



# VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE

Articolo 92 L.R. 65/2014

## INDAGINI IDRAULICHE

Articolo 104 L.R. 65/2014

### COMUNE DI IMPRUNETA

#### **Sindaco**

Alessio CALAMANDREI

#### **Assessore urbanistica, edilizia e politiche del territorio**

Arch. Lorenzo VALLERINI

#### **Responsabile Unico del Procedimento**

Arch. Paola TREFOLONI

### RTP INCARICATI

#### **Progettazione Urbanistica**

Arch. Silvia VIVIANI - Capogruppo

Arch. Teresa ARRIGHETTI

#### **Valutazione Ambientale Strategica**

Arch. Annalisa PIRRELLO

#### **Indagini Geologiche**

GeoEco Progetti - Dott. Geol. Eros AIELLO

GeoEco Progetti - Dott. Geol. Gabriele GRANDINI

#### **Indagini Idrauliche**

Ing. David Settesoldi

#### **Aspetti Agronomici**

Dott.ssa Agronomo Elena LANZI

#### **Aspetti Archeologici**

Dott.ssa Archeologo Rossella COLOMBI

#### **Aspetti Giuridici**

Avv. Maria Giulia GIANNONI

#### **Collaboratori**

Arch. Lucia NINNO - VAS

Pian. Terr. Lorenzo ZOPPI - Urbanistica

Dott.ssa Geol. Veronica VALERIANI - GeoEco Progetti

**IDR.R01**

**Relazione idrologica**

**Febbraio  
2022**

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
1.1	<i>Articolazione dello studio idrologico.....</i>	6
2	IL QUADRO CONOSCITIVO.....	7
2.1	<i>Gli studi esistenti .....</i>	7
2.2	<i>Dati Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.....</i>	7
3	ANALISI IDROLOGICA .....	8
3.1	<i>Le curve di possibilità pluviometrica.....</i>	8
3.2	<i>Caratteristiche del modello afflussi-deflussi .....</i>	8
3.3	<i>Implementazione del modello idrologico .....</i>	18
3.4	<i>Verifica dei parametri del modello idrologico .....</i>	19
3.5	<i>Congruenza con gli altri studi.....</i>	37
A.	APPENDICE Il modello idrologico a parametri distribuiti PIENE .....	40

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 3.1 – Immissioni totali .....	11
Figura 3.2 – Immissioni fiume Greve.....	12
Figura 3.3 – Mappa coefficiente a. ....	13
Figura 3.4 – Mappa coefficiente n. ....	14
Figura 3.5 – Mappa coefficiente m. ....	15
Figura 3-6 – Capacità di ritenuta.....	16
Figura 3-7 – Velocità filtrazione .....	17
Figura 3-8 – Localizzazione dell'idrometro Greve a Scandicci .....	20
Figura 3-9 – Scala di Deflusso della Greve a Scandicci .....	21
Figura 3-10 – Localizzazione dell'idrometro della Greve a Tavarnuzze.....	22
Figura 3-11 – Scala di Deflusso della Greve a Tavarnuzze .....	23
Figura 3-12 – Evento 24/12/2010, Greve a Scandicci .....	24
Figura 3-13 – Evento 24/12/2010, Greve a Tavarnuzze .....	25
Figura 3-14 – Evento 28/11/2012, Greve a Scandicci .....	25
Figura 3-15 – Evento 28/11/2012, Greve a Tavarnuzze .....	26
Figura 3-16 – Evento 13/03/2013, Greve a Scandicci .....	26
Figura 3-17 – Evento 13/03/2013, Greve a Tavarnuzze .....	27
Figura 3-18 – Evento 11/02/2014, Greve a Scandicci .....	27
Figura 3-19 – Evento 11/02/2014, Greve a Tavarnuzze .....	28
Figura 3-20 – Evento 29/10/2015, Greve a Scandicci .....	28
Figura 3-21 – Evento 29/10/2015, Greve a Tavarnuzze .....	29
Figura 3-22 – Evento 16/02/2016, Greve a Scandicci .....	29
Figura 3-23 – Evento 16/02/2016, Greve a Tavarnuzze .....	30
Figura 3-24 – Evento 29/02/2016, Greve a Scandicci .....	30
Figura 3-25 – Evento 29/02/2016, Greve a Tavarnuzze .....	31
Figura 3-26 – Evento 06/11/2016, Greve a Scandicci .....	31
Figura 3-27 – Evento 06/11/2016, Greve a Tavarnuzze .....	32
Figura 3-28 – Evento 25/02/2017, Greve a Scandicci .....	32
Figura 3-29 – Evento 25/02/2017, Greve a Tavarnuzze .....	33
Figura 3-30 – Evento 25/02/2017, Greve a Scandicci .....	33
Figura 3-31 – Evento 25/02/2017, Greve a Tavarnuzze .....	34
Figura 3-32 – Evento 17/11/2019, Greve a Scandicci .....	34
Figura 3-33 – Evento 17/11/2019, Greve a Tavarnuzze .....	35
Figura 3-34 – Confronto studio San Casciano – studio Impruneta Tr 030 .....	37
Figura 3-35 – Confronto studio San Casciano – studio Impruneta Tr 200 .....	38
Figura 3-36 – Confronto studio Scandicci – studio Impruneta Tr 030 .....	38
Figura 3-37 – Confronto studio Scandicci – studio Impruneta Tr 200 .....	39

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 1-1 – Corsi d’acqua oggetto dello studio idraulico .....	5
Tabella 1-2 – Corsi d’acqua oggetto dello studio morfologico.....	6
Tabella 3-1 – Tabella parametri del modello.....	18
Tabella 3-2 – Eventi fiume Greve .....	19
Tabella 3-3 – Stazioni pluviometriche per la taratura .....	20
Tabella 3-4 – Parametri idrometri Greve a Scandicci.....	20
Tabella 3-5 – Parametri della scala di deflusso della Greve a Scandicci .....	22
Tabella 3-6 – Parametri idrometri Greve a Tavarnuzze .....	22
Tabella 3-7 – Parametri della scala di deflusso della Greve a Tavarnuzze.....	24
Tabella 3-8 – Parametri taratura.....	36

## 1 PREMESSA

Con contratto n.rep. 4534 in data 10 giugno 2020 il comune di Impruneta ha conferito l'incarico per la "PROGETTAZIONE URBANISTICA FINALIZZATO ALLA REDAZIONE DELLA VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE PER LA CONFORMAZIONE AL PIT E DEL PIANO OPERATIVO CORREDATI DELLA VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA, DELLE INDAGINI IDRAULICHE, GEOLOGICHE, AMBIENTALI E AGRONOMOICO-FORESTALI AI SENSI DELLA NORMATIVA VIGENTE".

Lo studio idrologico e idraulico a supporto del nuovo Piano Strutturale e del Piano Operativo del comune di Impruneta sarà redatto in ottemperanza a quanto previsto dal regolamento 5/r della Regione Toscana e dal PGRA (Piano di Gestione Rischio Alluvioni) della Autorità di Bacino del Fiume Arno.

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 per il comune di Impruneta e per i comuni limitrofi.

In particolare si ricordano:

- studio idrologico e idraulico di supporto al Regolamento Urbanistico vigente;
- studio idrologico e idraulico condotto dal Comune di San Casciano Val di Pesa di supporto alla variante al Piano Strutturale;
- studio idrologico e idraulico condotto dal Comune di Scandicci di supporto al Piano Operativo e alla variante al Piano Strutturale;
- studio idrologico e idraulico condotto dal Comune di Bagno a Ripoli di supporto all'aggiornamento del Piano Strutturale;
- Studio nella disponibilità della Autorità di Distretto Appennino Settentrionale su torrente Ema nel comune di Firenze.

Lo studio presenta le seguenti caratteristiche peculiari:

- Implementazione di un modello idrologico a parametri distribuiti in garo di utilizzare i dati idrologici messi a disposizione dalla Regione Toscana in termini di velocità di filtrazione e capacità di ritenuta con le nuove curve di possibilità pluviometrica sviluppate dall'Università degli Studi di Firenze per conto della Regione Toscana con i dati aggiornati fino al 2012;
- modellazione del fiume Greve in accordo con l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale al fine di ricavare le condizioni al contorno per il reticolo secondario come previsto dall'art. 14 della disciplina del P.G.R.A. sulla base dell'accordo tra Regione Toscana e dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale approvato con DGRT 166 del 17.02.2020 e alla relativa autorizzazione di cui alla comunicazione n. 2173/2020 del 17-03-2020.

In riferimento al primo punto 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.

In riferimento al secondo punto si ricorda che 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. 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 Distretto, che nel caso specifico è costituito dal fiume Greve e dal torrente Ema. Per quanto riguarda il torrente Ema sono disponibili gli studi condotti da comune di Bagno a Ripoli in accordo con l'Autorità di Distretto a supporto del Piano Operativo. Per quanto riguarda il fiume Greve l'Autorità di Distretto non dispone di uno studio aggiornato del fiume Greve pertanto è stato necessario prevederlo nel presente studio secondo le procedure dell'accordo tra Regione Toscana e dall'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale approvato con DGRT 166 del 17.02.2020.

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

NOME	NOME
AFFLUENTE PESCHINA	FOSSO DEI RENICCIOLI
BORRO DI SANTA MARIA	FOSSO DELLA MARSIGLIANA
FOSSO DELLA PESCHINA	TORRENTE CALOSINA
FOSSO DELLA SELVA	FOSSO DELLE SORRETTOLE
FOSSO VICIANO	FOSSO RANOCCHIAIA
FOSSO DI IOZZI	FOSSO COLLERAMOLE
FOSSO DI GINEPRUZZI	BORRO DEL CAMPEGGIO
FOSSO ACQUE CADUTE	

Tabella 1-1 – Corsi d'acqua oggetto dello studio idraulico

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.. Per il borro del Borgaccio e il torrente Grassina sarà acquisito lo studio condotti dal comune di Bagno a Ripoli.

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. 5/R/2020. I corsi d'acqua non studiati idraulicamente e perimetrali su base morfologica sono:

NOME	NOME
AFFLUENTE CALCINAIA 2	FOSSO DI GINEPRUZZI
FOSSO DI CALCINAIA (PESCINA)	FOSSO DEI TRE FOSSATI
FOSSO DELLA SELVA	FOSSO DELLE SORRETTOLE
FOSSO DELLA MARSIGLIANA	FOSSO DI RIBOIA
FOSSO DI MONTEROSSO	FOSSO DELLA PESCINA
FOSSO CALCINAIA	AFFLUENTE CALCINAIA 3
FOSSO DI PORCINAIA	TORRENTE GRASSINA
FOSSO DI MONTE	FOSSO RANOCCHIAIA
BORRO DI TRAMONTI	TORRENTE CALOSINA
FOSSO FONTE LUPO	AFFLUENTE CALCINAIA 1
FOSSO DI NARBI	FOSSO DEI RENICCIOLI
BORRO DI SANTA MARIA	FOSSO DI LUCIANA
FOSSO DELLA CARBONAIA	FOSSO DELLE GIUNCAIE
FOSSO DELL'ACQUE CADUTE	FOSSO COLLERAMOLE
FOSSO VICIANO	FOSSO CAMPEGGIO
FOSSO UGOLINO	

Tabella 1-2 – Corsi d'acqua oggetto dello studio morfologico

### **1.1 Articolazione dello studio idrologico**

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 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 e 7.0 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] Studio idrologico idraulico di supporto alla variante del Piano Strutturale del Comune di San Casciano Val di Pesa, luglio 2015;
- [2] Studio idrologico-idraulico di supporto al Piano Operativo e alla variante al Piano Strutturale del Comune di Scandicci, aprile 2018.
- [3] Studio idrologico-idraulico di supporto al nuovo Piano Strutturale e al Piano Operativo del comune di Bagno a Ripoli, giugno 2019.
- [4] Studio sul torrente Ema nel comune di Firenze della Autorità di Distretto Appennino Settentrionale.

Nello specifico lo studio idrologico ha fatto riferimento, inoltre, ai seguenti studi:

- [1] *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>
- [2] *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)
- [3] *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)

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

L'Autorità di Distretto dell'Appennino Settentrionale ha fornito gli studi [1] e [4].

---

<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)



### 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 0.1, 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5, 1.8, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 e 7.0 ore per tutte le immissioni e per le durate di 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5 e 7.0 ore per le immissioni del modello Greve. .

Le immissioni complessive sono riportate nella Figura 3.1, le immissioni per il fiume Greve sono riportate nella [Figura 3.2](#) .

L'analisi idrologica è stata condotta mediante l'applicazione di un modello idrologico a parametri distribuiti 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 stati 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.

La capacità di ritenuta e la velocità di filtrazione a saturazione sono state 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*.

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 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.

### **3.2.2 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 imfluvio ed una corretta individuazione dei bacini imbriferi;
- mappa della capacità di ritenuta;
- mappa della velocità di filtrazione a saturazione.

Il *raster* dei “puntatori idrologici e dei tempi di trasferimento” sono stati elaborati a partire dal DTM 10×10 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 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 [km<sup>2</sup>] e  $J$  la pendenza locale.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Appendice A.



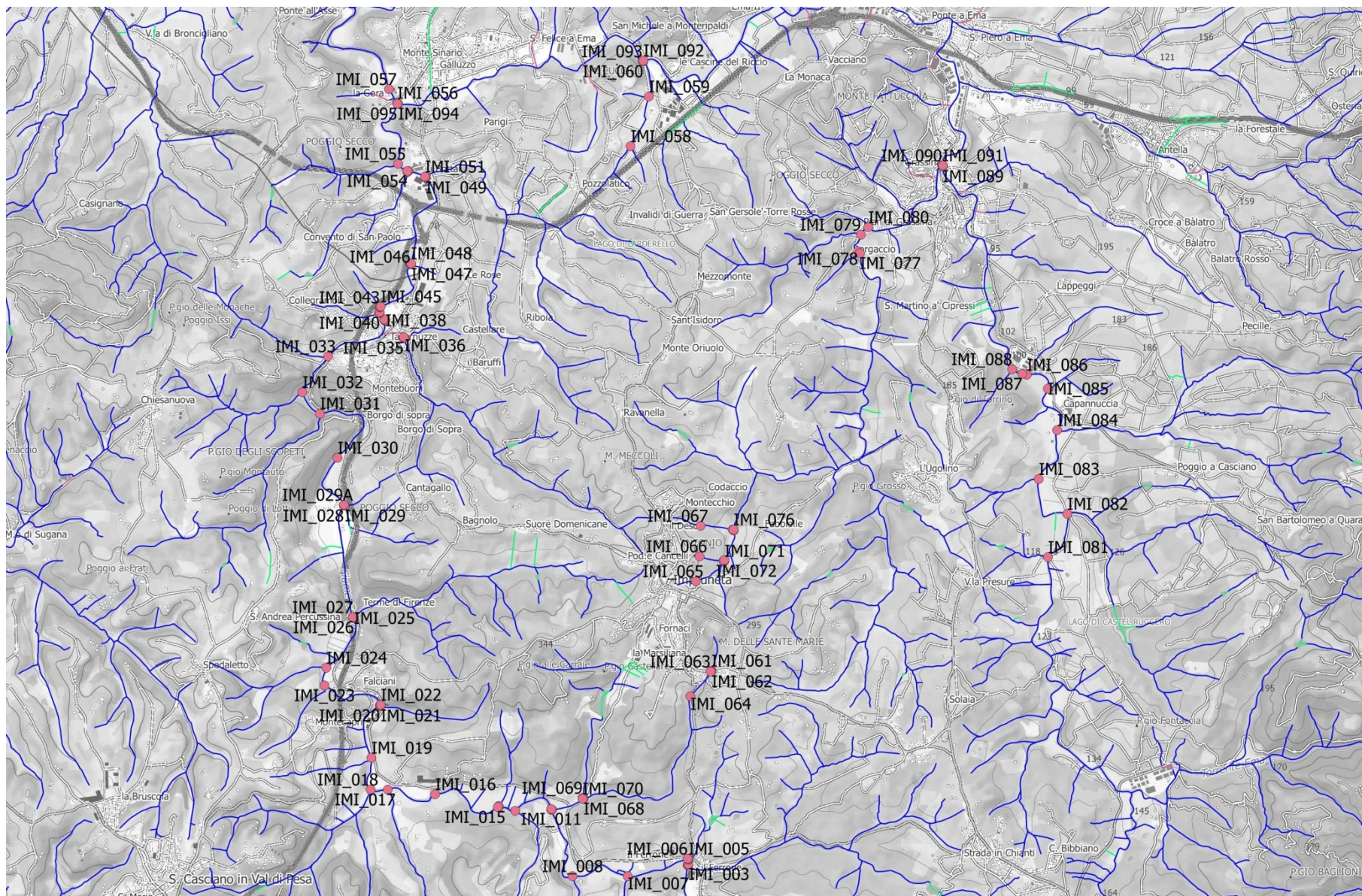


Figura 3.1 – Immissioni totali



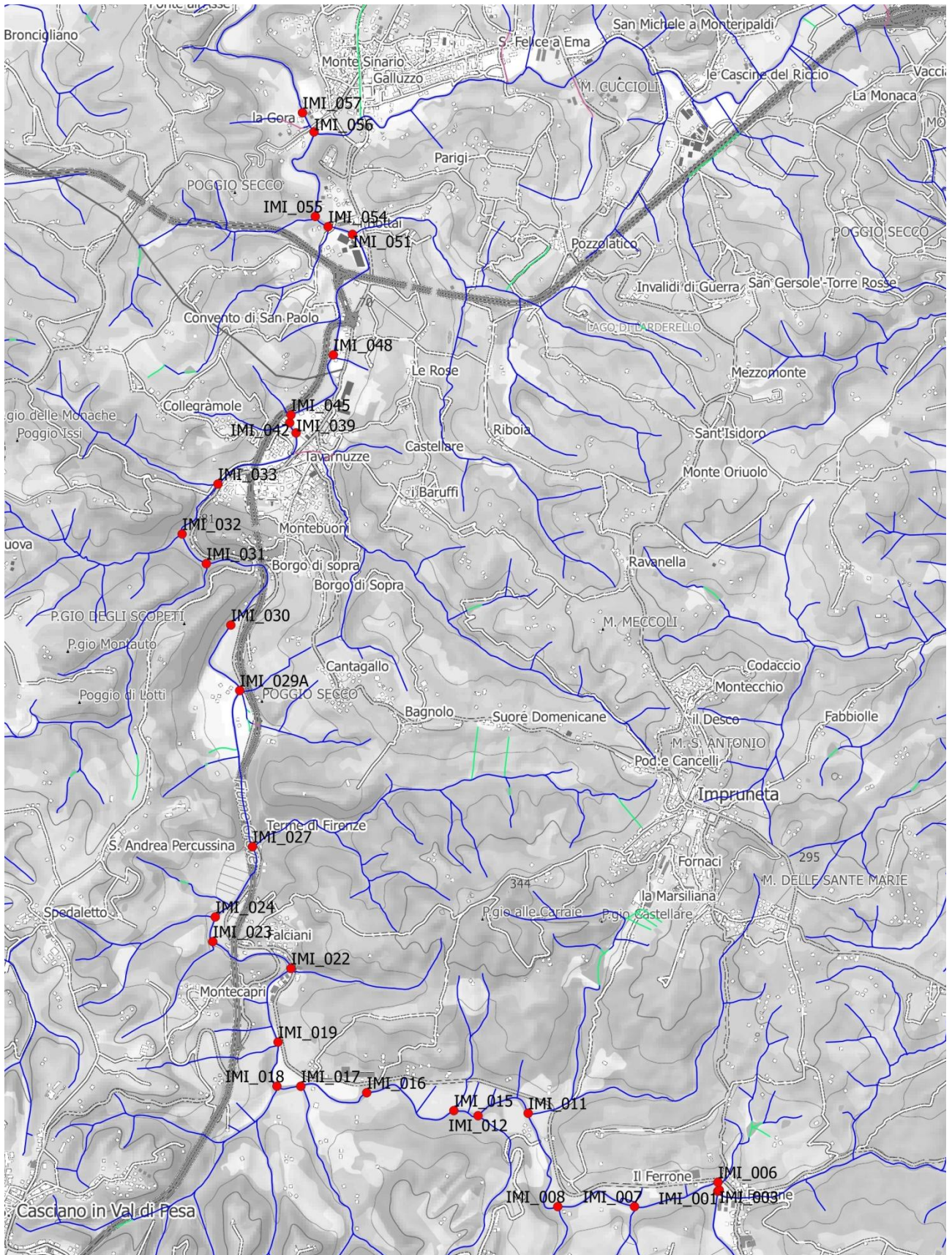


Figura 3.2 – Immissioni fiume Greve.



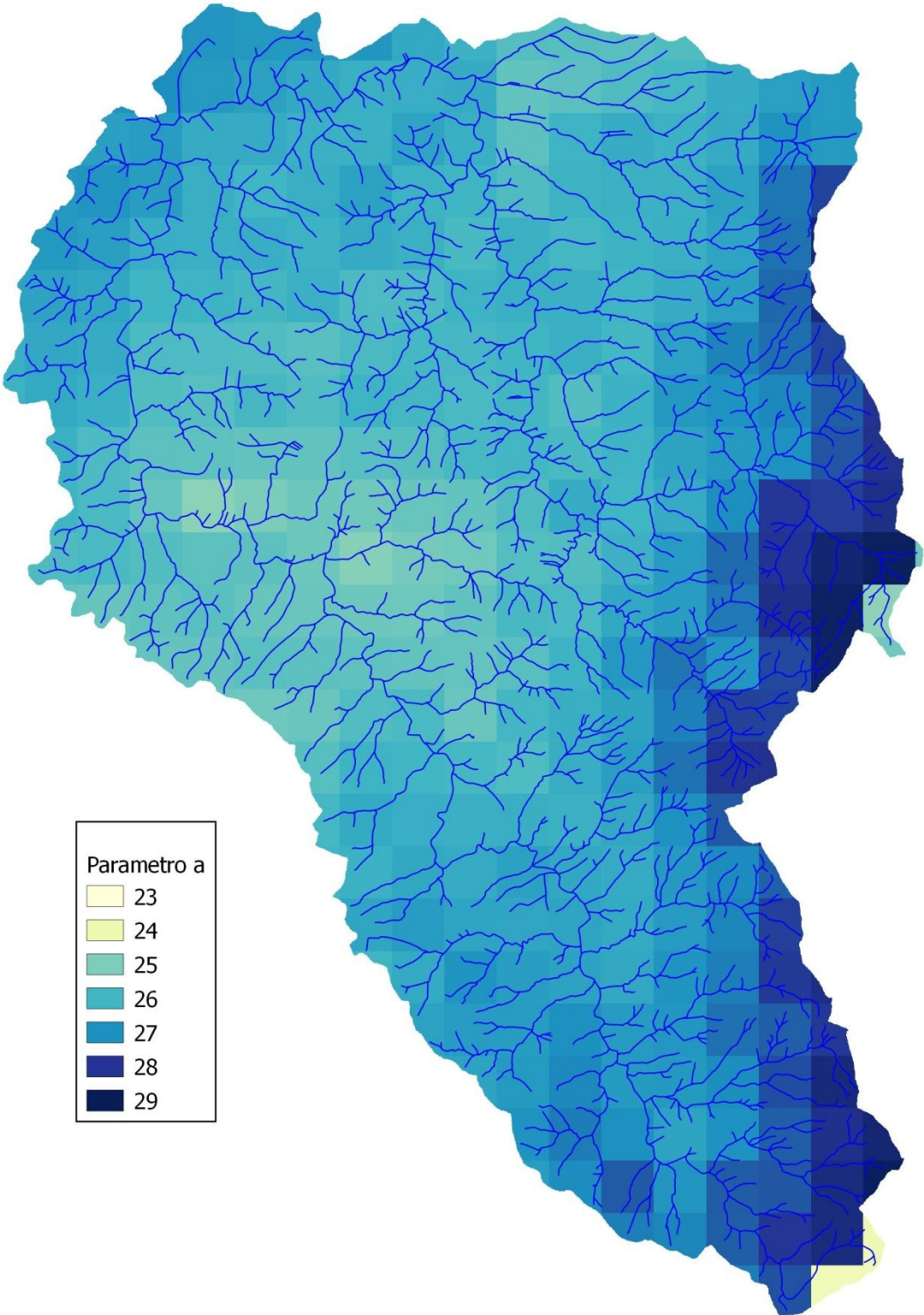


Figura 3.3 – Mappa coefficiente a.

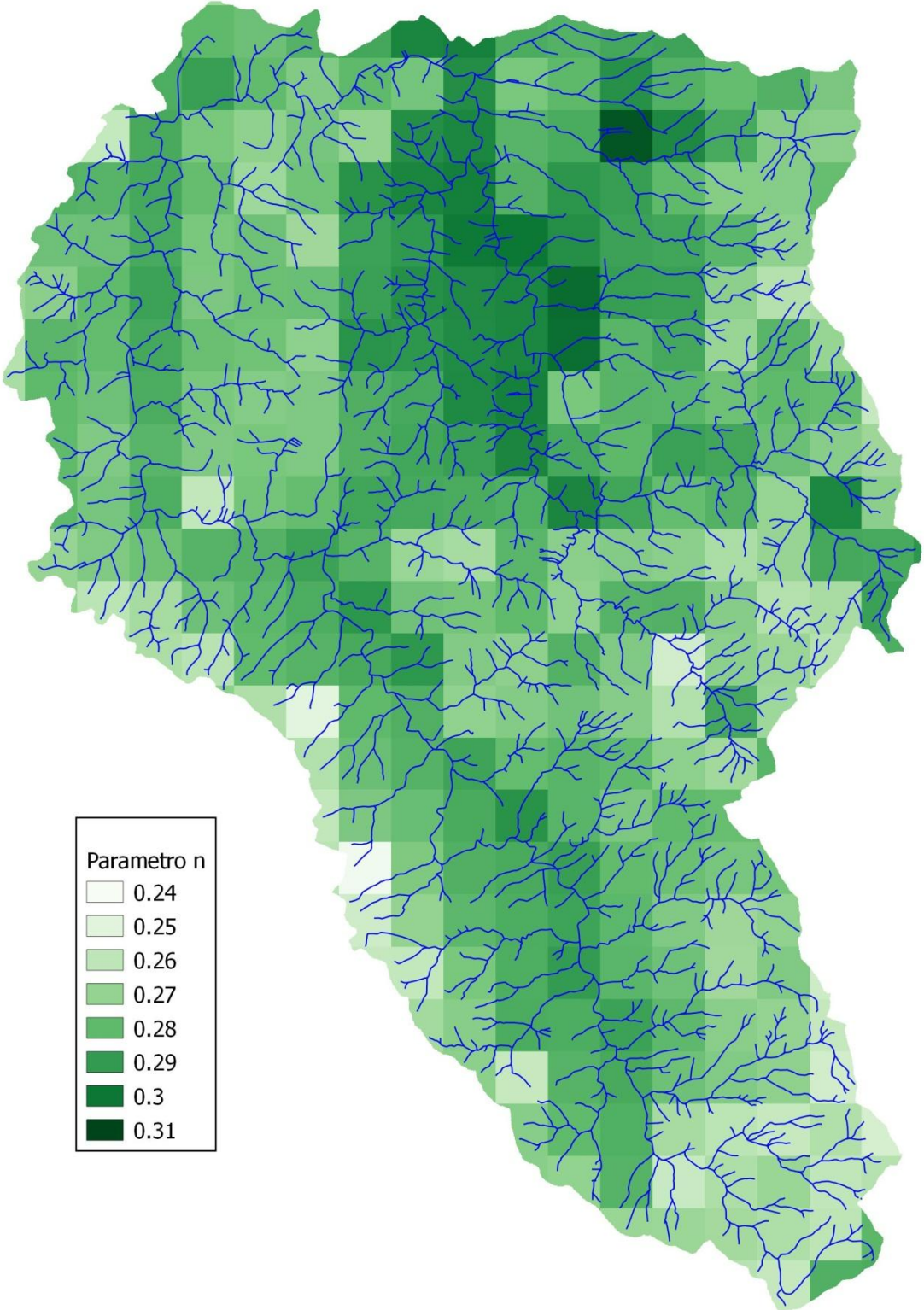


Figura 3.4 – Mappa coefficiente n.



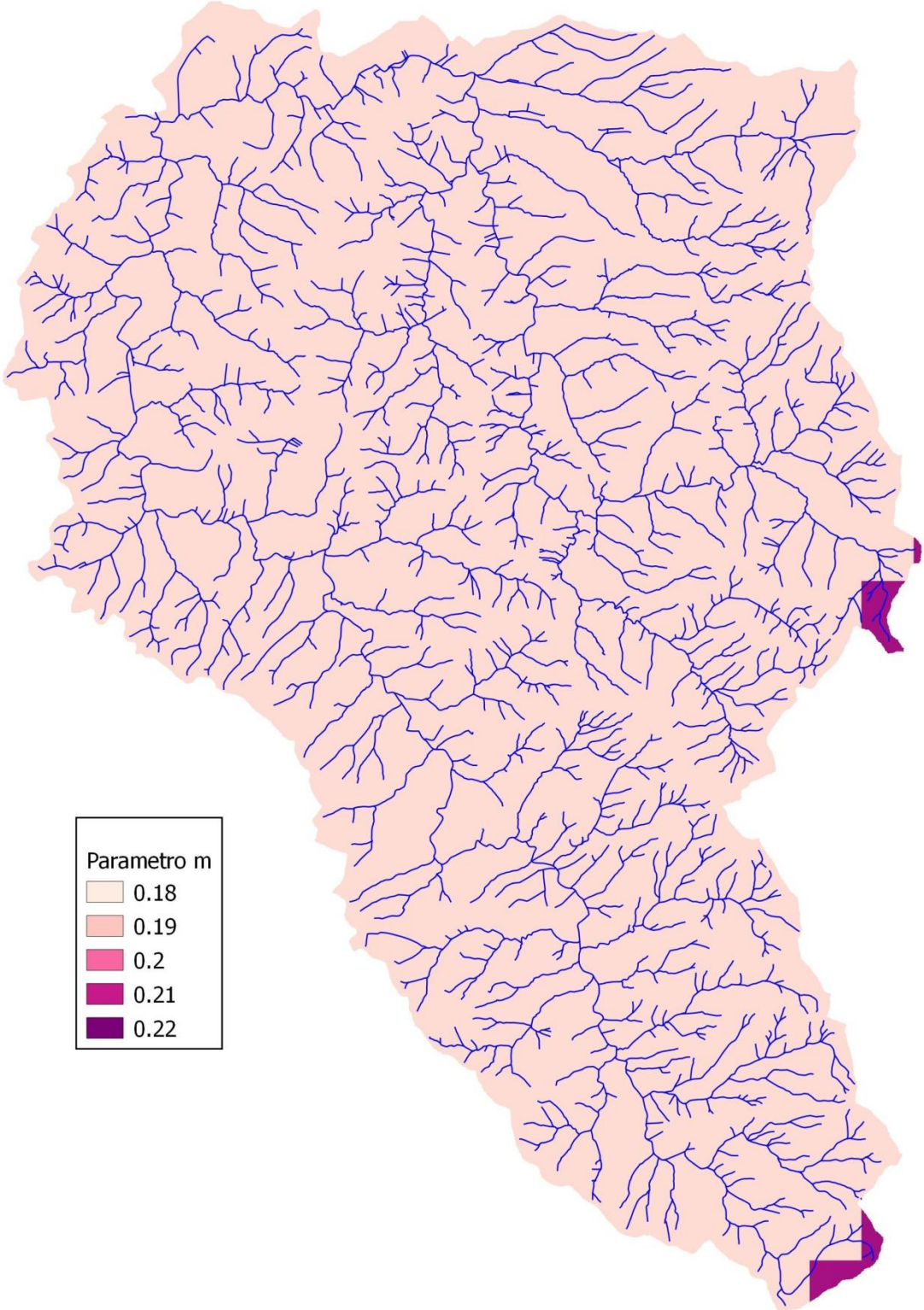


Figura 3.5 – Mappa coefficiente m.



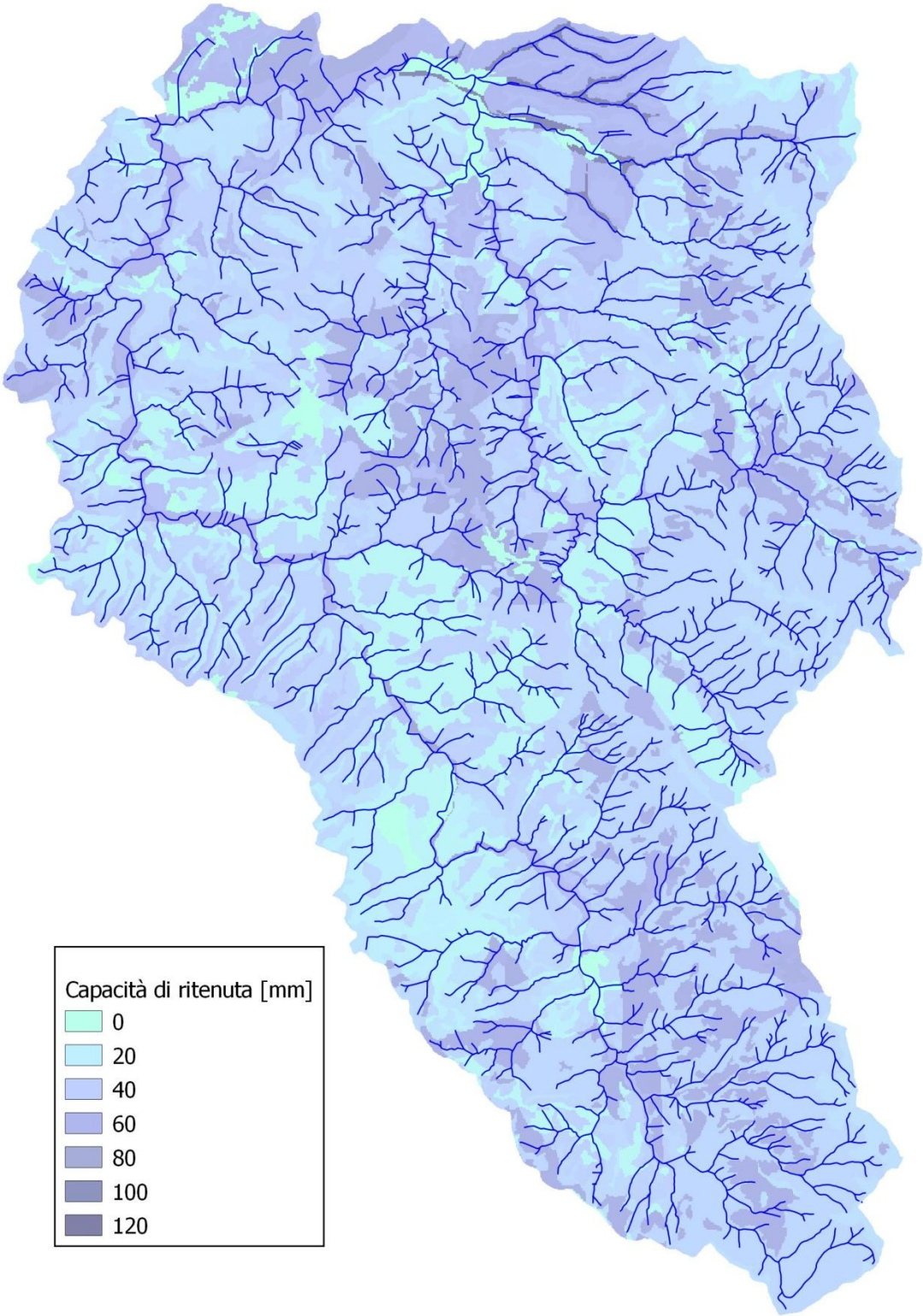


Figura 3-6 – Capacità di ritenuta.

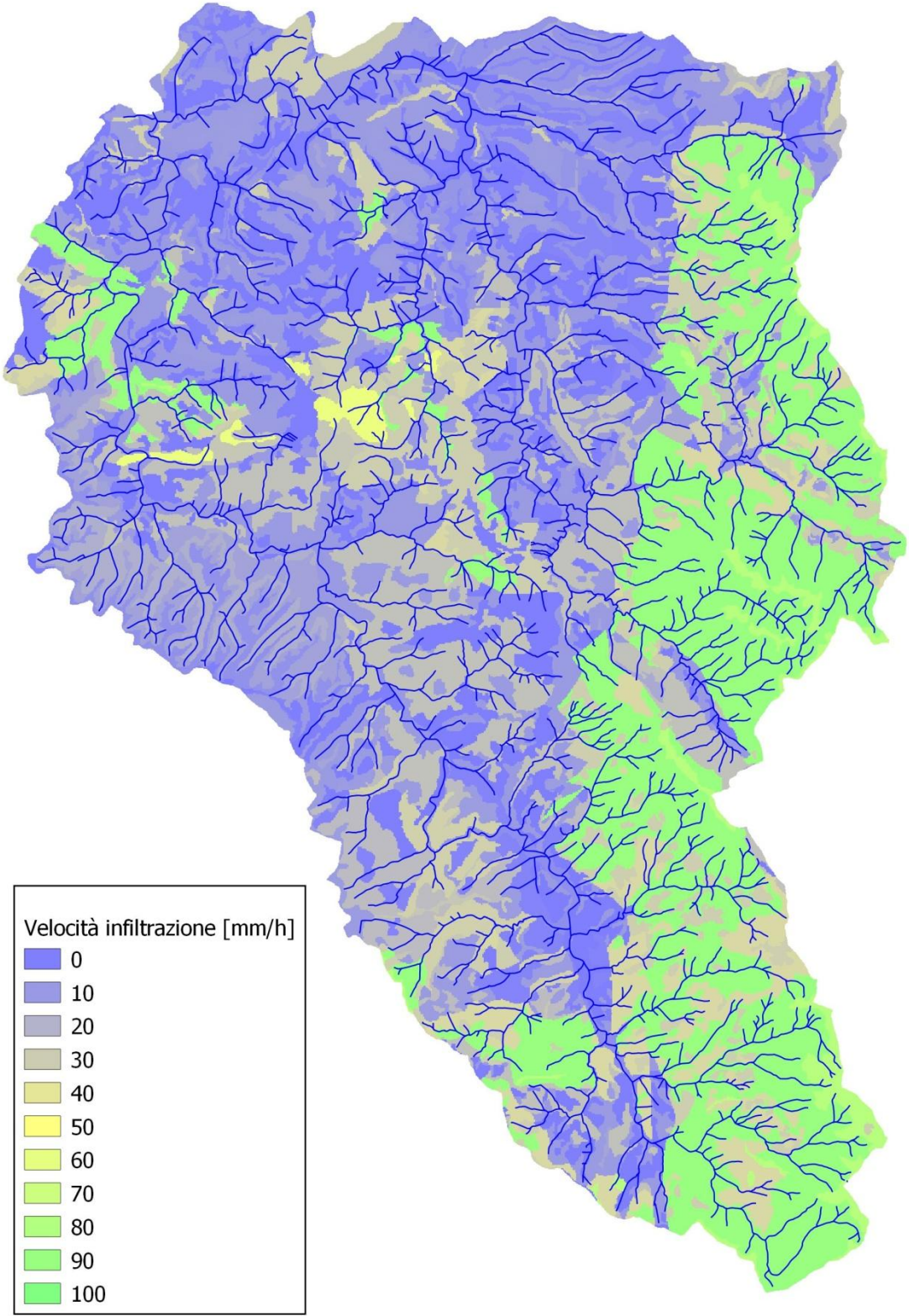


Figura 3-7 – Velocità filtrazione



### 3.3 Implementazione del modello idrologico

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

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.

I parametri del modello idrologico sono stati ricavati sulla base di varie tarature condotte per bacini simili a quello in esame e in particolare nelle seguenti stazioni di misura:

In tali studi sono state condotte una serie di tarature sui seguenti corsi d'acqua:

- torrente Pesa al Turbone,
- torrente Greve a Scandicci;
- torrente Calice alla Variante Pratese
- torrente Mugnone al Ponte alle Mosse;
- torrente Ema a Grassina;
- torrente Ema a Strada in Chianti;
- torrente Virginio a Montespertoli

I parametri utilizzati sono riportati nella Tabella 3-1.

Nell'Allegato A.01 si riportano i valori delle portate al colmo per i bacini complessivi calcolati in corrispondenza delle immissioni riportate nella Figura 3.1.

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 3-1 – Tabella parametri del modello.

Si è ritenuto peraltro opportuno verificare la correttezza di tali parametri anche in riferimento alle stazioni idrometriche della Greve a Scandicci e della Greve a Tavarnuzze. Nel paragrafo 3.4 si riportano le analisi condotte in tal senso.

### 3.4 Verifica dei parametri del modello idrologico

Per la verifica dei parametri del modello è stata condotta una taratura nella stazione della Greve a Ponte di Scandicci e della Greve a Tavarnuzze sulla base di eventi noti ove erano note le precipitazioni e i livelli idrometrici. Entrambe le stazioni sono dotate di scala di deflusso

In particolare, il modello idrologico è stato tarato su 11 eventi significativi registrati nella stazione idrometrica TOS01004731 - Ponte di Scandicci e TOS01004723 - Tavarnuzze , i cui periodi di osservazione sono descritti nella Tabella 3-2.

Sono state utilizzate le precipitazioni delle stazioni riportate nella [Tabella 3-3](#).

I dati pluvio-idrometrici sono stati acquisiti dal sito del Servizio Idrografico Regionale.

Num.	Inizio	Fine
1	23-12-2010 00:00	27-12-2010 23:45
2	27-11-2012 12:00	02-12-2012 11:45
3	10-03-2013 12:00	15-03-2013 11:45
4	10-02-2014 00:00	14-02-2014 23:45
5	28-10-2015 12:00	02-11-2015 11:45
6	13-02-2016 12:00	18-02-2016 11:45
7	26-02-2016 12:00	02-03-2016 11:45
8	05-11-2016 12:00	10-11-2016 11:45
9	24-02-2017 00:00	28-02-2017 23:45
10	01-02-2018 12:00	06-02-2018 11:45
11	15-11-2019 00:00	19-11-2019 23:45

Tabella 3-2 – Eventi fiume Greve

CODICE STAZIONE	NOME STAZIONE
TOS11000075	Bagno a Ripoli
TOS01001129	Ferrone
TOS11000111	Firenze Città
TOS01001095	Firenze Genio Civile
TOS01001096	Firenze Università
TOS11000073	Greve in Chianti
TOS01000891	Il Palagio
TOS01004591	Incisa Valle
TOS11000023	Lamole 023
TOS01001115	Lamole 115
TOS01004659	Nave di Rosano
TOS11000088	Poggio Casciano
TOS01001284	Radda in Chianti
TOS01001215	S.Giusto
TOS11000057	Sambuca

TOS01004725	Strada in Chianti
TOS01001136	Ugolino
TOS03001135	Poggio alla Croce
TOS03001145	Vingone
TOS01004731	Scandicci
TOS01004723	Tavarnuzze

Tabella 3-3 – Stazioni pluviometriche per la taratura

Si riportano in Tabella 3-4 i dati identificativi dello strumento, in Figura 3-8 la rispettiva localizzazione, in Figura 3-9 il grafico della scala di deflusso e in

Tabella 3-5 la tabulazione per la stazione della Greve a Scandicci.

Codice	Identificativo	E	N	Zero Idrometrico
TOS01004731	Scandicci	1676636.000	4846994.000	42.29

Tabella 3-4 – Parametri idrometri Greve a Scandicci



Figura 3-8 – Localizzazione dell'idrometro Greve a Scandicci

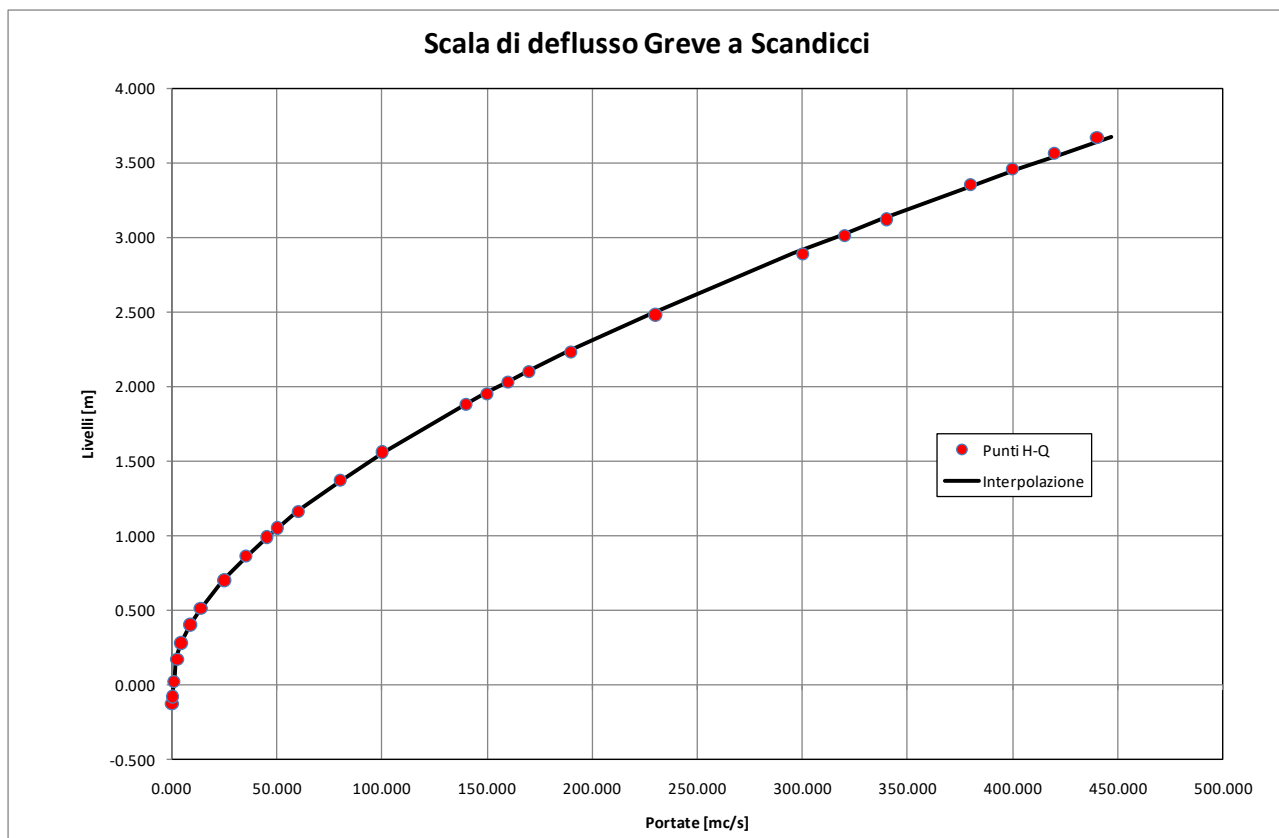


Figura 3-9 – Scala di Deflusso della Greve a Scandicci

Livelli [m]	Portata [mc/s]
-0.130	0.010
-0.080	0.265
0.020	1.100
0.170	2.400
0.280	4.440
0.400	8.800
0.510	13.750
0.700	25.000
0.860	35.000
0.990	45.000
1.050	50.000
1.160	60.000
1.370	80.000
1.560	100.000
1.880	140.000
1.950	150.000
2.030	160.000
2.100	170.000
2.230	190.000
2.480	230.000
2.890	300.000
3.010	320.000



3.120	340.000
3.350	380.000
3.460	400.000
3.560	420.000
3.670	440.000

	Scala di Deflusso
a	49.041
H <sub>0</sub>	0.034
b	1.711

Tabella 3-5 – Parametri della scala di deflusso della Greve a Scandicci

Si riportano in [Tabella 3-6](#) i dati identificativi dello strumento, in [Figura 3-10](#) la rispettiva localizzazione, in [Figura 3-11](#) il grafico della scala di deflusso e in [Tabella 3-7](#) [Tabella 3-5](#) la tabulazione per la stazione della Greve a Tavarnuzze.

Codice	Identificativo	E	N	Zero Idrometrico
TOS01004723	Tavarnuzze	1678636.000	4842154.000	67.14

Tabella 3-6 – Parametri idrometri Greve a Tavarnuzze



Figura 3-10 – Localizzazione dell'idrometro della Greve a Tavarnuzze

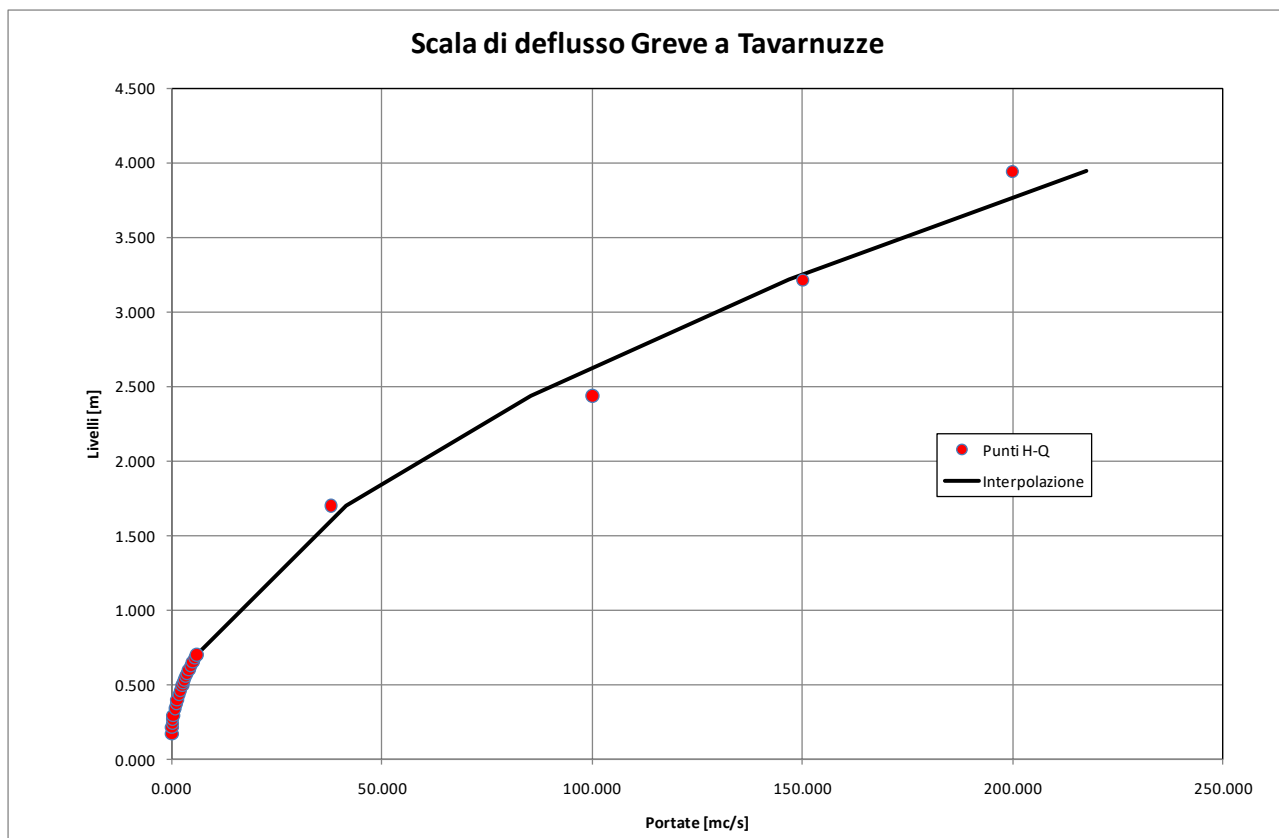


Figura 3-11 – Scala di Deflusso della Greve a Tavarnuzze

Livelli [m]	Portata [mc/s]
0.170	0.005
0.211	0.034
0.240	0.055
0.270	0.168
0.290	0.285
0.339	0.719
0.370	0.996
0.396	1.256
0.430	1.610
0.460	1.997
0.496	2.464
0.513	2.696
0.533	2.982
0.556	3.333
0.575	3.640
0.601	4.065
0.627	4.524
0.652	4.980
0.675	5.430
0.701	5.963
1.700	37.900
2.437	100.000



3.213	150.000
3.942	200.000

	Scala di Deflusso
a	19.043
H <sub>0</sub>	0.169
b	1.834

Tabella 3-7 – Parametri della scala di deflusso della Greve a Tavarnuzze

Le precipitazioni sono state ragguagliate al bacino con il metodo dei topoi. I risultati delle tarature per ciascun evento sono graficizzati dalla Figura 3-12 alla Figura 3-33. I parametri di taratura del modello per la Greve a Scandicci e a Tavarnuzze, sono riportati nella Tabella 3-8. Il parametro del coefficiente ipodermico risulta maggiore mentre la saturazione iniziale risulta minore rispetto a quelli adottati per il calcolo delle portate di verifica.

Si è ritenuto peraltro opportuno adottare i coefficienti della Tabella 3-1 in quanto gli stessi forniscono dei risultati moderatamente più cautelativi e per ragioni di omogeneità con gli altri studi condotti nello stesso bacino.

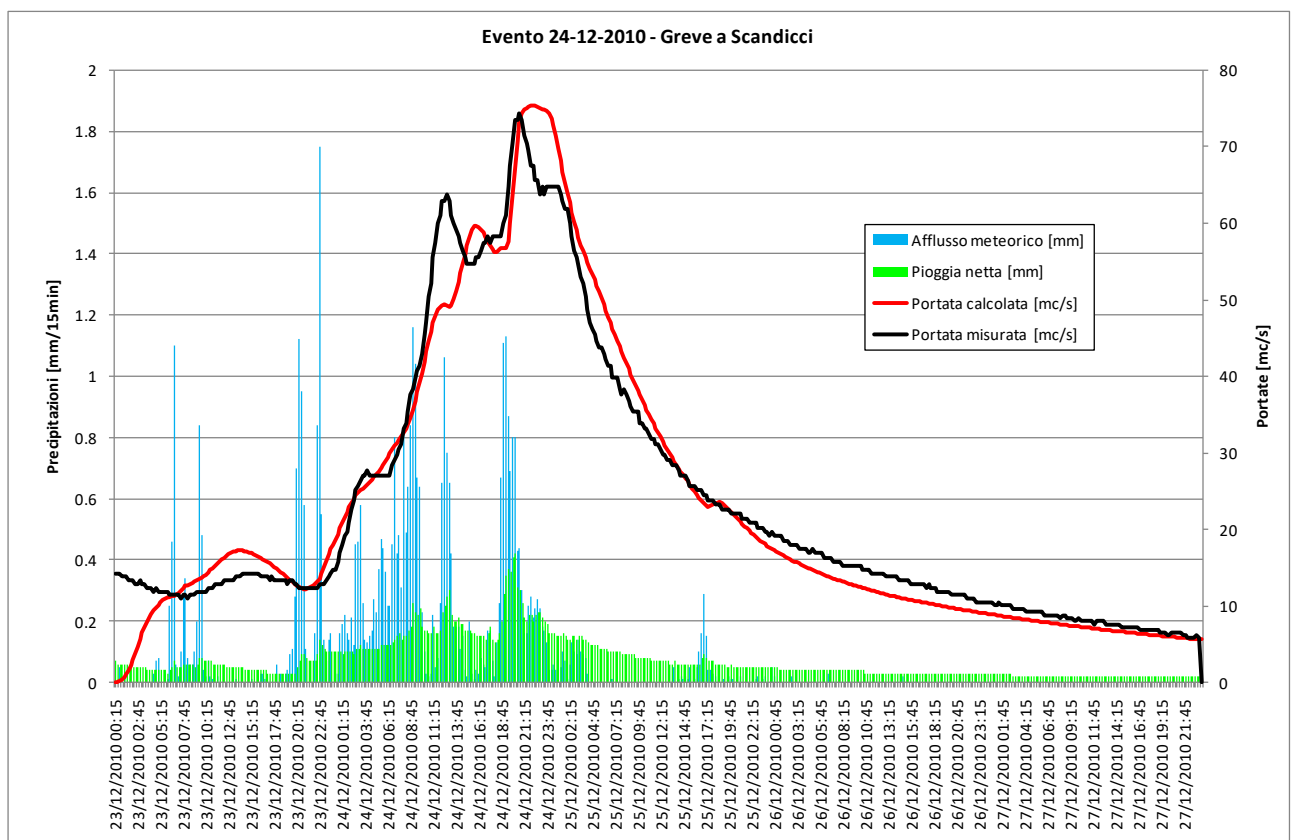


Figura 3-12 – Evento 24/12/2010, Greve a Scandicci

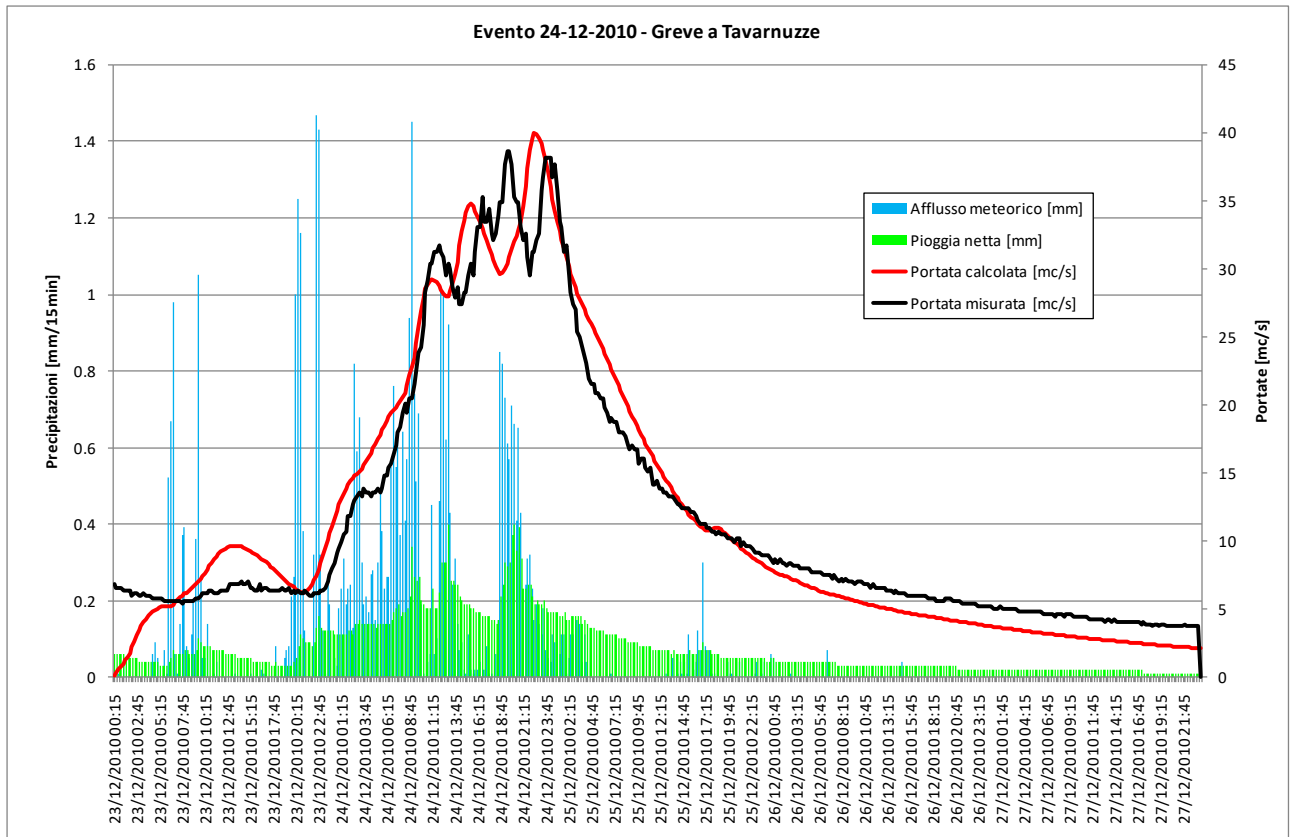


Figura 3-13 – Evento 24/12/2010, Greve a Tarnuzze

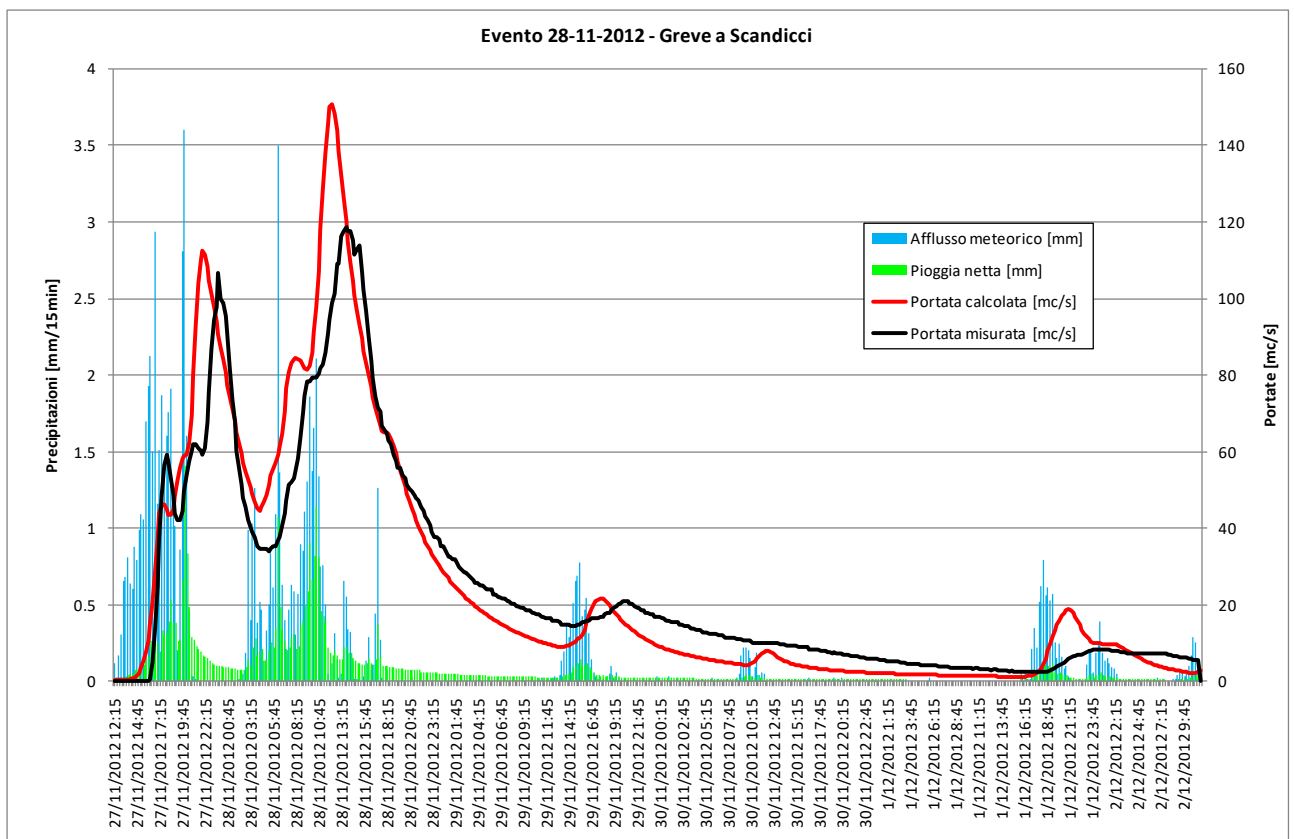


Figura 3-14 – Evento 28/11/2012, Greve a Scandicci

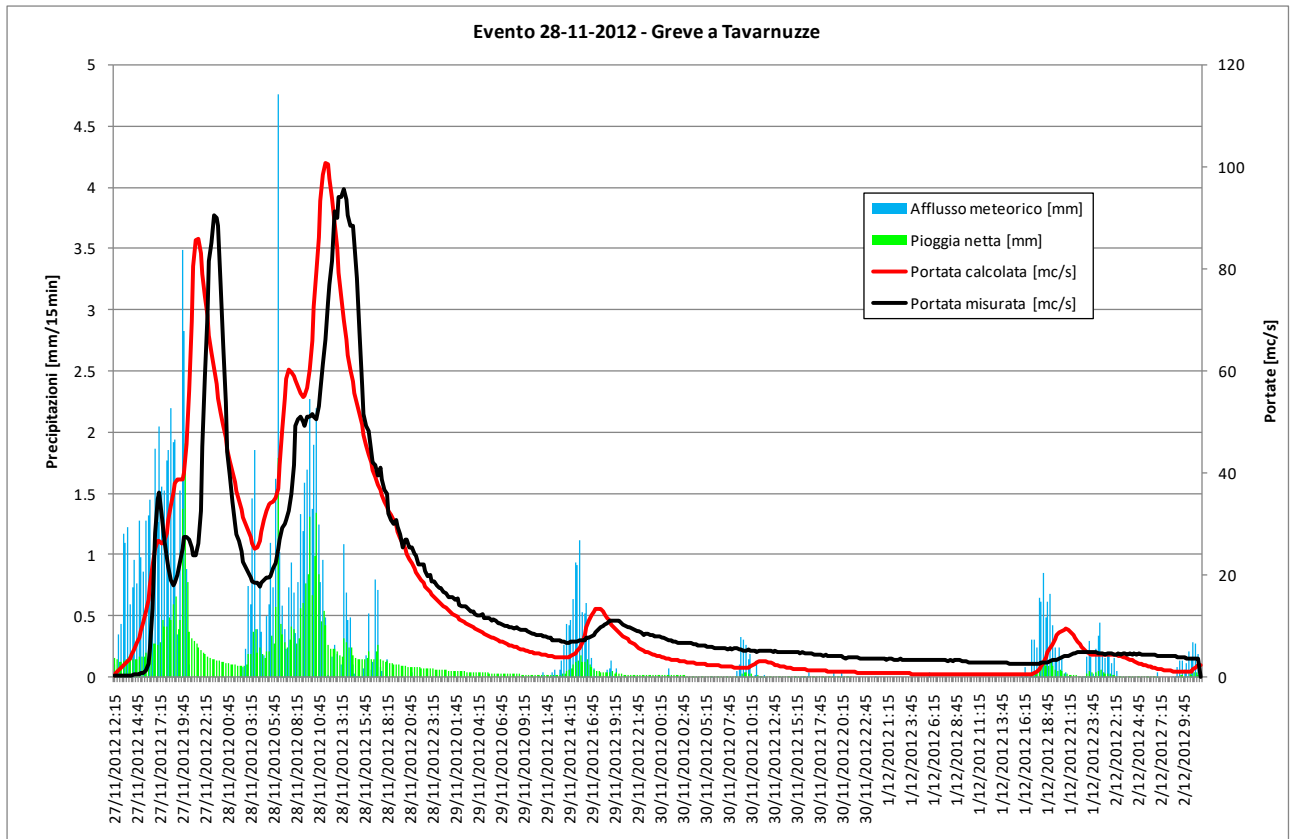


Figura 3-15 – Evento 28/11/2012, Greve a Tavarnuzze

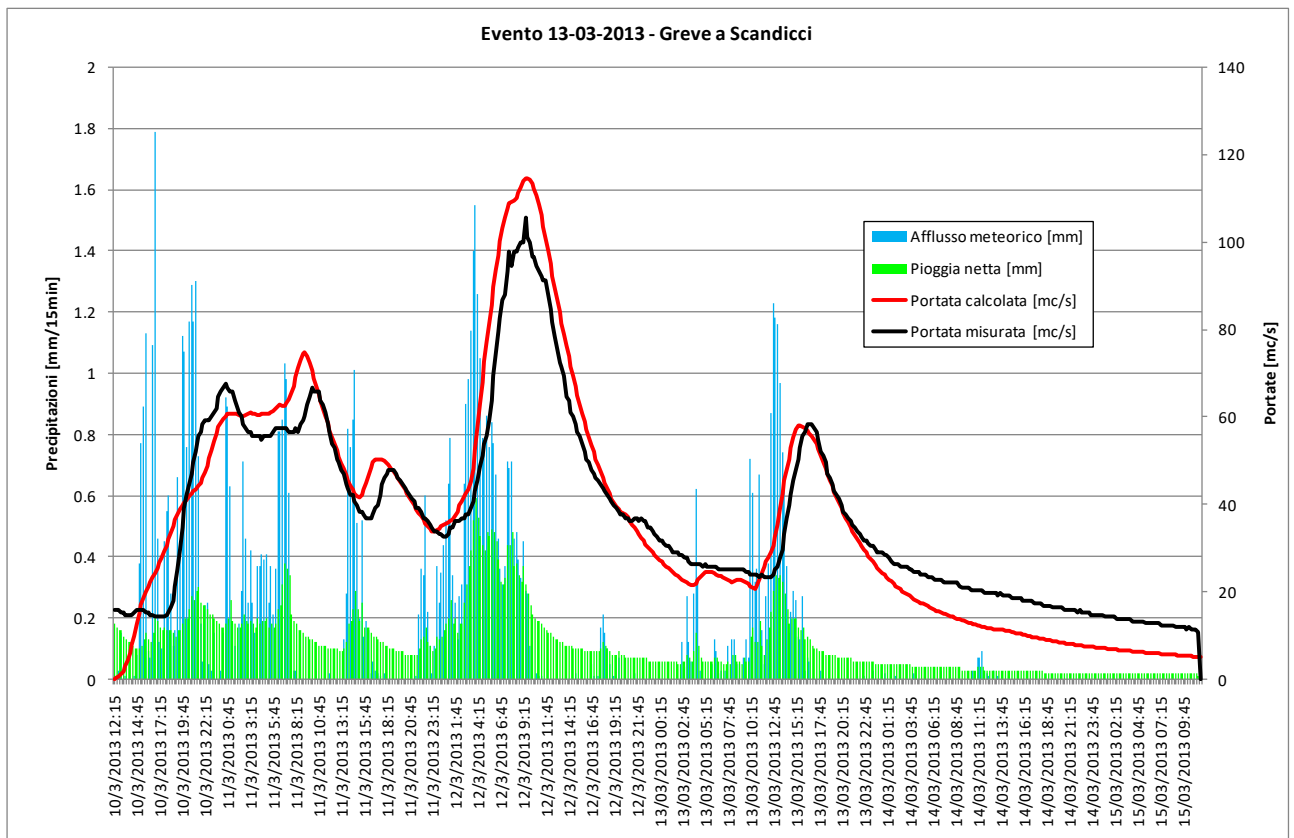


Figura 3-16 – Evento 13/03/2013, Greve a Scandicci

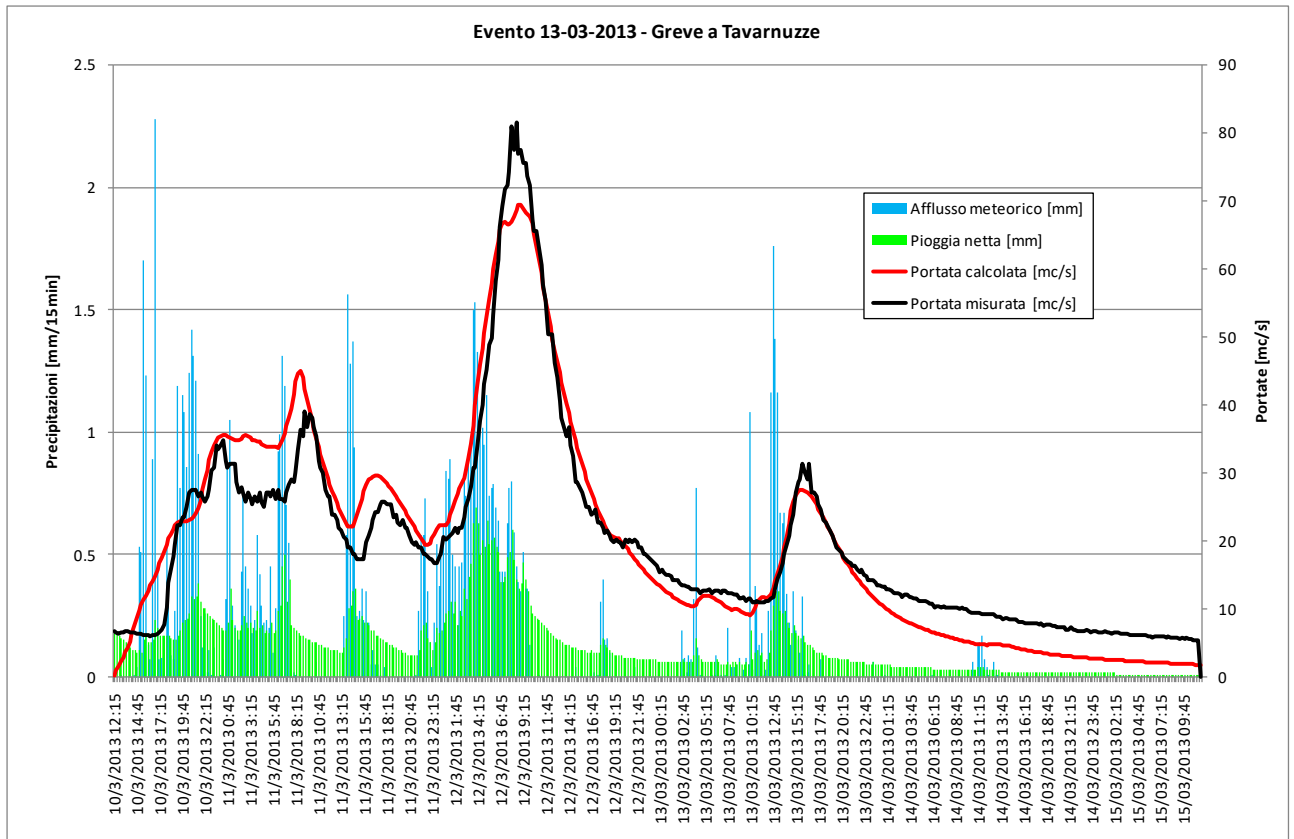


Figura 3-17 – Evento 13/03/2013, Greve a Tarnuzze

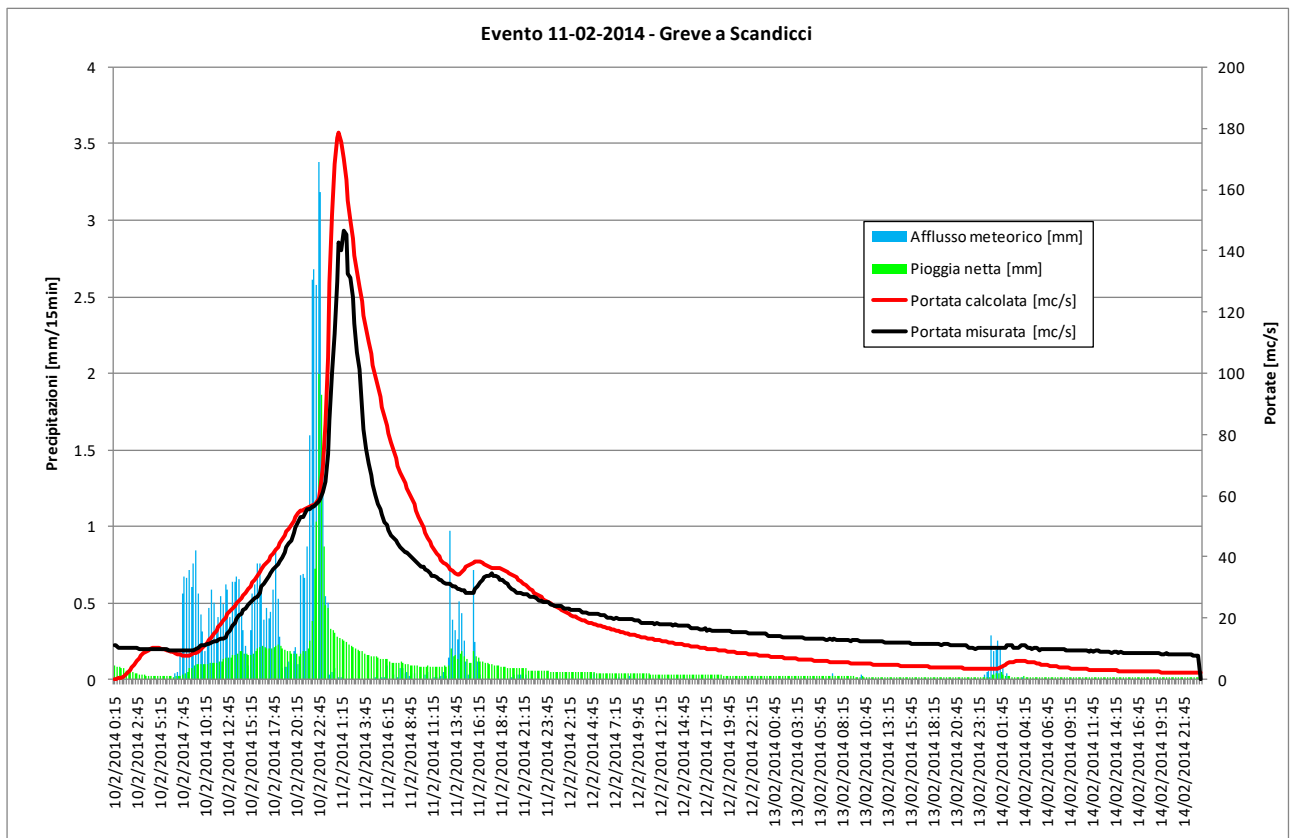


Figura 3-18 – Evento 11/02/2014, Greve a Scandicci

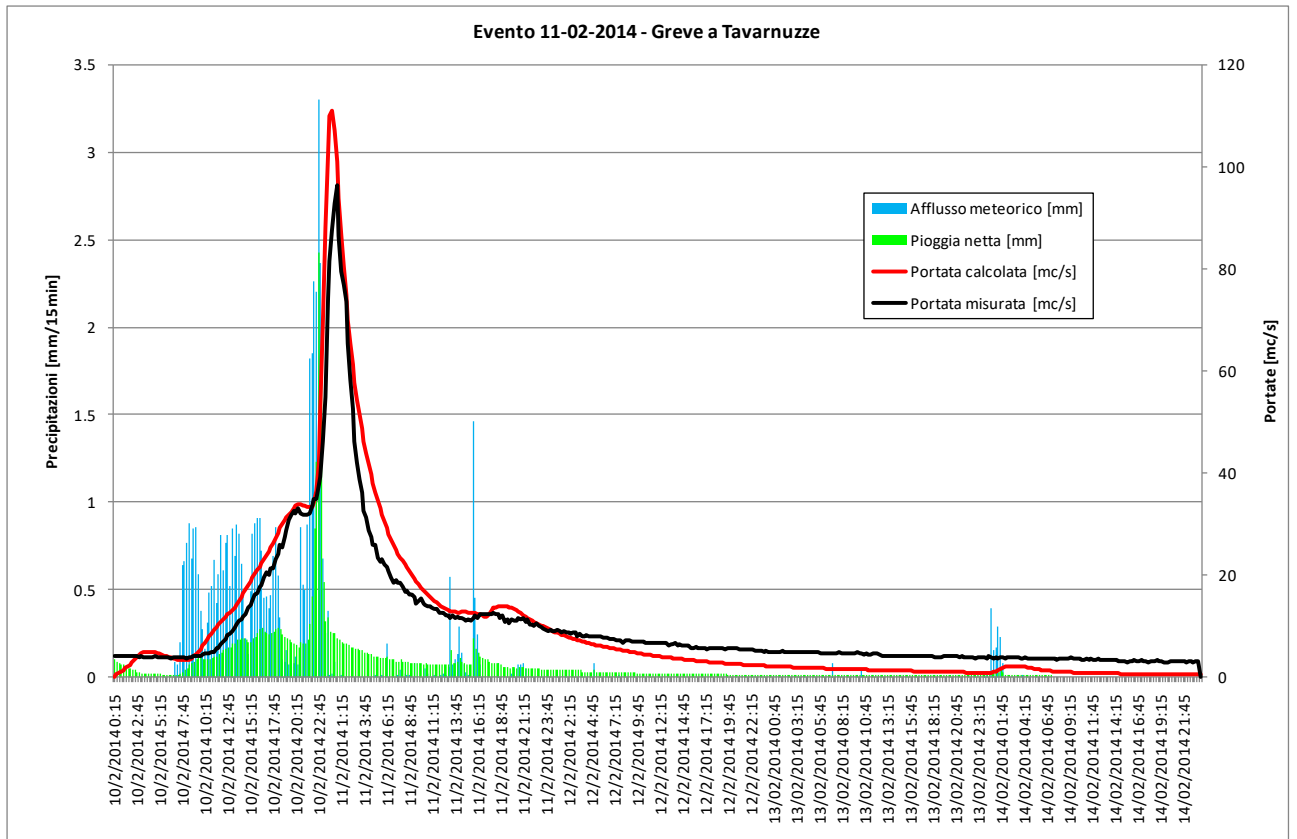


Figura 3-19 – Evento 11/02/2014, Greve a Tavarnuzze

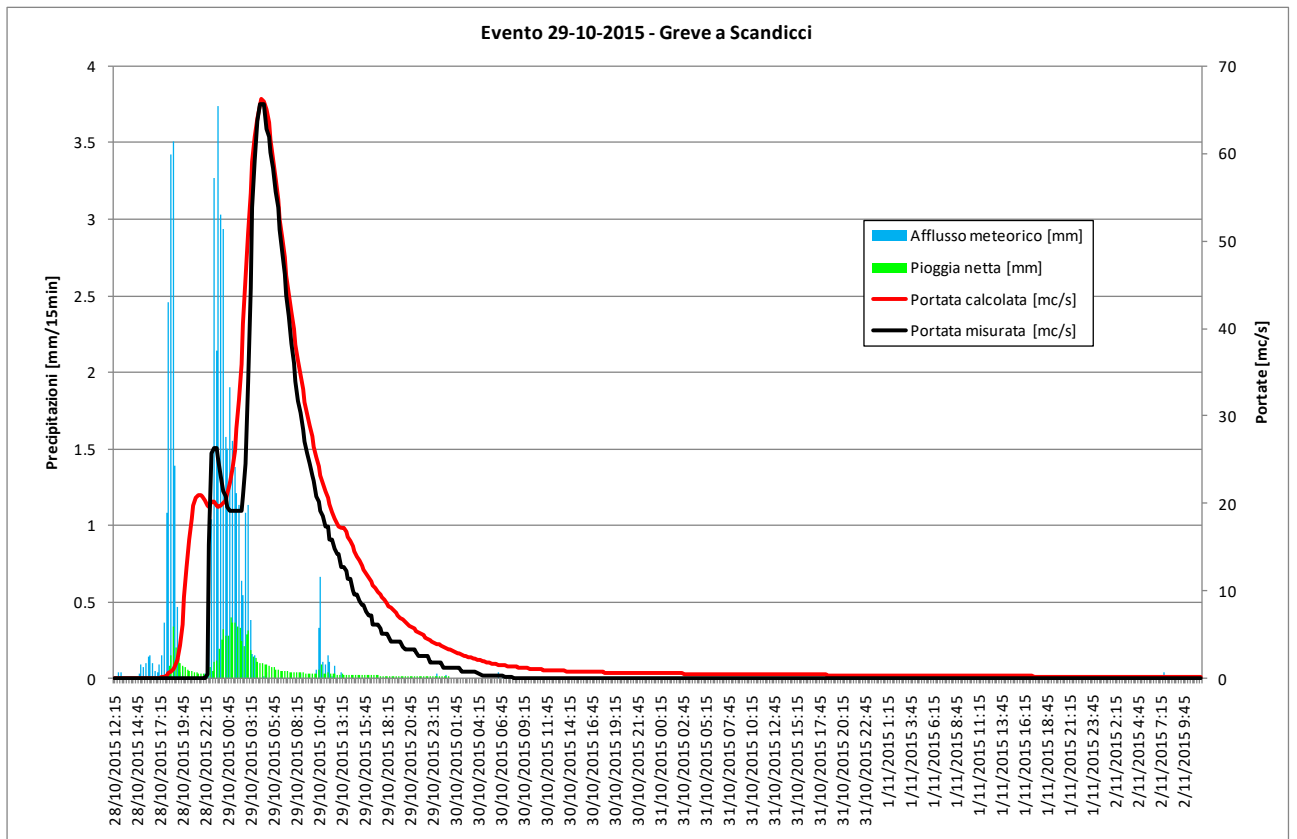


Figura 3-20 – Evento 29/10/2015, Greve a Scandicci

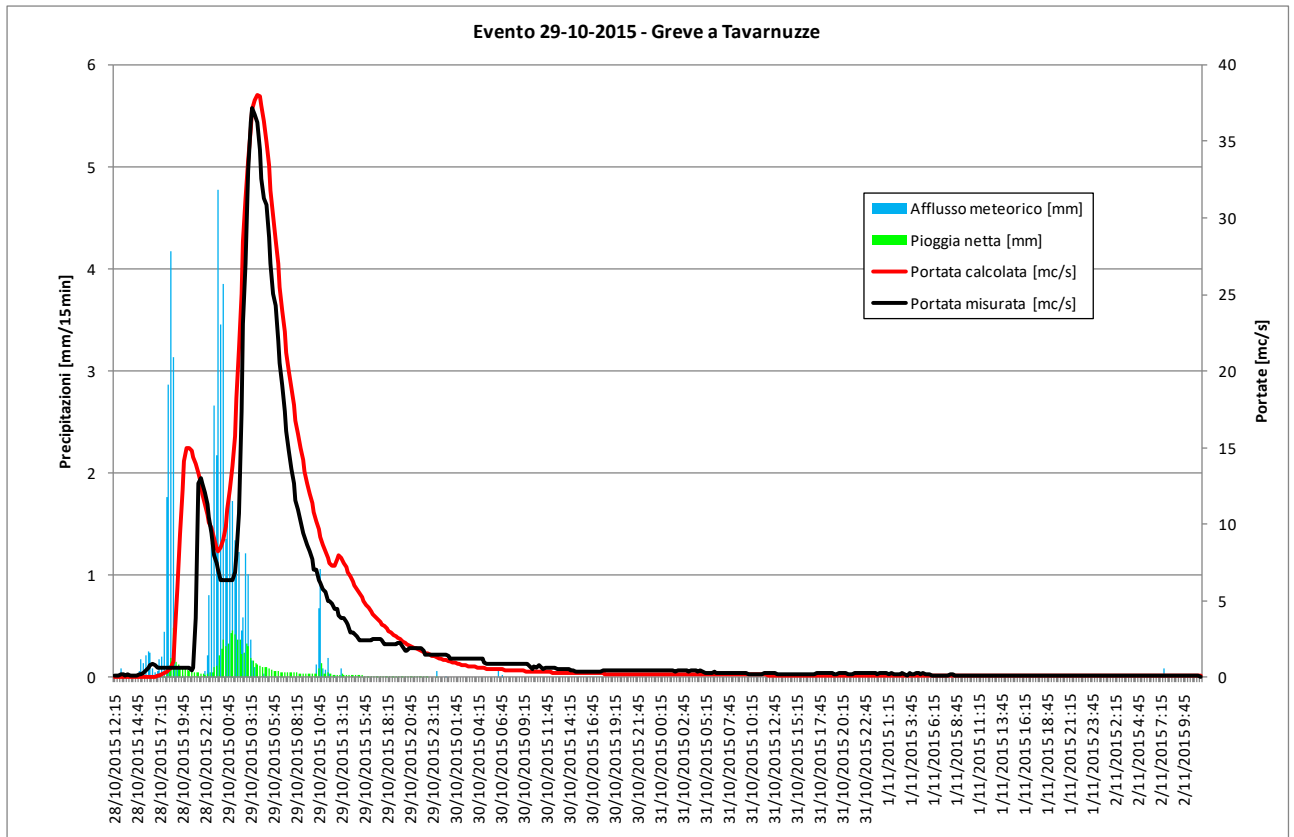


Figura 3-21 – Evento 29/10/2015, Greve a Tarnuuzze

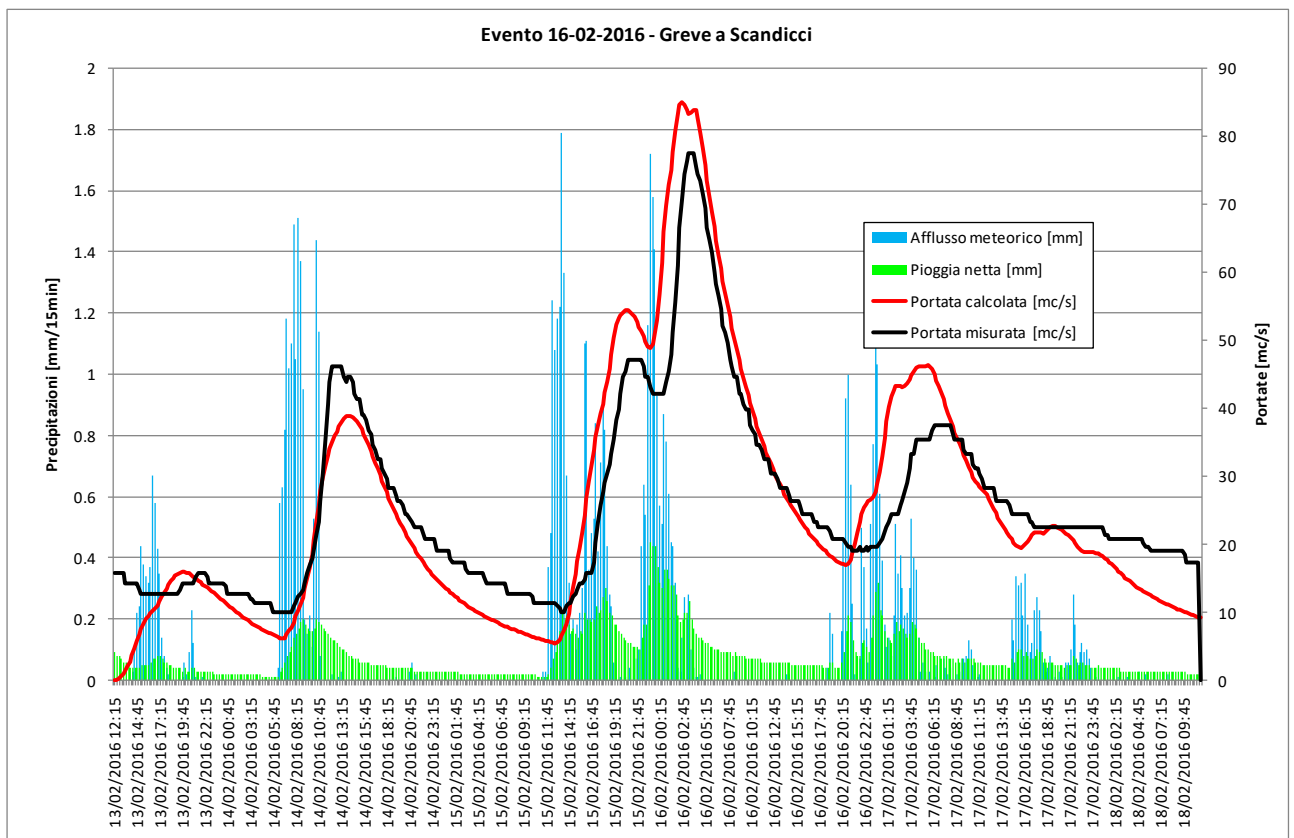


Figura 3-22 – Evento 16/02/2016, Greve a Scandicci

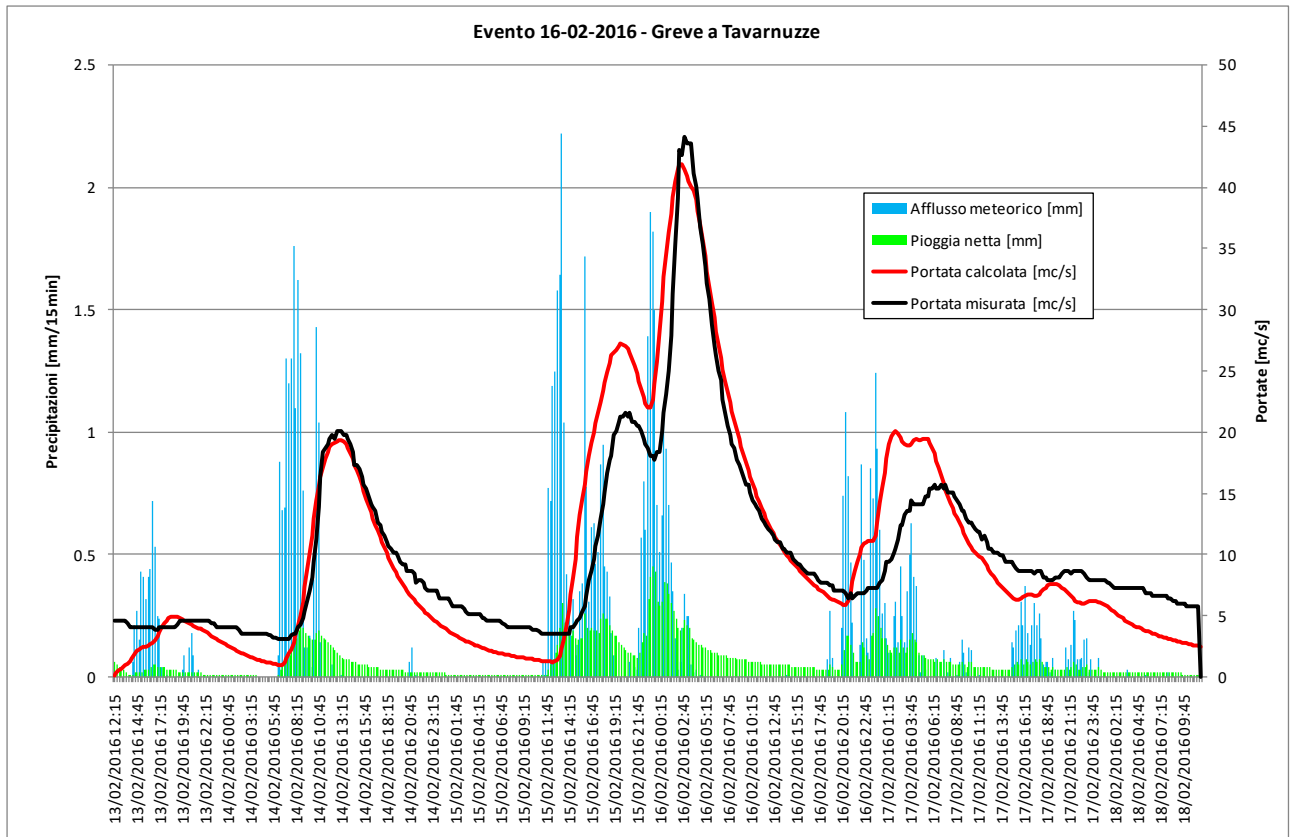


Figura 3-23 – Evento 16/02/2016, Greve a Tavarnuzze

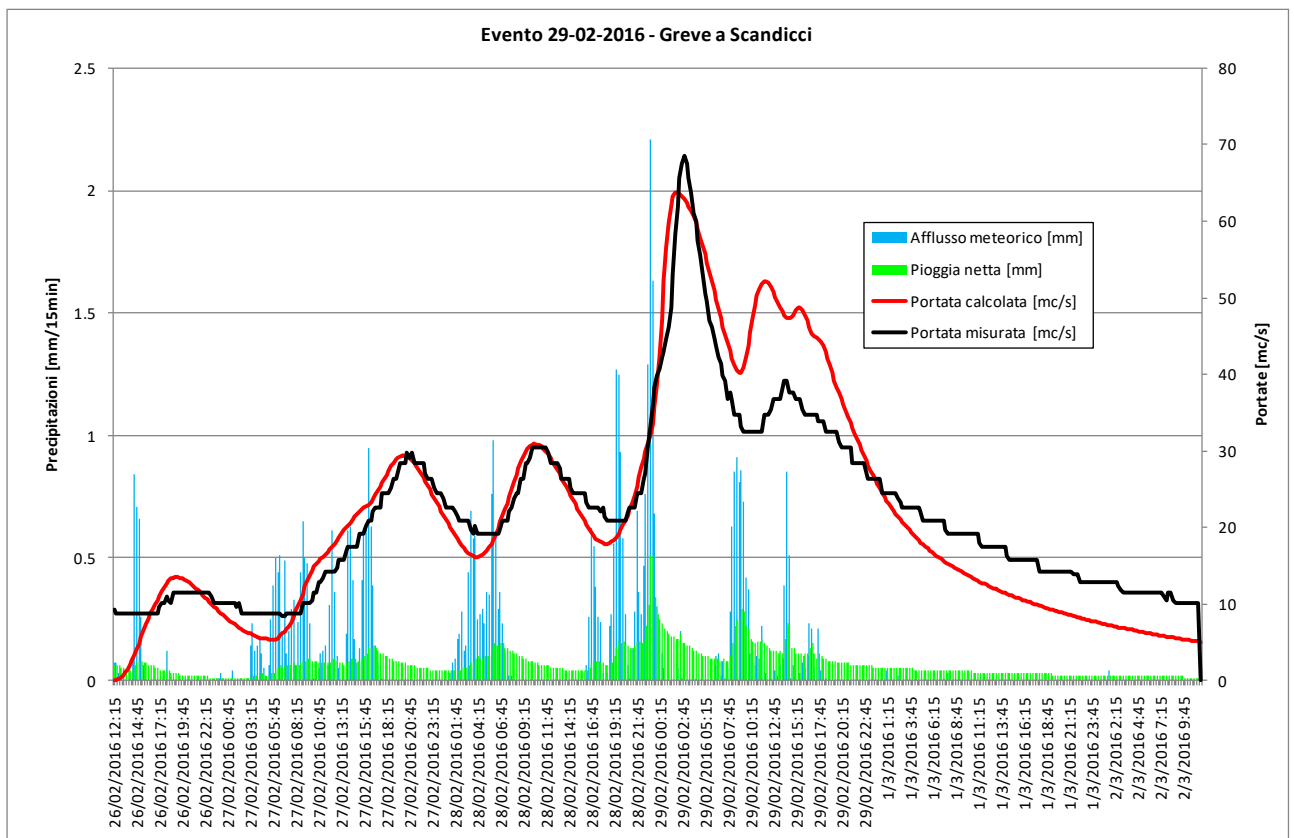


Figura 3-24 – Evento 29/02/2016, Greve a Scandicci

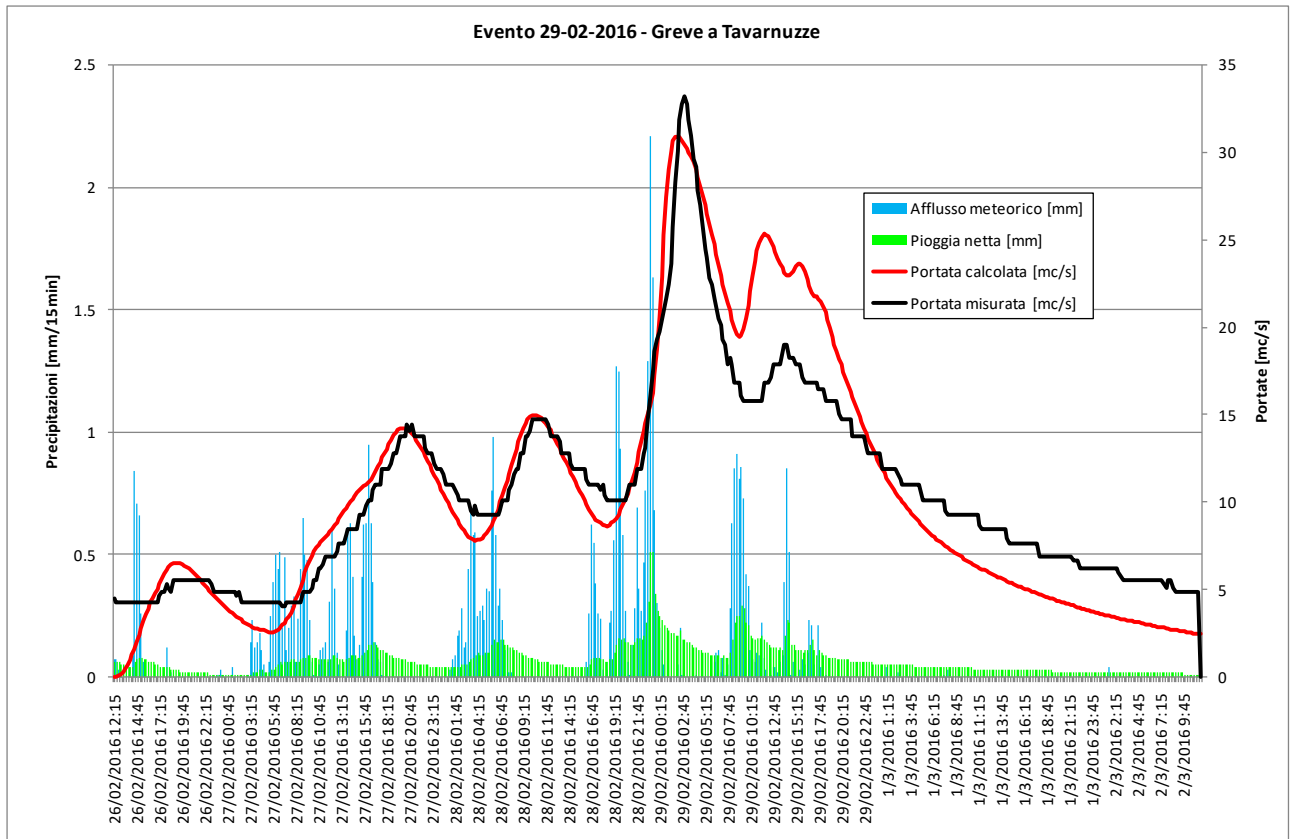


Figura 3-25 – Evento 29/02/2016, Greve a Tarnuzze

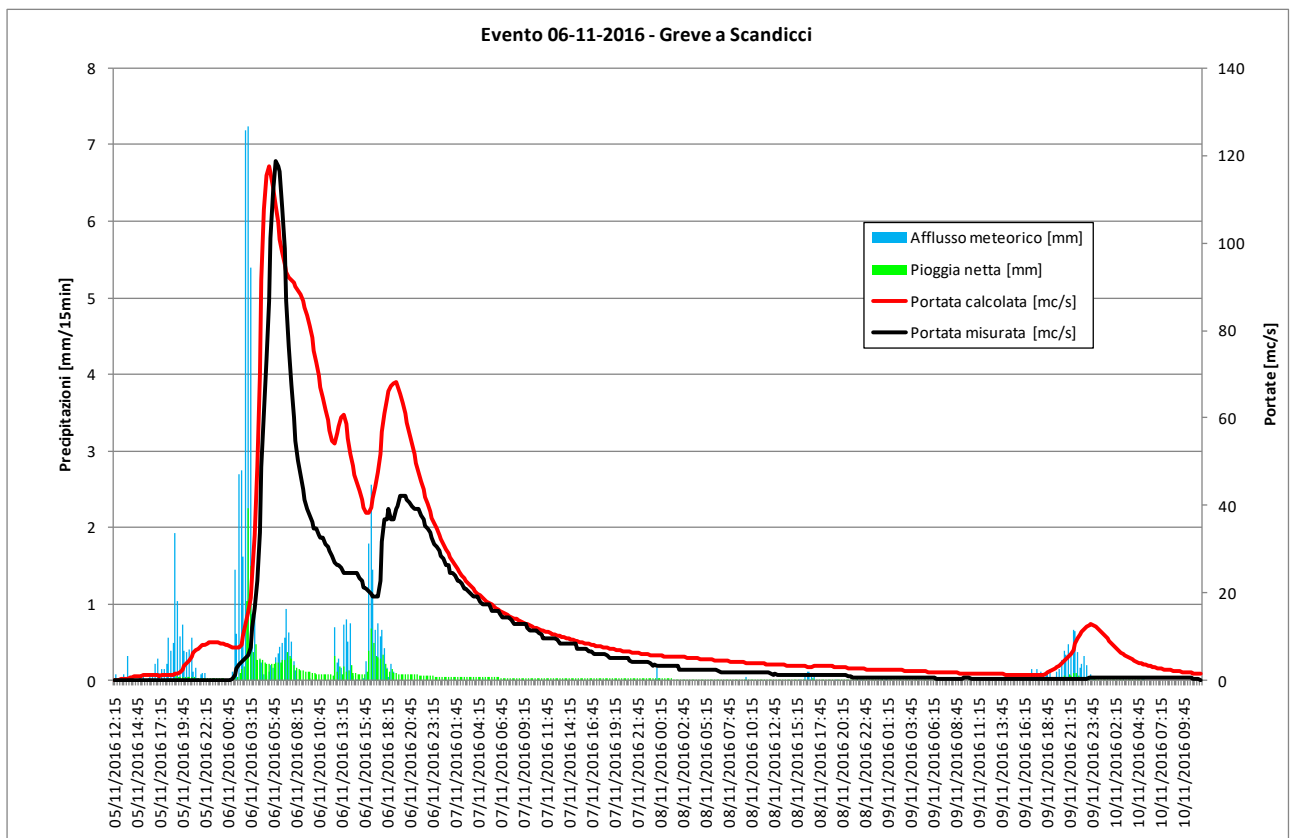


Figura 3-26 – Evento 06/11/2016, Greve a Scandicci



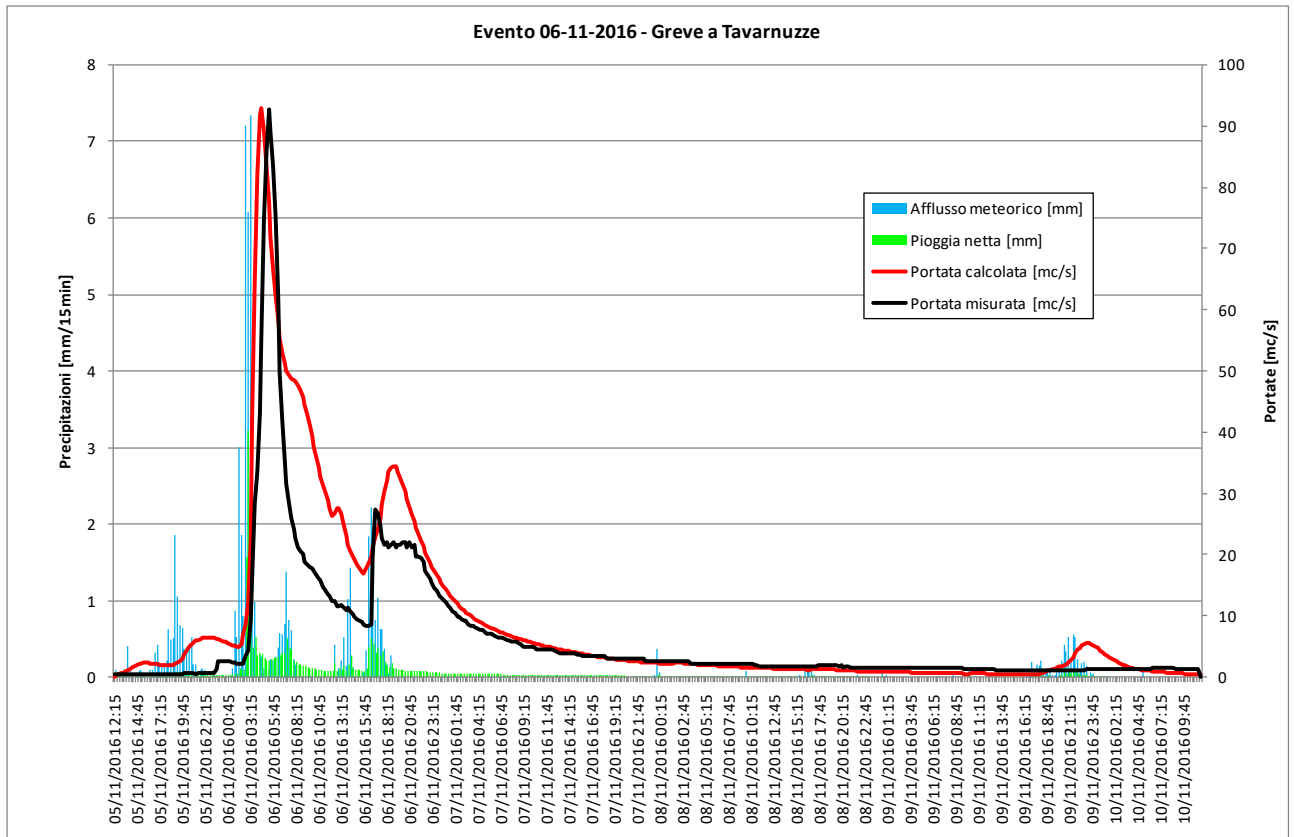


Figura 3-27 – Evento 06/11/2016, Greve a Tarnuzze

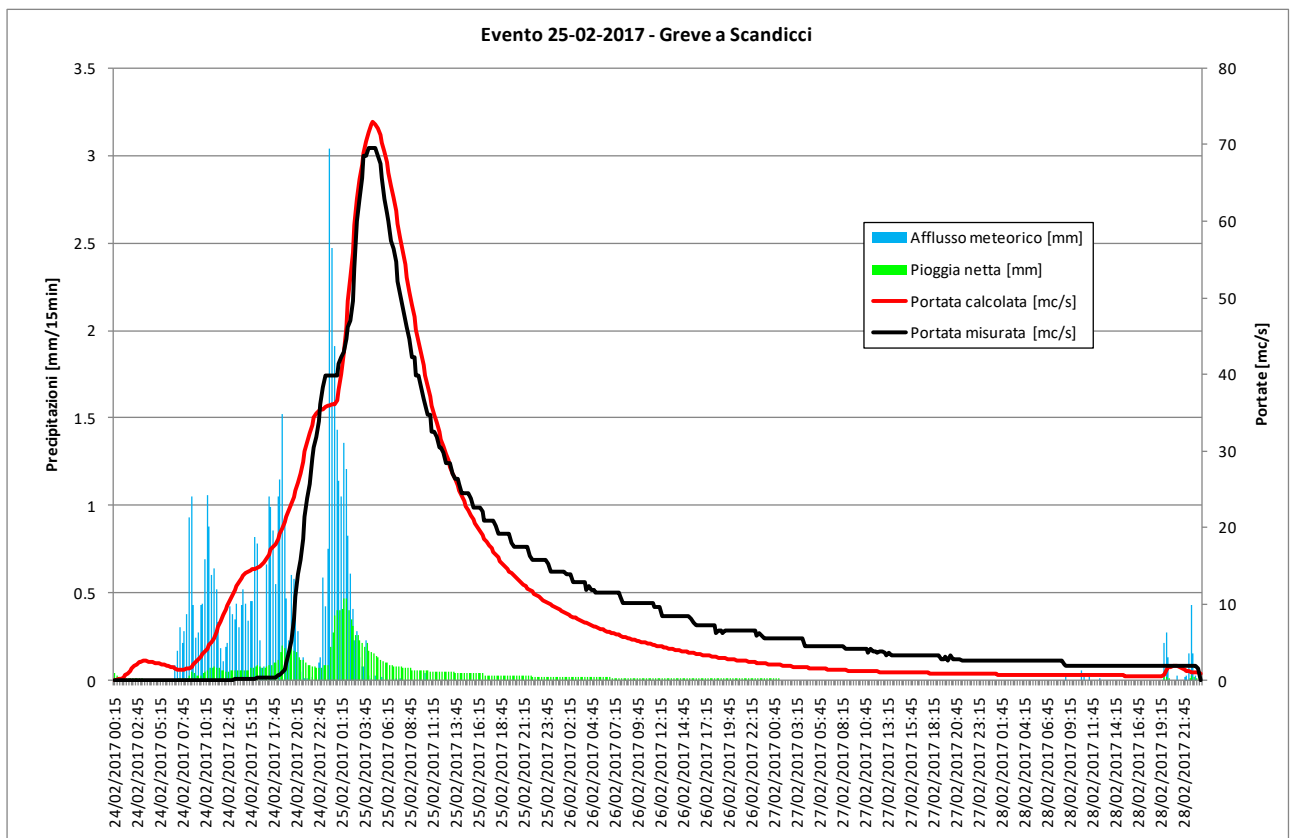


Figura 3-28 – Evento 25/02/2017, Greve a Scandicci

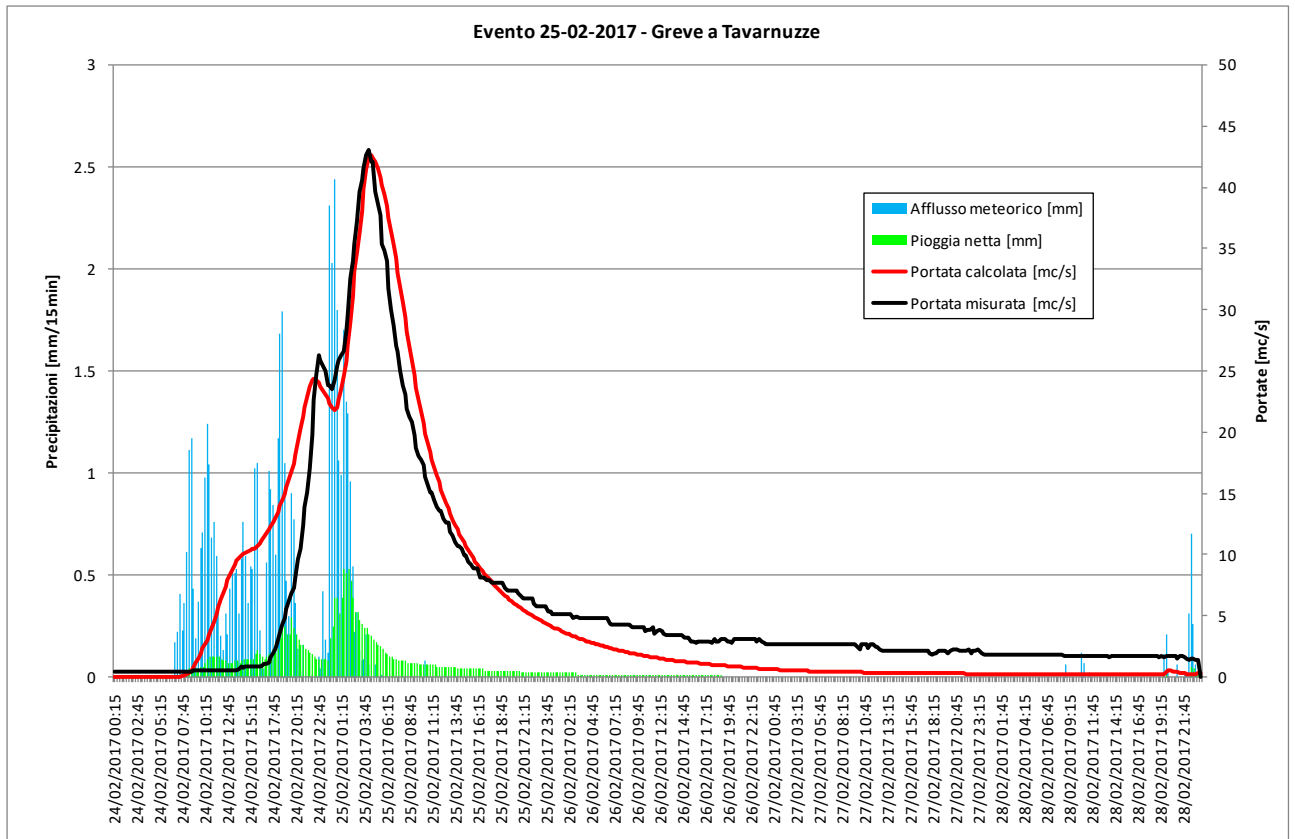


Figura 3-29 – Evento 25/02/2017, Greve a Tarnuzze

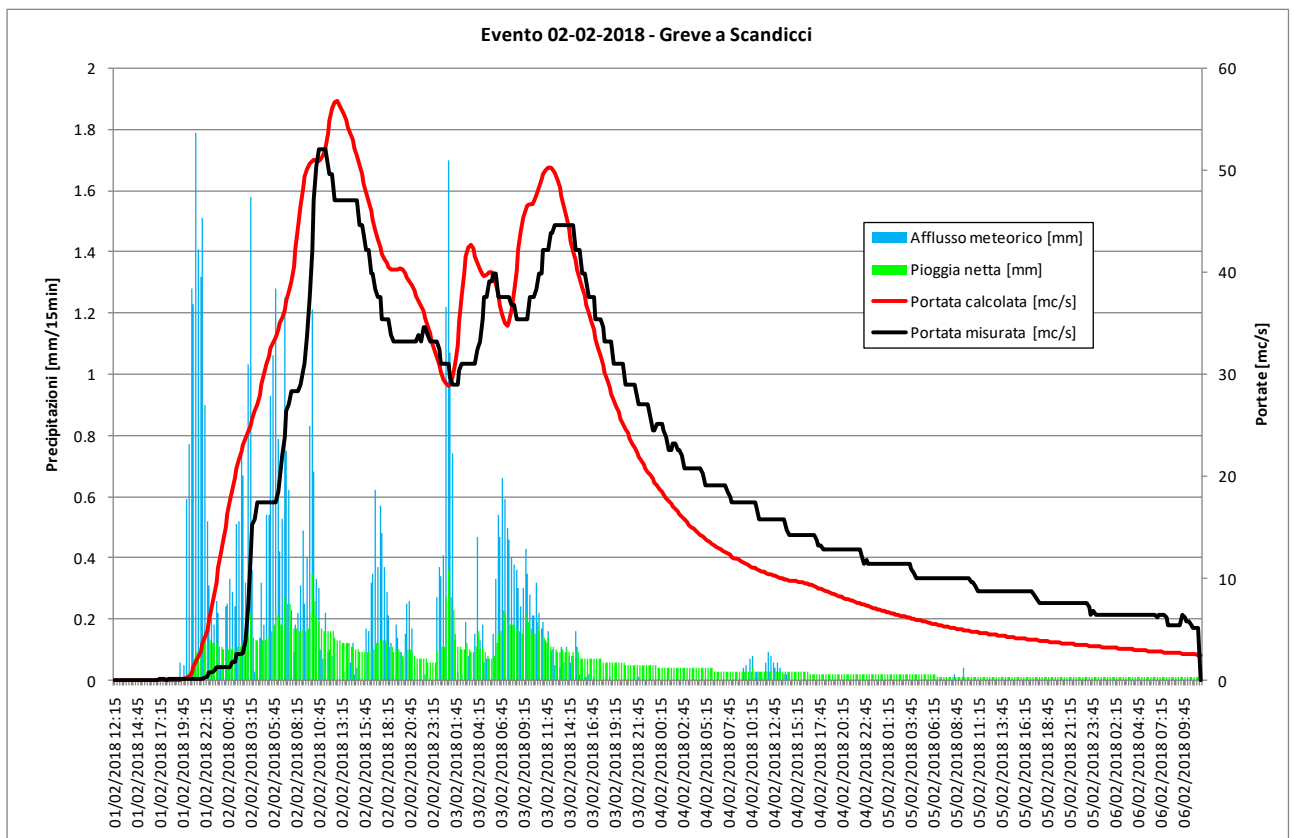


Figura 3-30 – Evento 25/02/2017, Greve a Scandicci

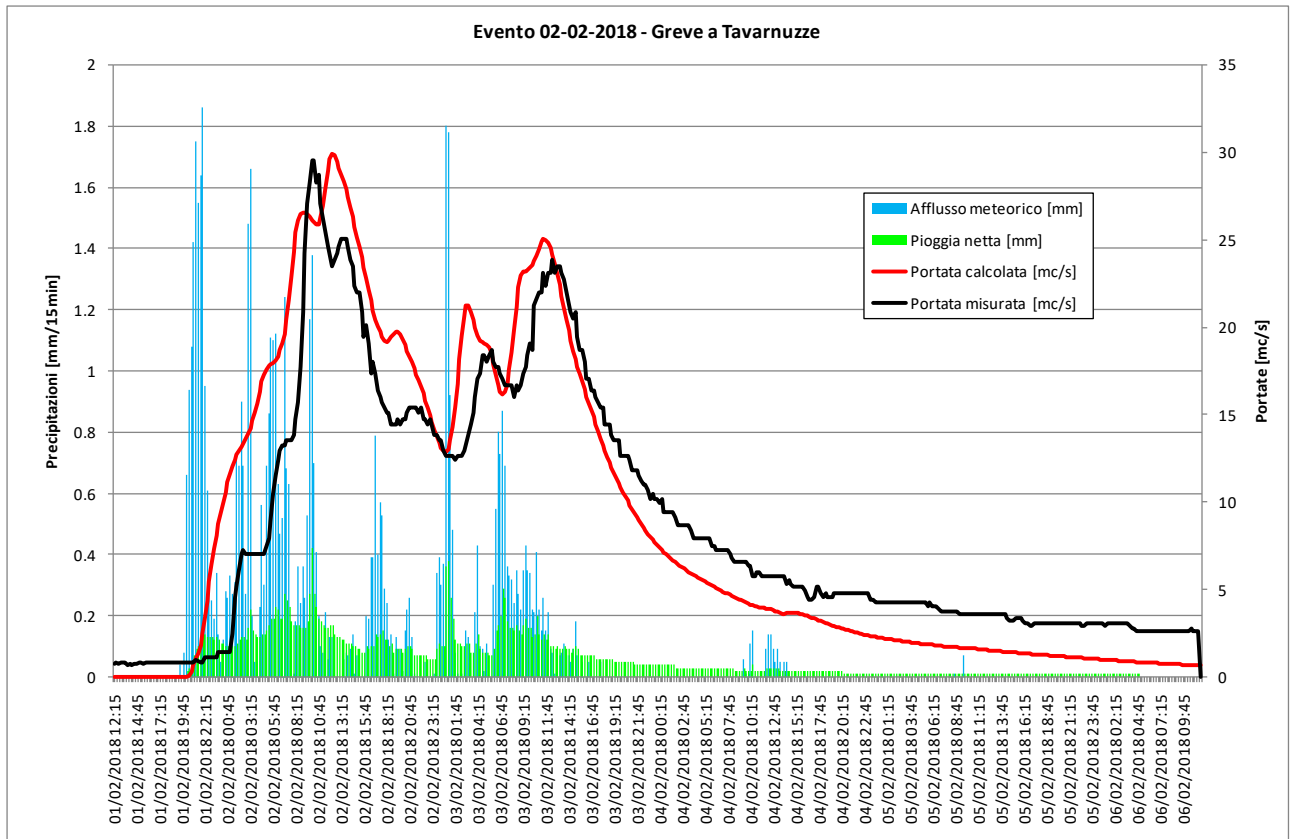


Figura 3-31 – Evento 25/02/2017, Greve a Tarnuzze

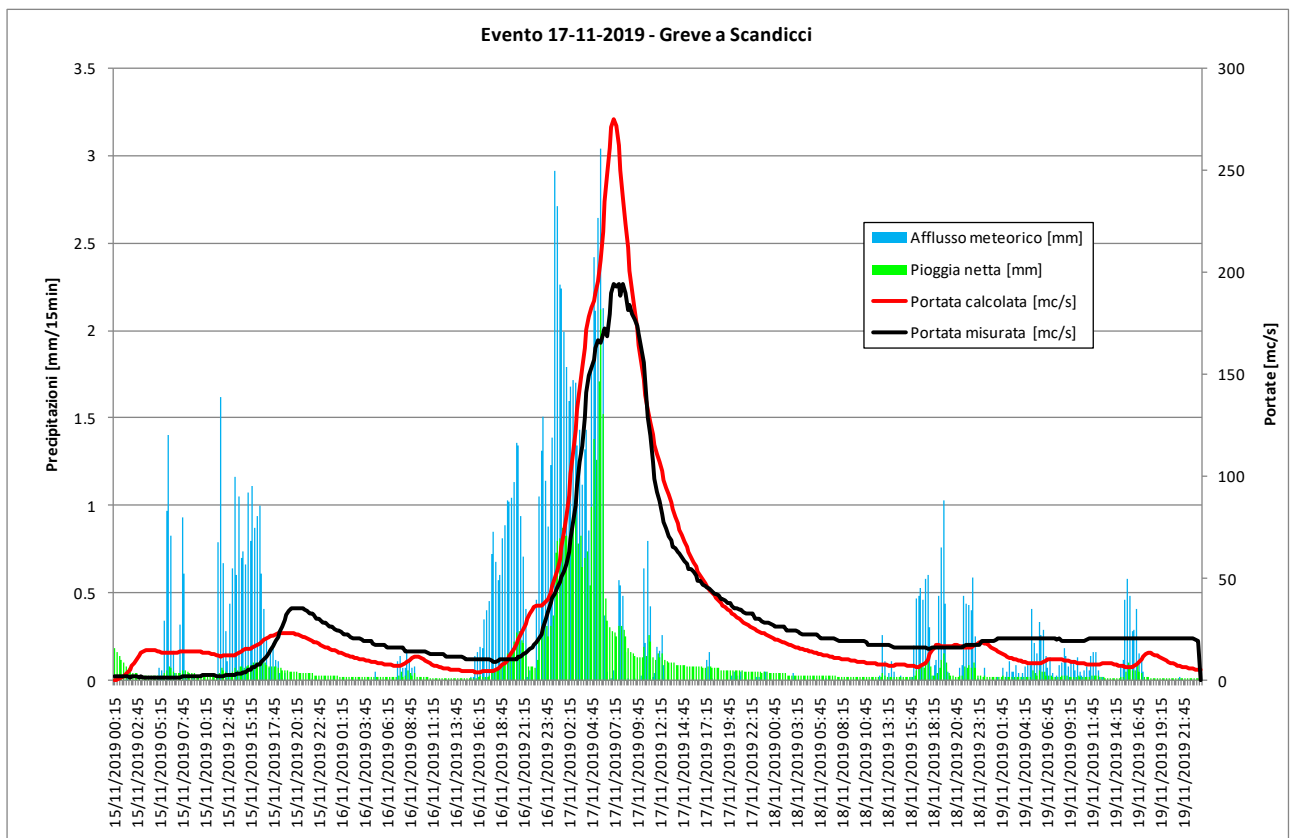


Figura 3-32 – Evento 17/11/2019, Greve a Scandicci

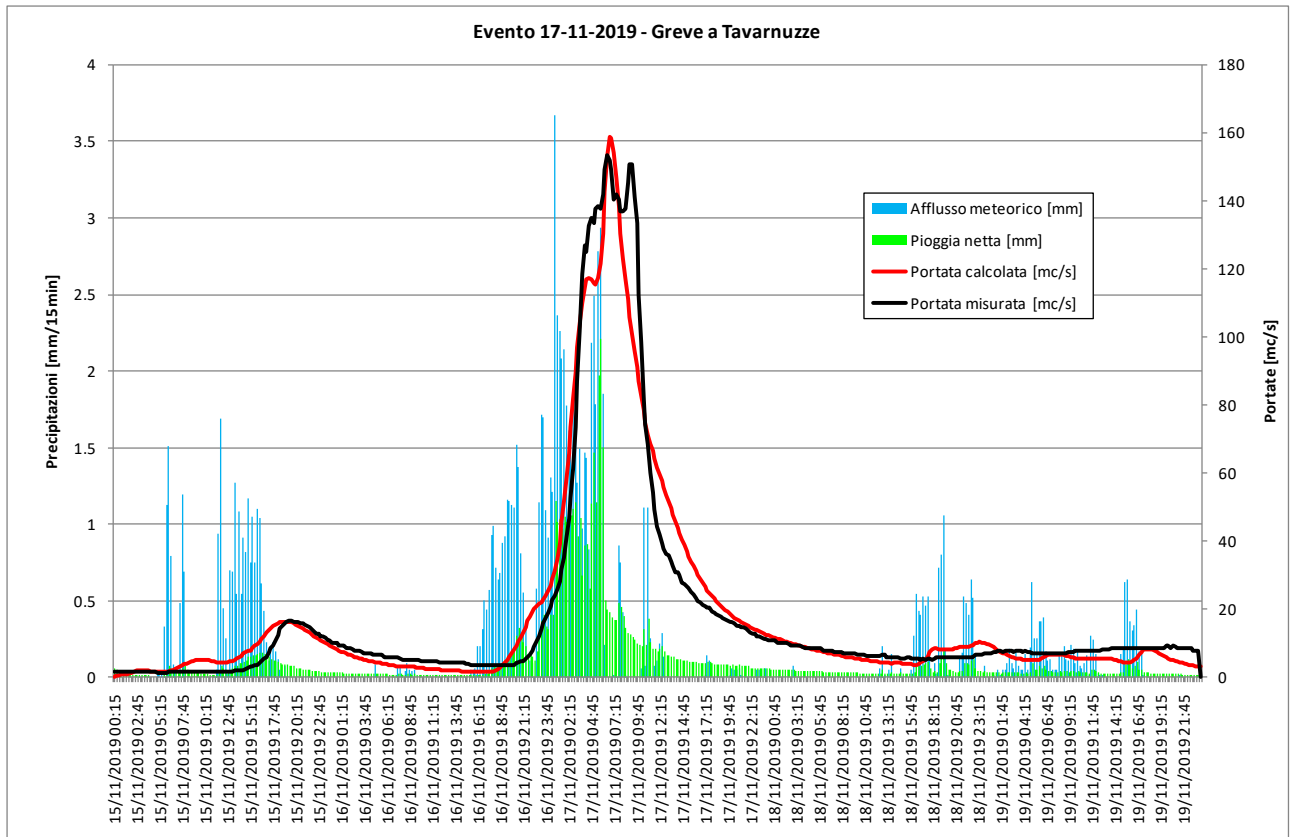


Figura 3-33 – Evento 17/11/2019, Greve a Tarnuzze

Idrometro	Data iniziale	Data finale	Saturazione	Infiltrazione	Ritenuta	Ipodermico	Velocità	Cinematico Invaso	CD misurato	CD calcolato	RMSE
Scandicci	23-12-2010 00:00	27-12-2010 23:45	0.18	0.00	1.00	0.05	1.85	0.35	0.77	0.77	0.98
Tavarnuzze	23-12-2010 00:00	27-12-2010 23:45	0.16	0.00	1.00	0.05	1.85	0.35	0.77	0.77	0.98
Scandicci	27-11-2012 12:00	02-12-2012 11:45	0.00	0.05	1.00	0.08	1.85	0.35	0.40	0.40	0.95
Tavarnuzze	27-11-2012 12:00	02-12-2012 11:45	0.25	0.05	1.00	0.08	1.85	0.35	0.45	0.45	0.89
Scandicci	10-03-2013 12:00	15-03-2013 11:45	0.30	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.68	0.68	0.98
Tavarnuzze	10-03-2013 12:00	15-03-2013 11:45	0.30	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.70	0.70	0.97
Scandicci	10-02-2014 00:00	14-02-2014 23:45	0.15	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.68	0.68	0.98
Tavarnuzze	10-02-2014 00:00	14-02-2014 23:45	0.15	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.63	0.63	0.98
Scandicci	28-10-2015 12:00	02-11-2015 11:45	0.00	0.10	1.00	0.08	1.85	0.35	0.15	0.20	0.97
Tavarnuzze	28-10-2015 12:00	02-11-2015 11:45	0.00	0.11	1.00	0.08	1.85	0.35	0.15	0.20	0.96
Scandicci	13-02-2016 12:00	18-02-2016 11:45	0.15	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.53	0.53	0.94
Tavarnuzze	13-02-2016 12:00	18-02-2016 11:45	0.10	0.02	1.00	0.08	1.85	0.35	0.42	0.42	0.94
Scandicci	26-02-2016 12:00	02-03-2016 11:45	0.10	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.61	0.61	0.95
Tavarnuzze	26-02-2016 12:00	02-03-2016 11:45	0.08	0.01	1.00	0.08	1.85	0.35	0.47	0.47	0.94
Scandicci	05-11-2016 12:00	10-11-2016 11:45	0.05	0.03	1.00	0.05	1.85	0.35	0.23	0.37	0.93
Tavarnuzze	05-11-2016 12:00	10-11-2016 11:45	0.14	0.03	1.00	0.05	1.85	0.35	0.29	0.41	0.91
Scandicci	24-02-2017 00:00	28-02-2017 23:45	0.08	0.03	1.00	0.08	1.85	0.35	0.35	0.35	0.95
Tavarnuzze	24-02-2017 00:00	28-02-2017 23:45	0.00	0.03	1.00	0.08	1.85	0.35	0.35	0.35	0.94
Scandicci	01-02-2018 12:00	06-02-2018 11:45	0.00	0.01	1.00	0.05	1.85	0.35	0.49	0.49	0.93
Tavarnuzze	01-02-2018 12:00	06-02-2018 11:45	0.00	0.02	1.00	0.05	1.85	0.35	0.44	0.44	0.93
Scandicci	15-11-2019 00:00	19-11-2019 23:45	0.30	0.05	1.00	0.08	1.85	0.35	0.42	0.42	0.98
Tavarnuzze	15-11-2019 00:00	19-11-2019 23:45	0.10	0.03	1.00	0.08	1.85	0.35	0.46	0.46	0.97
Media			0.12	0.03	1.00	0.07	1.85	0.35			

Tabella 3-8 – Parametri taratura

### 3.5 Congruenza con gli altri studi.

E' stata verificata la congruenza delle portate adottate per la verifica con gli studi condotti sul tratto di monte a cura del comune di San Casciano e sul tratto di valle a cura del comune di Scandicci.

Nella Figura 3-34 e nella Figura 3-35 si riporta il confronto tra gli idrogrammi dello studio di San Casciano per la durata di 4.0 ore e quelli dello studio di Impruneta al colmo per il fiume Greve a monte del torrente Calosina.

A fronte di una buona corrispondenza gli idrogrammi dello studio del comune di Impruneta risultano leggermente più cautelativi. A tale proposito si osserva che gli idrogrammi dello studio del comune di San Casciano derivano dal modello idraulico e quindi possono risentire degli effetti di laminazione delle esondazioni nel tratto di monte.

Nella Figura 3-36 e nella Figura 3-37 si riporta il confronto tra gli idrogrammi a valle della confluenza del torrente Ema utilizzati nello studio di Scandicci per la durata di 6.0 ore e nello studio del comune di Impruneta al colmo.

Gli idrogrammi risultano del tutto equivalenti.

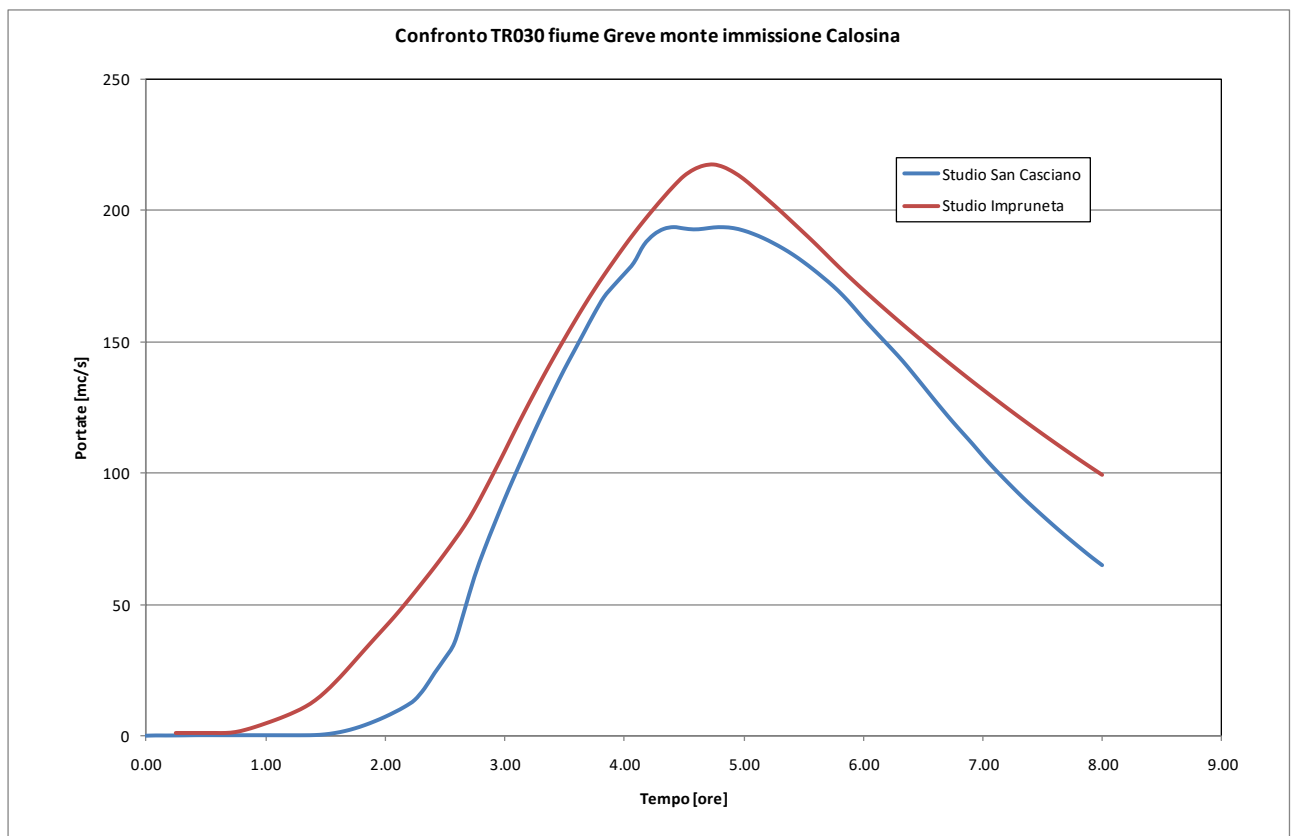


Figura 3-34 – Confronto studio San Casciano – studio Impruneta Tr 030

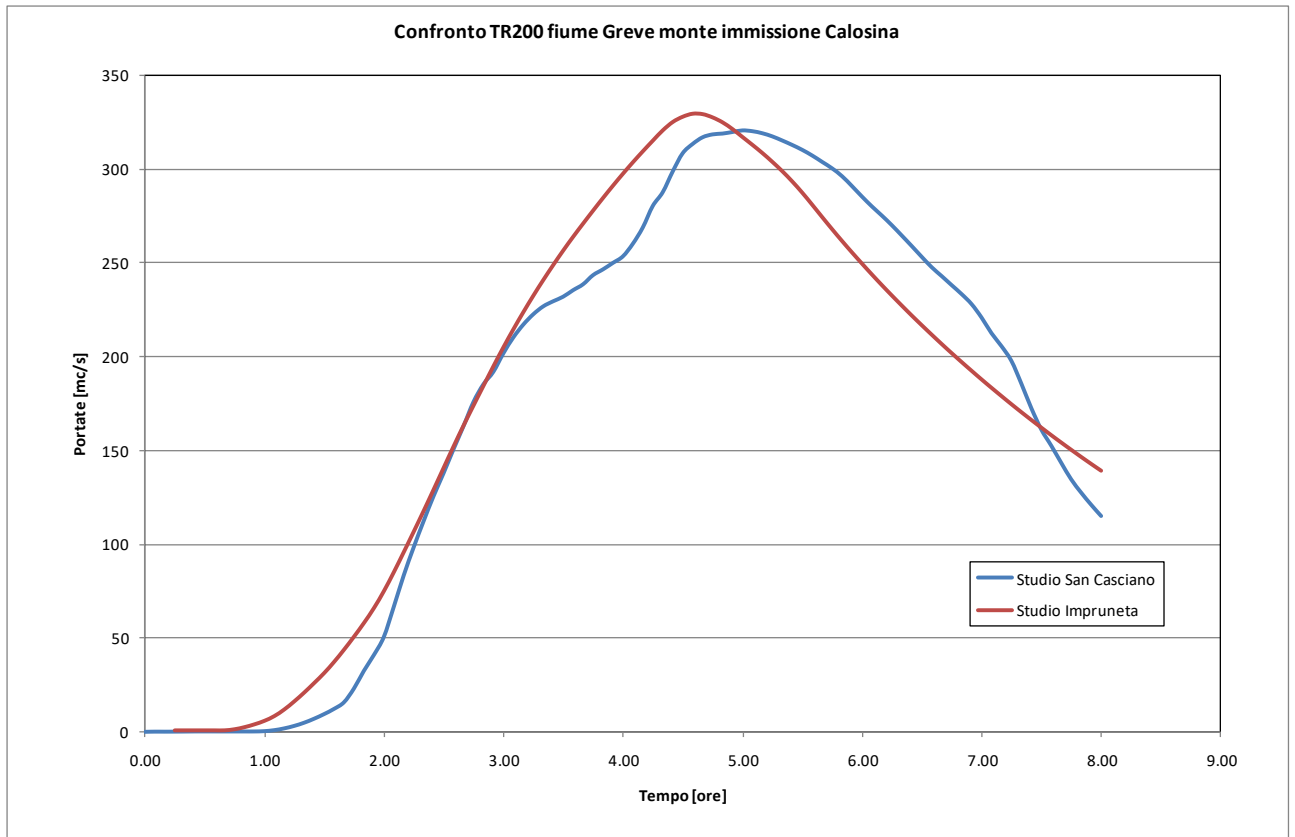


Figura 3-35 – Confronto studio San Casciano – studio Impruneta Tr 200

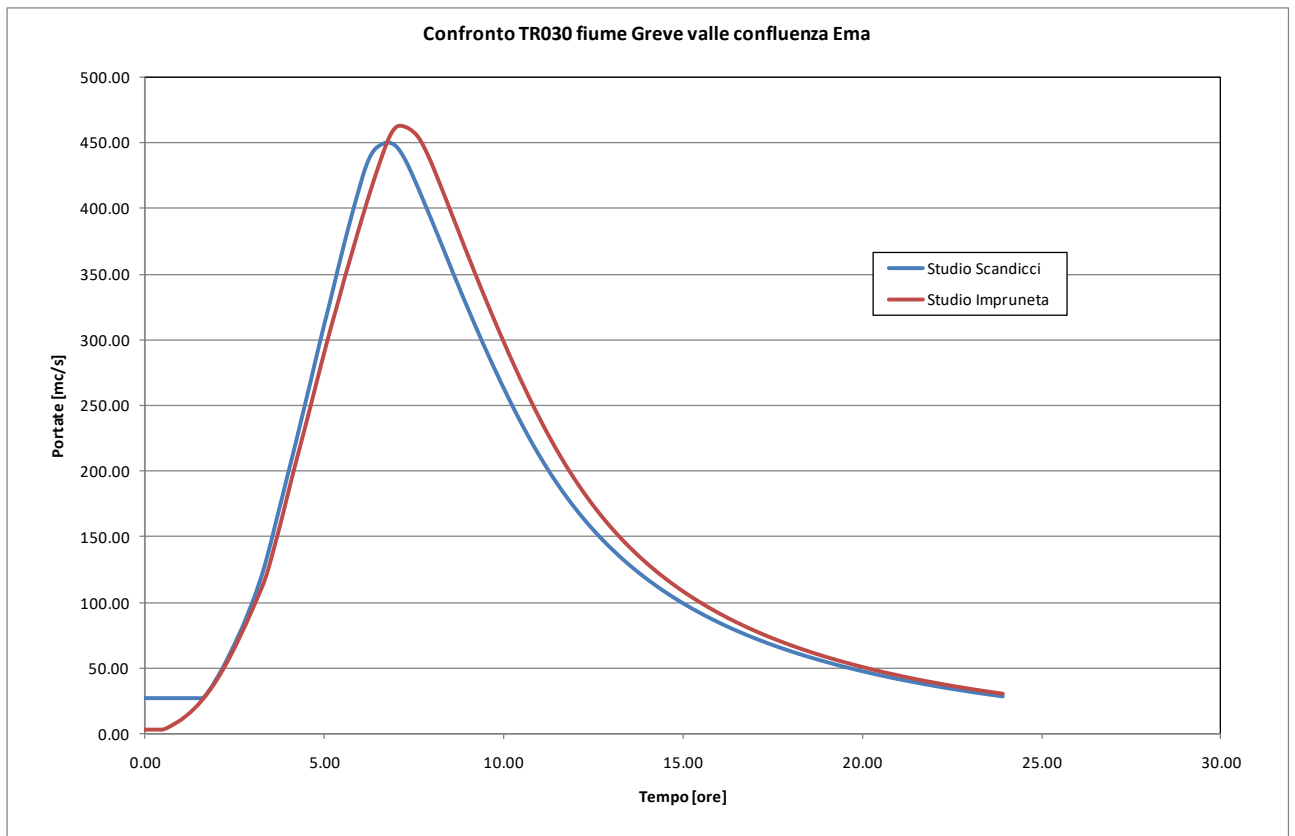


Figura 3-36 – Confronto studio Scandicci – studio Impruneta Tr 030

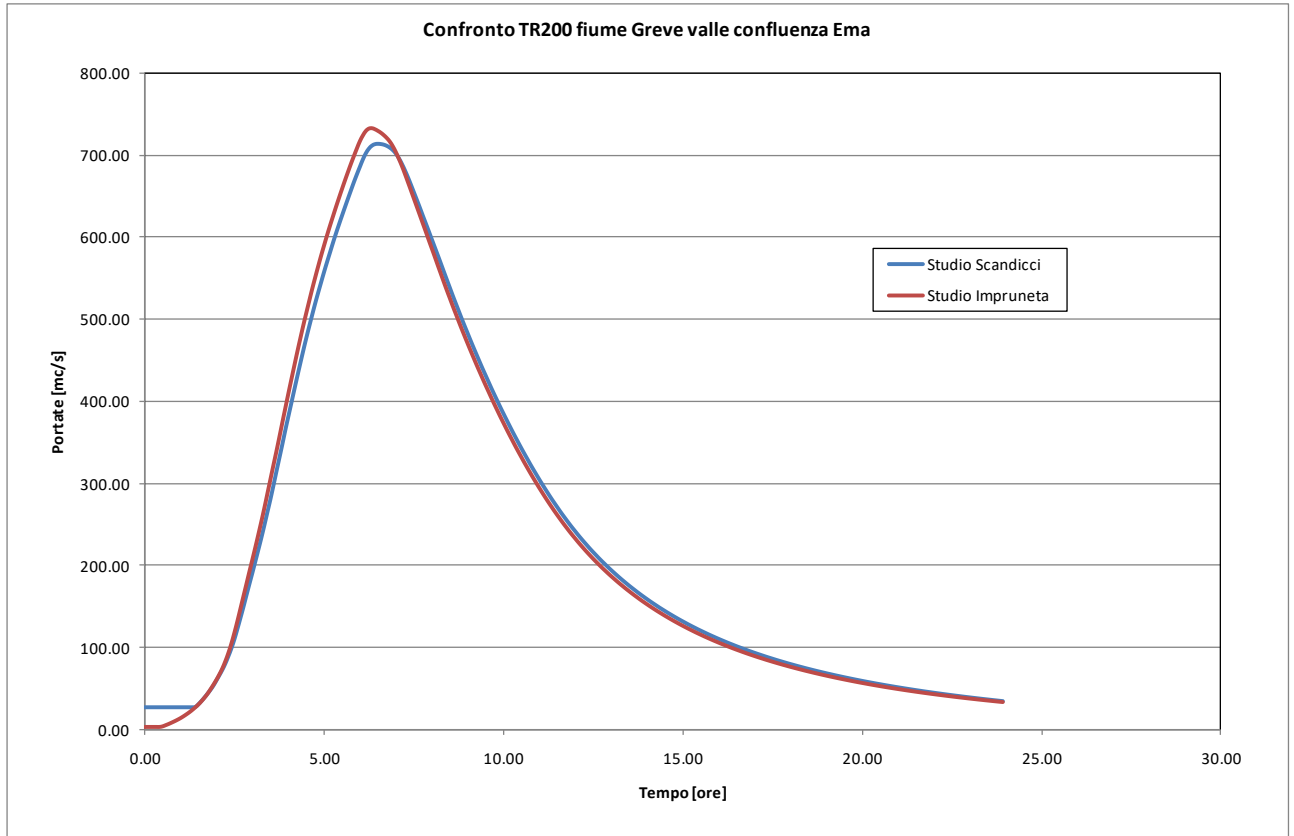


Figura 3-37 – Confronto studio Scandicci – studio Impruneta Tr 200



## **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.

- *Mapa 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.
- *Mapa degli ordini idrologici*: la mapa 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.
- *Mapa dei tempi di trasferimento*: la mapa 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.
- *Mapa della velocità di filtrazione a saturazione*: la mapa di infiltrazione a saturazione è espressa in [mm/h]. Tale mapa viene di norma calcolata in funzione della geolitologia del bacino e dell'uso del suolo sulla base di opportune tabelle di correlazione.
- *Mapa della capacità di ritenuta*: la mapa della capacità di ritenuta è espressa in [mm]. Tale mapa viene di norma calcolata in funzione della geolitologia del bacino e dell'uso del suolo sulla base di opportune tabelle di correlazione.
- *Mapa del Curve Number*: la mapa contiene i valori del numero di curva per il calcolo della precipitazione netta secondo il metodo del *Curve Number*. Se è presente questa mapa non sono necessarie le due mappe precedenti.
- *Mapa dei topoieti*: la mapa 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 mapa 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*.

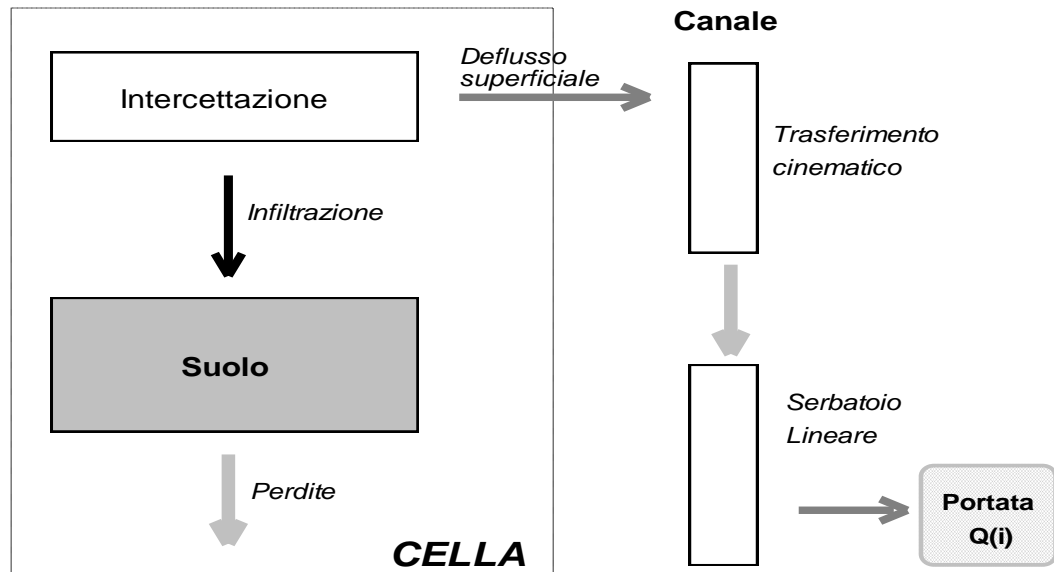
Le curve di possibilità pluviometrica sono archiviate nel file relativo che contiene le seguenti informazioni:

- 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
$P_{i_k}$	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)	[/]
$\theta_o$	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,  $P_{i_k}$  [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:

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

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

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



- 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  $1/\tau_i$  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) [/]

$RI$  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 [/]

### **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*.

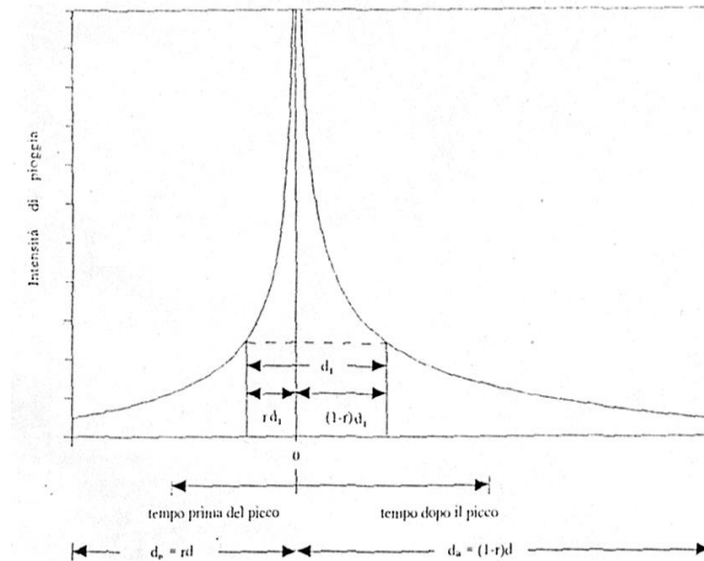
Lo ietogramma Chicago prevede la seguente formulazione per la parte antecedente e successiva al picco di intensità della precipitazione:

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

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

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.