



COMUNE DI
CAPRAIA E LIMITE

*Studio idrologico e idraulico di supporto al
Piano Operativo Comunale del
Comune di Capraia e Limite*

CODICE:

R.02

ELABORATO:

Relazione idrologica

SCALA

-

WEST
Systems

West Systems s.r.l.

Viale Donato Giannotti, 24 - 50126 - FI

Sistema qualità certificato da:



UNI EN ISO 9001:2015 - Qualità - n.14779

OHSAS 18001:2007 - Sicurezza sui Luoghi di Lavoro - n.14796

UNI EN ISO 14001:2015 - Ambiente - n.19450

PROGETTISTA:

Ing. David Settesoldi

COLLABORATORI TECNICI:

Ing. Giulio Sommani
Ing. Francesco Valtancoli
Geom. Daniele Natali
Geom. Francesco Matteini

COMMITTENTE:

**COMUNE DI CAPRAIA E
LIMITE**

Piazza VIII Marzo 1944, 9
50050 Capraia e Limite (FI)
Tel. 0571 97811

05					
04					
03					
02					
01	REVISIONE				
00	EMISSIONE	30/08/2021	Ing. Francesco Valtancoli	Dott. Silvia Angelini	Ing. David Settesoldi
NUM.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Articolazione dello studio	5
2	IL QUADRO CONOSCITIVO	6
2.1	Gli studi esistenti.....	6
2.2	I Dati Territoriali	7
2.3	Dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale	7
3	ANALISI IDROLOGICA	8
3.1	Le curve di possibilità pluviometrica.....	8
3.2	Caratteristiche del modello afflussi-deflussi.....	10
3.3	Le caratteristiche Geografiche	11
3.4	Implementazione del modello idrologico	13
3.5	Risultati del modello idrologico	13
A.	APPENDICE – IL MODELLO IDROLOGICO PIENE.....	14
B.	APPENDICE – TABULATI ANALISI IDROLOGICA MODELLO PIENE.....	18

ELENCO FIGURE

Figura 3-1 – Mappa coefficiente a.....	9
Figura 3-2 – Mappa coefficiente n.....	9
Figura 3-3 – Mappa coefficiente m.....	10
Figura 3-4 – Capacità di ritenuta.	12
Figura 3-5 – Velocità di infiltrazione.....	12
Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.	14

ELENCO TABELLE

Tabella 3-1 – Tabella parametri del modello.....	13
Tabella A-1 – Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.....	17
Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica al colmo.....	20

1 PREMESSA

La società West Systems S.r.l. è stata incaricata dal Comune di Capraia e Limite della redazione di uno studio idrologico e idraulico finalizzato all'aggiornamento dei dati relativi al rischio idraulico a supporto dell'elaborazione del nuovo Piano Operativo Comunale.

Il Comune di Capraia e Limite con Delibera di Giunta n.70 del 23/10/2019 ha dato l'avvio al procedimento di formazione del Piano Operativo Comunale (P.O.C.).

Il P.O.C. è il nuovo strumento della pianificazione urbanistica (in sostituzione del vigente Regolamento Urbanistico Comunale) che sarà redatto in coerenza con gli obiettivi del redigente Piano Strutturale Intercomunale (Associazione dei Comuni di Empoli, Montelupo Fiorentino, Vinci, Cerreto Guidi, Capraia e Limite), e andrà a disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia di tutto il territorio comunale.

Il presente studio viene redatto in ottemperanza a quanto previsto dal D.P.G.R. 5/R/2020, dalla L.R. 41/2018 e dal P.G.R.A. (Piano di Gestione Rischio Alluvioni) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

In particolare, gli ambiti di natura idrologico e idraulica oggetto di approfondimento dello studio 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;
- implementazione di un modello idraulico bidimensionale sui corsi d'acqua interferenti con le aree urbanizzate o con le nuove previsioni urbanistiche per la valutazione della pericolosità idraulica.

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. Nel caso specifico il corso d'acqua Arno ricade, ovviamente, nel reticolo principale.

La modellistica idrologica adottata (software PIENE 4.13) è costituita da un modello a parametri distribuiti che utilizza le mappe e le curve di possibilità pluviometrica prodotte dall'Università degli Studi di Firenze.

La modellistica idraulica (software HEC-RAS 6.0.0) è costituita da un modello idraulico in moto vario monodimensionale sulle aste fluviali e bidimensionale nelle aree inondabili.

Le verifiche idrauliche sono condotte in riferimento ai corsi d'acqua:

- Borro dei Diavoli;
- Borro del Pescaione;
- Borro della Badia;
- Borro di Forraccia;
- Rio Botricello;
- Rio dei Morticini;
- Rio dei Tassi;
- Rio dell'Olmo;
- Rio di Ratto;
- Rio Granchiaia;
- Rio Guidi.

Per tali corsi d'acqua sono redatte le mappe di pericolosità idraulica da modellazione ai sensi del D.P.G.R. 5/R/2020 e del P.G.R.A..

La mappatura della pericolosità idraulica delle aree esterne al perimetro del territorio urbanizzato è condotta su base morfologica e storico inventariale come previsto al punto C.2 dell'Allegato A del D.P.G.R. 5/R/2020.

I corsi d'acqua non studiati idraulicamente e perimetrali su base morfologica e storico inventariale sono:

- Borro della Fonte;
- Borro della Motaccia;
- Rio del Marchese;
- Rio Marruca;
- tratti a monte del reticolo soggetto a modellazione numerica (i.e. Borro dei Diavoli; Borro del Pescaione; Borro della Badia; Borro di Forraccia; Rio Botricello; Rio dei Morticini; Rio dei Tassi; Rio dell'Olmo; Rio di Ratto; Rio Granchiaia; Rio Guidi)

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. 5/R/2020;
- perimetro della pericolosità idraulica ai sensi del P.G.R.A.;
- perimetro della magnitudo idraulica ai sensi della L.R. 41/2018;
- aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni e aree morfologicamente sfavorite al di fuori delle aree urbanizzate;

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.

1.1 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Nella presente relazione idrologica 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.

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 e per le durate di 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 e 5 ore.

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] COMUNE DI VINCI *“Studio idraulico a supporto al piano strutturale relativo ai corsi d’acqua Torrente Streda, Rio Marcarro, Rio S. Ansano e Rio dei Morticini”*, redatto da A4 Ingegneria Studio Tecnico Associato;
- [2] COMUNE DI CAPRAIA E LIMITE *“Piano Strutturale”* del Novembre 1999, redatto da arch. Roberto Montagni e arch. Mara Magnani;
- [3] COMUNE DI CAPRAIA E LIMITE *“Regolamento Urbanistico”* del Novembre 2002, redatto da arch. Roberto Montagni, arch. Mara Magnani, geom. Stefano Falorni, Maura Cecchi, dott. Eros Aiello, dott. Franco Grandini e ing. Enrico Galligani.

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);¹
- [5] *“Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. 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) ²;
- [6] *“Caratterizzazione idrologica dei suoli della Toscana per il Modello MOBIDIC - Macroattività B - Modellazione idrologica - Attività B2”* nell’ambito dell’accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell’Università degli Studi di Firenze (Lorenzo Gardin).

¹ 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

² 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>

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;
- [2] Cartografia C.T.R. 1:2.000 in formato vettoriale;
- [3] Rilievi Lidar (dtm) con passo 1x1 m fornito dalla Regione Toscana;
- [4] Dtm con passo 10x10 m fornito dalla Regione Toscana.

2.3 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 poste lungo il tratto in cui il corso d'acqua costeggia il Comune di Capraia e Limite, per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 6, 12, 18, 24 e 36 ore con passo di aggregazione di 1 ora. Le sezioni in questione sono quelle tra la sezione numero 396 e la numero 456 comprese.

Ad oggi nel tratto di studio sono in vigore i risultati delle verifiche idrauliche condotte nel corso dell'aggiornamento della pericolosità idraulica del fiume Arno tra Montelupo F.no e Pontedera nel gennaio 2004.

In tale tratto di fiume Arno risulta altresì disponibile uno studio idrologico e idraulico redatto nel 2013 dall'Ufficio Tecnico del Genio Civile di Area Vasta Firenze-Prato-Pistoia-Arezzo a supporto del R.U. del Comune di Empoli. In tale studio sono disponibili solamente gli idrogrammi per i tempi di ritorno 30 e 200 anni e le durate di 18, 24 e 36 ore.

3 ANALISI IDROLOGICA

Obiettivo dell'analisi idrologica è fornire gli idrogrammi di piena per gli interbacini 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 0.3, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 e 5 ore.

Le immissioni nei sistemi idraulici e i relativi sottobacini sono riportati nell'elaborato T.01.

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 1x1 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 una 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 3-1, Figura 3-2 e Figura 3-3). Tali coefficienti sono stati utilizzati sia per durate superiori che inferiori all'ora.

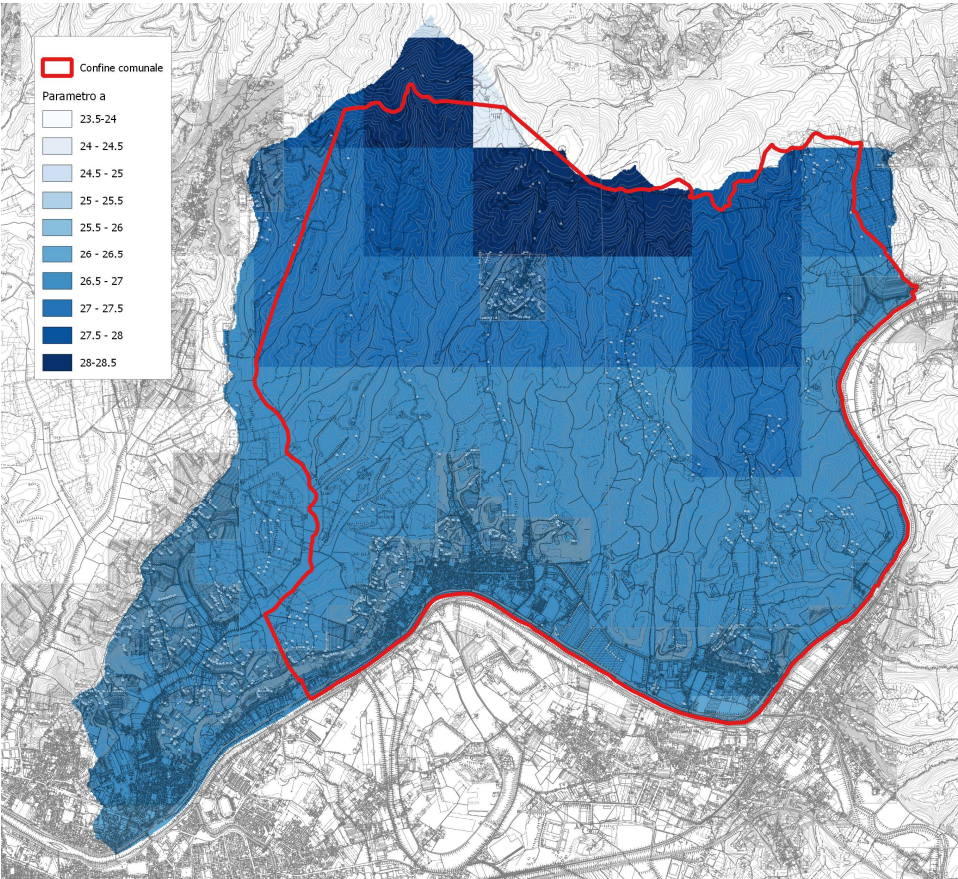


Figura 3-1 – Mappa coefficiente a.

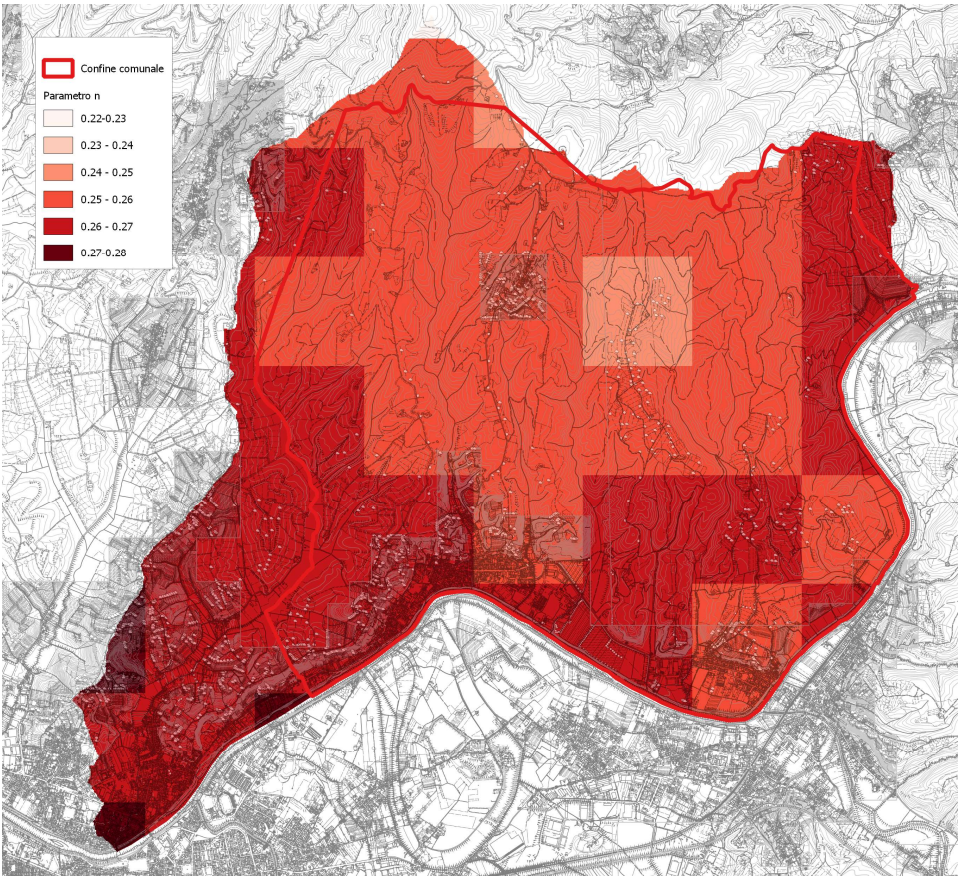


Figura 3-2 – Mappa coefficiente n.

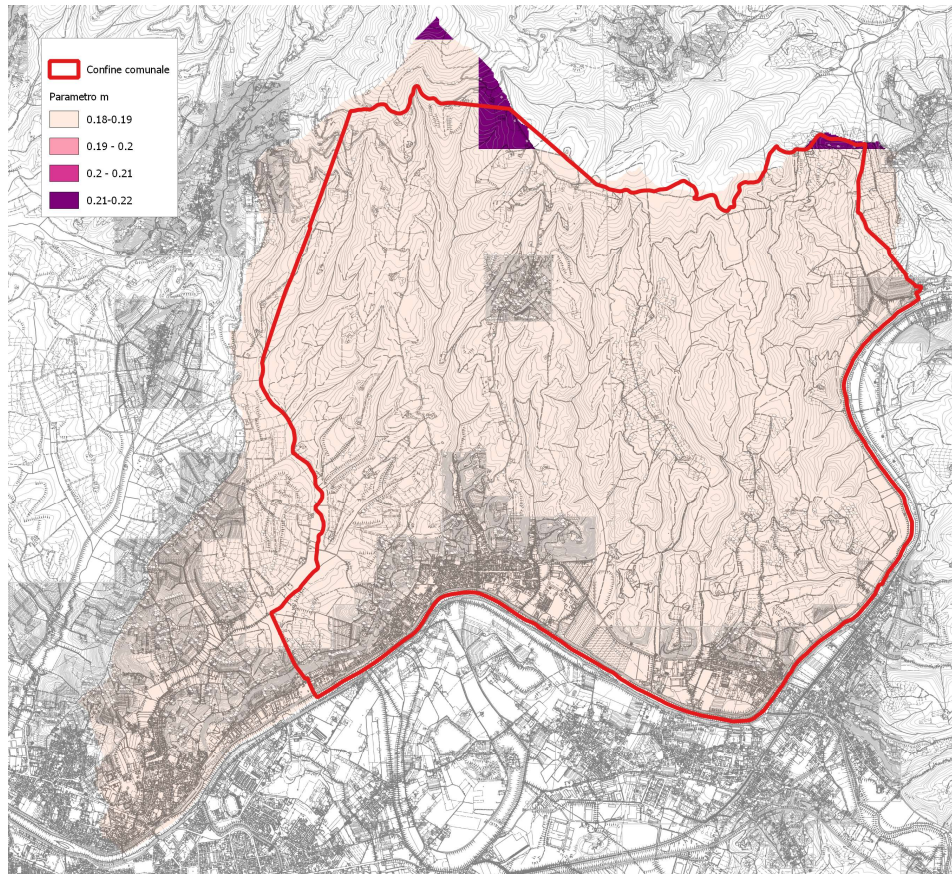


Figura 3-3 – Mappa coefficiente m.

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.

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono state ricavate dal DB idrologico realizzato nell'ambito degli studi condotti dalla Regione Toscana *Macroattività B – Modellazione idrologica – Attività B2 – Modellazione idrologica caso pilota e Implementazione modello distribuito Mobidic* [5].

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).

L'applicazione di un modello a parametri distribuiti prevede la schematizzazione a celle del bacino, per ciascuna delle quali viene definito un set di parametri che ne caratterizzano la risposta idrologica.

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 infiltrazione a saturazione (percolazione) (KSAT-150 conducibilità satura intero suolo)*.

Per una descrizione completa del modello si rimanda all'Appendice A.

3.3 LE CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE

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

- modello digitale del terreno con maglia 10m x 10m adeguata a consentire l'individuazione delle linee di impluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi (riportati nell'elaborato T.01);
- mappa della capacità di ritenuta (Figura 3-4);
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione (Figura 3-5).

Il *raster* dei "puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento" sono stati elaborati a partire dal DTM 10x10 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 stati valutati nella 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 [km²] e J la pendenza locale.

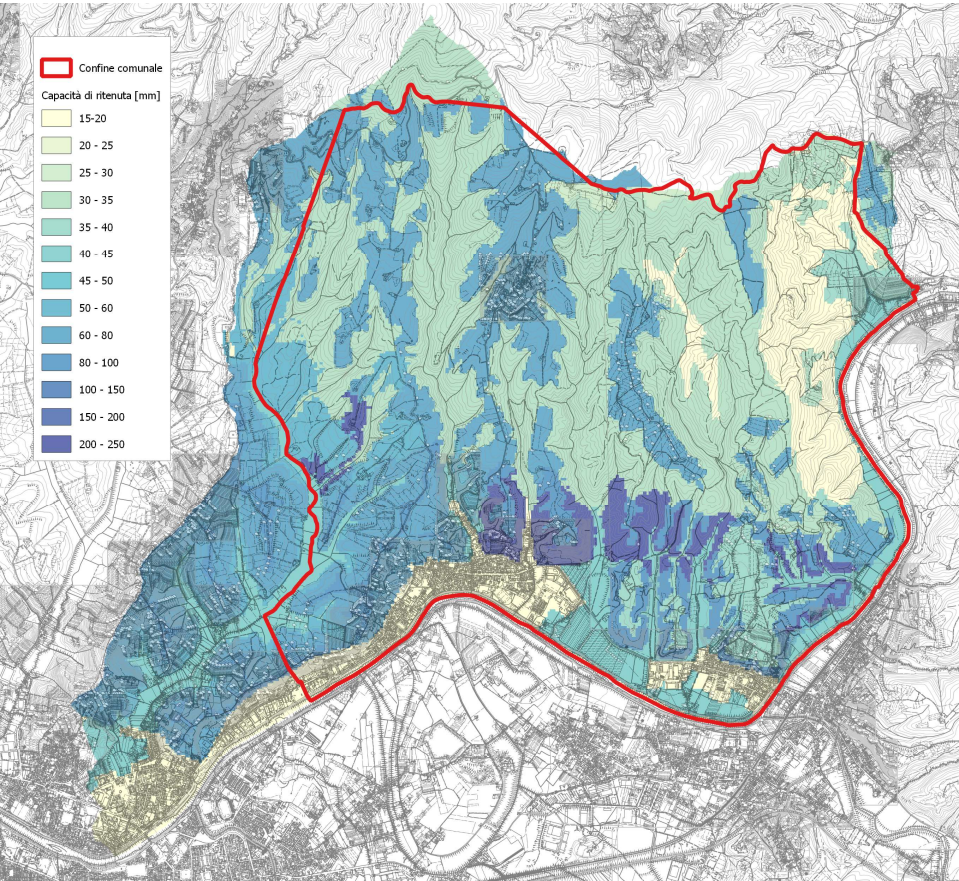


Figura 3-4 – Capacità di ritenuta.

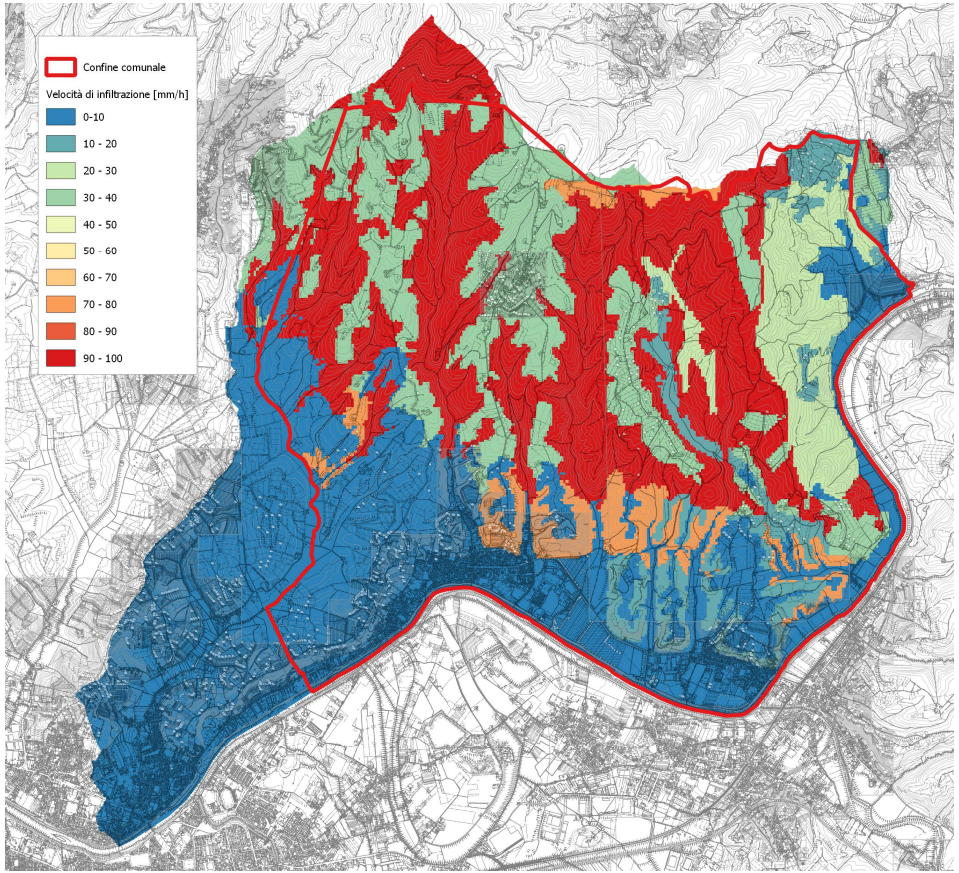


Figura 3-5 – Velocità di infiltrazione.

3.4 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 durata sia dei bacini complessivi che degli interbacini.

I parametri del modello idrologico sono riportati nella Tabella 3-1.

Acque Alte		
α_o	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/]	0.20
R/I	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo [/]	1
I/N	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione [/]	0.03
I/P	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica [/]	0.20
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento [/]	1.85
C/I	coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/]	0.35

Tabella 3-1 – Tabella parametri del modello.

3.5 RISULTATI DEL MODELLO IDROLOGICO

Nell'Appendice B si riportano i valori delle portate al colmo per i bacini complessivi lungo i diversi corsi d'acqua, calcolati in corrispondenza delle immissioni riportate nell'elaborato T.01.

A. APPENDICE – IL MODELLO IDROLOGICO PIENE

Il modello idrologico simula il processo di generazione e trasferimento dei deflussi attraverso la successione, per ciascuna cella e per tutti i passi temporali, delle 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.

Nella figura seguente si riporta uno schema del modello idrologico adottato.

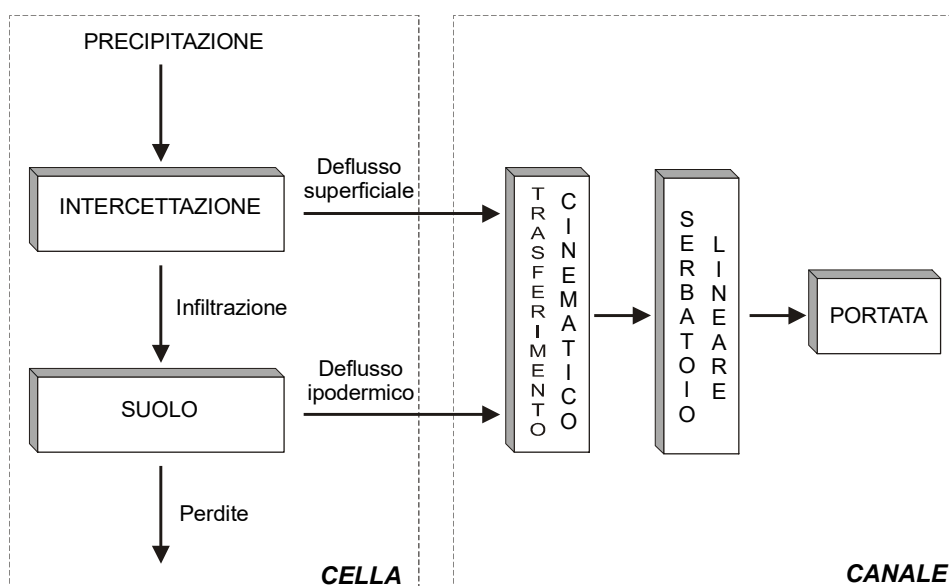


Figura A-1 – Schema del modello afflussi-deflussi.

All'inizio dell'evento di precipitazione una parte della pioggia si infila 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 infila nel suolo sia pari alla velocità di infiltrazione.

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. Per quanto riguarda il deflusso ipodermico si assume che esso sia funzione della velocità di filtrazione a saturazione moltiplicata per un fattore 1000.

Passando all'algoritmo di calcolo, con riferimento alle variabili elencate nella Tabella A-1 si riportano di seguito i principali calcoli effettuati dal programma per ciascuna cella costituente il bacino:

1. l'afflusso sulla singola cella, Pi_k [mm/h];
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:

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

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

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

Il contenuto di acqua nel suolo all'inizio θ_0 [mm] è uguale a $\alpha_0 \theta_{\max}$, dove α_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:

1) essiccamento del suolo:

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

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

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

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

altrimenti

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

$$Q_{1k} = 0$$

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

2) saturazione del suolo:

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

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

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

3) caso intermedio:

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

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

$$I_{\text{eff}} = K_s$$

4. 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 φ_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 τ_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:

- α_0 = frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale) [/];
- RI = 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 [/];
- CI = coefficiente ripartizione cinematico-invaso [/>].

Simbolo	Descrizione	U.I.
P_{ik}	valore dell'afflusso (precipitazione) per la singola cella al passo k-esimo	[mm/h]
Δt	passo temporale	[h]
Dx	passo spaziale	[m]
SC	valore della capacità di ritenuta del suolo (storage capacity)	[mm]
KL	valore della velocità di infiltrazione a saturazione	[mm/h]
RI	coefficiente moltiplicativo della capacità di ritenuta del suolo	[/]
IN	coefficiente moltiplicativo della velocità di infiltrazione a saturazione	[/]
IP	coefficiente moltiplicativo della componente ipodermica	[/]
T	valore dei tempi di trasferimento	[h]
$T_c = CI \cdot T$	valore dei tempi di trasferimento o di risposta secondo lo schema cinematico	[h]
$T_i = (1 - CI) \cdot T / MT$	valore dei tempi di trasferimento secondo lo schema di trasferimento di invasione	[h]
MT	coefficiente moltiplicativo della velocità di trasferimento	[/]
CI	coefficiente ripartizione cinematico-invaso	[/]
$\theta_{max} = RI \cdot SC$	valore distribuito della capacità di ritenuta massima del suolo (volume utile del suolo)	[mm]
$K_s = IN \cdot KL$	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]
α_0	frazione di volume di suolo inizialmente occupata da acqua (stato di umidità iniziale)	[/]
θ_0	contenuto di acqua nel suolo nello stato iniziale	[mm]
$K = IP(KL/SC)$	coefficiente di deflusso ipodermico	[1/h]
θ_k	contenuto di acqua nel suolo al passo k-esimo	[mm]

Simbolo	Descrizione	U.I.
I_{eff}	Infiltrazione effettiva	[mm/h]
Q_{1k}	contributo verso il reticolo al passo k-esimo	[mm/h]
φ_k	volume d'acqua invasata nel reticolo	[mm]
Q_k	contributo alla foce passo k-esimo	[mm/h]

Tabella A-1 – Elenco della variabili utilizzate dal modello afflussi-deflussi.

B. APPENDICE – TABULATI ANALISI IDROLOGICA MODELLO PIENE

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati della modellazione idrologica con il software PIENE per i bacini idrografici totali al colmo.

Corso d'acqua	Codice	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_001	MO0001__	5.0034	0.6913	18.5224	56.9743	37.8173	1.5385	0.9836	3.702	27.186	0.2602	0.1845	27.186	0.2602	0.1845
IMI_002	MO0003__	5.1548	0.7543	17.8197	57.7818	38.3479	1.6234	0.9833	3.4569	27.169	0.2602	0.1845	27.169	0.2602	0.1845
IMI_003	MO0008__	5.9943	0.746	18.1729	58.2542	37.0533	1.6935	0.9809	3.0317	27.111	0.2604	0.1845	27.111	0.2604	0.1845
IMI_004	MO0011__	6.1822	0.8483	17.4736	59.2706	37.9649	1.811	0.9807	2.8264	27.098	0.2605	0.1845	27.098	0.2605	0.1845
IMI_005	MO0016__	7.2062	0.8386	22.9982	71.1581	44.0725	3.6678	0.9819	3.1914	27.059	0.2614	0.1845	27.059	0.2614	0.1845
IMI_006	MO0020__	8.0983	0.9083	24.4754	72.7433	44.1461	3.9955	0.9803	3.0223	27.03	0.262	0.1845	27.03	0.262	0.1845
IMI_007	MO0024__	8.3214	1.0008	24.1937	73.736	45.2156	4.208	0.9802	2.9074	27.023	0.2621	0.1845	27.023	0.2621	0.1845
IMI_008	MO0030__	8.8875	1.0633	25.1193	74.8409	45.9048	4.489	0.9793	2.8264	27.010	0.2625	0.1845	27.010	0.2625	0.1845
IMI_009	MO0035__	9.1593	1.1405	25.1517	75.7853	46.7179	4.6603	0.979	2.746	27.003	0.2627	0.1845	27.003	0.2627	0.1845
IMI_010	MO0040__	9.5083	1.2342	25.378	76.5855	47.8645	4.8846	0.9786	2.669	26.992	0.2629	0.1845	26.992	0.2629	0.1845
IMI_011	MO0046__	9.7875	1.3075	25.5128	77.0444	48.5943	4.9578	0.9781	2.6067	26.980	0.2631	0.1844	26.980	0.2631	0.1844
IMI_012	MO0056_A	9.9255	1.4412	25.1123	77.4447	49.8702	5.0666	0.978	2.5301	26.972	0.2633	0.1844	26.972	0.2633	0.1844
IMI_013	PS0230__	3.9289	0.6339	16.9792	52.4052	40.6549	1.052	0.9858	4.3216	27.456	0.2546	0.1864	27.456	0.2546	0.1864
IMI_014	PS0200_A	4.2362	0.6888	16.4147	52.8356	39.9913	1.099	0.9849	3.8749	27.403	0.2551	0.1862	27.403	0.2551	0.1862
IMI_015	PS0100__	4.6518	0.8236	15.6612	54.4513	42.3326	1.2432	0.9839	3.3667	27.334	0.2555	0.1861	27.334	0.2555	0.1861
IMI_016	RR0210__	0.9189	0.3566	4.1387	46.9187	39.3696	0.7481	0.9963	4.504	26.995	0.2559	0.1844	26.995	0.2559	0.1844
IMI_017	RR0160__	1.0675	0.4263	4.1026	48.3451	41.9959	0.847	0.9958	3.8432	26.937	0.2563	0.1844	26.937	0.2563	0.1844
IMI_018	RR0120__	1.1459	0.5551	4.1632	52.517	45.114	1.1732	0.9958	3.6331	26.914	0.2567	0.1844	26.914	0.2567	0.1844
IMI_019	RB0140__	3.0479	0.557	14.9055	50.9936	42.3435	0.9858	0.9887	4.8904	27.333	0.2554	0.1844	27.333	0.2554	0.1844
IMI_020	RB0110__	3.1694	0.622	14.3944	51.0415	42.6566	0.9921	0.9883	4.5417	27.313	0.2557	0.1844	27.313	0.2557	0.1844
IMI_021	RB0090__	3.3491	0.6656	14.1871	51.6868	42.7926	1.0481	0.9878	4.2361	27.279	0.256	0.1844	27.279	0.256	0.1844
IMI_022	RB0030__	3.5456	0.7498	14.2223	53.5216	43.6139	1.2054	0.9875	4.0112	27.242	0.2563	0.1845	27.242	0.2563	0.1845
IMI_023	RO0100__	0.7938	0.3304	2.1627	75.3615	62.7138	4.7337	0.9981	2.7245	26.822	0.2612	0.1844	26.822	0.2612	0.1844
IMI_024	RO0060__	0.9088	0.4007	2.5206	76.2947	63.258	4.9882	0.9979	2.7735	26.793	0.2612	0.1844	26.793	0.2612	0.1844
IMI_025	RO0020__	1.0563	0.4562	3.0098	76.4355	61.4382	5.0334	0.9975	2.8494	26.765	0.2612	0.1844	26.765	0.2612	0.1844
IMI_026	RG0170__	2.9143	0.7016	16.0089	51.3838	39.763	1.0139	0.9893	5.4932	27.343	0.257	0.1844	27.343	0.257	0.1844
IMI_027	RG0150__	2.9594	0.744	15.6634	51.9689	40.05	1.0611	0.9893	5.2928	27.332	0.257	0.1844	27.332	0.257	0.1844
IMI_028	RG2001__	0.2873	0.2803	2.6935	49.5456	18.1637	0.9658	0.9989	9.3751	26.693	0.2608	0.1844	26.693	0.2608	0.1844
IMI_029	IMI_029	3.2474	0.7067	16.7732	52.5804	38.5949	1.1178	0.9884	5.1651	27.275	0.2574	0.1844	27.275	0.2574	0.1844

Corso d'acqua	Codice	Area [km ²]	T ritardo [h]	Portata [m ³ /s]	Precipit. [mm]	Deflusso [mm]	D critica [h]	Coeff. ragguaglio	Defl. unit. [m ³ /s km ²]	CPP a<1h	CPP n<1h	CPP m<1h	CPP a>1h	CPP n>1h	CPP m>1h
IMI_030	RG0060__	3.2808	0.8025	16.3304	53.1596	39.3909	1.1698	0.9884	4.9776	27.268	0.2574	0.1844	27.268	0.2574	0.1844
IMI_031	RG0030__	3.6837	0.8051	18.0542	55.3672	40.6659	1.3802	0.9875	4.9011	27.192	0.2575	0.1845	27.192	0.2575	0.1845
IMI_032	GR0020__	1.1505	0.4509	5.3808	50.7767	38.3939	1.042	0.9957	4.6769	26.835	0.2591	0.1844	26.835	0.2591	0.1844
IMI_033	AB0050__	0.2065	0.208	0.8698	47.3966	32.9022	0.8161	0.9992	4.212	26.622	0.2532	0.1844	26.622	0.2532	0.1844
IMI_034	FR0040__	0.5886	0.3081	9.5412	36.7019	31.4903	0.2713	0.9971	16.2101	27.517	0.2602	0.1844	27.517	0.2602	0.1844
IMI_035	AD0030__	1.9752	0.4156	20.1615	44.8016	30.5156	0.603	0.9918	10.2073	27.257	0.2628	0.1853	27.257	0.2628	0.1853

Tabella B-1 – Tabulati analisi idrologica al colmo.