

## COMUNE DI FIESOLE

### SINDACO

Anna Ravoni

### ASSESSORE DEL TERRITORIO

Iacopo Zetti

### ASSETTO DEL TERRITORIO

Responsabile del Procedimento

Luca Nespolo

Responsabile Dipartimento Urbanistica

### COLLABORATORI

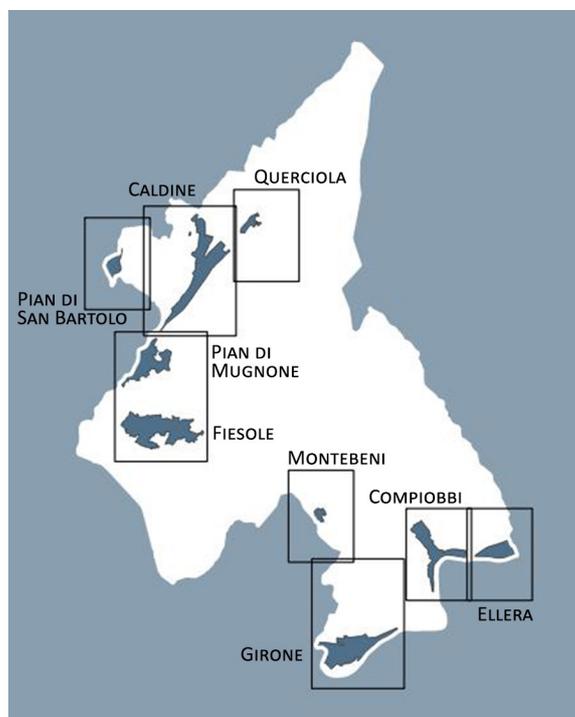
Francesco Tronci

Alberto Biagi

Carlo Cadoni

Angela Rosi

Matteo Piccioli



## PROFESSIONISTI ESTERNI

Gianfranco Gorelli (coordinamento generale)

### ASPETTI URBANISTICI

Gianfranco Gorelli

Michela Chiti

Chiara Nostrato

Alessandra Pacciani

### ASPETTI ARCHEOLOGICI

ATS enterprise

Francesco Pericci

### ASPETTI AGRONOMICI - FORESTALI

Ilaria Scatarzi

### ASPETTI GEOLOGICI E SISMICI

GEO ECO Progetti

Gabriele Grandini

Eros Aiello

### MODELLAZIONE IDRAULICA

WEST SYSTEM Srl

David Settesoldi

### ASPETTI GIS

Chiara Nostrato

Lorenzo Bartali

### ASPETTI DI PROGETTAZIONE URBANISTICA

Fabio Turcheschi

### VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA

Michela Chiti

Alessandra Pacciani

Garante dell'Informazione e della Partecipazione

Maddalena Rossi

Giulia Fiorentini

### ASPETTI GIURIDICO AMMINISTRATIVI

Enrico Amante

## REL.I01 - Relazione idrologica e idraulica



## INDICE

1	PREMESSA .....	5
1.1	<i>Articolazione dello studio</i> .....	7
2	IL QUADRO CONOSCITIVO .....	8
2.1	<i>Gli studi esistenti</i> .....	8
2.2	<i>I dati territoriali</i> .....	8
2.3	<i>I rilievi topografici</i> .....	9
2.4	<i>Dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale</i> .....	9
3	ANALISI IDROLOGICA .....	10
3.1	<i>Le curve di possibilità pluviometrica</i> .....	10
3.2	<i>Caratteristiche del modello afflussi-deflussi</i> .....	10
3.3	<i>Implementazione del modello idrologico</i> .....	20
3.4	<i>Taratura del modello idrologico</i> .....	21
4	ANALISI IDRAULICA .....	27
4.1	<i>Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio</i> .....	27
4.2	<i>Gli elementi del modello idraulico</i> .....	28
4.3	<i>Aree bidimensionali</i> .....	29
4.4	<i>Parametri del modello idraulico</i> .....	29
5	VERIFICA DELLO STATO ATTUALE .....	32
5.1	<i>Individuazione dei tratti critici e delle aree inondabili</i> .....	32
5.2	<i>Pericolosità morfologica e storico inventariale</i> .....	33
5.3	<i>Perimetrazione della pericolosità idraulica</i> .....	34
5.4	<i>Perimetrazione della magnitudo idraulica</i> .....	34
A.	APPENDICE II modello idrologico a parametri distribuiti PIENE .....	35
B.	APPENDICE Tabulati analisi idrologica con il modello PIENE (portate al colmo bacini totali) .....	45

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 – Immissioni area torrente Mugnone e affluenti. ....	11
Figura 3.2 – Immissioni Torrenti Montalbano, Girone, Anchetta, Sambre e suoi affluenti, Ellera e Falle .....	12
Figura 3.3 – Mappa coefficiente $a$ . ....	13
Figura 3.4 – Mappa coefficiente $n$ . ....	13
Figura 3.5 – Mappa coefficiente $m$ . ....	14
Figura 3-6 – Modello digitale del terreno. ....	18
Figura 3-7 – Capacità di ritenuta. ....	18
Figura 3-8 – Velocità filtrazione.....	19
Figura 3-9 – Posizione planimetrica dell'idrometro.....	21
Figura 3-10 – Sezione Ponte alle Mosse, Torrente Mugnone, posizione dell'idrometro.....	22
Figura 3-11 – Scala di deflusso, Mugnone, Ponte alle Mosse.....	23
Figura 3-12 – Evento 11/02/2016. ....	24
Figura 3-13 – Evento 03/03/2017. ....	24
Figura 3-14 – Evento 01/03/2018. ....	25
Figura 3-15 – Evento 10/03/2018. ....	25

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi .....	16
Tabella 3-2 – Tabella parametri. ....	21
Tabella 3-3 – Dati Idrometro Ponte alle Mosse, SIR Toscana. ....	22
Tabella 3-4 – Dati Idrometro Ponte alle Mosse, rilievo. ....	22
Tabella 3-5 – Parametri della scala di deflusso. ....	23
Tabella 3-6 – Eventi torrente Mugnone a Ponte alle Mosse. ....	23
Tabella 3-7 – Parametri taratura del torrente Mugnone a Ponte alle Mosse.....	26
Tabella 3-8 – Parametri adottati per il modello idrologico. ....	26
Tabella 4-1 – Elenco dei corsi d'acqua area torrenti Mugnone e Mugnoncello e affluenti in destra....	27
Tabella 4-2 – Elenco dei corsi d'acqua area affluenti in sinistra del torrente Mugnone. ....	27
Tabella 4-3 – Elenco dei corsi d'acqua area affluenti Arno. ....	27
Tabella 4-4 – Scabrezze aree bidimensionali. ....	29
Tabella 5-1 – Criteri di assegnazione della pericolosità geomorfologica. ....	33
Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica per $Tr = 30$ anni.....	48
Tabella B-2 – Tabulati analisi idrologica per $Tr = 200$ anni.....	51

## ELENCO ELABORATI ASPETTI IDRAULICI

### *Relazioni*

REL.I01 — Relazione idrologica e idraulica

### *Allegati*

All1.REL.I01 — Tabulazione dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

All2.REL.I01 — Tabulati verifiche idrauliche

All3.REL.I01 — Profili longitudinali e sezioni fluviali verifiche idrauliche torrente Mugnone e affluenti

All4.REL.I01 — Profili longitudinali e sezioni fluviali verifiche idrauliche affluenti fiume Arno

### *Elaborati grafici*

QC.I01a — Planimetria rilievo – Torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:2.000)

QC.I01b — Planimetria rilievo – Affluenti Arno (Scala 1:2.000)

QC.I02a — Planimetria modello idraulico torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

QC.I02b — Planimetria modello idraulico torrenti affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

QC.I03a — Battenti idrometrici di esondazione  $Tr=30$  anni torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

QC.I03b — Battenti idrometrici di esondazione  $Tr=200$  anni torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

QC.I04a — Velocità di propagazione delle esondazioni  $Tr=30$  anni torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

QC.I04b — Velocità di propagazione delle esondazioni  $Tr=200$  anni torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

QC.I05a — Battenti idrometrici di esondazione  $Tr=30$  anni affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

QC.I05b — Battenti idrometrici di esondazione  $Tr=200$  anni affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

QC.I06a — Velocità di propagazione delle esondazioni  $Tr=30$  anni affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

QC.I06b — Velocità di propagazione delle esondazioni  $Tr=200$  anni affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

STR.I01a — Aree inondabili torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

STR.I01b — Aree inondabili affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

STR.I02 — Pericolosità idraulica ai sensi del 53/R (Scala 1:10.000)

STR.I03 — Pericolosità idraulica ai sensi del P.G.R.A. (Scala 1:10.000)

STR.I04a — Magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018 torrente Mugnone e affluenti (Scala 1:5.000)

STR.I04b — Magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018 affluenti fiume Arno (Scala 1:5.000)

## 1 PREMESSA

La società West Systems S.r.l. è stata incaricata dal Comune di Fiesole in data 27/08/2018 della redazione di uno studio idrologico e idraulico finalizzato all'aggiornamento dei dati relativi al rischio idraulico a supporto dell'elaborazione della variante al Piano Strutturale, ai sensi dell'art. 36 co. 2 del D.Lgs. 50/2016.

Il primo Piano Strutturale del Comune di Fiesole è stato approvato con deliberazione C.C. n. 41 del 12/04/1999.

Per il territorio comunale sono disponibili una serie di studi relativi sia alla valutazione della pericolosità idraulica sia alla definizione e alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza.

In particolare si ricordano:

- studi a supporto del P.G.R.A. condotti dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Il presente studio, redatto in ottemperanza a quanto previsto dal D.P.G.R. n. 53/R/2011 ad oggi vigente, dal P.G.R.A. (Piano di Gestione Rischio Alluvioni) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e dalla L.R. 41/2018, costituisce un aggiornamento di quelli precedenti.

In particolare, gli ambiti di natura idrologico e idraulica oggetto di ulteriore approfondimento sono:

- utilizzo delle nuove curve di possibilità pluviometrica sviluppate dall'Università degli Studi di Firenze per conto della Regione Toscana con i dati aggiornati fino al 2012;
- utilizzo delle condizioni al contorno fornite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale per i corsi d'acqua confluenti nel fiume Arno, come previsto dall'art. 14 della disciplina del P.G.R.A.;
- estensione dell'area di indagine.

La Regione Toscana a seguito degli eventi alluvionali del 2011 ha commissionato all'Università degli Studi di Firenze uno studio di supporto alla valutazione del rischio idraulico sul territorio regionale.

Nell'ambito della *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B1 – Regionalizzazione precipitazioni* sono state aggiornate le curve di possibilità pluviometrica con i dati fino al 2012. Nell'ambito della *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic* sono state calcolate le caratteristiche idrologiche dei suoli della Toscana.

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia.

Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato. Il piano individua il reticolo principale oggetto di studio da parte dell'Autorità di Bacino.

Nel caso specifico il fiume Arno ricade nel reticolo principale.

La modellistica idrologica adottata (*software* PIENE 4.13) è costituita da un modello a parametri distribuiti, omogeneo alle elaborazioni condotte negli studi precedenti a supporto degli strumenti urbanistici comunali, che utilizza le mappe e le curve di possibilità pluviometrica prodotte dall'Università degli Studi di Firenze.

La modellistica idraulica (*software* HEC-RAS 5.0.6) è costituita da un modello idraulico in moto vario monodimensionale sulle aste fluviali e bidimensionale nella aree inondabili.

Le aree inondabili ricadenti nel territorio comunale e quelle ricadenti nei comuni limitrofi sono state modellate adottando aree bidimensionali.

Il modello idraulico per i torrenti Mugnone e Mugnoncello con i relativi affluenti copre una superficie di circa 4.5 km<sup>2</sup>, mentre quello relativo agli affluenti del fiume Arno che è esteso su una superficie di circa 3.0 km<sup>2</sup>.

Le verifiche idrauliche sono condotte in riferimento ai seguenti corsi d'acqua, per una lunghezza complessiva di 13.6 km di reticolo:

- torrente Mugnone;
- torrente Mugnoncello;
- torrente Sambre;
- fosso Molina;
- fosso Capparello;
- fosso Santa Margherita;
- fosso Caldine;
- fosso Capannucce;
- fosso Ponticello;
- fosso Pian del Mugnone;
- fosso del Bargellino;
- fosso del Fossataccio;
- fosso Anchetta;
- fosso Calcinaia;
- fosso Ellera;
- fosso Girone;
- fosso Montalbano;
- fosso Pontanico;
- fosso Romena;
- borro alle Falle;

Per tali corsi d'acqua sono redatte le mappe di pericolosità idraulica da modellazione ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 e del P.G.R.A. attraverso la perimetrazione degli ambiti territoriali interessati da allagamenti per eventi riferibili a  $TR \leq 30$  anni e  $30 < TR \leq 200$  anni.

La pericolosità idraulica delle aree esterne al perimetro del territorio urbanizzato sono condotte su base morfologica e storico inventariale come previsto al punto C.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. n.53/R/2011. I corsi d'acqua non studiati idraulicamente e perimetrali su base morfologica e storico inventariale sono:

- fosso dei Bosconi;
- fosso della Molina;
- torrente Mugnone;
- fosso Capparello;
- borro delle Serre;
- torrente Affrico;
- fosso delle Bucine;
- fosso Fossataccio;
- torrente Mensola;
- torrente Cucina;
- torrente Sambre;
- borro delle Falle.

Lo studio ha fornito in formato *shapefile*:

- perimetro dell'area di studio;
- reticolo idrografico di studio;
- traccia delle sezioni idrografiche utilizzate nei modelli idraulici;
- perimetro delle aree allagate per i vari tempi di ritorno;
- perimetro della pericolosità idraulica ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011;
- perimetro della pericolosità idraulica ai sensi del P.G.R.A.;

e in formato *raster* i risultati delle elaborazioni idrauliche all'interno del territorio comunale:

- mappa dei battenti idrometrici delle esondazioni;
- mappa delle velocità di propagazione delle esondazioni;
- mappa della magnitudo.

### **1.1 Articolazione dello studio**

Nella presente relazione idrologica e idraulica si riportano la metodologia ed i risultati ottenuti, secondo la seguente articolazione:

**FASE 1 - definizione del quadro conoscitivo:** in tale fase sono acquisiti ed esaminati gli studi, la documentazione e i dati disponibili riguardanti il reticolo idrografico considerato. In particolare sono acquisiti i rilievi topografici più recenti;

**FASE 2 – analisi idrologica:** per il sistema idrografico considerato sono valutate le portate al colmo e gli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Per i bacini idrografici sono state considerate le durate di 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 12, 18, 24 e 36 ore.

**FASE 3 – analisi idraulica:** la modellazione degli eventi di piena è eseguita attraverso un modello unidimensionale di moto vario, per la stima dei livelli idrici nelle sezioni fluviali e delle eventuali insufficienze idrauliche, accoppiato ad un modello bidimensionale per la stima dei battenti di esondazione all'interno del territorio comunale. Le verifiche idrauliche sono condotte per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le varie durate fissate nell'analisi idrologica;

**FASE 4 – valutazione delle aree inondabili e della pericolosità idraulica:** sulla base dei battenti idrici ottenuti dal modello bidimensionale sono individuate le aree inondabili e le aree a diversa pericolosità ai sensi del D.P.G.R. n.53/R/2011 e del P.G.R.A..

Di seguito si illustrano i criteri e le attività svolte per le singole fasi sopra descritte.

## 2 IL QUADRO CONOSCITIVO

### 2.1 *Gli studi esistenti*

Nel presente lavoro sono stati consultati i seguenti studi idrologici e idraulici:

- [1] Verifica idraulica del fiume Arno e determinazione della pericolosità idraulica nella zona di Ellera nel Comune di Fiesole, aprile 2004.
- [2] Studio idrologico e idraulico a supporto dell'intervento in sponda destra del torrente Mugnuncello in località Caldine Nuove nel Comune di Fiesole, dicembre 2011.
- [3] Studio idrologico e idraulico del torrente Sambre nell'abitato di Compiobbi, giugno 2017.

Il presente studio idrologico ha fatto riferimento, inoltre, ai seguenti studi:

- [4] *Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B1 - Regionalizzazione precipitazioni*, studio redatto nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all'approfondimento dell'attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Caporali E., Chiarello V. e Rossi G., marzo 2014);<sup>1</sup>
- [5] *Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: Parametrizzazione HMS. Macroattività B - Modellazione idrologica. Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota*, redatto nell'ambito dell'accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per lo sviluppo di attività di ricerca sulla mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana, finalizzata all'approfondimento dell'attuale quadro conoscitivo e alla definizione delle azioni di riduzione del rischio idraulico e idrogeologico (Castelli F., novembre 2014)<sup>2</sup>.

### 2.2 *I dati territoriali*

Per la redazione dello studio sono stati acquisiti i seguenti dati:

- [1] cartografia C.T.R. 1:10.000 in formato vettoriale [263160\_1998; 264130\_1998; 275040\_1998; 276010\_1998]
- [2] cartografia C.T.R. 1:2.000 in formato vettoriale [19K07\_1994; 19K08\_1985; 19K16\_1985; 19K07\_2000; 19K15\_2000; 19K23\_2002; 19K30\_2002; 19K31\_2002; 19K38\_2002; 19L42\_2007; 19L43\_2007; 19L49\_2002; 19L57\_2007];
- [3] ortofoto OFC2K fornite dalla Regione Toscana [19K07\_2011; 19K08\_2011; 19K15\_2011; 19K16\_2011; 19K23\_2011; 19K30\_2011; 19K31\_2011; 19K38\_2011; 19L42\_2011; 19L43\_2011; 19L49\_2011; 19L57\_2011];
- [4] rilievi Lidar (dtm) con passo 1×1 m fornito dalla Regione Toscana [19k15\_2007; 19k22\_2007; 19k30\_2007; 19k31\_2007; 19k38\_2007; 19l42\_2008; 19l43\_2008; 19l49\_2008; 19l50\_2008; 19l57\_2008; 19l58\_2008];

---

<sup>1</sup> I risultati dell'Analisi di Frequenza Regionale sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana: [http://www.regione.toscana.it/cittadini/ambiente/difesa-del-suolo/-/asset\\_publisher/eonjZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni](http://www.regione.toscana.it/cittadini/ambiente/difesa-del-suolo/-/asset_publisher/eonjZadAbVH6/content/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni)

<sup>2</sup> I parametri e i risultati derivanti dall'implementazione del modello idrologico distribuito per il territorio toscano sono archiviati nello spazio ServiziOnline della Regione Toscana: <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>

- [5] mappe dei parametri  $K_{SAT}$  (150 cm) e  $W_{GRAV}$  realizzate nell'ambito dello studio *Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: Parametrizzazione HMS. Macroattività B – Modellazione idrologica. Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota.*

### **2.3 I rilievi topografici**

Le sezioni fluviali sono state ricavate dalle seguenti fonti:

- rilievi eseguiti nel 2011 nello studio [2] per il torrente Mugnoncello e per il fosso fosso Capannucce;
- rilievo del 2017 eseguito nello studio [3] per il torrente Sambre nell'abitato di Compiobbi;
- rilievo risalente al 2000 del Provveditorato Regionale alle Opere Pubbliche per la Toscana per il torrente Mugnone nel tratto di valle della briglia posta a valle dell'abitato di Pian del Mugnone.

Infine, nel corso del presente studio è stata eseguita una campagna topografica per integrare il quadro conoscitivo esistente.

In particolare sono stati rilevati i manufatti esistenti.

### **2.4 Dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale**

Sono stati acquisiti, presso l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, gli idrogrammi dei livelli idrometrici calcolati nelle sezioni trasversali del fiume Arno nel tratto compreso tra la confluenza del Borro alle Falle e l'abitato del Girone, nonché gli idrogrammi delle dei livelli idrometrici nelle aree di esondazione in destra idraulica per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 3, 6, 12, 18, 24 e 36 ore con passo di aggregazione di 60 minuti.

I dati utilizzati sono tabulati nell'elaborato ALL1.REL.I01.

### 3 ANALISI IDROLOGICA

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per i bacini oggetto del presente studio.

Le condizioni di portata sono state determinate con riferimento ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate pari a 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 12, 18, 24 e 36 ore sia per il torrente Mugnone sia per gli affluenti dell'Arno.

Le immissioni nel sistema idraulico sono riportate nella Figura 3.1 e Figura 3.2.

L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti, denominato PIENE, che prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

Il suddetto modello a parametri distribuiti è in grado di simulare sia il fenomeno della formazione dell'onda di piena che quello del suo trasferimento a scala di bacino.

#### 3.1 Le curve di possibilità pluviometrica

Le curve di possibilità pluviometrica sono quelle dello studio di approfondimento condotto dalla Università di Firenze che utilizza i dati pluviometrici al 2012.

La curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma generica:

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

dove:

- $h$  altezza di pioggia in [mm/h];
- $a$  coefficiente dipendente dal tempo di ritorno [mm/hn];
- $n$  esponente della curva di possibilità pluviometrica.

Lo studio fornisce i valori di  $a$  e  $n$  su una maglia di  $1 \times 1$  km su tutto il territorio regionale per vari tempi di ritorno.

Approssimando la curva di crescita, che dipende dal modello probabilistico utilizzato per la stima delle altezze di pioggia per le varie durate e per i vari tempi di ritorno, con un legge di potenza la curva di possibilità pluviometrica può essere espressa nella forma:

$$h = a' \times t^n \times T^m$$

dove:

- $a'$  coefficiente [mm/hn ym];
- $T$  tempo di ritorno in anni [y].

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti  $a$ ,  $n$  e  $m$  (Figura 3.3, Figura 3.4 e Figura 3.5).

Tali coefficienti sono utilizzati sia per durate superiori che inferiori all'ora.

#### 3.2 Caratteristiche del modello afflussi-deflussi

Il modello idrologico utilizzato può essere classificato come distribuito in quanto i parametri sono definiti per ognuna delle singole celle. Dal punto di vista concettuale il modello valuta dapprima la formazione del deflusso superficiale mediante la simulazione del fenomeno dell'intercettazione e, successivamente, il trasferimento di tale deflusso sino alla sezione di chiusura.

Il modello che simula il fenomeno dell'intercettazione calcola il deflusso superficiale di ciascuna cella, considerando sia la capacità di ritenuta del suolo che la velocità di infiltrazione a saturazione (percolazione). Il modello mette in conto anche la componente di deflusso ipodermico che raggiunge il reticolo con tempi maggiori rispetto al deflusso superficiale.

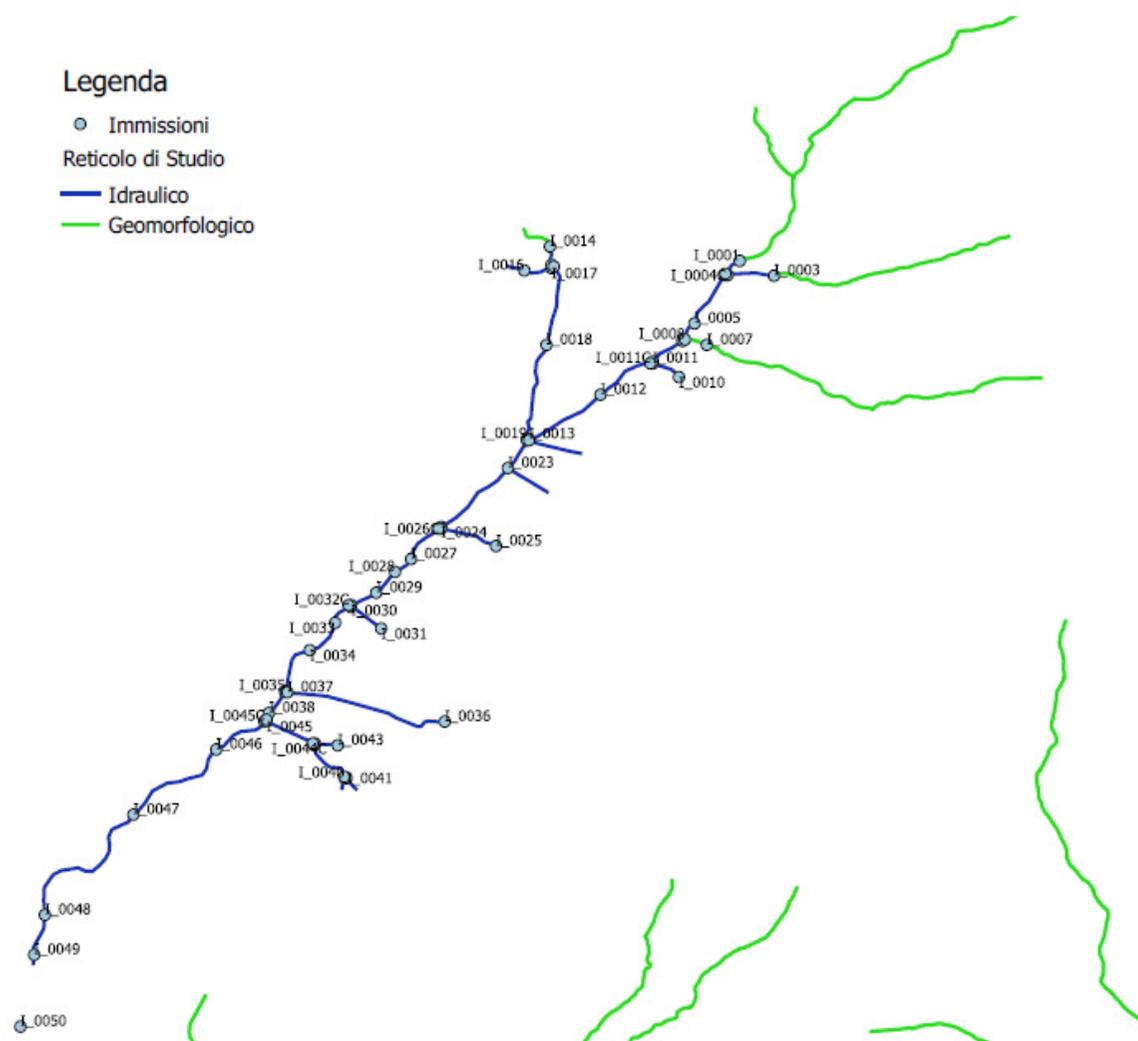


Figura 3.1 – Immissioni area torrente Mugnone e affluenti.

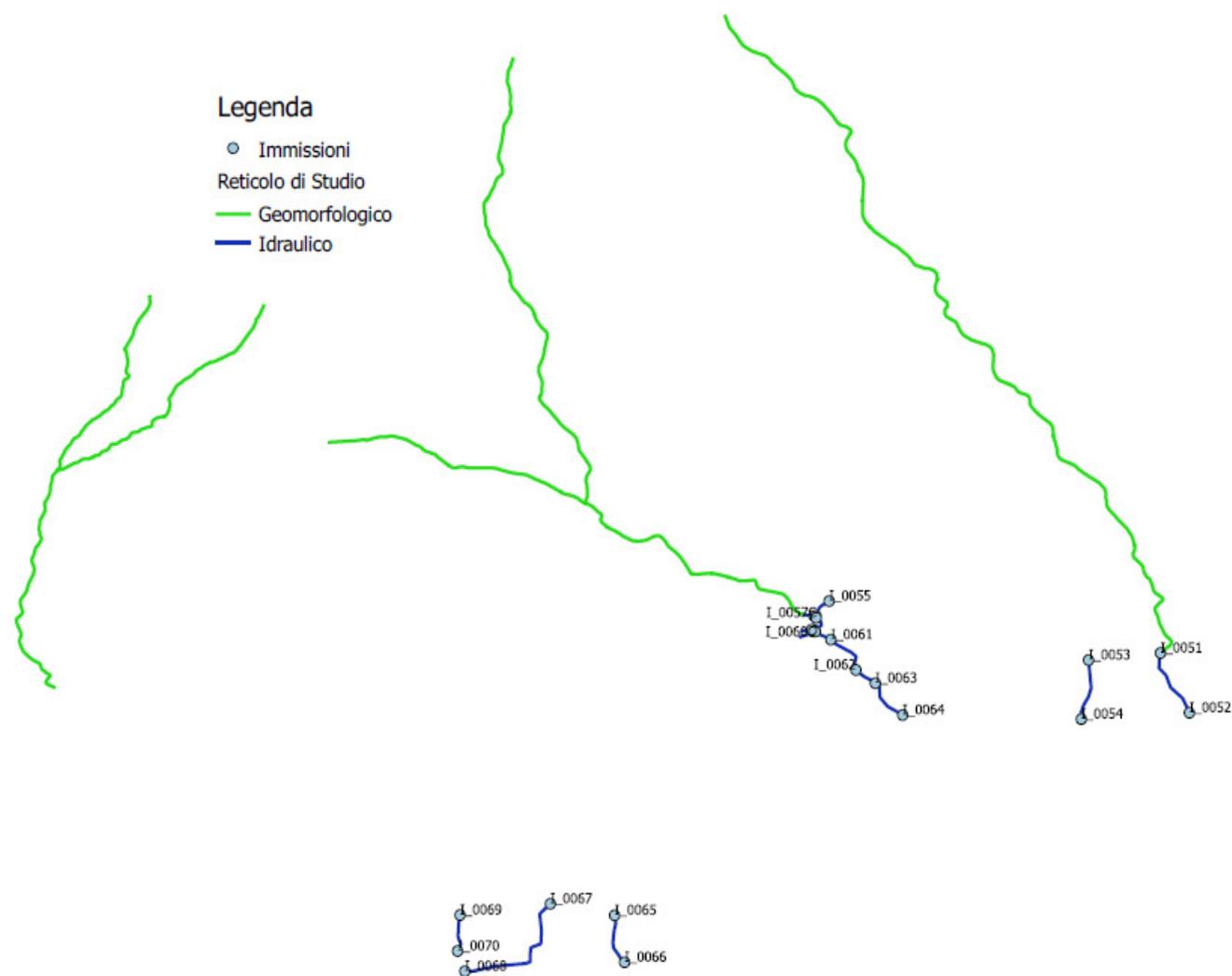


Figura 3.2 – Immissioni Torrenti Montalbano, Gironne, Anchetta, Sambre e suoi affluenti, Ellera e Falle

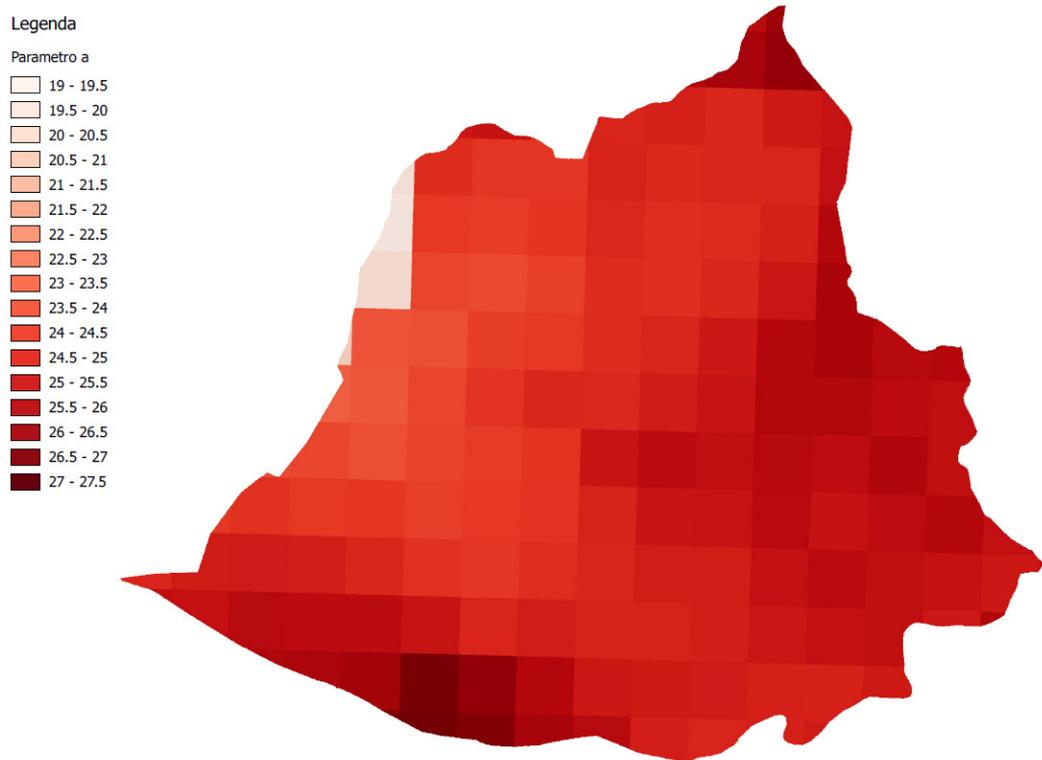


Figura 3.3 – Mappa coefficiente a.

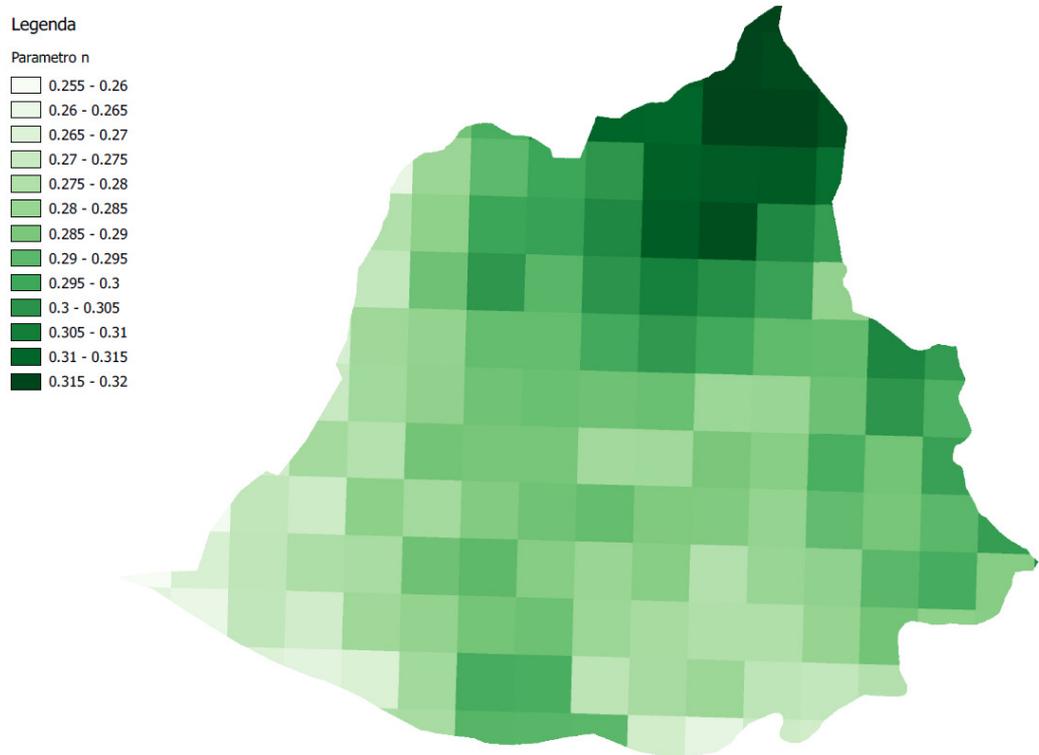


Figura 3.4 – Mappa coefficiente n.

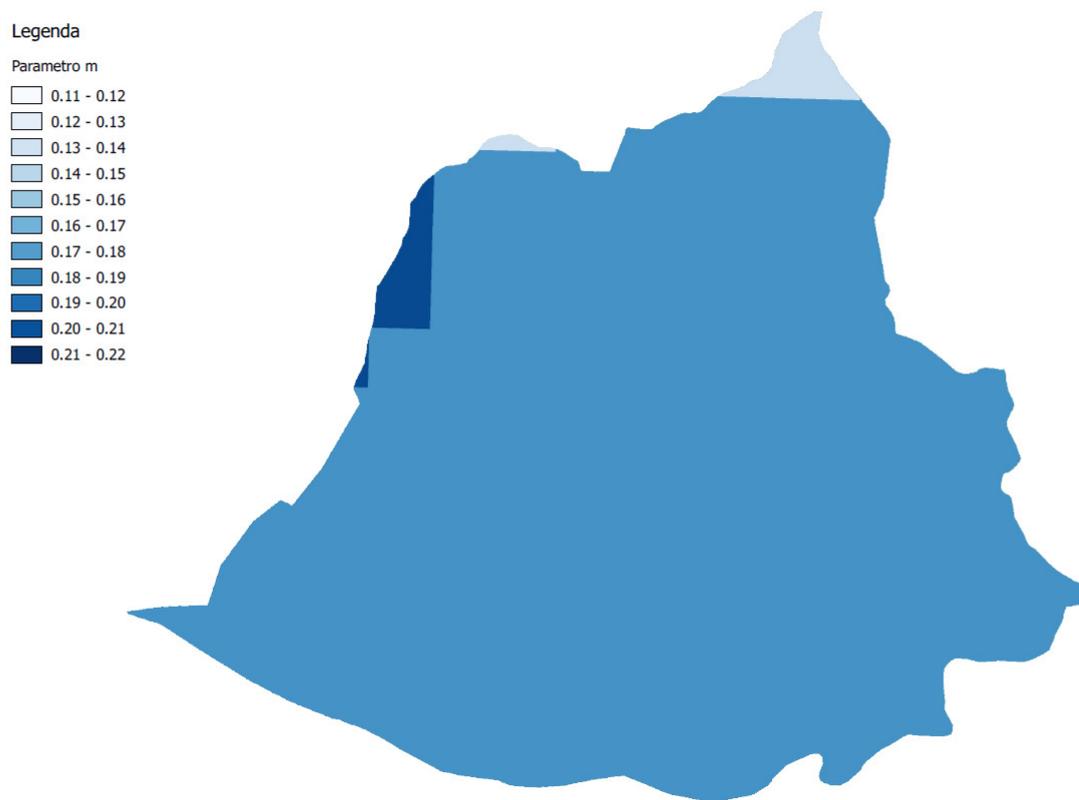


Figura 3.5 – Mappa coefficiente  $m$ .

La simulazione delle modalità di trasferimento del deflusso superficiale si basa sulla schematizzazione del fenomeno mediante una componente di tipo cinematico e una di tipo "serbatoio lineare" (modello tipo Clark).

Il modello necessita, quindi, di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche.

Le mappe che forniscono la parametrizzazione dei processi di formazione e trasferimento dei deflussi sul bacino in esame sono:

1. *mappa dei puntatori*;
2. *mappa degli ordini di calcolo*;
3. *mappa dei bacini*;
4. *mappa delle velocità*;
5. *mappa dei tempi di trasferimento*;
6. *mappa della capacità di ritenuta (GRAV – contenuto di acqua gravimetrica)*;
7. *mappa della velocità di filtrazione a saturazione (percolazione) (KSAT-150 conducibilità satura intero suolo)*.

### 3.2.1 Le fasi computazionali

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale;
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo ed eventualmente la componente del deflusso ipodermico;

- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.

Con riferimento alle variabili elencate nella Tabella 3-1 si riportano i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino.

- 1) L'afflusso sulla singola cella,  $P_{i_k}$  [mm/h] è determinato con il metodo dei topoi;
- 2) Il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione,  $K_s$  [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro  $K$  [1/h].
- 3) L'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left( P_i - K_s - K \cdot \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) dt$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \cdot \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \cdot \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \theta_k + P_i - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

- 4) Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_o$  [mm] è uguale a  $\alpha_o \theta_{max}$  dove  $\alpha_o$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:

- *essiccamento del suolo*:

se  $\theta_k / dt + P_{i_k} > K_s$  allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{eff} = \theta_k / dt + P_{i_k}$$

- *saturazione del suolo*:

$$\theta_{k+1} = \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{max}) / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

- *caso intermedio*:

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1}) / dt + P_{i_k} - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

Simbolo	Significato	U.M.
$P_{i_k}$	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
$\Delta t$	passo temporale	[h]
$Dx$	passo spaziale	[m]
$SC$	valore della capacità di ritenuta del suolo ( <i>storage capacity</i> )	[mm]
$KL$	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
$RI$	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
$IN$	<i>coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione</i>	[/]
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
$T$	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_c = CI T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_i = (1-CI) T/MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max} = RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s = IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c = T_c/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i = T_i/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
$C_s = 1/\tau_i$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
$\theta_o$	<b>contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale</b>	[mm]
$K = IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
$Q_{1k}$	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
$\varphi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
$Q_k$	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella 3-1- Elenco delle variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi

Il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove  $C_s$ , [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come  $1/\tau_i$  e  $\varphi_k$  il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta

$$Q_k = C_s \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

- 5) La componente cinematica trasla nel tempo il contributo  $Q_k$  di un fattore pari a  $\tau_c$ .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- $\alpha_0$  frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];
- $Rl$  coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo [/];
- $IN$  coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/];
- $IP$  coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/];
- $MT$  coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/];
- $Cl$  coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/>].

### 3.2.2 Le caratteristiche geografiche

Le basi di dati cartografici, in formato digitale (*raster*), sono costituite da:

- modello digitale del terreno con maglia  $10 \times 10$  m adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi (Figura 3-6);
- mappa della capacità di ritenuta (Figura 3-7);
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione (Figura 3-8).

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono ricavate dal DB idrologico realizzato nell'ambito dello studio condotti dalla Regione Toscana *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic*.

Il *raster* dei "puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento" sono elaborati a partire dal DTM  $10 \times 10$  m. Il *raster* dei puntatori indica la direzione del deflusso superficiale e viene ricavato assumendo che ogni cella versi nella cella vicina a quota minore.

I tempi di trasferimento sono valutati nell'ipotesi che la velocità di trasferimento nella singola sezione sia proporzionale all'area del bacino a monte elevata all'esponente 0.15 e alla pendenza locale elevata alla 0.2.

Il legame funzionale è, quindi, del tipo  $v = 1.85 A^{0.15} J^{0.2}$ , dove  $v$  è la velocità di trasferimento [m/s],  $A$  l'area del bacino [km<sup>2</sup>] e  $J$  la pendenza locale per della rete.

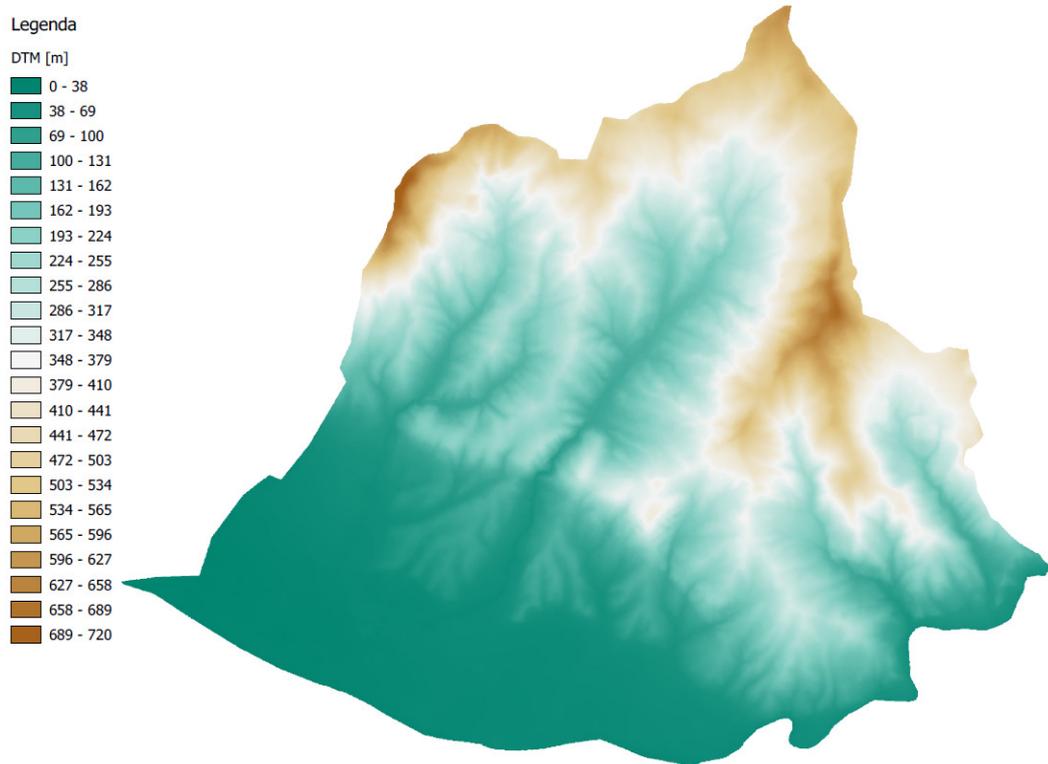


Figura 3-6 – Modello digitale del terreno.

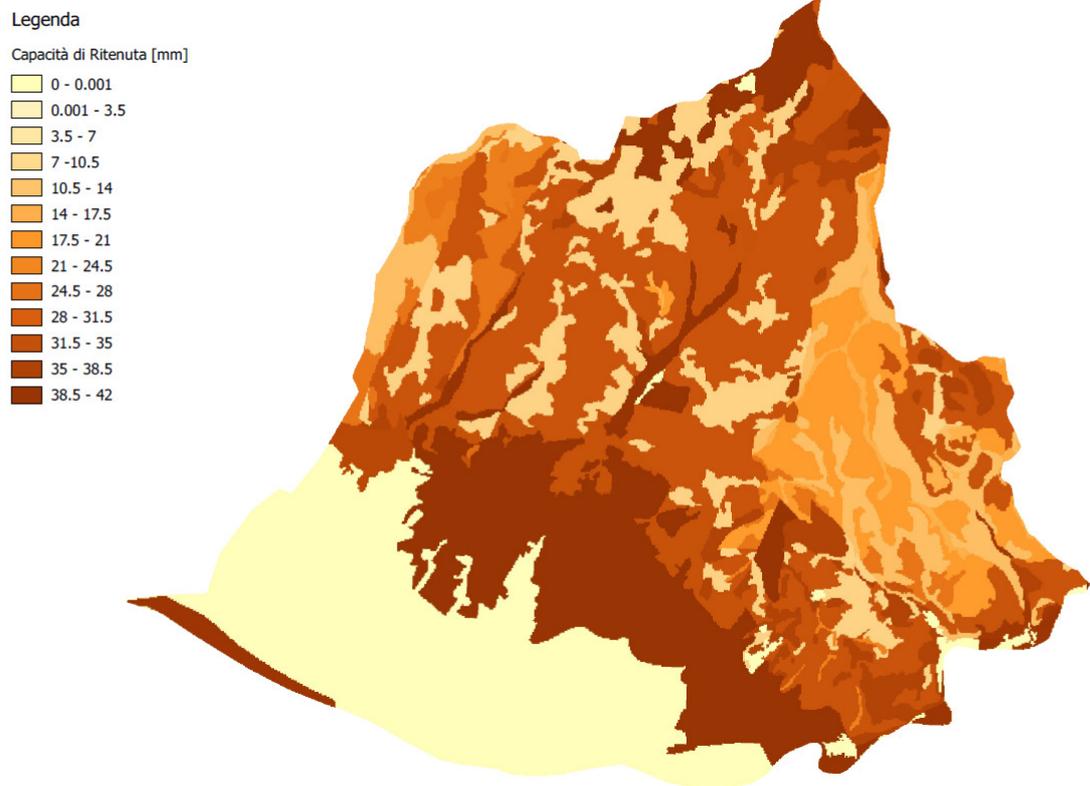


Figura 3-7 – Capacità di ritenuta.

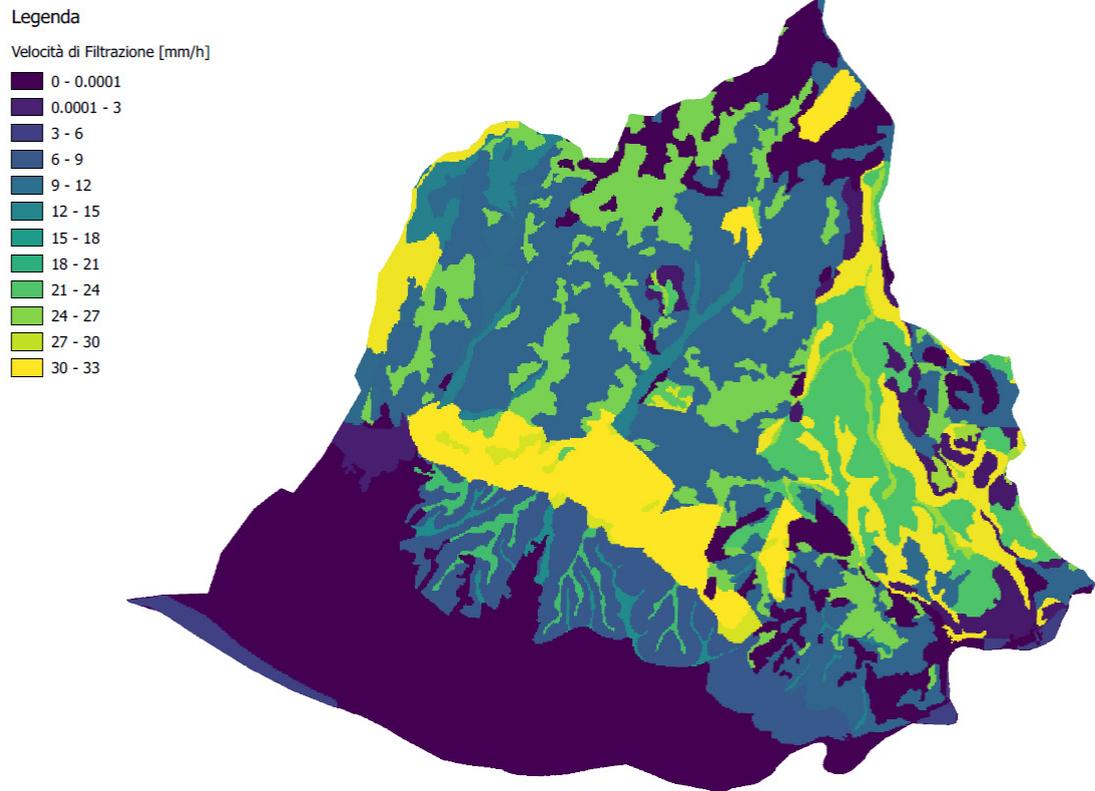


Figura 3-8 – Velocità filtrazione.

### 3.3 Implementazione del modello idrologico

Il modello idrologico prima descritto è stato implementato per ricavare gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno e per le diverse durate sia dei bacini complessivi che degli interbacini.

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un coefficiente di riduzione,  $K_r$ , del tipo:

$$K_r = \frac{h_A(A, t)}{h(t)}$$

dove  $h_A(A, t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  ragguagliata all'area  $A$  e  $h(t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio.

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di  $K_r$  si è fatto riferimento alla formula dell'USWB opportunamente modificata per tenere in conto delle caratteristiche peculiari della Regione Toscana:

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

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] l'area del bacino.

Per la regione Toscana nell'ambito dello studio di regionalizzazione sono stati definiti i seguenti valori per i parametri:

- $\alpha = F_a \times a = 0.036 \times a$ , dove  $a$  è il parametro della curva di possibilità;
- $\beta = F_b = 0.25$ ;
- $\gamma = F_c = 0.01$ .

Per il calcolo delle portate degli interbacini è stata utilizzata l'opzione globale che consente di mantenere congruente il volume complessivo della precipitazione procedendo da monte verso valle su un dato corso d'acqua.

Per il calcolo di  $K_r$  dell'interbacino  $K_a$  si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte  $K_m$  e per la sezione di valle  $K_v$  procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

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

dove:

- $K_v$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle;
- $A_v$  = area del bacino di valle;
- $K_m$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte;
- $A_m$  = area del bacino di monte.

I parametri del modello idrologico sono riportati nella Tabella 3-2.

Nell'Appendice B si riportano i valori delle portate al colmo per i bacini complessivi calcolati in corrispondenza delle immissioni riportate nella Figura 3.1 e Figura 3.2.

.

.

Acque Alte		
$\alpha_o$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]	0.20
$Rl$	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]	1.00
$IN$	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]	0.03
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]	0.20
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	1.85
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35

Tabella 3-2 – Tabella parametri.

### 3.4 Taratura del modello idrologico

La taratura del modello è effettuata sulla base di eventi noti ove, oltre alle precipitazioni, sono disponibili i dati di portata in una o più sezioni del bacino.

In particolare, il modello idrologico è stato tarato su num. 4 eventi significativi registrati nella stazione idrometrica del torrente Mugnone a Ponte alle Mosse (TOS01004702), i cui periodi di osservazione sono descritti nella Tabella 3-6.

I dati pluvio-idrometrici sono stati forniti dal SIR (Servizio Idrologico Regionale).

Le portate in transito nella stazione idrometrica sono state calcolate con una scala di deflusso in moto permanente ricostruita con specifiche simulazioni idrauliche.

Per le simulazioni idrauliche è stato usato un modello idraulico sviluppato con software HEC-RAS fornito dal Genio Civile.

La Figura 3-10 raffigura la posizione planimetrica dell'idrometro mentre la Figura 3-10 la sezione di valle di Ponte alle Mosse dove lo strumento è posizionato.

In Tabella 3-6 sono riportati i dati identificativi dell'idrometro forniti dal SIR (Servizio Idrologico Regionale).



Figura 3-9 – Posizione planimetrica dell'idrometro

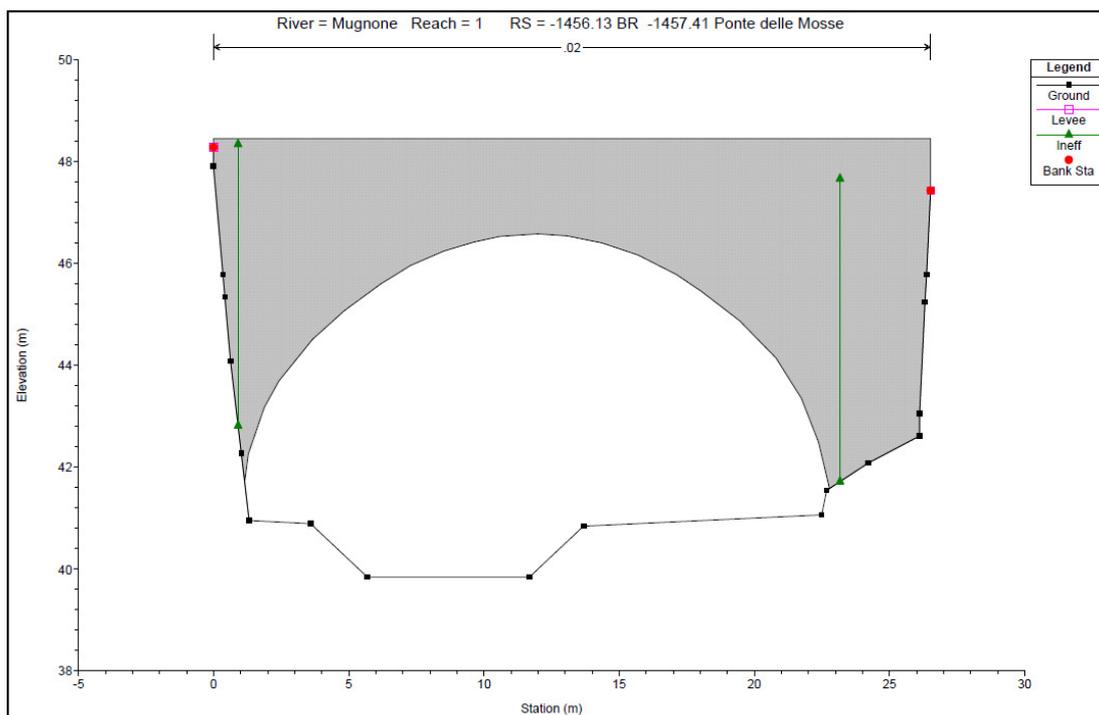


Figura 3-10 – Sezione Ponte alle Mosse, Torrente Mugnone, posizione dell'idrometro

Codice	E	N	Zero Idrometrico [mslm]
TOS01004702	1679195	4850626	40.65

Tabella 3-3 – Dati Idrometro Ponte alle Mosse, SIR Toscana.

Lo zero idrometrico della stazione è stato verificato con opportuno rilievo topografico effettuato in data 10/08/2018, eseguito con strumentazione GPS.

Lo zero idrometrico risultante, utilizzato anche per lo sviluppo della scala ad deflusso, è riportato in Tabella 3-4.

Codice	E	N	Zero Idrometrico [mslm]
TOS01004702	1679195	4850626	40.35

Tabella 3-4 – Dati Idrometro Ponte alle Mosse, rilievo.

La scala di deflusso calcolata è quella riportata in Figura 3-11 i cui parametri sono riportati in Tabella 3-5.

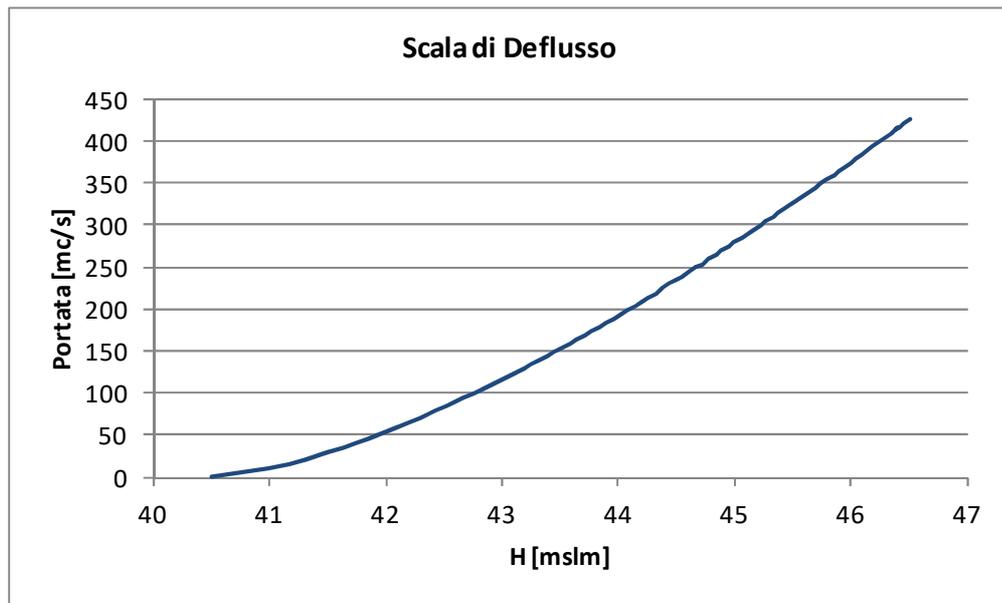


Figura 3-11 – Scala di deflusso, Mugnone, Ponte alle Mosse.

	Scala di Deflusso
a	32.286
H <sub>0</sub>	40.570
b	1.450

Tabella 3-5 – Parametri della scala di deflusso.

I parametri del modello PIENE risultanti dalla taratura del torrente Mugnone a Ponte alle Mosse sono restituiti nella Tabella 3-7.

Num.	Inizio	Fine
1	11/02/16 00:00	17/02/16 23:45
2	03/03/17 00:0	09/03/17 23:45
3	01/03/18 00:00	05/03/18 23:45
4	10/03/18 00:00	14/03/18 23:45

Tabella 3-6 – Eventi torrente Mugnone a Ponte alle Mosse.

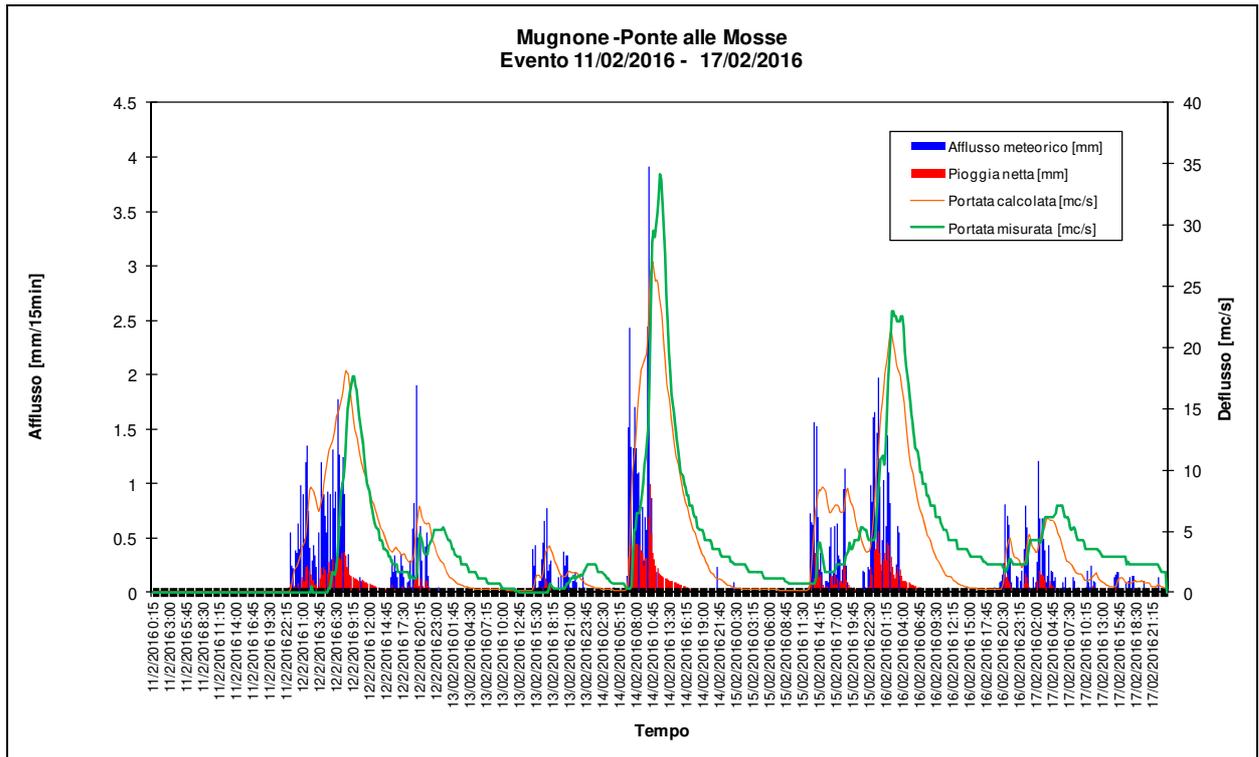


Figura 3-12 – Evento 11/02/2016.

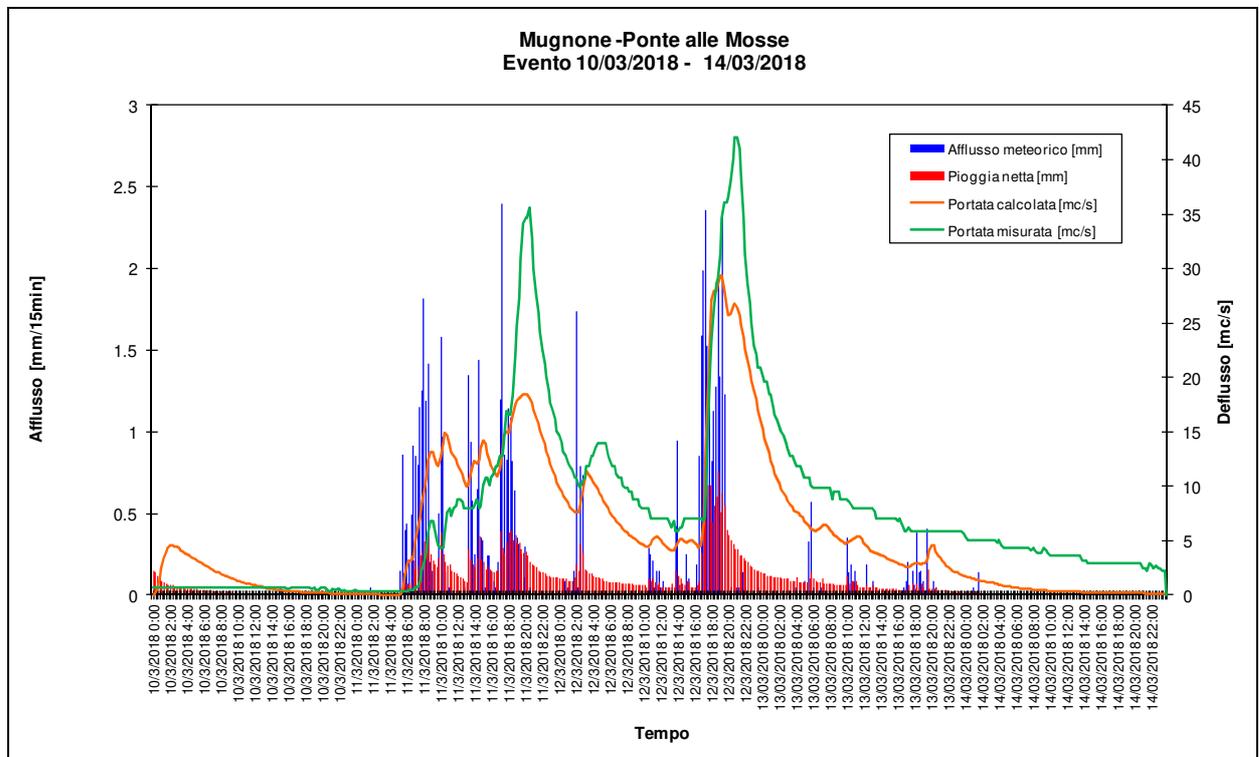


Figura 3-13 – Evento 03/03/2017.

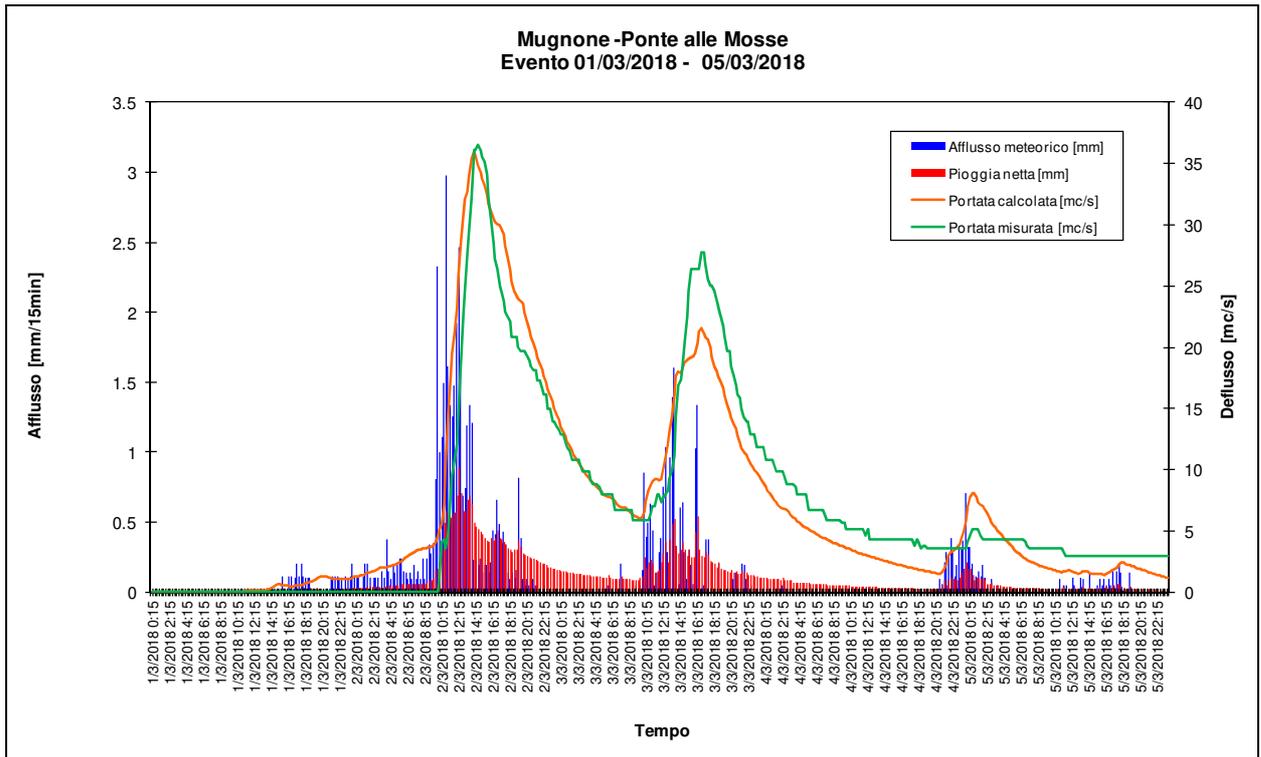


Figura 3-14 – Evento 01/03/2018.

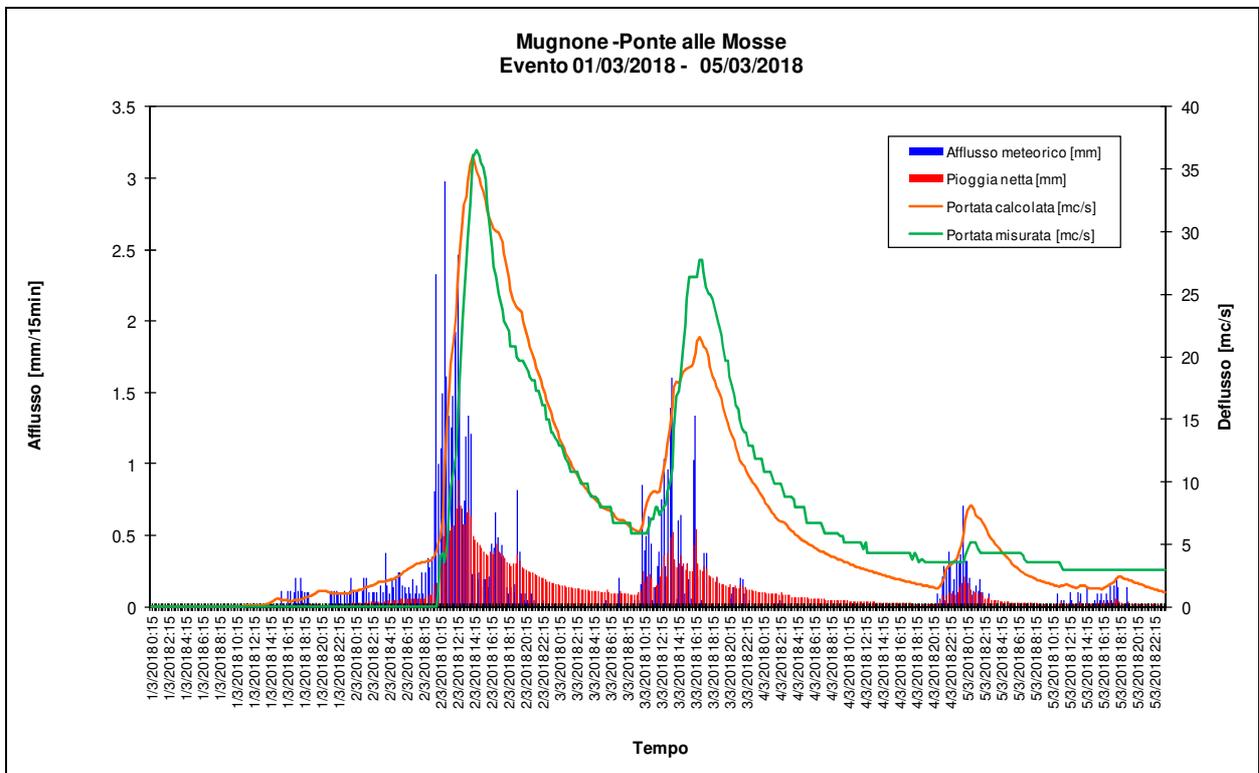


Figura 3-15 – Evento 10/03/2018.

Inizio	Fine	Saturazione	Ritenuta	Filtrazione	Ipodermico	Trasferimento	Cinematico / invaso
11/02/16 00:00	17/02/16 23:45	0	0.094	1	0.35	1.850	0.350
03/03/17 00:00	09/03/17 23:45	0	0.041	1	0.2	1.850	0.350
01/03/18 00:00	05/03/18 23:45	0	0.011	1	0.2	1.850	0.350
10/03/18 00:00	14/03/18 23:45	0	0.00	1	0.11	1.850	0.350
Media		0	0.037	1.	0.215	1.850	0.350

Tabella 3-7 – Parametri taratura del torrente Mugnone a Ponte alle Mosse.

Saturazione	Ritenuta	Filtrazione	Ipodermico	Trasferimento	Cinematico
0.20	1.00	0.03	0.20	1.85	0.35

Tabella 3-8 – Parametri adottati per il modello idrologico.

## 4 ANALISI IDRAULICA

Le verifiche idrauliche sono state condotte con un modello idraulico di moto vario con modellazione bidimensionale delle aree di esondazione.

Il modello di moto vario monodimensionale consente la simulazione del fenomeno di propagazione dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua, mentre il modello bidimensionale permette la simulazione dei fenomeni propagazione delle esondazione nelle aree circostanti.

### 4.1 Definizione dei corsi d'acqua oggetto di studio

Il modello numerico è implementato su di un sistema composto dai corsi d'acqua riportati nella Tabella 4-1, Tabella 4-2 e 4-3 in cui sono indicati per ciascun modello il corso d'acqua il nome, il numero di sezioni e la lunghezza complessiva.

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Torrente Mugnone	242	6179.9
Torrente Mugnoncello	56	144.2
Fosso Capannucce	9	140.9

Tabella 4-1 – Elenco dei corsi d'acqua area torrenti Mugnone e Mugnoncello e affluenti in destra.

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Fosso Molina	16	218.6
Fosso Capparello	11	92.3
Fosso Santa Margherita	10	155.5
Fosso Caldine	11	253.1
Fosso Ponticello	23	267.2
Fosso Pian del Mugnone	16	181.8
Fosso del Bargellino	16	756.6
Fosso del Fossataccio	21	632.4
Fosso affluente Fossataccio	3	78.8

Tabella 4-2 – Elenco dei corsi d'acqua area affluenti in sinistra del torrente Mugnone.

Nome corso d'acqua	Sezioni [#]	Lunghezza [m]
Torrente Sambre	62	948.9
Fosso Anchetta	7	294.1
Fosso Calcinaia	15	125.9
Fosso Ellera	16	387.4
Fosso Girone	14	745.6
Fosso Montalbano	10	246.6
Fosso Pontanico	4	71.2
Fosso Romena	7	113.4
Borro alle Falle	30	424.0

Tabella 4-3 – Elenco dei corsi d'acqua area affluenti Arno.

## **4.2 Gli elementi del modello idraulico**

Il sistema idraulico dei torrenti Mugnone e Mugnoncello è descritto da:

- n. 5 tronchi fluviali (Mugnone 01; Mugnone 02; Mugnoncello 01; Mugnoncello 02; Capannucce);
- n. 2 confluenze;
- n. 307 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate o duplicate);
- n. 4 aree bidimensionali;
- n. 54 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 42 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua.

Il sistema idraulico degli affluenti in sinistra del torrente Mugnone è descritto da:

- n. 10 tronchi fluviali (Affluente; Bargellino; Caldine; Capparello; Fossataccio; Fossataccio 02; Molina; Ponticello; Pian Mugnone; Margherita);
- n. 1 confluenza;
- n. 109 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate o duplicate);
- n. 8 aree bidimensionali;
- n. 46 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 14 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra le aree di potenziale esondazione;
- n. 22 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua e n. 1 immissione idrologica applicata ad un'area di potenziale esondazione.

Il sistema idraulico degli affluenti del fiume Arno è descritto da:

- n. 9 tronchi fluviali (Anchetta; Falle; Calcinaia; Ellera; Girone; Montalbano; Pontanico; Romena; Sambre);
- n. 165 sezioni fluviali (sono escluse dal conteggio le sezioni interpolate o duplicate);
- n. 4 aree bidimensionali;
- n. 45 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra i corsi d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 6 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra le aree di potenziale esondazione;
- n. 31 immissioni di portata liquida in altrettante sezioni di corsi d'acqua.

Il sistema idraulico del fiume Arno è descritto da:

- n. 3 aree bidimensionali;
- n. 7 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra le aree di potenziale esondazione;
- n. 25 condizioni al contorno in termini di idrogrammi dei livelli idrometrici forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale.

La planimetria delle sezioni fluviali utilizzate, del modello digitale del terreno, delle aree di potenziale esondazione, delle connessioni tra aree e delle condizioni al contorno è riportata nell'elaborato QC.I02a per la configurazione del torrente Mugnone e affluenti e nell'elaborato QC.I02b per quella degli affluenti del fiume Arno.

### 4.3 Aree bidimensionali

Il modello digitale del terreno, utilizzato come base per la modellazione bidimensionale e per la costruzione delle leggi di invaso delle aree a celle di accumulo, è ottenuto a partire dal modello digitale con passo  $1 \times 1$  m (messo a punto nell'ambito del progetto Lidar) fornito dalla Regione Toscana.

Le maglie di calcolo per la modellazione bidimensionale sono costituite da maglie non strutturate realizzate tramite il software Hec-Ras 5.0.6.

Le dimensioni degli elementi della maglia sono state definite in funzione del grado di dettaglio che si desidera ottenere dalle simulazioni compatibilmente con i tempi di calcolo e in funzione della complessità della morfologia del territorio.

In particolare, è stato definito che un valore limite di  $25 \text{ m}^2$  per le superfici degli elementi della maglia in tutta l'estensione del dominio di calcolo.

Nelle aree bidimensionali sono state introdotte delle *break-lines* per rappresentare le principali discontinuità.

Il dominio di calcolo bidimensionale del torrente Mugnone e affluenti è stato schematizzato con n. 11 aree bidimensionali per un totale di circa  $180'000$  celle.

Il dominio di calcolo bidimensionale degli affluenti del fiume Arno è stato schematizzato con n. 4 aree bidimensionali per un totale di circa  $115'000$  celle.

Per ciascuna maglia di calcolo il software Hec-Ras 5.0.6 calcola la legge di invaso e le scale di deflusso su ciascuna faccia di bordo della cella a partire dal modello digitale del terreno.

Il coefficiente di scabrezza di *Manning* per le aree a deflusso bidimensionale è attribuito in funzione dell'uso e della copertura del suolo fornita come Open Geodata dalla Regione Toscana (Figura 4-2).

Le classi con cui è suddiviso il territorio con il relativo valore di scabrezza sono riportate nella Tabella 4-4.

Classe	Manning [s/m <sup>1/3</sup> ]
Strade asfaltate	0.025
Strade campestri	0.030
Edificato	0.500
Altro	0.050

Tabella 4-4 – Scabrezze aree bidimensionali.

### 4.4 Parametri del modello idraulico

#### 4.4.1 Condizioni al contorno di monte e contributi idrologici

La condizione al contorno di monte, in termini di idrogrammi di portate, è assegnata nella prima sezione di monte di ciascun corso d'acqua.

Gli idrogrammi di piena sono ricavati dai risultati dell'analisi idrologica per ogni tempo di ritorno e per ogni durata dell'evento di pioggia (vedere § 3).

Le immissioni idrologiche dei sottobacini sono state applicate senza tenere conto delle possibili esondazioni a monte delle immissioni stesse.

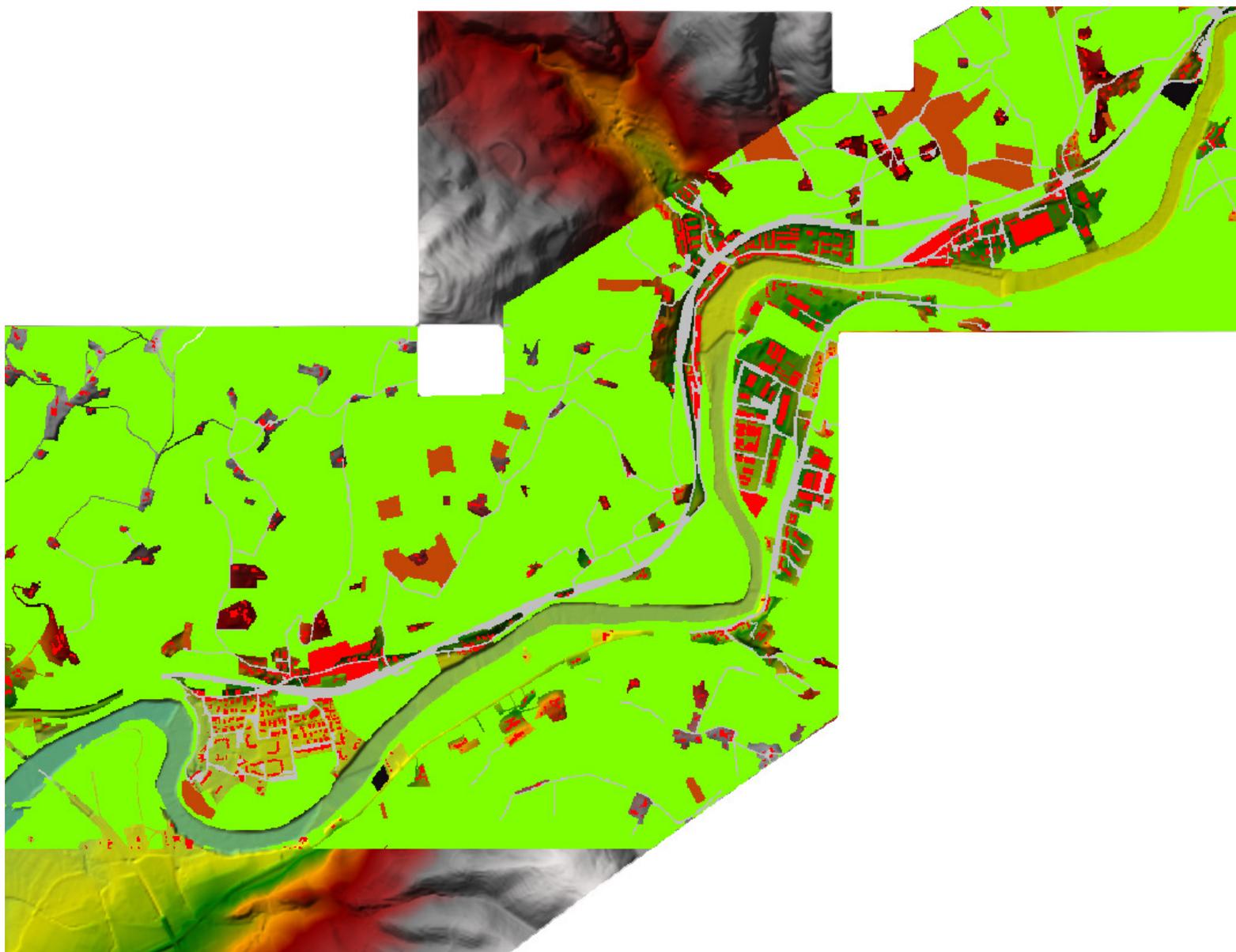


Figura 4-2 – Planimetria della copertura del suolo del modello bidimensionale degli affluenti del fiume Arno.

#### **4.4.2 Condizioni al contorno di valle**

Per il torrente Mugnone le condizioni al contorno di valle sono espresse in condizioni di *normal depth*.

Per gli affluenti in sinistra del torrente Mugnone sono state adottate delle altezze idrometriche costanti con valori tali da rigurgitare i salti di fondo e stabilizzare le simulazioni.

Per gli affluenti del fiume Arno sono state adottate condizioni di *normal depth*.

#### **4.4.3 Perdite per espansione e contrazione**

I coefficienti delle perdite per espansione e contrazione per le verifiche in moto vario sono assunti pari a 0.1 (contrazione) e 0.3 (espansione).

Per la parte montana del fosso del Bargellino e del fosso del Fossataccio sono stati utilizzati valori di 0.05 (contrazione) e 0.2 (espansione) date le elevate pendenze.

#### **4.4.4 Connessioni idrauliche**

Le quote degli sfioratori d'alveo sono ricavate dalle sezioni, la larghezza del fronte di sfioro è posta pari alla distanza tra le sezioni.

In taluni casi è stato necessario sopraelevare localmente le quote degli sfioratori collegati ad aree bidimensionali al fine di rispettare la congruità con la quota della cella di arrivo.

Il coefficiente di stramazzo degli sfioratori laterali sono stati assunti pari a 1 nel caso di rilevati arginali e 0.5 nel caso di strutture non sopraelevate rispetto al terreno.

#### **4.4.5 Scabrezze dei corsi d'acqua**

Il valore del parametro di scabrezza (espressa come coefficiente di *Manning*) è assunto pari a 0.033 s/m<sup>1/3</sup> per tutti i corsi d'acqua analizzati.

#### **4.4.6 Passo temporale e durata della modellazione**

La durata complessiva degli eventi simulati per il sistema dei torrenti Mugnone e Mugnoncello è assunta pari a 12 ore, considerato le durate degli eventi che vanno da 30 minuti fino ad un massimo di 2,5 ore.

La stessa durata è stata utilizzata per il modello idraulico riguardante gli affluenti in sinistra di Mugnone.

Il passo temporale adottato nelle simulazioni degli eventi di piena è generalmente di 1 secondo.

#### **4.4.7 Condizioni al contorno per il Fiume Arno**

Per l'analisi del sistema Arno sono state introdotte delle immissioni nel dominio di calcolo in corrispondenza delle sezioni fluviali del fiume Arno.

Le sezioni fluviali del fiume Arno che interferiscono con l'area di studio hanno i seguenti codici: 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 636, 637, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655.

Gli idrogrammi delle livelli idrometrici sono tabulati nell'elaborato ALL1.REL.I01.

## 5 VERIFICA DELLO STATO ATTUALE

Le verifiche idrauliche dello stato attuale sono condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti ed applicata ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per le durate pari a 30 minuti e 1, 1,5, 2, e 2,5 ore per il torrente Mugnone e Mugnoncello, affluenti in sinistra del Mugnone e affluenti del fiume Arno e per le durate pari, 3, 6, 12, 18, 24 e 36 ore per il Fiume Arno.

Le verifiche idrauliche hanno fornito, per ogni tempo di ritorno e durata considerati, i valori temporali e quelli massimi (involuppi) di:

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico (modello mono-dimensionale);
- volumi e livelli idrometrici nelle aree di potenziale esondazione (modello quasi-bidimensionale);
- battenti di esondazione e velocità di propagazione nelle maglie di calcolo (modello bidimensionale);
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

Obiettivo delle suddette verifiche è quello di valutare i battenti massimi (involuppo) di piena raggiunti nel territorio comunale in occasione di eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni e la conseguente inondabilità delle suddette aree.

Nell'elaborato All2.REL.I01 sono riportati i tabulati delle verifiche idrauliche dei corsi d'acqua studiati.

Nell'elaborato All3.REL.I01 sono riportate le sezioni fluviali e i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche dei corsi d'acqua studiati con i massimi livelli idrici valutati per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le varie durate per il sistema idraulico dei torrenti Mugnone e affluenti, mentre nell'elaborato All4.REL.I01 sono riportati quelli del sistema idraulico degli affluenti del fiume Arno.

Negli elaborati QC.I03a e QC.I03b sono riprodotti i battenti di esondazione massimi rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni per lo stato attuale del sistema idraulico dei torrenti Mugnone e affluenti, mentre negli elaborati QC.I04a e QC.I04b sono rappresentate le velocità massime di propagazione delle esondazioni.

Negli elaborati QC.I05a e QC.I05b sono riprodotti i battenti di esondazione massimi rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni del sistema idraulico degli affluenti del fiume Arno, mentre negli elaborati QC.I06a e QC.I06b sono rappresentate le velocità massime di propagazione delle esondazioni.

### 5.1 Individuazione dei tratti critici e delle aree inondabili

Sulla base dei risultati ottenuti dalle verifiche idrauliche sono stati individuati i tratti critici dei corsi d'acqua considerati in relazione alla insufficienza di contenimento, nelle diverse sezioni fluviali disponibili, delle portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno e alle differenti durate.

Le aree così definite sono imputabili alla esondazioni dalle aste principali considerate, rimangono pertanto escluse le aree inondate per effetto di altri corsi d'acqua o per fenomeni di rigurgito e/o di ristagno dovuti alla insufficienza di altre reti di drenaggio naturali e/o artificiali, ai livelli di falda e quanto altro non imputabile alle acque convogliate nel sistema fluviale considerato.

Inoltre, non sono state considerate, le aree allagabili per rotture arginali, per ostruzione delle sezioni fluviali, per effetti conseguenti alla dinamica d'alveo.

Il torrente Mugnone esonda consente il deflusso della portata trentennale ad eccezione del tratto posto in corrispondenza dell'abitato di Pian del Mugnone. Per il tempo di ritorno di 200 anni le esondazioni rimangono confinate nelle aree fasce di pertinenza fluviale.

Analoghe considerazioni valgono per il torrente Mugnoncello. Il tratto maggiormente critico per il tempo di ritorno ducentennale è quello contiguo all'abitato in località Le Capannucce.

Per il sistema degli affluenti di sinistra del Mugnone, ad esclusione dei fossi Caldine, Capparello e Santa Margherita, si riscontrano fenomeni di esondazioni più o meno localizzati già per tempi di ritorno di 30 anni, in corrispondenza dei vari tombamenti presenti nella parte di fondovalle.

La situazione maggiormente critica è costituita dalle esondazioni del fosso Bargellino, che interessano l'abitato di Pian del Mugnone.

Per quanto riguarda il sistema di affluenti del Fiume Arno, si manifestano una serie di criticità già con eventi con tempo di ritorno pari a 30 anni, dovuti alle elevate pendenze che terminano spesso con tombamenti dovuti all'intercettazione del sistema ferroviario o viario.

Nella parte di fondovalle del fiume Arno, risulta pacifico che i fenomeni prevalenti di esondazione sono da imputarsi al fiume Arno, che sostanzialmente interessa l'area a valle della ferrovia specie negli abitati di Girone e Complobbi già per tempi di ritorno pari a 30 anni che poi si aggravano con l'evento duecentennale.

## 5.2 Pericolosità morfologica e storico inventariale

La pericolosità idraulica calcolata su base idraulica è stata estesa su base morfologica e storico inventariale ai seguenti corsi d'acqua.

- fosso dei Bosconi
- fosso della Molina
- torrente Mugnone
- fosso Capparello
- borro delle Serre
- torrente Affrico
- fosso delle Bucine
- fosso Fossataccio
- torrente Mensola
- torrente Cucina
- torrente Sambre
- borro delle Falle

L'analisi morfologica e storico inventariale è stata condotta con i criteri riportati nella Tabella 5-1.

		Notizie storiche di inondazione o alveo attivo	
		SI	NO
Situazione morfologica (quota rispetto al piede esterno dell'argine o al ciglio di sponda)	< 2.0 m	I.4	I.3
	> 2.0 m	I.3	I.2

Tabella 5-1 – Criteri di assegnazione della pericolosità geomorfologica.

La morfologia del terreno è stata ricavata da un modello digitale del terreno messo punto sulla base del rilievo Lidar e, dove mancavano, dalla CTR 2k, dal quale è stata estratta mediamente una sezione ogni 100 m. Per ciascuna sezione sono stati individuati l'alveo inciso, i cigli di sponda e le aree poste a quota inferiori rispetto a 2.0 m.

Per quanto riguarda la componente storico inventariale sono state considerate le aree con notizie storiche di inondazione, le aree allagabili della carta del contesto idraulico e l'alveo attivo.

Le aree I.2 ai sensi del 53/R, ovvero quelle con pericolosità PI.1 ai sensi del PGRA, derivano dalle aree inondate per il tempo di ritorno 500 anni del P.G.R.A. vigente.

### **5.3 Perimetrazione della pericolosità idraulica**

Le aree inondabili sono tracciate a partire dalle mappe dei battenti per tempi di ritorno 30 e 200 anni. Le aree inondabili sono riportate nell'elaborato STR.I01a per il sistema idraulico del torrente Mugnone e affluenti e nell'elaborato STR.I01b per quello degli affluenti del fiume Arno.

A partire dalla mappa delle aree allagabili sono state predisposte le mappe della pericolosità idraulica come definita dal D.P.G.R. n.53/R/2011 (elaborato STR.I02):

- I.4 eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni;
- I.3 eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni;
- I.2 eventi con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni.

Analogamente sono state create le mappe della pericolosità idraulica come definita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale ai sensi del P.G.R.A. (elaborato STR.I03):

- P.3 aree con elevata probabilità di accadimento;
- P.2 aree con media probabilità di accadimento;
- P.1 aree con bassa probabilità di accadimento.

### **5.4 Perimetrazione della magnitudo idraulica**

Negli elaborati STR.I04a e STR.I04b è rappresentata la magnitudo idraulica definita ai sensi della L.R. 41/2018 come il risultato della combinazione tra i valori dei battenti idrometrici e delle velocità di propagazione delle alluvioni poco frequenti.

Le aree inondate sono suddivise in tre classi di magnitudo:

- *moderata*: in cui i battenti idrici sono inferiori o uguali a 0.5 m e le velocità sono inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono uguali o inferiori a 0.3 m;
- *severa*: area con battenti inferiori o uguali a 0.5 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità inferiori o uguali a 1.0 m/s. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti sono compresi tra 0.3 m e 0.5 m;
- *molto severa*: dove i battenti sono compresi tra 0.5 m e 1.0 m e velocità superiori a 1.0 m/s, oppure area con battenti superiori a 1.0 m. Nel caso in cui la velocità non sia determinata, area inondata in cui i battenti superiori a 0.5 m.

**A. APPENDICE**  
**Il modello idrologico a parametri distribuiti PIENE**

## IL MODELLO IDROLOGICO A PARAMETRI DISTRIBUITI PIENE

Il programma PIENE è finalizzato alla stima degli idrogrammi di piena su base idrologico-statistica attraverso l'applicazione di un modello a parametri distribuiti che trasforma la precipitazione (definita dalle curve di possibilità pluviometriche CPP) in deflusso in una data sezione idrografica.

Le curve di possibilità pluviometrica devono essere calcolate per tutte le stazioni ricadenti nel bacino di interesse. Le CPP devono essere espresse nella seguente forma:

$$h = aT^m t^n$$

dove  $a$ ,  $m$  e  $n$  sono i parametri,  $T$  il tempo di ritorno e  $t$  la durata della precipitazione.

Il modello a parametri distribuiti è composto da un modello di infiltrazione che determina l'ammontare della pioggia netta e da un modello di trasferimento che determina la formazione dell'onda di piena in una data sezione di chiusura.

Il modello di infiltrazione utilizza come parametri la velocità di filtrazione a saturazione e la capacità di ritenuta gravitazionale. Le due componenti sono state stimate a partire dalla geolitologia del bacino e dall'uso del suolo.

Il processo di calcolo della pioggia netta è, inoltre, vincolato alla definizione del grado di saturazione all'inizio dell'evento che viene definito per tutto il bacino di interesse.

Il modello di trasferimento utilizza due parametri per ciascuna cella: il primo determina il tempo di ritardo cinematico mentre il secondo determina il ritardo dovuto alla componente di invaso.

Viene definito un tempo di ritardo complessivo calcolato in base ad una distribuzione di velocità di trasferimento all'interno del bacino. La velocità di trasferimento può essere definita in funzione dell'area del bacino sotteso, della lunghezza del reticolo a monte e della pendenza locale.

Il tempo di ritardo complessivo viene quindi ripartito nelle due componenti cinematica e di invaso in funzione di un parametro unico per tutto il bacino.

I parametri che regolano la trasformazione afflussi-deflussi e che possono essere variati dall'utente sono in definitiva i seguenti:

- grado di saturazione all'inizio dell'evento;
- grado di ripartizione fra la componente cinematica e quella di invaso;
- moltiplicatore della velocità di trasferimento che definisce il tempo di ritardo;
- moltiplicatore della capacità di ritenuta;
- moltiplicatore della velocità di filtrazione a saturazione.

I parametri del modello sono stimati sulla base di tarature condotte in genere su una serie di sottobacini per i quali siano noti gli afflussi e i deflussi per un certo numero di eventi.

### Le caratteristiche geografiche e idrologiche

Il modello necessita di una serie di mappe relative alle grandezze idrologiche e geografiche.

#### *Le mappe tematiche*

- *Mappa delle quote*: la mappa delle quote riporta le quote sul livello del mare per tutto il bacino da analizzare. In genere è necessario procedere ad una correzione della mappa delle quote in fase di preparazione dei dati in quanto molti dei modelli digitali disponibili presentano delle celle depresse che non consentono la corretta identificazione delle linee di impluvio nel bacino.

- *Mappa dei puntatori idrologici*: i puntatori idrologici indicano per ciascuna cella ove questa versi il proprio contributo al deflusso superficiale. I valori vanno da 1 a 8 e sono relativi alle 8 celle che circoscrivono la cella in questione. La numerazione è assegnata in senso antiorario a partire dalla cella in basso a sinistra. Per ciascuna cella si assume che questa versi nella cella di quota minore tra quelle che la circondano.
- *Mappa degli ordini idrologici*: la mappa degli ordini riporta per ciascuna cella il massimo numero di celle che stanno a monte su un dato percorso di trasferimento. Le celle di sorgente hanno ordine pari a 1. Procedendo verso valle a ogni confluenza si assegna alla cella di valle il massimo ordine di monte più 1.
- *Mappa dei tempi di trasferimento*: la mappa dei tempi di trasferimento riporta invece il tempo complessivo in ore, [h], perché l'acqua si trasferisca da ciascuna cella fino alla foce. I tempi di trasferimento possono essere calcolati secondo una distribuzione di velocità funzione dell'area del bacino sotteso, della lunghezza del reticolo a monte e della pendenza locale.
- *Mappa della velocità di filtrazione a saturazione*: la mappa di infiltrazione a saturazione è espressa in [mm/h]. Tale mappa viene di norma calcolata in funzione della geolitologia del bacino e dell'uso del suolo sulla base di opportune tabelle di correlazione.
- *Mappa della capacità di ritenuta*: la mappa della capacità di ritenuta è espressa in [mm]. Tale mappa viene di norma calcolata in funzione della geolitologia del bacino e dell'uso del suolo sulla base di opportune tabelle di correlazione.
- *Mappa del Curve Number*: la mappa contiene i valori del numero di curva per il calcolo della precipitazione netta secondo il metodo del *Curve Number*. Se è presente questa mappa non sono necessarie le due mappe precedenti.
- *Mappa dei topoieti*: la mappa dei topoieti attribuisce a ciascuna cella il puntatore alla stazione pluviometrica a questa più vicina. Le stazioni sono quelle riportate nel file delle curve di possibilità pluviometrica. Il puntatore indica il numero di ordine corrispondente nel file delle curve di possibilità pluviometrica pertanto a ogni modifica del file delle curve di possibilità pluviometrica deve corrispondere la modifica della mappa dei topoieti.

### ***Le curve di possibilità pluviometrica***

Il modello necessita, inoltre, dei dati di precipitazione per ciascuna cella del bacino. Poiché le precipitazioni sono note come valori puntuali in una serie di stazioni di misura ricadenti nel bacino o limitrofe ad esso, è necessario procedere alla definizione di una distribuzione spaziale della precipitazione. Il criterio adottato è rappresentato dal metodo dei topoieti o di *Thiessen*.

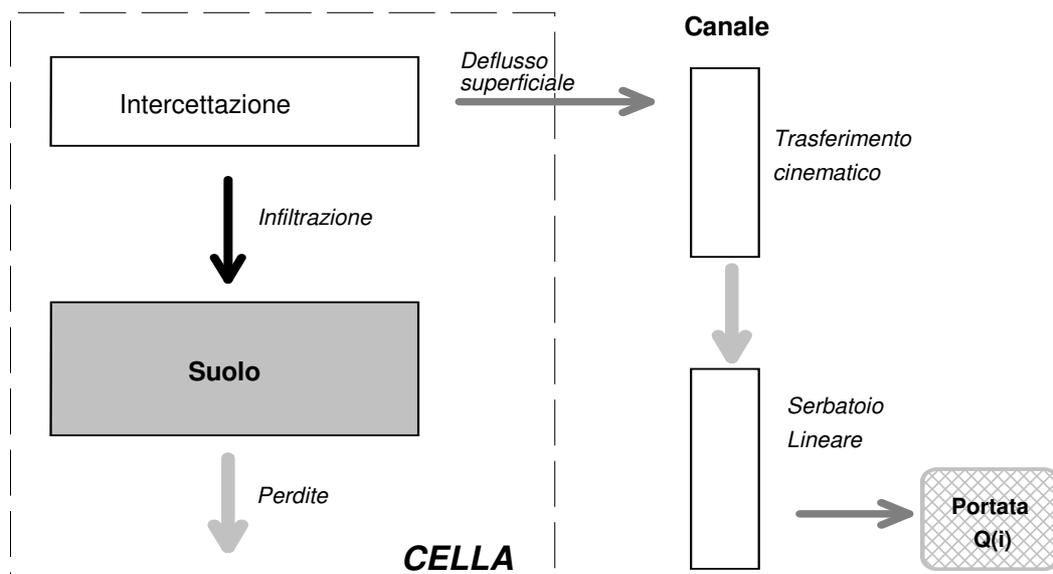
Le curve di possibilità pluviometrica sono archiviate nel file relativo che contiene le seguenti informazioni:

- CODICE della stazione;
- parametri  $a$ ,  $n$  e  $m$  per durate superiori ad un ora;
- parametri  $a'$ ,  $n'$  e  $m'$  per durate inferiori ad un ora.

### **Algoritmi di calcolo**

Il calcolo viene condotto per ciascuna cella e per tutti i passi temporali secondo le seguenti fasi:

- *intercettazione*: in questa fase si effettua una stima della quantità di acqua che viene comunque sottratta al deflusso superficiale. La stima è riferita ad una componente iniziale che comprende le varie perdite per intercettazione (vegetazione, assorbimento del suolo) e ad una componente a regime riferita alla capacità di infiltrazione a saturazione;
- *suolo*: in questa fase si ricostruisce il bilancio idrologico del suolo, valutando la quantità d'acqua che va ad alimentare il volume profondo e la componente del deflusso ipodermico,
- *canale*: in questa fase si simula il trasferimento del deflusso superficiale e di quello ipodermico dalla singola cella alla sezione di chiusura.



All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infiltra nel suolo, fino a saturare la capacità di ritenuta del suolo. Saturato tale volume, l'acqua continua a infiltrare nel suolo con un tasso definito dalla velocità di infiltrazione. Se l'afflusso eccede la velocità di infiltrazione si ha deflusso superficiale verso il canale. Tale deflusso contribuisce alla portata con un ritardo dettato dal modello di trasferimento.

Il bilancio del serbatoio "suolo" tiene pertanto conto da una parte dell'afflusso per infiltrazione, dall'altra delle perdite. Le perdite sono tali che per suolo saturo la quantità di acqua che si infiltra nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

- 1) *Grado di saturazione iniziale*: rappresenta la percentuale di acqua presente nel volume gravitazionale di suolo;
- 2) *Coefficiente di ripartizione cinematico – serbatoio lineare*: esprime il peso relativo del tempo di ritardo attribuibile alla componente cinematica e alla componente di serbatoio lineare;
- 3) *Parametro di scala per il calcolo della velocità di trasferimento*: rappresenta la velocità con cui il deflusso superficiale generato nella singola cella si trasferisce alla sezione di chiusura:

La capacità di ritenuta in [mm], ovvero la quantità di acqua che può essere immagazzinata nella parte gravitazionale del suolo (corrisponde al grado di saturazione uguale a 1) e la velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h] che rappresenta la velocità di infiltrazione nel suolo in condizioni di saturazione (grado di saturazione uguale a 1) sono definite dalle mappe *raster* relative.

Il modello prevede comunque parametri moltiplicativi per calibrare il valore medio di tali grandezze su tutto il bacino nella sola fase di taratura.

A questi si aggiungono i coefficienti della formula per il ragguaglio all'area che sono definiti in seguito.

### ***Le fasi computazionali***

Con riferimento alle variabili elencate nella seguente Tabella si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

Simbolo	Significato	unità misura
$Pi_k$	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
$\Delta t$	passo temporale	[h]
$Dx$	passo spaziale	[m]
$SC$	valore della capacità di ritenuta del suolo ( <i>storage capacity</i> )	[mm]
$KL$	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
$RI$	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
$IN$	<i>coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione</i>	[/]
$IP$	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
$T$	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_c = CI T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_i = (1-CI) T/MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invaso	[h]
$MT$	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
$CI$	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max} = RI SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s = IN KL$	valore distribuito della velocità di infiltrazione a saturazione (o permeabilità)	[mm/h]
$\tau_c = T_c/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo cinematico	[h]
$\tau_i = T_i/MT$	valore distribuito dei tempi di trasferimento secondo il metodo dell'invaso	[h]
$C_{s=1/\tau_i}$	valore distribuito della costante di esaurimento del serbatoio lineare	[1/h]
$\alpha_0$	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
$\theta_0$	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K = IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
$\theta_k$	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]
$I_{eff}$	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
$Q_{1k}$	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
$\varphi_k$	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
$Q_k$	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

- 1) L'afflusso sulla singola cella,  $Pi_k$  [mm/h] è determinato con il metodo dei topoietai.
- 2) Il suolo è assimilato a un serbatoio lineare che si riempie in ragione della precipitazione (di intensità costante sul passo di bilancio) e si svuota in ragione della percolazione,  $K_s$  [mm/h], e del deflusso ipodermico regolato dal parametro  $K$  [1/h].
- 3) L'equazione di continuità, da cui si ricava il contenuto di acqua nel suolo da un passo a quello successivo, è esprimibile in forma differenziale nel seguente modo:

$$\Delta\theta = \theta_{k+1} - \theta_k = \left( P_i - K_s - K \times \frac{\theta_{k+1} + \theta_k}{2} \right) \times dt$$

$$\Rightarrow \frac{\theta_{k+1}}{dt} + \frac{K}{2} \times \theta_{k+1} = \frac{\theta_k}{dt} - \frac{K}{2} \times \theta_k + P_i - K_s$$

$$\theta_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{K}{2} \right) \times \theta_k + P_i - K_s}{\frac{1}{dt} + \frac{K}{2}} \right)$$

- 4) Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio  $\theta_0$  [mm] è uguale a  $\alpha_0 \theta_{max}$  dove  $\alpha_0$  è il grado di saturazione iniziale. Il valore del contenuto di acqua nel suolo è limitato tra 0 e  $\theta_{max}$ , pertanto si possono distinguere tre casi:

a) *essiccamento del suolo:*

se  $\theta_k / dt + Pi_k > K_s$  allora

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = \theta_k / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

Altrimenti

$$\theta_{k+1} = 0$$

$$Q_{1k} = 0$$

$$I_{eff} = \theta_k / dt + Pi_k$$

b) *saturazione del suolo:*

$$\theta_{k+1} = \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{max}) / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

c) *caso intermedio:*

$$0 < \theta_{k+1} < \theta_{max}$$

$$Q_{1k} = (\theta_k - \theta_{k+1}) / dt + Pi_k - K_s$$

$$I_{eff} = K_s$$

Il modello di trasferimento nel reticolo è costituito da una componente di invaso e da una componente cinematica poste in serie. La componente di invaso è caratterizzata dalla seguente espressione:

$$\varphi_{k+1} = \left( \frac{\left( \frac{1}{dt} - \frac{C_s}{2} \right) \times \varphi_k + Q_{1k}}{\frac{1}{dt} + \frac{C_s}{2}} \right)$$

dove  $C_s$ , [1/h] è il parametro del serbatoio calcolato come  $1/\tau$  e  $\varphi_k$  il volume d'acqua nel reticolo (assunto inizialmente nullo). Il contributo verso la componente cinematica risulta

$$Q_k = C_s \otimes \frac{\varphi_{k+1} + \varphi_k}{2}$$

- 5) La componente cinematica trasla nel tempo il contributo  $Q_k$  di un fattore pari a  $\tau_c$ .

Il contributo complessivo alla sezione di chiusura avviene attraverso la convoluzione dei contributi delle singole celle.

Sulla base di quanto esposto, il modello necessita della definizione dei seguenti parametri validi su tutto il bacino:

$\alpha_0$  frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]

$Rl$  coefficiente moltiplicativo del raster della capacità di ritenuta del suolo [/]

$IN$  coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]

$IP$  coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]

$MT$  coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]

$Cl$  coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]

### Opere di laminazione

Le seguenti opere di laminazione possono essere considerate nel modello idrologico:

- Invasi in linea con fessura;
- Invasi in linea con luce a battente;
- Invasi in derivazione.

L'invaso in linea con fessura è caratterizzato da una legge di riempimento che lega i volumi e i livelli del tipo:

$$V = a H^b$$

dove  $a$  e  $b$  sono parametri stimati dalla cartografia e  $H$  è l'altezza d'acqua dal fondo dell'invaso.

Gli invasi in linea con fessura sono caratterizzate dai seguenti parametri:

- $b$  larghezza della fessura;
- $\mu$  coefficiente di efflusso fessura;
- $h$  altezza della soglia sfiorante;
- $b_2$  larghezza della soglia sfiorante;
- $\mu_2$  coefficiente di efflusso della soglia sfiorante.

La portata scaricata per  $H$  minore dell'altezza della soglia sfiorante  $h$ :

$$Q_s = \mu b H \sqrt{2gH}$$

Per  $H$  maggiore della quota della soglia sfiorante

$$Q_s = \mu b H \sqrt{2gH} + \mu_2 (b_2 - b)(H - h) \sqrt{2g(H - h)}$$

Gli invasi in linea con luce a battente sono caratterizzate dai seguenti parametri:

- $b$  larghezza della luce a battente
- $\mu$  coefficiente di efflusso luce
- $b_1$  altezza della luce a battente
- $\mu_1$  coefficiente di efflusso luce a battente
- $h$  altezza della soglia sfiorante
- $b_2$  larghezza della soglia sfiorante
- $\mu_2$  coefficiente di efflusso della soglia sfiorante

La portata scaricata per  $H$  minore dell'altezza della luce a battente  $b_1$ :

$$Q_s = \mu b H \sqrt{2gH}$$

Per  $H$  compreso tra  $b_1$  e  $1.5 b_1$  si applica una formula di raccordo con la seguente espressione:

$$Q_s = \left( \mu - 2(\mu - \mu_1) \frac{H - b_1}{b_1} \right) b b_1 \sqrt{2g b_1}$$

Per  $H$  compreso tra  $1.5 b_1$  e la quota della soglia sfiorante  $h$ :

$$Q_s = \mu_1 b b_1 \sqrt{2g(H - 0.5b_1)}$$

Per  $H$  maggiore dell'altezza della soglia sfiorante  $h$ ;

$$Q_s = \mu_2 b_2 (H - h) \sqrt{2g(H - h)} + \mu_1 b b_1 \sqrt{2g(H - 0.5b_1)}$$

Gli invasi in derivazione sono caratterizzate dai seguenti parametri:

- $b$  larghezza della soglia sfiorante
- $\mu$  coefficiente di efflusso soglia sfiorante
- $h$  altezza della soglia sfiorante
- $\mu_1$  coefficiente di efflusso soglia rigurgitata
- $a, b, c$  parametri della scala di deflusso in prossimità della soglia sfiorante, rappresentata dalla seguente espressione:  $Q = a (H_a - b)^c$  dove  $H_a$  è l'altezza d'acqua in alveo dal fondo della cassa.

La portata sfiorata nella cassa è funzione del livello in alveo calcolato con la scala di deflusso e quello nella cassa calcolato con la legge di riempimento. Nel caso di livello in alveo superiore a quello nella cassa e assumendo che il livello nella cassa sia superiore alla soglia sfiorante si applica la seguente formula per stramazzi rigurgitati:

$$Q_s = b(\mu_1(H - h) + \mu(H_a - H))\sqrt{2g(H_a - H)}$$

Il modello idrologico calcola gli apporti alle opere di laminazione derivanti sia dai bacini principali che intermedi. Quindi calcola l'effetto di laminazione di ciascun intervento da monte verso valle provvedendo al trasferimento dei contributi in base al modello misto cinematico-invaso utilizzato per i calcoli idrologici. Un tale approccio consente di verificare in una unica soluzione gli effetti di complessi sistemi in cascata di opere di laminazione fornendo lo strumento per valutare la riduzione di portata non solo a valle dell'opera singola ma anche in prossimità di un obiettivo posto a valle della stessa.

### ***Definizione dell'input pluviometrico***

- *Intensità costante*: il programma di default utilizza un ietogramma a intensità costante. L'intensità viene valutata in funzione della durata e della curva di possibilità pluviometrica.
- *Lo ietogramma Chicago*: l'input di precipitazione, in termini di ietogramma, può essere definito sulla base delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) adottando un particolare ietogramma di intensità variabile, noto in letteratura scientifica come *ietogramma Chicago*.

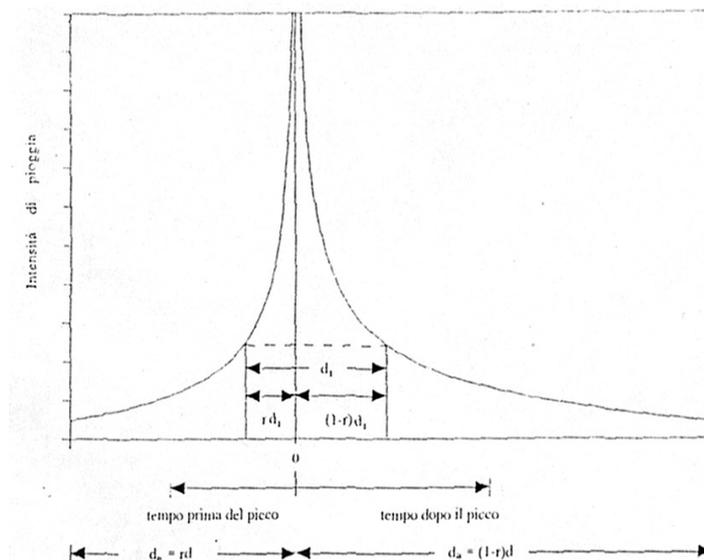
Lo ietogramma Chicago prevede la seguente formulazione per la parte antecedente e successiva al picco di intensità della precipitazione:

$$i(t) = n \times (aT^m) \times \left(\frac{t_b}{r}\right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_p$$

$$i(t) = n \times (aT^m) \times \left(\frac{t_a}{(1-r)}\right)^{n-1} \quad \text{per } t > t_p$$

dove:

- $a, n, m$  parametri della CPP ( $h = a d^n T^m$ );
- $T$  tempo di ritorno (anni) prescelto per l'evento
- $t$  tempo dall'inizio dell'evento;
- $t_p$  tempo di picco;
- $t_b$  tempo mancante al verificarsi del picco;
- $t_a$  tempo trascorso dal verificarsi del picco;
- $d$  durata dell'evento;
- $r$  fattore di fase (determina la posizione temporale del picco)



La particolarità di questo ietogramma (che è anche la sua comodità), è quello di racchiudere al suo interno, per tutte le durate minori di quella complessiva  $t_b$ , eventi congruenti con la CPP, e quindi di sollecitare sicuramente in modo critico il bacino di volta in volta considerato.

### Il ragguglio areale

La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso un *coefficiente di ragguglio areale*,  $K_r$ , del tipo:

$$K_r = h_A(A, t) / h(t)$$

dove  $h_A(A, t)$  è l'altezza di pioggia di durata  $t$  raggugliata all'area  $A$  e  $h(t)$  l'altezza di pioggia di durata  $t$  nel centro di scroscio.

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

Per la quantificazione di  $K_r$  si è fatto riferimento alla formula dell'USWB ove alcuni parametri sono modificati per tenere in conto delle caratteristiche del territorio italiano:

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

dove  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] l'area del bacino.

Nel presente caso i parametri della formula adottata sono i seguenti:

- $\alpha = 0.036$ ;
- $\beta = 0.25$ ;
- $\gamma = 0.01$ .

La applicazione del coefficiente di ragguglio areale allo ietogramma di tipo *Chicago* è stata condotta applicando la formula separatamente a ciascun intervallo di tempo a cavallo del picco di pioggia in modo da modificare la forma dello ietogramma di progetto in funzione dell'area del bacino a cui questo viene applicato.

Una tale applicazione consente di modificare automaticamente la forma dello ietogramma in considerazione del fatto che le piogge ragguagliate per bacini piccoli mantengono alti valori di intensità che poi diminuiscono all'aumentare della dimensione del bacino fino a divenire assimilabili a precipitazioni di intensità costante per grandi bacini.

È possibile anche impostare il valore del  $K_r$  costante prescindendo dal calcolo con la formula suddetta.

Il coefficiente di ragguaglio areale  $K_r$  dipende come abbiamo visto dalla durata dell'evento e dall'area del bacino. Nel caso sia necessario conoscere i contributi di una serie di interbacini in serie in modo da mantenere, da monte verso valle, il volume affluito uguale a quello che si avrebbe per ciascuna sezione di chiusura, tali contributi possono essere calcolati con l'opzione globale.

Per il calcolo di  $K_r$  dell'interbacino  $K_a$  si procede pertanto al calcolo separatamente per la sezione di monte  $K_m$  e per la sezione di valle  $K_v$  procedendo pertanto al calcolo con la seguente formula:

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

dove:

- $K_v$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di valle;
- $A_v$  = area del bacino di valle;
- $K_m$  = coefficiente di ragguaglio areale per il bacino di monte;
- $A_m$  = area del bacino di monte.

È possibile imporre l'area da utilizzare per il calcolo del coefficiente di ragguaglio. Ciò può essere utile se si intende produrre degli idrogrammi di piena che non siano critici per ciascun sottobacino ma per il bacino complessivo.

## **B. APPENDICE**

### **Tabulati analisi idrologica con il modello PIENE (portate al colmo bacini totali)**

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0001	MG2001__	8.424	0.631	52.242	53.829	32.158	1.580	0.971	6.202	25.271	0.317	0.180	25.271	0.317	0.180
I_0002	MG1002__	8.667	0.641	52.651	54.155	32.497	1.605	0.970	6.075	25.257	0.317	0.180	25.257	0.317	0.180
I_0003	ML1001__	1.090	0.360	11.831	44.582	29.474	0.813	0.995	10.854	25.335	0.303	0.184	25.335	0.303	0.184
I_0004	ML2004__	1.127	0.401	11.551	45.057	30.241	0.845	0.995	10.247	25.322	0.303	0.184	25.322	0.303	0.184
I_0005	MG1008__	10.050	0.672	60.286	53.680	32.686	1.560	0.965	5.999	25.249	0.316	0.181	25.249	0.316	0.181
I_0006	MG1017__	10.152	0.692	60.141	54.033	33.140	1.600	0.965	5.924	25.243	0.316	0.181	25.243	0.316	0.181
I_0007	CP1001__	1.467	0.383	16.340	43.407	32.710	0.726	0.994	11.140	25.513	0.299	0.184	25.513	0.299	0.184
I_0008	CP1003__	1.477	0.406	16.026	43.760	33.217	0.747	0.994	10.854	25.509	0.299	0.184	25.509	0.299	0.184
I_0009	MG1024__	11.713	0.693	70.583	52.372	32.470	1.437	0.959	6.026	25.263	0.314	0.181	25.263	0.314	0.181
I_0010	MS1001__	0.769	0.338	8.439	44.661	29.957	0.807	0.997	10.979	25.466	0.299	0.184	25.466	0.299	0.184
I_0011	MS2003__	0.781	0.370	8.246	44.882	30.342	0.815	0.997	10.561	25.454	0.299	0.184	25.454	0.299	0.184
I_0012	MG1041__	12.732	0.726	75.823	52.546	33.245	1.446	0.956	5.955	25.262	0.312	0.181	25.262	0.312	0.181
I_0013	MG1047__	12.870	0.803	73.489	54.021	34.932	1.580	0.956	5.710	25.257	0.312	0.181	25.257	0.312	0.181
I_0014	I_0014	3.445	0.420	31.227	41.726	26.361	0.695	0.985	9.066	24.932	0.311	0.184	24.932	0.311	0.184
I_0015	I_0015	3.512	0.440	31.055	42.265	26.865	0.725	0.985	8.843	24.928	0.311	0.185	24.928	0.311	0.185
I_0016	I_0016	0.224	0.161	3.118	40.194	18.717	0.622	0.999	13.907	24.831	0.307	0.184	24.831	0.307	0.184
I_0017	I_0017	0.249	0.213	3.090	41.789	20.882	0.708	0.999	12.413	24.821	0.308	0.184	24.821	0.308	0.184
I_0018	I_0018	4.124	0.508	33.328	44.247	28.276	0.843	0.983	8.081	24.902	0.310	0.185	24.902	0.310	0.185
I_0019	I_0019	4.373	0.623	31.437	49.342	33.349	1.201	0.983	7.190	24.892	0.310	0.185	24.892	0.310	0.185
I_0021	CD1001__	0.758	0.379	8.160	44.136	29.546	0.782	0.997	10.762	25.357	0.297	0.184	25.357	0.297	0.184
I_0023	MG1061__	18.293	0.772	103.127	54.054	34.353	1.594	0.940	5.637	25.170	0.311	0.182	25.170	0.311	0.182
I_0024	I_0024	18.549	0.854	100.038	55.081	35.645	1.695	0.940	5.393	25.167	0.311	0.182	25.167	0.311	0.182
I_0025	I_0025	1.497	0.340	17.932	41.327	31.225	0.626	0.993	11.982	25.338	0.292	0.184	25.338	0.292	0.184
I_0026	I_0026	1.529	0.407	17.043	41.989	32.168	0.658	0.993	11.149	25.330	0.292	0.184	25.330	0.292	0.184
I_0027	I_0027	20.296	0.871	108.333	54.271	35.522	1.608	0.934	5.338	25.183	0.309	0.182	25.183	0.309	0.182
I_0028	I_0028	22.035	0.855	116.240	54.861	35.706	1.679	0.929	5.275	25.146	0.309	0.182	25.146	0.309	0.182
I_0029	I_0029	22.185	0.878	115.314	55.297	36.221	1.720	0.929	5.198	25.144	0.309	0.182	25.144	0.309	0.182
I_0030	I_0030	22.247	0.908	114.183	55.274	36.356	1.721	0.929	5.132	25.143	0.309	0.182	25.143	0.309	0.182
I_0031	I_0031	0.224	0.202	1.656	42.561	25.032	0.712	0.999	7.401	25.118	0.292	0.184	25.118	0.292	0.184
I_0032	I_0032	0.254	0.238	1.588	43.665	26.958	0.776	0.999	6.247	25.095	0.292	0.184	25.095	0.292	0.184

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0033	I_0033	22.724	0.918	114.751	55.463	36.569	1.742	0.928	5.050	25.138	0.308	0.182	25.138	0.308	0.182
I_0034	I_0034	22.994	0.961	113.336	56.171	37.387	1.815	0.928	4.929	25.134	0.308	0.182	25.134	0.308	0.182
I_0035	I_0035	23.152	1.018	111.703	56.579	38.167	1.852	0.928	4.825	25.133	0.308	0.182	25.133	0.308	0.182
I_0036	I_0036	0.882	0.317	9.460	45.778	26.820	0.856	0.996	10.723	25.534	0.288	0.184	25.534	0.288	0.184
I_0037	I_0037	1.113	0.445	9.991	48.221	30.341	1.049	0.996	8.976	25.419	0.289	0.184	25.419	0.289	0.184
I_0038	I_0038	24.798	1.009	117.856	57.010	38.431	1.896	0.924	4.753	25.144	0.307	0.182	25.144	0.307	0.182
I_0039	I_0039	24.809	1.019	117.390	57.154	38.584	1.913	0.924	4.732	25.144	0.307	0.182	25.144	0.307	0.182
I_0040	I_0040	0.612	0.228	1.947	46.109	37.765	0.889	0.998	3.179	25.459	0.284	0.184	25.459	0.284	0.184
I_0041	I_0041	0.279	0.205	3.262	42.096	24.942	0.634	0.999	11.674	25.602	0.283	0.184	25.602	0.283	0.184
I_0042	I_0042	0.949	0.280	5.193	44.479	32.580	0.781	0.996	5.474	25.500	0.283	0.184	25.500	0.283	0.184
I_0043	I_0043	0.500	0.293	5.580	45.254	26.538	0.809	0.998	11.157	25.677	0.284	0.184	25.677	0.284	0.184
I_0044	I_0044	0.510	0.318	5.510	45.644	27.341	0.838	0.998	10.800	25.662	0.284	0.184	25.662	0.284	0.184
I_0045	I_0045	1.529	0.349	10.607	45.846	30.846	0.865	0.994	6.937	25.532	0.284	0.184	25.532	0.284	0.184
I_0046	I_0046	26.613	1.033	120.845	58.084	39.191	2.012	0.921	4.541	25.171	0.305	0.182	25.171	0.305	0.182
I_0047	I_0047	26.997	1.128	118.422	58.896	40.458	2.114	0.921	4.387	25.167	0.305	0.182	25.167	0.305	0.182
I_0048	I_0048	27.677	1.256	115.235	60.054	42.005	2.264	0.920	4.164	25.155	0.305	0.183	25.155	0.305	0.183
I_0049	I_0049	27.946	1.297	113.933	60.622	42.568	2.338	0.920	4.077	25.151	0.305	0.183	25.151	0.305	0.183
I_0050	I_0050	28.350	1.367	111.617	60.979	42.951	2.385	0.920	3.937	25.144	0.305	0.183	25.144	0.305	0.183
I_0051	I_0051	7.930	0.902	51.611	53.376	40.731	1.379	0.972	6.508	25.908	0.297	0.185	25.908	0.297	0.185
I_0052	I_0052	8.007	0.990	50.127	53.658	41.063	1.403	0.972	6.261	25.906	0.297	0.185	25.906	0.297	0.185
I_0053	I_0053	0.538	0.248	7.439	40.867	24.194	0.583	0.998	13.835	25.654	0.298	0.184	25.654	0.298	0.184
I_0054	I_0054	0.597	0.338	7.016	43.788	27.133	0.736	0.998	11.756	25.639	0.297	0.184	25.639	0.297	0.184
I_0055	I_0055	1.439	0.322	19.762	39.295	31.242	0.500	0.993	13.730	25.700	0.293	0.184	25.700	0.293	0.184
I_0056	I_0056	1.452	0.347	19.315	39.749	31.930	0.519	0.993	13.303	25.699	0.293	0.184	25.699	0.293	0.184
I_0057	I_0057	7.275	0.707	57.200	48.921	39.052	1.039	0.973	7.862	25.826	0.289	0.185	25.826	0.289	0.185
I_0058	I_0058	8.743	0.674	70.662	48.227	38.393	0.990	0.967	8.082	25.802	0.289	0.185	25.802	0.289	0.185
I_0059	I_0059	0.031	0.101	0.520	38.928	17.118	0.489	1.000	17.045	25.690	0.294	0.184	25.690	0.294	0.184
I_0060	I_0060	0.135	0.150	2.122	40.450	19.124	0.549	0.999	15.733	25.688	0.291	0.184	25.688	0.291	0.184
I_0061	I_0061	8.980	0.683	71.171	48.336	38.369	1.004	0.966	7.926	25.798	0.289	0.185	25.798	0.289	0.185
I_0062	I_0062	9.158	0.729	69.425	49.277	39.243	1.068	0.966	7.581	25.795	0.289	0.185	25.795	0.289	0.185

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0063	I_0063	9.213	0.750	68.757	49.686	39.658	1.098	0.966	7.463	25.794	0.289	0.185	25.794	0.289	0.185
I_0064	I_0064	9.269	0.804	67.278	50.085	40.282	1.130	0.966	7.258	25.793	0.289	0.185	25.793	0.289	0.185
I_0065	I_0065	0.509	0.325	5.048	47.327	23.879	0.974	0.998	9.922	25.451	0.282	0.184	25.451	0.282	0.184
I_0066	I_0066	0.547	0.387	4.978	48.305	25.023	1.060	0.998	9.107	25.428	0.282	0.184	25.428	0.282	0.184
I_0067	I_0067	0.390	0.261	4.389	44.581	22.877	0.798	0.998	11.242	25.340	0.280	0.184	25.340	0.280	0.184
I_0068	I_0068	0.629	0.390	5.003	51.445	29.947	1.346	0.998	7.958	25.260	0.279	0.184	25.260	0.279	0.184
I_0069	I_0069	0.305	0.205	2.649	42.794	17.966	0.702	0.999	8.684	25.214	0.278	0.184	25.214	0.278	0.184
I_0070	I_0070	0.361	0.244	2.433	44.142	18.200	0.787	0.999	6.731	25.201	0.278	0.184	25.201	0.278	0.184
I_1000	I_1000	24.985	1.444	90.183	58.470	45.119	2.413	0.925	3.609	24.143	0.289	0.185	24.143	0.289	0.185

Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica per Tr = 30 anni.

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0001	MG2001__	8.424	0.631	92.832	67.107	44.698	1.072	0.968	11.020	25.271	0.317	0.180	25.271	0.317	0.180
I_0002	MG1002__	8.667	0.641	93.515	68.103	45.695	1.124	0.967	10.790	25.257	0.317	0.180	25.257	0.317	0.180
I_0003	ML1001__	1.090	0.360	20.060	57.010	41.603	0.577	0.995	18.404	25.335	0.303	0.184	25.335	0.303	0.184
I_0004	ML2004__	1.127	0.401	19.509	58.243	43.059	0.619	0.995	17.306	25.322	0.303	0.184	25.322	0.303	0.184
I_0005	MG1008__	10.050	0.672	106.235	67.512	45.742	1.095	0.962	10.571	25.249	0.316	0.181	25.249	0.316	0.181
I_0006	MG1017__	10.152	0.692	105.776	68.084	46.320	1.125	0.962	10.420	25.243	0.316	0.181	25.243	0.316	0.181
I_0007	CP1001__	1.467	0.383	27.096	56.225	45.438	0.536	0.993	18.473	25.513	0.299	0.184	25.513	0.299	0.184
I_0008	CP1003__	1.477	0.406	26.534	56.531	45.755	0.547	0.993	17.970	25.509	0.299	0.184	25.509	0.299	0.184
I_0009	MG1024__	11.713	0.693	123.206	68.328	47.250	1.115	0.957	10.519	25.263	0.314	0.181	25.263	0.314	0.181
I_0010	MS1001__	0.769	0.338	14.418	57.161	42.305	0.573	0.997	18.758	25.466	0.299	0.184	25.466	0.299	0.184
I_0011	MS2003__	0.781	0.370	14.051	57.615	42.851	0.588	0.997	17.996	25.454	0.299	0.184	25.454	0.299	0.184
I_0012	MG1041__	12.732	0.726	130.984	68.613	47.959	1.125	0.953	10.288	25.262	0.312	0.181	25.262	0.312	0.181
I_0013	MG1047__	12.870	0.803	126.519	69.825	49.526	1.196	0.953	9.831	25.257	0.312	0.181	25.257	0.312	0.181
I_0014	I_0014	3.445	0.420	53.042	58.463	42.446	0.667	0.985	15.399	24.932	0.311	0.184	24.932	0.311	0.184
I_0015	I_0015	3.512	0.440	52.848	58.598	42.614	0.675	0.985	15.048	24.928	0.311	0.185	24.928	0.311	0.185
I_0016	I_0016	0.224	0.161	5.731	49.545	26.771	0.392	0.999	25.564	24.831	0.307	0.184	24.831	0.307	0.184
I_0017	I_0017	0.249	0.213	5.585	51.510	29.414	0.444	0.999	22.439	24.821	0.308	0.184	24.821	0.308	0.184
I_0018	I_0018	4.124	0.508	56.687	61.274	44.523	0.780	0.983	13.745	24.902	0.310	0.185	24.902	0.310	0.185
I_0019	I_0019	4.373	0.623	53.805	63.763	47.079	0.886	0.982	12.305	24.892	0.310	0.185	24.892	0.310	0.185
I_0021	CD1001__	0.758	0.379	13.818	56.658	41.785	0.559	0.997	18.224	25.357	0.297	0.184	25.357	0.297	0.184
I_0023	MG1061__	18.293	0.772	177.369	69.703	48.407	1.186	0.935	9.696	25.170	0.311	0.182	25.170	0.311	0.182
I_0024	I_0024	18.549	0.854	171.229	71.044	49.954	1.261	0.935	9.231	25.167	0.311	0.182	25.167	0.311	0.182
I_0025	I_0025	1.497	0.340	29.921	54.604	44.267	0.487	0.993	19.993	25.338	0.292	0.184	25.338	0.292	0.184
I_0026	I_0026	1.529	0.407	28.263	54.997	44.945	0.500	0.993	18.488	25.330	0.292	0.184	25.330	0.292	0.184
I_0027	I_0027	20.296	0.871	183.369	70.671	50.091	1.234	0.929	9.035	25.183	0.309	0.182	25.183	0.309	0.182
I_0028	I_0028	22.035	0.855	197.345	71.708	50.589	1.303	0.925	8.956	25.146	0.309	0.182	25.146	0.309	0.182
I_0029	I_0029	22.185	0.878	195.536	72.249	51.248	1.337	0.925	8.814	25.144	0.309	0.182	25.144	0.309	0.182
I_0030	I_0030	22.247	0.908	193.458	72.192	51.265	1.332	0.925	8.696	25.143	0.309	0.182	25.143	0.309	0.182
I_0031	I_0031	0.224	0.202	3.633	64.038	35.108	0.869	0.999	16.232	25.118	0.292	0.184	25.118	0.292	0.184

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0032	I_0032	0.254	0.238	3.758	65.579	37.056	0.947	0.999	14.785	25.095	0.292	0.184	25.095	0.292	0.184
I_0033	I_0033	22.724	0.918	194.346	72.455	51.483	1.348	0.923	8.553	25.138	0.308	0.182	25.138	0.308	0.182
I_0034	I_0034	22.994	0.961	191.600	73.433	52.566	1.408	0.923	8.333	25.134	0.308	0.182	25.134	0.308	0.182
I_0035	I_0035	23.152	1.018	188.227	74.019	53.427	1.436	0.923	8.130	25.133	0.308	0.182	25.133	0.308	0.182
I_0036	I_0036	0.882	0.317	16.602	57.460	37.918	0.560	0.996	18.819	25.534	0.288	0.184	25.534	0.288	0.184
I_0037	I_0037	1.113	0.445	17.252	61.495	42.678	0.722	0.995	15.499	25.419	0.289	0.184	25.419	0.289	0.184
I_0038	I_0038	24.798	1.009	198.024	74.709	53.885	1.476	0.919	7.985	25.144	0.307	0.182	25.144	0.307	0.182
I_0039	I_0039	24.809	1.019	197.181	74.941	54.070	1.490	0.919	7.948	25.144	0.307	0.182	25.144	0.307	0.182
I_0040	I_0040	0.612	0.228	7.628	71.560	43.826	1.229	0.998	12.458	25.459	0.284	0.184	25.459	0.284	0.184
I_0041	I_0041	0.279	0.205	6.025	52.137	31.963	0.393	0.999	21.564	25.602	0.283	0.184	25.602	0.283	0.184
I_0042	I_0042	0.949	0.280	9.179	55.904	32.838	0.510	0.996	9.675	25.500	0.283	0.184	25.500	0.283	0.184
I_0043	I_0043	0.500	0.293	9.816	57.796	38.490	0.560	0.998	19.629	25.677	0.284	0.184	25.677	0.284	0.184
I_0044	I_0044	0.510	0.318	9.667	57.978	39.309	0.568	0.998	18.948	25.662	0.284	0.184	25.662	0.284	0.184
I_0045	I_0045	1.529	0.349	19.896	66.549	44.174	0.939	0.994	13.011	25.532	0.284	0.184	25.532	0.284	0.184
I_0046	I_0046	26.613	1.033	205.301	76.980	55.513	1.622	0.916	7.714	25.171	0.305	0.182	25.171	0.305	0.182
I_0047	I_0047	26.997	1.128	200.000	78.171	57.075	1.706	0.916	7.408	25.167	0.305	0.182	25.167	0.305	0.182
I_0048	I_0048	27.677	1.256	193.676	78.742	58.316	1.764	0.915	6.998	25.155	0.305	0.183	25.155	0.305	0.183
I_0049	I_0049	27.946	1.297	191.410	79.500	59.028	1.821	0.915	6.849	25.151	0.305	0.183	25.151	0.305	0.183
I_0050	I_0050	28.350	1.367	187.280	80.720	60.173	1.920	0.915	6.606	25.144	0.305	0.183	25.144	0.305	0.183
I_0051	I_0051	7.930	0.902	83.355	70.863	57.752	1.101	0.971	10.511	25.908	0.297	0.185	25.908	0.297	0.185
I_0052	I_0052	8.007	0.990	80.756	70.900	57.870	1.105	0.970	10.086	25.906	0.297	0.185	25.906	0.297	0.185
I_0053	I_0053	0.538	0.248	12.711	52.480	35.466	0.417	0.997	23.639	25.654	0.298	0.184	25.654	0.298	0.184
I_0054	I_0054	0.597	0.338	11.906	55.595	38.649	0.504	0.997	19.951	25.639	0.297	0.184	25.639	0.297	0.184
I_0055	I_0055	1.439	0.322	31.896	51.974	43.869	0.394	0.993	22.160	25.700	0.293	0.184	25.700	0.293	0.184
I_0056	I_0056	1.452	0.347	31.133	52.499	44.643	0.408	0.993	21.443	25.699	0.293	0.184	25.699	0.293	0.184
I_0057	I_0057	7.275	0.707	92.107	64.983	54.572	0.825	0.971	12.661	25.826	0.289	0.185	25.826	0.289	0.185
I_0058	I_0058	8.743	0.674	113.930	64.007	53.594	0.787	0.965	13.030	25.802	0.289	0.185	25.802	0.289	0.185
I_0059	I_0059	0.031	0.101	1.025	46.726	24.248	0.275	1.000	33.621	25.690	0.294	0.184	25.690	0.294	0.184
I_0060	I_0060	0.135	0.150	3.945	49.948	28.040	0.342	0.999	29.241	25.688	0.291	0.184	25.688	0.291	0.184
I_0061	I_0061	8.980	0.683	114.644	64.201	53.601	0.798	0.964	12.767	25.798	0.289	0.185	25.798	0.289	0.185

Corso d'acqua	Codice	Area [km <sup>2</sup> ]	T ritardo [h]	Portata [m <sup>3</sup> /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguglio	Defl. unit. [m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> ]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
I_0062	I_0062	9.158	0.729	111.631	65.391	54.822	0.850	0.964	12.190	25.795	0.289	0.185	25.795	0.289	0.185
I_0063	I_0063	9.213	0.750	110.450	65.971	55.380	0.875	0.964	11.989	25.794	0.289	0.185	25.794	0.289	0.185
I_0064	I_0064	9.269	0.804	107.904	66.396	56.034	0.895	0.964	11.641	25.793	0.289	0.185	25.793	0.289	0.185
I_0065	I_0065	0.509	0.325	8.939	60.131	36.120	0.657	0.998	17.570	25.451	0.282	0.184	25.451	0.282	0.184
I_0066	I_0066	0.547	0.387	8.758	61.334	37.271	0.706	0.998	16.023	25.428	0.282	0.184	25.428	0.282	0.184
I_0067	I_0067	0.390	0.261	7.914	56.037	33.463	0.521	0.998	20.272	25.340	0.280	0.184	25.340	0.280	0.184
I_0068	I_0068	0.629	0.390	9.604	62.305	40.548	0.767	0.997	15.276	25.260	0.279	0.184	25.260	0.279	0.184
I_0069	I_0069	0.305	0.205	6.325	57.371	28.729	0.573	0.999	20.731	25.214	0.278	0.184	25.214	0.278	0.184
I_0070	I_0070	0.361	0.244	6.538	60.263	30.236	0.683	0.998	18.091	25.201	0.278	0.184	25.201	0.278	0.184
I_1000	I_1000	24.985	1.444	153.235	76.958	61.254	1.846	0.920	6.133	24.143	0.289	0.185	24.143	0.289	0.185

Tabella B-2 – Tabulati analisi idrologica per Tr = 200 anni.