



COMUNE di EMPOLI

Provincia di Firenze



STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO A SUPPORTO DELLA VARIANTE ATTIVITA' PRODUTTIVE DEL COMUNE DI EMPOLI

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Committente:

COMUNE EMPOLI

CODICE ELABORATO

ANNO	LIVELLO	ID.PROG.	TIPO	NUMERO
2018	IDR	EMP	REL	001

Oggetto dell'elaborato:

Relazione idrologico-idraulica

SCALA

-

DATA PRIMA EMISSIONE

Gennaio 2018

DATA EMISSIONE REVISIONE

-

Progettazione:



H.S. INGEGNERIA srl

Via A. 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

REVISIONE	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA
00	Prima emissione	LC-DP	PP-SP	PP-SP	Gennaio 2018

FILE:

-

Il presente elaborato è di esclusiva proprietà, a norma di legge, dei professionisti incaricati. E' vietata la riproduzione, anche parziale, o il trasferimento a terzi senza specifica autorizzazione scritta.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO.....	5
2.1. <i>Definizione del quadro conoscitivo.....</i>	9
3. RELAZIONE IDROLOGICA.....	10
3.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dei bacini di interesse.....</i>	10
3.2. <i>Definizione degli afflussi.....</i>	13
3.2.1. <i>Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....</i>	13
3.2.2. <i>Ietogramma di progetto e fattore di ragguglio.....</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>	25
3.4.1. <i>Bacini “di monte”: metodo initial/costant.....</i>	25
3.4.2. <i>Bacini “di pianura”: coefficienti di deflusso.....</i>	29
3.5. <i>Trasformazione afflussi netti – deflussi.....</i>	30
3.5.1. <i>Tempo di corrivazione.....</i>	30
3.5.2. <i>Bacini di “monte”: idrogramma unitario di Nash.....</i>	31
3.5.3. <i>Bacini “di pianura”: metodo razionale.....</i>	32
3.6. <i>Risultati della modellazione idrologica.....</i>	33
4. RELAZIONE IDRAULICA.....	53
4.1. <i>Modelli di calcolo RAS.....</i>	53
4.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....</i>	53
4.1.1. <i>Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....</i>	54
4.2. <i>Sistema del Rio della Piovola.....</i>	56
4.2.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	56
4.2.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	56
4.2.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	58
4.2.4. <i>Scenari simulati.....</i>	59
4.3. <i>Sistema del Rio dei Cappuccini.....</i>	59
4.3.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	59
4.3.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	60
4.3.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	60
4.3.4. <i>Scenari simulati.....</i>	60
4.4. <i>Sistema di Empoli Ovest - Rio delle Volpi.....</i>	61
4.4.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	61
4.4.2. <i>Sottosistema corsi d’acqua minori di via Lucchese.....</i>	62
4.4.3. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	62
4.4.4. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	63
4.4.5. <i>Scenari simulati.....</i>	63
4.5. <i>Rio di Tombaluna.....</i>	64
4.5.1. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	64
4.5.2. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	64
4.5.3. <i>Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....</i>	64
4.5.4. <i>Scenari simulati.....</i>	65
5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	66

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

5.1. Condizioni di rischio idraulico delle aree oggetto di variante e definizione di eventuali interventi di sistemazione idraulica.....67

5.1.1. Interventi di sistemazione della Piovola.....68

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica 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.

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); le schede definiscono obiettivi, parametri dimensionali e destinazioni ammesse.

La variante in esame in questa sede riguarda sostanzialmente:

1. gli ambiti produttivi consolidati già previsti dal Piano strutturale all'interno del perimetro urbano o di previsione del Regolamento urbanistico vigente (territorio urbanizzato ai sensi dell'art. 224 L.R. n. 65/2014);
2. l'istituzione di nuove aree produttive nel territorio aperto del Piano strutturale (territorio non urbanizzato ai sensi dell'art. 224 L.R. n. 65/2014), in aggiunta ad aree industriali ed artigianali esistenti.

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.

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 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 Tombaluna, Fosso della Pratella, corsi d'acqua del reticolo minore della L.R. 79/2012 posti nelle vicinanze delle aree di variante su via Lucchese) sono stati realizzati ex-novo e parimenti alcuni tratti di modellazione sono stati estesi al fine di investigare le condizioni di rischio idraulico nelle aree di interesse per la presente variante (Rio Piovola, Rii Volpi e Friano).

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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

N	Denominazione area	Intervento urbanistico	Modalità di intervento urbanistico
A	<i>Carraia</i>		<i>Opera pubblica</i>
1	<i>3.11 Carraia 2</i>	<i>- Nuova previsione area produttiva - Azzonamento area artigianale e direzionale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 3.11</i>
2	<i>8.1 Marcignana</i>	<i>- Area già parzialmente edificata da inserire nel territorio urbanizzato - Azzonamento area commerciale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 8.1</i>
3	<i>12.6 Terrafino</i>	<i>- Reintroduzione piano attuativo 1° RUC con diversa configurazione e funzioni - Azzonamento area per logistica</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 12.6</i>
4	<i>Pianezzoli</i>	<i>- Area già parzialmente edificata da inserire nel territorio urbanizzato - Azzonamento area artigianale</i>	<i>Intervento edilizio diretto</i>
5	<i>12.8 Le Case Nord</i>	<i>- Ambiti parzialmente edificati - Azzonamento area mista direzionale-servizi-ricettiva</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 12.8</i>
6	<i>12.9 Le Case Sud</i>	<i>- Ambiti parzialmente edificati - Azzonamento area artigianale-commerciale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 12.9</i>
7	<i>Castelluccio</i>	<i>- Ampliamento area industriale esistente - Azzonamento area industriale</i>	<i>Intervento edilizio diretto</i>
8	<i>12.11 Via Lucchese area Sani</i>	<i>- Area già parzialmente edificata - Azzonamento area artigianale-commerciale-direzionale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 12.10</i>
9	<i>Via Lucchese</i>	<i>- Area già parzialmente edificata - Azzonamento area artigianale</i>	<i>Intervento edilizio diretto</i>
10	<i>12.10 Via Lucchese area Lapi</i>	<i>- Area già parzialmente edificata - Azzonamento da parcheggio pubblico ad area artigianale-commerciale-direzionale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 12.11</i>
11	<i>13.1 Molin Nuovo</i>	<i>- Conservazione attività esistenti - Ampliamento a margine dell'attività esistente - Azzonamento area artigianale</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 13.1</i>
12	<i>14.3 Via Piovola</i>	<i>- Ampliamento della zona produttiva - Potenziamento delle infrastrutture di servizio - Destinazioni multifunzionali</i>	<i>Piano attuativo scheda norma n° 14.3</i>

Tabella 1: aree oggetto della presente variante

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), 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. 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.

Per l'area di variante "la Farfalla" (scheda norma 7.5) non si è proceduto con l'aggiornamento degli studi idraulici, in quanto trattasi area posta quasi totalmente in posizione morfologica elevata rispetto ai corsi d'acqua di potenziale interesse.

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:

- Rio di Tombaluna
- Rio delle Volpi
- Rio di Friano
- Rio di Pagnana
- Rio Stella
- Rio di Vitiana
- Fosso di Riottoli
- Rio di Santa Maria (o Rio di Sant'Anna)
- Rio dei Cappuccini
- Rio del Terraio
- Rio della Piovola
- Fosso della Pratella

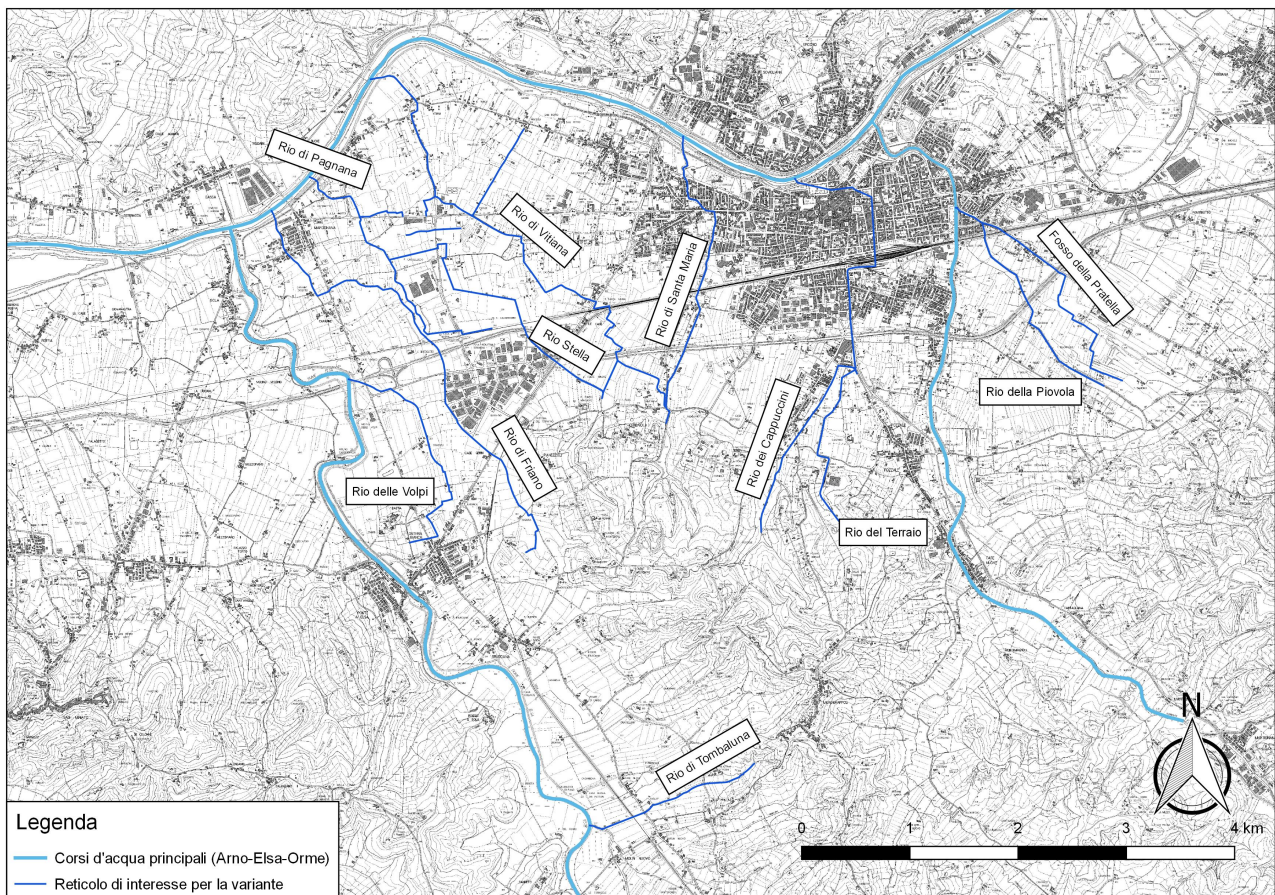


Figura 1: inquadramento del reticolo oggetto di studio ai fini della variante urbanistica

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Il Rio di Tombaluna ed il Rio delle Volpi sono due affluenti di destra del Fiume Elsa. Il Rio di Tombaluna è situato nella parte sud-occidentale del territorio comunale di Empoli ed attraversa la frazione di Molin Novo presso la quale è situata l'area oggetto di variante denominata allo stesso modo.

Il Rio delle Volpi è posto più a nord; il suo tratto di monte drena le acque dell'area compresa tra le frazioni di Osteria Bianca e di Brusiana ed il Rio di Friano; il suo tratto di valle è stato recentemente oggetto di sistemazione idraulica ed è stato inglobato nelle opere di invaso realizzate nella parte occidentale dell'area industriale del Terrafino: lungo la fascia di rispetto stradale di Via De Gasperi sono state realizzate più aree di espansione sui lati Est ed Ovest della strada, collegate tra loro da tubazioni che sottopassano la sede stradale e munite di sfioratori di collegamento tra i settori di monte e di valle; l'intero sistema di invasi sul Volpi è stato poi collegato con le casse di espansione "Friano Est" e "Cassa Ovest"; quest'ultima a sua volta scarica nel tratto di valle del Rio delle Volpi (che recapita nel fiume Elsa) o direttamente in Elsa con l'ausilio di un impianto idrovoro.

Per i dettagli degli interventi di sistemazione realizzati si rimanda al progetto esecutivo "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai Rii minori "Volpi" e "Friano" nella zona industriale del Terrafino in Comune di Empoli (FI)", da cui sono state riprese le caratteristiche delle opere in esame.

L'area di oggetto di variante "Ex Polo Tecnologico" si trova in sinistra idraulica rispetto al Rio delle Volpi, più precisamente presso la sua immissione nell'area di espansione lungo Via De Gasperi.

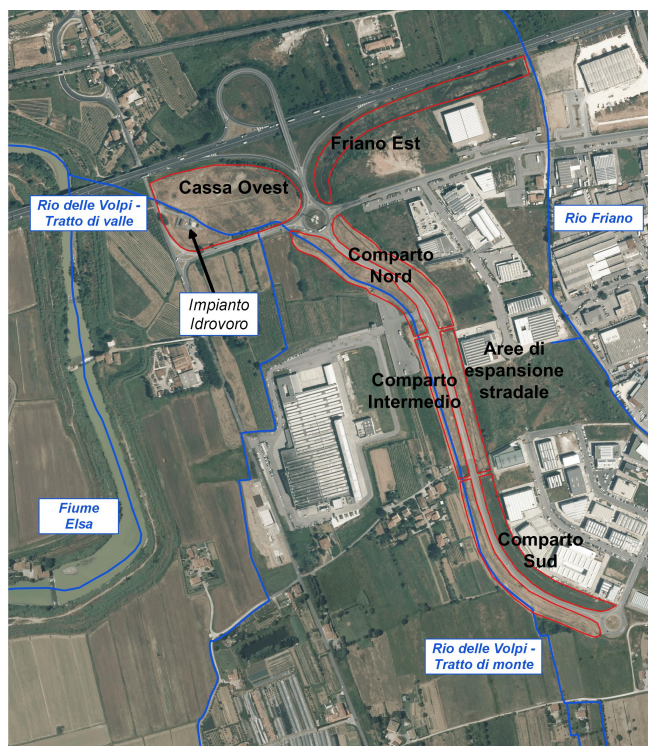


Figura 2: Sistema di aree di espansione del Rio delle Volpi e del Rio di Friano

I corsi d'acqua Rio di Friano, Rio di Pagnana, Rio Stella e Rio di Vitiana, posti ad ovest del centro abitato di Empoli, interessano le aree industriali di Terrafino, Castelluccio, via Lucchese e la frazione di Marcignana; sono tutti affluenti di sinistra del Fiume Arno, ad eccezione del Rio Stella

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

che è un affluente di destra del Rio di Pagnana. Il loro studio è motivato dalla possibile interazione con le aree di previsione oggetto di variante denominate "Pianezzoli" (in destra idraulica rispetto al Rio di Friano nel suo ramo di monte), "Marcignana" (tra il Rio di Friano ed il Rio di Pagnana, presso l'omonima frazione), "Castelluccio" (in destra idraulica rispetto al Rio di Pagnana, situata a nord dell'area industriale esistente), "Le Case Nord" e "Le Case Sud" (presso lo svincolo Empoli Centro della superstrada Firenze-Pisa-Livorno ed interessate dal corso del Rio Stella e del Rio di Vitiana), "Via Lucchese Area Lapi", "Via Lucchese Area Sani" e "Via Lucchese" (situate presso l'area industriale di via Lucchese, tra il Rio di Vitiana ed il Rio di Pagnana); in particolare, per approfondire lo studio di quest'ultima area di previsione, sono stati inclusi nell'analisi il Fosso di Riottoli ed il sistema di corsi minori lungo Via Lucchese facenti parte del reticolo di cui alla L.R. 79/2012.

Il Rio di Santa Maria (o di S. Anna) ed il Rio Stella, aventi origine a monte della frazione di Cerbaiola, sono interessati ognuno dalla presenza di un diversivo; entrambi i diversivi convogliano l'acqua deviata verso la cassa di espansione ubicata nei pressi dello svincolo di "Empoli Centro" della superstrada Firenze-Pisa-Livorno. Il Rio di Vitiana, che origina in prossimità della superstrada, raccoglie le acque della luce di fondo e dello sfioratore di sicurezza della cassa di espansione.

Il tratto del Rio dei Cappuccini che attraversa il centro abitato è tombato a partire dal Cimitero Comunale; anche il Rio del Terraio, che si immette nel Rio dei Cappuccini proprio nei pressi del Cimitero, è tombato per l'ultimo tratto lungo circa 50 metri. Il loro studio è motivato dalla presenza delle aree di previsione oggetto di variante "Carraia" e "Carraia 2", posizionate nell'omonima frazione.

Il Rio della Piovola, affluente del Torrente Orme, è ubicato a sud-est del centro abitato di Empoli; poco prima di immettersi nell'Orme, a valle del rilevato ferroviario della tratta Firenze-Pisa, riceve le acque del Fosso della Pratella, che interessa l'area industriale posta tra Via della Piovola e Via del Pino, anch'essa oggetto di variante al Regolamento Urbanistico con la denominazione "Via Piovola".

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.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

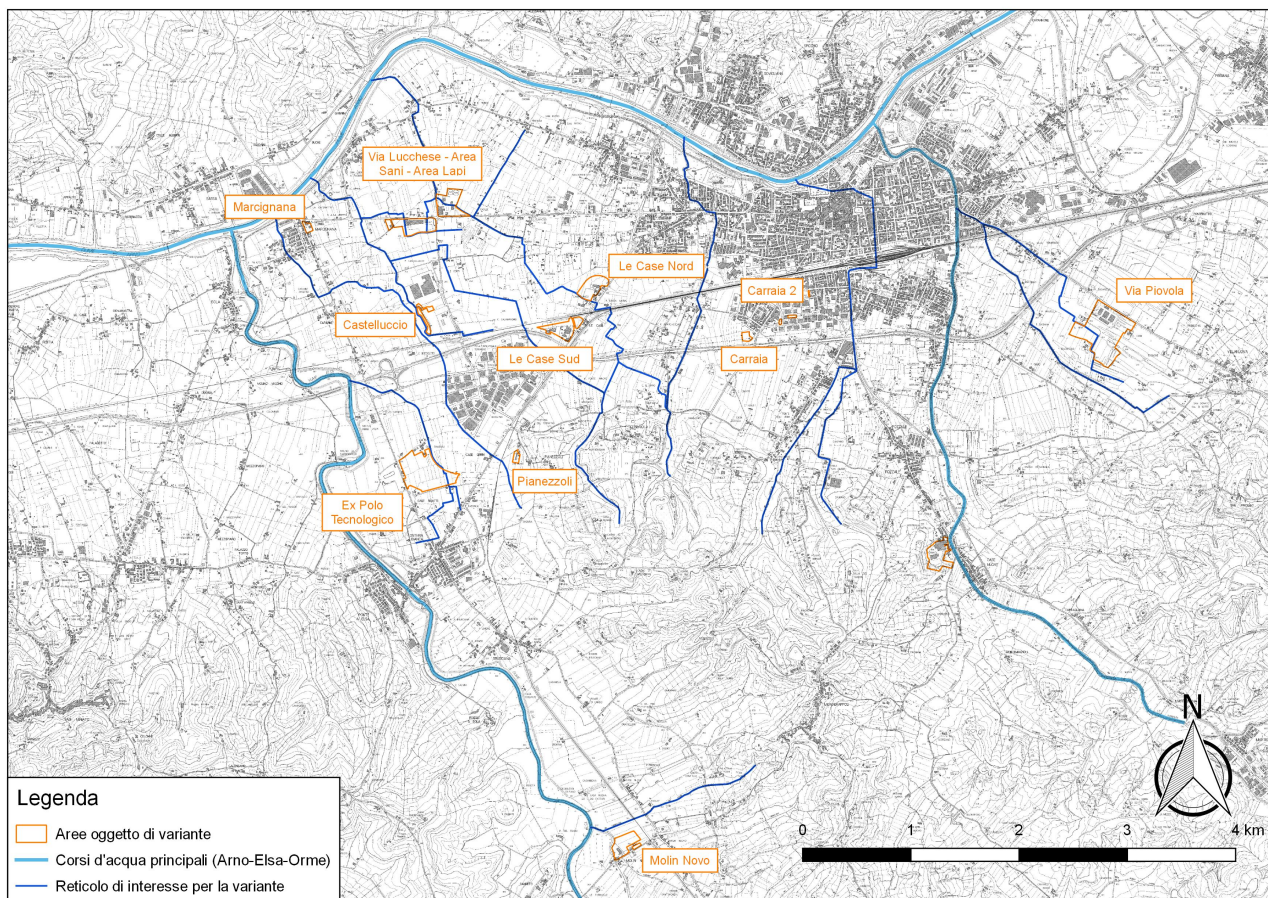


Figura 3: Aree oggetto di variante urbanistica per cui è stato effettuato l'aggiornamento del quadro conoscitivo idraulico

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 delle 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. Si precisa peraltro che risulta attualmente in corso di realizzazione uno studio coordinato da RFI al fine di procedere all'aggiornamento del quadro conoscitivo del tratto terminale dell'Elsa.

Le esondazioni di Arno ed Elsa interessano le aree di variante marginalmente, solo con riferimento alla previsione in località Marcignana, ricadente nel sistema di corsi d'acqua di Empoli Ovest. Come si precisa nella relazione idraulica dello studio generale del 2012 per le aree soggette al contestuale allagamento sia del fiume Arno che dei reticoli minori, le quote idriche di riferimento sono quelle stimate nei modelli idraulici di quest'ultimi che in quanto tengono conto di entrambi i

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</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:

- Progetto *"Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai Rii minori "Volpi" e "Friano" nella zona industriale del Terrafino in Comune di Empoli (FI)"*: per la modellazione dei tratti del Rio Volpi e del Rio Friano posti a monte della S.G.C: Fi-Pi-Li;
- Progetto definitivo *"Sistemazione del Rio Riottoli e ripristino dell'accesso in Arno"*, Acque s.p.a.: per la modellazione del Rio Riottoli;
- Progetto esecutivo *"Strada di collegamento tra il nuovo svincolo della SGC FI-PI-LI Empoli Santa Maria e la zona artigianale di Carraia"*, Comune di Empoli: la sagoma del tracciato stradale è stata inserita nel DTM di base per la modellazione;
- 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 Friano a monte della SS 67, Rio Volpi a monte delle opere di invaso poste lungo Via De Gasperi, Rio Tombaluna e Rio Riottoli e corsi d'acqua minori di Via Lucchese.

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>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</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; nel presente studio sono stati aggiunti alla modellazione idrologica ulteriori corsi d'acqua di interesse per la presente variante, ovvero il Fosso della Pratella (affluente del Rio della Piovola), il Rio di Riottoli e il reticolo minore presso l'area industriale di via Lucchese. 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 tre sistemi principali (in analogia a quanto fatto nel citato studio generale del 2012), a cui si aggiungono i bacini del Rio delle Volpi e del Rio di Tombaluna. I tre sistemi principali sono:

- sistema Empoli Ovest, che comprende i bacini del Rio di Friano, del Rio di Vitiana, del Rio di Pagnana, del Rio Stella e del Rio di Santa Maria, inclusi i sottobacini presso l'area industriale di via Lucchese ed il Rio di Riottoli;
- sistema Cappuccini, che comprende i bacini Cinotti Est, Cinotti Ovest, Corniola, e quelli relativi al Rio dei Cappuccini e al Rio del Terraio;
- sistema Piovola, che comprende il bacino del Rio della Piovola e del Fosso della Pratella.

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

Bacino	Sistema	Area [kmq]	z max [m slm]	z min [m slm]	Pendenza media di bacino [-]
Vitiana 0	Empoli Ovest	0.583	62.47	22.05	0.050

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Vitiana 1	Empoli Ovest	0.487	32.65	21.56	0.016
Pagnana 1	Empoli Ovest	0.371	55.58	21.57	0.050
Pagnana 2	Empoli Ovest	0.721	28.76	20.05	0.011
Friano 2	Empoli Ovest	1.477	32.85	20.66	0.012
Pagnana 3	Empoli Ovest	1.661	29.19	22.01	0.010
Stella 2	Empoli Ovest	0.389	24.77	22.16	0.004
Vitiana 2 monte	Empoli Ovest	2.951	32.26	20.25	0.007
Vitiana 2 valle	Empoli Ovest	1.281	27.2	21.84	0.009
Lucchese Sud (bacino Fosso1 tratto monte RAS)	Empoli Ovest	0.127	24.85	21.74	0.003
Lucchese Est (bacino Fosso2 Est RAS)	Empoli Ovest	0.034	24.19	21.68	0.002
Lucchese Ovest (bacino Fosso1 tratto valle RAS)	Empoli Ovest	0.061	23.85	21.05	0.006
Rio Riottoli	Empoli Ovest	0.252	27.22	21.84	0.006
Santa Maria	Empoli Ovest	1.35	112.31	28.99	0.137
Stella 1	Empoli Ovest	0.565	88.2	27.55	0.100
Friano 1	Empoli Ovest	0.75	86.88	25.89	0.085
Cinotti Ovest	Rio Cappuccini	0.36	58.81	24.1	0.036
Corniola	Rio Cappuccini	0.766	66.34	23.74	0.030
Cinotti Est	Rio Cappuccini	0.35	61.33	23.87	0.037
Terraio	Rio Cappuccini	1.35	133.86	26.86	0.098
Cappuccini	Rio Cappuccini	1.42	136.29	31.66	0.184
Piovola	Piovola	7.026	255.75	25.37	0.135
Pratella	Piovola	1.06	41.08	25.15	0.017
Volpi	Volpi	3.154	38.51	25.48	0.021
Tombaluna	Tombaluna	2.958	144.82	32.1	0.089

Tabella 2: principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini oggetto di studio

<i>PROGETTO:</i> <i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>ELABORATO:</i> <i>Relazione idrologica idraulica</i>
--	--

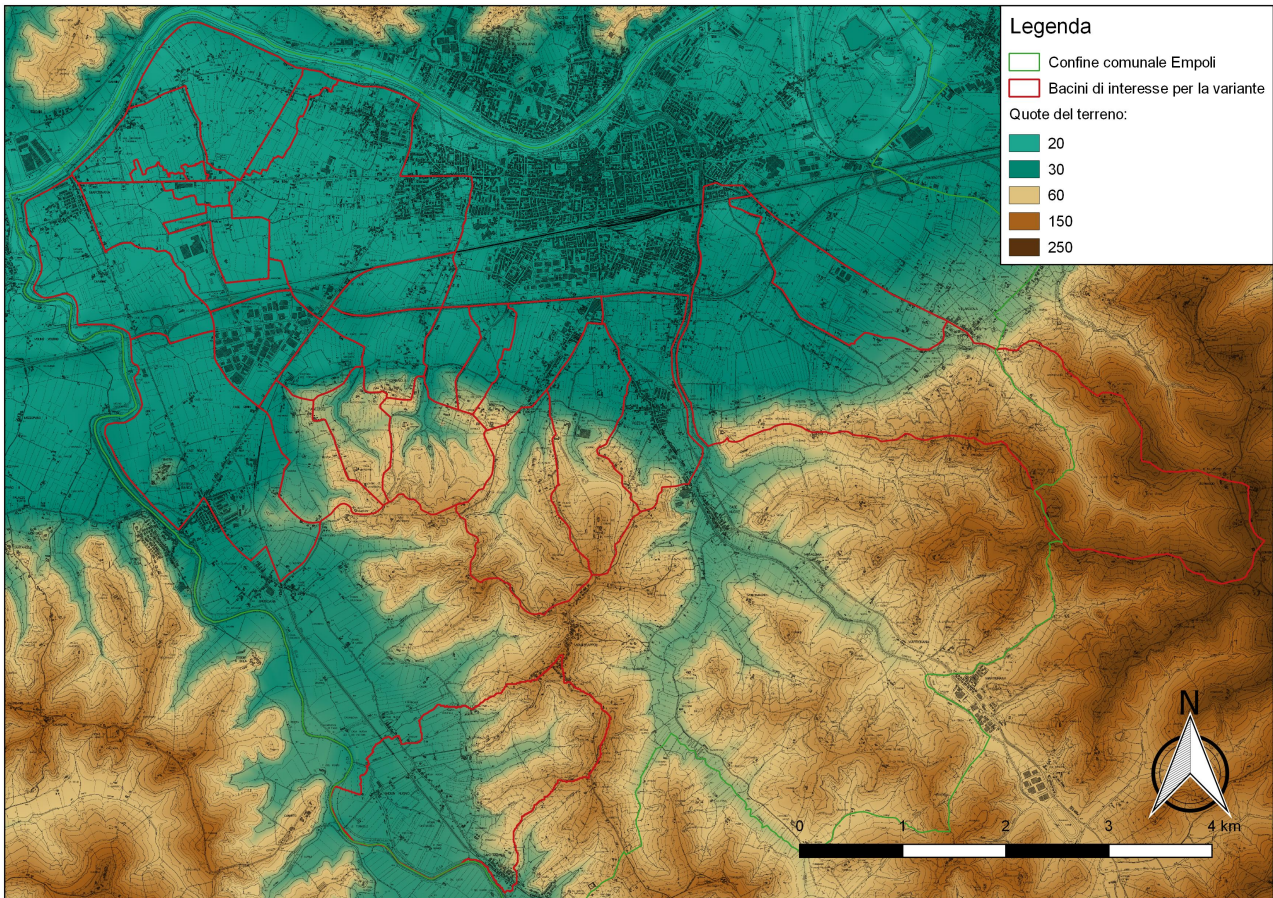


Figura 4: altimetria del terreno secondo DTM Regione Toscana 10x10

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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:

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

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.

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 (Figura 5).

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.

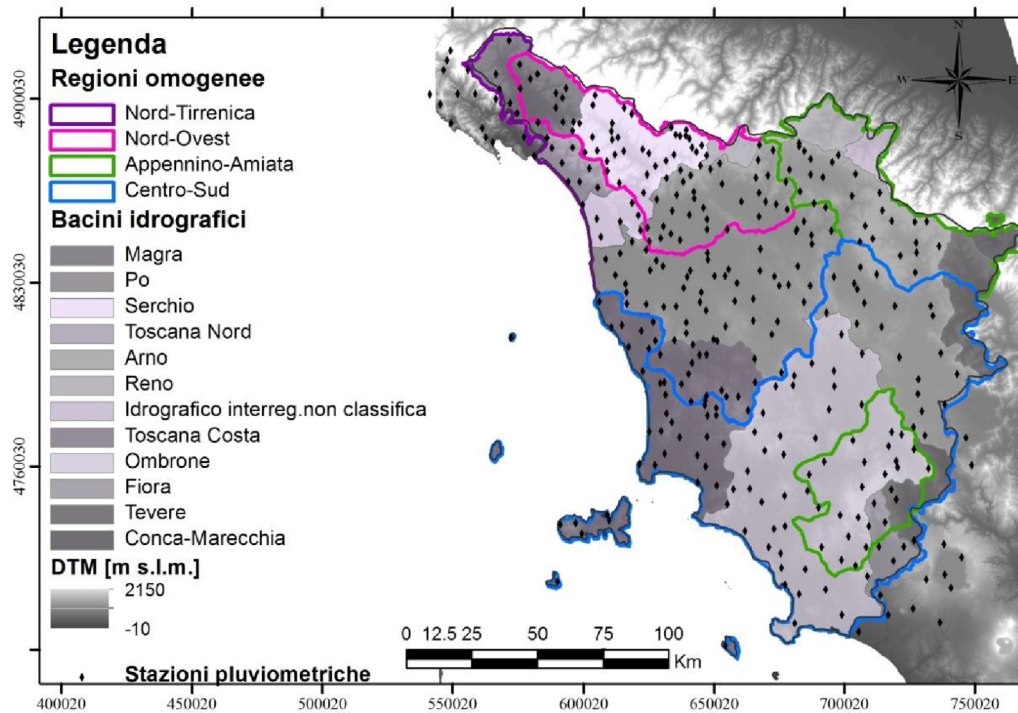


Figura 5: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee

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.

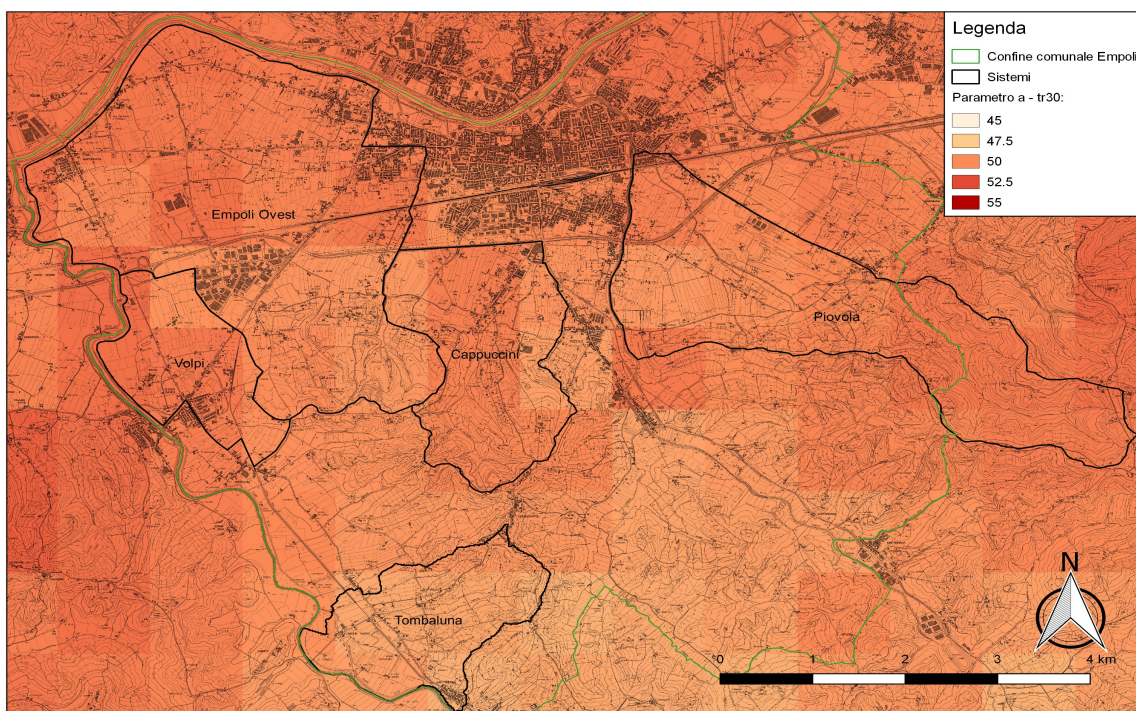


Figura 6: mappatura del parametro a per Tr30

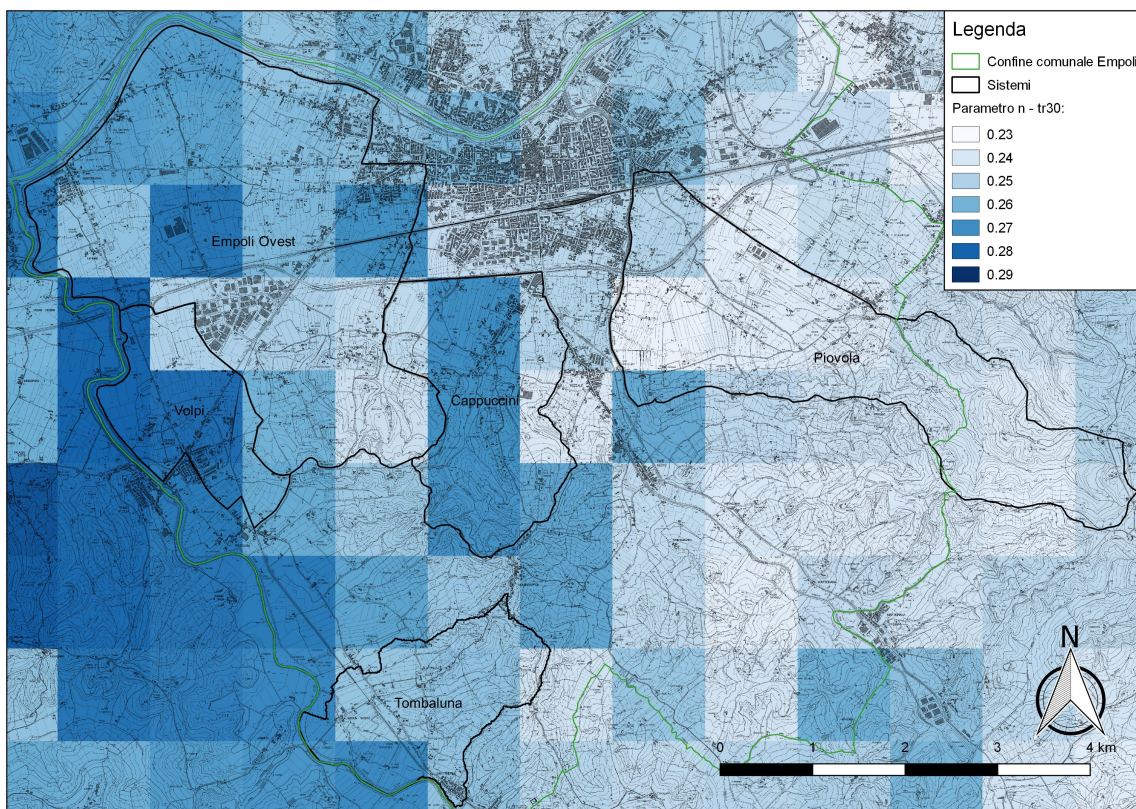


Figura 7: mappatura del parametro n per Tr30

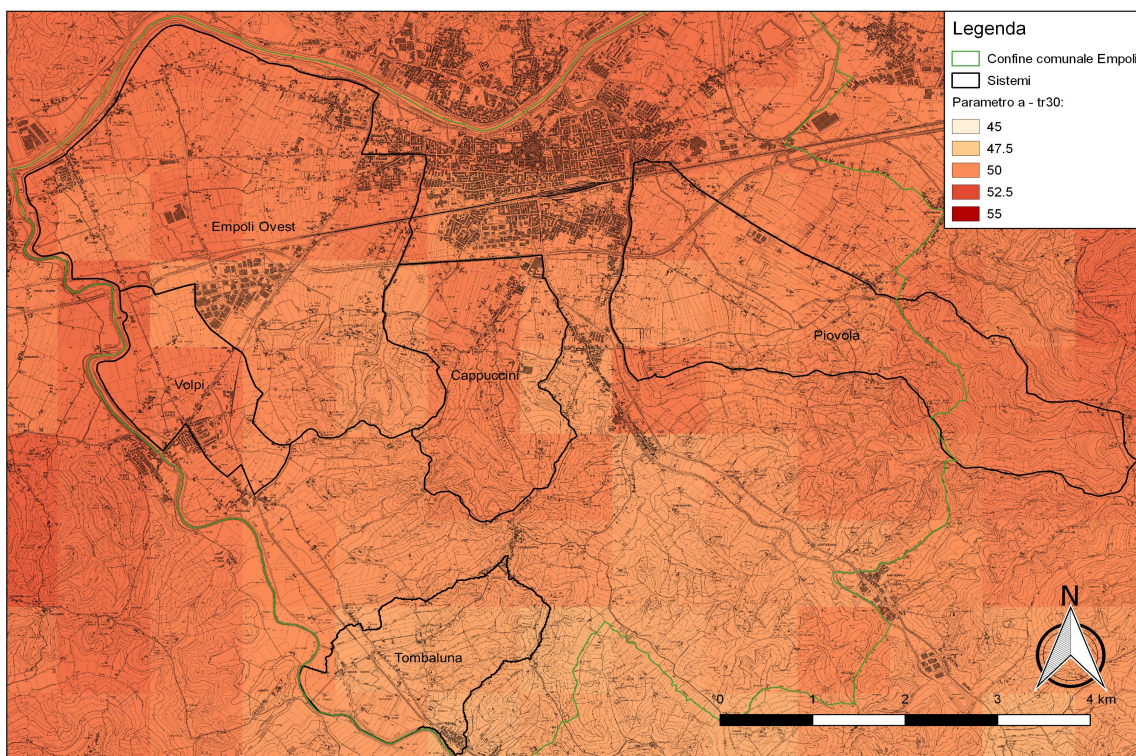


Figura 8: mappatura del parametro a per Tr200

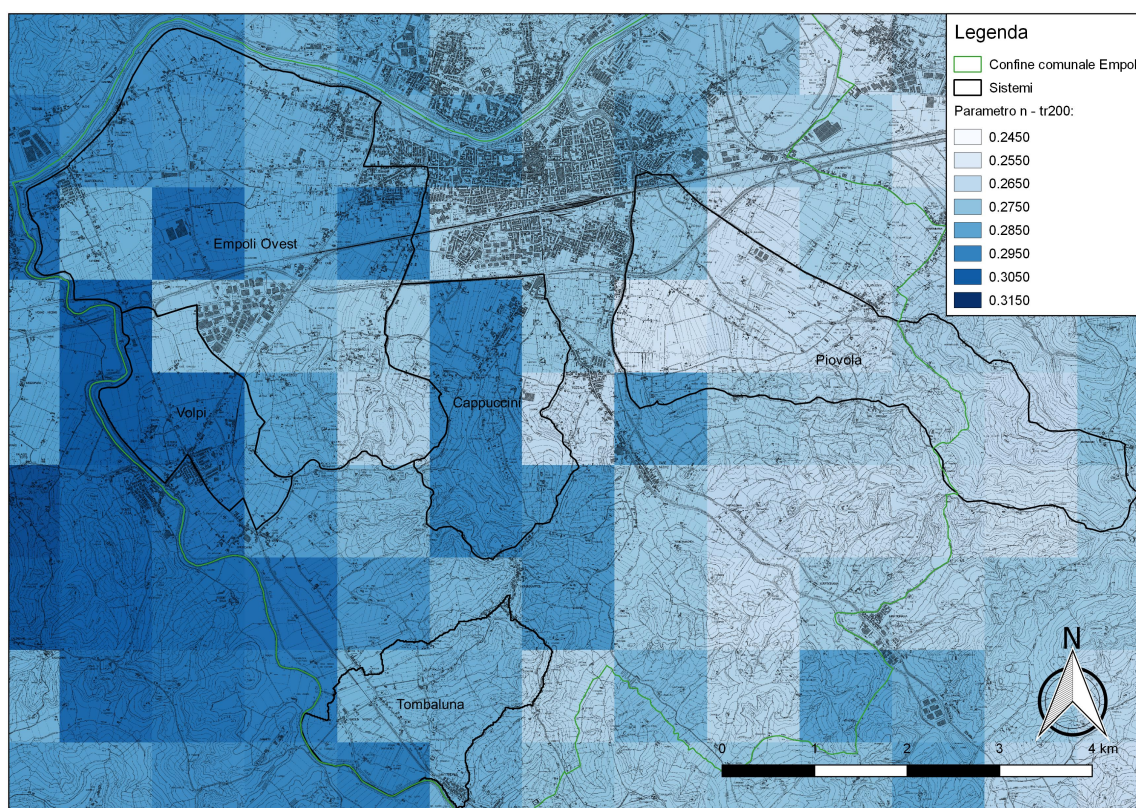


Figura 9: mappatura del parametro n per Tr200

Nella tabella seguente sono riportati i valori medi areali dei parametri a e n per ciascun sistema. 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). A titolo di confronto sono riportati anche i valori dei parametri a, n e m indicati nella relazione tecnica del Genio Civile per mezzo dei quali sono state calcolate le altezze di pioggia nello studio idrologico del 2012 secondo la seguente relazione:

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

Sistema	Tr30		Tr200		Studio idrologico 2012		
	a	n	a	n	a	n	m
Empoli Ovest	50.319	0.259	70.024	0.284	21.692	0.295	0.217
Rio Cappuccini	50.390	0.269	70.123	0.295	21.692	0.295	0.217
Piovola	50.294	0.242	69.989	0.267	21.692	0.245	0.217
Volpi	50.049	0.259	69.648	0.285	23.854	0.351	0.178
Tombaluna	49.091	0.260	68.316	0.286	23.854	0.351	0.178

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

Nelle tabelle di seguito sono riportate le altezze di pioggia per eventi di diverse durate dedotte sia con i parametri a e n derivanti dall'aggiornamento degli studi di regionalizzazione di cui alla

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

DGRT 1133/2012 che con i parametri del modello Al.To indicati nello studio del 2012.

Confrontando i risultati si possono notare diversi tipi di comportamento a seconda del sistema:

- per i bacini dell'area Empoli Ovest le altezze di pioggia derivate con i due diversi approcci sono pressoché coincidenti (specialmente per tempo di ritorno 200 anni);
- per i sistemi del Rio dei Cappuccini e del Rio della Piovola si osservano valori di pioggia maggiori con i parametri derivanti dalla regionalizzazione DGRT 1133/2012 rispetto a quelli del modello di Al.To 2000;
- per i bacini del Rio delle Volpi e del Rio di Tombaluna, per durate inferiori a 4-6 h sono maggiori le altezze di pioggia derivanti dalla regionalizzazione DGRT 1133/2012, mentre per durate superiori sono maggiori quelle ricavate dai parametri del modello Al.To 2000.

Al.To 2000 - Tr30										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Ovest - h [mm]	45.38	55.67	62.75	68.30	76.98	86.76	94.45	100.88	106.45	115.88
Piovola - h [mm]	45.38	53.78	59.39	63.73	70.39	77.74	83.41	88.10	92.13	98.85
Cappuccini - h [mm]	45.38	55.67	62.75	68.30	76.98	86.76	94.45	100.88	106.45	115.88
Volpi - h [mm]	43.70	55.74	64.26	71.09	81.96	94.50	104.54	113.06	120.53	133.34
Tombaluna - h [mm]	43.70	55.74	64.26	71.09	81.96	94.50	104.54	113.06	120.53	133.34
Regionalizzazione DGRT 1133/2012 - Tr30										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Ovest - h [mm]	50.32	60.21	66.87	72.04	80.01	88.86	95.73	101.42	106.32	114.54
Piovola - h [mm]	50.29	59.46	65.58	70.30	77.54	85.52	91.67	96.75	101.10	108.38
Cappuccini - h [mm]	50.39	60.73	67.73	73.18	81.62	91.04	98.37	104.46	109.71	118.55
Volpi - h [mm]	50.05	59.91	66.55	71.70	79.65	88.48	95.34	101.02	105.91	114.11
Tombaluna - h [mm]	49.09	58.79	65.34	70.41	78.25	86.95	93.71	99.31	104.14	112.23
Al.To 2000 - Tr200										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Ovest - h [mm]	68.49	84.03	94.71	103.09	116.19	130.96	142.56	152.25	160.67	174.90
Piovola - h [mm]	68.49	81.17	89.64	96.19	106.24	117.33	125.90	132.97	139.05	149.20
Cappuccini - h [mm]	68.49	84.03	94.71	103.09	116.19	130.96	142.56	152.25	160.67	174.90
Volpi - h [mm]	61.26	78.13	90.08	99.65	114.89	132.46	146.53	158.47	168.95	186.90
Tombaluna - h [mm]	61.26	78.13	90.08	99.65	114.89	132.46	146.53	158.47	168.95	186.90
Regionalizzazione DGRT 1133/2012 - Tr200										
Durata pioggia [h]:	1	2	3	4	6	9	12	15	18	24
Empoli Ovest - h [mm]	70.02	85.29	95.71	103.88	116.58	130.83	141.99	151.29	159.35	172.94
Piovola - h [mm]	69.99	84.23	93.87	101.38	112.98	125.91	135.97	144.32	151.53	163.64
Cappuccini - h [mm]	70.12	86.03	96.95	105.53	118.93	134.04	145.90	155.83	164.43	178.99
Volpi - h [mm]	69.65	84.86	95.26	103.40	116.06	130.28	141.41	150.70	158.73	172.30
Tombaluna - h [mm]	68.32	83.29	93.52	101.54	114.01	128.03	139.00	148.15	156.08	169.46

Tabella 4: altezze di pioggia calcolate con i parametri a,n della regionalizzazione DGRT 1133/2012 e con i parametri a,n,m del modello Al.To 2000

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

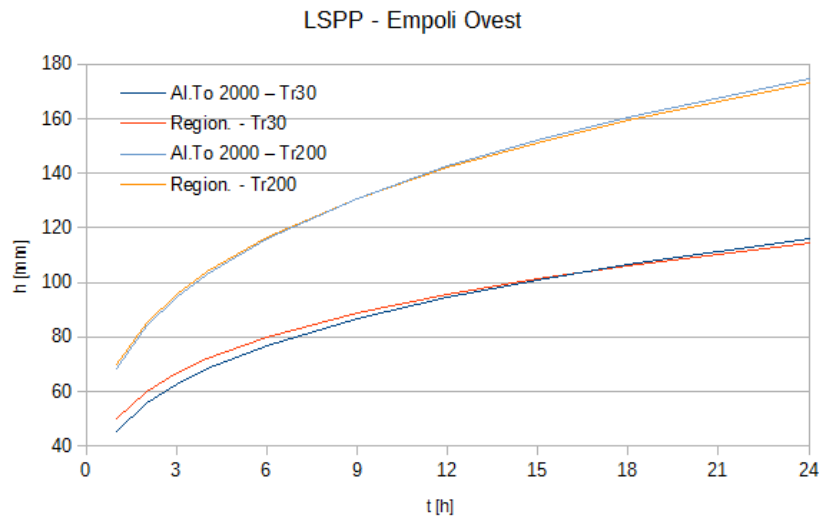


Figura 10: LSPP del modello AI.To 2000 e della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema di Empoli Ovest

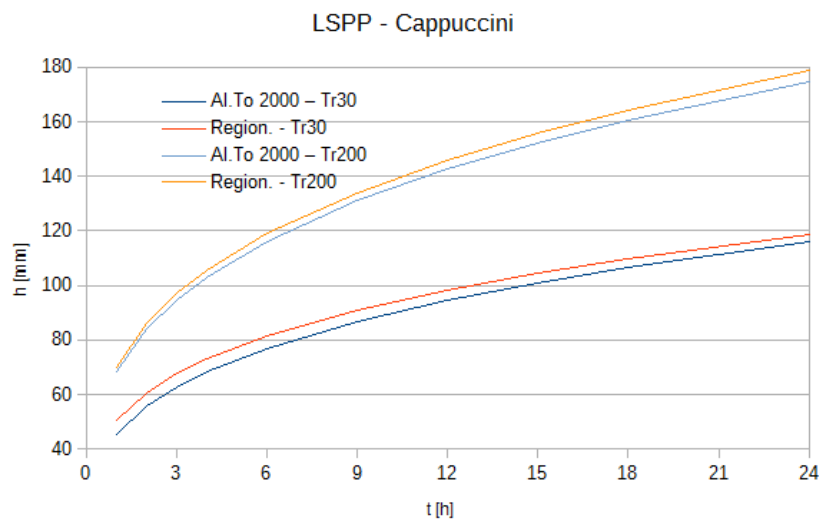


Figura 11: LSPP del modello AI.To 2000 e della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema del Rio dei Cappuccini

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

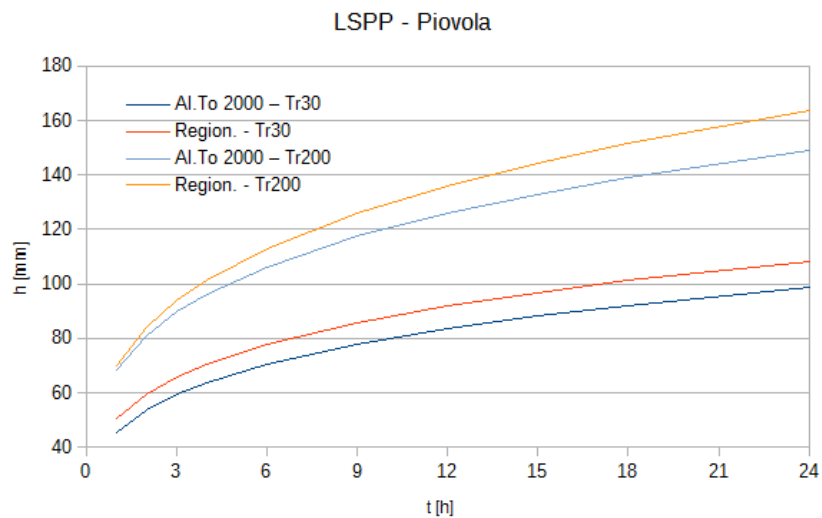


Figura 12: LSPP del modello Al.To 2000 e della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema del Rio della Piovola

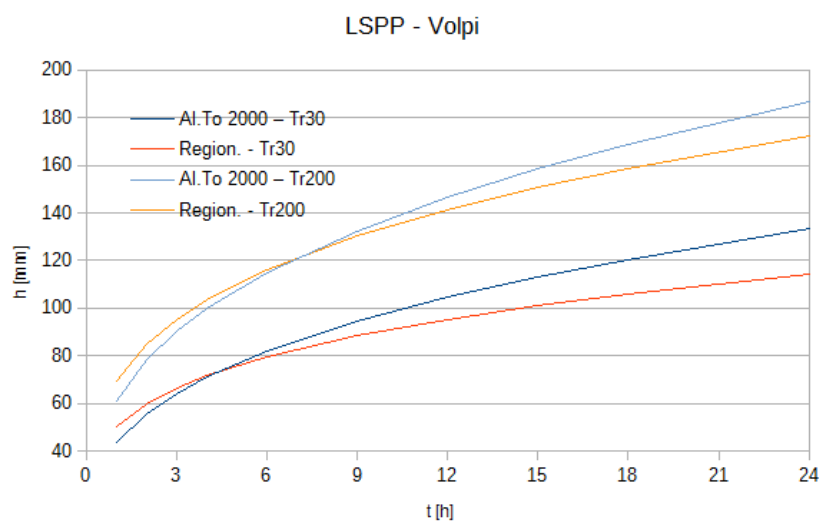


Figura 13: LSPP del modello Al.To 2000 e della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema del Rio delle Volpi

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

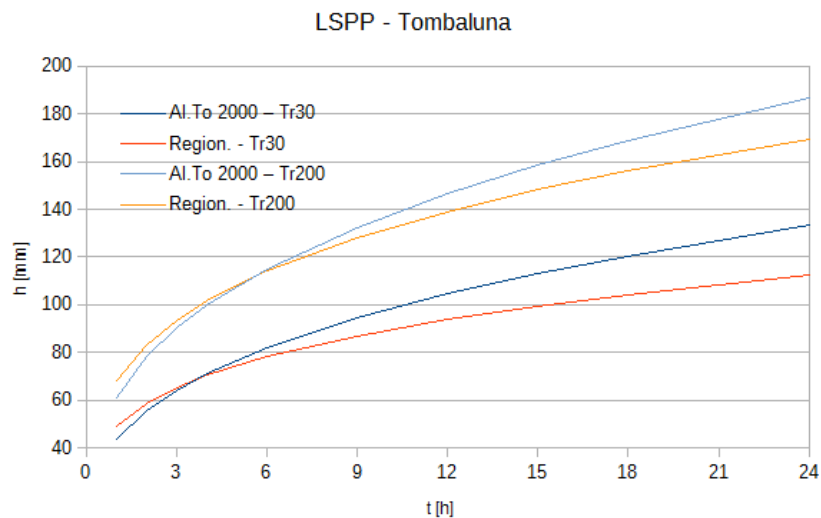


Figura 14 LSPP del modello AI.To 2000 e della regionalizzazione DGRT 1133/2012 per il sistema del Rio di Tombaluna

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 (Empoli Ovest, Rio Cappuccini, Rio Piovola), in analogia con lo studio idrologico generale del 2012 del II RU.

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 e m . Di seguito si riportano le distribuzioni e le conseguenti equazioni delle linee di tendenza delle curve a - Tr per ogni sistema.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

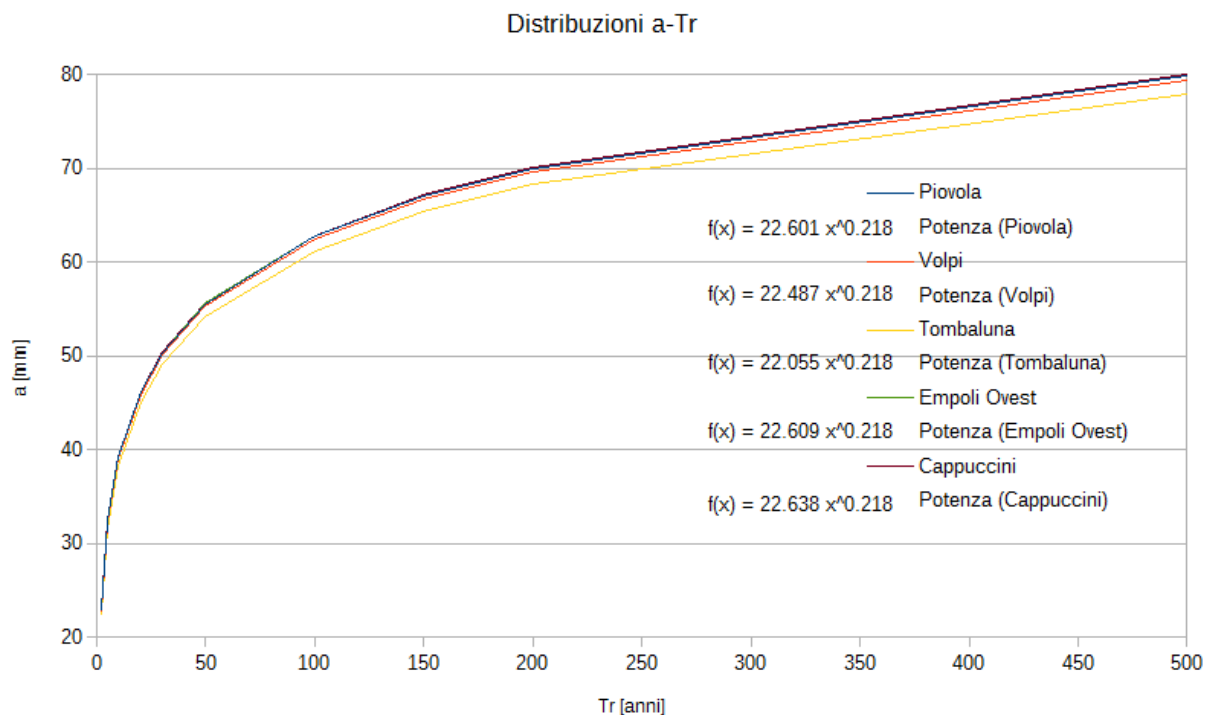


Figura 15: grafico delle curve a-Tr per ogni sistema

Per quel che riguarda le piogge di lunga durata (18, 24 e 36 h), il coefficiente di ragguaglio 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". I bacini del Rio delle Volpi, del Rio della Piovola e del Rio di Tombaluna, sia per esigenze del dettaglio della modellazione sia per caratteristiche geomorfologiche intermedie, sono stati ulteriormente suddivisi 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 AI.To.

Le figure seguenti riportano in particolare le planimetrie dei bacini di nuovo inserimento nella

<i>PROGETTO:</i> Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica idraulica
---	---

modellazione rispetto allo studio idraulico 2012.

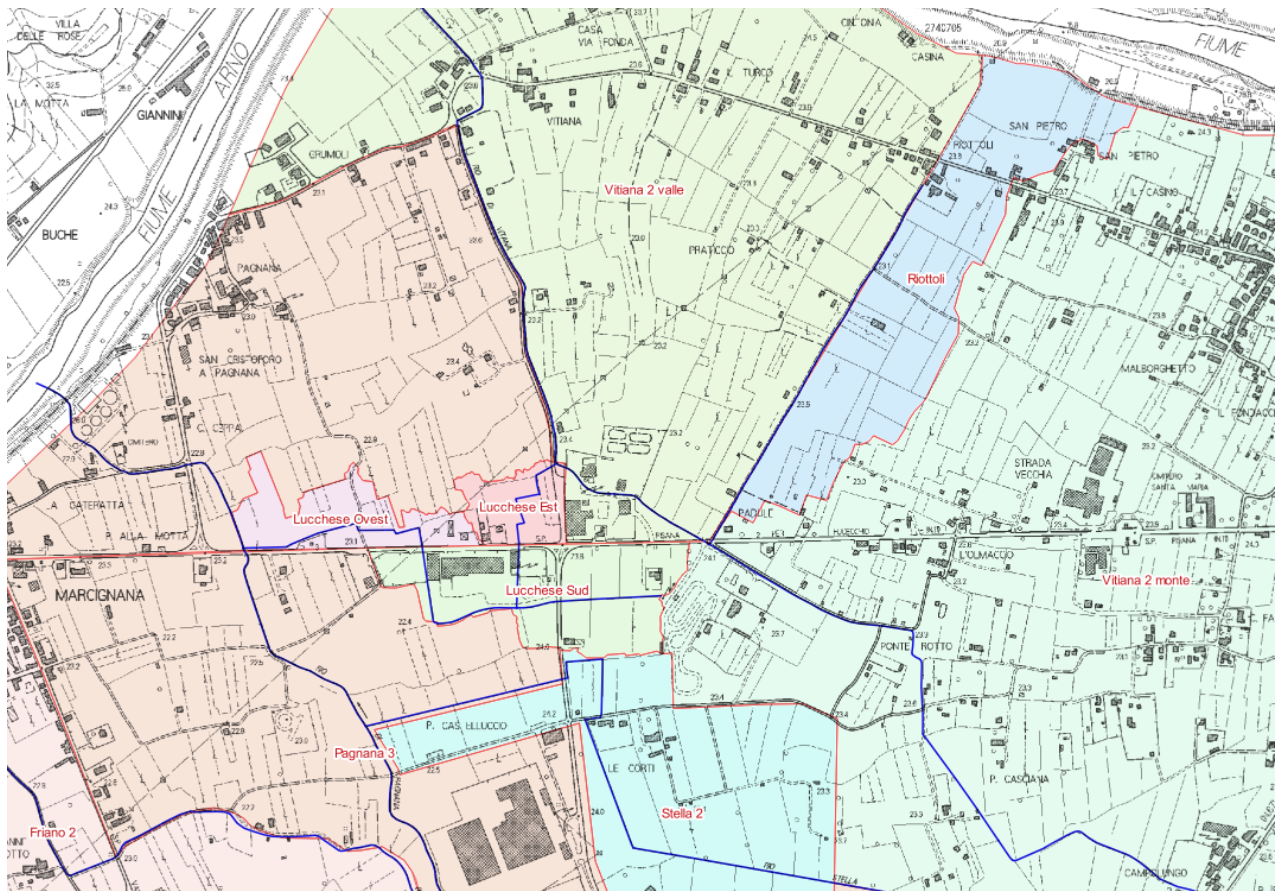


Figura 16: Estrazione dei bacini idrologici dei fossi minori dell'Area di Via Lucchese e del Rio Riottoli all'interno del sistema di Empoli Ovest

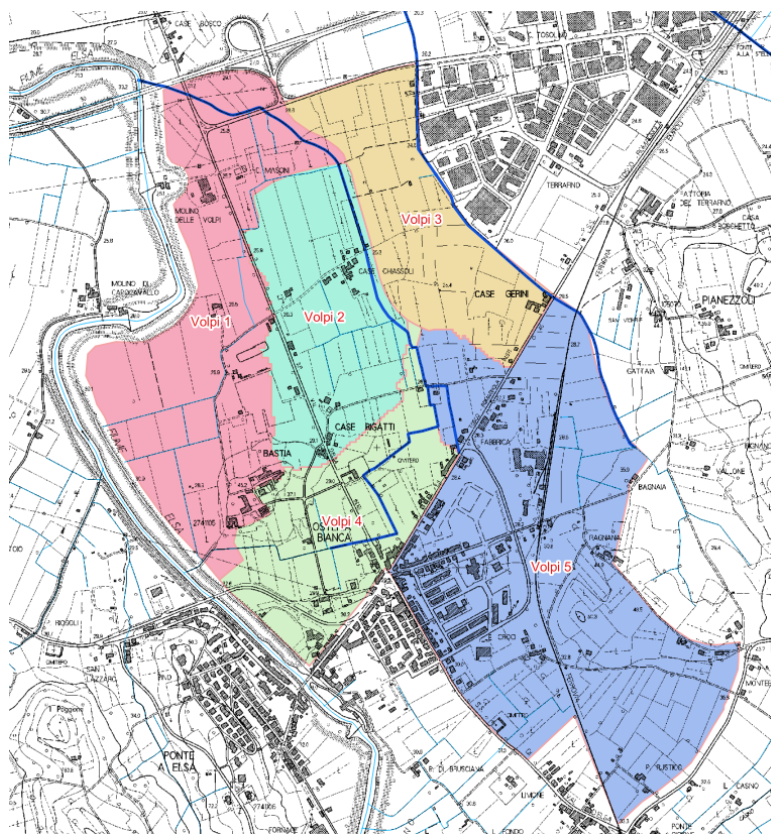


Figura 17: suddivisione del bacino del Rio delle Volpi

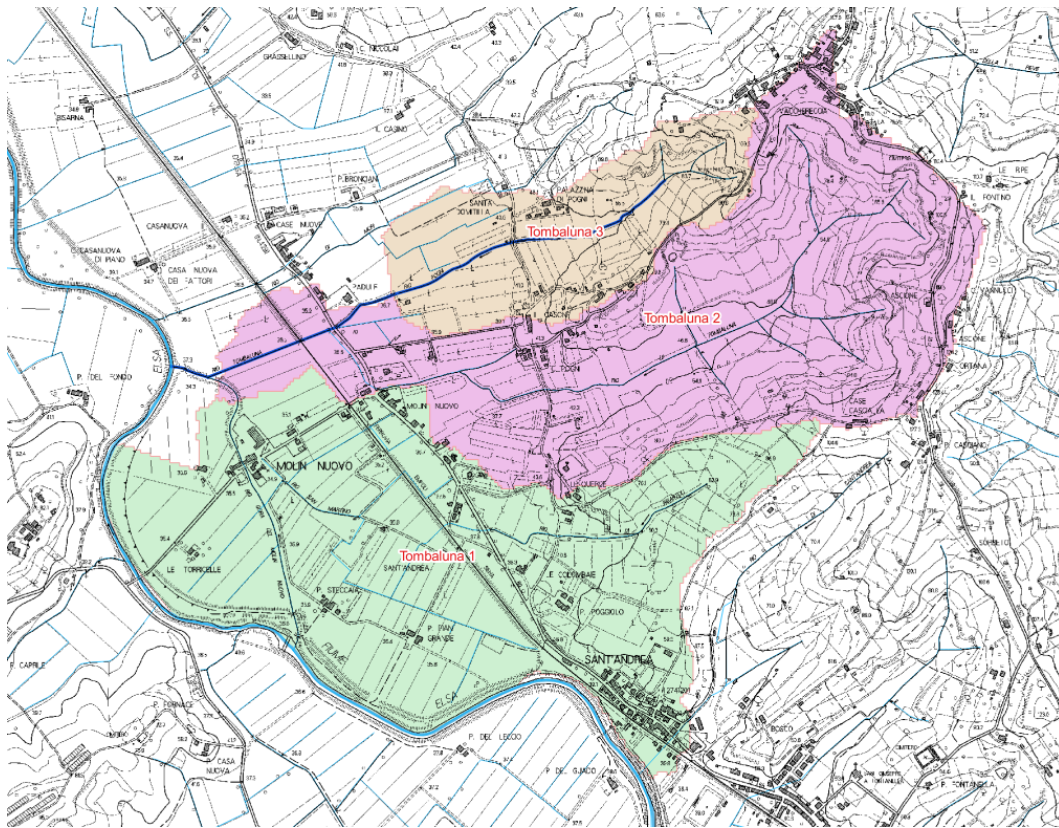


Figura 18: suddivisione del bacino del Rio Tombaluna

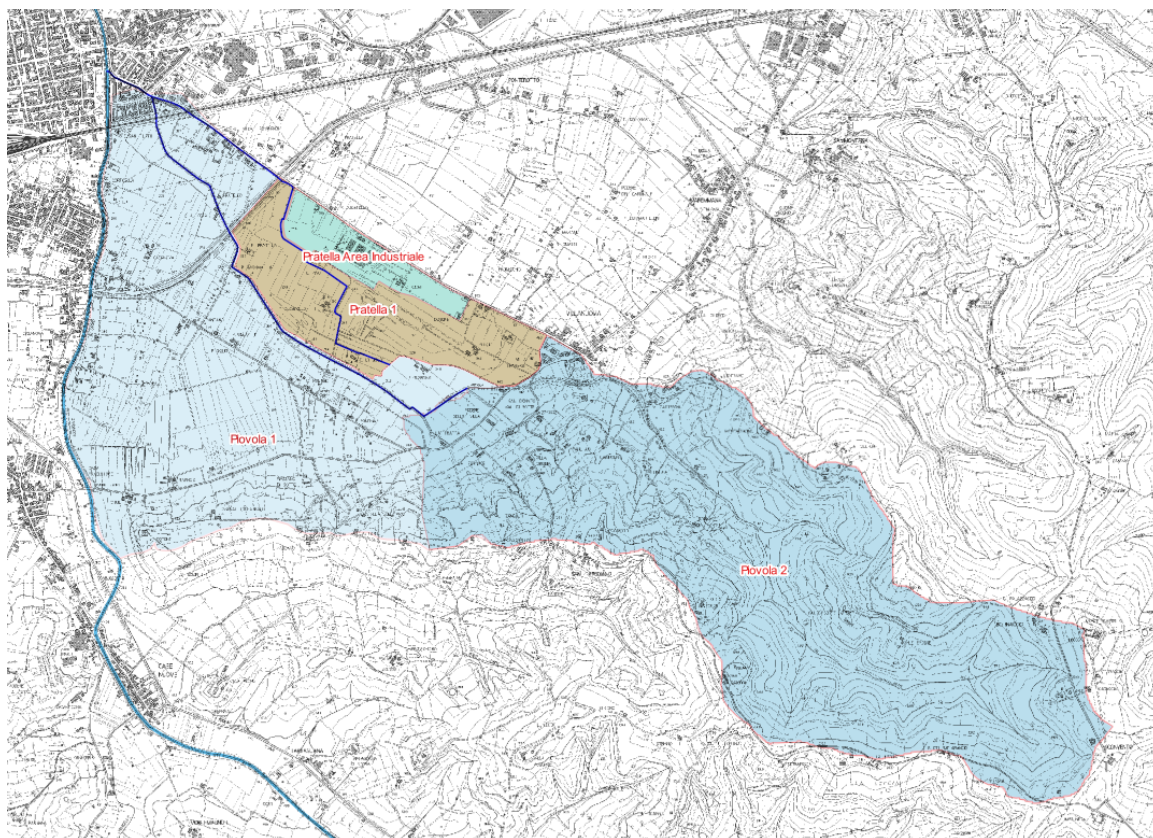


Figura 19: suddivisione dei bacini del Rio della Piovola e del Fosso della Pratella

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).

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

Nella classificazione di bacini "di monte" vengono inclusi i bacini Volpi 4 e Volpi 5 del Rio delle Volpi, i bacini Tombaluna 2 e Tombaluna 3 del Rio di Tombaluna, i bacini del Rio dei Cappuccini (incluso il bacino del Rio del Terraio), il bacino Piovola 2 del Rio della Piovola e i bacini di monte del Rio di Friano, del Rio Stella e del Rio di Santa Maria (nominati rispettivamente Friano 1, Stella 1 e Santa Maria).

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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 seguente si riporta la copertura delle aree boscate per l'intero territorio del Comune di Empoli.

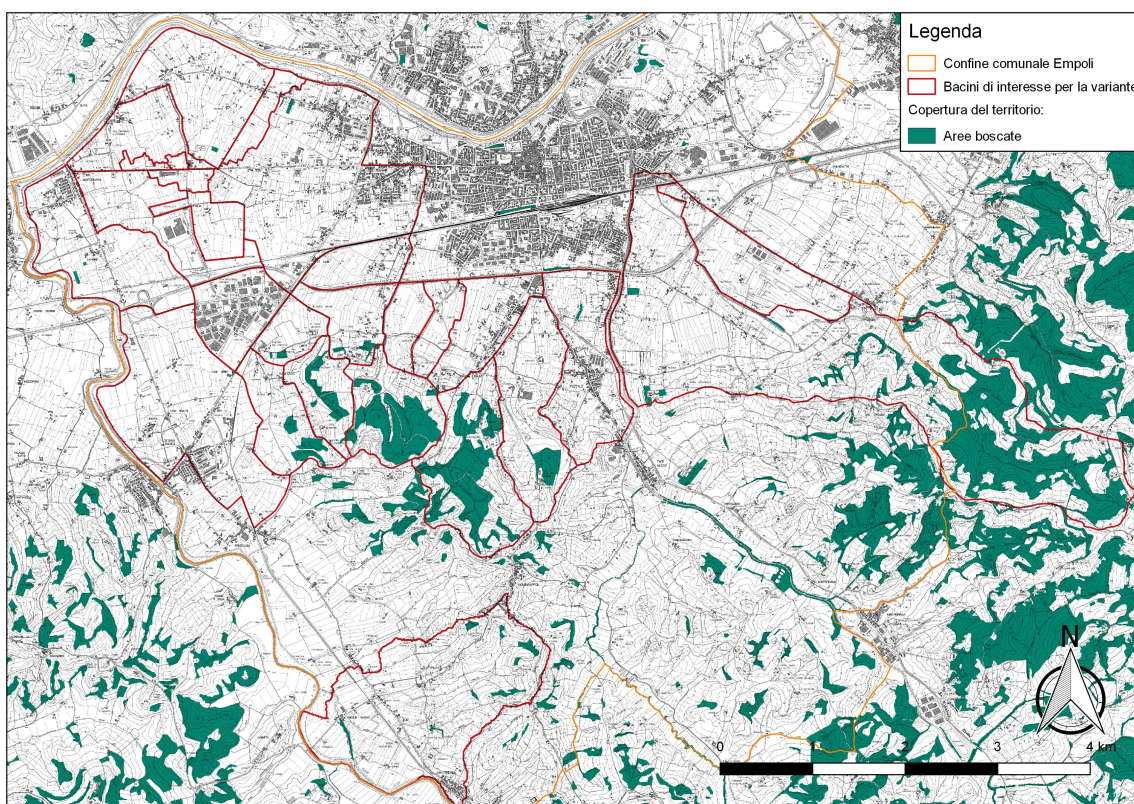


Figura 20: individuazione delle aree boscate per i bacini di interesse secondo la cartografia dell'uso del suolo della Regione Toscana

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.

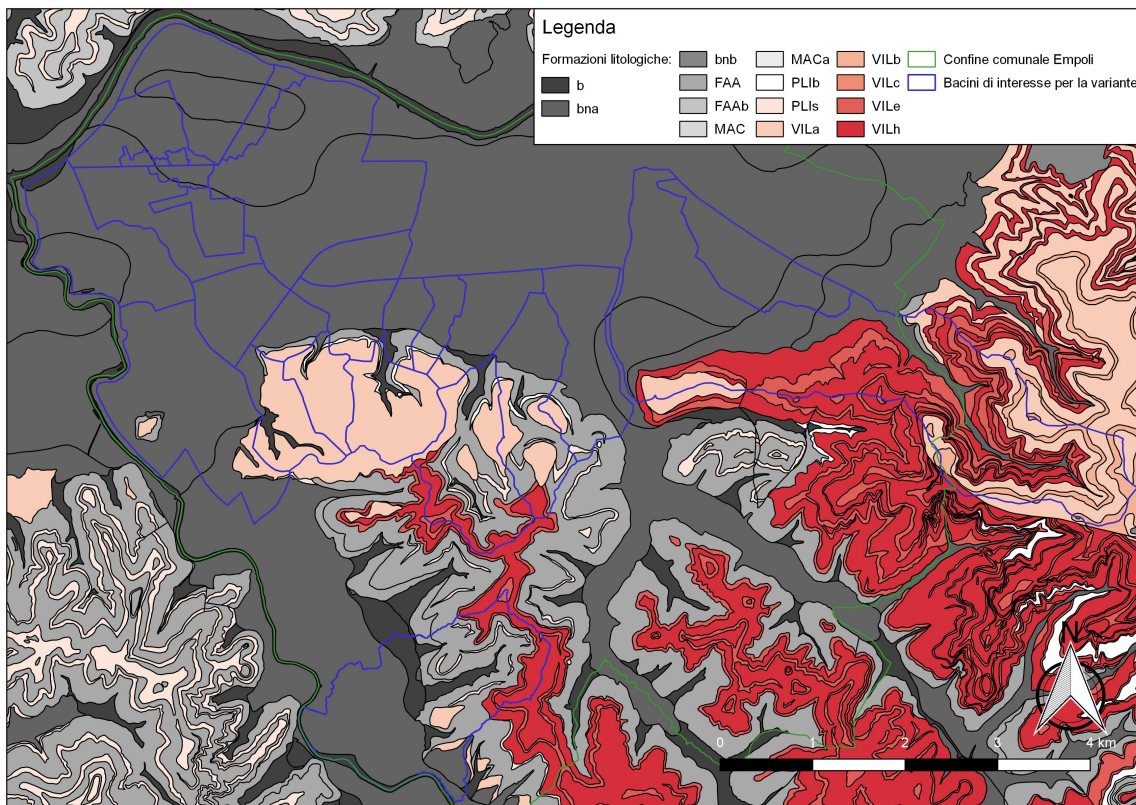


Figura 21: estratto della carta del continuum geologico della Regione Toscana relativo all'area di interesse

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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	Area [kmq]	% area boscata	I_a [mm]	K_s [mm/h]
Santa Maria	1.35	46.70%	13.57	1.000
Stella 1	0.57	17.50%	7.15	1.000
Friano 1	0.75	11.00%	5.72	1.000
Piovola 2	3.91	36.20%	11.26	1.053
Terraio	1.35	6.50%	4.73	0.988
Cappuccini	1.42	37.70%	11.59	0.988
Volpi 4	0.96	0.00%	3.30	3.053
Volpi 5	0.32	0.00%	3.30	3.053
Tombaluna 2	1.31	3.51%	4.07	2.220
Tombaluna 3	0.42	2.20%	3.78	2.220

Tabella 6: parametri per la stima delle perdite per i bacini "di monte"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</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: Vitiana 0, Vitiana 1, Vitiana 2 monte, Vitiana 2 valle, Pagnana 1, Pagnana 2, Pagnana 3, Lucchese Est, Lucchese Ovest, Lucchese Sud, Rio di Riottoli, Cinotti Ovest, Cinotti Est, Corniola, Friano 2, Stella 2, Pratella 1, Pratella Area Industriale, Piovola 1, Tombaluna 1, Volpi 1, Volpi 2 e Volpi 3.

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	C_d		C_d
Vitiana 0	0.50	Rio Riottoli	0.55
Vitiana 1	0.50	Cinotti Ovest	0.50
Pagnana 1	0.50	Corniola	0.55
Pagnana 2	0.69	Cinotti Est	0.50
Friano 2	0.52	Pratella 1	0.50
Pagnana 3	0.52	Pratella Area Industriale	0.50
Stella 2	0.50	Piovola 1	0.50
Vitiana 2 monte	0.55	Tombaluna 1	0.50
Vitiana 2 valle	0.55	Volpi 1	0.50
Lucchese Sud	0.52	Volpi 2	0.50
Lucchese Est	0.52	Volpi 3	0.50
Lucchese Ovest	0.52		

Tabella 7 Valori del coefficiente di deflusso per i bacini "di pianura"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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.

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 [kmq]	T_c [h]	Bacino	Area [kmq]	T_c [h]
Vitiana 0	0.58	2.991	Vitiana 2 monte	2.95	9.866
Vitiana 1	0.49	2.620	Vitiana 2 valle	1.28	0.974
Pagnana 1	0.37	2.144	Rio Riottoli	0.25	1.613
Pagnana 2	0.72	3.497	Cinotti Ovest	0.36	2.097
Friano 2	1.48	5.928	Corniola	0.77	3.656
Pagnana 3	1.66	6.463	Cinotti Est	0.35	2.054
Stella 2	0.39	2.221	Pratella 1	0.71	3.456
Lucchese Sud (bacino Fosso1 tratto monte RAS)	0.13	0.974	Pratella Area Industriale	0.20	1.372
			Piovola 1	3.27	10.64
Lucchese Est (bacino Fosso2 Est RAS)	0.03	0.369	Tombaluna 1	1.41	5.726
			Volpi 1	0.58	2.964
Lucchese Ovest (bacino Fosso1 tratto valle RAS)	0.00	0.568	Volpi 2	0.33	1.973
			Volpi 3	0.34	2.031

Tabella 8 tempo di corrivazione per i bacini "di pianura"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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 valori dei tempi di corrivazione per i bacini non considerati nello studio 2012 sono stati calcolati prendendo in esame le equazioni ricavate nell'ambito del modello Al.To. per i bacini toscani, riportate a seguire:

$$T_c = \frac{0.32 \cdot (A^{0.5})}{0.6} \quad \text{Toscana A}$$

$$T_c = \frac{0.1 \cdot L}{0.6} \quad \text{Toscana L}$$

inoltre si è valutato il tempo di corrivazione con la seguente formula di Ferro:

$$T_c = 0.675 \cdot A^{0.5} \quad \text{Ferro}$$

Il valore ottenuto con i diversi metodi è stato 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_i), valutando per ogni tratto la velocità V_i 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

Bacino	Area [kmq]	T_c [h]	Bacino	Area [kmq]	T_c [h]
Santa Maria	1.35	1.082	Cappuccini	1.42	1.082
Stella 1	0.57	1.082	Volpi 4	0.96	0.522
Friano 1	0.75	1.082	Volpi 5	0.32	0.300
Piovola 2	3.91	1.230	Tombaluna 2	1.31	0.585
Terraio	1.35	1.327	Tombaluna 3	0.42	0.350

Tabella 9 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:

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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

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 $n \cdot k$ 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 nello studio 2012, 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	Area [kmq]	n	k
Stella 1	0.57	2.963	0.219
Santa Maria	1.35	2.963	0.219
Friano 1	0.75	2.963	0.219
Piovola 2	3.91	2.484	0.297
Cappuccini	1.42	2.963	0.219
Terraio	1.35	2.959	0.269
Volpi 4	0.96	3.071	0.102
Volpi 5	0.32	3.071	0.059
Tombaluna 2	1.31	2.638	0.133
Tombaluna 3	0.42	1.077	0.195

Tabella 10 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 $d - t_c$.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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.

	TR030TP01H	TR030TP02.5H	TR030TP04H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Piovola 2	34.80	24.93	17.47	3.74	2.89	1.92
Piovola 1	2.07	2.61	2.93	2.04	1.68	1.28
Pratella 1	1.39	1.74	2.69	0.44	0.37	0.28
Pratella Area industriale	1.00	0.69	0.48	0.13	0.10	0.08
	TR200TP01H	TR200TP02.5H	TR200TP04H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Piovola 2	51.47	36.13	25.67	6.15	4.91	3.54
Piovola 1	2.89	3.71	4.22	3.06	2.54	1.96
Pratella 1	1.93	2.48	2.44	0.66	0.55	0.42
Pratella Area industriale	1.38	0.98	0.70	0.19	0.16	0.12

Tabella 11 - portate idrologiche massime dei bacini del sistema della Piovola

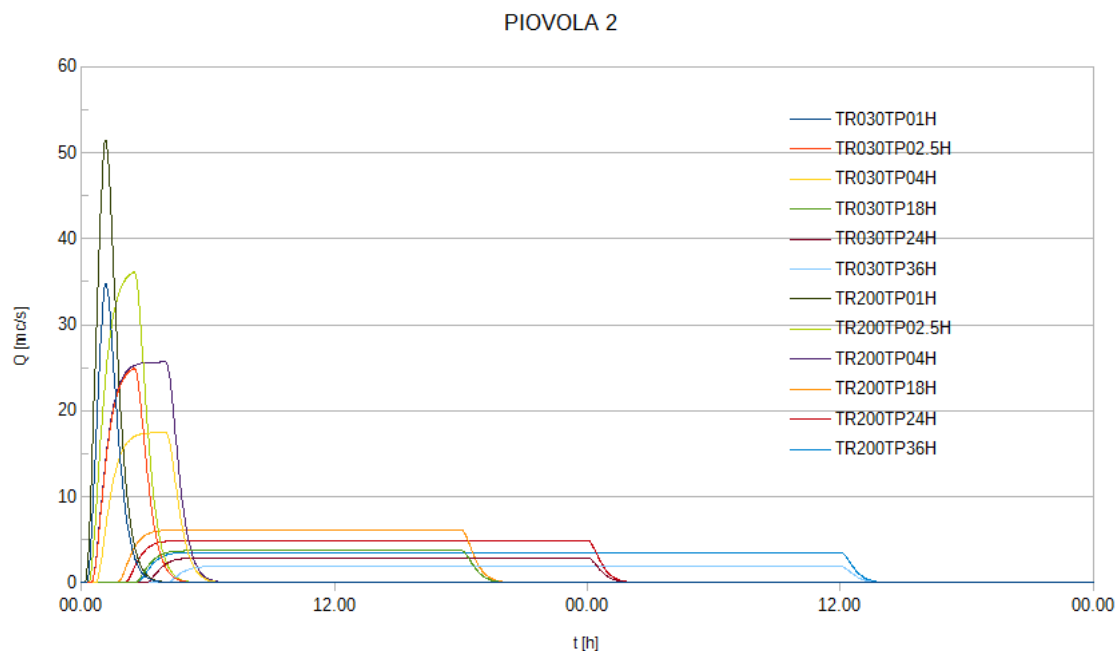


Figura 22: idrogrammi relativi al bacino Piovola 2

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

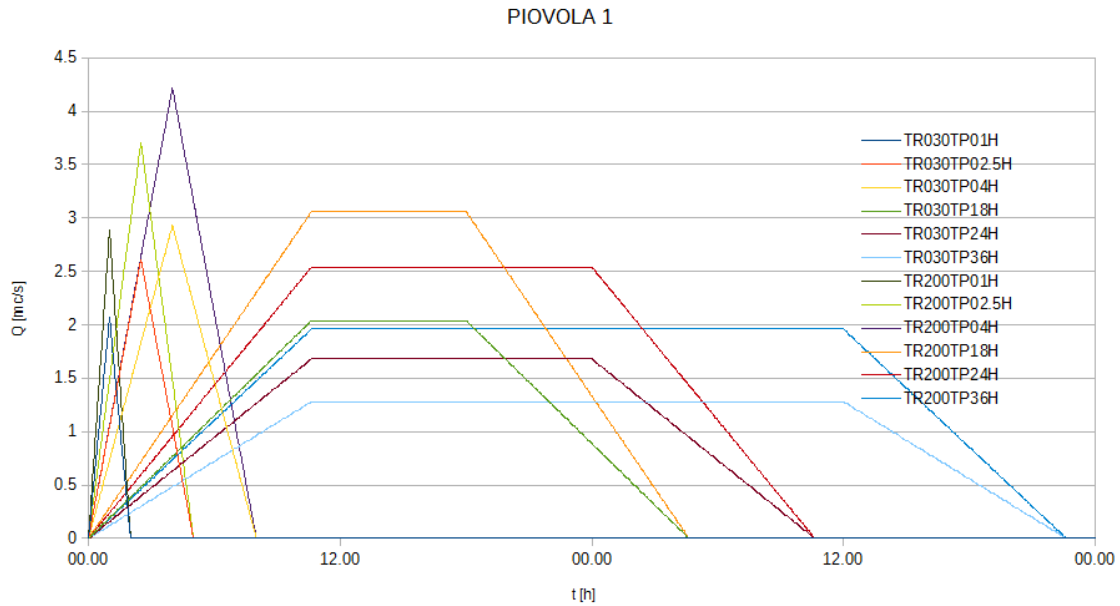


Figura 23: idrogrammi relativi al bacino Piovola 1

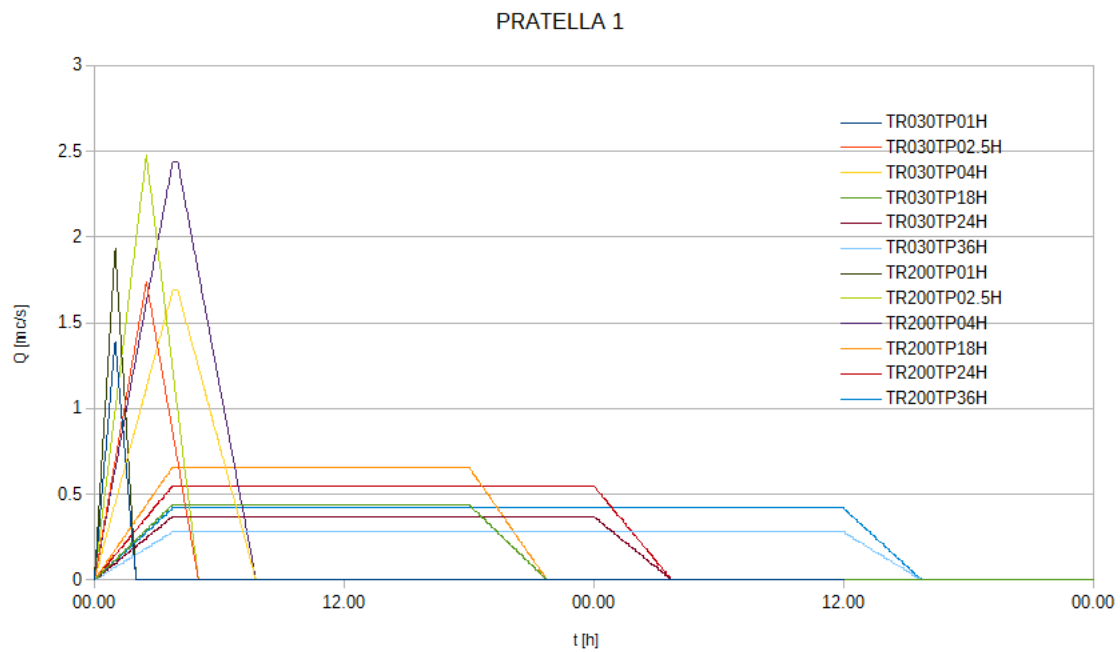


Figura 24: idrogrammi relativi al bacino Pratella 1

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

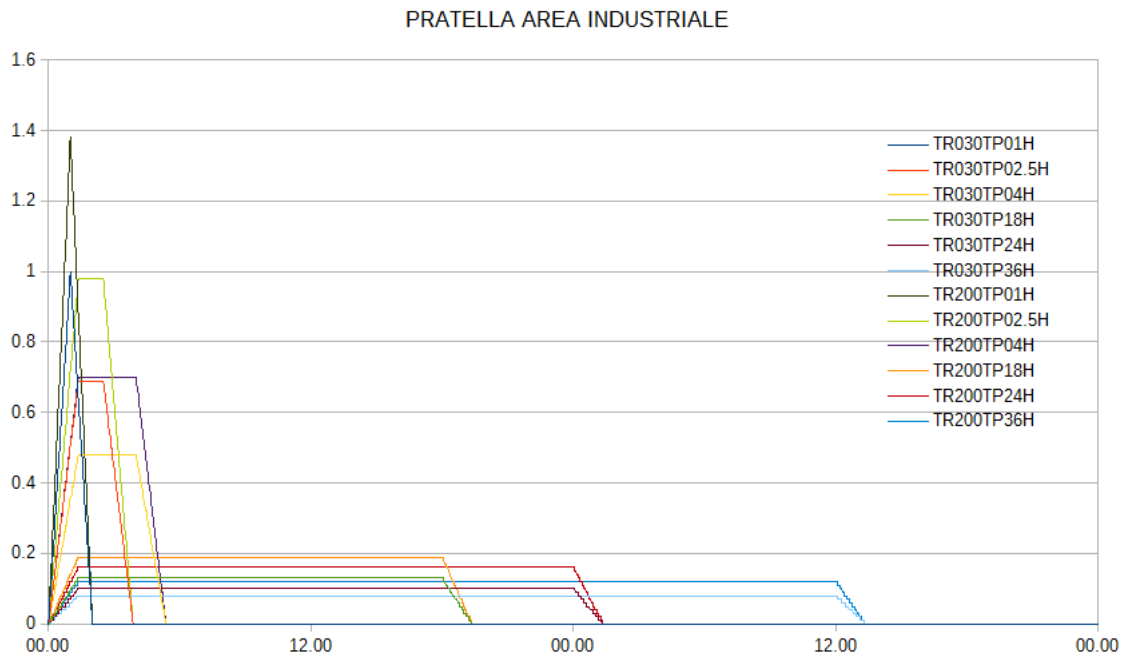


Figura 25: idrogrammi relativi al bacino Pratella Area Industriale

	TR030TP01H	TR030TP03H	TR030TP06H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Tombaluna 3	5.22	2.20	1.22	0.29	0.220	0.10
Tombaluna 2	16.45	7.02	3.90	0.94	0.63	0.31
Tombaluna 1	1.66	2.21	2.53	0.94	0.78	0.60
	TR200TP01H	TR200TP03H	TR200TP06H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Tombaluna 3	7.37	3.26	1.90	0.57	0.43	0.28
Tombaluna 2	23.29	10.39	6.04	1.81	1.37	0.89
Tombaluna 1	2.31	3.17	3.69	1.41	1.18	0.91

Tabella 12 - portate idrologiche massime dei bacini del Rio di Tombaluna

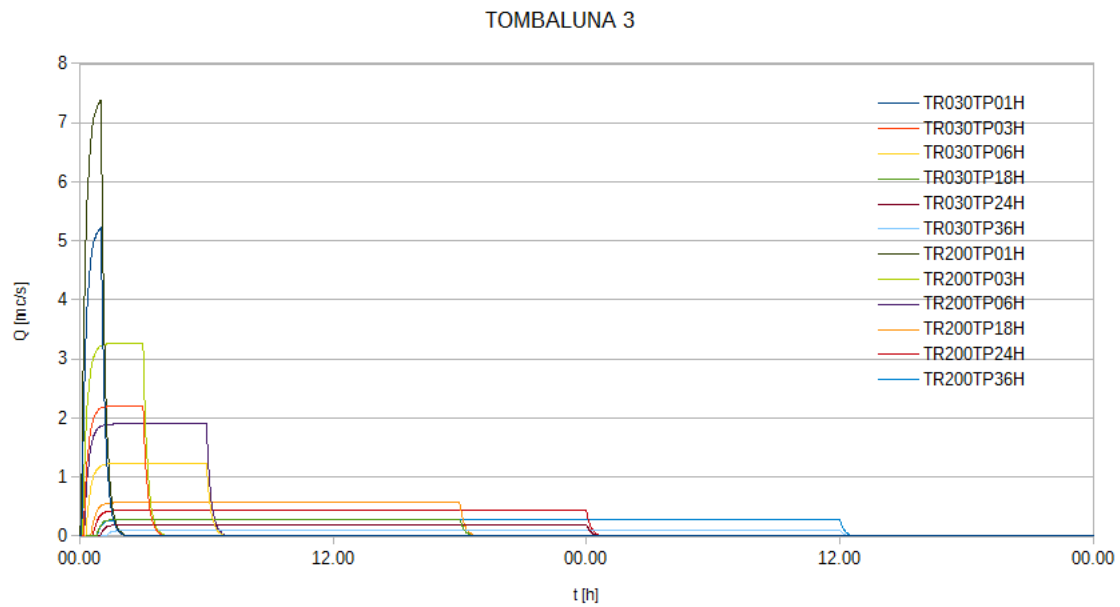


Figura 26: idrogrammi relativi al bacino Tombaluna 3

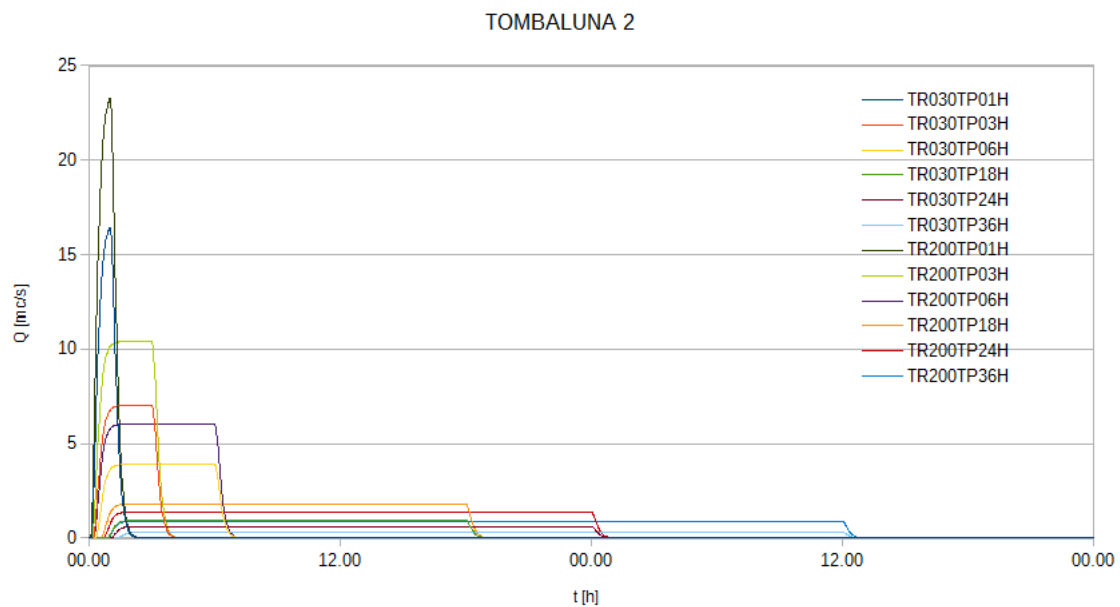


Figura 27: idrogrammi relativi al bacino Tombaluna 2

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

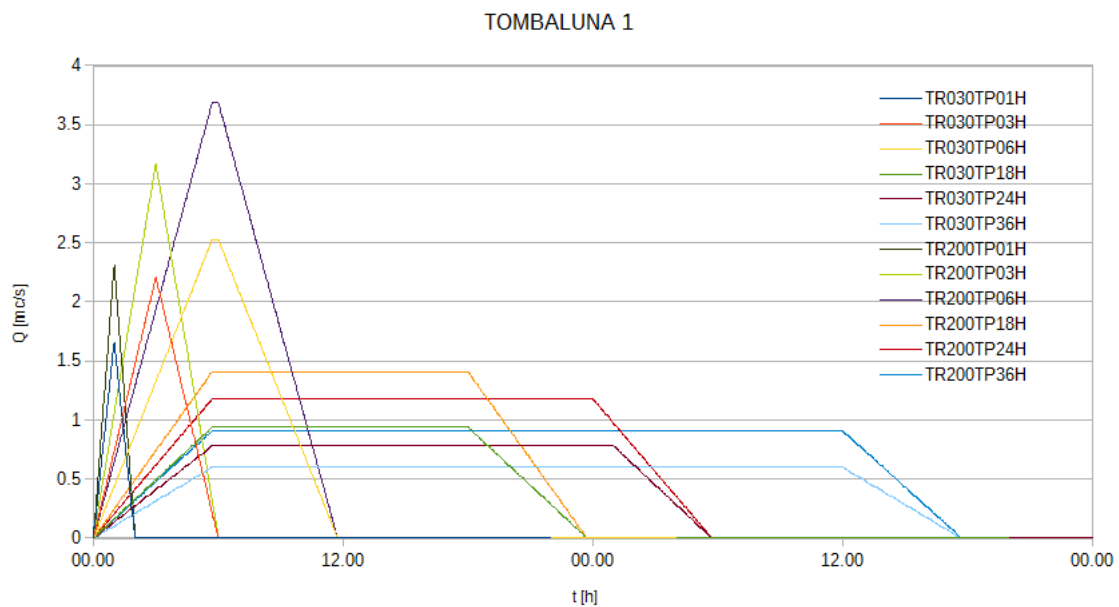


Figura 28: idrogrammi relativi al bacino Tombaluna 1

	TR030TP01H	TR030TP03H	TR030TP06H	TR030TP18H	TR030TP24H	TR030TP36H
Cappuccini	14.51	8.39	4.91	1.53	1.22	0.84
Terraio	13.47	7.96	4.67	1.45	1.16	0.80
Corniola	1.58	2.14	1.57	0.57	0.47	0.37
Cinotti Est	1.17	1.08	0.65	0.24	0.20	0.15
Cinotti Ovest	1.18	1.11	0.67	0.24	0.20	0.16
	TR200TP01H	TR200TP03H	TR200TP06H	TR200TP18H	TR200TP24H	TR200TP36H
Cappuccini	21.29	12.17	7.35	2.50	2.02	1.48
Terraio	19.21	11.56	6.99	2.37	1.92	1.41
Corniola	2.21	3.06	2.29	0.86	0.72	0.56
Cinotti Est	1.63	1.55	0.95	0.36	0.30	0.23
Cinotti Ovest	1.64	1.59	0.98	0.37	0.31	0.24

Tabella 13 - portate idrologiche massime dei bacini del sistema Cappuccini

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

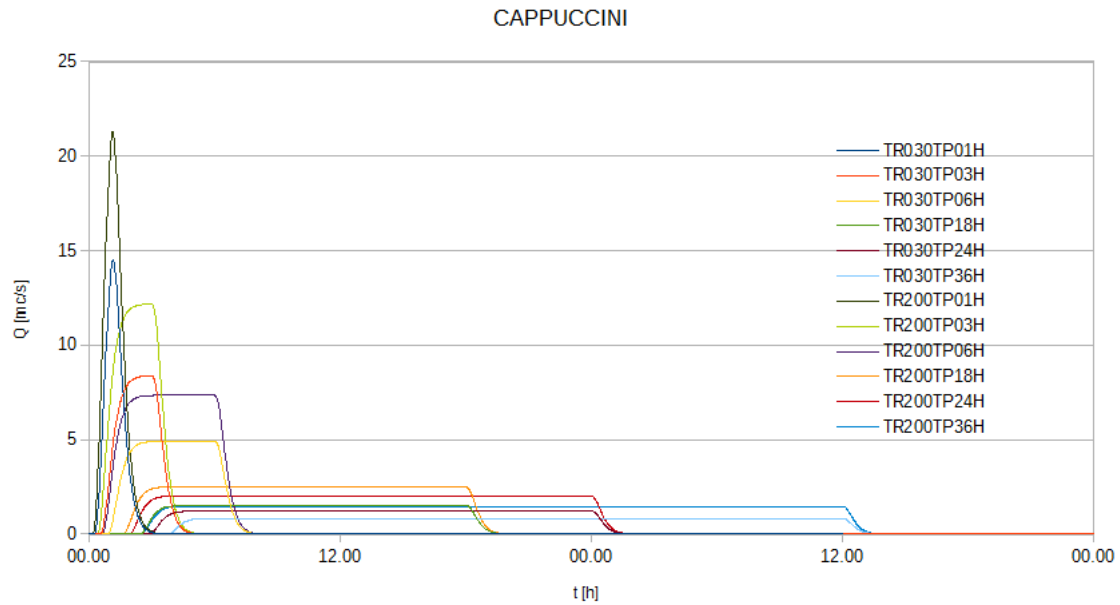


Figura 29: idrogrammi relativi al bacino Cappuccini

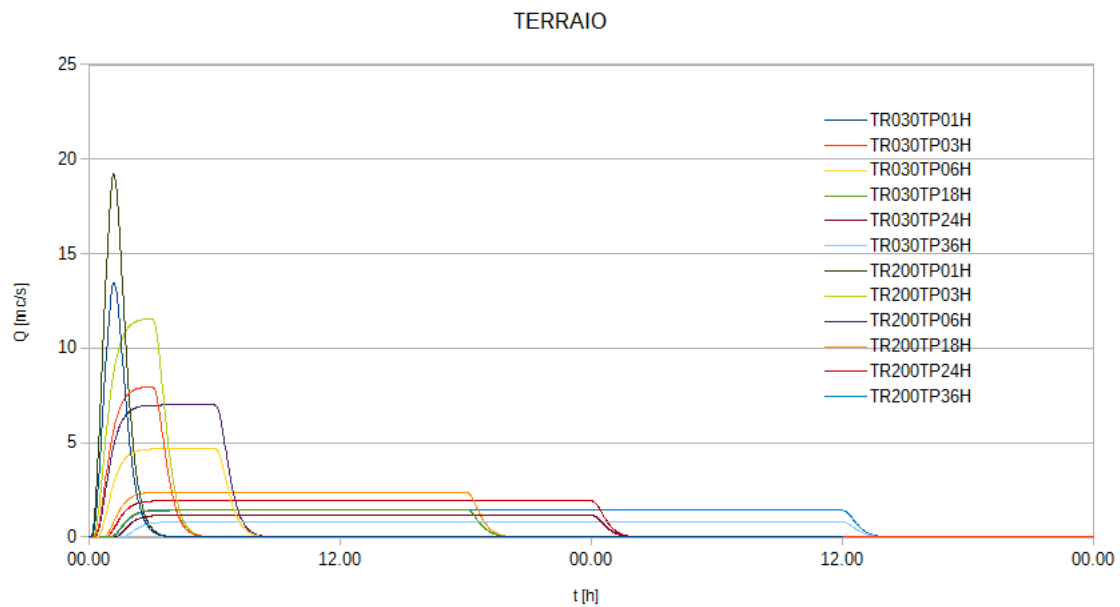


Figura 30: idrogrammi relativi al bacino Terraio

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

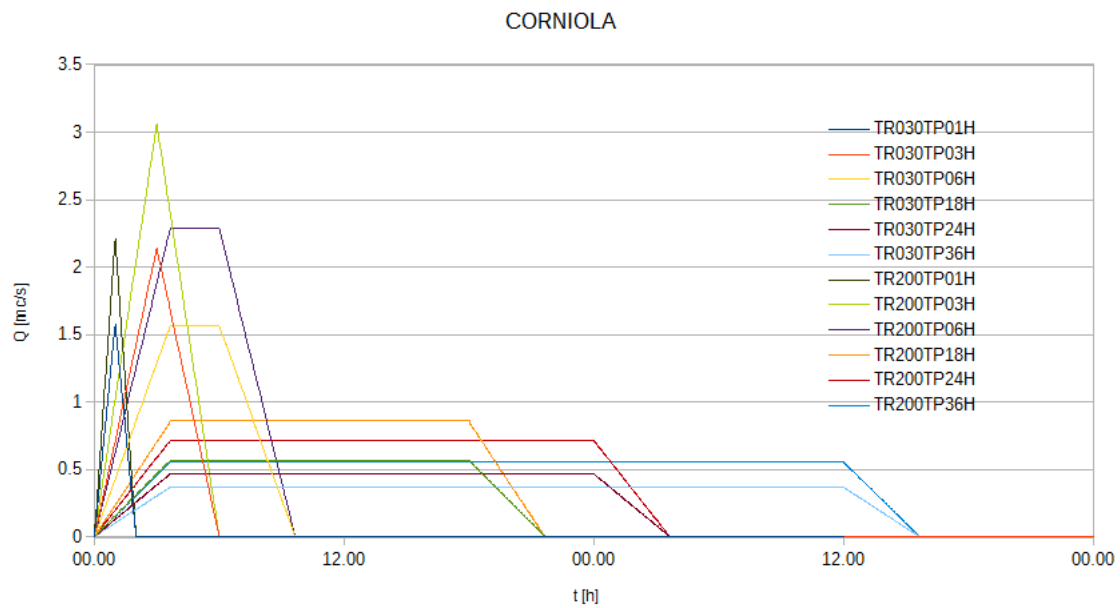


Figura 31: idrogrammi relativi al bacino Corniola

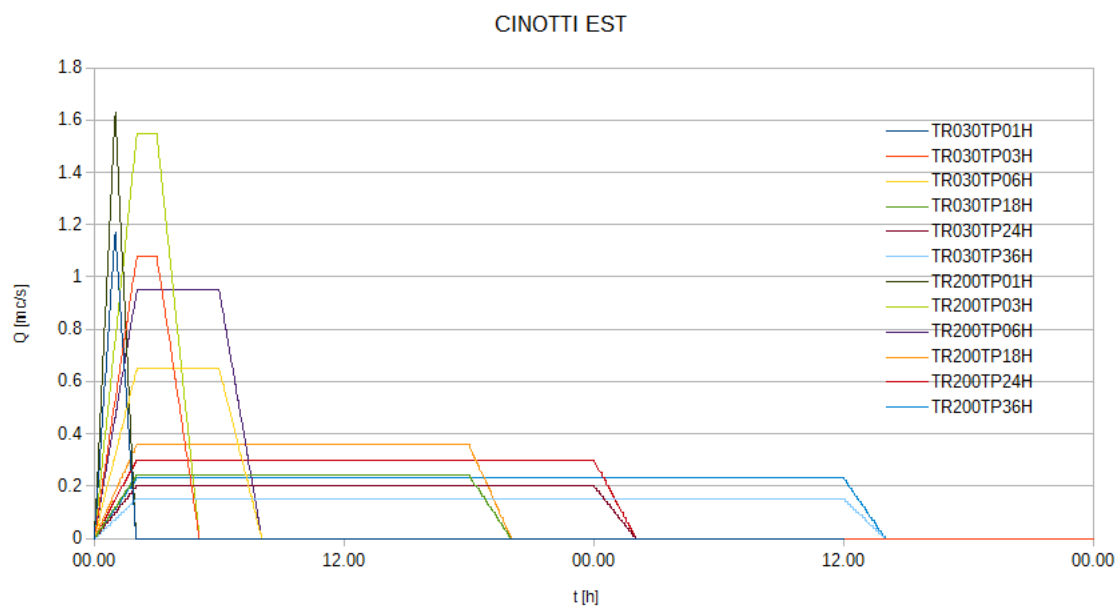


Figura 32: idrogrammi relativi al bacino Cinotti Est

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

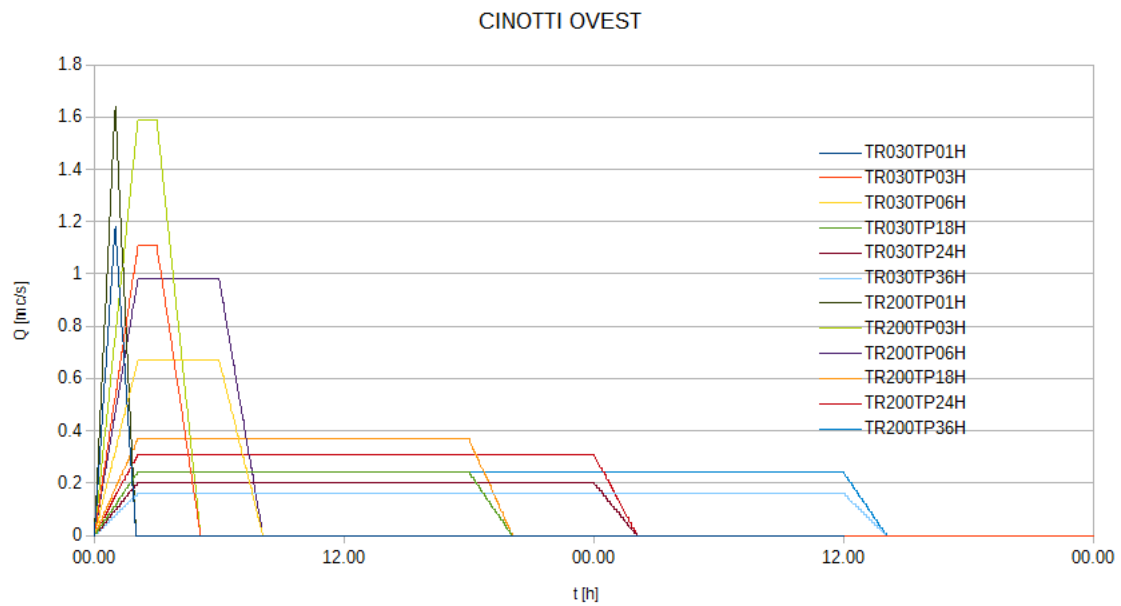
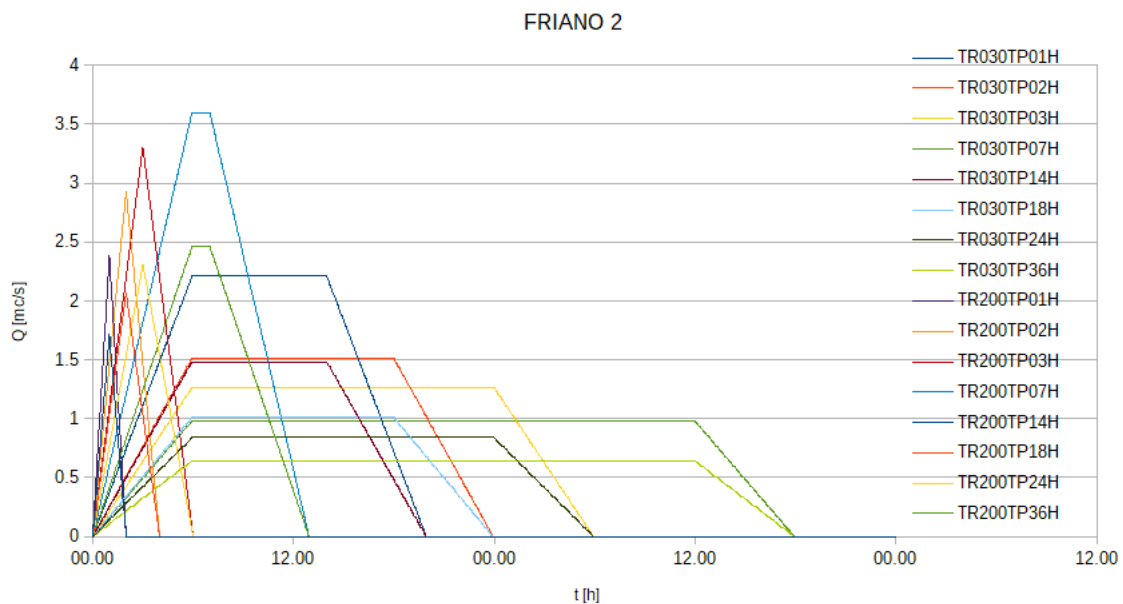
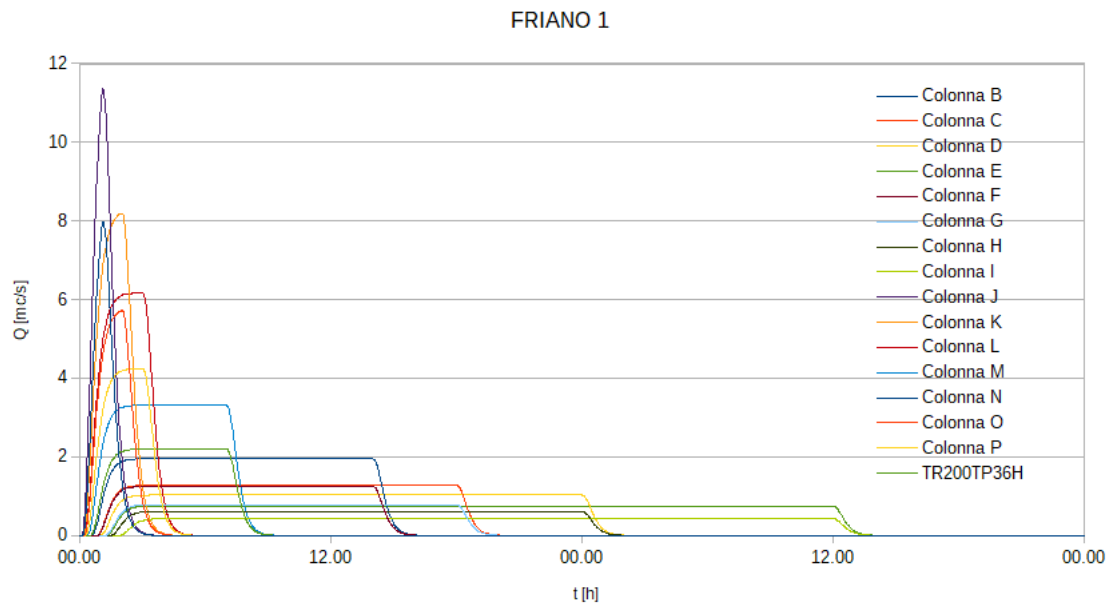


Figura 33: idrogrammi relativi al bacino Cinotti Ovest

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	TR030 TP01H	TR030 TP02H	TR030 TP03H	TR030 TP07H	TR030 TP14H	TR030 TP18H	TR030 TP24H	TR030 TP36H
Friano 1	7.96	5.72	4.24	2.19	1.24	0.78	0.60	0.42
Friano 2	1.72	2.07	2.31	2.46	1.48	1.01	0.84	0.64
Pagnana 1	1.15	1.38	1.10	0.59	0.36	0.24	0.20	0.16
Pagnana 2	1.89	2.27	2.54	1.59	0.96	0.65	0.54	0.42
Pagnana 3	1.77	2.14	2.38	2.77	1.67	1.14	0.94	0.72
Stella 1	5.89	4.30	3.19	1.65	0.93	0.59	0.45	0.31
Stella 2	1.16	1.40	1.16	0.62	0.38	0.26	0.21	0.16
Santa Maria	12.73	10.13	7.63	3.94	2.23	1.40	1.09	0.75
Vitiana 0	1.29	1.56	1.73	0.93	0.56	0.38	0.32	0.24
Vitiana 1	1.23	1.49	1.45	0.78	0.47	0.32	0.27	0.20
Vitiana 2 monte	2.18	2.63	2.93	3.69	3.13	2.13	1.77	1.36
Vitiana 2 valle	1.75	2.11	2.35	2.26	1.36	0.93	0.77	0.59
Lucchese sud	0.88	0.53	0.39	0.21	0.13	0.09	0.07	0.06
Lucchese Est	0.23	0.14	0.11	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02
Lucchese Ovest	0.42	0.25	0.19	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03
Riottoli	1.14	1.11	0.82	0.44	0.27	0.18	0.15	0.12
	TR200 TP01H	TR200 TP02H	TR200 TP03H	TR200 TP07H	TR200 TP14H	TR200 TP18H	TR200 TP24H	TR200 TP36H
Friano 1	11.36	8.19	6.16	3.30	1.94	1.27	1.02	0.74
Friano 2	2.39	2.93	3.31	3.60	2.21	1.51	1.26	0.98
Pagnana 1	1.60	1.96	1.58	0.87	0.53	0.37	0.31	0.24
Pagnana 2	2.62	3.22	3.63	2.33	1.43	0.98	0.82	0.63
Pagnana 3	2.46	3.03	3.41	4.05	2.48	1.70	1.42	1.10
Stella 1	8.46	6.17	4.64	2.49	1.46	0.95	0.77	0.56
Stella 2	1.61	1.98	1.65	0.91	0.56	0.38	0.32	0.25
Santa Maria	19.00	14.64	11.09	5.95	3.49	2.28	1.83	1.33
Vitiana 0	1.80	2.21	2.48	1.37	0.84	0.57	0.48	0.37
Vitiana 1	1.71	2.10	2.07	1.14	0.70	0.48	0.40	0.31
Vitiana 2 monte	3.03	3.72	4.20	5.39	4.66	3.20	2.67	2.07
Vitiana 2 valle	2.43	2.99	3.37	3.30	2.02	1.39	1.16	0.90
Lucchese sud	1.22	0.75	0.56	0.31	0.19	0.13	0.11	0.08
Lucchese Est	0.33	0.20'	0.15	0.08	0.05	0.04	0.03	0.02
Lucchese Ovest	0.59	0.36	0.27	0.15	0.09	0.06	0.05	0.04
Riottoli	1.58	1.57	1.18	0.65	0.40	0.27	0.23	0.18

Tabella 14 - portate idrologiche massime dei bacini del sistema Empoli Ovest



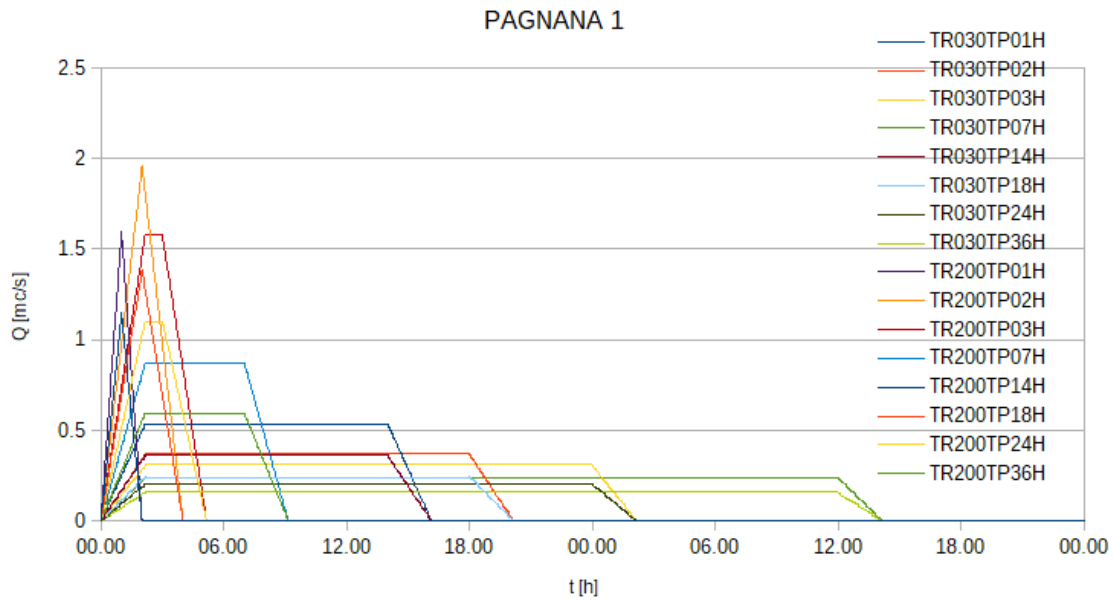


Figura 36: idrogrammi relativi al bacino Pagnana 1

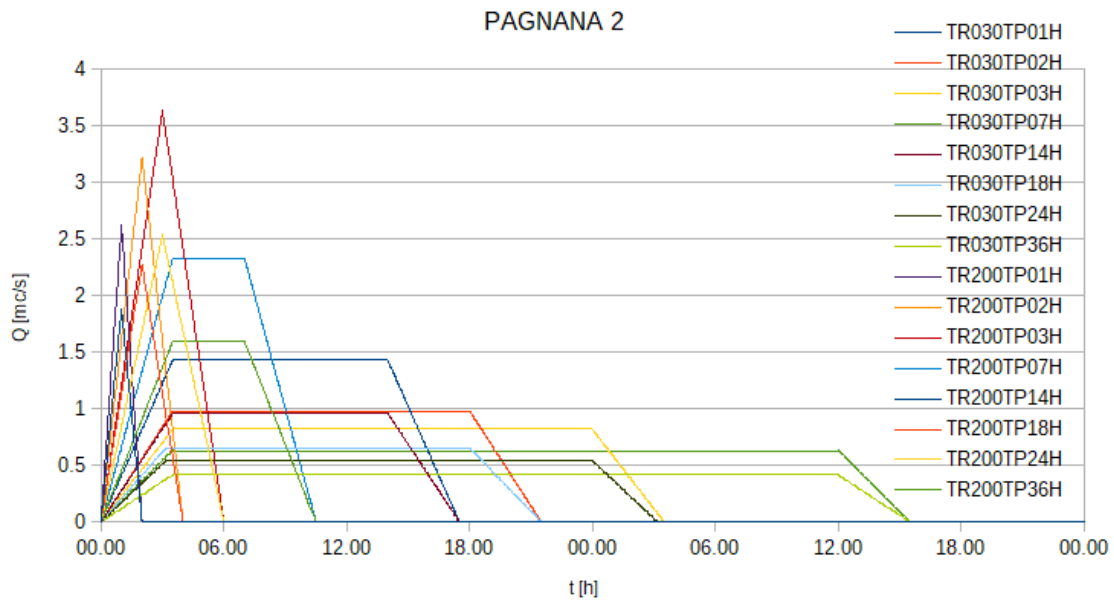


Figura 37: idrogrammi relativi al bacino Pagnana 2

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

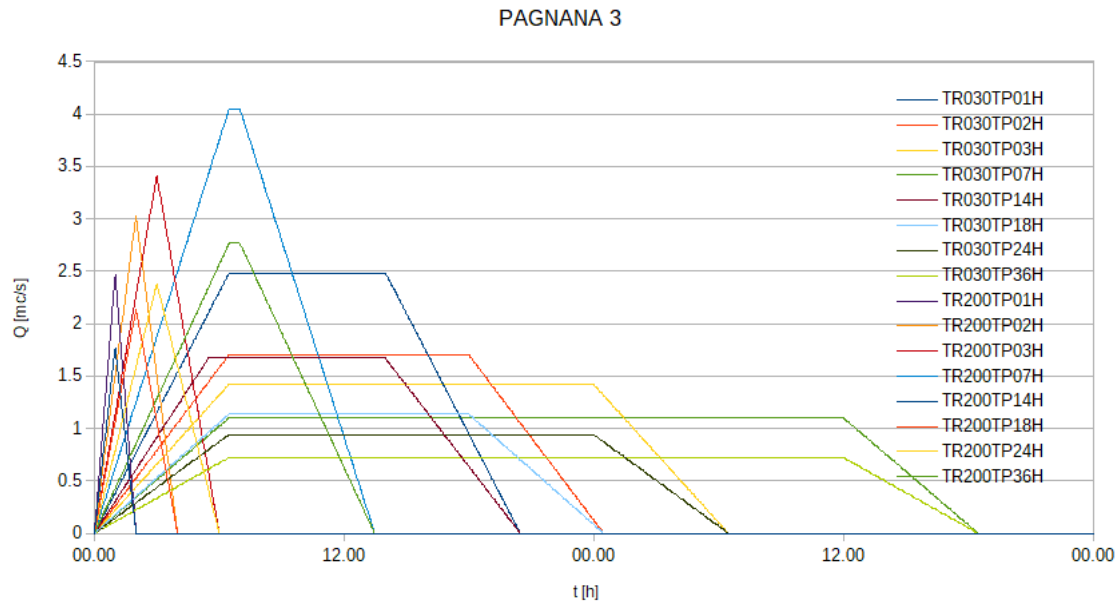


Figura 38: idrogrammi relativi al bacino Pagnana 3

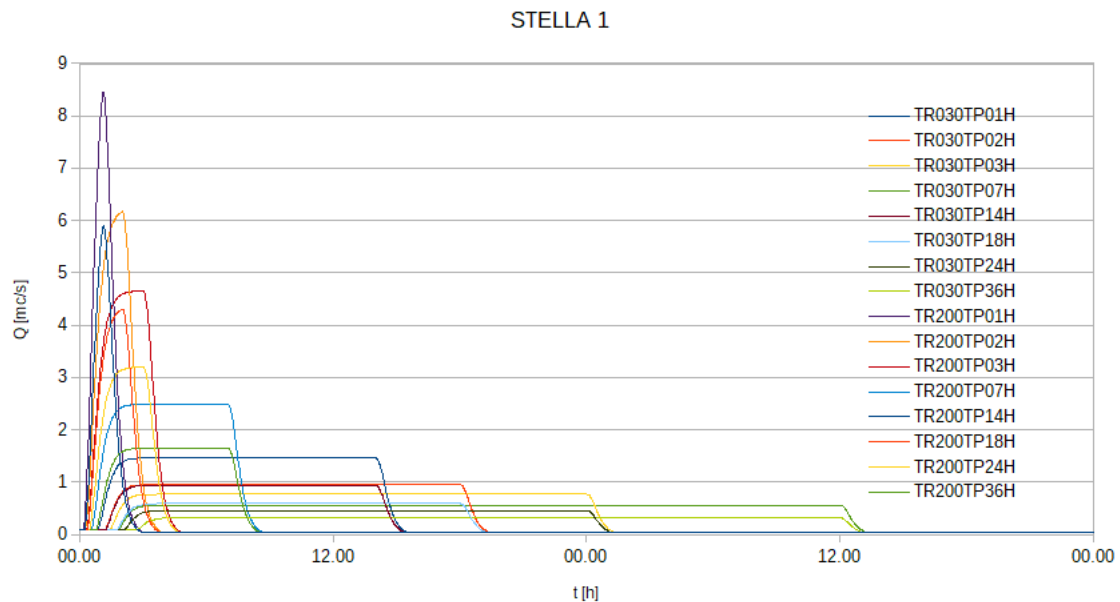


Figura 39: idrogrammi relativi al bacino Stella 1

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

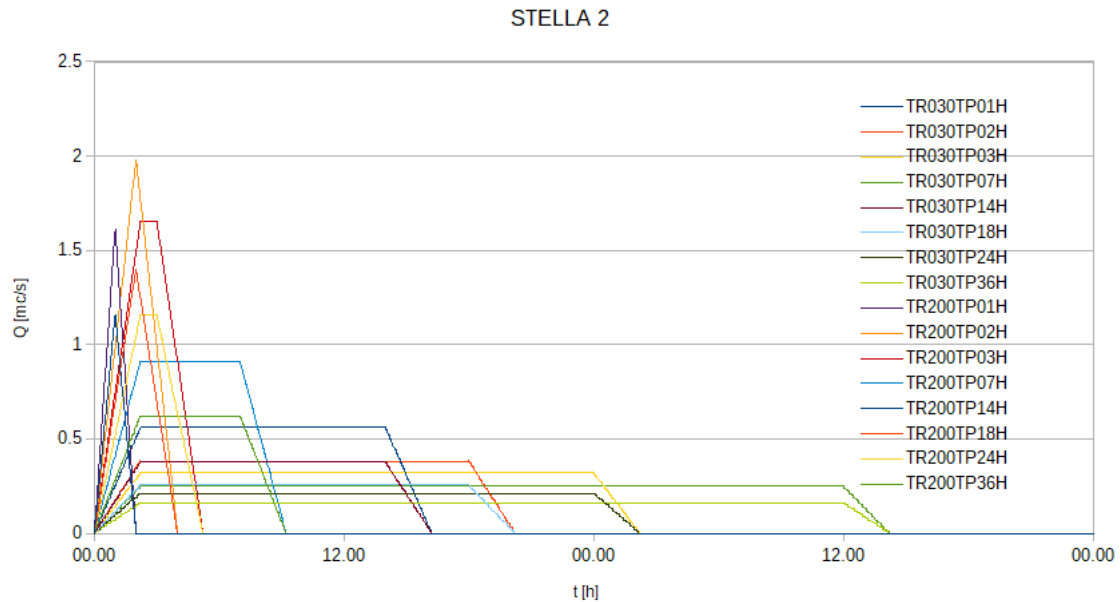


Figura 40: idrogrammi relativi al bacino Stella 2

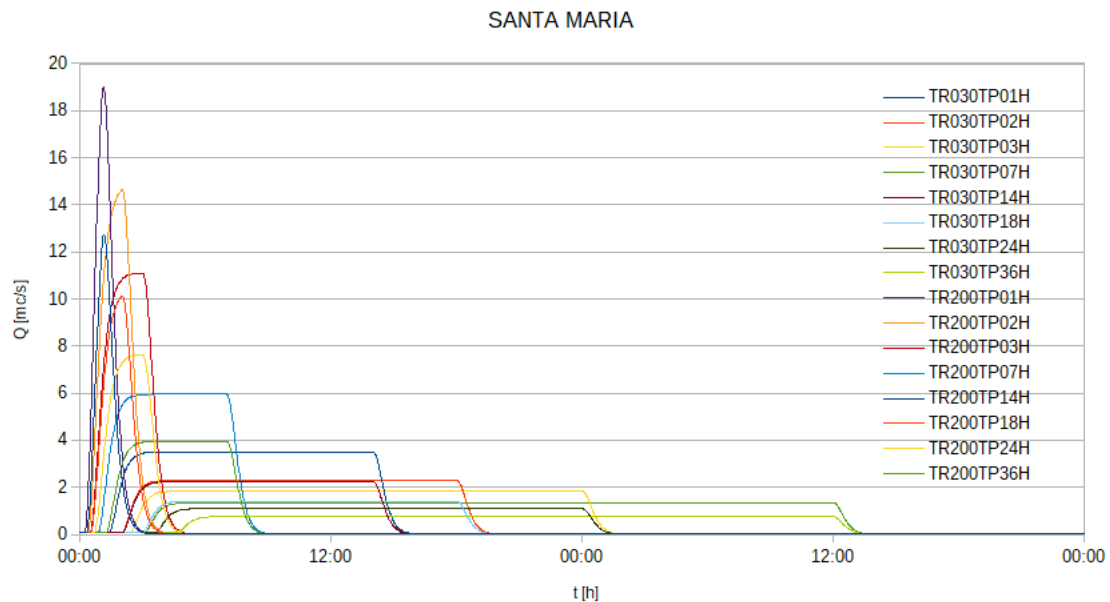


Figura 41: idrogrammi relativi al bacino Santa Maria

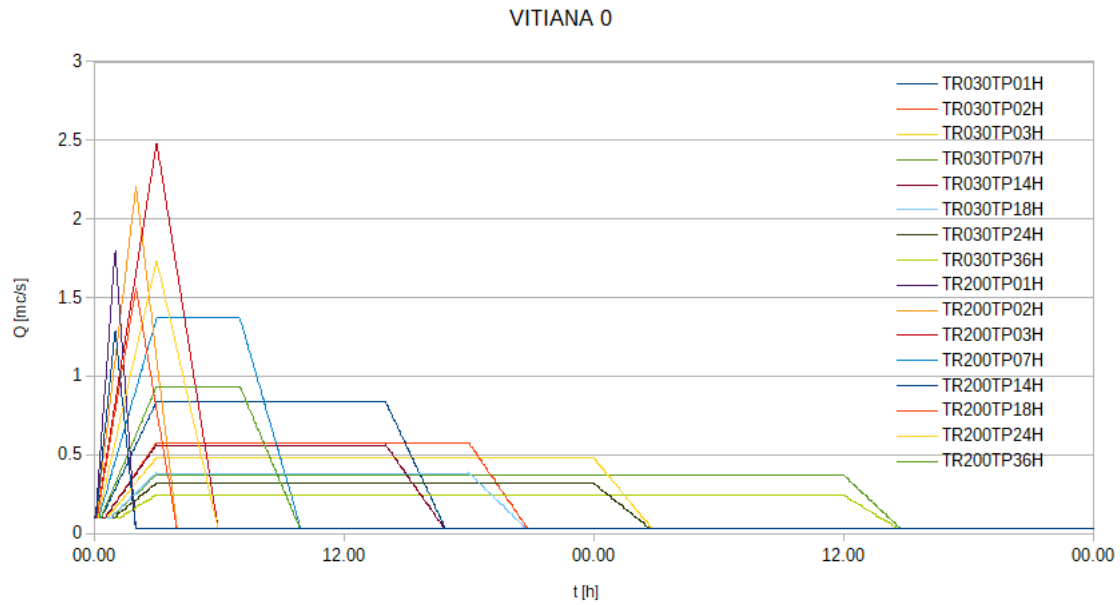


Figura 42: idrogrammi relativi al bacino Vitiana 0

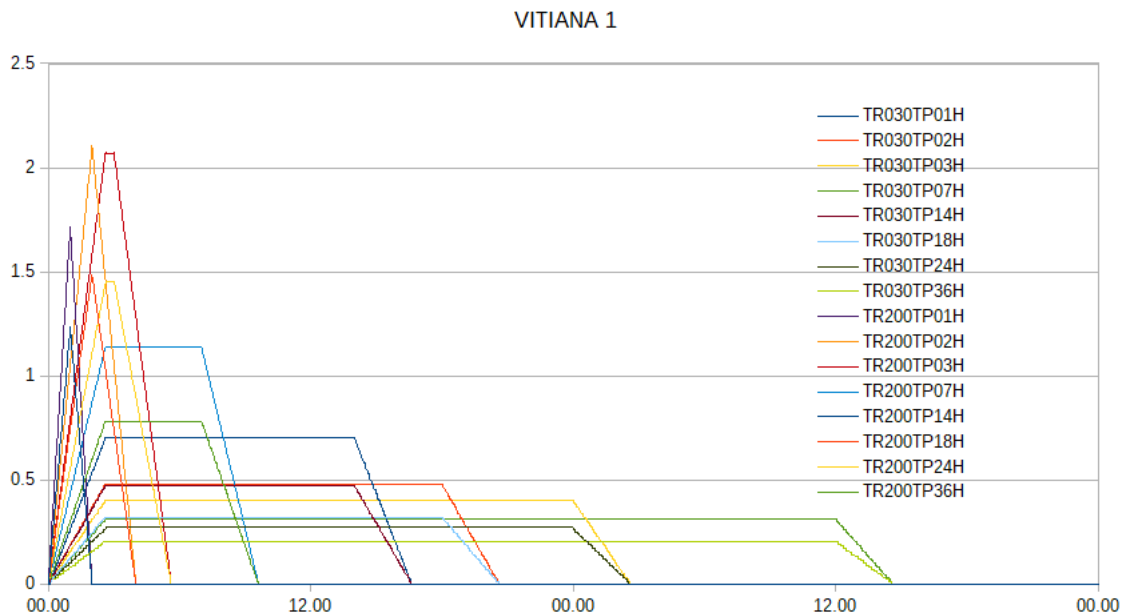


Figura 43: idrogrammi relativi al bacino Vitiana 1

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

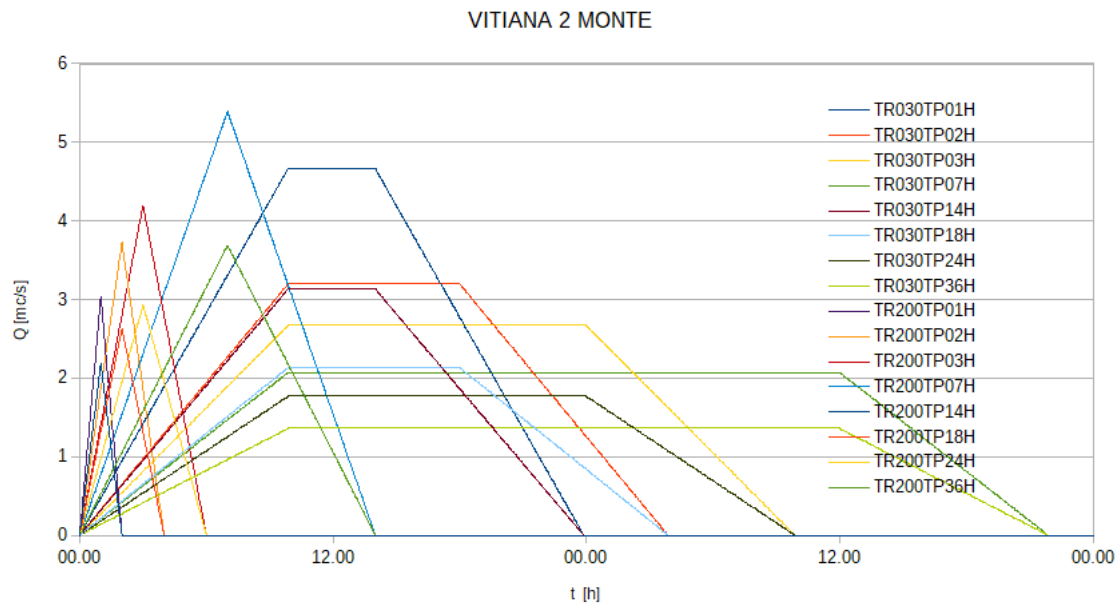


Figura 44: idrogrammi relativi al bacino Vitiana 2 monte

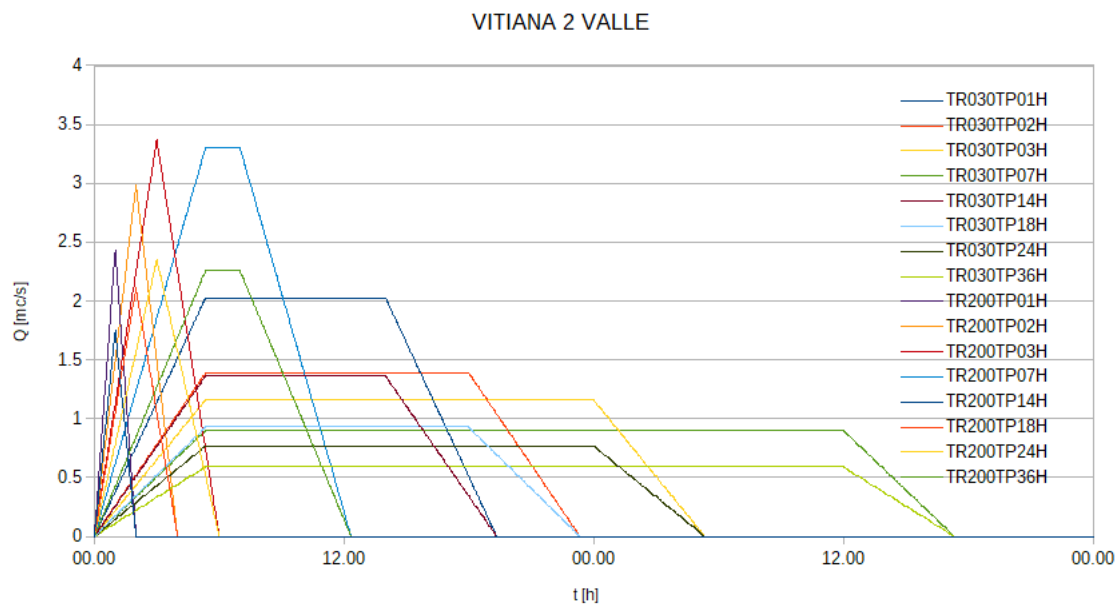


Figura 45: idrogrammi relativi al bacino Vitiana 2 valle

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

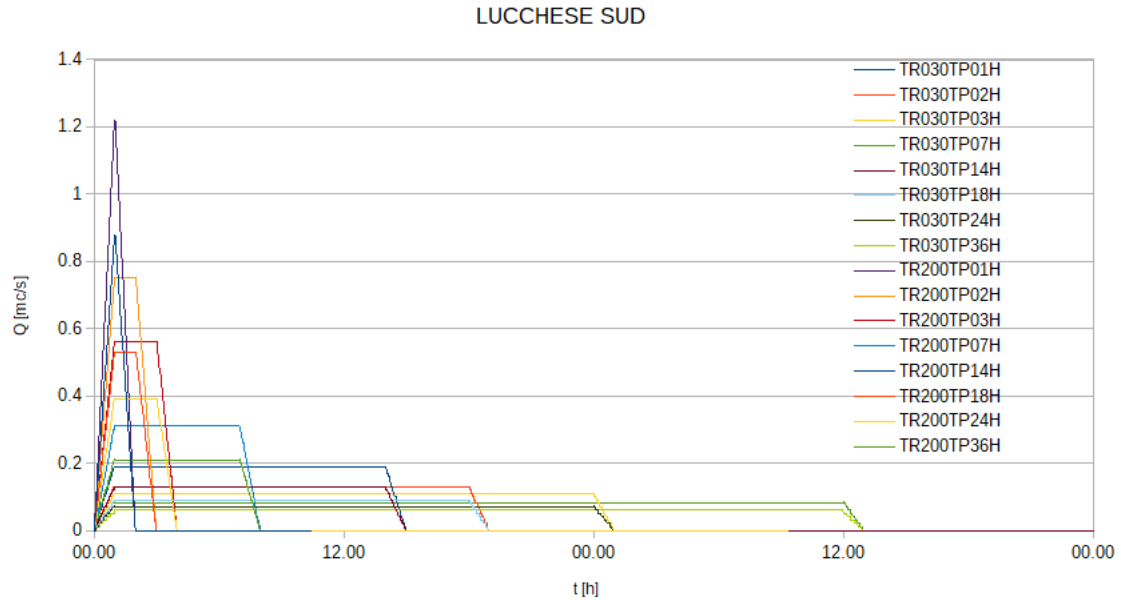


Figura 46: idrogrammi relativi al bacino Lucchese Sud

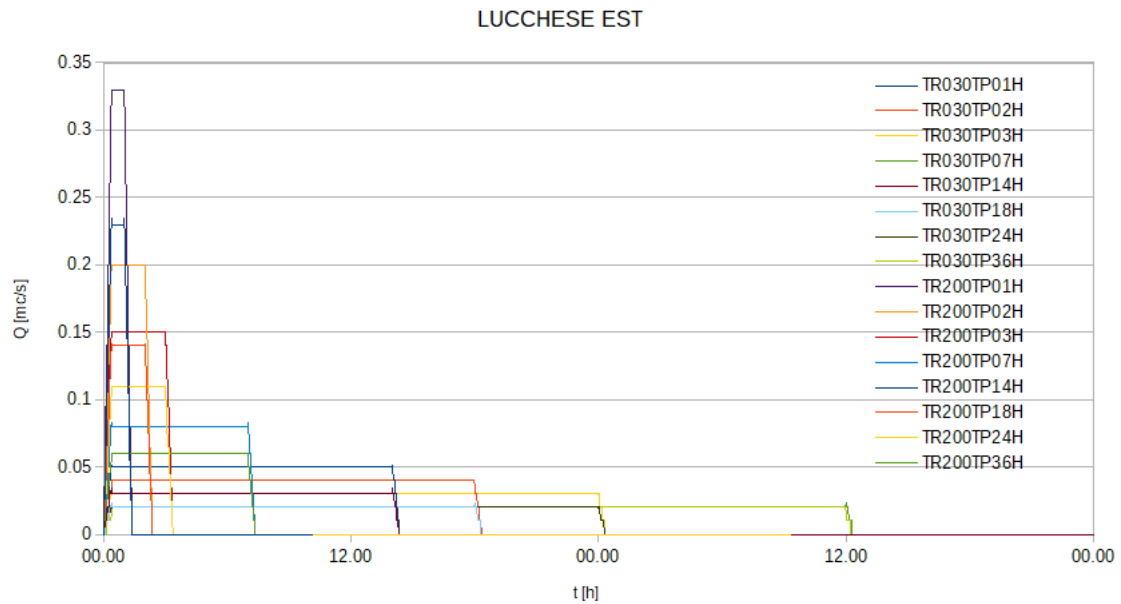


Figura 47: idrogrammi relativi al bacino Lucchese Est

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

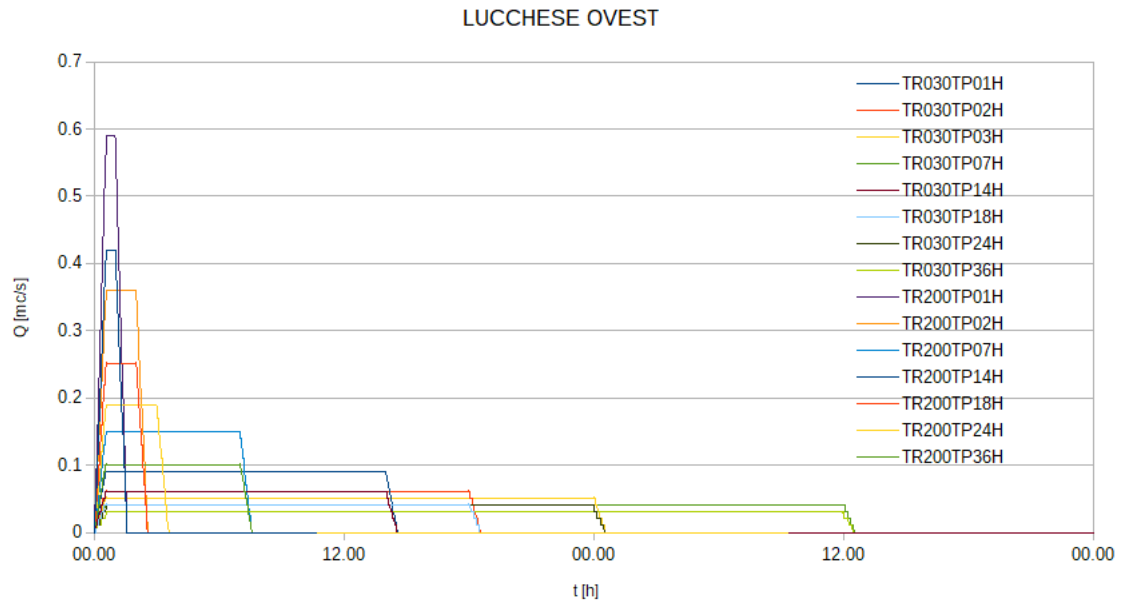


Figura 48: idrogrammi relativi al bacino Lucchese Ovest

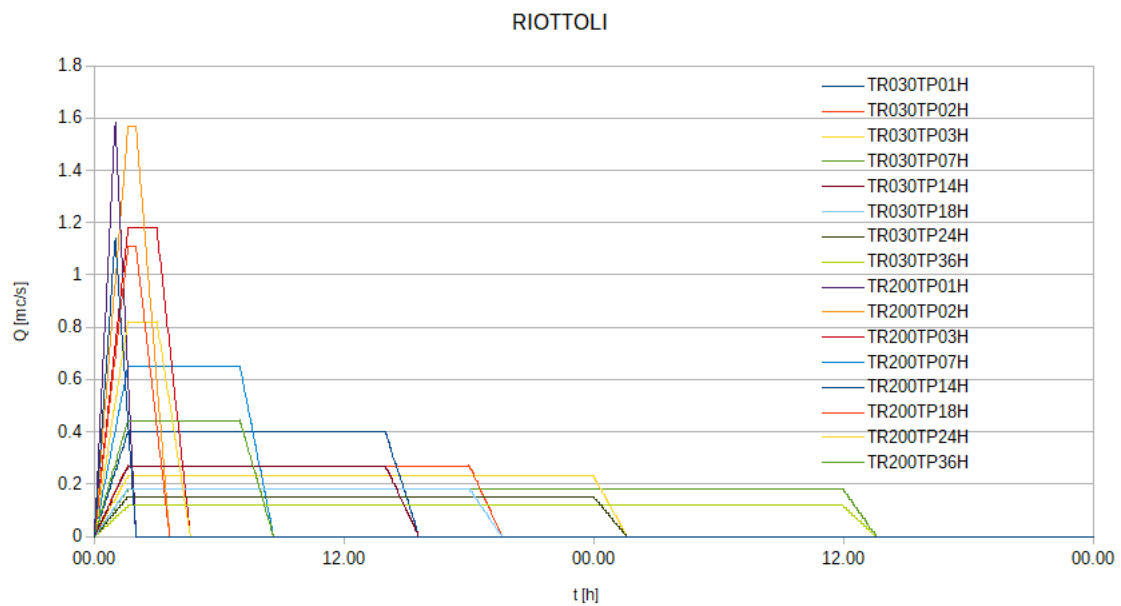


Figura 49: idrogrammi relativi al bacino Riottoli

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

	TR030 TP01H	TR030 TP02H	TR030 TP03H	TR030 TP07H	TR030 TP14H	TR030 TP18H	TR030 TP24H	TR030 TP36H
Volpi 5	12.26	7.06	5.03	2.32	1.06	0.43	0.23	0.00
Volpi 4	4.07	2.33	1.66	0.76	0.35	0.14	0.07	0.00
Volpi 3	1.16	1.40	1.05	0.56	0.34	0.23	0.19	0.14
Volpi 2	1.15	1.36	1.01	0.54	0.32	0.22	0.18	0.14
Volpi 1	1.33	1.60	1.76	0.94	0.56	0.38	0.31	0.24
	TR200 TP01H	TR200 TP02H	TR200 TP03H	TR200 TP07H	TR200 TP14H	TR200 TP18H	TR200 TP24H	TR200 TP36H
Volpi 5	17.39	10.35	7.56	3.76	1.98	1.07	0.75	0.40
Volpi 4	5.77	3.42	2.49	1.24	0.65	0.35	0.25	0.13
Volpi 3	1.62	1.98	1.50	0.82	0.50	0.34	0.28	0.22
Volpi 2	1.60	1.93	1.45	0.79	0.48	0.33	0.27	0.21
Volpi 1	1.86	2.26	2.52	1.38	0.84	0.57	0.47	0.37

Tabella 15 - portate idrologiche massime dei bacini del Rio delle Volpi

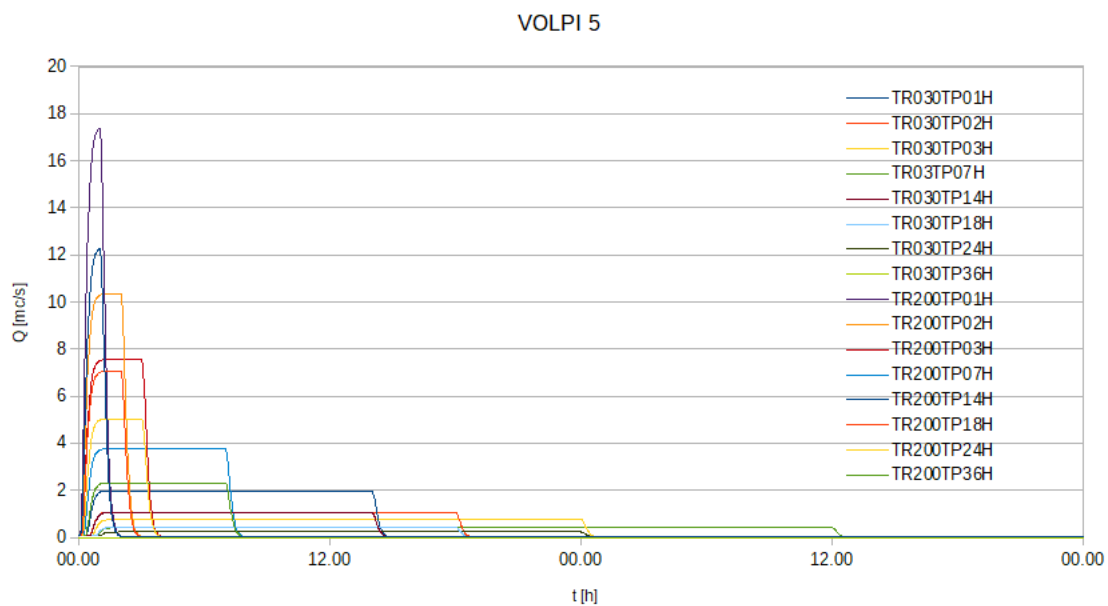
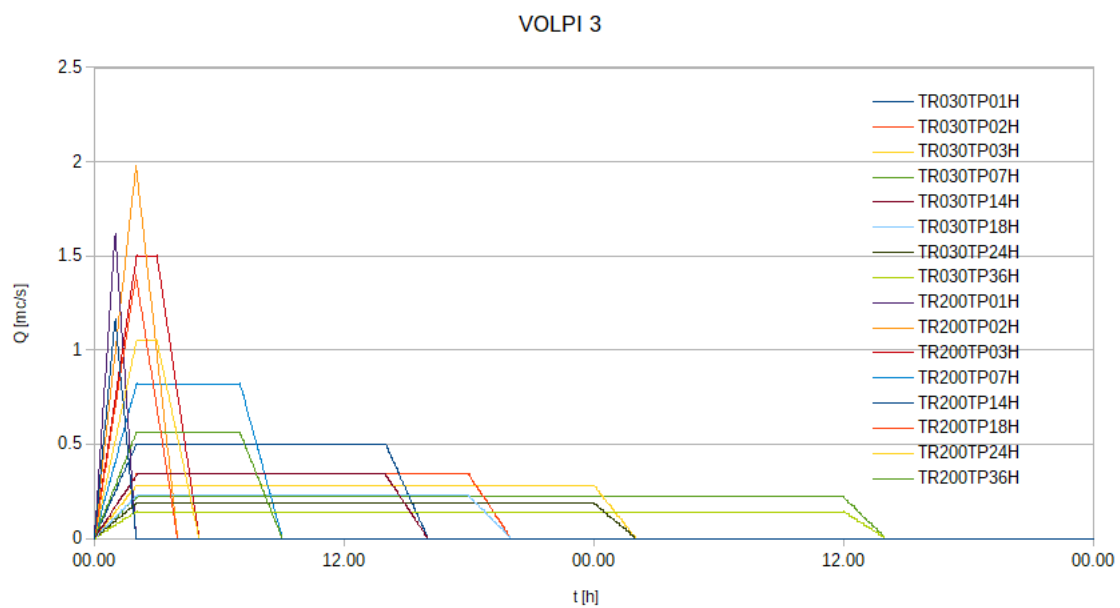
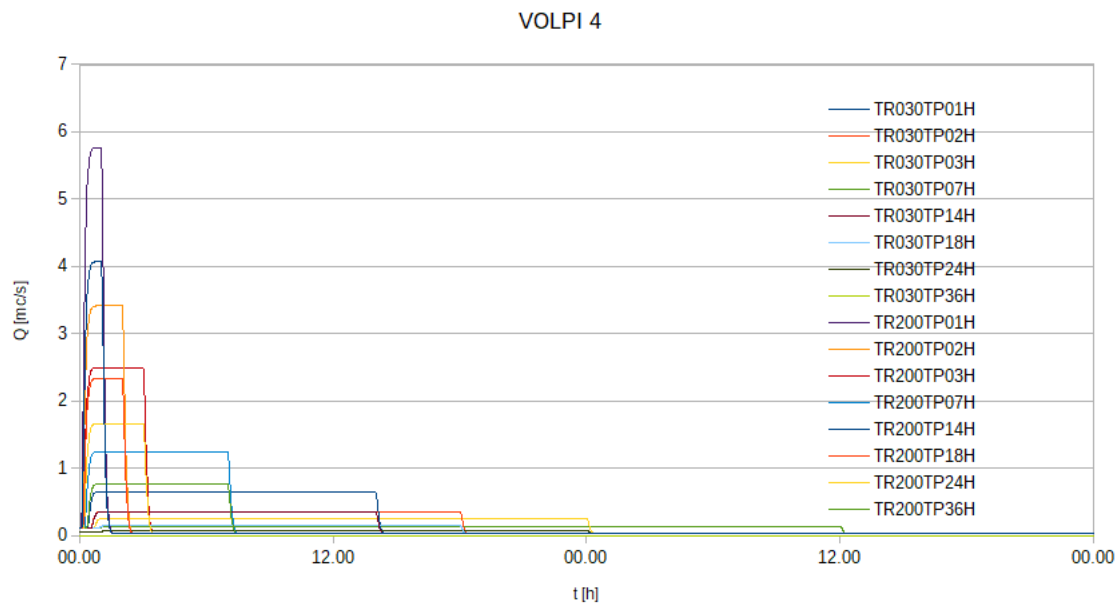
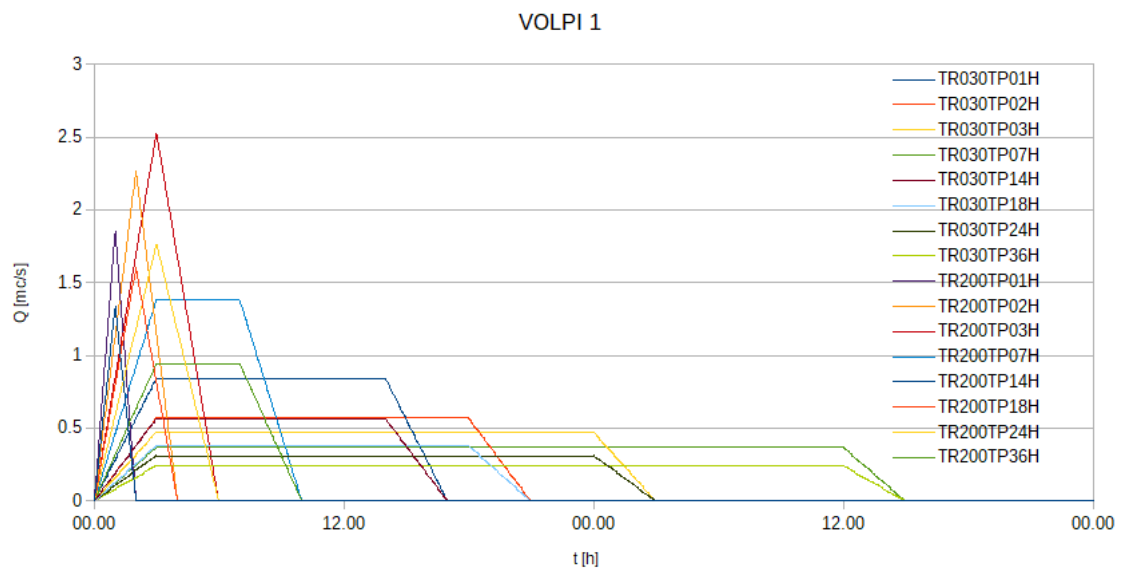
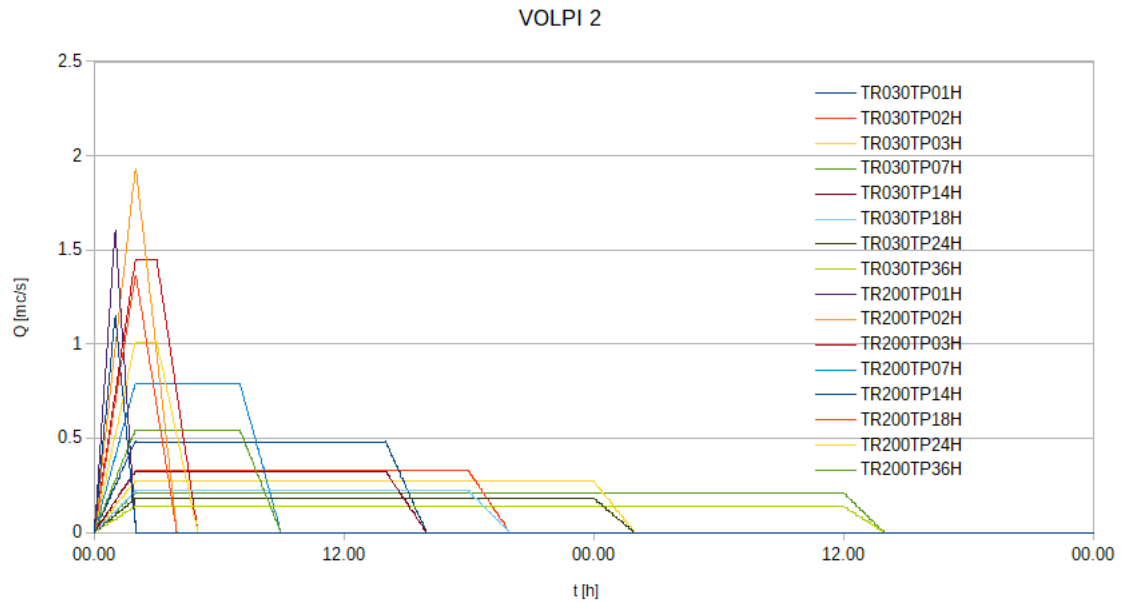


Figura 50: idrogrammi relativi al bacino Volpi 5

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>



<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>



<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</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. 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.

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:

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

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.

4.1.1. 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.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli	Relazione idrologica idraulica

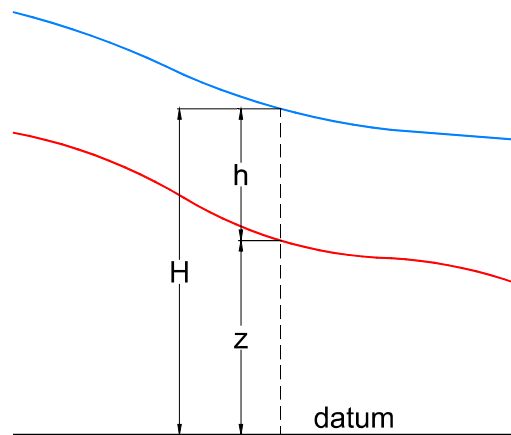


Figura 55: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

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:

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

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

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

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

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.

4.2. Sistema del Rio della Piovola

4.2.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Il modello idraulico è costituito dal Rio della Piovola e dal Fosso Pratella, ed è stato definito a partire dal modello idraulico del sistema Orme redatto a supporto del II RU. La geometria dei corsi d'acqua è stata definita ex novo sulla base di rilievi topografici di maggior dettaglio e più aggiornati rispetto a quanto utilizzato nel II RU, facendo riferimento in particolare ai rilievi topografici eseguiti lungo il corso del Rio della Piovola dal Geom. Alessandro Alderighi per conto del Consorzio di Bonifica Medio Valdarno nel novembre 2014, ed ai rilievi topografici lungo il corso del Fosso della Pratella appositamente eseguiti da H.S. Ingegneria per il presente studio nel novembre 2017: la modellazione dell'alveo inciso è stata eseguita facendo riferimento alle sezioni di rilievo topografico eseguito in loco, di cui si è verificata la coerenza altimetrica con i dati LIDAR della Regione Toscana; la modellazione delle aree bidimensionali è stata eseguita adottando direttamente i dati LIDAR disponibili per l'area in esame.

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.

Le aree bidimensionali sono separate le une 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 stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

4.2.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati 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 ; in particolare, per il tratto a monte del ponte di Via Sottopoggio per San Donato si è adottato un valore pari a 0.03 per l'alveo e pari a 0.035 per le aree golenali; per il tratto a valle del ponte, sia per l'alveo che per le aree golenali si è adottato un valore pari a 0.04.

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 e attraversamenti per cui 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>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</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-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 16: valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2014).

4.2.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno di monte sono state impostate pari agli idrogrammi ricavati nella precedente fase di modellazione idrologica. Nella fattispecie, presso la sezione di monte del Rio della Piovola sono stati inseriti gli idrogrammi relativi al bacino Piovola 2, mentre presso quella del Fosso della Pratella gli idrogrammi relativi al bacino Pratella 1. Gli idrogrammi relativi ai bacini Piovola 1 e Pratella Area Industriale sono stati inseriti nel modello come ingressi distribuiti lungo i tratti di monte dei due corsi d'acqua.

La condizione al contorno di valle del Rio della Piovola è stata impostata facendo riferimento al livello del pelo libero nel Torrente Orme, nel quale confluisce, così come ricavato nel modello idraulico del Torrente stesso elaborato dal Genio Civile nel 2012.

Prima dell'immissione nel Torrente Orme, sul Rio della Piovola sono presenti delle porte vinciane che impediscono il deflusso inverso dell'Orme verso monte lungo l'affluente. Nel modello idraulico

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

le porte vinciane sono rappresentate da una paratoia che si apre e si chiude a seconda del fatto che il livello del pelo libero a monte sia rispettivamente maggiore o minore del livello di valle.

Come condizioni al contorno di valle sono stati utilizzati gli idrogrammi dei livelli del torrente Orme di pari tempo di ritorno e durata, ripresi dallo studio generale del 2012.

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, 2.5, 4 e 24 h.

Le durate dell'evento meteorico prese in esame nella relazione idraulica del II RU per il sistema Orme-Piovola sono pari a 1, 2.5, 4, 18, 24 e 36 ore, di cui 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.

Considerando che la presente analisi è finalizzata alla definizione delle condizioni di rischio indotte nell'area produttiva di via Piovola, posta a significativa distanza dal recapito finale dell'Arno le durate critiche sono chiaramente quelle più brevi. Per confronto si sono riportati comunque anche i risultati dell'evento meteorico di durata 24 ore.

I profili degli scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Piovola-Villanuova-Trxxx-tpyyh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy" la durata di pioggia espressa in ore.

4.3. Sistema del Rio dei Cappuccini

4.3.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Sulla base della descrizione riportata nella relazione idraulica del II RU il Rio dei Cappuccini è un corso d'acqua pensile lungo il suo tratto vallivo, con argini di modesto spessore e paramenti interni molto inclinati. A partire dal Cimitero dei Cappuccini il Rio è tombato fino alla confluenza nel F. Arno, con una sezione rettangolare 3x1.6 m fino a 200 m a nord della la ferrovia e sezioni molto irregolari fino alla confluenza. A poca distanza dall'inizio del tombamento riceve le acque del Rio Terraio (o del Cimitero) attraverso un tombino di dimensioni 1.9x1.5 m. A valle della linea ferroviaria riceve inoltre gli sfioratori di piena del sistema fognario di Empoli dotati comunque di clapet e paratoie per impedire il rigurgito del Rio in piena.

La geometria del modello (riportata in allegato) è stata dedotta dallo studio precedente relativo al 2012 e dai dati LIDAR disponibili per l'area in esame: l'alveo inciso è stato modellato in riferimento alle sezioni già elaborate dal Genio Civile mentre la modellazione delle aree bidimensionali è stata eseguita adottando i dati LIDAR.

Il tratto simulato nel presente studio ha una lunghezza di circa 3.4 Km, a partire dalla loc. Ardenago fino a circa 200 m a nord della ferrovia. Il successivo tratto fino alla confluenza non è stato simulato in virtù dell'ipotesi di completa tenuta del condotto anche rispetto a condizioni di moto in pressione. Tale condizione è stata assunta per tutto il tratto tombato.

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.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Le aree bidimensionali sono separate le une 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 stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono influire sull'andamento delle acque di esondazione.

4.3.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati 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 ; in particolare, sia per l'alveo che per le aree golenali si è adottato un valore pari a 0.03, mentre per il tratto tombato del Rio dei Cappuccini è stato adottato un coefficiente pari a 0.018.

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 e attraversamenti per cui i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5. I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati definiti in analogia a quanto fatto per la Piovola, a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine secondo la tabella di corrispondenza precedentemente riportata.

4.3.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno di monte sono state impostate pari agli idrogrammi ricavati nella precedente fase di modellazione idrologica. Nella fattispecie, presso le sezioni di monte del Rio dei Cappuccini e del Rio del Terraio sono stati impostati gli idrogrammi relativi agli omonimi bacini.

Per quel che riguarda l'area di modellazione bidimensionale compresa tra il Rio dei Cappuccini ed il Rio di Santa Maria, che nella modellazione idrologica corrisponde ad i bacini Corniola, Cinotti Ovest e Cinotti Est, gli idrogrammi dei suddetti bacini (drenati da una rete diffusa di fossetti e privi di un collettore principale) vengono inseriti come entrate diffuse presso il contorno delle aree 2D, in corrispondenza dei fossi di drenaggio a valle delle strade Via Sottopoggio e Via del Terrafino, in analogia con quanto fatto nello studio idraulico generale del 2012.

Sempre in analogia con le ipotesi dello studio generale, la condizione al contorno di valle è quella di regime di moto uniforme per le durate inferiori o uguali a 6 ore, mentre per quelle superiori è stato imposto il massimo livello di piena del Fiume Arno a parità di tempo di ritorno e durata di pioggia.

Per le aree oggetto di variante le situazioni di criticità (legate comunque ad altezze idriche ridotte) sono legate al lento rilascio delle acque di esondazione invase a monte della SGC Fi-Pi-Li da parte principalmente del reticolo minore Corniola, Cinotti Ovest e Cinotti Est.

4.3.4. Scenari simulati

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Sono stati simulati gli

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

idrogrammi generati da piogge di durata 1, 3, 6, 18, 24 e 36 h, in analogia con quanto eseguito dal Genio Civile nello studio del 2012. I profili degli scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Cappuccini-Trxxx-tpyyh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy" la durata di pioggia espressa in ore.

4.4. Sistema di Empoli Ovest - Rio delle Volpi

4.4.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

La geometria del modello idraulico relativo al sistema di Empoli Ovest (riportata in allegato) è stata elaborata a partire da quella già impostata per il modello idraulico svolto dal Genio Civile nel 2012. Per lo studio attuale è stato necessario ampliare tale modello per inserire nella valutazione le aree relative alle previsioni di espansione urbanistica: è stato pertanto aggiunto il tratto del Rio di Friano a monte della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno e tutto il sistema del Rio delle Volpi. Sia il Rio di Friano che il Rio delle Volpi sono stati oggetto di intervento da parte del Comune di Empoli: in merito si rimanda al progetto esecutivo "*Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai Rii minori "Volpi" e "Friano" nella zona industriale del Terrafino in Comune di Empoli (FI)*" del dicembre 2006. L'intero complesso di opere è stato collaudato nel luglio 2011.

Il modello idraulico pertanto è stato ampliato con i dati disponibili a partire dagli elaborati di progetto di cui al precedente paragrafo; si è inoltre proceduto con un rilievo topografico per integrare i dati talora mancanti e per effettuare le necessarie verifiche di congruenza tra i dati disponibili.

I rii Sant'Anna (o S. Maria), Stella, Vitiana, Pagnana, Volpi e Friano sono stati oggetto di verifica come unico sistema idrografico in quanto le loro esondazioni vanno ad interessare le medesime aree di pianura. Inoltre due canali diversivi derivano le portate di piena dal Rio Sant'Anna e dal Rio Stella, confluiscono in una cassa di espansione presso il nuovo svincolo di Empoli che a sua volta rilascia le portate laminate nel Rio Vitiana. Tutti i corsi d'acqua alla confluenza con il Fiume Arno sono dotati di paratoia manovrabile.

Per le aree bidimensionali, come per i casi precedenti, si è fatto ricorso ai dati LIDAR della Regione Toscana disponibili per l'area di studio; tali aeree sono tra loro separate le une dalle altre da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche costituite dai rilevati ferroviari delle tratte Pisa-Firenze e Empoli-Siena 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 ed integrati laddove mancanti. 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 elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Le curve di invaso delle casse di espansione presenti nel modello idraulico, ovvero quelle del sistema Volpi-Friano ("Cassa Ovest", "Friano Est" e i comparti Nord, Intermedio e Sud delle aree di espansione lungo la fascia di rispetto stradale di Via de Gasperi) e quella presso lo svincolo "Empoli Centro" della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno, sono state ricavate rispettivamente dai dati presenti nella relazione idraulica del progetto "*Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai Rii minori "Volpi" e "Friano" nella zona industriale del Terrafino in Comune di Empoli (FI)*" e dal

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

modello idraulico del Genio Civile del 2012.

4.4.2. Sottosistema corsi d'acqua minori di via Lucchese

Lungo via Lucchese sono presenti alcune aree oggetto della presente variante che ricadono in prossimità di corsi d'acqua minori riportati nel reticolo idrografico di riferimento della L.R. 79/2012. Date le ridotte dimensioni di tali corsi d'acqua (si tratta sostanzialmente di fosse campestri) si è ritenuto opportuno non inserirli direttamente nel modello idraulico di Empoli Ovest, ma effettuare per essi una verifica locale, implementando due ulteriori sottomodelli idraulici relativi al Fosso di Riottoli (affluente del Rio di Vitiana) e a due corsi d'acqua minori privi di nome e posti lungo via Lucchese confluenti nel Rio di Pagnana e denominati nei modelli redatti come Fosso 1 (codice LR 79/2012: MV35711-MV35754-MV35762-MV35781) e Fosso 2 (codice LR 79/2012: MV35702-MV35644).

Anche in questo caso, i modelli prevedono l'analisi monodimensionale lungo l'alveo inciso e l'analisi bidimensionale nelle aree golenali. Le condizioni al contorno di valle assunte nelle verifiche dei due sottosistemi sono state riprese dai risultati del modello idraulico generale di Empoli Ovest. Gli idrogrammi di piena derivano dalle analisi idrologiche condotte in questa sede. La pericolosità per tali aree risulta dalle condizioni più gravose derivanti dal modello di Empoli Ovest e dal modello del sottosistema di via Lucchese. In effetti le esondazioni del modello generale di Empoli Ovest nel caso di impedito deflusso in Arno "coprono" decisamente le esondazioni derivanti dal sottosistema di via Lucchese.

4.4.3. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

Per quel che riguarda i coefficienti di scabrezza n di Manning, sono stati impostati in maniera differente a seconda del corso d'acqua o dei singoli tratti; nella fattispecie:

- per il Rio di Friano, fino all'attraversamento del rilevato ferroviario della tratta Empoli-Siena, si è adottato un valore pari a 0.035 sia per l'alveo che per le aree golenali; a valle del rilevato ferroviario si è adottato invece un valore pari a 0.03 per l'alveo e pari a 0.032 per le aree golenali;
- per il canale deviatore del Rio di Friano il coefficiente di scabrezza di Manning è stato impostato pari a 0.02;
- per il Rio di Vitiana si è adottato un valore pari a 0.025 per l'alveo e pari a 0.03 per le aree golenali;
- per il Rio di Pagnana il coefficiente di Manning è stato impostato pari a 0.022 per l'alveo e pari a 0.026 per le aree golenali;
- per il Rio Stella, sia per l'alveo che per le aree golenali, è stato adottato un valore pari a 0.03;
- per il Rio di Santa Maria si è adottato un valore del coefficiente di scabrezza pari a 0.025 per l'alveo a valle del rilevato ferroviario della tratta Pisa-Firenze e pari a 0.03 per il tratto a monte del rilevato; per le aree golenali si è adottato ovunque un valore pari a 0.03;
- per i canali diversivi che convogliano le portate sfiorate dal Rio Stella e dal Rio di Santa Maria fino alla cassa di espansione presso lo svincolo Empoli Centro della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno, è stato impostato un coefficiente di Manning pari a 0.025;
- per il Rio delle Volpi, per il tratto di monte che confluisce entro il sistema di casse di espansione lungo l'area di rispetto stradale di Via de Gasperi, si è adottato un valore del coefficiente di scabrezza pari a 0.035 sia per l'alveo che per le aree golenali; per il tratto di

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

valle, dalla cassa di espansione "Cassa Ovest" fino alla confluenza con il Fiume Elsa, si è adottato un valore pari a 0.03;

- per il Rio di Riottoli e per i corsi d'acqua minori lungo Via Lucchese (Fosso 1 e Fosso 2), il coefficiente di Manning relativo all'alveo è stato impostato pari a 0.037, mentre per le aree golenali pari a 0.04;

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 e attraversamenti per cui i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5. I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati definiti a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine secondo la tabella di corrispondenza precedentemente riportata.

4.4.4. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno di monte sono state impostate pari agli idrogrammi ricavati nella precedente fase di modellazione idrologica. Gli idrogrammi relativi ai bacini intermedi sono stati inseriti nel modello idraulico come ingressi distribuiti lungo gli specifici tratti dei corsi d'acqua.

Poiché gli ingressi nel Fiume Arno del Rio di Friano, del Rio di Vitiana, del Rio di Pagnana e del Rio di Santa Maria sono regolati da paratoie, il loro funzionamento è stato impostato con le medesime dinamiche specificate nel modello idraulico dello studio generale del 2012. Per tutti i corsi d'acqua la condizione di moto uniforme rappresenta la condizioni di valle per le brevi durate, salvo prevedere la chiusura delle portelle per le durate 18, 24 e 36 ore in funzione dei livelli del Fiume Arno. La legge temporale di regolazione delle paratoie di scarico è stata ripresa direttamente dai modelli idraulici dello studio generale del II RU, in cui era stata definita in funzione dei corrispondenti livelli di piena del fiume Arno.

Anche la paratoia posta lungo il corso del Rio di Friano a monte della S.G.C. Firenze-Pisa-Livorno, realizzata nell'ambito del progetto "Interventi per il superamento del rischio idraulico dovuto ai Rii minori "Volpi" e "Friano" nella zona industriale del Terrafino in Comune di Empoli (FI)", è regolata secondo le dinamiche già simulate nello studio generale del 2012, ovvero prevedendo la sua completa chiusura per le lunghe durate (18, 24 e 36 ore).

Per il Rio delle Volpi, il funzionamento del clapet di sbocco nel Fiume Elsa è stato impostato in modo tale che si apra o si chiuda a seconda che il livello del pelo libero a monte sia rispettivamente maggiore o minore del livello di valle della paratoia stessa.

Per quel che riguarda il Rio di Riottoli ed i corsi d'acqua minori lungo Via Lucchese, la condizione al contorno di valle corrisponde all'idrogramma dei livelli presso la sezione di confluenza rispettivamente con il Rio di Vitiana e con il Rio di Pagnana.

4.4.5. 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, 3, 7, 14, 18, 24 e 36 h, in analogia con quanto eseguito dal Genio Civile nello studio del 2012. I profili degli scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma EmpoliOvest-Trxxx-tpyyh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy" la durata di pioggia espressa in ore.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

4.5. Rio di Tombaluna

4.5.1. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

La geometria del modello (riportata in allegato) è stata elaborata a partire dal rilievo topografico redatto appositamente da H.S. ingegneria per il presente studio nel novembre 2017 lungo i corsi d'acqua in esame e presso le aree di realizzazione della nuova SR429, ed a partire dai dati LIDAR disponibili per l'area in esame: la modellazione dell'alveo inciso è stata eseguita facendo riferimento alle sezioni di rilievo topografico eseguito in loco, le cui quote sono state confrontate e verificate con i dati LIDAR della Regione Toscana a disposizione; la modellazione delle aree bidimensionali è stata eseguita adottando i dati LIDAR disponibili.

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.

Le aree bidimensionali sono separate le une dalle altre da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche costituite dal rilevato ferroviario della tratta Empoli-Siena e dal rilevato della nuova strada SR 429 della Val d'Elsa. Le connessioni idrauliche permettono il collegamento delle aree bidimensionali per sormonto dei rilevati o per attraversamento presso i sottopassaggi ed i collegamenti misurati in fase di rilievo topografico. 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 elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

4.5.2. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati 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 ; in particolare, sia per l'alveo che per le aree golenali si è adottato un valore pari a 0.04.

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 e attraversamenti per cui i coefficienti sono rispettivamente pari a 0.3/0.5. I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati definiti in analogia a quanto precedentemente esposto, a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine secondo la tabella di corrispondenza precedentemente riportata.

4.5.3. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Le condizioni al contorno di monte sono state impostate pari agli idrogrammi ricavati nella precedente fase di modellazione idrologica. Nella fattispecie, presso la sezione di monte del Rio di Tombaluna è stato impostato l'idrogramma relativo al bacino idrologico Tombaluna 3; gli idrogrammi relativi ai bacini Tombaluna 2 e Tombaluna 1 sono stati inseriti presso le sezioni di confluenza con i due principali fossi minori che drenano le acque dei bacini stessi.

La condizione al contorno di valle è stata impostata definendo il livello l'idrogramma dei livelli nella sezione di confluenza con il Fiume Elsa, secondo quanto ricavato dal modello idraulico a cura

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

del Genio Civile del 2012. La valvola a clapét che impedisce il rigurgito verso monte del Fiume Elsa è stata modellata come una paratoia che si apre e si chiude a seconda del fatto che il livello del pelo libero a monte di essa sia rispettivamente maggiore o minore del livello 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 1, 3, 6, 18 e 24 h, significative per il sistema in esame. I profili degli scenari sono individuati da un codice analogo a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma Tombaluna-Trxxx-tpyyh, dove "xxx" indica il tempo di ritorno in anni ed "yy" la durata di pioggia espressa in ore.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

I risultati delle simulazioni idrauliche condotte sono riportate nelle tavole grafiche allegate in termini di planimetrie di esondazione 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 per Tr30;
- altezze di esondazione Tr200;
- velocità di esondazione per Tr30;
- velocità di esondazione Tr200;
- pericolosità idraulica ai sensi del DPGR 53/R 2011.

La tabella seguente riporta inoltre le quote di esondazione trentennali e duecentennali nelle aree di interesse, per pronta consultazione. Sono riportate le quote di esondazione medie e massime nell'area di intervento.

N	Denominazione area	Quota esondazione Tr30 (m.s.m.)		Quota esondazione Tr200 (m.s.m.)	
		<i>Quota media</i>	<i>Quota max</i>	<i>Quota media</i>	<i>Quota max</i>
A	<i>Carraia parcheggio "Santini"</i>	25.33	25.33	25.34	25.35
	<i>Carraia parcheggio "Solgomma"</i>	25.46	25.49	25.47	25.50
	<i>Carraia parcheggio "Via Meucci"</i>	25.23	25.25	25.25	25.28
1	<i>3.11 Carraia 2</i>	24.85	24.92	24.89	24.94
2	<i>8.1 Marcignana</i>	23.12	23.12	23.28	23.28
3	<i>12.6 Terrafino</i>	26.62	26.94	26.68	27.01
4	<i>Pianezzoli</i>	27.86	27.88	27.92	27.95
5	<i>12.8 Le Case Nord</i>	-	-	23.48	23.73
6	<i>12.9 Le Case Sud</i>	23.13	23.15	23.37	23.61
7	<i>Castelluccio</i>	-	-	-	-
8	<i>12.11 Via Lucchese area Sani</i>	23.09	23.12	23.28	23.28
9	<i>Via Lucchese</i>	23.12	23.12	23.28	23.28
10	<i>12.10 Via Lucchese area Lapi</i>	23.13	23.16	23.25	23.28
11	<i>13.1 Molin Nuovo</i>	35.09	35.16	35.34	35.39
12	<i>14.3 Via Piovola</i>	28.58	30.33	28.93	30.55

Tabella 17: quote di esondazione Tr30 e Tr200 aree oggetto della presente variante

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Nel caso interessi definire la quota di esondazione puntuale è necessario sommare al piano quotato del Lidar della Regione Toscana le altezze di esondazione riportate nelle schede delle singole aree.

5.1. Condizioni di rischio idraulico delle aree oggetto di variante e definizione di eventuali interventi di sistemazione idraulica

Area A, Carraia, intervento pubblico per ampliamento di parcheggi pubblici. Le aree in esame sono caratterizzate da limitate esondazioni dovute sostanzialmente ad i bacini minori a Sud della SGC Fi-Pi-Li. Si hanno anche limitate aree a pericolosità trentennale in cui valgono le limitazioni di cui alla LR 21/2012, in ogni caso con battenti limitati.

Si evidenzia che nel II RU sono state previste idonee aree di invaso in prossimità della S.G.C. Fi-Pi-Li per la sistemazione idraulica dell'area di Carraia. In merito si rimanda alla vigente tavola *Interventi per la riduzione del rischio idraulico*.

Scheda 3.11, Carraia 2, nuova previsione di area produttiva. L'area in esame, come tutta l'area di Carraia, risulta interessata da esondazioni limitate dovute sostanzialmente ad i bacini minori a Sud della SGC Fi-Pi-Li. L'area è marginalmente interessata da pericolosità trentennale.

Scheda 8.1, Marcignana, ristrutturazione urbanistica. L'area risulta soggetta alle esondazioni del sistema dei corsi d'acqua di Empoli Ovest (rii di Pagnana, Vitiana e Friano) in particolare in caso di impedito deflusso in Arno. Per la messa in sicurezza dell'area di Empoli Ovest nel II Regolamento Urbanistico erano state individuate idonee aree per la realizzazione di casse di espansione, oltre ad interventi di sistemazione del reticolo di scolo. Tali interventi sono riportati nella citata tavola *Interventi per la riduzione del rischio idraulico*.

Scheda 12.6, Terrafino, nuova previsione di area con funzione prevalente di depositi e logistica. L'area in esame risulta soggetta ad esondazioni generate dal Rio Volpi a causa di attraversamenti e tratti tombati di sezione insufficiente posti a monte dell'area di intervento urbanistico, ed insufficienti sia per tempi di ritorno di 30 anni che per tempi di ritorno di 200 anni. La fattibilità della realizzazione dell'intervento urbanistico è subordinata alla realizzazione di interventi di sistemazione idraulica del Volpi volti ad eliminare le strozzature costituite dai tombamenti esistenti, posti a monte di via dei Chiassuoli sui due rami del Volpi, confluenti poi in un unico ramo a valle di via dei Chiassuoli.

Per la soluzione delle criticità dell'area si prevede di effettuare una deviazione dei due rami del Volpi posti a monte di via dei Chiassuoli in modo da bypassare i tratti tombati. Tali bypass si riuniranno a valle della via stessa all'alveo del Volpi, che dovrà essere oggetto di risagomatura ed ampliamento nel tratto posto tra via dei Chiassuoli e le casse di espansione poste ai lati di via De Gasperi, adeguando anche un attraversamento campestre esistente. Tali casse sono già state progettate per accogliere le portate in arrivo dalle aree di monte e potranno quindi funzionare al meglio. Tali interventi di sistemazione non erano previsti nel II Ru e vanno quindi ad aggiungersi a quanto già riportato nella citata tavola *Interventi per la riduzione del rischio idraulico*.

In allegato alla presente relazione si riporta un estratto cartografico con indicate le aree di territorio da destinarsi alla realizzazione degli interventi in esame. Per la fattibilità dell'intervento potranno essere valutati anche interventi alternativi, purché di pari efficacia in termini di riduzione delle aree a rischio.

Scheda 12.8, Le Case Nord: l'area è posta a Nord della linea ferroviaria Pisa-Firenze e ad Ovest della SS67. Risulta interessata in parte dalle esondazioni duecentennali del sistema di Empoli

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

Ovest, in particolare del Rio Vitiana. Le situazioni più critiche si hanno per deflusso in Arno impedito. Anche tale area potrebbe essere messa in sicurezza sulla base degli interventi già definiti nel vigente RU nell'area di Empoli Ovest.

Scheda 12.9, Le Case Sud: l'area è posta a Sud della linea ferroviaria Pisa-Firenze e ad Ovest della SS67. Le condizioni idrauliche sono simili alla limitrofa area delle Case Nord. Risulta interessata marginalmente dalle esondazioni del sistema di Empoli Ovest, in particolare del Rio Vitiana. Le situazioni più critiche si hanno per deflusso in Arno impedito. Alcune aree limitate risultano soggette ad esondazioni trentennali. Per gli eventuali interventi di messa in sicurezza vale quanto sopra specificato per l'area delle Case Nord.

Scheda 12.10, via Lucchese area Lapi: l'area è posta a Nord di Via Lucchese e risulta interessata marginalmente dalle esondazioni del sistema di Empoli Ovest, in particolare del Rio Vitiana. Le situazioni più critiche si hanno per deflusso in Arno impedito. Alcune aree limitate risultano soggette ad esondazioni trentennali. Per gli eventuali interventi di messa in sicurezza vale quanto sopra specificato per le aree soggette a rischio dai corsi d'acqua di Empoli Ovest.

Scheda 12.11, via Lucchese area Sani: l'area è posta a Sud di Via Lucchese e risulta interessata marginalmente dalle esondazioni del sistema di Empoli Ovest, in particolare del Rio Vitiana. Le situazioni più critiche si hanno per deflusso in Arno impedito. Alcune aree limitate risultano soggette ad esondazioni trentennali. Per gli eventuali interventi di messa in sicurezza vale quanto sopra specificato per le aree soggette a rischio dai corsi d'acqua di Empoli Ovest.

Scheda 13.1, Molin Nuovo: l'area risulta interessata in parte dalle esondazioni duecentennali del Rio Tombaluna, con battenti comunque limitati.

Scheda 14.3, via Piovola: l'area è soggetta a rischio per esondazioni dal Rio della Piovola, sia per tempi di ritorno di 30 anni che di 200 anni. La fattibilità dell'intervento urbanistico è condizionata alla realizzazione di un intervento di sistemazione del Rio della Piovola. Allo scopo è prevista la realizzazione di una cassa d'espansione in derivazione in destra Piovola (vedi schede allegate e paragrafo seguente).

In aggiunta alle aree soggette a Piano Attuativo, sono inoltre presenti 3 aree in cui si procederà con intervento edilizio diretto, descritte nel seguito:

Area via Lucchese: l'area è posta a Sud di Via Lucchese e risulta interessata marginalmente dalle esondazioni del sistema di Empoli Ovest, in particolare lungo il lato Ovest. Le situazioni più critiche si hanno per deflusso in Arno impedito.

Area Pianezzoli: l'area è posta in destra del Rio di Friano, a monte della linea ferroviaria Siena Firenze e non è soggetta a particolari criticità, risultando lambita dalla piena duecentennale.

Area Castelluccio: l'area è posta in destra del Rio di Pagnana, a valle della linea ferroviaria Pisa-Firenze e non è soggetta a particolari criticità.

5.1.1. Interventi di sistemazione della Piovola

Per consentire la realizzazione degli interventi della scheda 14.3 via Piovola risulta necessaria la realizzazione di interventi di sistemazione idraulica del Rio Piovola. Nel II Regolamento Urbanistico risultano già previsti interventi di adeguamento delle arginature della Piovola fino alle aree di invaso previste tra la S.G.C. Fi-Pi-Li e la ferrovia Firenze-Pisa.

Nella presente sede è stata condotta un'analisi di maggior dettaglio rispetto a quanto effettuato nello studio generale del 2012, estendendo il tratto di analisi a monte di via San Donato Val di Botte. Le analisi condotte hanno consentito di individuare i tratti di sormonto arginale allo stato

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

attuale e di definire l'andamento delle linee di esondazione sul piano campagna.

Per la messa in sicurezza dell'area Computer Gross si è previsto di adeguare le arginature nei tratti oggetto di sormonto e di realizzare una cassa di espansione in destra Piovola che sia in grado non solo di contenere l'aumento di portate verso valle legato all'adeguamento delle arginature, ma anche di portare un ulteriore beneficio per i tratti di valle del corso d'acqua. Sia la cassa di espansione che gli interventi di adeguamento delle arginature dovranno essere progettati con riferimento a tempi di ritorno duecentennali.

La cassa di espansione e gli interventi di adeguamento delle arginature esistenti saranno oggetto di apposita progettazione. In questa sede si è ritenuto comunque opportuno effettuare un predimensionamento dell'area di invaso, al fine di evidenziarne i benefici e di giustificare le aree di occupazione previste.

La cassa di espansione prevista è del tipo in derivazione, con sfioratore di presa a ciglio fisso di lunghezza 25 m e quota di sfioro di 32.8 m.s.m., a fronte di quote delle arginature di circa 33.5-33.3 m.s.m. in corrispondenza della presa. Lo scarico potrà avvenire a gravità all'interno della Piovola, in corrispondenza dell'estremità di valle della cassa, in cui le quote del piano campagna e del fondo alveo sono praticamente coincidenti.

Per il predimensionamento della cassa sono state eseguite 6 simulazioni in totale, 3 per ogni tempo di ritorno considerato, con durate di pioggia pari a 1, 2.5, e 4 ore. Le simulazioni sono individuate da un codice del tipo SP-TrXXX-tpyy.yyh, dove XXX rappresenta il tempo di ritorno e yy.yy la durata dell'evento pluviometrico in ore. In allegato al presente documento si riportano in dettaglio i risultati in forma di tabella dell'analisi idraulica condotta per i diversi scenari esaminati.

La Tabella 18 riporta i valori delle portate massime a monte ed a valle della cassa di espansione per diversi tempi di pioggia e per tempo di ritorno di 30 anni, con i relativi rendimenti di laminazione ϵ .

T_p (h)	Q_m (mc/sec)	Q_v (mc/sec)	ϵ
1	34.62	24.5	0.292
2.5	24.91	19.55	0.215
4	17.47	15.97	0.086

Tabella 18 portate massime a monte (Q_m) ed a valle (Q_v) della cassa d'espansione e rendimenti di laminazione e per tempo di ritorno 30 anni

Il rendimento massimo (valutato come $e=(Q_m-Q_v)/Q_m$) si ha per brevi durate di pioggia: considerando tra le varie durate esaminate la portata massima in arrivo da monte (34.62 mc/sec) e la portata massima defluente a valle (24.5 mc/sec) si ha un rendimento del 29.20%; al diminuire della durata di pioggia diminuiscono i picchi di piena per cui si hanno rendimenti inferiori.

T_p (h)	WSE_{max} (m.s.m.)	V (mc)
1	30.52	25510
2.5	30.50	24600
4	30.07	11110

Tabella 19 quote di invaso WSE e volumi di invaso V per diverse durate di pioggia e tempi di ritorno di 30 anni

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studi idrologico idraulici a supporto della Variante Attività Produttive del Comune di Empoli</i>	<i>Relazione idrologica idraulica</i>

La Tabella 19 riporta le altezze liquide massime di invaso all'interno della cassa di espansione. La quota di invaso massima è pari a 30.52 m.s.m. cui corrisponde un volume di invaso di circa 25510 mc.

La seguente Tabella 20 riporta i valori delle portate massime a monte ed a valle della cassa di espansione per diversi tempi di pioggia e per tempo di ritorno di 200 anni, con i relativi rendimenti di laminazione ϵ .

T_p (h)	Q_m (mc/sec)	Q_v (mc/sec)	ϵ
1	51.2	30.12	0.412
2.5	36.1	25.21	0.302
4	25.67	19.89	0.225

Tabella 20 portate massime a monte (Q_m) ed a valle (Q_v) della cassa d'espansione e rendimenti di laminazione e per tempo di ritorno 200 anni

Come per gli eventi con tempo di ritorno 30 anni, il rendimento massimo (valutato come $\epsilon=(Q_m-Q_v)/Q_m$) si ha per brevi durate di pioggia: in questo caso il rendimento massimo è pari al 41.2%, considerando tra le varie durate esaminate la portata massima in arrivo da monte (51.2 mc/sec) e la portata massima defluente a valle (30.12 mc/sec); al diminuire della durata di pioggia diminuiscono i picchi di piena per cui si hanno rendimenti inferiori.

T_p (h)	WSE_{max} (m.s.m.)	V (mc)
1	31.38	60000
2.5	31.5	64920
4	31.3	56890

Tabella 21 quote di invaso WSE e volumi di invaso V per diverse durate di pioggia e tempi di ritorno di 200 anni

La Tabella 21 riporta le quote massime di invaso all'interno della cassa di espansione per lo scenario duecentennale. La quota di invaso massima è pari a 31.5 m.s.m. cui corrisponde un volume di invaso di circa 64920 mc.

Nel tratto interessato dalla presenza della cassa le arginature in destra hanno un profilo di stato attuale che va da circa 33.90 m.s.m. a monte a 31.50 m.s.m. in corrispondenza dell'estremità di valle della cassa. I volumi di invaso sopra riportati sono calcolati ipotizzando di lasciare inalterata la morfologia del piano campagna attuale.

La realizzazione degli interventi di adeguamento delle arginature e della cassa di espansione porterà oltre che alla messa in sicurezza dell'area oggetto di variante, ad un significativo miglioramento delle condizioni idrauliche dei tratti di valle del corso d'acqua. Le caratteristiche di dettaglio delle opere potranno essere definite nelle successive fasi progettuali.