiana e del Fosso Maestro di Cortenuova nel fiume Arno.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti), per ogni corso d'acqua inserito nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
Citerna	Citerna	695.15	12
Cortenuova	Cortenuova	2297	24
Fosso Fibbiana	Fosso Fibbiana	1970.74	29
Rio Grande	Rio Grande	2072.01	49
Montecuccoli	Montecuccoli	615.4	20
Sammontana	Sammontana 1	670.72	18
Sammontana	Sammontana 2	438.55	15
Sammontana	Sammontana 3	1998.37	46

Tabella 18: Sintesi geometria 1D.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, essa è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame. Ciascun area 2D è separata dalle altre da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche costituite dal rilevato ferroviario della tratta Pisa-Firenze e dal rilevato della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno. Le connessioni idrauliche permettono il collegamento delle aree bidimensionali per sormonto dei rilevati o per attraversamento presso i sottopassaggi ed i collegamenti già impostati nel modello idraulico elaborato dal Genio Civile nel 2012. Inoltre, per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune *break lines* per rappresentare i tracciati

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:

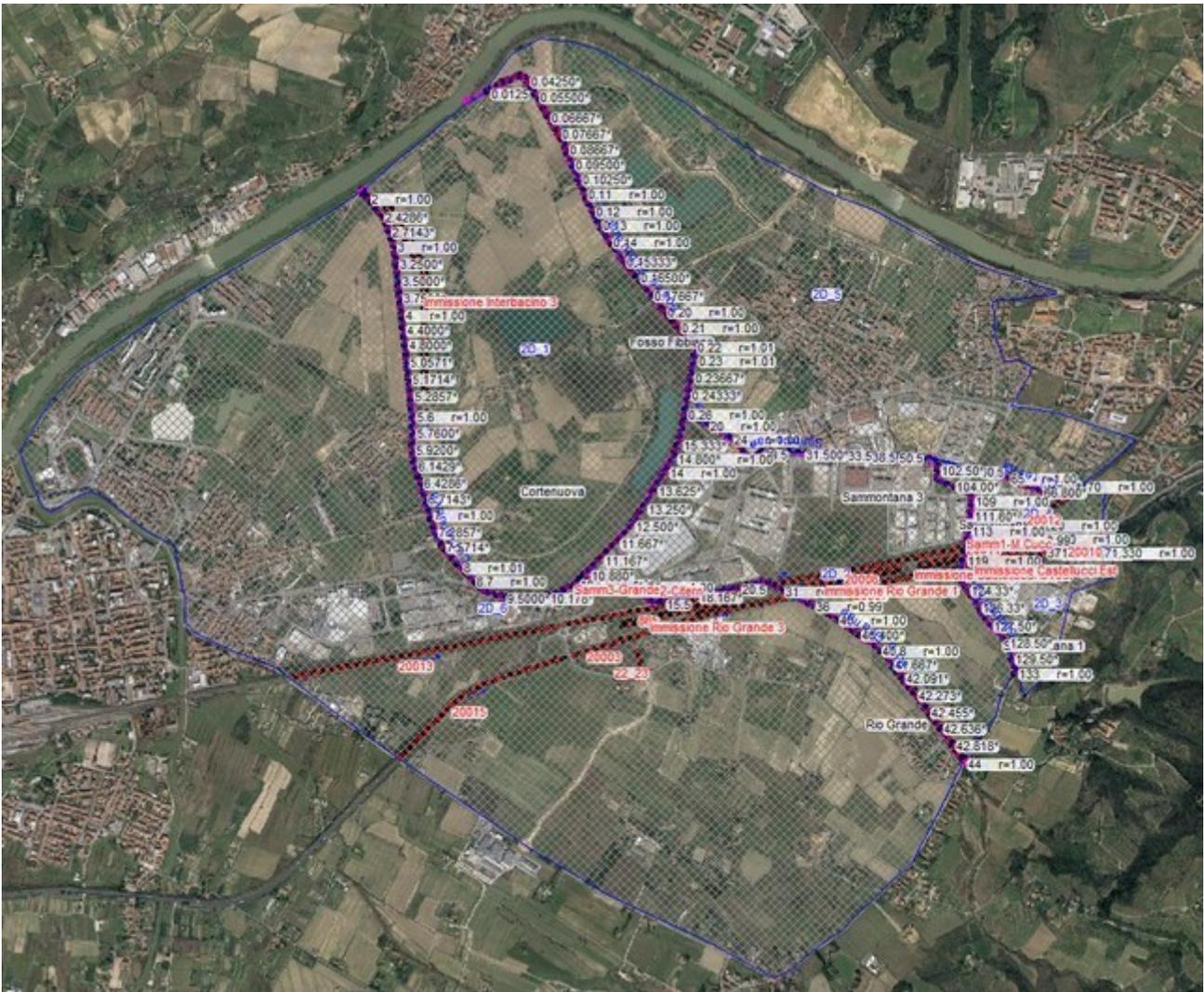


Figura 46: Planimetria di modellazione idraulica Empoli Est.

4.2.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati presi dal modello idraulico elaborato dal Genio Civile nel 2012. I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	<i>Citerna</i>	<i>Cortenuova</i>	<i>Fosso Fibbiana</i>	<i>Rio Grande</i>	<i>Montecuccoli</i>	<i>Sammontana 1</i>	<i>Sammontana 2</i>	<i>Sammontana 3</i>
<i>Alveo naturale 1D</i>	<i>0.028</i>	<i>0.028</i>	<i>0.028</i>	<i>0.03/ 0.028</i>	<i>0.035</i>	<i>0.03</i>	<i>0.028</i>	<i>0.028</i>
<i>Aree golenali naturali 1D</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>
<i>Alveo rivestito a tratti in CLS</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>
<i>Alveo rivestito in scogliera</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>0.065</i>	<i>/</i>	<i>/</i>
<i>Tombamenti con tubazioni in CLS</i>	<i>/</i>	<i>0.02</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>0.012</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>

Tabella 19: Parametri di scabrezza 1D.

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

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013):

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

Tabella 20: valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2014).

La figura seguente mostra la distribuzione di scabrezza sulle aree 2D, in accordo con i valori riportati in Tabella 20.

PROGETTO:

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica

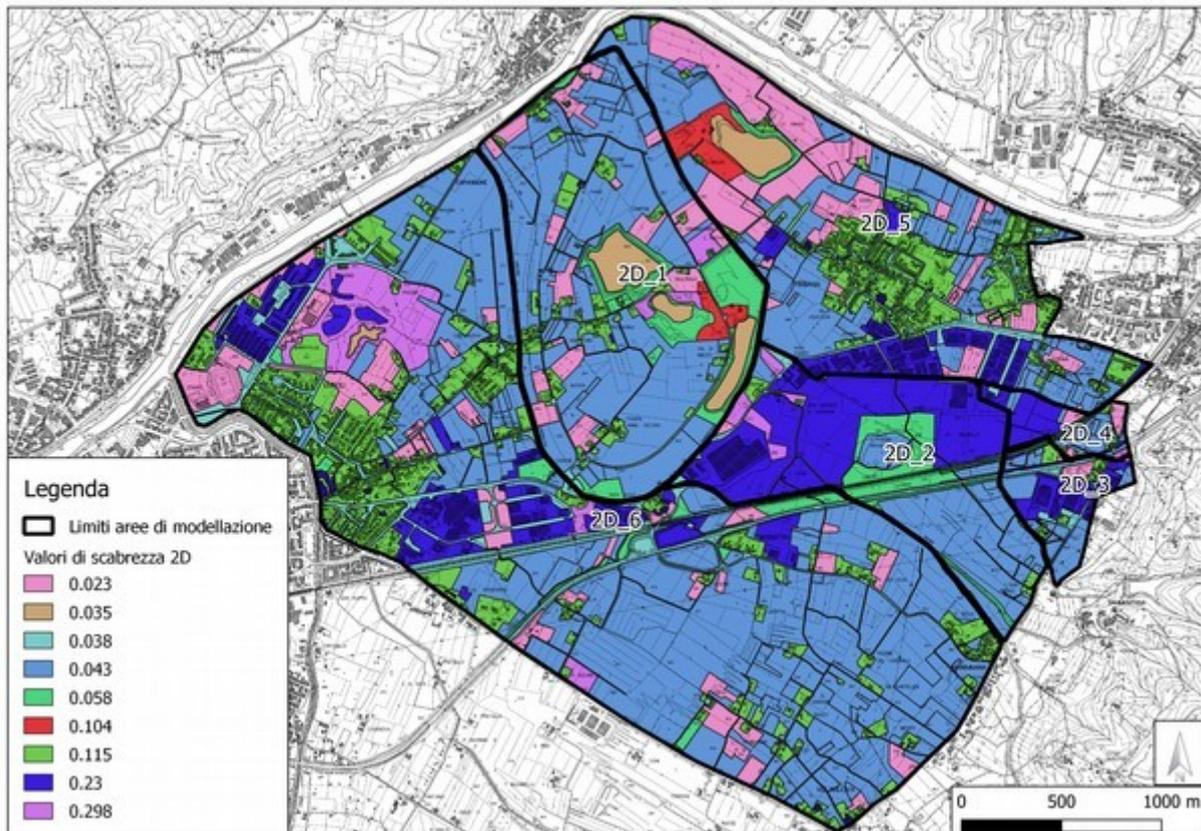


Figura 47: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

4.2.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fase di modellazione idrologica.

In particolare, in presenza di corsi d'acqua il cui bacino di raccolta è unico, si è inserito l'idrogramma proveniente dalla modellazione idrologica interamente in testa al corso d'acqua, nella sezione di monte; nel caso, invece, di corsi d'acqua il cui bacino è stato suddiviso in una parte di "monte" ed una di "valle", si è provveduto ad inserire l'idrogramma ricavato da HMS associato al bacino di "monte" in testa al corso d'acqua, mentre quello associato al bacino di "valle" è stato inserito come input distribuito lungo il corso d'acqua.

La tabella seguente riporta, in sintesi, la distribuzione degli idrogrammi ricavati dalla modellazione idrologica:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
CITERNA 1	Input Concentrato	Citerna	Citerna	70
CITERNA 2	Input Distribuito	Citerna	Citerna	63-61
RIO GRANDE 4	Input Concentrato	Cortenuova	Cortenuova	10.4
FIBBIANA	Input Concentrato	Fosso Fibbiana	Fosso Fibbiana	0.26
FOSSO FIBBIANA	Input Distribuito	Fosso Fibbiana	Fosso Fibbiana	0.17-0.02
RIO GRANDE 0	Input Concentrato	Rio Grande	Rio Grande	44
RIO GRANDE 2	Input Distribuito	Rio Grande	Rio Grande	9-6
MONTECUCCOLI	Input Concentrato	Montecuccoli	Montecuccoli	371.33
SAMMONTANA 1	Input Concentrato	Sammontana	Sammontana 1	133
SAMMONTANA 2	Input Distribuito	Sammontana	Sammontana 2	111.9-109, 106-102
SAMMONTANA 3	Input Distribuito	Sammontana	Sammontana 3	54-52, 32-30, 28-24, 21

Tabella 21: Condizioni al contorno di monte.

In accordo con quanto fatto negli studi 2012, per alcuni bacini (privi di reticolo significativo) gli idrogrammi di piena sono stati assegnati, attraverso una condizione al contorno interna, direttamente alle aree 2D presenti nel modello idraulico; in particolare:

BACINO	AREA 2D D'ASSEGNAZIONE
INTERBACINO 3 (solo Tr 200 Tp 18, 24, 36 h)	2D_1
CASTELLUCCI OVEST	2D_2
RIO GRANDE 1	2D_2
CASTELLUCCI EST	2D_3
RIO GRANDE 3	2D_6

Tabella 22: Condizioni al contorno sulle aree 2D.

Le condizioni al contorno di valle per il Fosso Maestro di Cortenuova e per il Fosso di Fibbiana sono state diversificate a seconda delle durate dell'evento di pioggia simulato; infatti, vista la presenza, in prossimità dello sbocco in Arno dei suddetti corsi d'acqua di apposite paratoie per la regolazione del deflusso nello fiume stesso, si sono simulati sia gli scenari a "sbocco libero", ovvero quando i corsi d'acqua modellati possono liberamente scaricare in Arno, (tipicamente per idrogrammi generati da piogge di durata inferiore alle 18h), sia il caso a "sbocco impedito", che si verifica quando il livello nell'Arno è alto e le paratoie di scarico chiuse, al fine di prevenire fenomeni di rigurgito.

Di seguito, sono riportate le condizioni al contorno di valle impiegate per ciascun tempo di ritorno e durata di precipitazione:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Reach HEC-RAS	Tipo condizione al contorno di valle	Valore pendenza S_0/quota pelo libero di valle WSE
<i>Cortenuova</i>	<i>Altezza di moto uniforme (normal depth)</i>	<i>$S_0=0.0001$</i>
<i>Fosso Fibbiana</i>	<i>Livello d'acqua del fiume Arno (Stage Hydrograph)</i>	<i>Tr 30 anni: WSE= 25.1 m slm Tr 200 anni: WSE= 25.1 m slm</i>

Tabella 23: Condizioni al contorno di valle.

4.2.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata 1.1, 3, 6, 9, 18, 24, 36 h, di cui le prime quattro risultano critiche in condizioni di sbocco in Arno libero. Le ultime tre invece risultano critiche per il rigurgito del Fiume Arno nei riguardi del Fosso Maestro di Cortenuova e del Fosso di Fibbiana.

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Empoli Est_TrTrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
Empoli Est_Tr030Tp01.1h	1.1	30
Empoli Est_Tr030Tp03.0h	3	30
Empoli Est_Tr030Tp06.0h	6	30
Empoli Est_Tr030Tp09.0h	9	30
Empoli Est_Tr030Tp18.0h	18	30
Empoli Est_Tr030Tp24.0h	24	30
Empoli Est_Tr030Tp36.0h	36	30
Empoli Est_Tr200Tp01.1h	1.1	200
Empoli Est_Tr200Tp03.0h	3	200
Empoli Est_Tr200Tp06.0h	6	200
Empoli Est_Tr200Tp09.0h	9	200
Empoli Est_Tr200Tp18.0h	18	200
Empoli Est_Tr200Tp24.0h	24	200
Empoli Est_Tr200Tp36.0h	36	200

Tabella 24: riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per il sistema "Empoli Est".

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.3. Sistema "Orme-Piovola"

4.3.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il modello idraulico, in accordo con quanto fatto dal Genio Civile nel 2012 nel modello redatto a supporto del II RU, e con quanto poi oggetto di approfondimento nella Variante Attività Produttive del 2018, redatta da H.S. ingegneria, è costituito dai seguenti corsi d'acqua:

- Torrente Orme
- Rio della Piovola
- Fosso Pratella

La geometria dei corsi d'acqua è stata definita sulla base delle sezioni disponibili nel modello del Genio Civile del 2012 e di quanto implementato nell'ambito della Variante Attività Produttive 2018. Al fine di definire le condizioni di pericolosità del PUA 14.2 si è esteso verso monte il tratto di modellazione della Piovola rispetto a quanto già fatto nel 2018,

In particolare, il tratto modellato parte a valle dell'abitato di Martignana, nel comune di Empoli, nel caso del torrente Orme, a monte dell'abitato di Villanuova, nel comune di Empoli, per quanto riguarda il Rio della Piovola e a monte della zona industriale di Villanuova, nel comune di Empoli, limitatamente al Fosso Pratella; termina in corrispondenza dello sbocco del torrente Orme nel fiume Arno.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti), per ogni corso d'acqua inserito nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
Orme	Monte	6257.16	45
Orme	Valle	1244.7	15
Piovola	Monte	3671.51	64
Piovola	Valle	273.15	11
Pratella	Unico	2327.14	78

Tabella 25: Sintesi geometria 1D.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, essa è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame. Ciascun area 2D è separata dalle altre da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche costituite dal rilevato ferroviario della tratta Pisa-Firenze, dal rilevato della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno e dalla viabilità ordinaria quale, ad esempio, Via Valdorme Nuova, Via Sottopoggio per S. Donato e Via Pozzale. Le connessioni idrauliche permettono il collegamento delle aree bidimensionali per sormonto dei rilevati o per attraversamento presso i sottopassaggi ed i collegamenti già impostati nel modello idraulico elaborato dal Genio Civile nel 2012. Inoltre, per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune *break lines* per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica

elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Le aree di monte del bacino dell'Orme non risultano coperte completamente dai dati Lidar. Nell'ambito della presente analisi, in conformità a quanto fatto negli studi a supporto del II Regolamento Urbanistico, per le aree in cui non è presente il Lidar si è adottata una modellazione con elementi storage area, in cui si è assunta la stessa curva di invaso dei modelli del Genio Civile 2012. Tali aree peraltro non sono di interesse ai fini della presente variante, ad eccezione del PUA 7.4, per cui è stato tuttavia realizzato un DTM da apposito rilievo topografico a terra.

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:

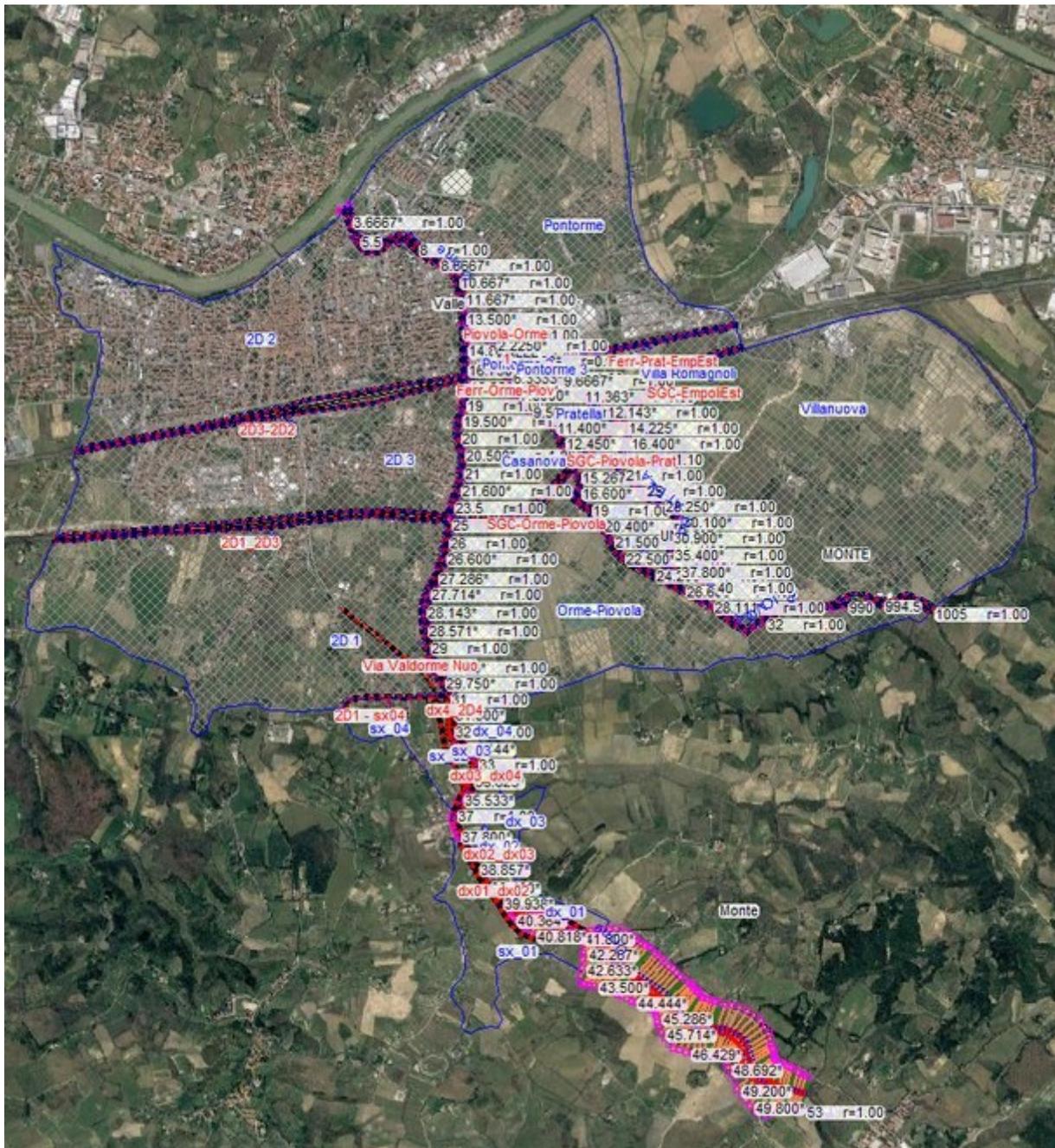


Figura 48: Planimetria di modellazione idraulica.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.3.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati presi dal modello idraulico elaborato dal Genio Civile nel 2012 e da quanto già implementato nell'ambito della Variante Attività Produttive 2018 per quel che riguarda Piovola e Pratella, considerando anche la possibilità che la piena possa avvenire in condizioni di non perfetta manutenzione del corso d'acqua.

I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella:

	Orme Monte	Orme Valle	Piovola Monte	Piovola Valle	Pratella Unico
<i>Alveo naturale 1D</i>	<i>0.04/0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03/0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>
<i>Aree golenali naturali 1D</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.035/0.04</i>	<i>0.04</i>	<i>0.04</i>
<i>Alveo rivestito a tratti in CLS</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>	<i>0.025</i>
<i>Alveo rivestito in scogliera</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>/</i>
<i>Tombamenti con tubazioni in CLS</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>0.016</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>

Tabella 26: Parametri di scabrezza 1D.

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

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la citata tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013.

La figura seguente mostra la distribuzione di scabrezza sulle aree 2D, in accordo con i valori riportati in Tabella 28.

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

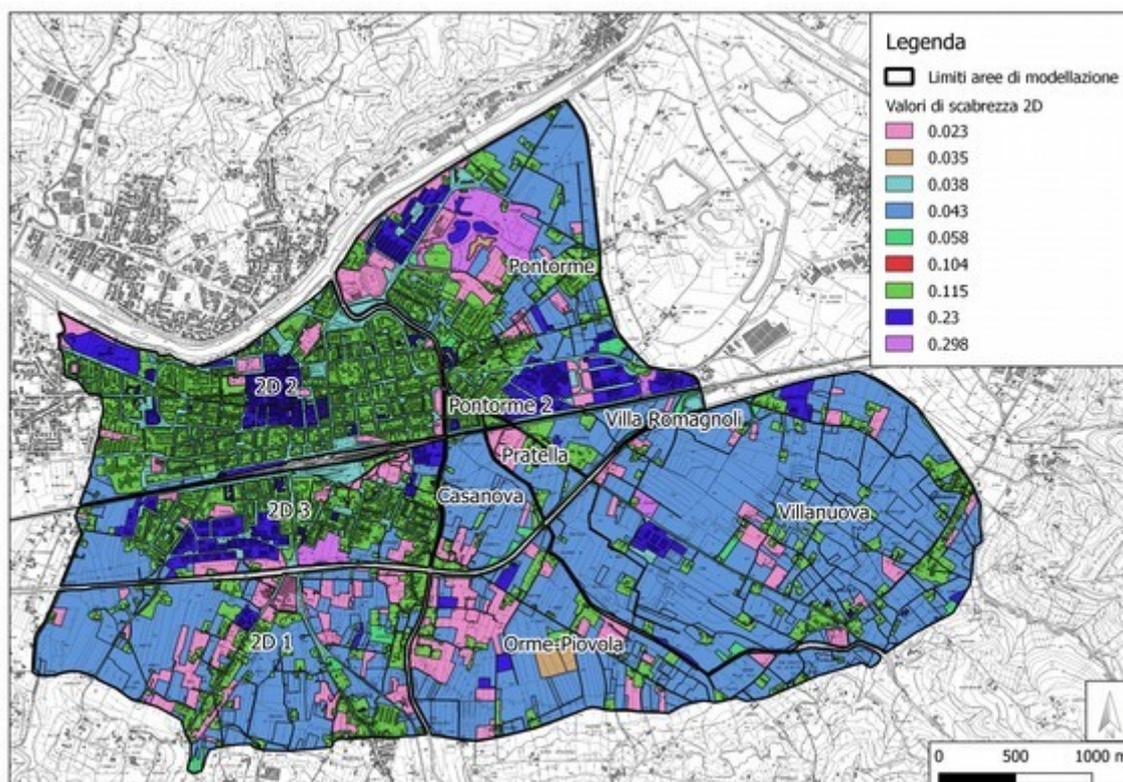


Figura 49: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

4.3.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fasi di modellazione idrologica.

La tabella seguente riporta, in sintesi, la distribuzione degli idrogrammi ricavati dalla modellazione idrologica:

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
ORME MONTE	Input Concentrato	Orme	Monte	53
INTERBACINO	Input Distribuito	Orme	Monte	52-40
ORMICELLO	Input Concentrato	Orme	Monte	39.5
CAMERATA	Input Concentrato	Orme	Monte	33.5
PIOVOLA 2	Input Concentrato	Piovola	Monte	1005
PIOVOLA 1	Input Distribuito	Piovola	Monte	13-7
PRATELLA 1	Input Concentrato	Pratella	Unico	40
PRATELLA AREA INDUSTRIALE	Input Distribuito	Pratella	Unico	17-16

Tabella 27: Condizioni al contorno di monte.

Le condizioni al contorno di valle per il Torrente Orme sono state impostate facendo riferimento al livello del pelo libero nel fiume Arno. Sono stati utilizzati gli idrogrammi dei livelli del fiume Arno di

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

pari tempo di ritorno e durata, ripresi dallo studio generale del 2012, come sintetizzato dalla Tabella 28:

Reach HEC-RAS	Tipo condizione al contorno di valle	Quota pelo libero di valle WSE
Orme	Livello d'acqua del fiume Arno (Stage Hydrograph)	Tr 30/200 Tp 1, 2.5, 4 h: WSE = 23 m slm Tr 30/200 Tp 18, 24, 36 h: WSE = Variabile

Tabella 28: condizioni al contorno di valle.

4.3.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata 1, 2.5, 4, 18, 24, 36 h, le stesse prese in esame negli studi pregressi sull'area; di queste, le prime tre risultano critiche in condizioni di sbocco in Arno libero, le ultime tre invece risultano critiche per il rigurgito del Fiume Arno nei riguardi del torrente Orme.

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Orme-Piovola_TrTrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
Orme-Piovola_Tr030Tp01.0h	1	30
Orme_Piovola_Tr030Tp02.5h	2.5	30
Orme_Piovola_Tr030Tp04.0h	4	30
Orme_Piovola_Tr030Tp18.0h	18	30
Orme-Piovola_Tr030Tp24.0h	24	30
Orme-Piovola_Tr030Tp36.0h	36	30
Orme-Piovola_Tr200Tp01.0h	1	200
Orme_Piovola_Tr200Tp02.5h	2.5	200
Orme_Piovola_Tr200Tp04.0h	4	200
Orme-Piovola_Tr200Tp18.0h	18	200
Orme-Piovola_Tr200Tp24.0h	24	200
Orme-Piovola_Tr200Tp36.0h	36	200

Tabella 29: Riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per il sistema "Orme-Piovola".

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.4. Fosso del Romito

4.4.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il Fosso del Romito è un corso d'acqua localizzato nel comune di Empoli, nella zona compresa tra il Torrente Orme ed il Fosso Maestro di Cortenuova. Nasce a monte della ferrovia dall'unione dei corsi d'acqua MV35803 e MV35818 (denominazione secondo L.R. 79/2012) e percorre "tombato" la zona industriale presente in prossimità dello svincolo "Empoli Est" della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno, salvo poi tornare a pelo libero a valle di Via Tosco Romagnola Sud, e sfociare nel fiume Arno dove aver percorso il Parco di Serravalle. Prima dello sbocco in Arno il Romito presenta un ulteriore tratto tombato.

Il Fosso del Romito non è compreso nel modello redatto dal Genio Civile nel 2012 per il II RU del comune di Empoli. Esso è stato quindi oggetto di analisi nella presente sede, adottando gli stessi criteri e le stesse impostazioni di calcolo utilizzate per i modelli già presentati.

La geometria 1D del modello (riportata in allegato) è stata realizzata ex-novo sulla base del rilievo condotto direttamente da H.S. ingegneria a Marzo 2019.

In particolare, il tratto modellato parte a valle dell'incrocio tra Via Tosco Romagnola Sud e Via della Piccola, quando il corso d'acqua torna a pelo libero, e termina in corrispondenza dello sbocco in Arno, regolato da una paratoia mobile di dimensioni $[B \times H] = 1.2 \text{ m} \times 3.07 \text{ m}$.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti) nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
Romito	Romito	1683.8	25

Tabella 30: Sintesi geometria 1D.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, essa è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame. Le aree 2D inserite nel modello sono 2 (una in destra idraulica ed una in sinistra) e sono complessivamente delimitate da elementi morfologici che si trovano in sopraelevazione rispetto al piano di campagna, in maniera da non esser sormontati dalle inondazioni del Fosso del Romito: si tratta dell'argine destro del Torrente Orme, di quello sinistro del Fosso Maestro di Cortenuova e di Via Tosco Romagnola Sud. Per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune *break lines* per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:

PROGETTO:

Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014

ELABORATO:

Relazione idrologica idraulica



Figura 50: Planimetria di modellazione idraulica Rio Romito.

4.4.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati in analogia a quanto fatto per gli altri corsi d'acqua. I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella:

	Romito
Alveo naturale 1D	0.035
Aree golenali naturali 1D	0.035
Alveo rivestito a tratti in CLS	0.025
Alveo rivestito in scogliera	/
Tombamenti con tubazioni in CLS	0.02

Tabella 31: Parametri di scabrezza 1D.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione rispettivamente pari a 0.1/0.3 per ogni sezione di calcolo, ad eccezione di quelle in prossimità di

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

ponti ed attraversamenti per le quali i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5.

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la citata tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013.

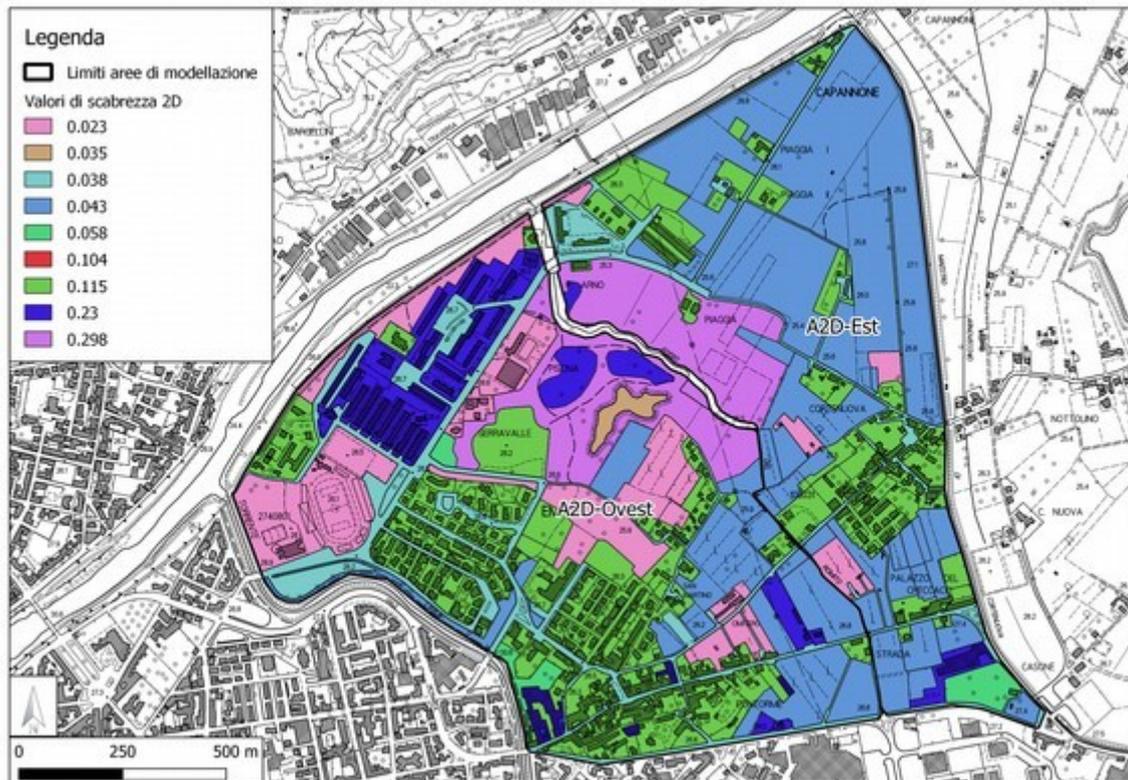


Figura 51: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

4.4.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fase di modellazione idrologica. In questo caso, il bacino del Fosso del Romito è stato suddiviso in due sottobacini, denominati "Romito monte" e "Romito valle". Si è provveduto ad inserire l'idrogramma ricavato da HMS associato al bacino di "monte" in testa al corso d'acqua, mentre quello associato al bacino di "valle" è stato inserito come input distribuito lungo lo stesso.

La tabella seguente riporta, in sintesi, la distribuzione degli idrogrammi ricavati dalla modellazione idrologica:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
Romito monte	Input Concentrato	Romito	Romito	25
Romito valle	Input Distribuito	Romito	Romito	20-6

Tabella 32: Condizioni al contorno di monte.

Le condizioni al contorno di valle sono state impostate facendo riferimento al livello del pelo libero nel fiume Arno, distinguendo tra la condizione di "sbocco libero" e di "sbocco impedito". La tabella seguente riassume le condizioni di valle impostate nel modello idraulico del Fosso del Romito:

Reach HEC-RAS	Tipo condizione al contorno di valle	Valori impiegati
Romito	Scala di deflusso (Rating Curve)	Tr 30/200 Tp 4.1, 6.9, 9 h
Romito	Livello d'acqua del fiume Arno (Stage Hydrograph)	Tr 30/200 Tp 18, 24, 36 h: WSE = Variabile

Tabella 33: Condizioni al contorno di valle.

4.4.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata pari a 4.1, 6.9, 9, 18, 24, 36 h; di queste, le prime tre risultano critiche per i bacini "Romito monte" e "Romito valle" in condizioni di sbocco in Arno libero, le ultime tre invece risultano critiche nel caso di sbocco in Arno impedito.

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Romito_TrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
Romito_Tr030Tp04.1h	4.1	30
Romito_Tr030Tp06.9h	6.9	30
Romito_Tr030Tp09.0h	9	30
Romito_Tr030Tp18.0h	18	30
Romito_Tr030Tp24.0h	24	30
Romito_Tr030Tp36.0h	36	30
Romito_Tr200Tp04.1h	4.1	200
Romito_Tr200Tp06.9h	6.9	200
Romito_Tr200Tp09.0h	9	200
Romito_Tr200Tp18.0h	18	200
Romito_Tr200Tp24.0h	24	200
Romito_Tr200Tp36.0h	36	200

Tabella 34: Riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per il Fosso del Romito.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.5. Corso d'acqua MV35169

4.5.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il corso d'acqua MV35169 è posto in località "Serravalle", nel comune di Empoli, dove nasce in prossimità di Via della Tinaia, dopodiché, una volta percorso un tratto interamente a pelo libero di lunghezza circa pari a 280 m, sbocca in Arno, con sbocco munito di paratoia mobile.

MV35169 non è compreso nel modello redatto dal Genio Civile nel 2012 per il II RU del comune di Empoli; esso è stato quindi oggetto di modellazione nella presente sede.

La geometria 1D del modello (riportata in allegato) è stata realizzata ex-novo sulla base del rilievo condotto da H.S. Ingegneria, che è stato agganciato al Lidar della Regione Toscana.

In particolare, il tratto modellato parte a valle di Via della Tinaia e termina in corrispondenza dello sbocco in Arno, regolato da una paratoia mobile di dimensioni [BxH] = 1 m x 1.4 m.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti) nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
MV35169	MV35169	188.88	11

Tabella 35: Sintesi geometria 1D.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, essa è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame. In particolare, nel modello è presente una sola area 2D, delimitata da elementi morfologici quali Via della Tinaia, Via delle Olimpiadi, Via Ticino e Via Isonzo, che si trovano in sopraelevazione rispetto al piano di campagna, in maniera da non esser sormontati qualora le esondazioni del corso d'acqua in esame le raggiunga. Per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite opportune *break lines* per la rappresentazione dei tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	Relazione idrologica idraulica



Figura 52: Planimetria di modellazione idraulica.

4.5.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati in analogia a quanto fatto con gli altri corsi d'acqua dell'area di studio. L'alveo in esame si presenta generalmente privo di vegetazione significativa. I valori adottati del coefficiente di Manning adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella:

	MV35169
Alveo naturale 1D	0.03
Aree golenali naturali 1D	0.03
Alveo rivestito a tratti in CLS	0.025
Alveo rivestito in scogliera	/
Tombamenti con tubazioni in CLS	/

Tabella 36: Parametri di scabrezza 1D.

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

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la citata tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013.

H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39, 50053 Empoli (FI) Tel. - Fax 0571-725283
P.IVA e C.F. 01952520466 e.mail: info@hsingegneria.it

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

La figura seguente mostra la distribuzione di scabrezza sulle aree 2D, in accordo con i valori riportati in Tabella 37.

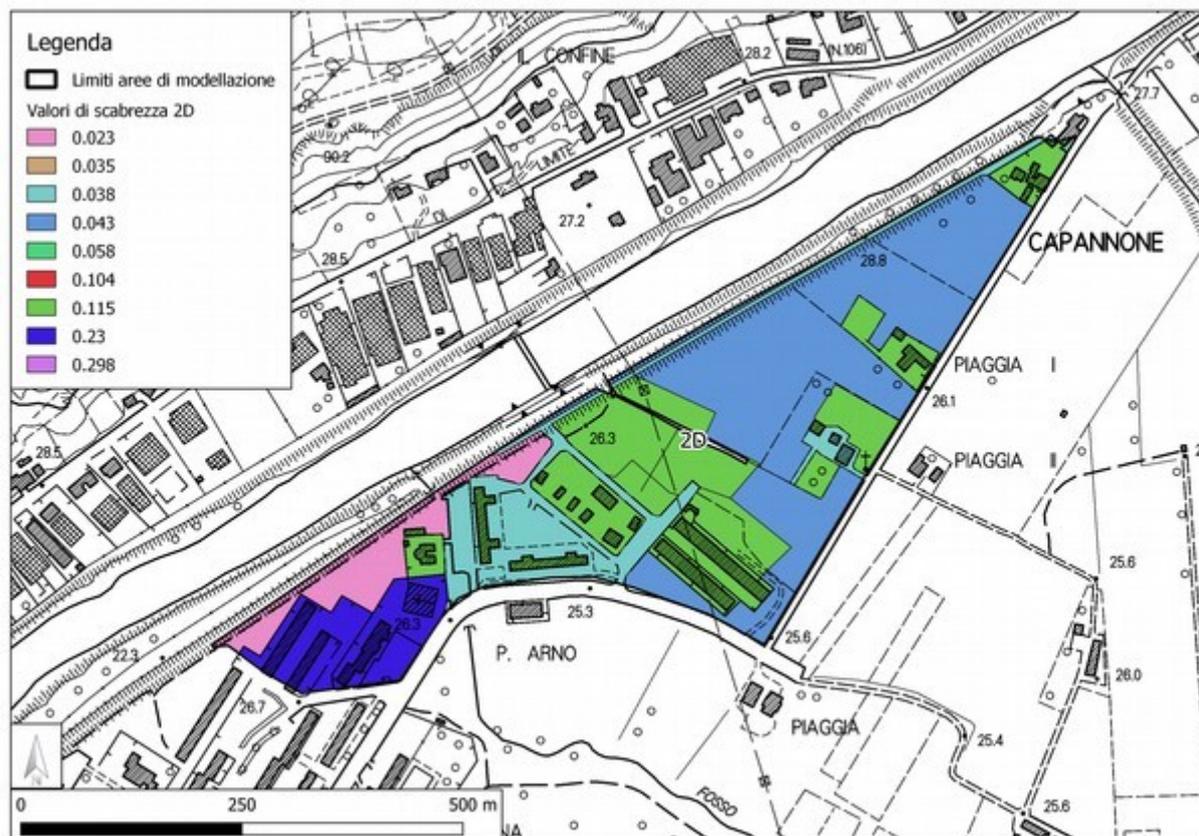


Figura 53: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

4.5.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fase di modellazione idrologica. La portata idrologica è stata interamente assegnata alla sezione di monte del corso d'acqua.

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
Serravalle	Input Concentrato	MV35169	MV35169	10

Figura 54: Condizioni al contorno di monte.

Le condizioni al contorno di valle sono state impostate facendo riferimento al livello del pelo libero nel fiume Arno, distinguendo tra la condizione di "sbocco libero" e di "sbocco impedito". Quest'ultima condizione è associata a piogge di lunga durata (maggiore di 18 ore), con conseguenti livelli elevati in Arno.

La tabella seguente riassume le condizioni di valle impostate nel modello idraulico di MV35169:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Reach HEC-RAS	Tipo condizione al contorno di valle	Valori impiegati
<i>MV35169</i>	<i>Scala di deflusso (Rating Curve)</i>	<i>Tr 30/200 Tp 1.3, 3 h</i>
<i>MV 35169</i>	<i>Livello d'acqua del fiume Arno (Stage Hydrograph)</i>	<i>Tr 30/200 Tp 18, 24, 36 h: WSE = Variabile</i>

Tabella 37: Condizioni al contorno di valle.

4.5.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata pari a 1.3, 3, 18, 24, 36 h; di queste, la prima risulta critica per il bacino "Serravalle" stesso in condizioni di sbocco in Arno libero, le ultime tre invece risultano critiche in quanto si hanno condizioni di sbocco impedito a causa dei livelli di piena dell'Arno.

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma MV35169_TrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
MV35169_Tr030Tp01.3h	1.3	30
MV35169_Tr030Tp03.0h	3	30
MV35169_Tr030Tp18.0h	18	30
MV35169_Tr030Tp24.0h	24	30
MV35169_Tr030Tp36.0h	36	30
MV35169_Tr200Tp01.3h	1.3	200
MV35169_Tr200Tp03.0h	3	200
MV35169_Tr200Tp18.0h	18	200
MV35169_Tr200Tp24.0h	24	200
MV35169_Tr200Tp36.0h	36	200

Tabella 38: Riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per MV35169.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.6. Corso d'acqua MV36789

4.6.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il corso d'acqua MV36789 si trova in località "Pozzale", nel comune di Empoli, posto in sinistra idrografica del torrente Orme. Esso nasce in prossimità dell'incrocio tra Via Carlo Cattaneo e Via Giuseppe Montanelli, all'interno dell'abitato del Pozzale; dopo aver percorso un primo tratto a pelo libero parallelamente a Via Sottopoggio per S. Donato, MV36789 si affianca a Via Valdorme Nuova e scorre parallelo a quest'ultima fino a quando non si riunisce con MV36686 a valle dell'incrocio tra Via Valdorme Nuova e Via Adamello.

MV35169 non è compreso nel modello redatto dal Genio Civile nel 2012 per il II RU del comune di Empoli; esso è stato quindi oggetto di modellazione nella presente sede.

La geometria 1D del modello (riportata in allegato) è stata realizzata ex-novo sulla base del rilievo condotto da H.S. Ingegneria, che è stato agganciato al Lidar della Regione Toscana.

In particolare, il tratto modellato parte subito a valle dell'incrocio tra Via Carlo Cattaneo e Via Giuseppe Montanelli e termina a monte a valle dell'incrocio tra Via Valdorme Nuova e Via Adamello.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti) nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
MV36789	MV36789	553.35	18

Tabella 39: Sintesi geometria 1D.

Il tratto di modellazione si estende ben oltre l'area di interesse per la variante urbanistica, in modo da evitare effetti al contorno.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, vista l'assenza di dati LIDAR, essa è stata eseguita ricreando, tramite opportune operazioni di triangolazione, un DTM a partire dai punti rilevati da H.S. Ingegneria in corrispondenza del piano campagna dell'area di interesse. La triangolazione ha lati di circa 15 m, infittendo la frequenza di rilievo ove si è ritenuto necessario in funzione della morfologia del terreno; tale DTM è stato poi agganciato, in corrispondenza di Via Sottopoggio per S. Donato al Lidar della Regione Toscana.

Nel modello è presente una sola area 2D, delimitata da elementi morfologici - quali, ad esempio, Via Valdorme Nuova - che si trovano in sopraelevazione rispetto al piano di campagna, in maniera da non esser sormontati qualora le esondazioni del corso d'acqua in esame le raggiunga. Sono state anche inserite nel modello opportune condizioni di uscita dei volumi d'acqua, per evitare accumuli in zone ove, in realtà, non sarebbero presenti. Per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite opportune *break lines* per la rappresentazione dei tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:



Figura 55: Planimetria di modellazione idraulica.

4.6.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati in analogia con gli altri corsi d'acqua oggetto di studio ed avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili, per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n .

I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella:

PROGETTO: Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014	ELABORATO: Relazione idrologica idraulica
--	---

	MV36789
Alveo naturale 1D	0.04
Aree golenali naturali 1D	0.04
Alveo rivestito a tratti in CLS	0.025
Alveo rivestito in scogliera	/
Tombamenti con tubazioni in CLS	0.02

Tabella 40: Parametri di scabrezza 1D.

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

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la citata tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013.

La figura seguente mostra la distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

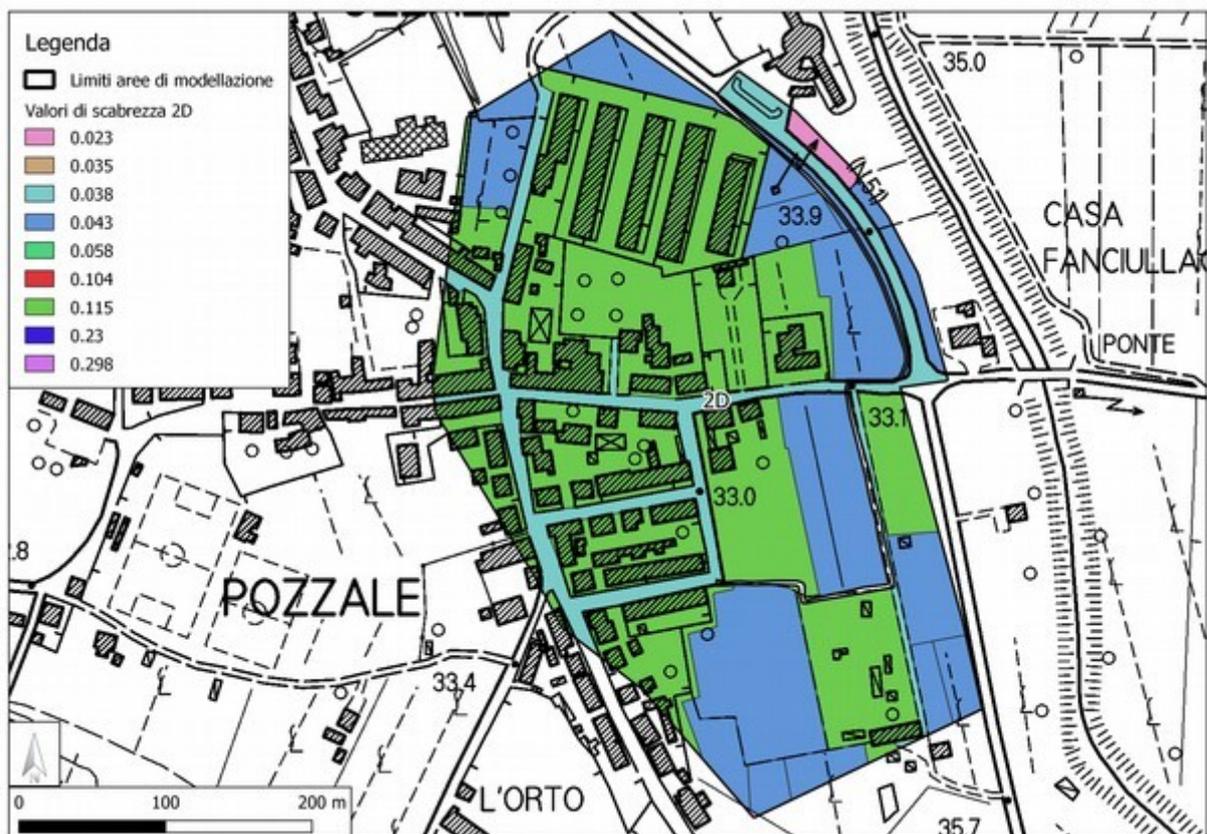


Figura 56: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.6.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fase di modellazione idrologica. La portata idrologica è stata interamente assegnata alla sezione di monte del corso d'acqua.

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
Pozzale	Input Concentrato	MV36789	MV36789	210

Figura 57: Condizioni al contorno di monte.

Come condizione al contorno di valle è stata impostata l'altezza di moto uniforme:

<i>Reach HEC-RAS</i>	<i>Tipo condizione al contorno di valle</i>	<i>Valore pendenza S_0</i>
<i>MV36789</i>	<i>Altezza di moto uniforme (Normal Depth)</i>	<i>Tr 30/200 Tp 3.2, 4, 6 h: $S_0 = 0.0015$</i>

Tabella 41: Condizioni al contorno di valle.

4.6.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata pari a 3.2, 4 e 6 h, entrambi critiche per il bacino di interesse ("Pozzale").

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma MV36789_TrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
MV36789_Tr030Tp03.2h	3.2	30
MV36789_Tr030Tp04.0h	4	30
MV36789_Tr030Tp06.0h	6	30
MV36789_Tr200Tp03.2h	3.2	200
MV36789_Tr200Tp04.0h	4	200
MV36789_Tr200Tp06.0h	6	200

Tabella 42: Riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per MV36789.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.7. Corso d'acqua MV37298

4.7.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il corso d'acqua MV37298 è un corso d'acqua localizzato nella frazione di Ponte a Elsa, in destra del fiume Elsa. Esso, insieme a MV37438, MV37401, MV37372, MV37347, MV37254, dà vita ad un'asta idraulica che nasce a valle di Via Senese Romana, scorre parallelamente a Via Ponte a Elsa Brusiana, diventa "tombato" all'altezza del parcheggio di Via XXV Aprile, torna a pelo libero per un breve tratto in adiacenza al complesso del "Molino di Ponte a Elsa" ed, infine, sfocia nel fiume Elsa con sbocco regolato da una paratoia di sezione rettangolare.

MV37298 non è compreso nel modello redatto dal Genio Civile nel 2012 per il II RU del comune di Empoli; esso è stato quindi oggetto di modellazione nella presente sede.

Per il tratto a monte del tombamento di Via XXV Aprile, la geometria 1D del modello è stata realizzata ex-novo sulla base del rilievo condotto da H.S. Ingegneria a Marzo 2019 nell'ambito del presente studio; il tratto di valle è stato implementato nel modello partendo, invece, dai rilievi topografici effettuati nel 2015 dal geometra S. Bianconi nell'ambito del progetto "Realizzazione di un attraversamento su un fosso posto in Comune di Empoli, loc. Ponte a Elsa, a servizio del complesso del Molino di Ponte a Elsa". I rilievi sono stati collegati tra loro ed agganciati al piano quotato del Lidar della Regione Toscana in corrispondenza di punti significativi, generalmente posti lungo la viabilità principale.

In particolare, il tratto modellato parte a valle di Via Senese Romana e termina in corrispondenza dello sbocco in Elsa, regolato da una paratoia mobile di dimensioni $[B \times H] = 0.6 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$, munita anche di clapet allo sbocco in Elsa.

L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato; per una più corretta definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti) nel modello idraulico:

River	Reach	L [m]	Num. sezioni di calcolo
MV37298	MV37298	1282.75	33

Tabella 43: Sintesi geometria 1D.

Il tratto di modellazione si estende ben oltre l'area di interesse per la variante urbanistica, in modo da evitare effetti al contorno.

Per quanto riguarda la modellazione delle aree bidimensionali, essa è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame. Le aree 2D inserite nel modello sono 2 (una in destra idraulica ed una in sinistra) e sono complessivamente delimitate da elementi morfologici che si trovano in sopraelevazione rispetto al piano di campagna, in maniera da non esser sormontati dalle inondazioni di MV37298: si tratta, ad esempio, dell'argine destro del fiume Elsa, della strada statale SS67 e della linea ferroviaria Siena-Firenze.

In aggiunta, per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune *break lines* per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica:

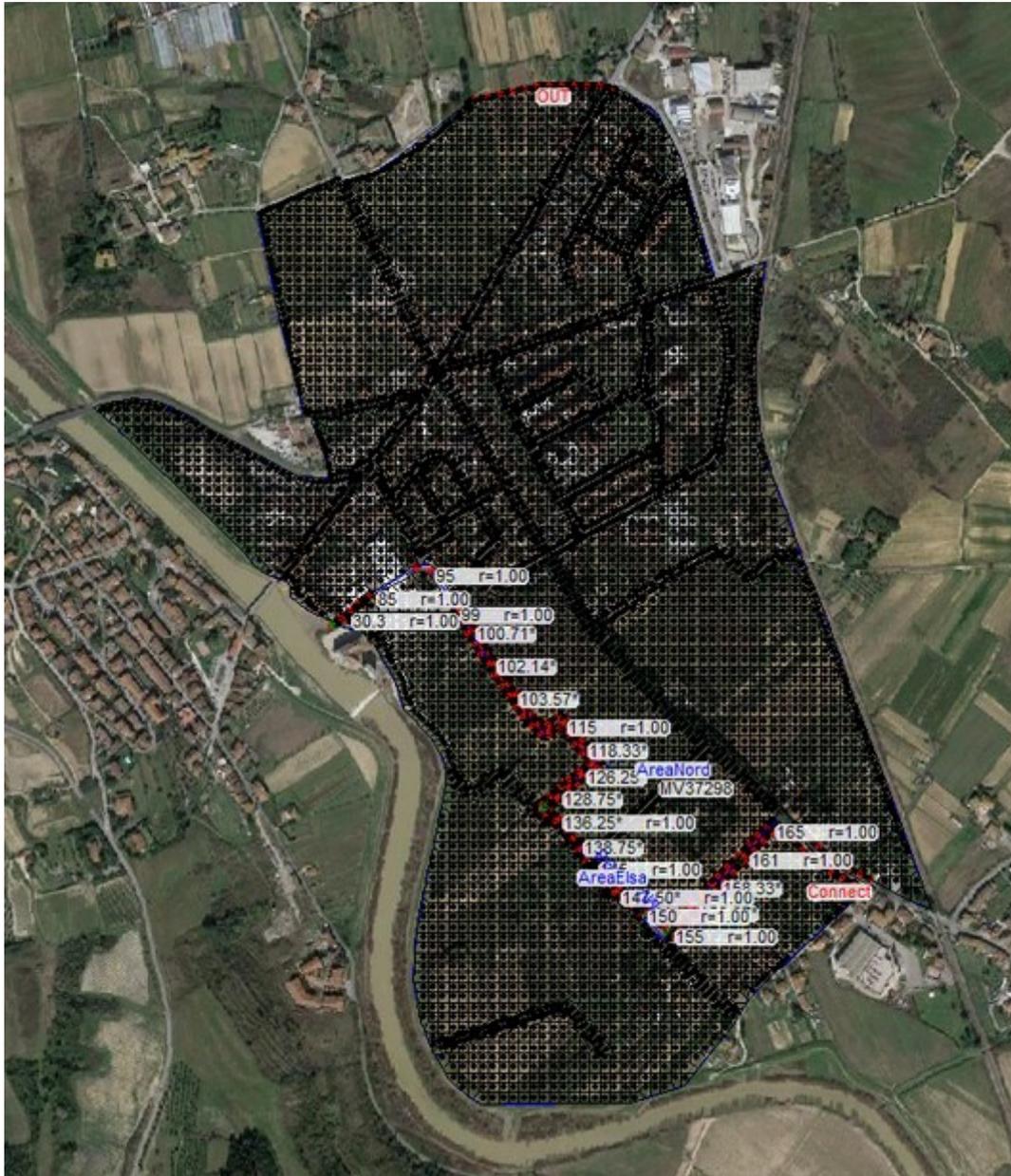


Figure 58: Planimetria di modellazione idraulica.

Si fa inoltre presente che in corrispondenza del Mulino di Ponte ad Elsa (sezione RAS 70) è presente un impianto di sollevamento gestito dal Comune di Empoli destinato ad alleviare le condizioni di criticità idraulica nel caso di livelli elevati in Elsa. L'impianto è dotato di 4 pompe identiche (centrifughe ad asse orizzontale Varisco) con la seguente curva caratteristica, ricostruita sulla base dei dati di targa.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

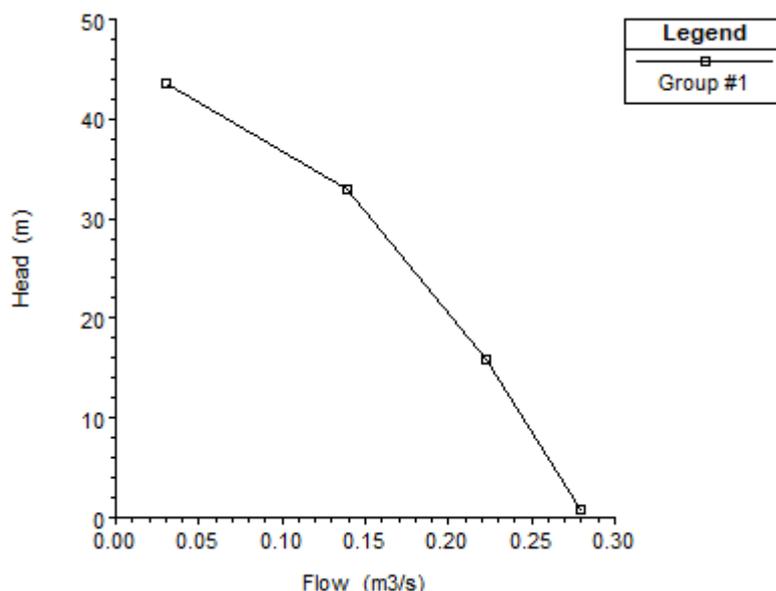


Figura 59: Curve caratteristiche pompe Mulino Ponte a Elsa.

Le pompe vengono azionate al raggiungimento nella sezione RAS 70 di quota 29.80 m.sm. e si disattivano in corrispondenza di quota 29.70 m.s.m. Esse entrano in gioco nelle simulazioni relative a piogge di lunga durata, in cui si hanno livelli elevati in Elsa.

4.7.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati in analogia con gli altri corsi d'acqua oggetto di studio ed avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili, per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n .

I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella:

	MV37298
<i>Alveo naturale 1D</i>	<i>0.035</i>
<i>Aree golenali naturali 1D</i>	<i>0.035</i>
<i>Alveo rivestito a tratti in CLS</i>	<i>0.025</i>
<i>Alveo rivestito in scogliera</i>	<i>/</i>
<i>Tombamenti con tubazioni in CLS</i>	<i>0.02</i>

Tabella 44: Parametri di scabrezza 1D.

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

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la citata tabella di corrispondenza ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013. La figura seguente mostra la

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

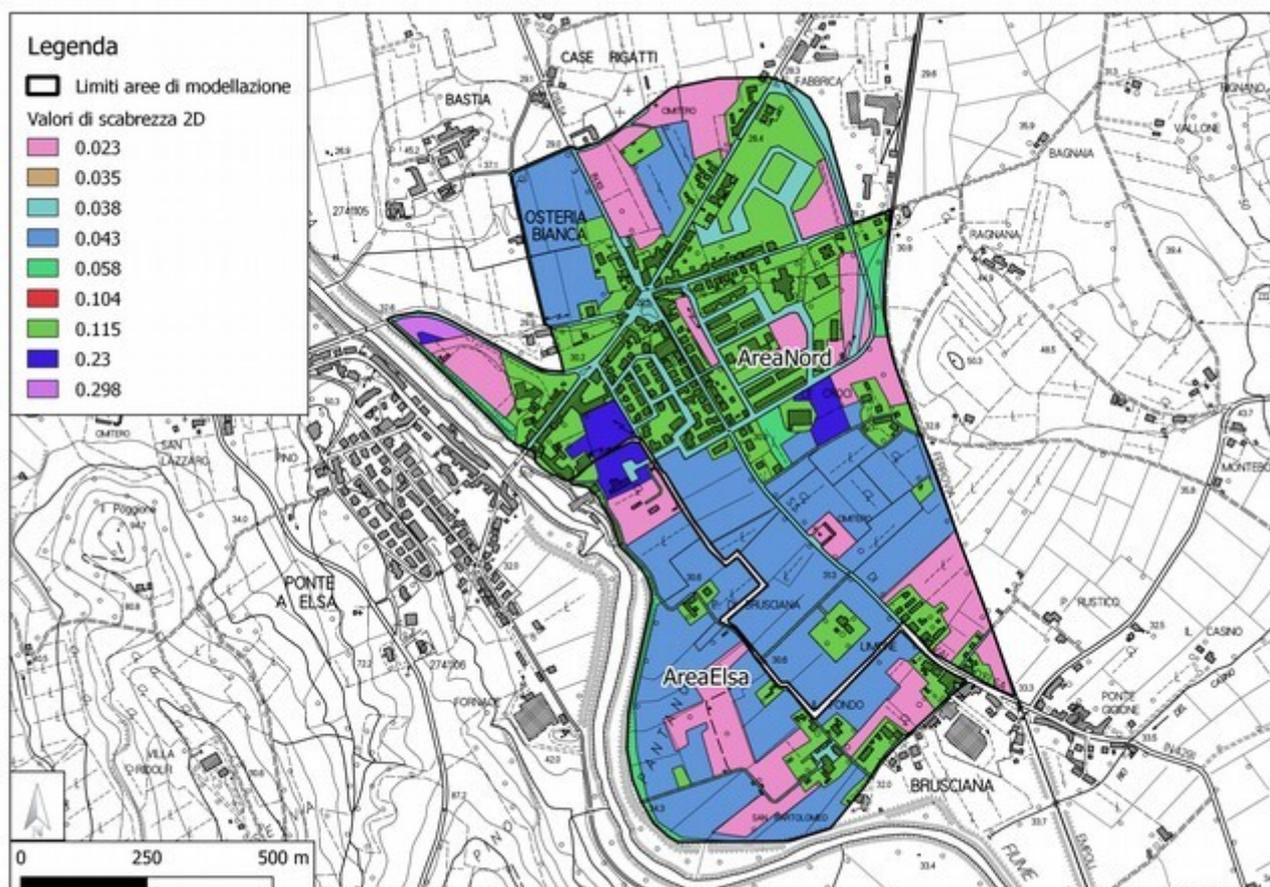


Figure 60: Distribuzione di scabrezza sulle aree 2D.

4.7.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno della modellazione idraulica sono state ricavate dalla precedente fase di modellazione idrologica. E' stato assegnato in testa al modello un idrogramma fittizio di "riscaldamento", necessario a garantire la stabilità del modello; la portata idrologica, invece, è stata assegnata in maniera distribuita lungo tutto il corso d'acqua.

BACINO	TIPOLOGIA	RIVER	REACH	SEZIONI DI ASSEGNAZIONE
Ponte a Elsa	Input Concentrato	MV37298	MV37298	165
	Input Distribuito	MV37298	MV37298	159.17-100.71

Tabella 45: Condizioni al contorno di monte.

Le condizioni al contorno di valle sono state impostate facendo riferimento al livello del pelo libero nel fiume Elsa, distinguendo tra la condizione di "sbocco libero" e di "sbocco impedito". Quest'ultima condizione è associata a piogge di lunga durata (maggiore di 18 ore), con conseguenti livelli elevati in Elsa.

La tabella seguente riassume le condizioni di valle impostate nel modello idraulico:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Reach HEC-RAS	Tipo condizione al contorno di valle	Valori impiegati
<i>MV37298</i>	<i>Altezza di moto uniforme (Normal Depth)</i>	<i>Tr 30/200 Tp 2.9, 3, 6 h: $S_0 = 0.001$</i>
<i>MV37298</i>	<i>Livello d'acqua del fiume Elsa (Stage Hydrograph)</i>	<i>Tr 30/200 Tp 18, 24 h: WSE = Variabile</i>

Tabella 46: Condizioni al contorno di valle.

Sono state anche inserite nel modello opportune condizioni al contorno per le aree 2D.

4.7.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli idrogrammi generati da piogge di durata pari a 2.9, 3, 6, 18, 24 h; di queste, le prime tre risultano critiche per il bacino "Ponte a Elsa" in condizioni di sbocco in Elsa libero, le ultime due invece risultano critiche per la presenza di livelli elevati nel Fiume Elsa, con conseguente impossibilità di scarico a gravità.

I diversi scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma MV37298_TrxxxTpyy.yh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy.y" la durata di pioggia espressa in ore.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS, con i relativi codici dei plan:

ID PLAN	Tp (ore)	Tr (anni)
MV37298_Tr030Tp02.9h	2.9	30
MV37298_Tr030Tp03.0h	3	30
MV37298_Tr030Tp06.0h	6	30
MV37298_Tr030Tp18.0h	18	30
MV37298_Tr030Tp24.0h	24	30
MV37298_Tr200Tp02.9h	2.9	200
MV37298_Tr200Tp03.0h	3	200
MV37298_Tr200Tp06.9h	6	200
MV37298_Tr200Tp18.0h	18	200
MV37298_Tr200Tp24.0h	24	200

Table 47: Riepilogo simulazioni idrauliche eseguite per MV37298.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

I risultati delle simulazioni idrauliche condotte sono riportate nelle tavole grafiche allegate per scenari con Tr 30 e 200 anni. Dato il carattere puntuale della presente variante si riportano una serie di estratti dei risultati significativi per ogni singola area di variante, benché le aree idraulicamente indagate siano considerevolmente più ampie rispetto a quelle di interesse urbanistico.

In particolare per ogni area oggetto di variante si riportano delle schede grafiche in scala 1:2000 o 1:5000 con riportate:

- aree di esondazione per tempo di ritorno 30 anni (Tr30) e tempo di ritorno 200 anni (Tr200);
- altezze di esondazione Tr200;
- velocità di esondazione Tr200;
- pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53/R 2011.
- magnitudo idraulica ai sensi della LR41/2018.

La tabella seguente riporta inoltre le quote di esondazione duecentennali nelle aree di interesse, per pronta consultazione.

PUA	WSE Tr 200 [m.s.m.]
6.2	25.65
6.3	25.56
PUC 6.7	IN SICUREZZA PER LA DUECENTENNALE
6.9	26.07
7.4	32.81
9.1	30.19
12.7	25.57
14.2	IN SICUREZZA PER LA DUECENTENNALE

Tabella 48: quote d'esondazione duecentennali PUA di variante.

OP	WSE Tr 200 [m.s.m.]
1	23.28
2	25.88

Tabella 49: quote d'esondazione duecentennali OP di variante.