

**COMUNE DI EMPOLI**  
**Città Metropolitana di Firenze**

**VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE E AL REGOLAMENTO  
URBANISTICO AI SENSI DEGLI ART. 238 E 252 TER DELLA  
L.R. 65/2014**

**STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO**

Committente:  
**COMUNE DI EMPOLI**

Responsabile Unico del Procedimento:  
**Ing. ROBERTA SCARDIGLI**

Progettazione:



**H.S. INGEGNERIA srl**

Via Bonistallo 39  
50053 Empoli (FI)  
Tel. e Fax 0571-725283  
e.mail info@hsingegneria.it  
web www.hsingegneria.it  
P.IVA 01952520466

**Dott. Ing. SIMONE POZZOLINI**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze n.4325

**Dott. Ing. PAOLO PUCCI**  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze n.4824

CODICE elaborato	ANNO <b>2023</b>	PROG <b>028</b>	COMMITTENTE <b>D403</b>	LIVELLO <b>IDR</b>	TIPO <b>REL</b>	NUMERO <b>001</b>	REV <b>00</b>
OGGETTO	<b>Relazione idrologico-idraulica</b>						

Scala	-
Data emissione	<b>Agosto 2023</b>
Data emissione revisione	-

04							
03							
02							
01							
00	Prima emissione elaborato			MC	PP	SP	Agosto 2023
REVISIONE	DESCRIZIONE			REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA

FILE: -  
Il presente elaborato è di esclusiva proprietà, a norma di legge, di H.S. INGEGNERIA srl. E' vietata la riproduzione, anche parziale, o il trasferimento a terzi senza specifica autorizzazione scritta.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

## INDICE GENERALE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....</b>	<b>4</b>
<b>3. RELAZIONE IDROLOGICA.....</b>	<b>6</b>
3.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse.....</i>	6
3.2. <i>Definizione degli afflussi.....</i>	8
3.2.1. <i>Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....</i>	8
3.2.2. <i>Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio.....</i>	12
3.3. <i>Determinazione delle perdite di bacino.....</i>	14
3.3.1. <i>Bacini collinari: metodo initial/costant.....</i>	14
3.3.2. <i>Bacini di pianura: coefficienti di deflusso.....</i>	18
3.4. <i>Trasformazione afflussi netti – deflussi.....</i>	19
3.4.1. <i>Tempo di corrivazione.....</i>	19
3.4.2. <i>Bacini collinari: idrogramma unitario di Nash.....</i>	22
3.4.3. <i>Bacini di pianura: idrogramma della corrivazione.....</i>	23
3.5. <i>Risultati della modellazione idrologica.....</i>	23
<b>4. RELAZIONE IDRAULICA.....</b>	<b>31</b>
4.1. <i>Modelli di calcolo RAS.....</i>	31
4.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....</i>	31
4.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....</i>	32
4.2. <i>Modelli idraulici dell'area di studio: reticolo secondario di PGRA.....</i>	33
4.2.1. <i>Dati topografici di base.....</i>	34
4.2.2. <i>Caratteristiche geometriche.....</i>	34
4.2.3. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	35
4.2.4. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	36
4.2.5. <i>Impostazioni generali di calcolo.....</i>	41
4.2.6. <i>Scenari simulati.....</i>	41
<b>5. ANALISI DEI RISULTATI.....</b>	<b>44</b>
<b>6. ALLEGATI.....</b>	<b>45</b>

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

## 1. PREMESSA

La presente indagine è redatta a supporto di varianti urbanistiche puntuali relative ad aree interessate da attività produttive 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, divenuta efficace con la pubblicazione sul BURT n. 52 del 24 dicembre 2013.

La variante in esame in questa sede riguarda alcune aree interessate da attività produttive e mostrate nella successiva Figura 3.

Per quanto concerne gli aspetti di carattere idraulico la variante in oggetto anticipa i risultati determinati nell'ambito degli studi specialistici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale (PSI) che interessa il Comune di Empoli assieme ai Comuni di Capraia e Limite, Cerreto Guidi, Montelupo Fiorentino e Vinci (FI).

Nella fattispecie nel seguito del presente documento, dopo un inquadramento generale relativo al territorio ed ai corsi d'acqua oggetto di analisi, si procede dapprima con la descrizione dell'analisi idrologica effettuata per poi proseguire con la definizione dei criteri ed i risultati dell'analisi idraulica implementata per la definizione delle aree di esondazione trentennali e duecentennali e delle relativi classi di magnitudo idraulica.

Il presente lavoro è stato sviluppato a partire dal quadro conoscitivo della pericolosità idraulica disponibile per le aree di interesse. In particolare per il Comune di Empoli:

- il quadro di pericolosità idraulica vigente è basato sullo "*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. Successivamente a tale studio sono state redatte due varianti urbanistiche aventi carattere puntuale, ma interessanti praticamente tutto il territorio comunale: la "*Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico relativa alle aree produttive*", approvata con Delibera del C.C. n. 90 del 19/11/2018 e la "*Variante al Regolamento Urbanistico per interventi puntuali all'interno del territorio urbanizzato individuato ai sensi dell'art. 224 della L.R. 65/2014*", approvata con Delibera del C.C. n. 122 del 25/11/2019. Gli studi idraulici a supporto di tali varianti, approvati dagli Enti competenti e redatti da H.S. Ingegneria, sono stati utilizzati come basi di partenza (opportunamente integrate) per le valutazioni idrauliche effettuate in questa sede;

Per quel che riguarda in particolare il reticolo principale del Piano Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale, sulla base di quanto indicato dalla competente Autorità di Distretto (anche in sede di riunioni di coordinamento ai fini della redazione del presente studio), la situazione è la seguente:

- per il fiume Elsa ed il fiume Arno si fa riferimento al vigente PGRA. Per il fiume Arno si fa riferimento al modello dell'Arno redatto dal Genio Civile per il Regolamento Urbanistico di Empoli;

Le aree oggetto di studio per la presente variante sono riportate nella seguente tabella:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

<b>ID</b>	<b>Denominazione area</b>	<b>Intervento urbanistico</b>	<b>Modalità di intervento urbanistico</b>
<b>1</b>	Comparto Zignago Vetro S.p.a.	-Ampliamento del comparto industriale -Nuova viabilità pubblica tra Via Castelluccio e via d'Elsa	Previsione di carattere produttivo o commerciale
<b>2</b>	Comparto PUA 12.11	- Modifica del perimetro PUA 12.11	Previsione di carattere produttivo o commerciale
<b>3</b>	Comparto PUA 14.3	-Adeguamento dell'area PUA 14.3 alla normativa L.R. 41/2018 e correzione della scheda norma	Previsione di carattere produttivo o commerciale
<b>4</b>	Comparto PUC 3.7	-Nuova pianificazione nell'area -Cambio di destinazione, da residenziale ad industriale	Previsione di carattere produttivo o commerciale
<b>5</b>	Comparto Terrafino	-Integrazione di aree precedentemente destinate a verde privato nella zona D2/A.	Previsione di carattere produttivo o commerciale
<b>6</b>	Comparto Centro ippico PUA 14.5	-Cambio di destinazione d'uso dell'area in oggetto -espansione dell'area del centro ippico verso sud -Riconoscimento come attività di servizio/sportiva in territorio rurale -Realizzazione pista ciclo-pedonale lungo via della Piovola	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>7</b>	Comparto Monteboro PUA 13.2	-Ampliamento delle aree a verde sportivo verso zone limitrofe -Interventi di manutenzione ambientale sulle aree boscate	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>8</b>	Comparto Montevivo Ex PUA 3.1	-Intervento di bonifica ambientale dell'area -Riprogettazione della viabilità limitrofa di via di Pratignone -Previsione di una destinazione mista, in parte a servizi di interesse pubblico e in parte ad attività commerciali	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>9</b>	Comparto Virgilio	-Spostamento nella zona di un istituto superiore -Cambio di destinazione urbanistica da area agricola a spazio per attrezzature scolastiche	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>9bis</b>	Nuova viabilità pubblica	-Realizzazione di una nuova viabilità tra Via S. Mamante e Viale Bruno Buozzi	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>10</b>	Comparto Sesa	-Reperire spazi da destinare all'attrezzatura sanitaria dell'azienda ASL	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>11</b>	Comparto Avane	-Cambio di destinazione urbanistica	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>12</b>	Comparto Lago Ulivi	-Assegnazione di una nuova destinazione urbanistica	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>13</b>	Comparto Ospedale S. Giuseppe	-Correzione errore di rappresentazione nel R.U. vigente -Espansione della struttura pubblica ospedaliera	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>13bis</b>	Comparto spazi pubblici parcheggio S.Giuseppe	-Riconferma ampliamento parcheggio pubblico ad Ovest del complesso ospedaliero	revisone di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>14</b>	Comparto Serravalle	-Modifica della destinazione urbanistica dell'area parcheggio interna al parco	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse
<b>15</b>	Comparto viabilità accesso area scolastica Ponzano	-Realizzazione di una nuova viabilità tra Via Righi e il retro della scuola	Previsione di carattere pubblico o di pubblico interesse

Tabella 1: Aree oggetto della presente variante.

## 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

I corsi d'acqua presi in esame per la definizione delle condizioni di rischio idraulico delle aree oggetto di Variante sono riassunti di seguito:

- |                        |                            |
|------------------------|----------------------------|
| ▪ Rio di Friano        | Deviatore Rio di Friano    |
| ▪ Rio di Pagnana       | Rio Stella                 |
| ▪ Diversivo Rio Stella | Rio di Vitiana             |
| ▪ Rio di Riottoli      | Rio di Santa Maria         |
| ▪ Rio Sant'Anna        | Diversivo Rio di Sant'Anna |
| ▪ Rio delle Volpi      | MV35771                    |
| ▪ MV36011              | MV36429                    |
| ▪ MV36580              | MV36456                    |
| ▪ Rio dei Cappuccini   | Rio Terraio                |
| ▪ MV36789              | MV36652                    |
| ▪ Torrente Orme        | Torrente Piovola           |
| ▪ MV35780              | Rio della Pratella         |
| ▪ Rio delle Caselle    | Rio di Cortenuova          |

La seguente figura evidenzia i corsi d'acqua oggetto di modellazione idraulica. Sono stati considerati tutti i corsi d'acqua le cui esondazioni risultano di interesse per la variante in oggetto. Lo studio ha riguardato pertanto anche alcuni corsi d'acqua che si trovano al confine con il Comune di Montelupo Fiorentino.

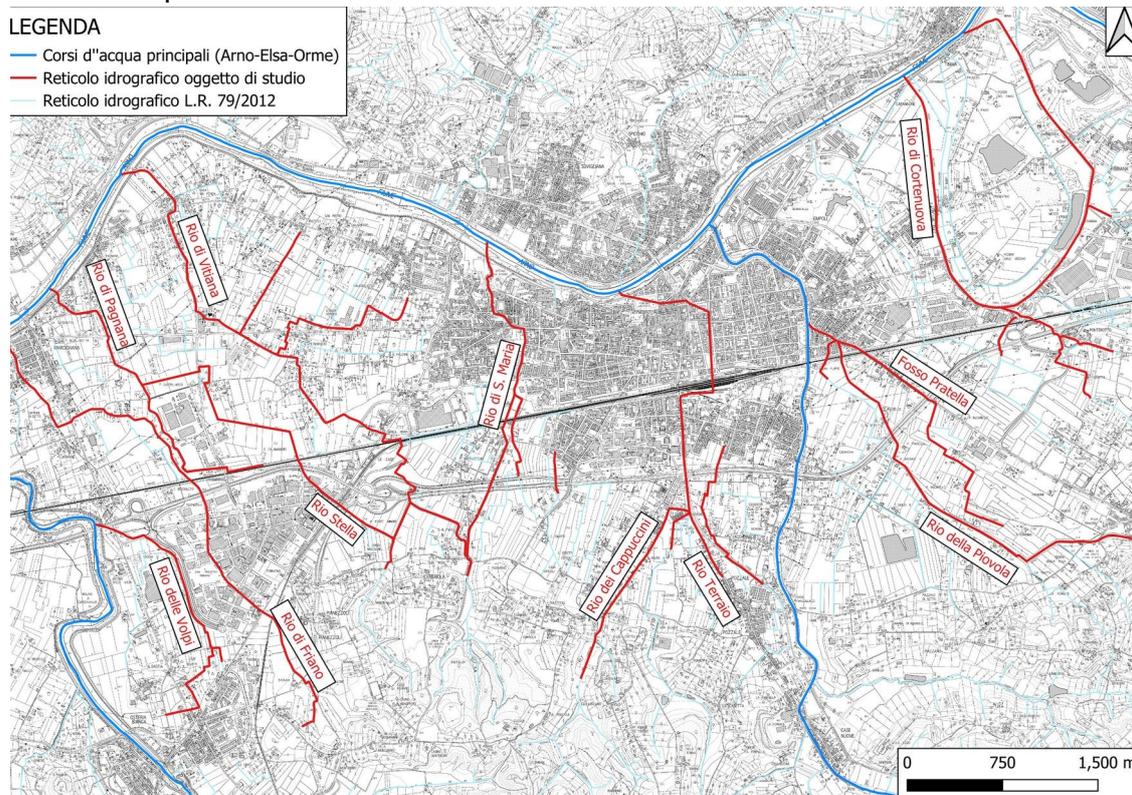


Figura 1: Inquadramento del reticolo oggetto di studio.

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

La seguente figura riporta il sovrapposto tra le aree oggetto di Variante ed il reticolo idrografico oggetto di studio. Si sottolinea che la nomenclatura delle aree di Variante riportata in immagine corrisponde alla numerazione riportata nella precedente Tabella 1 (colonna *ID*).

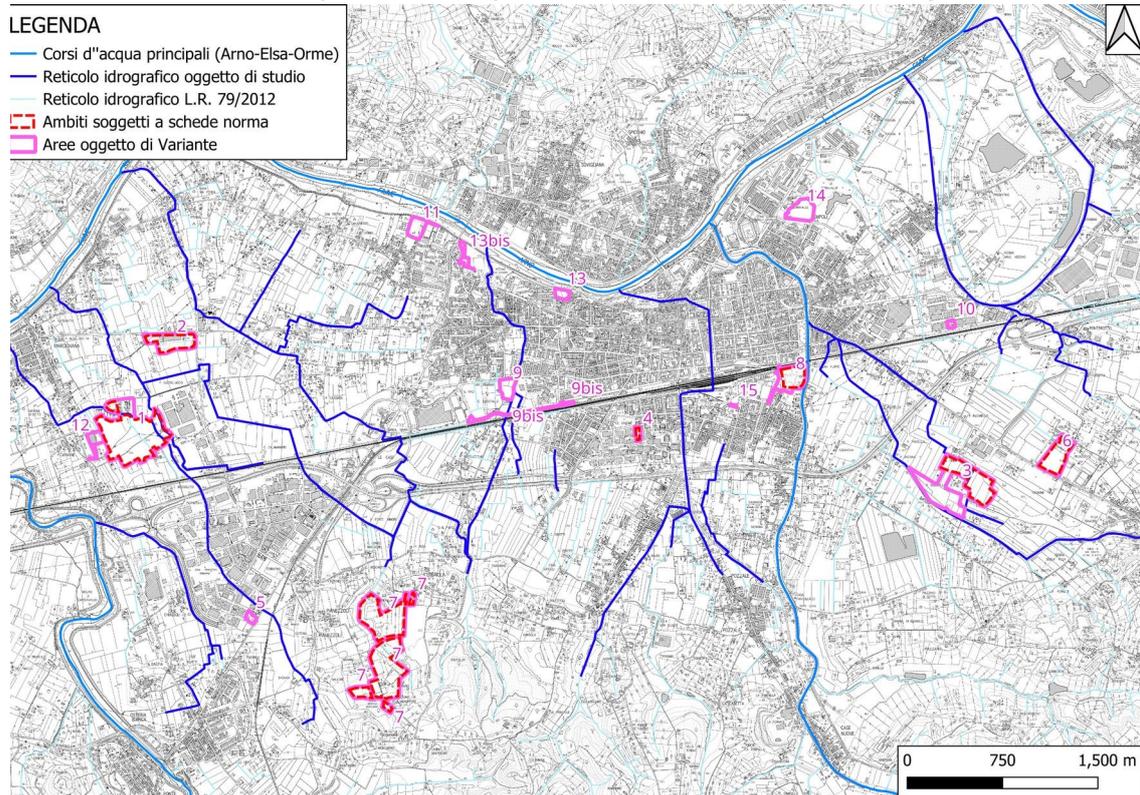


Figura 2: Ubicazione delle aree oggetto di Variante.

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

### 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 oggetto di interessi ai fini della Variante Urbanistica del Comune di Empoli.

Come anticipato in premessa, quanto riportato di seguito anticipa i risultati determinati nell'ambito degli studi specialistici a supporto del Piano Strutturale Intercomunale (PSI) che interessa il Comune di Empoli assieme ai Comuni di Capraia e Limite, Cerreto Guidi, Montelupo Fiorentino e Vinci (FI).

I tempi di ritorno assunti nell'analisi idrologica sono pari a 30 e 200 anni.

L'approccio seguito nella definizione degli idrogrammi di verifica è analogo a quello seguito nella maggior parte degli studi pregressi che hanno interessato il territorio in esame, al fine di mantenere un approccio coerente.

#### 3.1. Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse

Le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrologici sono state individuate sulla base delle seguenti fonti: studi pregressi, Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10000 ed 1:2000, dove disponibile, modello digitale del terreno (DTM) della Regione Toscana con risoluzione 10m x 10m integrato, laddove disponibili, con i dati dei rilievi LIDAR del terreno con risoluzione 1m x 1m, strato informativo del reticolo idrografico della Regione Toscana.

Nelle successive tabelle vengono riportate le caratteristiche morfologiche di ciascun bacino. Nella seguente figura, invece, è riportato l'inquadramento dei bacini oggetto di studio su base DTM 10mx10m.

Bacino	Comune	Area [km <sup>2</sup> ]	Pendenza media [-]	z <sub>max</sub> [m s.l.m.]	z <sub>min</sub> [m s.l.m.]
Rio Cappuccini	Empoli	1.51	0.18	137.71	31.63
Rio Terraio	Empoli	1.31	0.1	133.75	26.23
Corniola	Empoli	0.77	0.03	62.11	24.81
MV36652	Empoli	0.26	0.07	90	26.72
MV36789	Empoli	0.7	0.01	35.67	26.56
Friano 1	Empoli	0.74	0.08	87.78	27.35
S. Maria	Empoli	0.94	0.12	112.7	29.54
Stella 1	Empoli	0.56	0.09	88.87	28.55
Volpi 4	Empoli	0.33	0.02	44.68	25.9
Volpi 5	Empoli	0.96	0.02	50.17	25.91
Cinotti Est	Empoli	0.4	0.03	60.58	24.98
Cinotti ovest	Empoli	0.51	0.03	56.56	22.65
Friano 2	Empoli	1.44	0.01	30	20.31
Lucchese Est	Empoli	0.04	0	23.97	23.38
Lucchese Ovest	Empoli	0.06	0.01	23.52	20.72
Lucchese Sud	Empoli	0.13	0	24.28	22.6
MV35771	Empoli	1.07	0.01	28.65	22.07
MV36072	Empoli	0.54	0.01	26.81	21.44
Pagnana 1	Empoli	0.37	0.05	50	24.31
Pagnana 2	Empoli	0.71	0.01	28.42	24.32

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i> Relazione idrologico-idraulica</i>

<b>Bacino</b>	<b>Comune</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Pendenza media [-]</b>	<b>z<sub>max</sub> [m s.l.m.]</b>	<b>z<sub>min</sub> [m s.l.m.]</b>
<i>Pagnana 3</i>	<i>Empoli</i>	<i>1.64</i>	<i>0.01</i>	<i>28.33</i>	<i>20.02</i>
<i>Riottoli</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>	<i>26.84</i>	<i>23.06</i>
<i>Stella 2</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.39</i>	<i>0</i>	<i>24.42</i>	<i>21.84</i>
<i>Vitiana 0</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.58</i>	<i>0.05</i>	<i>60</i>	<i>23.83</i>
<i>Vitiana 1</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.48</i>	<i>0.02</i>	<i>30.91</i>	<i>22.64</i>
<i>Vitiana 2 Monte</i>	<i>Empoli</i>	<i>1.35</i>	<i>0.01</i>	<i>29.35</i>	<i>21.99</i>
<i>Vitiana 2 valle</i>	<i>Empoli</i>	<i>1.31</i>	<i>0.01</i>	<i>26.78</i>	<i>20.21</i>
<i>Volpi 1</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.53</i>	<i>0.02</i>	<i>45.05</i>	<i>22.31</i>
<i>Volpi 2</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.39</i>	<i>0.01</i>	<i>40</i>	<i>23.74</i>
<i>Volpi 3</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.32</i>	<i>0.01</i>	<i>28.5</i>	<i>24.62</i>
<i>Montemagnoli</i>	<i>Empoli/ Castelfiorentino/ Montespertoli</i>	<i>13.79</i>	<i>0.16</i>	<i>173.68</i>	<i>38.51</i>
<i>Orme_1</i>	<i>Empoli</i>	<i>2.54</i>	<i>0.16</i>	<i>200</i>	<i>35.24</i>
<i>Orme_2</i>	<i>Empoli</i>	<i>2.69</i>	<i>0.12</i>	<i>160</i>	<i>35.64</i>
<i>Orme_Monte</i>	<i>Empoli/Montespertoli</i>	<i>21.96</i>	<i>0.19</i>	<i>263.27</i>	<i>55.45</i>
<i>Piovola 2</i>	<i>Empoli/Montespertoli/ Montelupo Fiorentino</i>	<i>3.91</i>	<i>0.2</i>	<i>260</i>	<i>35.36</i>
<i>MV35780</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.74</i>	<i>0.02</i>	<i>30</i>	<i>21.72</i>
<i>Piovola 1</i>	<i>Empoli</i>	<i>2.53</i>	<i>0.04</i>	<i>106.2</i>	<i>21.82</i>
<i>Pratella</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.71</i>	<i>0.01</i>	<i>46.22</i>	<i>26.99</i>
<i>Pratella Area Industriale</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.21</i>	<i>0.01</i>	<i>37.32</i>	<i>27.6</i>
<i>Bacino 3</i>	<i>Empoli</i>	<i>2.06</i>	<i>0.04</i>	<i>34.22</i>	<i>16.61</i>
<i>MV50194</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.23</i>	<i>0.01</i>	<i>34.35</i>	<i>27.5</i>
<i>Rio delle Caselle_2</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.13</i>	<i>0.03</i>	<i>30</i>	<i>17.71</i>
<i>Rio delle Caselle_1</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.95</i>	<i>0.05</i>	<i>148.3</i>	<i>28.21</i>
<i>MV35666</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.68</i>	<i>0.02</i>	<i>59.33</i>	<i>26.84</i>
<i>MV50195</i>	<i>Empoli</i>	<i>0.93</i>	<i>0.01</i>	<i>51</i>	<i>25.42</i>
<i>Rio delle Caselle_2</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.13</i>	<i>0.03</i>	<i>30</i>	<i>17.71</i>
<i>Rio delle Caselle_1</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.95</i>	<i>0.05</i>	<i>148.3</i>	<i>28.21</i>
<i>MV35666</i>	<i>Empoli/Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.68</i>	<i>0.02</i>	<i>59.33</i>	<i>26.84</i>
<i>Rio Grande 0</i>	<i>Montelupo Fiorentino/Montespertoli</i>	<i>2.49</i>	<i>0.22</i>	<i>245.26</i>	<i>32.92</i>
<i>Rio Grande 1</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.33</i>	<i>0.02</i>	<i>59.81</i>	<i>28.92</i>
<i>Rio Grande 2</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.23</i>	<i>0.01</i>	<i>30.93</i>	<i>17.62</i>
<i>Sammontana 1</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>1</i>	<i>0.21</i>	<i>230.94</i>	<i>41.77</i>
<i>Sammontana 2</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.14</i>	<i>0.01</i>	<i>30.85</i>	<i>26.69</i>
<i>Sammontana 3</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.77</i>	<i>0.01</i>	<i>39.29</i>	<i>17.24</i>
<i>Rio Bottini_1</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.17</i>	<i>0.16</i>	<i>120</i>	<i>54.66</i>
<i>Rio Bottini_2</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.12</i>	<i>0.06</i>	<i>65.21</i>	<i>30.75</i>
<i>Rio della Pratella</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.52</i>	<i>0.18</i>	<i>151.22</i>	<i>35.48</i>
<i>Borro Montecuccoli</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.31</i>	<i>0.14</i>	<i>34.22</i>	<i>16.61</i>
<i>Castellucci Ovest</i>	<i>Montelupo Fiorentino</i>	<i>0.11</i>	<i>0.02</i>	<i>41.78</i>	<i>29.9</i>

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

Bacino	Comune	Area [km <sup>2</sup> ]	Pendenza media [-]	z <sub>max</sub> [m s.l.m.]	z <sub>min</sub> [m s.l.m.]
Citerna	Montelupo Fiorentino	0.32	0.03	41.89	27.06
Fibbiana	Montelupo Fiorentino	0.8	0.02	38.16	16.63
Fosso Fibbiana	Montelupo Fiorentino	0.16	0.02	30.27	16.67
MV35177	Montelupo Fiorentino	0.09	0.01	28.49	24.72
MV35475	Montelupo Fiorentino	0.08	0.06	52.51	29.36
MV35568	Montelupo Fiorentino	0.29	0.1	111.39	10.5

Tabella 2: Principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini oggetto di studio.

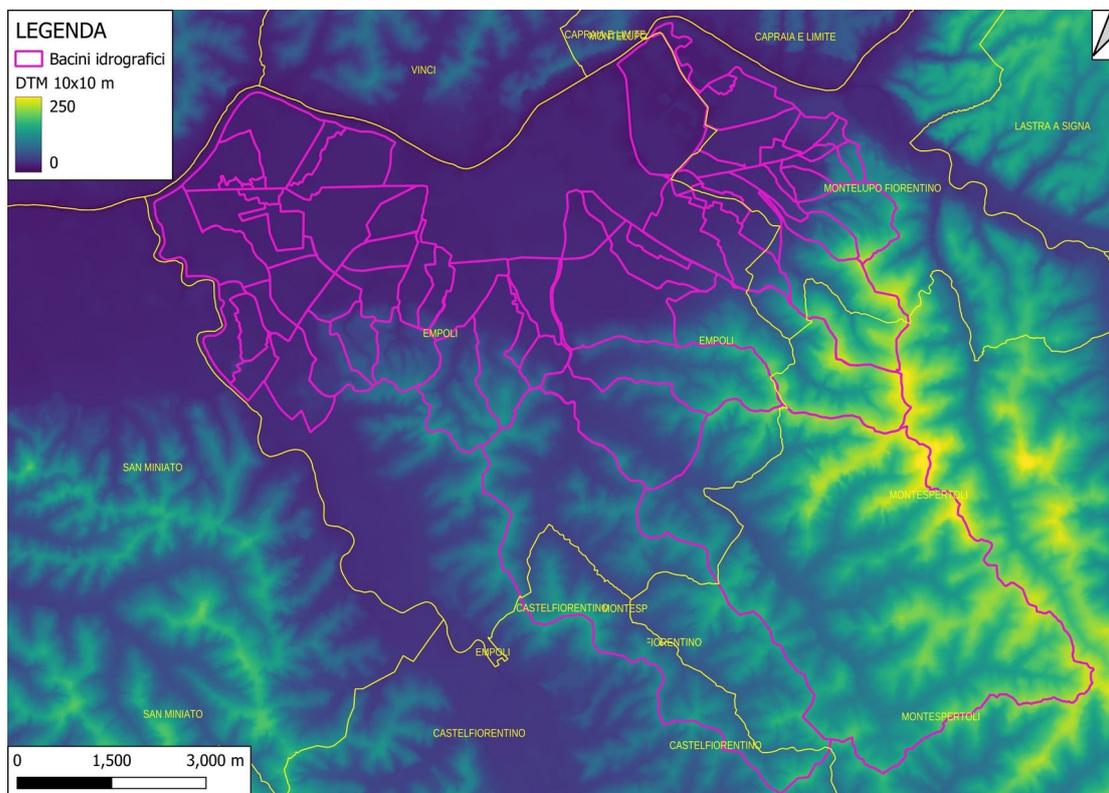


Figura 3: Bacini idrografici su base DTM 10x10 m

## 3.2. Definizione degli afflussi

### 3.2.1. Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica

Per la stima delle piogge intense è stato utilizzato il modello TCEV (*Two Component Extreme Value*), facendo riferimento alle Linee Segnatrici 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  $\lambda_i$  e  $\theta_i$  ( $i=1,2$ ) sono i quattro parametri (positivi) della distribuzione.

La forma canonica della distribuzione (1) è:

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

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

Per la stima dei parametri della distribuzione è stato seguito un approccio gerarchico di regionalizzazione (Figura 4).

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.

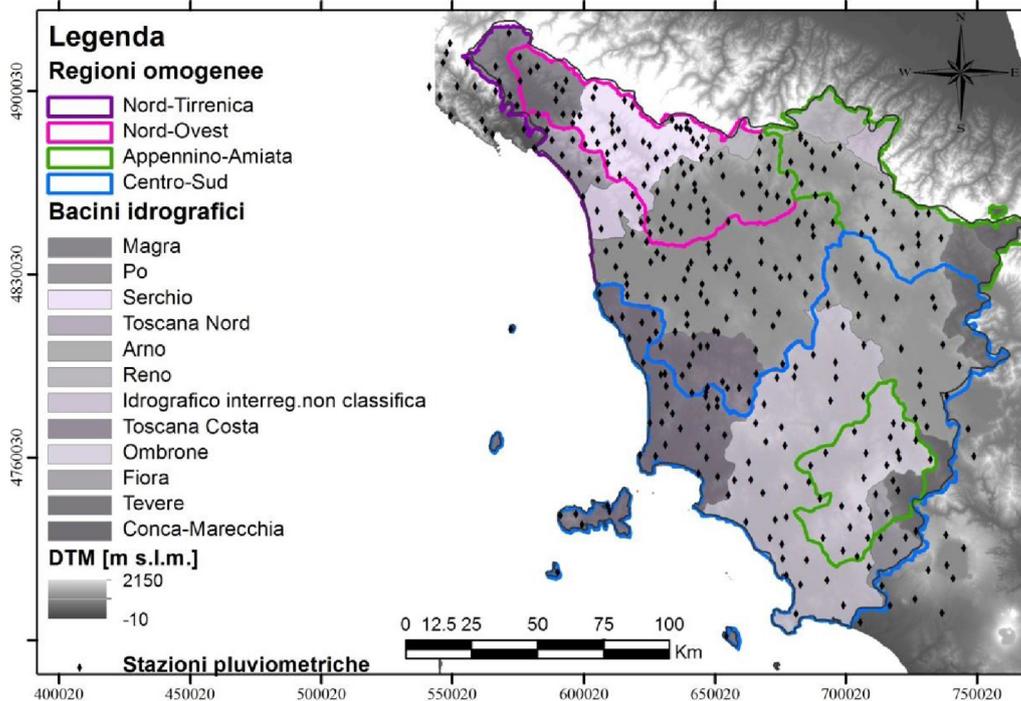


Figura 4: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee.

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.

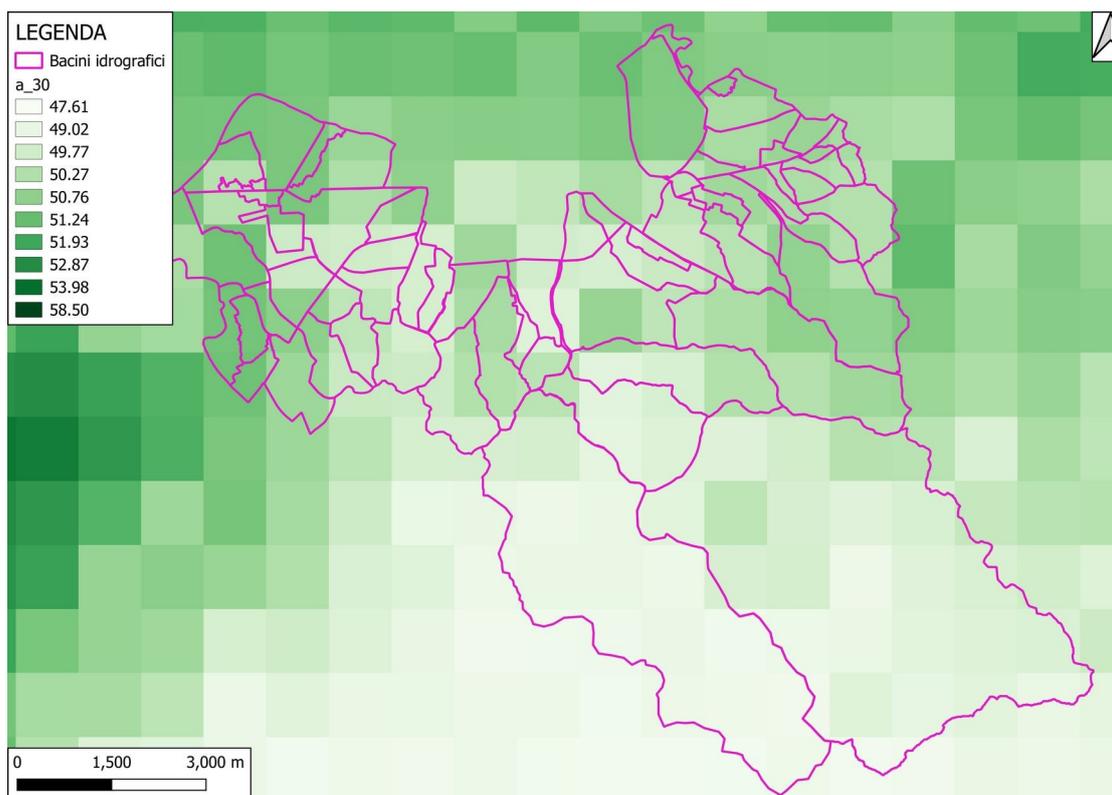


Figura 5: Distribuzione spaziale parametro a per Tr=30 anni.

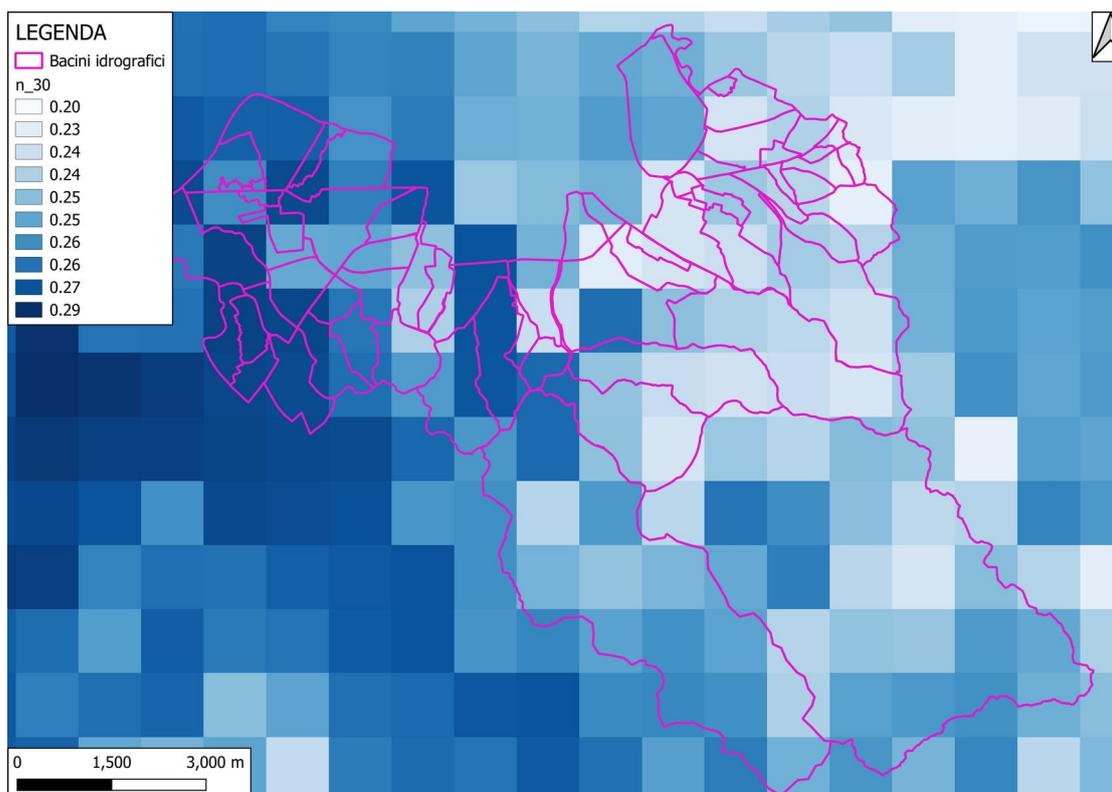


Figura 6: Distribuzione spaziale parametro n per Tr=30 anni.

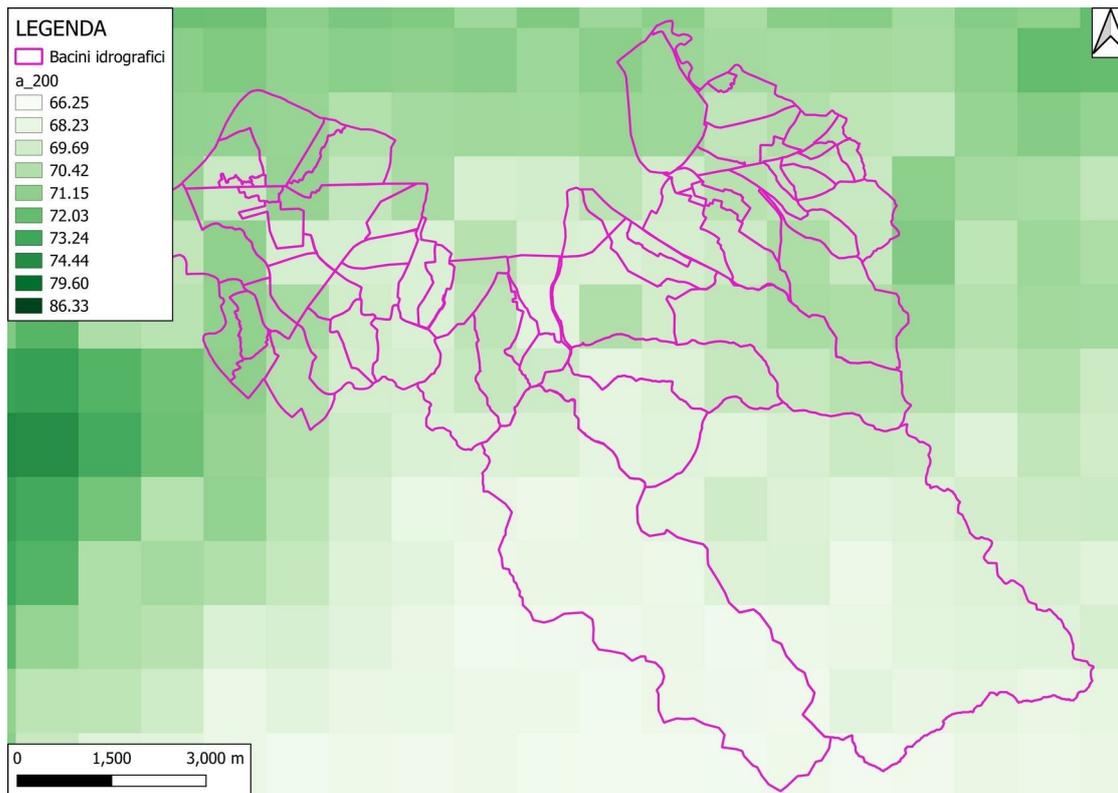


Figura 7: Distribuzione spaziale parametro a per Tr=200 anni.

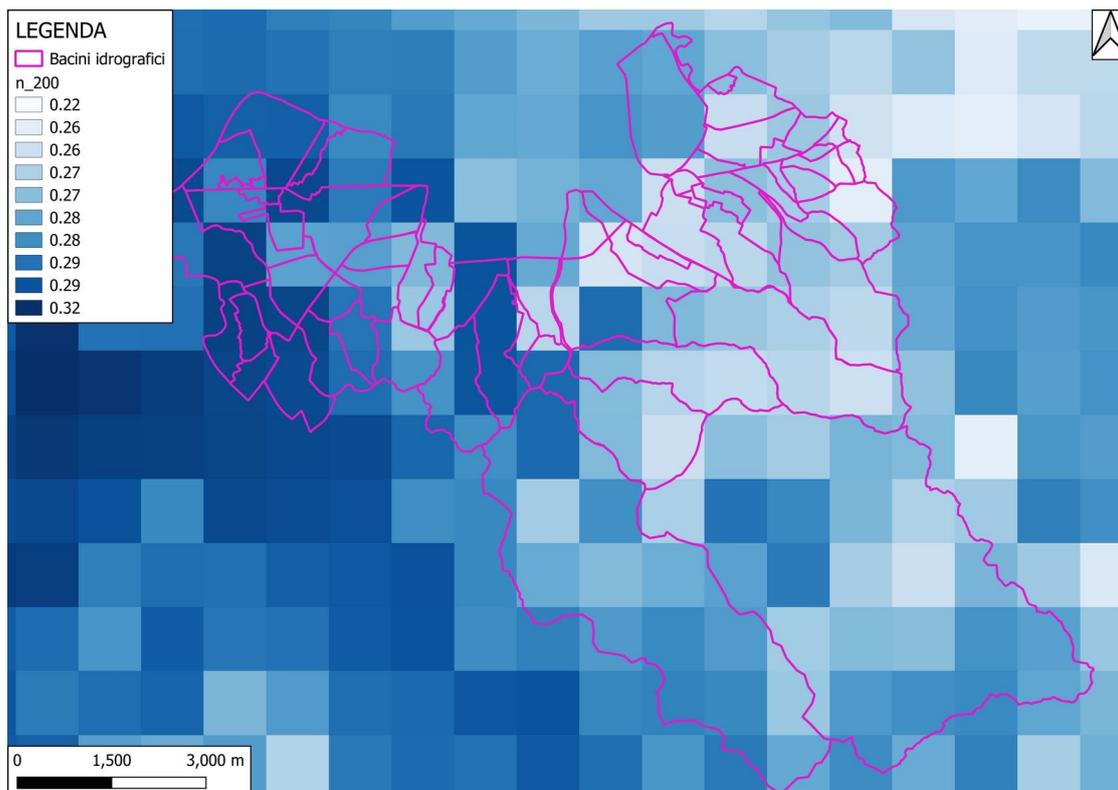


Figura 8: Distribuzione spaziale parametro n per Tr=200 anni.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-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. Le altezze di pioggia sono state raggugliate con il metodo del coefficiente di ragguglio areale  $K_r$  ricavato con la seguente formula:

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

dove

$$\alpha = 0.036 \text{ a}$$

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

$$\beta = 0.25$$

$$\gamma = 0.01$$

$A$  = area [kmq]

Il coefficiente di ragguglio è stato calcolato considerando l'area totale del sistema idraulico di appartenenza come area pluviometricamente omogenea, in analogia con gli studi pregressi condotti sull'area (ed in particolare con gli studi già condotti sul territorio del Comune di Empoli).

In generale si è considerata una distribuzione spaziale uniforme delle piogge di progetto sulle singole aree, date le dimensioni dei bacini in esame. Solo per il torrente Orme, che presenta area drenata maggiore, si è ipotizzata una distribuzione di pioggia con scroscio in un caso (scenario 2) concentrato sul bacino della Piovola (principale affluente dell'Orme) ed in un caso (scenario 1) concentrato sul bacino Orme monte. Si è quindi calcolato un coefficiente di ragguglio di tipo "globale", vale a dire considerando che i deflussi del bacino in oggetto si sommino a quelli di un bacino principale di monte. 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.

$$K_v = \frac{K_v A_v - K_m A_m}{A_v - A_m}$$

Dove  $K_v$  è il coefficiente di ragguglio areale per il bacino di valle,  $A_v$  è l'area del bacino di valle,  $K_m$  è il coefficiente di ragguglio areale per il bacino di monte e  $A_m$  è l'area del bacino di monte.

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  $m$ .

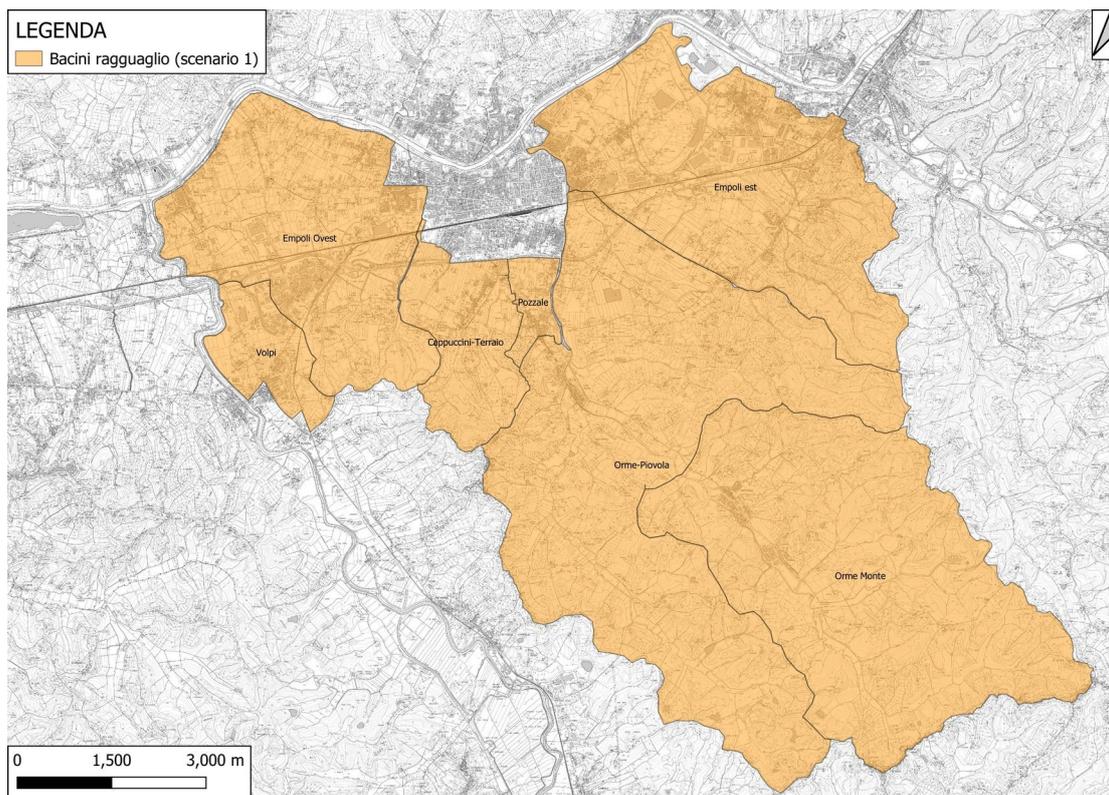


Figura 9: Inquadramento aree di calcolo del coefficiente di ragguglio (scenario Orme 1)

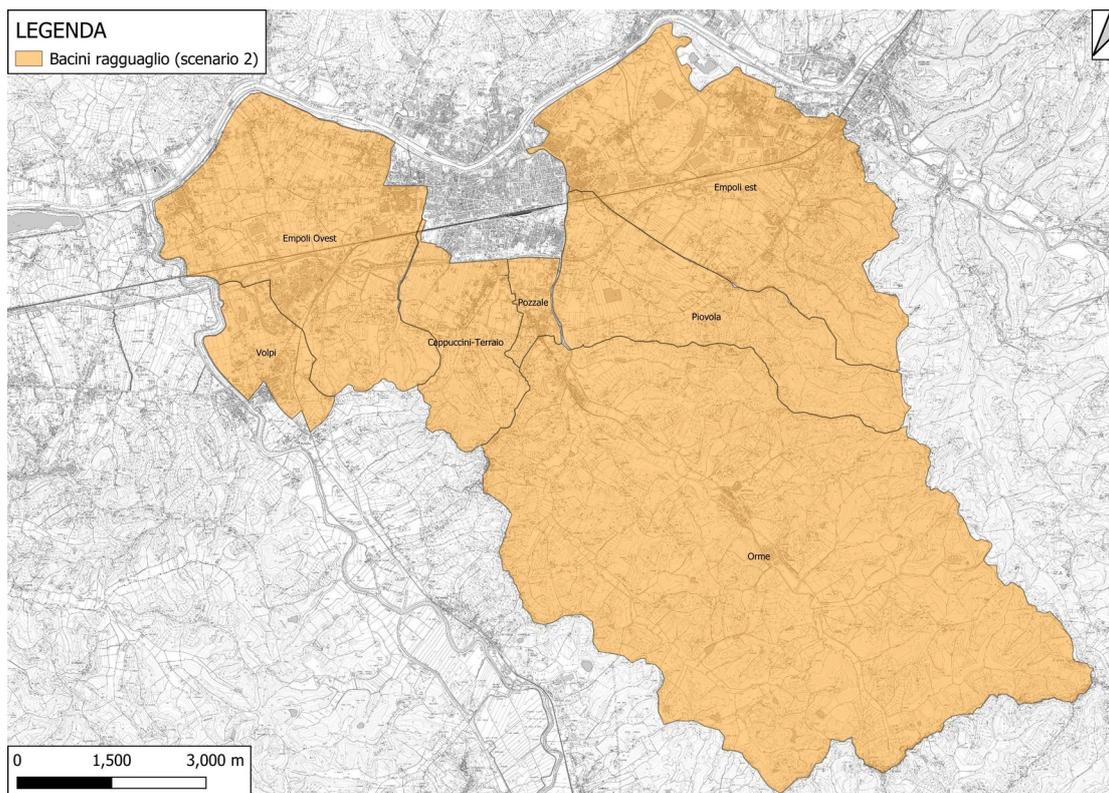


Figura 10: Inquadramento aree di calcolo del coefficiente di ragguglio (scenario Orme 2)

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

Per quel che riguarda le piogge di lunga durata (18, 24 e 36 h, di interesse per l'Arno e 9 e 14h, di interesse per l'Elsa), il coefficiente di ragguglio è stato valutato 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 a supporto del II RU di Empoli, dal quale si sono ripresi direttamente i coefficienti.

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i valori dei parametri di calcolo del coefficiente di ragguglio areale.

Area di ragguglio	$a$	$A$ [km <sup>2</sup> ]	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
<i>Orme-Piovola (Scenario 1)</i>	<i>22.27</i>	<i>27.48</i>	<i>0.802</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Orme monte (Scenario 1)</i>	<i>22.29</i>	<i>21.96</i>	<i>0.802</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Orme (Scenario 2)</i>	<i>22.23</i>	<i>41.4</i>	<i>0.800</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Piovola (Scenario 2)</i>	<i>22.59</i>	<i>8.04</i>	<i>0.813</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Pozzale</i>	<i>22.24</i>	<i>0.96</i>	<i>0.801</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Cappuccini-Terraio</i>	<i>22.64</i>	<i>4.47</i>	<i>0.815</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Empoli Ovest</i>	<i>22.61</i>	<i>12.6</i>	<i>0.814</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Volpi</i>	<i>22.72</i>	<i>2.53</i>	<i>0.818</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>
<i>Empoli Est</i>	<i>22.7</i>	<i>15.7</i>	<i>0.817</i>	<i>0.25</i>	<i>0.01</i>

*Tabella 3: Parametri di calcolo fattori di ragguglio*

### **3.3. 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).

Nella definizione dei metodi di calcolo delle perdite si è effettuata una distinzione tra bacini collinari e bacini di acque basse, in analogia gli studi pregressi sull'area.

#### **3.3.1. Bacini collinari: metodo initial/costant**

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

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

valore del tasso di infiltrazione  $K_s$ . Per la stima di tali parametri si è seguito l'approccio codificato nel modello AI.To 2000:

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

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot (\% \text{area boscata})$$

- 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 11 seguente si riporta la copertura delle aree boscate per il territorio di studio.

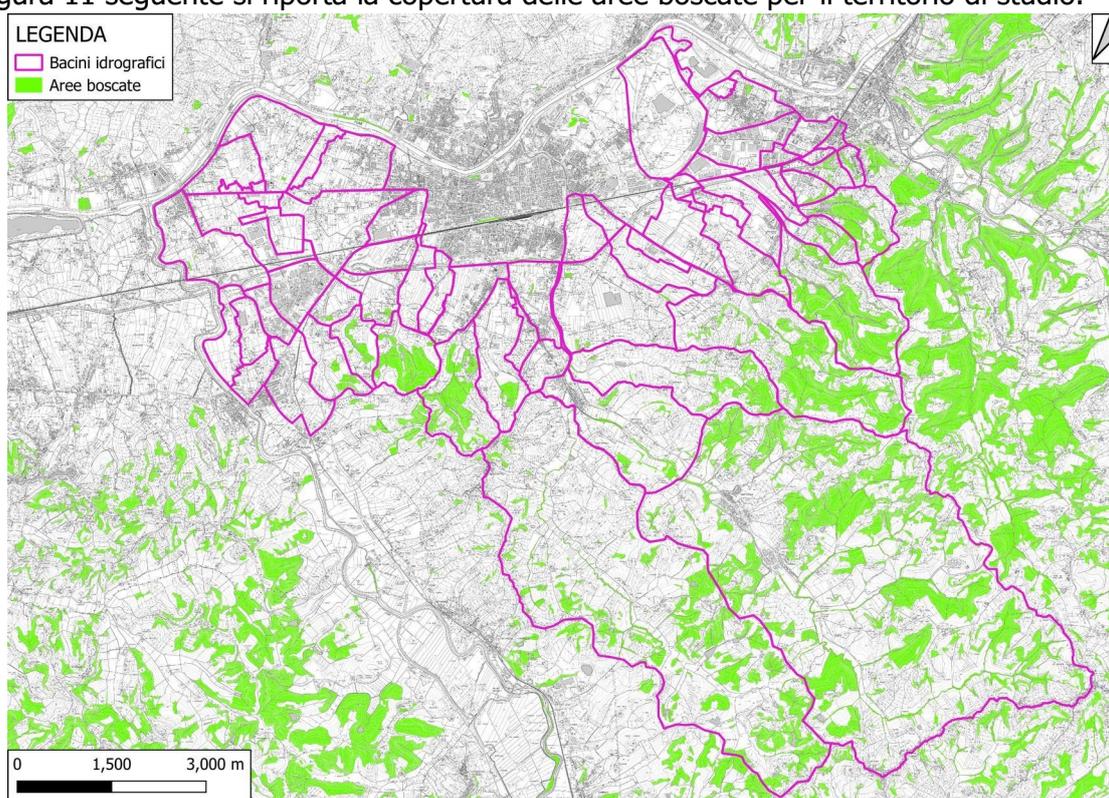


Figura 11: Individuazione delle aree boscate sulla base dello strato informativo della Regione Toscana

Per la determinazione del tasso di infiltrazione è stata considerata la carta del continuum geologico elaborata dalla Regione Toscana. Ad ogni formazione litologica è stato associato un corrispondente valore di  $K_s$  sulla base della seguente Tabella 4. I valori riportati in tabella sono stati ripresi dagli studi pregressi condotti sull'area e da dati di letteratura. .

In Errore: sorgente del riferimento non trovata è riportato l'estratto della carta litologica relativamente all'area di interesse.

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

<b>Sigla cartografica</b>	<b>Nome ULF</b>	<b>K<sub>s</sub> [mm/h]</b>
<i>b</i>	<i>Depositi alluvionali attuali</i>	<i>0.00000</i>
<i>bna</i>	<i>Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati</i>	<i>0.00000</i>
<i>bnb</i>	<i>Depositi alluvionali terrazzati</i>	<i>0.00000</i>
<i>FAA</i>	<i>Argille azzurre</i>	<i>0.00000</i>
<i>FAAb</i>	<i>Argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose con fossili marini</i>	<i>1.40979</i>
<i>MAC</i>	<i>Macigno</i>	<i>1.55000</i>
<i>MACa</i>	<i>Olistostromi di materiale ligure e subligure</i>	<i>0.00000</i>
<i>MACb</i>	<i>Arenarie zonate</i>	<i>1.55000</i>
<i>MAcc</i>	<i>Marne di S.Polo</i>	<i>0.00000</i>
<i>PLIb</i>	<i>Conglomerati marini poligenici</i>	<i>0.95551</i>
<i>PLIs</i>	<i>Sabbie e arenarie gialle</i>	<i>2.32500</i>
<i>SIL</i>	<i>Formazione di Sillano</i>	<i>0.00000</i>
<i>VILa</i>	<i>Conglomerati e ciottolami poligenici</i>	<i>0.77500</i>
<i>VILb</i>	<i>Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi</i>	<i>2.32500</i>
<i>VILc</i>	<i>Argille e argille sabbiose lignitifere lacustri e fluvio-lacustri</i>	<i>0.00000</i>
<i>VILe</i>	<i>Sabbie e conglomerati</i>	<i>2.32500</i>
<i>VILg</i>	<i>Conglomerati e ciottolami ad elementi arenacei</i>	<i>0.77500</i>
<i>VILh</i>	<i>Limi argilloso-sabbiosi ed argille sabbiose</i>	<i>0.00000</i>

Tabella 4: Valori del coefficiente K<sub>s</sub> in base alle formazioni litologiche.

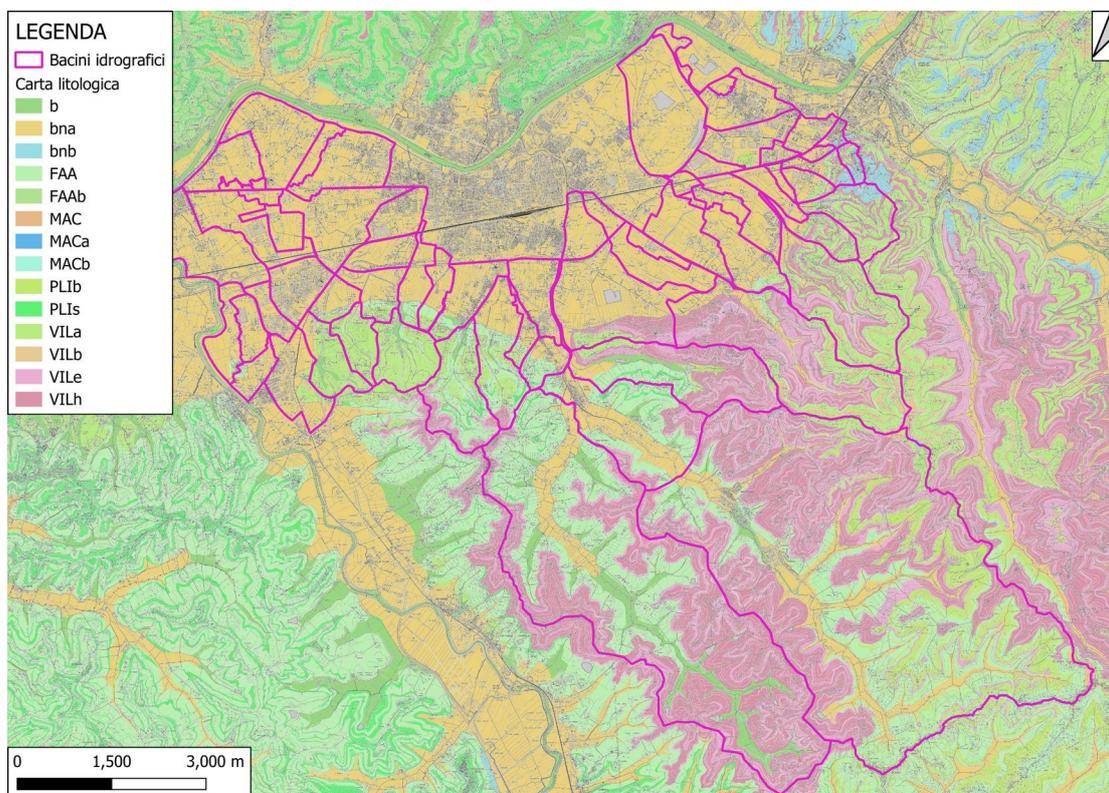


Figura 12: Estratto della carta del continuum geologico elaborato dalla Regione Toscana relativo all'area di interesse.

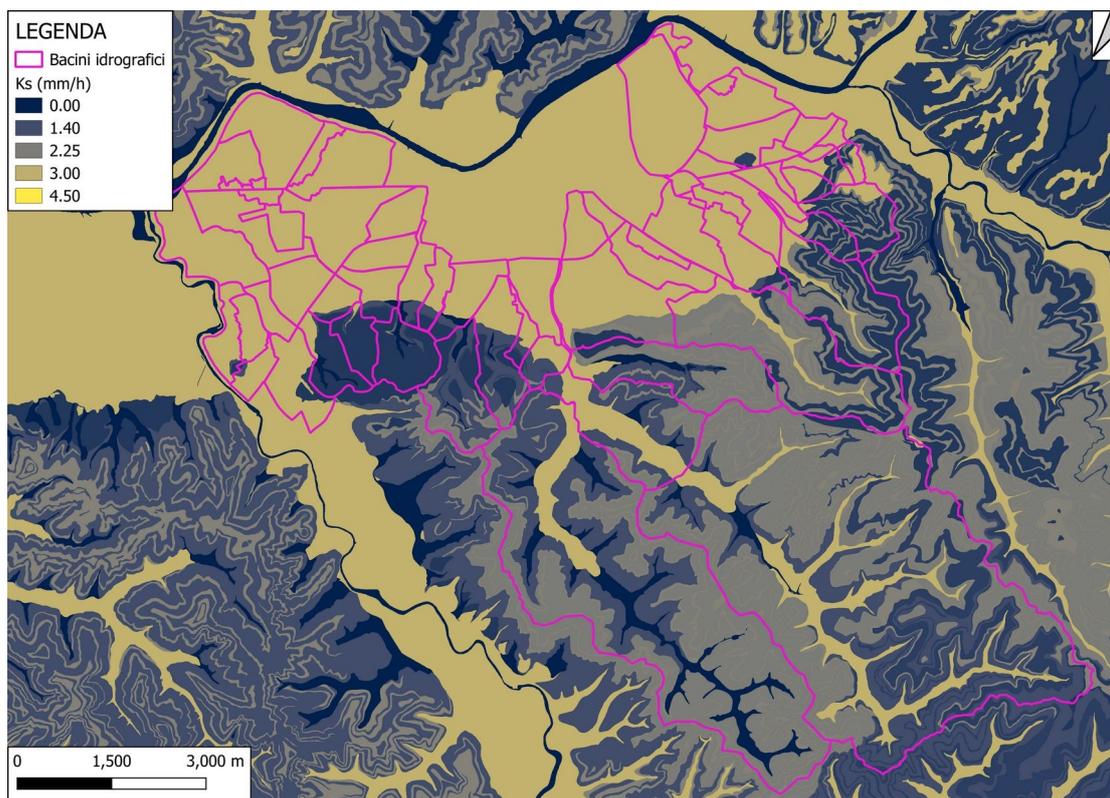


Figura 13: Rappresentazione grafica dei valori di  $K_s$ .

Nella seguente Tabella 5 sono riportati i valori della percentuale di area boscata per ciascun bacino e i valori dei parametri  $I_a$  e  $K_s$ .

Bacino	% area boscata [%]	$I_a$ [mm]	$K_s$ [mm/h]
Rio Cappuccini	36.76	11.59	0.99
Rio Terraio	6.8	4.73	0.99
Friano 1	10.95	5.72	1
S. Maria	44.17	13.57	1
Stella 1	17.42	7.15	1
Volpi 4	0.3	3.3	3.05
Volpi 5	0	3.3	3.05
Montemagnoli	18.06	5.76	0.73
Orme_1	16.92	7.21	0.8
Orme_2	7.24	8.62	0.8
Orme_Monte	27.85	8.62	0.8
Piovola 2	35.47	11.26	1.05
Borro di Montecuccoli	19,00	7.45	2.417
Castellucci Ovest	0,00	3.30	3.100
Citerna	2,00	3.73	3.100
MV35475	3,00	3.98	3.100
MV35568	11,00	5.73	2.493
Rio Bottini_1	19,00	7.42	2.093
Rio Bottini_2	9,00	5.73	3.589

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

Bacino	% area boscata [%]	I <sub>a</sub> [mm]	K <sub>s</sub> [mm/h]
Rio della Pratella	22,00	8.13	1.657
Rio Grande 0	48,00	13.80	1.650
Rio Grande 1	0,00	3.30	3.018
Rio Grande 2	0,00	3.30	3.100
Sammontana 1	41,00	12.25	0.824
Sammontana 2	0,00	3.30	3.100
Sammontana 3	0,00	3.30	3.019

Tabella 5: Parametri per la stima delle perdite per i bacini collinari.

### 3.3.2. Bacini di pianura: coefficienti di deflusso

I bacini di pianura sono quelli relativi al reticolo di acque basse. Per questi bacini la stima delle perdite è stata eseguita valutando il coefficiente di deflusso, 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<sub>net</sub> volume specifico (mm) di pioggia netta, P volume specifico affluito, C<sub>d</sub> coefficiente di deflusso del bacino.

La stima del coefficiente di deflusso è stato stimato adottando la stessa metodologia seguita nello studio 2012 del Genio Civile (C<sub>d</sub> = 0.5 per terreni agricoli di pianura, C<sub>d</sub> = 0.8 per piccole aree urbane residenziali con aree a verde, C<sub>d</sub> = 0.9 per aree urbane impermeabili).

Bacino	C <sub>d</sub>
Corniola	0.55
MV36652	0.61
MV36789	0.61
Cinotti Est	0.5
Cinotti ovest	0.5
Friano 2	0.52
Lucchese Est	0.52
Lucchese Ovest	0.52
Lucchese Sud	0.52
MV35771	0.63
MV36072	0.67
Pagnana 1	0.5
Pagnana 2	0.69
Pagnana 3	0.52
Riottoli	0.55
Stella 2	0.5
Vitiana 0	0.5
Vitiana 1	0.5
Vitiana 2 Monte	0.55
Vitiana 2 valle	0.55
Volpi 1	0.5
Volpi 2	0.5

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

<b>Bacino</b>	<b>C<sub>d</sub></b>
Volpi 3	0.5
MV35780	0.5
Piovola 1	0.5
Pratella	0.5
Pratella Area Industriale	0.5
Bacino 3	0.54
Fibbiana	0.66
Fosso Fibbiana	0.50
MV35177	0.55
MV35666	0.57
MV50194	0.60
MV50195	0.54
Rio delle Caselle_1	0.56
Rio delle Caselle_2	0.67

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

### **3.4. Trasformazione afflussi netti – deflussi**

Per la trasformazione afflussi netti deflussi sono stati impiegati due metodi differenti: per i bacini collinari è stato impiegato il metodo dell'idrogramma unitario di Nash, mentre per i bacini di pianura si è ricorso al metodo razionale.

In entrambi i casi è necessario conoscere il valore del tempo di corrivazione. Per i bacini collinari è inoltre richiesta anche la conoscenza dei parametri n e k di Nash, calcolabili in base alle caratteristiche geomorfologiche del bacino.

#### **3.4.1. 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 per i bacini di pianura è stata condotta con lo stesso approccio seguito negli studi pregressi sul territorio del Comune di Empoli.

Per i bacini di pianura il tempo di corrivazione T<sub>c</sub> è valutato 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 Genio Civile 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 .

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

<b>Bacino</b>	<b>T<sub>c</sub> [h]</b>
<i>Corniola</i>	<i>3.66</i>
<i>MV36652</i>	<i>1.63</i>
<i>MV36789</i>	<i>3.44</i>
<i>Cinotti Est</i>	<i>2.05</i>
<i>Cinotti ovest</i>	<i>2.1</i>
<i>Friano 2</i>	<i>5.93</i>
<i>Lucchese Est</i>	<i>0.37</i>
<i>Lucchese Ovest</i>	<i>0.57</i>
<i>Lucchese Sud</i>	<i>0.97</i>
<i>MV35771</i>	<i>4.67</i>
<i>MV36072</i>	<i>2.82</i>
<i>Pagnana 1</i>	<i>2.14</i>
<i>Pagnana 2</i>	<i>3.5</i>
<i>Pagnana 3</i>	<i>6.46</i>
<i>Riottoli</i>	<i>1.61</i>
<i>Stella 2</i>	<i>2.22</i>
<i>Vitiana 0</i>	<i>2.99</i>
<i>Vitiana 1</i>	<i>2.62</i>
<i>Vitiana 2 Monte</i>	<i>9.87</i>
<i>Vitiana 2 valle</i>	<i>5.43</i>
<i>Volpi 1</i>	<i>2.96</i>
<i>Volpi 2</i>	<i>1.97</i>
<i>Volpi 3</i>	<i>2.03</i>
<i>MV35780</i>	<i>3.56</i>
<i>Piovola 1</i>	<i>10.64</i>
<i>Pratella</i>	<i>3.46</i>
<i>Pratella Area Industriale</i>	<i>1.37</i>
<i>Bacino 3</i>	<i>7.39</i>
<i>Fibbiana</i>	<i>3.29</i>
<i>Fosso Fibbiana</i>	<i>1.71</i>
<i>MV35177</i>	<i>1.41</i>
<i>MV35666</i>	<i>5.4</i>
<i>MV50194</i>	<i>2.85</i>
<i>MV50195</i>	<i>5.09</i>
<i>Rio delle Caselle_1</i>	<i>6.85</i>
<i>Rio delle Caselle_2</i>	<i>1.78</i>

*Tabella 7: Tempo di corrivazione per i bacini di pianura*

Di seguito sono riportati i valori del tempo di corrivazione per i bacini collinari, ripresi direttamente ove disponibili dagli studi pregressi ed integrati ove necessario prendendo in esame le seguenti relazioni:

$$T_c = \frac{L m^{0.8} \cdot \left( \left( \frac{1000}{(CN)^2} - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{(1140 \cdot S w^{0.5})} \quad \text{US SCS}$$

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

$$T_c = \frac{0.26}{0.6} \cdot \left( \frac{L^{0.82} \cdot (1 + S_{02})^{0.13}}{S_w^{0.2}} \right)$$

Bocchiola, De Michele, Pecora, Rosso

con L lunghezza dell'asta principale in m, A area del bacino in km<sup>2</sup>, Sw pendenza media del bacino, T<sub>c</sub> espresso in ore, CN2 valore del Curve Number, S02 valore della ritenzione idrica associata al CN2 espresso in mm.

Per i bacini collinari è stato scelto un valore medio tra i valori forniti dalle formule di Bocchiola et al. e US SCS, mentre per i bacini di valle pianeggianti è stato scelto il valore fornito dalla formula di Ongaro.

Il valore ottenuto con i diversi metodi è stato anche confrontato con i tempi di scorrimento sui versanti e nel canale lungo il massimo percorso idraulico, effettuando il calcolo del tempo di percorrenza attraverso il percorso idraulico più lungo dei diversi bacini (suddiviso in tratti omogenei di lunghezza L<sub>i</sub>), valutando per ogni tratto la velocità V<sub>i</sub> della corrente in condizioni di piena utilizzando la formula di Manning per il deflusso in canali e corsi d'acqua e la formula dell'*overland flow* per il moto delle particelle d'acqua sui versanti, secondo la relazione:

$$T_c = \sum \frac{L_i}{V_i}$$

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

<b>Bacino</b>	<b>T<sub>c</sub> [h]</b>
<i>Rio Cappuccini</i>	1.08
<i>Rio Terraio</i>	1.33
<i>Friano 1</i>	1.08
<i>S. Maria</i>	1.08
<i>Stella 1</i>	1.08
<i>Volpi 4</i>	0.52
<i>Volpi 5</i>	0.3
<i>MV32807</i>	0.67
<i>Montemagnoli</i>	3.81
<i>Orme_1</i>	1.17
<i>Orme_2</i>	3.64
<i>Orme_Monte</i>	3.64
<i>Piovola 2</i>	1.23
<i>Borri di Montecuccoli</i>	0.36
<i>Castellucci Ovest</i>	1.41
<i>Citerna</i>	0.38
<i>MV35475</i>	0.33
<i>MV35568</i>	0.35
<i>Rio Bottini_1</i>	0.19
<i>Rio Bottini_2</i>	0.34
<i>Rio della Pratella</i>	0.73
<i>Rio Grande 0</i>	1.23
<i>Rio Grande 1</i>	1.77
<i>Rio Grande 2</i>	1.77
<i>Sammontana 1</i>	1.41
<i>Sammontana 2</i>	1.41
<i>Sammontana 3</i>	1.41

Tabella 8: Tempo di corrivazione per i bacini collinari

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

### 3.4.2. Bacini collinari: idrogramma unitario di Nash

Per la trasformazione afflussi-deflussi dei bacini collinari 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  $0.6 \cdot T_c$ , con  $T_c$ =tempo di corrivazione del bacino). Nella presente analisi sono impiegati gli stessi valori dei parametri n e k usati negli studi pregressi, laddove presenti. Per i bacini di nuova definizione 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.

Bacino	n	k
Rio Cappuccini	2.96	0.22
Rio Terraio	2.96	0.27
Friano 1	2.96	0.22
S. Maria	2.96	0.22
Stella 1	2.96	0.22
Volpi 4	3.07	0.1
Volpi 5	3.07	0.06
Montemagnoli	3.39	0.67
Orme_1	2.59	0.27
Orme_2	3.19	0.69
Orme_Monte	3.19	0.69
Piovola 2	2.48	0.3
MV38598	2.36	0.12
MV38859	2.37	0.09
MV38887	2.35	0.12
Borri di Montecuccoli	3.40	0.064
Castellucci Ovest	2.49	0.340
Citerna	4.01	0.060
MV35475	2.59	0.077
MV35568	3.72	0.057
Rio Bottini_1	3.41	0.033
Rio Bottini_2	3.74	0.055
Rio della Pratella	2.81	0.155
Rio Grande 0	3.22	0.230

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

Bacino	n	k
Rio Grande 1	2.85	0.373
Rio Grande 2	2.85	0.373
Sammontana 1	2.49	0.340
Sammontana 2	2.49	0.340
Sammontana 3	2.49	0.340

Tabella 9 parametri n e k dell'idrogramma di Nash per i bacini collinari

### 3.4.3. Bacini di pianura: idrogramma della corrivazione

Per la trasformazione afflussi netti-deflussi per i bacini di pianura si è ricorsi all'idrogramma unitario della corrivazione, in analogia agli studi pregressi sull'area, per cui la portata di picco è data da:

$$Q = \frac{C_d \cdot h \cdot A}{T_c}$$

Con  $C_d$  coefficiente di deflusso, h altezza di pioggia, A area del bacino e  $T_c$  tempo di corrivazione. L'idrogramma di piena può essere ricavato considerando la seguente espressione dell'idrogramma unitario istantaneo:

$$u(t) = \frac{1}{A} \cdot \frac{dA(t)}{dt}$$

dove con  $A(t)$  si indica la legge di variazione dell'area scolante nel tempo, ipotizzata lineare nel caso in esame. Gli idrogrammi unitari sono stati inseriti su HMS come *Unit Hydrograph Curves*.

### 3.5. Risultati della modellazione idrologica

Sulla base di quanto sopra esposto sono stati implementati i modelli idrologici per tempi di ritorno 30 e 200 anni. Per ogni bacino sono state considerate le durate di pioggia significative per la successiva definizione delle aree di esondazione.

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 per i bacini considerati nell'analisi.

<b>Bacino</b>	<b>TR030TP01 H</b>	<b>TR030TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR030TP04 H</b>	<b>TR030TP06 H</b>	<b>TR030TP07 H</b>	<b>TR030TP09 H</b>	<b>TR030TP14 H</b>	<b>TR030TP18 H</b>	<b>TR030TP24 H</b>	<b>TR030TP36 H</b>
<i>Rio Cappuccini</i>	15.35	-	8.86	-	5.19	-	-	-	1.62	1.27	0.89
<i>Rio Terraio</i>	12.84	-	7.47	-	4.34	-	-	-	1.32	1.03	0.7
<i>Corniola</i>	1.6	-	2.16	-	1.58	-	-	-	0.57	0.47	0.37
<i>MV36652</i>	1.32	-	0.94	-	0.56	-	-	-	0.2	0.16	0.12
<i>MV36789</i>	1.72	-	2.26	-	1.54	-	-	-	0.54	0.45	0.34
<i>Friano 1</i>	7.82	5.61	4.16	-	-	2.15	-	1.21	0.76	0.59	0.41
<i>S. Maria</i>	8.78	6.94	5.2	-	-	2.65	-	1.48	0.92	0.71	0.48
<i>Stella 1</i>	5.75	4.18	3.1	-	-	1.59	-	0.89	0.56	0.43	0.3
<i>Volpi 4</i>	4.32	2.52	1.81	-	-	0.86	-	0.41	0.2	0.12	0.03
<i>Volpi 5</i>	12.45	7.4	5.35	-	-	2.53	-	1.2	0.57	0.33	0.06
<i>Cinotti Est</i>	1.33	1.6	1.22	-	-	0.65	-	0.39	0.26	0.22	0.17
<i>Cinotti ovest</i>	1.66	1.99	1.54	-	-	0.82	-	0.49	0.33	0.27	0.21
<i>Friano 2</i>	1.69	2.05	2.29	-	-	2.45	-	1.48	1.01	0.84	0.64
<i>Lucchese Est</i>	0.25	0.15	0.11	-	-	0.06	-	0.04	0.03	0.02	0.02
<i>Lucchese Ovest</i>	0.43	0.26	0.19	-	-	0.1	-	0.06	0.04	0.04	0.03
<i>Lucchese Sud</i>	0.87	0.53	0.39	-	-	0.21	-	0.13	0.09	0.07	0.06
<i>MV35771</i>	1.93	2.32	2.59	-	-	2.17	-	1.3	0.89	0.74	0.56
<i>MV36072</i>	1.71	2.07	2.17	-	-	1.18	-	0.71	0.49	0.4	0.31
<i>Pagnana 1</i>	1.13	1.36	1.08	-	-	0.58	-	0.35	0.24	0.2	0.15
<i>Pagnana 2</i>	1.86	2.23	2.49	-	-	1.56	-	0.93	0.63	0.52	0.4
<i>Pagnana 3</i>	1.78	2.15	2.41	-	-	2.82	-	1.7	1.16	0.96	0.74
<i>Riottoli</i>	1.13	1.1	0.82	-	-	0.44	-	0.27	0.18	0.15	0.12
<i>Stella 2</i>	1.18	1.44	1.2	-	-	0.66	-	0.4	0.27	0.23	0.18
<i>Vitiana 0</i>	1.25	1.49	1.65	-	-	0.88	-	0.53	0.36	0.29	0.23
<i>Vitiana 1</i>	1.22	1.48	1.45	-	-	0.79	-	0.48	0.32	0.27	0.21

<b>Bacino</b>	<b>TR030TP01 H</b>	<b>TR030TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR030TP04 H</b>	<b>TR030TP06 H</b>	<b>TR030TP07 H</b>	<b>TR030TP09 H</b>	<b>TR030TP14 H</b>	<b>TR030TP18 H</b>	<b>TR030TP24 H</b>	<b>TR030TP36 H</b>
<i>Vitiana 2 Monte</i>	1	1.2	1.34	-	-	1.69	-	1.44	0.98	0.81	0.62
<i>Vitiana 2 valle</i>	1.78	2.15	2.4	-	-	2.36	-	1.42	0.97	0.81	0.62
<i>Volpi 1</i>	1.26	1.53	1.7	-	-	0.92	-	0.56	0.39	0.33	0.25
<i>Volpi 2</i>	1.37	1.62	1.21	-	-	0.65	-	0.39	0.27	0.22	0.17
<i>Volpi 3</i>	1.06	1.26	0.95	-	-	0.51	-	0.3	0.21	0.17	0.13
<i>Montemagnoli</i>	46.21	53.05	-	49.11	-	-	-	-	14.38	11.38	8.05
<i>Orme_1</i>	20.84	16.6	-	10.26	-	-	-	-	2.65	2.09	1.47
<i>Orme_2</i>	8.61	10.05	-	9.45	-	-	-	-	2.73	2.15	1.5
<i>Orme_Monte</i>	80.86	91.93	-	84.26	-	-	-	-	22.52	17.72	12.39
<i>Piovola 2</i>	32.1	25.69	-	15.58	-	-	-	-	3.3	2.39	1.39
<i>MV35780</i>	1.18	1.44	-	1.17	-	-	-	-	0.35	0.29	0.22
<i>Piovola 1</i>	1.34	1.63	-	2	-	-	-	-	1.56	1.29	0.98
<i>Pratella</i>	1.16	1.42	-	1.48	-	-	-	-	0.44	0.36	0.27
<i>Pratella Area Industriale</i>	0.88	0.73	-	0.44	-	-	-	-	0.13	0.11	0.08
<i>Bacino 3</i>	2.56	-	3.41	-	4.1	-	3.73	-	1.8	1.49	1.13
<i>MV50194</i>	0.65	-	0.82	-	0.49	-	0.36	-	0.17	0.14	0.11
<i>Rio delle Caselle_2</i>	1.01	-	1.33	-	1.6	-	1.35	-	0.65	0.54	0.41
<i>Rio delle Caselle_1</i>	0.63	-	0.5	-	0.3	-	0.22	-	0.11	0.09	0.07
<i>MV35666</i>	0.94	-	1.24	-	1.34	-	0.99	-	0.47	0.39	0.3
<i>MV50195</i>	1.3	-	1.71	-	1.74	-	1.29	-	0.64	0.52	0.4
<i>Rio Grande 2</i>	1.73	1.12	-	0.60	0.39	0.09	0.04	0.00	<i>Rio Grande 2</i>	1.73	1.12
<i>Rio Grande 1</i>	2.53	1.63	-	0.87	0.57	0.13	0.05	0.00	<i>Rio Grande 1</i>	2.53	1.63
<i>Rio Grande 0</i>	17.37	13.08	-	7.52	5.26	2.03	1.48	0.86	<i>Rio Grande 0</i>	17.37	13.08
<i>Rio delle Caselle_2</i>	0.63	0.50	-	0.30	0.22	0.11	0.09	0.07	<i>Rio delle Caselle_2</i>	0.63	0.50
<i>Rio delle Caselle_1</i>	1.01	1.33	-	1.60	1.35	0.65	0.54	0.41	<i>Rio delle Caselle_1</i>	1.01	1.33

<b>Bacino</b>	<b>TR030TP01 H</b>	<b>TR030TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR030TP04 H</b>	<b>TR030TP06 H</b>	<b>TR030TP07 H</b>	<b>TR030TP09 H</b>	<b>TR030TP14 H</b>	<b>TR030TP18 H</b>	<b>TR030TP24 H</b>	<b>TR030TP36 H</b>
<i>Rio della Pratella</i>	6.23	2.73	-	1.52	1.06	0.42	0.30	0.17	<i>Rio della Pratella</i>	6.23	2.73
<i>Rio Bottini_2</i>	1.41	0.55	-	0.28	0.18	0.03	0.00	0.00	<i>Rio Bottini_2</i>	1.41	0.55
<i>Rio Bottini_1</i>	2.15	0.87	-	0.48	0.33	0.12	0.08	0.04	<i>Rio Bottini_1</i>	2.15	0.87
<i>MV50195</i>	1.30	1.71	-	1.74	1.29	0.64	0.52	0.40	<i>MV50195</i>	1.30	1.71
<i>MV50194</i>	0.65	0.82	-	0.49	0.36	0.17	0.14	0.11	<i>MV50194</i>	0.65	0.82
<i>MV35666</i>	0.94	1.24	-	1.34	0.99	0.47	0.39	0.30	<i>MV35666</i>	0.94	1.24
<i>MV35568</i>	3.63	1.47	-	0.79	0.53	0.15	0.09	0.02	<i>MV35568</i>	3.63	1.47
<i>MV35475</i>	1.00	0.39	-	0.21	0.13	0.03	0.01	0.00	<i>MV35475</i>	1.00	0.39
<i>MV35177</i>	0.47	0.26	-	0.16	0.12	0.06	0.05	0.04	<i>MV35177</i>	0.47	0.26
<i>Fosso Fibbiana</i>	0.62	0.47	-	0.28	0.21	0.10	0.08	0.06	<i>Fosso Fibbiana</i>	0.62	0.47
<i>Sammontana 3</i>	6.74	3.86	-	2.06	1.35	0.33	0.16	0.00	<i>Sammontana 3</i>	6.74	3.86
<i>Sammontana 2</i>	1.20	0.67	-	0.36	0.23	0.05	0.02	0.00	<i>Sammontana 2</i>	1.20	0.67
<i>Sammontana 1</i>	7.64	5.43	-	3.19	2.29	1.06	0.83	0.58	<i>Sammontana 1</i>	7.64	5.43
<i>Fibbiana</i>	1.93	2.55	-	1.83	1.35	0.67	0.55	0.42	<i>Fibbiana</i>	1.93	2.55
<i>Citerna</i>	3.86	1.54	-	0.81	0.53	0.12	0.05	0.00	<i>Citerna</i>	3.86	1.54
<i>Castellucci Ovest</i>	1.02	0.58	-	0.31	0.20	0.04	0.02	0.00	<i>Castellucci Ovest</i>	1.02	0.58
<i>Borro Montecuccoli</i>	3.80	1.54	-	0.83	0.56	0.18	0.11	0.04	<i>Borro Montecuccoli</i>	3.80	1.54
<i>Bacino 3</i>	2.56	3.41	-	4.10	3.73	1.80	1.49	1.13	<i>Bacino 3</i>	2.56	3.41

Tabella 10: Portate massime [m<sup>3</sup>/s] per i diversi scenari considerati.

<b>Bacino</b>	<b>TR200TP01 H</b>	<b>TR200TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR200TP04 H</b>	<b>TR200TP06 H</b>	<b>TR200TP07 H</b>	<b>TR200TP09 H</b>	<b>TR200TP14 H</b>	<b>TR200TP18 H</b>	<b>TR200TP24 H</b>	<b>TR200TP36 H</b>
<i>Rio Cappuccini</i>	22.52	-	12.87	-	7.75	-	-	-	2.98	2.13	1.57
<i>Rio Terraio</i>	18.31	-	10.85	-	6.48	-	-	-	2.44	1.74	1.26
<i>Corniola</i>	2.23	-	3.09	-	2.31	-	-	-	0.96	0.72	0.56
<i>MV36652</i>	1.83	-	1.34	-	0.81	-	-	-	0.32	0.24	0.19
<i>MV36789</i>	2.39	-	3.24	-	2.24	-	-	-	0.9	0.68	0.52
<i>Friano 1</i>	11.15	8.05	6.04	-	-	3.24	-	1.9	1.4	1	0.73
<i>S. Maria</i>	13.13	10.03	7.56	-	-	4	-	2.33	1.7	1.21	0.87
<i>Stella 1</i>	8.26	6	4.5	-	-	2.4	-	1.4	1.03	0.73	0.53
<i>Volpi 4</i>	6.12	3.69	2.72	-	-	1.38	-	0.75	0.52	0.32	0.19
<i>Volpi 5</i>	17.66	10.83	8.02	-	-	4.1	-	2.2	1.52	0.93	0.54
<i>Cinotti Est</i>	1.85	2.26	1.74	-	-	0.96	-	0.58	0.44	0.33	0.26
<i>Cinotti ovest</i>	2.31	2.81	2.21	-	-	1.2	-	0.73	0.55	0.41	0.32
<i>Friano 2</i>	2.36	2.9	3.28	-	-	3.59	-	2.2	1.69	1.26	0.98
<i>Lucchese Est</i>	0.35	0.21	0.16	-	-	0.09	-	0.05	0.04	0.03	0.02
<i>Lucchese Ovest</i>	0.59	0.37	0.28	-	-	0.15	-	0.09	0.07	0.05	0.04
<i>Lucchese Sud</i>	1.21	0.75	0.56	-	-	0.31	-	0.19	0.15	0.11	0.09
<i>MV35771</i>	2.69	3.29	3.71	-	-	3.17	-	1.94	1.48	1.11	0.86
<i>MV36072</i>	2.37	2.93	3.11	-	-	1.72	-	1.06	0.81	0.61	0.47
<i>Pagnana 1</i>	1.58	1.92	1.55	-	-	0.85	-	0.52	0.39	0.29	0.23
<i>Pagnana 2</i>	2.59	3.16	3.56	-	-	2.28	-	1.39	1.06	0.79	0.61

<b>Bacino</b>	<b>TR200TP01 H</b>	<b>TR200TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR200TP04 H</b>	<b>TR200TP06 H</b>	<b>TR200TP07 H</b>	<b>TR200TP09 H</b>	<b>TR200TP14 H</b>	<b>TR200TP18 H</b>	<b>TR200TP24 H</b>	<b>TR200TP36 H</b>
<i>Pagnana 3</i>	2.47	3.05	3.45	-	-	4.12	-	2.54	1.94	1.46	1.13
<i>Riottoli</i>	1.58	1.56	1.17	-	-	0.65	-	0.4	0.3	0.23	0.18
<i>Stella 2</i>	1.65	2.05	1.71	-	-	0.96	-	0.59	0.46	0.34	0.27
<i>Vitiana 0</i>	1.74	2.12	2.36	-	-	1.29	-	0.78	0.59	0.45	0.34
<i>Vitiana 1</i>	1.7	2.1	2.07	-	-	1.15	-	0.71	0.54	0.41	0.32
<i>Vitiana 2 Monte</i>	1.39	1.71	1.92	-	-	2.47	-	2.14	1.63	1.22	0.95
<i>Vitiana 2 valle</i>	2.47	3.05	3.44	-	-	3.45	-	2.12	1.63	1.22	0.95
<i>Volpi 1</i>	1.75	2.17	2.43	-	-	1.35	-	0.84	0.65	0.49	0.38
<i>Volpi 2</i>	1.91	2.3	1.72	-	-	0.95	-	0.58	0.45	0.34	0.26
<i>Volpi 3</i>	1.47	1.79	1.36	-	-	0.74	-	0.45	0.35	0.26	0.2
<i>Montemagnoli</i>	67.53	78.14	-	72.74	-	-	-	-	25.78	18.62	13.76
<i>Orme_1</i>	30.2	23.9	-	15.05	-	-	-	-	4.78	3.44	2.53
<i>Orme_2</i>	12.92	15.08	-	14.12	-	-	-	-	4.93	3.54	2.6
<i>Orme_Monte</i>	120.17	137.07	-	125.46	-	-	-	-	40.63	29.23	21.46
<i>Piovola 2</i>	46.74	37.4	-	23.28	-	-	-	-	6.68	4.55	3.09
<i>MV35780</i>	1.64	2.04	-	1.69	-	-	-	-	0.58	0.44	0.34
<i>Piovola 1</i>	1.87	2.32	-	2.88	-	-	-	-	2.59	1.94	1.5
<i>Pratella</i>	1.62	2.01	-	2.14	-	-	-	-	0.72	0.54	0.42
<i>Pratella Area Industriale</i>	1.22	1.03	-	0.64	-	-	-	-	0.22	0.16	0.12
<i>Bacino 3</i>	3.57	-	4.89	-	5.97	-	5.5	-	2.7	2.25	1.73

<b>Bacino</b>	<b>TR200TP01 H</b>	<b>TR200TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR200TP04 H</b>	<b>TR200TP06 H</b>	<b>TR200TP07 H</b>	<b>TR200TP09 H</b>	<b>TR200TP14 H</b>	<b>TR200TP18 H</b>	<b>TR200TP24 H</b>	<b>TR200TP36 H</b>
<i>MV50194</i>	0.91	-	1.18	-	0.72	-	0.54	-	0.26	0.22	0.17
<i>Rio delle Caselle_2</i>	0.88	-	0.72	-	0.44	-	0.33	-	0.16	0.14	0.1
<i>Rio delle Caselle_1</i>	1.4	-	1.91	-	2.33	-	1.99	-	0.98	0.81	0.62
<i>MV35666</i>	1.31	-	1.78	-	1.95	-	1.46	-	0.71	0.59	0.45
<i>MV50195</i>	1.81	-	2.46	-	2.54	-	1.89	-	0.95	0.79	0.61
<i>Rio Grande 2</i>	2.50	1.69	0.97	-	0.67	0.23	0.16	0.08	<i>Rio Grande 2</i>	2.50	1.69
<i>Rio Grande 1</i>	3.65	2.46	1.40	-	0.97	0.33	0.23	0.11	<i>Rio Grande 1</i>	3.65	2.46
<i>Rio Grande 0</i>	26.63	19.36	11.48	-	8.29	3.62	2.81	1.91	<i>Rio Grande 0</i>	26.63	19.36
<i>Rio delle Caselle_2</i>	0.88	0.72	0.44	-	0.33	0.16	0.14	0.10	<i>Rio delle Caselle_2</i>	0.88	0.72
<i>Rio delle Caselle_1</i>	1.40	1.91	2.33	-	1.99	0.98	0.81	0.62	<i>Rio delle Caselle_1</i>	1.40	1.91
<i>Rio della Pratella</i>	8.87	4.02	2.33	-	1.67	0.74	0.58	0.39	<i>Rio della Pratella</i>	8.87	4.02
<i>Rio Bottini_2</i>	2.01	0.84	0.46	-	0.31	0.10	0.06	0.02	<i>Rio Bottini_2</i>	2.01	0.84
<i>Rio Bottini_1</i>	3.03	1.30	0.75	-	0.53	0.22	0.17	0.11	<i>Rio Bottini_1</i>	3.03	1.30
<i>MV50195</i>	1.81	2.46	2.54	-	1.89	0.95	0.79	0.61	<i>MV50195</i>	1.81	2.46
<i>MV50194</i>	0.91	1.18	0.72	-	0.54	0.26	0.22	0.17	<i>MV50194</i>	0.91	1.18
<i>MV35666</i>	1.31	1.78	1.95	-	1.46	0.71	0.59	0.45	<i>MV35666</i>	1.31	1.78
<i>MV35568</i>	5.13	2.19	1.25	-	0.88	0.33	0.24	0.14	<i>MV35568</i>	5.13	2.19
<i>MV35475</i>	1.42	0.60	0.33	-	0.23	0.08	0.05	0.03	<i>MV35475</i>	1.42	0.60
<i>MV35177</i>	0.65	0.38	0.23	-	0.17	0.09	0.07	0.06	<i>MV35177</i>	0.65	0.38
<i>Fosso Fibbiana</i>	0.86	0.68	0.41	-	0.31	0.15	0.13	0.10	<i>Fosso Fibbiana</i>	0.86	0.68

<b>Bacino</b>	<b>TR200TP01 H</b>	<b>TR200TP02 H</b>	<b>TR030TP03 H</b>	<b>TR200TP04 H</b>	<b>TR200TP06 H</b>	<b>TR200TP07 H</b>	<b>TR200TP09 H</b>	<b>TR200TP14 H</b>	<b>TR200TP18 H</b>	<b>TR200TP24 H</b>	<b>TR200TP36 H</b>
<i>Sammontana 3</i>	9.69	5.81	3.30	-	2.30	0.82	0.57	0.29	<i>Sammontana 3</i>	9.69	5.81
<i>Sammontana 2</i>	1.72	1.02	0.57	-	0.40	0.14	0.09	0.04	<i>Sammontana 2</i>	1.72	1.02
<i>Sammontana 1</i>	11.46	7.91	4.75	-	3.49	1.70	1.37	1.01	<i>Sammontana 1</i>	11.46	7.91
<i>Fibbiana</i>	2.69	3.66	2.67	-	1.99	1.00	0.83	0.64	<i>Fibbiana</i>	2.69	3.66
<i>Citerna</i>	5.48	2.33	1.30	-	0.90	0.31	0.21	0.10	<i>Citerna</i>	5.48	2.33
<i>Castellucci Ovest</i>	1.47	0.88	0.49	-	0.34	0.11	0.08	0.03	<i>Castellucci Ovest</i>	1.47	0.88
<i>Borro Montecuccoli</i>	5.37	2.30	1.30	-	0.92	0.37	0.27	0.16	<i>Borro Montecuccoli</i>	5.37	2.30
<i>Bacino 3</i>	3.57	4.89	5.97	-	5.50	2.70	2.25	1.73	<i>Bacino 3</i>	3.57	4.89

Tabella 11: Portate massime [m<sup>3</sup>/s] per i diversi scenari considerati. Bacini del Comune di Empoli (T<sub>r</sub> 200 anni)

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

## 4. RELAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica dei corsi d'acqua di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica per le aree oggetto di interesse è stata condotta mediante il software HEC-RAS (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. Per i corsi d'acqua dotati di alveo inciso di dimensioni apprezzabili si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso. Per gli altri corsi d'acqua riportati nel reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012, ma con dimensioni della sezione trasversale trascurabile ai fini delle analisi di rischio idraulico (dell'ordine di 0.3x0.3 m od inferiore) si è effettuata un'analisi puramente bidimensionale.

Per la definizione delle condizioni di pericolosità dell'area sono state effettuate più simulazioni, corrispondenti alle durate di pioggia critiche per i corsi d'acqua in esame.

I tratti oggetto di studio si estendono ben oltre le aree di interesse urbanistico, sia per quel che riguarda la modellazione monodimensionale che per quel che riguarda la modellazione bidimensionale, al fine di evitare effetti al contorno e sono quindi da ritenersi idraulicamente significativi.

Nel seguito, dopo una succinta esposizione delle caratteristiche dei modelli matematici implementati su HEC-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:

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

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

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

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.

#### 4.1.1. 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.

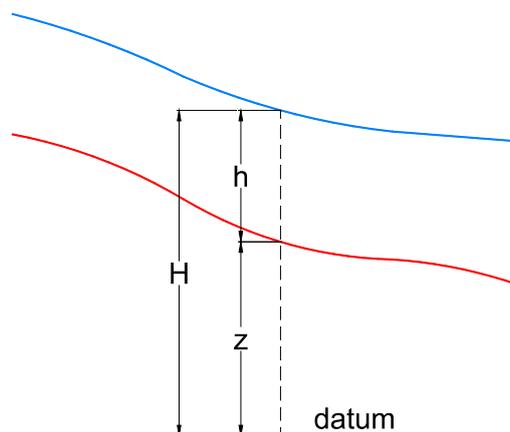


Figura 14: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con  $z(x,y)$  l'altezza idrica con  $h(x,y,t)$ ; la quota del pelo libero con  $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

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

PROGETTO:	ELABORATO:
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

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

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,  $\nu_t$  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:

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

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.

## **4.2. Modelli idraulici dell'area di studio: reticolo secondario di PGRA**

I corsi d'acqua oggetto di studio sono stati suddivisi in più modelli HEC-RAS, come di seguito

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

riportato.

- RAS\_Empoli\_Ovest
- RAS\_Cappuccini-Terraio
- RAS\_Orme-Piovola
- RAS\_Canale Maestro di Cortenuova

Le planimetrie di modellazione dei diversi modelli implementati sono riportate in allegato.

#### **4.2.1. Dati topografici di base**

La documentazione disponibile deriva dai dati di base già adottati negli studi pregressi, resi disponibili dal Comune di Empoli. Tali dati sono stati integrati con:

- per il Rio Caselle, Rio Pratella, MV35475, MV35568, MV35177, MV35666, MV50194, MV50195, Rio Montecuccoli e Rio Grande si sono adottati i rilievi topografici condotti da H.S. Ingegneria direttamente per il presente studio;
- rilievi topografici realizzati dal geometra A. Righi per i seguenti corsi d'acqua: MV35771, MV36789, MV36652 e MV35780.

Tutti i rilievi topografici utilizzati sono stati riferiti al piano quotato del Lidar della Regione Toscana.

Sono inoltre state effettuate sia verifiche di coerenza tra i diversi rilievi topografici disponibili, che verifiche di coerenza con i dati Lidar della Regione Toscana, tramite il rilievo di punti topograficamente significativi.

#### **4.2.2. Caratteristiche geometriche**

La geometria dei modelli idraulici è stata implementata utilizzando rilievi topografici diretti dell'alveo uniti ad i dati Lidar della Regione Toscana per quel che riguarda le aree golenali.

Per la definizione della geometria dei modelli si è operato nel seguente modo:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato. Per una più corretta definizione della geometria di progetto sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate e ricostruite anche sulla base dei dati LIDAR disponibili;
- Le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana disponibili per l'area di studio, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed i dati LIDAR. La rete di calcolo bidimensionale interessa le aree esterne all'alveo inciso ed è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle *lateral structure* da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle *lateral structure* è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR. Le strutture laterali sono state modellate come weir o con

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

l'opzione 2D equation a seconda delle loro caratteristiche geometriche e della stabilità del modello.

In presenza di tratti tombati di sezione ridotta si sono cautelativamente ipotizzate condizioni di occlusione dell'imbocco, condizione più che probabile nel caso di eventi estremi <sup>1</sup>. Tale ipotesi è stata effettuata per il corso d'acqua MV36652 nel comune di Empoli e MV35475 nel comune di Montelupo Fiorentino.

Per alcuni bacini minori (privi di reticolo idrografico significativo e con alveo di dimensione trascurabile) gli idrogrammi di piena sono stati assegnati, attraverso una condizione al contorno interna, direttamente alle aree 2D presenti nel modello idraulico. Rientrano in questa casistica i corsi d'acqua MV35780, Corniola ed il corso d'acqua relativo all'area di Cinotti.

#### **4.2.3. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata**

I coefficienti di scabrezza  $n$  di Manning sono stati fissati sia in funzione dei valori adottati negli studi pregressi, che 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  $n$ , considerando anche la possibilità che la piena possa avvenire in condizioni di non perfetta manutenzione del corso d'acqua.

Ai corsi d'acqua sono stati assegnati dei valori del coefficiente di manning, distinguendo tra alveo naturale 1D, aree golenali e tratti rivestiti o culvert. Per gli alvei naturali, tenendo conto del tipo di vegetazione e del grado di intromissione della vegetazione in alveo, sono stati assegnati valori variabili tra 0.022 e 0.05. Per le aree golenali, tenendo presenti i criteri già elencati per gli alvei naturali, sono stati assegnati valori compresi tra 0.025 e 0.04. Infine, per quanto riguarda i culvert o i tratti rivestiti sono stati assegnati valori compresi tra 0.014 e 0.02.

Per un'analisi più dettagliata sull'attribuzione dei coefficienti di manning ai differenti corsi d'acqua si rimanda al dettaglio delle sezioni negli allegati di RAS.

In merito ai coefficienti di perdita concentrata sono stati assegnati valori per contrazione/espansione pari a 0.1/0.3 per le sezioni correnti e variabili tra 0.3/0.5 e 0.5/0.7 in presenza di discontinuità (tipicamente attraversamenti), a seconda delle caratteristiche di variazione della sezione.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato 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.

<sup>1</sup> Si veda ad esempio Australian Rainfall e Runoff (ARR), Project 11, Blockage of Hydraulic Structures

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

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-irrigated 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 12: valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2014).

#### **4.2.4. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena**

Le condizioni al contorno di monte sono date dagli idrogrammi determinati in sede di analisi idrologica e precedentemente riportati. Il deflusso proveniente dagli interbacini è stato considerato come deflusso uniformemente distribuito sul tratto di studio.

Per gli affluenti dell'Arno e dell'Elsa le condizioni al contorno di valle, in analogia agli studi pregressi condotti sull'area in esame, sono state assegnate secondo i seguenti criteri:

- per scenari associati a durate di pioggia brevi (non critiche per i corsi d'acqua del reticolo principale di PGRA) si sono considerate condizioni di valle con sbocco a moto uniforme

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

(scala di deflusso Normal Depth) o in alcuni casi i livelli idrici (Stage Hydrograph) del corso d'acqua ricettore ;

- per scenari associati a durate di pioggia lunghe (critiche per l'asta dell'Arno) si è proceduto con la modellazione idraulica del reticolo minore per i corsi d'acqua muniti di paratoia/valvola a clapet allo sbocco, in modo da simulare le condizioni di pericolosità indotte dal reticolo minore nel caso di impossibilità di libero sbocco in Arno. Tale analisi è stata effettuata per i corsi d'acqua Canale Maestro di Cortenuova, Fosso di Fibbiana, Torrente Orme, Rio dei Cappuccini, Rio Sant'Anna, Rio di Vitiana, Rio di Pagnana e Rio di Friano
- per scenari associati a durate di pioggia lunghe (critiche per l'asta dell'Elsa) si è proceduto con la modellazione idraulica del reticolo minore per i corsi d'acqua muniti di paratoia/valvola a clapet allo sbocco, in modo da simulare le condizioni di pericolosità indotte dal reticolo minore nel caso di impossibilità di libero sbocco in Elsa. Tale analisi è stata effettuata per il Rio delle Volpi.

I dati relativi agli idrogrammi dei corsi d'acqua del reticolo principale sono stati trasmessi dalla competente Autorità di Bacino. Le seguenti tabelle riportano il dettaglio delle condizioni al contorno considerate per i diversi modelli realizzati.

<b>Reach</b>	<b>River Station/BC line</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Cortenuova 2</i>	<i>0.950</i>	<i>T.S. Gate Openings</i>
<i>Cortenuova 2</i>	<i>0.7</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>Fibbiana 1</i>	<i>0.26</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Fibbiana 2</i>	<i>0.17</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Fibbiana 2</i>	<i>0.0125</i>	<i>T.S. Gate Openings</i>
<i>Fibbiana 2</i>	<i>0.011</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>Montecuccoli 1</i>	<i>71.305</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV35177</i>	<i>51.2</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV35475</i>	<i>157</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV35475</i>	<i>151</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>MV35568</i>	<i>70.5</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV35666</i>	<i>56.25</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV35666</i>	<i>56.116</i>	<i>Elevation Controlled Gates</i>
<i>MV50194</i>	<i>39.39</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV50195</i>	<i>95.19</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Bottini</i>	<i>71</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Bottini</i>	<i>63</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Caselle 1.1</i>	<i>44.31</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Caselle 1.2</i>	<i>39.115</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

<b>Reach</b>	<b>River Station/BC line</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Grande 0</i>	<i>45</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Grande 2</i>	<i>9</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Pratella</i>	<i>41.47</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 3</i>	<i>133</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 2</i>	<i>111.9</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 2</i>	<i>106</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 1</i>	<i>54</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 1</i>	<i>32</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 1</i>	<i>28</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Sammontana 1</i>	<i>21</i>	<i>Uniform Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>2D1</i>	<i>BC Line: Immissione Interbacino 3</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>2D2</i>	<i>BC Line: Immissione Castellucci Ovest</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>2D2</i>	<i>BC Line: Immissione Rio Grande</i>	<i>Flow Hydrograph</i>

*Tabella 13: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS\_Canale Maestro di Cortenuova.*

<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>River Station</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Friano</i>	<i>Friano</i>	<i>68</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Friano</i>	<i>Friano</i>	<i>67</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Friano</i>	<i>Deviatore</i>	<i>4</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Friano</i>	<i>valle</i>	<i>35.8</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Friano</i>	<i>valle</i>	<i>33</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Friano</i>	<i>valle</i>	<i>0.95</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Friano</i>	<i>valle</i>	<i>0.8</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>MV35351</i>	<i>MV35351</i>	<i>25</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV36011</i>	<i>MV36011</i>	<i>734</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV36011</i>	<i>MV36011</i>	<i>17.5</i>	<i>Elevation Controlled Gates</i>
<i>MV36429</i>	<i>MV36429</i>	<i>269</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV36429</i>	<i>MV36429</i>	<i>32</i>	<i>Rating Curve</i>

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>River Station</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Pagnana</i>	<i>unico</i>	<i>134</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Pagnana</i>	<i>unico</i>	<i>133</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Pagnana</i>	<i>valle</i>	<i>10.8</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Pagnana</i>	<i>valle</i>	<i>10.8</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Pagnana</i>	<i>valle</i>	<i>0.6</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Pagnana</i>	<i>valle</i>	<i>0.2</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>Rio Stella</i>	<i>unico</i>	<i>49</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Rio Stella</i>	<i>unico</i>	<i>36</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Rio Stella_diver</i>	<i>diversivo</i>	<i>5</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Riottoli</i>	<i>Riottoli</i>	<i>5.40</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Sant'Anna</i>	<i>unico</i>	<i>30</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Sant'Anna</i>	<i>unico</i>	<i>27.48</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Sant'Anna</i>	<i>valle</i>	<i>0.9</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Sant'Anna</i>	<i>valle</i>	<i>0.8</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>Sant'Anna_diver</i>	<i>diversivo</i>	<i>6</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Monte</i>	<i>42</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Monte</i>	<i>41.8</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Monte</i>	<i>37</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Monte</i>	<i>34</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Valle</i>	<i>16</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Valle</i>	<i>13.2</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Valle</i>	<i>0.5</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Vitiana</i>	<i>Valle</i>	<i>0.2</i>	<i>Normal Depth</i>
<i>Volpi</i>	<i>Volpi</i>	<i>75</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Volpi</i>	<i>Volpi-Trattoest</i>	<i>65</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Volpi</i>	<i>VALLE</i>	<i>7.5</i>	<i>Elevation Controlled Gates</i>
<i>Volpi</i>	<i>VALLE</i>	<i>6</i>	<i>Stage Hydrograph</i>

*Tabella 14: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS\_Empoli\_Ovest;*

<b>2D Flow Area</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>BC Line Pagnana2</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>BC Line Pagnana1</i>	<i>Flow Hydrograph</i>

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

<i>VOLPI-1ASX</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>VOLPI-1DX</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>VOLPI-2DX</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>VOLPI-2SX</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>VOLPI-3DX</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>VOLPI-CASSAOVEST</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<b>2D Area Connections</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Volpi-Briglia1-d</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Volpi-Briglia1-s</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Volpi-Briglia2-d</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Volpi-Briglia2-s</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>
<i>Volpi-Idroforo</i>	<i>T.S.Gate Openings</i>

*Tabella 15: Condizioni al contorno 2D per il modello idraulico RAS\_Empoli\_Ovest;*

<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>River Station</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Orme</i>	<i>Monte</i>	<i>53</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Orme</i>	<i>Monte</i>	<i>52</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>
<i>Orme</i>	<i>Monte</i>	<i>39.5</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Orme</i>	<i>Monte</i>	<i>33.5</i>	<i>Lateral Inflow Hydrograph</i>
<i>Orme</i>	<i>Valle</i>	<i>0.5</i>	<i>Normal Depth/Stage Hydrograph (Per tp di 18h, 24h e 36h)</i>
<i>Piovola</i>	<i>Monte</i>	<i>1005</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Piovola</i>	<i>Valle</i>	<i>0.22</i>	<i>Elevation Controlled Gates</i>
<i>Pratella</i>	<i>unico</i>	<i>40</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Pratella</i>	<i>unico</i>	<i>15</i>	<i>Uniform Lateral Inflow</i>

*Tabella 16: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS\_Orme-Piovola;*

<b>BC Line</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>MV35780</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Piovola 1</i>	<i>Flow Hydrograph</i>

*Tabella 17: Condizioni al contorno 2D per il modello idraulico RAS\_Orme-Piovola;*

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	Relazione idrologico-idraulica

<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>River Station</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>MV36789</i>	<i>MV36789</i>	<i>1386</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV36789</i>	<i>MV36789</i>	<i>16.4</i>	<i>Rating curve</i>
<i>Rio dei Cappuccini</i>	<i>Rio dei Cappuccini</i>	<i>23.4</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Rio dei Cappuccini</i>	<i>Terraio</i>	<i>6</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>Rio dei Cappuccini</i>	<i>Cappuccini Valle</i>	<i>0.01</i>	<i>Normal Depth/Stage Hydrograph (Per tp di 18h, 24h e 36h)</i>

Tabella 18: Condizioni al contorno per il modello idraulico RAS\_Cappuccini-Terraio;

<b>BC Line</b>	<b>Condizione al contorno</b>
<i>Corniola</i>	<i>Flow Hydrograph</i>
<i>MV36652</i>	<i>Flow Hydrograph</i>

Tabella 19: Condizioni al contorno 2D per il modello idraulico RAS\_Cappuccini-Terraio;

#### **4.2.5. Impostazioni generali di calcolo**

Le simulazioni sono state effettuate adottando il modello completo 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 sono adottate sia le opzioni di Fixed Time Step che di Adaptive Time Step di RAS, con variazione dell'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 0.45 e 1.7 e intervalli di calcolo di base variabili nei diversi modelli tra 0.5 e 30 secondi.

#### **4.2.6. Scenari simulati**

Per ogni scenario di simulazione è stato implementato un diverso plan su RAS. Si sono simulati eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni; le durate di pioggia prese in esame sono quelle critiche per ciascun corso d'acqua oggetto di studio.

L'elenco di seguito riporta i plan relativi ai modelli dei corsi d'acqua oggetto di studio.

<b>ID Plan</b>	<b>Tp (h)</b>	<b>Tr [anni]</b>
<i>IC_TR30_TP01H</i>	<i>1</i>	<i>30</i>
<i>IC_TR30_TP03H</i>	<i>3</i>	<i>30</i>
<i>IC_TR30_TP06H</i>	<i>6</i>	<i>30</i>
<i>IC_TR30_TP09H</i>	<i>9</i>	<i>30</i>
<i>IC_TR30_TP18H</i>	<i>18</i>	<i>30</i>
<i>IC_TR30_TP24H</i>	<i>24</i>	<i>30</i>

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

IC_TR30_TP36H	36	30
IC_TR200_TP01H	1	200
IC_TR200_TP03H	3	200
IC_TR200_TP06H	6	200
IC_TR200_TP09H	9	200
IC_TR200_TP18H	18	200
IC_TR200_TP24H	24	200
IC_TR200_TP36H	36	200

Tabella 20: Quadro riassuntivo simulazioni RAS\_Canale Maestro di Cortenuova.

<b>ID Plan</b>	<b> Tp (h)</b>	<b> Tr [anni]</b>
TR030_TP01H	1	30
TR030_TP02H	2	30
TR030_TP03H	3	30
TR030_TP07H	7	30
TR030_TP14H	14	30
TR030_TP18H	18	30
TR030_TP24H	24	30
TR030_TP36H	36	30
TR200_TP01H	1	200
TR200_TP02H	2	200
TR200_TP03H	3	200
TR200_TP07H	7	200
TR200_TP14H	14	200
TR200_TP18H	18	200
TR200_TP24H	24	200
TR200_TP36H	36	200

Tabella 21: Quadro riassuntivo simulazioni RAS\_Empoli\_Ovest.

<b>ID Plan</b>	<b> Tp (h)</b>	<b> Tr [anni]</b>
IC_TR030_TP01H	1	30
IC_TR030_TP02H	2	30
IC_TR030_TP04H	4	30
IC_TR030_TP18H	18	30
IC_TR030_TP24H	24	30
IC_TR030_TP36H	36	30

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

<b>ID Plan</b>	<b>Tp (h)</b>	<b>Tr [anni]</b>
IC_TR200_TP01H	1	200
IC_TR200_TP02H	2	200
IC_TR200_TP04H	4	200
IC_TR200_TP18H	18	200
IC_TR200_TP24H	24	200
IC_TR200_TP36H	36	200

Tabella 22: Quadro riassuntivo simulazioni RAS\_Orme-Piovola.

<b>ID Plan</b>	<b>Tp (h)</b>	<b>Tr [anni]</b>
Cappuccini-Tr030-tp01h	1	30
Cappuccini-Tr030-tp03h	3	30
Cappuccini-Tr030-tp06h	6	30
Cappuccini-Tr030-tp18h	18	30
Cappuccini-Tr030-tp24h	24	30
Cappuccini-Tr030-tp36h	36	30
Cappuccini-Tr200-tp01h	1	200
Cappuccini-Tr200-tp03h	3	200
Cappuccini-Tr200-tp06h	6	200
Cappuccini-Tr200-tp18h	18	200
Cappuccini-Tr200-tp24h	24	200
Cappuccini-Tr200-tp36h	36	200

Tabella 23: Quadro riassuntivo simulazioni RAS\_Cappuccini-Terraio.

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

## **5. ANALISI DEI RISULTATI**

I risultati dettagliati delle simulazioni HEC-RAS effettuate sono riportati in allegato alla presente relazione. Le simulazioni condotte sono servite come base per la redazione delle cartografie di pericolosità per le aree di interesse.

Le classi di pericolosità idraulica sono state assegnate in funzione delle planimetrie di allagamento atteso per i vari tempi di ritorno considerati nell'analisi idraulica, tramite operazioni di regolarizzazione delle aree di esondazione trovate da modellazione, con l'utilizzo di appositi algoritmi gis e con finiture manuali.

Per gli eventi duecentennali sono inoltre state elaborate tavole grafiche con le altezze e le velocità di esondazione nelle aree di interesse, e con le conseguenti combinazioni di magnitudo idrauliche così come determinate ai sensi L.R. 41/2018. La magnitudo è stata definita con riferimento ad i valori massimi di altezza e velocità risultanti in ogni cella di calcolo per i diversi scenari di simulazione considerati.

<i>PROGETTO:</i> Variante al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico ai sensi degli art. 238 e 252 ter della L.R. 65/2014	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologico-idraulica
---	---

## **6. ALLEGATI**

Si riportano con allegato a parte i risultati delle simulazioni eseguite. Per ogni modello idraulico si ha:

1. Planimetrie di modellazione;
2. Profili 1D Tr30 e Tr200;
3. Sezioni di calcolo RAS;
4. Tabelle numeriche.