

COMUNE DI PONSACCO COMUNE DI TERRICCIOLA

Provincia di Pisa

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL FIUME ERA E DEGLI AFFLUENTI CASCINA E ROGLIO

STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Committente:

Comune di Ponsacco
Piazza Valli, 8
56038 - Ponsacco (PI)



Comune di Terricciola
Via Roma, 37
56030 - Terricciola (PI)



Progettazione:



H.S. INGEGNERIA srl

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

Dott. Ing. SIMONE POZZOLINI

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze n.4325

Dott. Ing. PAOLO PUCCI

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Firenze n.4824

Collaboratori:

Ing. Giordano Rosadoni

CODICE elaborato	ANNO 2020	LIVELLO IDR	PROG 024	TIPO REL	NUMERO 001
OGGETTO	Relazione idrologica e idraulica				

Scala	-
Data emissione	Aprile 2021
Data emissione revisione	-

04					
03					
02					
01	Approfondimenti Torrente Roglio	GR	PP	SP	Aprile 2021
00	Prima emissione elaborato	GR	PP	SP	Novembre 2020
REVISIONE	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DATA

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

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	2
2. STUDI PREGRESSI SUL BACINO DELL'ERA.....	3
3. RELAZIONE IDROLOGICA.....	4
3.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio e discretizzazione del modello idrologico</i>	4
3.2. <i>Definizione degli afflussi</i>	8
3.2.1. <i>LSPP adottate per la stima degli eventi trentennali e duecentennali</i>	8
3.2.2. <i>Ietogramma di progetto e fattore di ragguglio per gli eventi trentennali e duecentennali</i>	12
3.3. <i>Le perdite di bacino: metodo CN del SCS</i>	17
3.4. <i>Trasformazione afflussi netti-deflussi</i>	24
3.4.1. <i>Modello di Clark</i>	24
3.4.2. <i>Modello Kinematic Wave</i>	26
3.5. <i>Propagazione dei deflussi</i>	29
3.6. <i>Modellazione delle casse di espansione su Era e Cascina: elementi diversion e reservoir</i> ..	30
3.7. <i>Taratura del modello idrologico</i>	32
3.7.1. <i>Eventi pluviometrici di riferimento</i>	34
3.7.1.1. <i>Evento del 10 settembre 2017</i>	40
3.7.1.2. <i>Evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014</i>	42
3.7.2. <i>Valutazione delle perdite idrologiche per gli eventi di taratura</i>	45
3.7.3. <i>Scelta dei parametri della trasformazione afflussi netti-deflussi</i>	46
3.7.4. <i>Parametri di calcolo della propagazione dei deflussi</i>	47
3.7.5. <i>Risultati della calibrazione del modello idrologico</i>	47
3.7.5.1. <i>Evento del 10 settembre 2017</i>	47
3.7.5.2. <i>Evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014</i>	49
3.8. <i>Gli eventi sintetici di progetto per Tr30 e 200 anni</i>	54
4. RELAZIONE IDRAULICA.....	64
4.1. <i>Modello matematico a moto vario monodimensionale</i>	64
4.2. <i>Modello di calcolo a moto vario bidimensionale</i>	65
4.3. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico</i>	66
4.4. <i>Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata</i>	69
4.5. <i>Criteri di modellazione di ponti e tombini</i>	72
4.6. <i>Condizioni al contorno e idrogrammi di piena</i>	72
4.7. <i>Impostazioni di calcolo</i>	74
4.8. <i>Scenari di calcolo</i>	74
4.9. <i>Risultati delle modellazioni idrauliche</i>	75

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

1. PREMESSA

La presente indagine idrologica ed idraulica è redatta ai fini dell'aggiornamento della pericolosità idraulica del torrente Roglio e dei fiumi Era e Cascina, facenti parte del reticolo principale del Piano Gestione Rischio Alluvioni del Distretto Appennino Settentrionale.

La modellazione idrologica ha interessato l'intero bacino del fiume Era. Il tratto preso in esame per la modellazione idraulica dell'Era inizia circa 1.5 km a monte della confluenza con il torrente Sterza, e si estende fino allo sbocco in Arno. Il torrente Roglio è stato modellato nel tratto compreso fra l'idrometro di Forcoli (posto sull'attraversamento in Via Roma) e la confluenza con il Fiume Era. La pericolosità del Roglio nei tratti più a monte è già stata indagata ed assunta a quadro conoscitivo di PGRA nell'ambito dello "Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli". Per il Cascina il tratto di modellazione inizia poco a valle della frazione di Soianella, nel Comune di Terricciola (PI), fino allo sbocco in Era.

I presenti studi sono redatti a supporto sulla base di distinti incarichi del Comune di Ponsacco (Pi) e di Terricciola (Pi), nell'ambito dell'aggiornamento dei propri strumenti urbanistici.

La modellazione idrologica è stata effettuata con il software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System). Il modello idrologico redatto, di tipo semi-distribuito, è stato tarato sulla base del confronto tra idrogrammi simulati e registrati relativi ad eventi di piena significativi per il Cascina e per l'Era.

Sulla base del modello tarato sono stati valutati gli idrogrammi di massima piena attesi nei tratti di interesse dei corsi d'acqua da analizzare per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica nelle aree di interesse. I tempi di ritorno assunti nell'analisi idrologica sono pari a 30 e 200 anni, conformemente alle indicazioni del PGRA.

Gli idrogrammi scaturiti dall'analisi idrologica sono stati infine implementati nel software di modellazione idraulica HEC-RAS, effettuando un'analisi a moto vario monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree golenali.

A seguire vengono descritte le analisi condotte.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

2. STUDI PREGRESSI SUL BACINO DELL'ERA

Nella presente analisi sono stati presi in esame i dati di base già riportati nell'ambito dei seguenti studi:

- *Verifica di fattibilità di area vasta per la messa in sicurezza idraulica della Val d'Era. Studio idrologico idraulico del bacino del fiume Era, Prof. S. Pagliara su incarico della Provincia di Pisa, 2004. Sulla base di tale studio la Provincia di Pisa ha condotto la progettazione delle casse di espansione sull'Era E4, Peccioli, Selvatelle e La Bianca.*
- *aggiornamento della modellazione idrologica del bacino del fiume Era di cui al precedente punto e modellazione idraulica del tratto terminale del fiume Era condotta dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa nell'ambito degli studi propedeutici alla progettazione delle casse E1 ed E2 sul bacino dell'Era;*
- *Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli, redatto nel 2018 da H.S. ingegneria su incarico del Comune di Peccioli, ed interessante in particolare il torrente Roglio, uno degli affluenti principali dell'Era.*

Nell'ambito del presente lavoro si è provveduto ad assumere come base di partenza la modellazione idrologica aggiornata redatta dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa in ambiente HMS, integrata con le valutazioni relative al torrente Roglio effettuate nell'ambito del PO di Peccioli. Sul modello di partenza sono state effettuate alcune modifiche sulla base delle analisi condotte per la taratura del modello idrologico.

Per la modellazione idraulica si è partiti dal modello in ambiente HEC-RAS del tratto terminale dell'Era sviluppato negli studi per la valutazione di fattibilità delle casse E1 ed E2 sul bacino dell'Era. Il modello di partenza è stato opportunamente modificato ed esteso al fine di descrivere in dettaglio l'estensione delle aree di esondazione. E' stata inoltre aggiunta l'asta del torrente Roglio e del Fiume Cascina in modo da creare un unico modello HEC-RAS.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

3. RELAZIONE IDROLOGICA

Scopo della presente relazione idrologica è quello di provvedere alla stima delle portate trentennali e duecentennali del fiume Era e dei suoi principali affluenti alla luce di una preliminare taratura del modello idrologico sulla base dei dati relativi a 2 eventi pluviometrici significativi occorsi per il bacino in esame nel periodo 2014-2017:

- I. evento dei giorni 30/1-1/2/2014, di interesse per il bacino dell'Era;
- II. evento del giorno 10/9/2017, di interesse per il bacino del Cascina;

La taratura del modello idrologico è stata effettuata con il software HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) del US Army Corps of Engineers.

Il modello idrologico implementato per il fiume Era è di tipo semi distribuito, per cui il bacino globale è stato suddiviso nei suoi principali sottobacini. L'input meteorico relativo a ciascun sottobacino per gli eventi di taratura è stato ricostruito con il metodo dei poligoni di Thiessen per ciascuno degli eventi meteorici considerati, sulla base delle altezze di pioggia registrate dalle stazioni pluviometriche adottate nel presente studio.

La pioggia netta è stata calcolata adottando il modello di calcolo delle perdite sviluppato dal Soil Conservation Service - SCS (oggi denominato Natural Resources Conservation Service – NRCS) e basato sul parametro adimensionale Curve Number (CN). Per ciascuno degli eventi meteorici il valore appropriato di CN è stato definito sulla base delle condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico.

La trasformazione afflussi netti – deflussi è stata effettuata con il modello dell'idrogramma unitario di Clark e con il modello Kinematic Wave per gli interbacini.

I deflussi in uscita dai singoli sottobacini vengono propagati verso valle con il metodo di Muskingum-Cunge, fino ad ottenere gli idrogrammi di piena nelle sezioni di interesse.

Una volta effettuata la taratura del modello idrologico, tale modello è stato adottato per la valutazione delle massime portate e degli idrogrammi di massima piena attesi nei tratti di interesse dei corsi d'acqua da analizzare per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica nelle aree di interesse. A tal fine si sono fornite in ingresso al modello piogge distribuite a griglia (*gridded precipitation* su HMS). I tempi di ritorno assunti nell'analisi idrologica sono pari a 30 e 200, conformemente alle indicazioni del PGRA.

Si precisa che, per quanto riguarda il bacino del torrente Roglio chiuso all'idrometro di Forcoli, sono stati usati lo stesso modello idrologico e gli stessi parametri utilizzati nell'ambito dello "*Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli*" redatto dalla scrivente società ed approvato dagli enti competenti.

Nei paragrafi seguenti, una volta definite le principali caratteristiche dei bacini oggetto di studio, vengono riportati i fondamenti teorici dei metodi di calcolo alla base della modellazione condotta. Vengono infine riportati i parametri adottati per la modellazione idrologica di taratura e per le modellazioni ai fini della stima delle portate massime trentennali e duecentennali.

3.1. Caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio e discretizzazione del modello idrologico

Il bacino idrografico oggetto di studio è quello complessivo del Fiume Era, chiuso alla sua sezione terminale.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

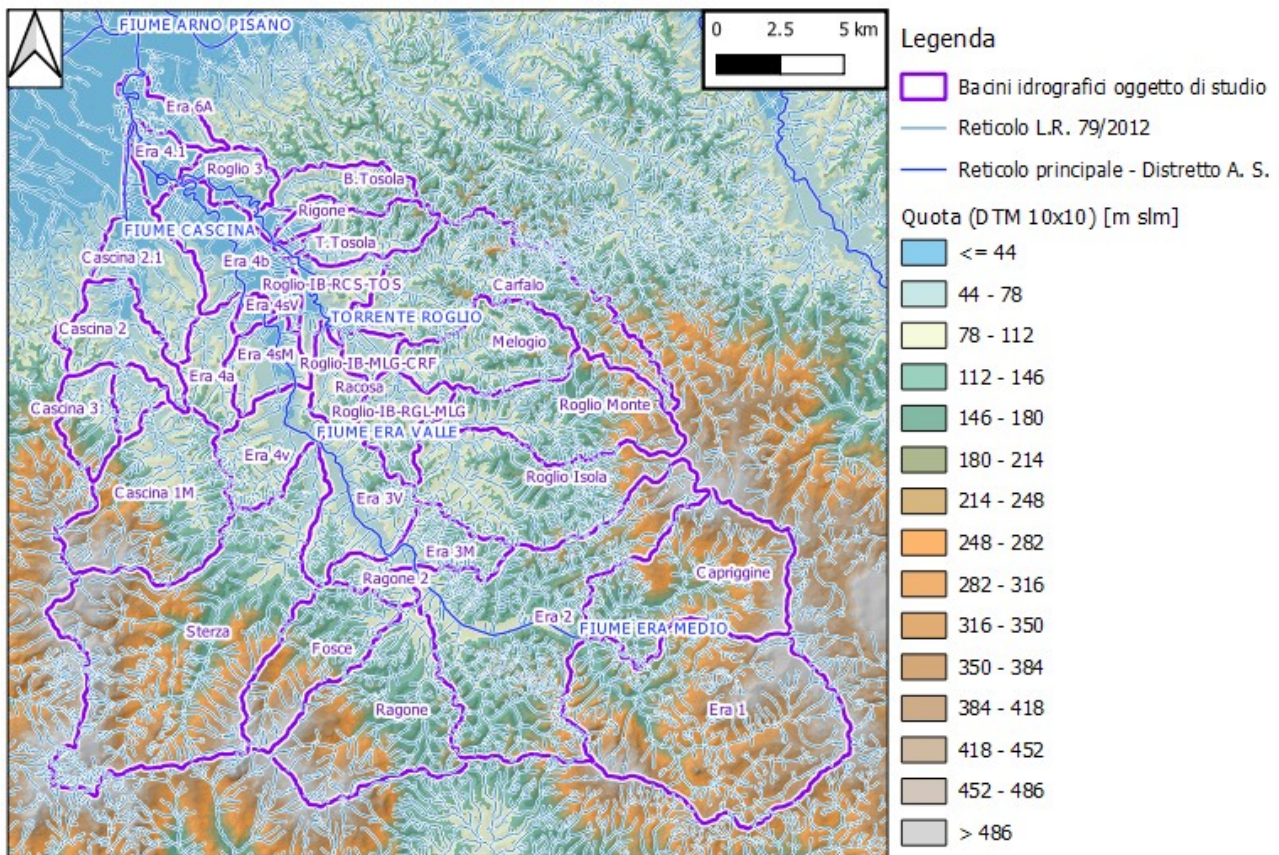


Figura 3.1: Planimetria del bacino del Fiume Era, con indicazione dei bacini idrografici individuati (in viola), del reticolo di cui alla L.R. 79/2012 (in celeste) e del reticolo principale del Distretto Appennino Settentrionale (in blu)

Il bacino idrografico oggetto di studio ha un'estensione di circa 590 km². La suddivisione in sottobacini di calcolo (Figura 3.1) è avvenuta a partire dal modello idrologico del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, con alcune modifiche minori legate ad una diversa discretizzazione dei sottobacini del Cascina e dell'Era. Le modifiche apportate sono state effettuate sulla base dell'analisi della Carta Tecnica della Regione Toscana (in scala 1:2000 e 1:10000) e del DTM (Digital Terrain Model) 10m x 10m della Regione Toscana.

La Figura 3.2 riporta l'andamento delle pendenze medie, desunte sulla base del DTM 10m x 10m attraverso strumenti GIS di analisi geomorfologica.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

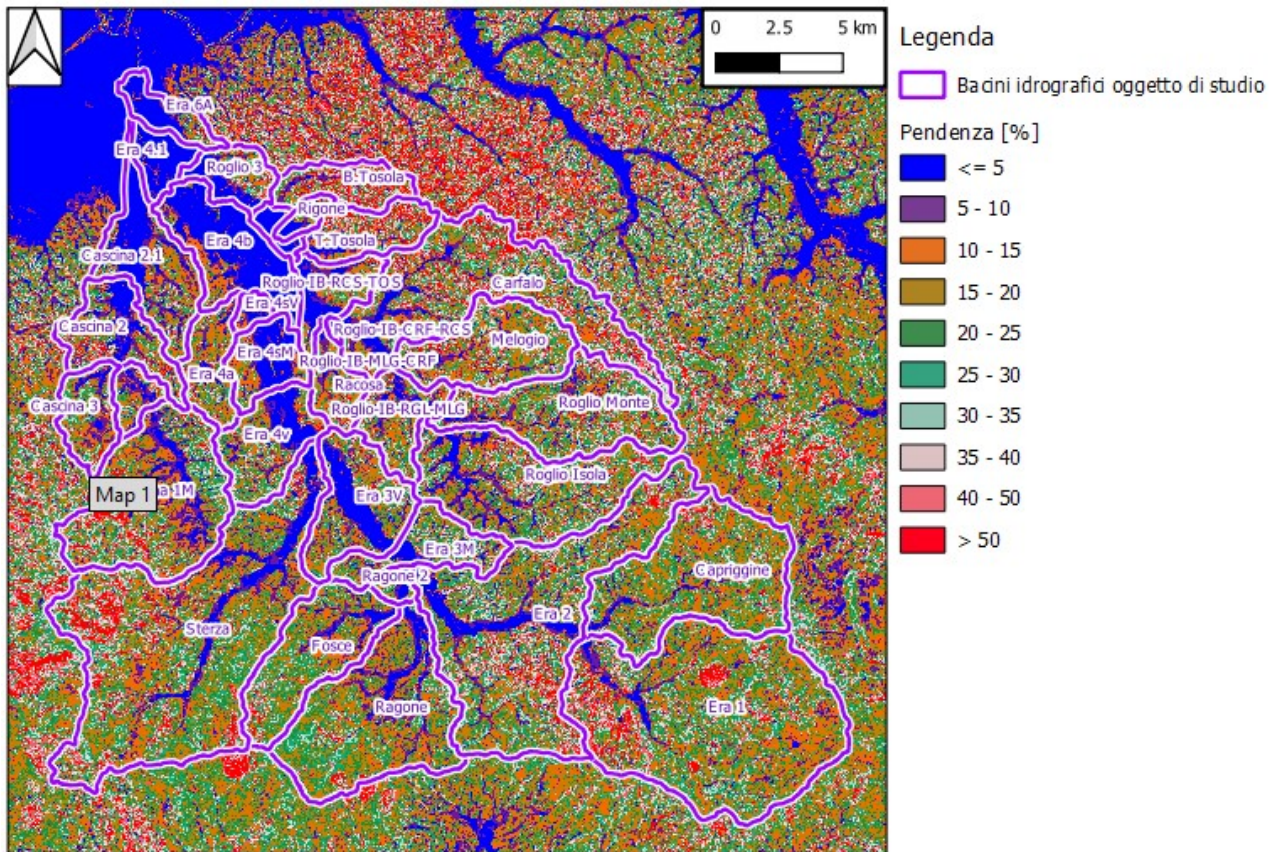


Figura 3.2: Pendenza media all'interno dei sottobacini individuati.

Le aree dei sottobacini idrografici oggetto di studio sono riportate in Tabella 3.1.

Bacino	A [km²]
B.Tosola	8.04
Capriggine	32.93
Carfalo	33.84
Cascina 1M	31.67
Cascina 1V	3.94
Cascina 2	12.20
Cascina 2.1	15.70
Cascina 3	7.70
Era 1	62.36
Era 2	53.38
Era 3M	10.08
Era 3V	16.12
Era 4a	8.29
Era 4b	16.25
Era 4sM	7.94
Era 4sV	1.76

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Era 4v	12.81
Era 4.1	5.03
Era 6A	5.00
Fosce	19.03
Melogio	17.60
Racosa	6.02
Ragone	33.23
Ragone 2	2.07
Rigone	2.03
Roglio Isola	30.37
Roglio Monte	24.04
Roglio 3	6.38
Roglio-IB-CRF-RCS	0.40
Roglio-IB-MLG-CRF	3.66
Roglio-IB-RCS-TOS	7.61
Roglio-IB-RGL-MLG	9.31
Roglio-IB-RIG-IDR	1.32
Roglio-IB-TOS-RIG	0.86
Sterza	71.52
T.Tosola	9.08

Tabella 3.1: aree dei bacini idrografici oggetto di studio.

La Figura 3.3 riporta la schematizzazione del modello idrologico implementato in ambiente HEC-HMS. La junction *J11* è quella corrispondente all'idrometro di Ponsacco sul Cascina, mentre la junction *J13* è quella relativa all'idrometro di Belvedere. Per un maggior dettaglio sulla schematizzazione del modello idrologico implementato, si rimanda alla tavola allegata con la planimetria di modellazione idrologica.

PROGETTO: Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	ELABORATO: Relazione idrologica e idraulica
---	--

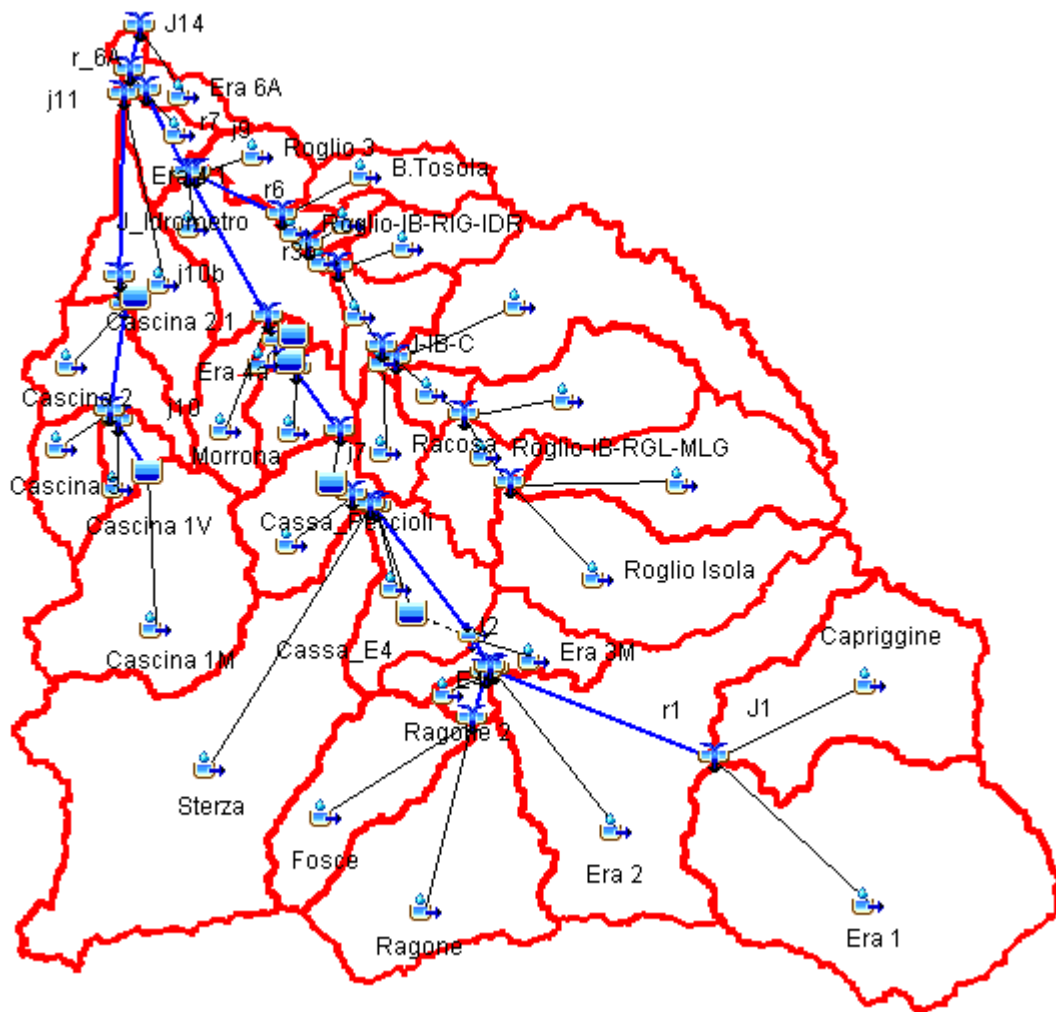


Figura 3.3: Schematizzazione del modello idrologico del Fiume Era in ambiente HMS

3.2. Definizione degli afflussi

3.2.1. LSPP adottate per la stima degli eventi trentennali e duecentennali

La stima delle piogge intense è stata effettuata ricorrendo al modello TCEV, con riferimento alle curve di possibilità pluviometrica dedotte nell'ambito dell' "Accordo di Collaborazione Scientifica RT-UNIFI - Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme", di cui alla DGRT 1133/2012 e basata sulle elaborazioni dei dati di pioggia aggiornati fino al 2012.

Il modello a doppia componente TCEV interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima relativa agli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi, e la seconda agli eventi massimi straordinari, meno frequenti e spesso catastrofici. La distribuzione TCEV ha espressione:

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

dove $P(x)$ indica la probabilità di non superamento del valore x della generica variabile casuale X mentre λ_i e θ_i ($i=1,2$) sono i quattro parametri (positivi) della distribuzione.

La forma canonica della distribuzione è:

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

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

I parametri della distribuzione sono stati stimati seguendo un approccio gerarchico di regionalizzazione.

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500. Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n , grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500. I parametri a ed n sono forniti mediante una griglia in formato raster con risoluzione 1 km x 1 km.

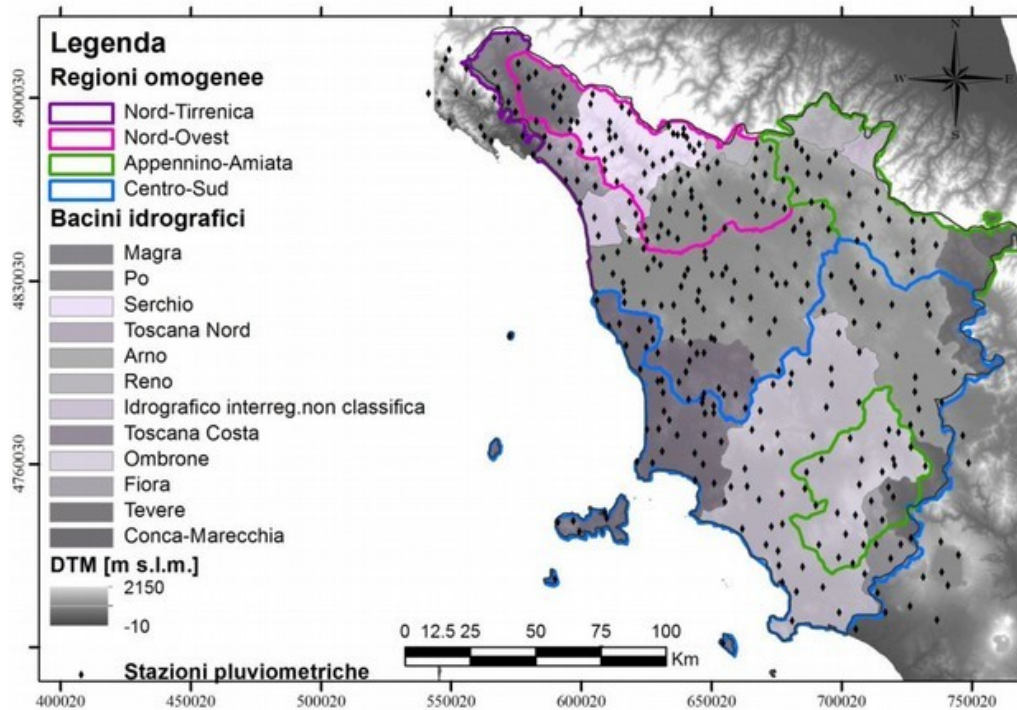


Figura 3.4: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee.

I tempi di ritorno presi in considerazione nel presente studio sono pari a 30 e 200 anni.

Le figure seguenti riportano la distribuzione spaziale dei parametri a ed n per i tempi di ritorno suddetti.

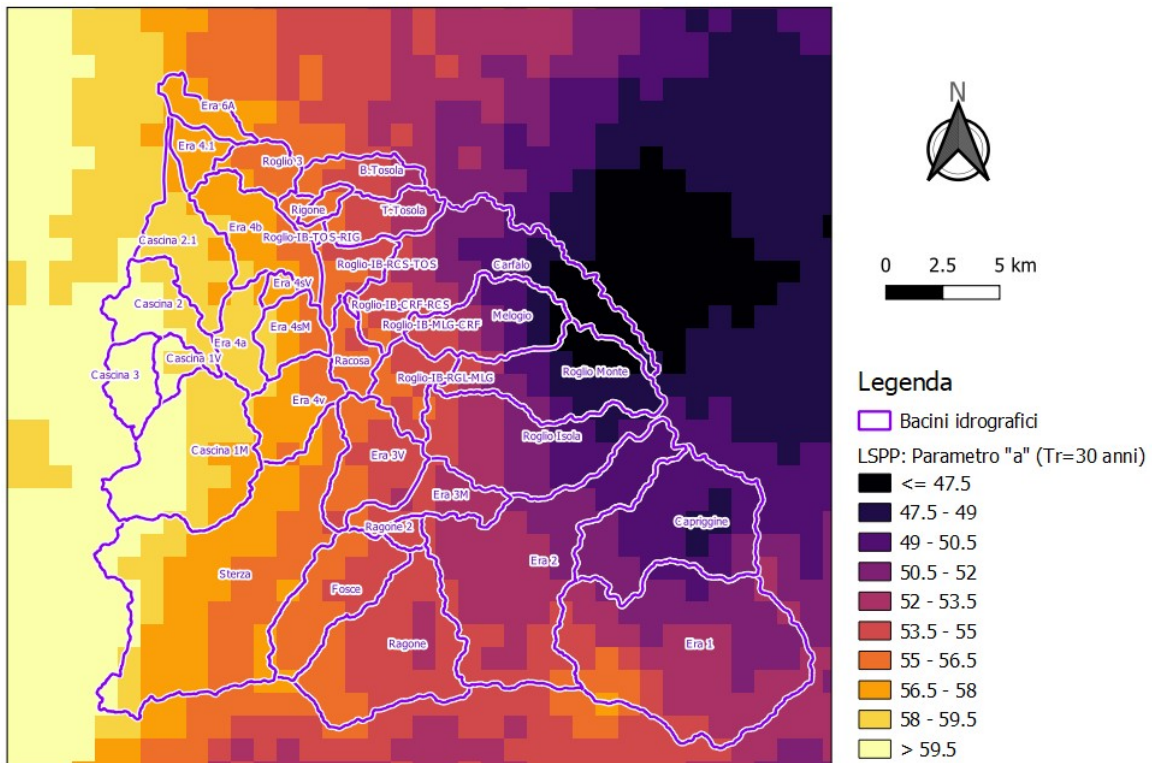


Figura 3.5: parametro a della curva di possibilità pluviometrica per $Tr=30$ anni.

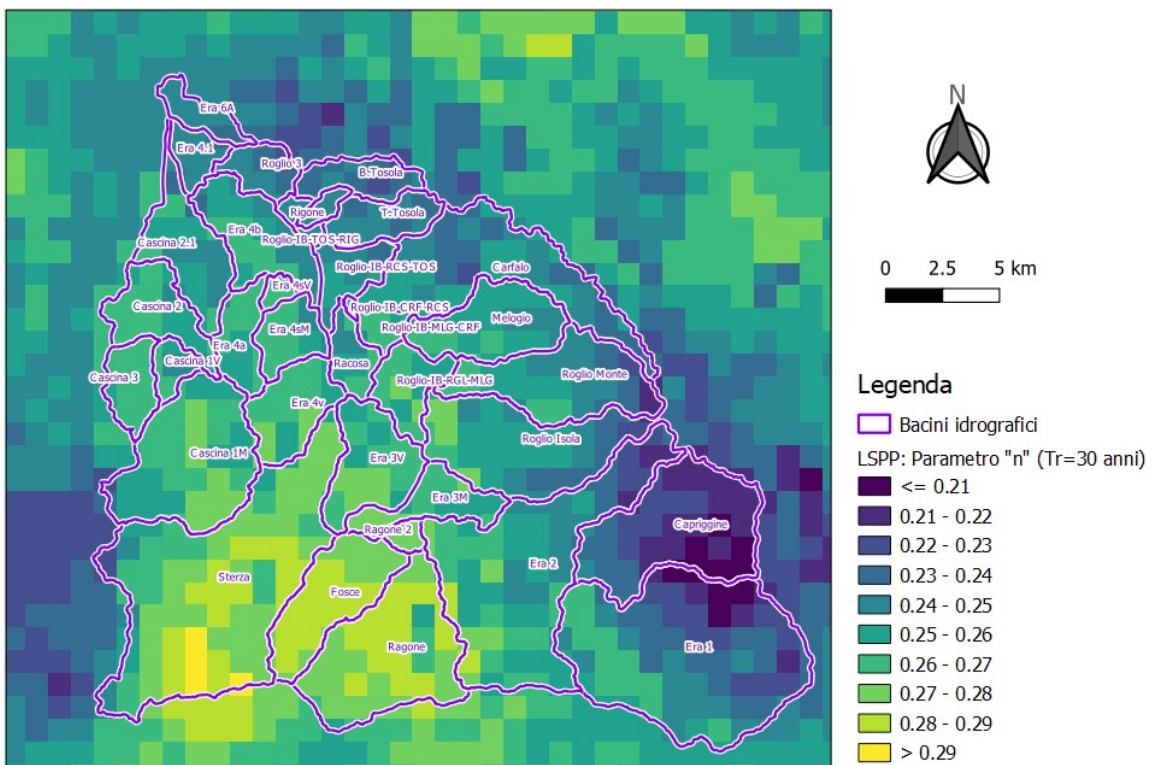


Figura 3.6: parametro n della curva di possibilità pluviometrica per $Tr=30$ anni.

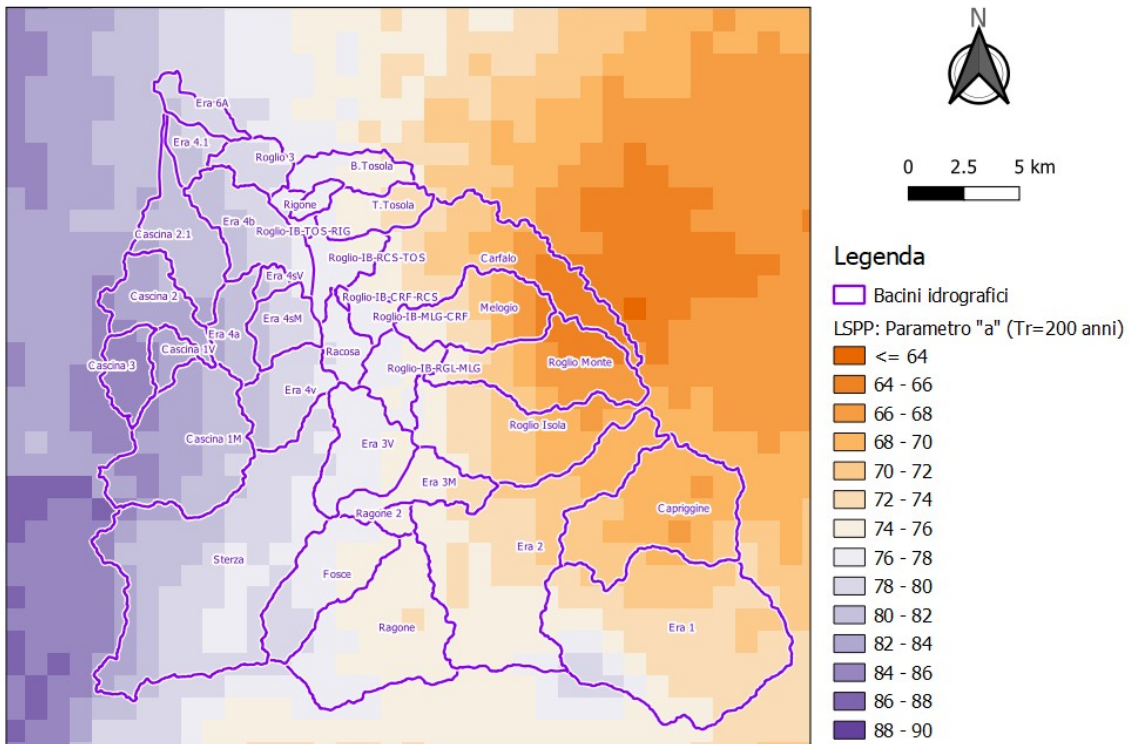


Figura 3.7: parametro a della curva di possibilità pluviometrica per Tr=200 anni.

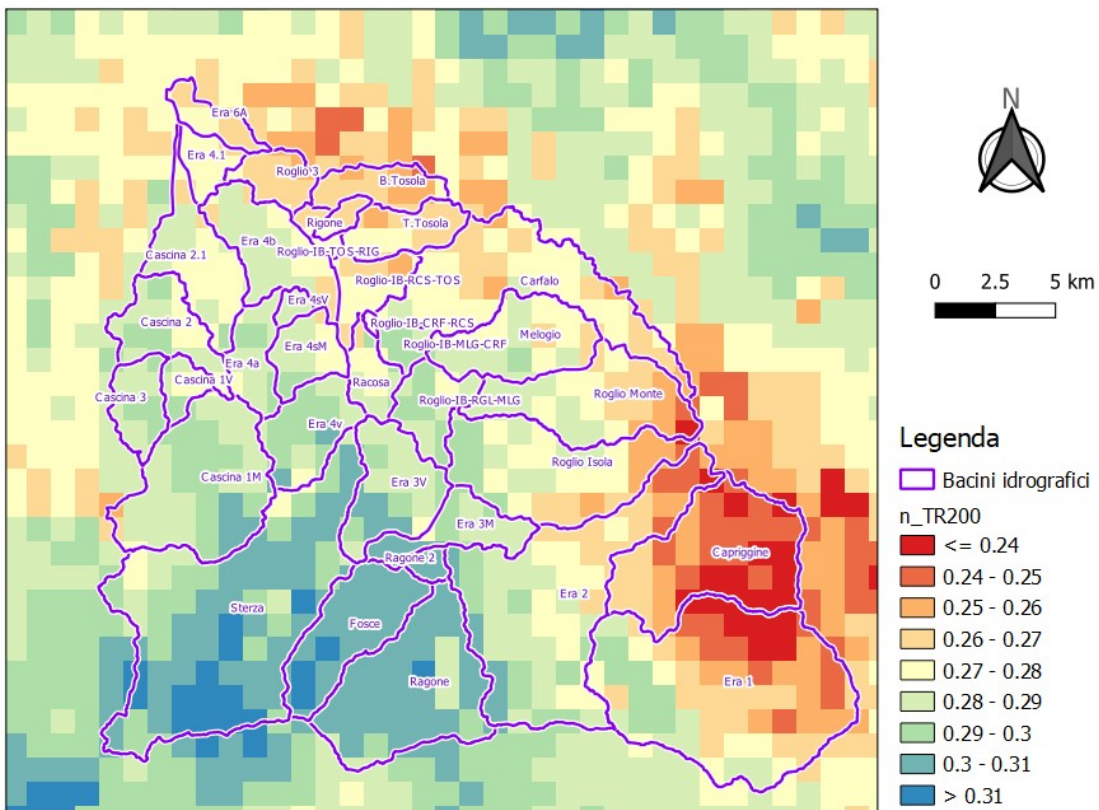


Figura 3.8: parametro n della curva di possibilità pluviometrica per Tr=200 anni.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Per la valutazione degli idrogrammi sintetici di tempo di ritorno 30 e 200 anni, al fine di tenere in considerazione la variabilità spaziale dei parametri a ed n nel bacino del fiume Era, si è deciso di implementare un modello idrologico con afflussi meteorici di tipo "precipitazioni a griglia" (*gridded precipitation* su HMS), in cui i valori di altezza di pioggia non vengono fatti variare solo nel tempo ma anche nello spazio, su base distribuita all'interno di ogni sottobacino; in questo modo, è possibile eliminare l'operazione di media a scala di sottobacino sulle griglie dei parametri a ed n , tipica della metodologia di modellazione idrologica semi-distribuita "classica", che, nel caso di bacini di estensione abbastanza elevata come quello del fiume Era, può introdurre approssimazioni significative.

Nell'approccio qui seguito, per ogni evento sintetico di simulazione per Tr 30 e 200 anni, ad ogni cella delle griglie dei parametri a ed n delle LSPP corrisponde un diverso valore di altezza di pioggia, con una risoluzione di 1 Km X 1 Km.

A titolo esemplificativo, la Figura 3.9 riporta la distribuzione delle altezze di pioggia duecentennali di durata 18 h sul bacino del fiume Era.

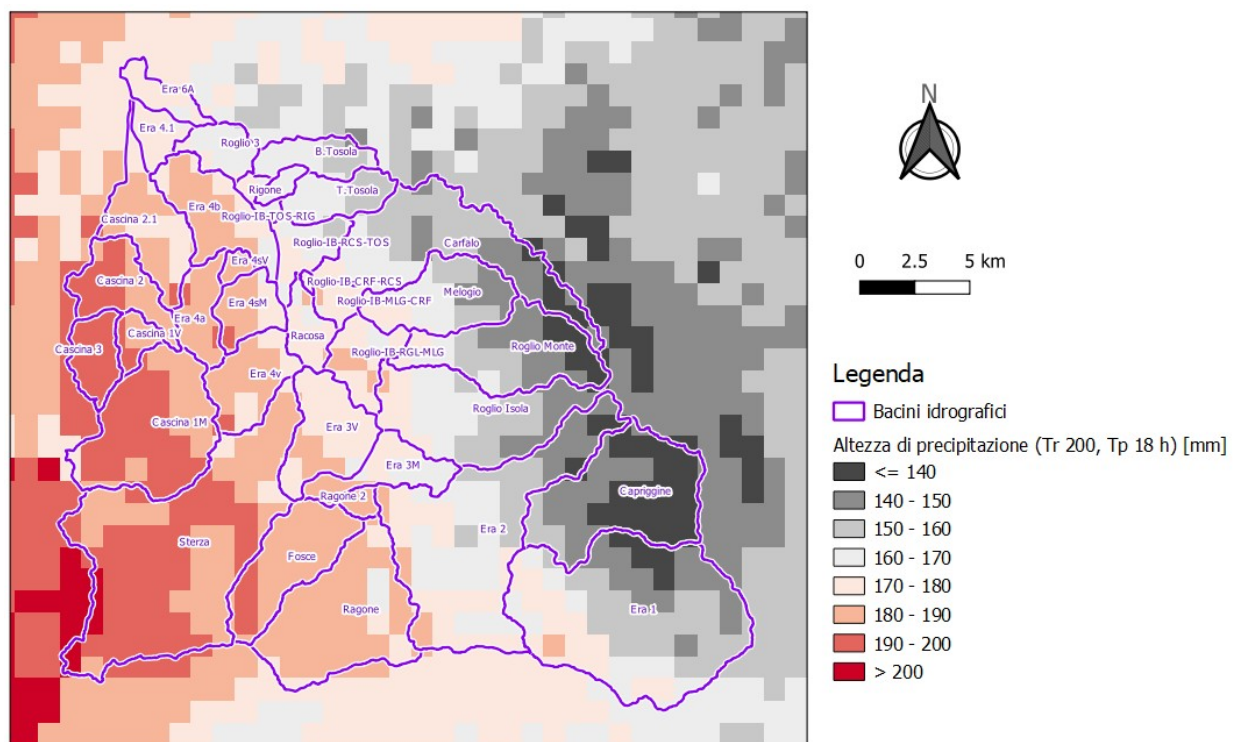


Figura 3.9: distribuzione delle altezze di pioggia h sul bacino del fiume Cecina per l'evento di precipitazione relativo a tempo di ritorno 200 anni e durata di pioggia 18h. Ad ogni cella della griglia, corrisponde un diverso valore di h.

3.2.2. Ietogramma di progetto e fattore di ragguglio per gli eventi trentennali e duecentennali

I tempi di ritorno assunti ai fini della perimetrazione delle aree di esondazione sono pari a 30 e 200 anni. Sono state effettuate simulazioni per durate di pioggia pari a 3, 6, 12, 18, 24 e 36 ore, significative per il sistema in esame.

Come precedentemente esposto, le altezze di pioggia sono state definite su base distribuita,

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

inserendo in ingresso ad HMS il raster delle altezze di pioggia ricavato direttamente dalle griglie dei parametri a ed n fornite dalla Regione Toscana.

Ai soli fini di una valutazione delle altezze di pioggia medie sui sottobacini presenti nel modello, per le durate di pioggia investigate, si riportano le seguenti tabelle con le altezze lorde di precipitazione per le durate prese in esame.

Tempo di ritorno [anni]	30					
	Durata di pioggia [h]	3	6	12	18	24
Bacino	Altezza di precipitazione [mm]					
B.Tosola	70.25	82.80	97.50	107.28	114.81	126.29
Capriggine	63.55	74.09	86.32	94.39	100.57	109.85
Carfalo	65.83	78.08	92.57	102.26	109.75	121.22
Cascina 1M	79.08	94.96	114.02	126.89	136.90	152.84
Cascina 1V	78.71	94.53	112.91	125.28	134.86	148.07
Cascina 2	79.04	94.72	113.35	125.91	135.65	150.29
Cascina 2.1	76.97	91.66	109.16	120.91	130.00	144.06
Cascina 3	81.47	97.76	117.32	130.53	140.79	156.70
Era 1	68.44	80.81	95.40	105.14	112.64	124.04
Era 2	69.48	82.73	98.68	109.40	117.72	130.95
Era 3M	71.73	86.39	103.86	115.68	124.87	138.59
Era 3V	73.42	88.42	106.30	118.39	127.80	141.80
Era 4.1	75.26	89.27	105.86	116.96	125.54	138.73
Era 4a	77.79	93.34	111.85	124.34	134.04	148.42
Era 4b	75.58	90.08	107.44	119.11	128.16	142.27
Era 4sM	76.01	90.90	108.82	120.91	130.28	144.84
Era 4sV	76.51	91.64	109.87	122.17	131.72	146.55
Era 4v	76.50	91.92	110.54	123.14	132.95	148.36
Era 6A	74.45	88.19	104.40	115.23	123.59	136.19
Fosce	75.37	91.54	111.21	124.63	135.11	151.68
Melogio	67.03	80.28	95.76	106.17	114.24	126.25
Racosa	73.76	88.04	105.13	116.62	125.53	139.26
Ragone	73.63	89.25	108.14	120.99	131.03	146.51
Ragone 2	73.66	89.29	108.19	121.05	131.10	146.45
Rigone	72.21	85.45	101.11	111.56	119.63	132.01
Roglio 3	73.06	86.35	101.85	112.18	120.14	131.66
Roglio Isola	67.66	80.60	95.90	106.18	114.13	126.21
Roglio Monte	64.48	76.40	90.68	100.24	107.63	119.08
Roglio-IB-CRF-RCS	73.45	87.82	105.03	116.61	125.61	139.53
Roglio-IB-MLG-CRF	73.33	88.16	105.80	117.71	126.96	141.10
Roglio-IB-RCS-TOS	71.95	85.34	101.22	111.84	120.05	132.65
Roglio-IB-RGL-MLG	73.15	87.82	105.41	117.28	126.51	140.85
Roglio-IB-RIG-IDR	72.76	86.42	102.30	112.91	121.09	132.89
Roglio-IB-TOS-RIG	73.02	86.62	102.76	113.56	121.90	134.70
Sterza	77.26	93.37	112.88	126.13	136.47	152.53
T.Tosola	70.01	82.83	97.91	107.97	115.74	127.60

Tabella 3.2: Altezze lorde medie di precipitazione in ciascuno dei sottobacini individuati per le durate prese in esame (tempo di ritorno 30 anni).

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Tempo di ritorno [anni]	200					
	3	6	12	18	24	36
Durata di pioggia [h]	Altezza di precipitazione [mm]					
B. Tosola	100.65	120.64	144.62	160.79	173.35	192.68
Capriggine	91.04	107.96	128.04	141.47	151.85	167.60
Carfalo	94.28	113.78	137.31	153.27	165.71	184.95
Cascina 1M	113.23	138.39	169.14	190.22	206.74	233.18
Cascina 1V	113.30	137.75	167.48	187.76	203.63	225.90
Cascina 2	113.30	138.02	168.13	188.71	204.82	229.29
Cascina 2.1	110.18	133.56	161.91	181.21	196.29	219.78
Cascina 3	116.61	142.45	174.02	195.64	212.58	239.08
Era 1	97.99	117.75	141.50	157.58	170.08	189.24
Era 2	99.29	120.54	146.37	163.98	177.74	199.80
Era 3M	102.85	125.87	154.05	173.38	188.54	211.44
Era 3V	105.29	128.84	157.67	177.45	192.96	216.35
Era 4.1	107.74	130.07	157.02	175.31	189.56	211.66
Era 4a	111.50	136.01	165.91	186.36	202.38	226.44
Era 4b	108.11	131.26	159.37	178.53	193.50	217.07
Era 4sM	108.69	132.45	161.42	181.21	196.72	220.98
Era 4sV	109.42	133.54	162.97	183.10	198.88	223.59
Era 4v	109.40	133.93	163.96	184.57	200.74	226.36
Era 6A	106.63	128.50	154.85	172.71	186.61	207.79
Fosce	107.85	133.38	164.96	186.79	204.01	231.41
Melogio	96.33	116.97	142.04	159.13	172.49	192.62
Racosa	105.55	128.29	155.93	174.79	189.54	212.47
Ragone	105.43	130.04	160.40	181.34	197.84	223.53
Ragone 2	105.47	130.10	160.47	181.43	197.94	223.44
Rigone	103.37	124.51	149.97	167.21	180.64	201.41
Roglio 3	104.79	125.82	151.08	168.14	181.40	200.87
Roglio Isola	96.96	117.44	142.25	159.14	172.32	192.55
Roglio Monte	92.16	111.33	134.50	150.23	162.50	181.68
Roglio-IB-CRF-RCS	105.12	127.96	155.78	174.78	189.65	212.87
Roglio-IB-MLG-CRF	105.15	128.46	156.93	176.42	191.71	215.27
Roglio-IB-RCS-TOS	103.00	124.35	150.13	167.63	181.27	202.38
Roglio-IB-RGL-MLG	104.74	127.97	156.34	175.78	191.02	214.89
Roglio-IB-RIG-IDR	104.51	125.93	151.74	169.23	182.84	202.76
Roglio-IB-TOS-RIG	104.52	126.22	152.42	170.20	184.05	205.52
Sterza	110.82	136.57	168.29	190.17	207.40	234.05
T. Tosola	100.30	120.69	145.23	161.83	174.75	194.68

Tabella 3.3: Altezze lorde medie di precipitazione in ciascuno dei sottobacini individuati per le durate prese in esame (tempo di ritorno 200 anni).

Nelle simulazioni idrologiche effettuate si è fatto riferimento a tre diversi ietogrammi di progetto:

- per le valutazioni inerenti la pericolosità del fiume Era (e quindi per la modellazione idrologica del bacino complessivo) si è fatta l'ipotesi di ietogrammi di pioggia costanti, ritenuta valida viste le dimensioni del bacino in studio e già adottata negli studi redatti per

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

l'Arno ed i suoi principali affluenti;

- per le valutazioni inerenti la pericolosità del torrente Roglio (nel tratto compreso fra l'idrometro di Forcoli e lo sbocco in Era) e del fiume Cascina si è adottato uno ietogramma triangolare a picco centrato, ritenuto più idoneo sulla base delle dimensioni dei bacini ed in coerenza con quanto precedentemente fatto per il torrente Roglio a monte dell'idrometro di Forcoli.

In generale, la curva di possibilità pluviometrica dedotta per una certa località non può essere assunta valida per tutta l'area del bacino stesso. La stima dell'altezza di precipitazione di assegnate durata e tempo di ritorno può essere condotta moltiplicando l'altezza di pioggia puntuale di pari durata e tempo di ritorno per un fattore di ragguglio $K_r < 1$:

$$h_s(t_p, T_R) = K_r \cdot h(t_p, T_R)$$

con: h_s altezza di precipitazione raggugliata, t_p durata di pioggia, T_R tempo di ritorno, K_r coefficiente di ragguglio e h altezza lorda di precipitazione.

Il valore del coefficiente di ragguglio dipende dalla durata della precipitazione e dall'area considerata. La World Meteorological Organization (WMO) consiglia di non effettuare alcun ragguglio delle piogge all'area per aree inferiori a circa 25 km². Vista l'estensione del bacino del fiume Era, dunque, è consigliabile effettuare un ragguglio delle piogge all'area.

Per il calcolo del fattore di ragguglio si è adottata la metodologia messa a punto da Milano, Pagliara et al., che è stata sviluppata anche con riferimento specifico al bacino dell'Arno a valle di Firenze¹. Il coefficiente di ragguglio areale K_r è espresso in funzione della durata di pioggia t_p [h] e della superficie del bacino A [km²] dalla relazione seguente:

$$K_r = (0.45 + 0.17 \log_{10} t_p) + (0.45 - 0.1 \log_{10} t) \exp(-A/1000)$$

Poichè lo scopo delle analisi condotte è la valutazione delle condizioni di pericolosità idraulica nei tratti terminali del Cascina, del Roglio e dell'Era, si sono considerati tre distinti scenari di ragguglio, corrispondenti a tre diverse distribuzioni delle piogge di progetto:

- scenario idrologico 1 (codice IC): pioggia uniformemente distribuita sull'intero bacino dell'Era, con ietogramma ad intensità costante. Ragguglio delle precipitazioni all'area totale del bacino dell'Era ($A = 589.59$ km²). In tale caso si ottengono i seguenti valori di K_r :

t_p [h]	K_r [-] (A=589.59 kmq)
3	0.754
6	0.789
12	0.823
18	0.843
24	0.858
36	0.878

Tabella 3.4: valori del fattore di ragguglio nell'ipotesi di pioggia distribuita in maniera uniforme sull'intero bacino dell'Era

¹ V.Milano, S.Pagliara, E Di Carlo, A.Morelli (2001). *La spazializzazione delle piogge sui bacini dell'Arno e del Serchio e sul territorio Italiano*. Dipartimento di Ingegneria Civile Università di Pisa ed. ETS

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

- scenario idrologico 2 (codice IT_C): pioggia uniformemente distribuita sul solo bacino del Cascina, con ietogramma triangolare a picco centrato. Raggiungimento delle precipitazioni all'area totale del bacino del Cascina ($A = 71.21 \text{ km}^2$). In tale caso si ottengono i seguenti valori di K_r :

t_p [h]	K_r [-] ($A=71.21 \text{ km}^2$)
3	0.906
6	0.929
12	0.952
18	0.966
24	0.975

Tabella 3.5: valori del fattore di raggiuglio nell'ipotesi di pioggia distribuita in maniera uniforme sull'intero bacino del Cascina.

- scenario idrologico 3 (codice IT_R): pioggia uniformemente distribuita sul solo bacino del Roglio, con ietogramma triangolare a picco centrato. Raggiungimento delle precipitazioni all'area totale del bacino del Roglio ($A = 161.09 \text{ km}^2$). In tale caso si ottengono i seguenti valori di K_r :

t_p [h]	K_r [-] ($A=161.09 \text{ km}^2$)
3	0.874
6	0.899
12	0.925
18	0.940
24	0.950

Tabella 3.6: valori del fattore di raggiuglio nell'ipotesi di pioggia distribuita in maniera uniforme sull'intero bacino del Roglio.

Per le analisi relative al bacino del Torrente Roglio e del Fiume Cascina non sono stati considerati eventi di durata 36 ore, non di interesse viste le dimensioni del bacino. Inoltre lo ietogramma triangolare di progetto è stato definito con riferimento alla curva media dei bacini totali dei due corsi d'acqua.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

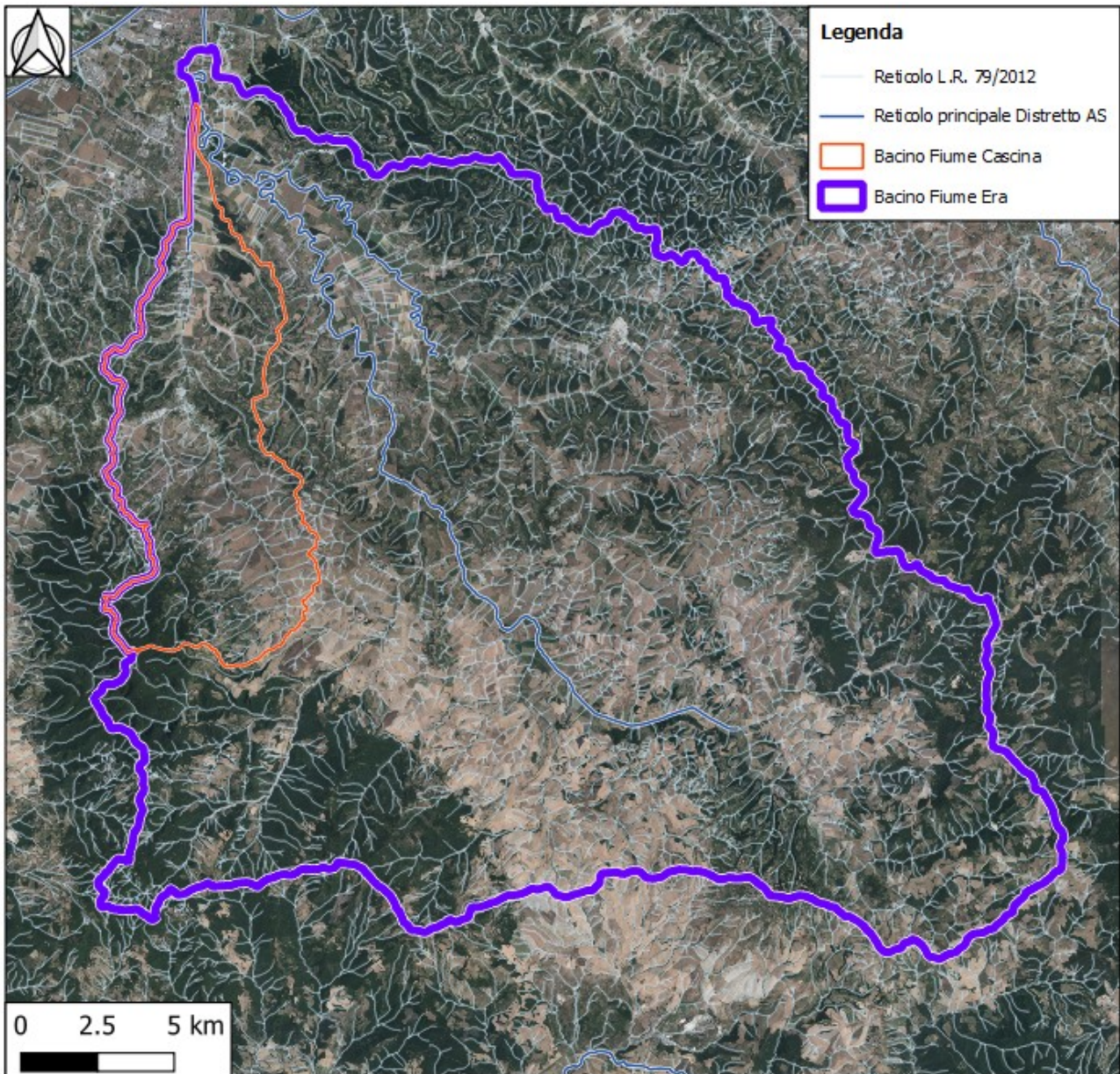


Figura 3.10 - Confronto fra le aree dei bacini dei Fiumi Era e Cascina

3.3. Le perdite di bacino: metodo CN del SCS

Le perdite di bacino sono state valutate mediante l'applicazione del metodo elaborato dal Soil Conservation Service e basato sul parametro CN (Curve Number). Tale metodo trae origine dall'equazione di continuità, espressa dalla seguente formula:

$$P_{net} = P - S'$$

con: P_{net} volume specifico (mm) di pioggia netta, P volume specifico affluito, S' volume specifico infiltrato. Il metodo ipotizza la validità della seguente relazione di proporzionalità:

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

$$\frac{(S')}{S} = \frac{P_{net}}{(P - I_a)}$$

dove S è il massimo volume d'acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione e I_a la perdita iniziale. Combinando le due equazioni precedenti si ottiene:

$$P_{net} = 0 \quad \text{per } P < I_a$$

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \quad \text{per } P > I_a$$

Per la stima di I_a si può far ricorso alla relazione: $I_a = \beta S$. La valutazione di S è ricondotta a quella dell'indice CN , secondo la seguente:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

valida per S espressa in mm.

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, definito in funzione dei seguenti elementi: gruppo idrologico di suolo, tipologia di uso del suolo e condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione.

Il valore del parametro CN è inoltre influenzato dalla condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione. A tal proposito sono state individuate tre classi denominate AMC (*Antecedent Moisture Condition*) in base ai mm di pioggia che si sono avuti nei 5 giorni precedenti all'evento, come indicato nella seguente tabella:

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti all'evento (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 13	< 36
II	13-28	36 - 54
III	> 28	> 54

Tabella 3.7: Classi AMC metodo CN

Il valore del parametro CN in condizioni AMC II può essere determinato sulla base del gruppo idrologico e dell'uso e copertura del suolo che caratterizza l'area in esame. Noto quindi il valore di $CN(II)$, è possibile determinare i valori di CN nelle condizioni AMC I e AMC III in base alle relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)} \quad \quad \quad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Per quanto concerne la classificazione dei gruppi idrologici del bacino idrografico oggetto di indagine, si è fatto riferimento al database pedologico regionale² e allo strato informativo relativo all'uso del suolo deriva dal database UCS 2007-2016³.

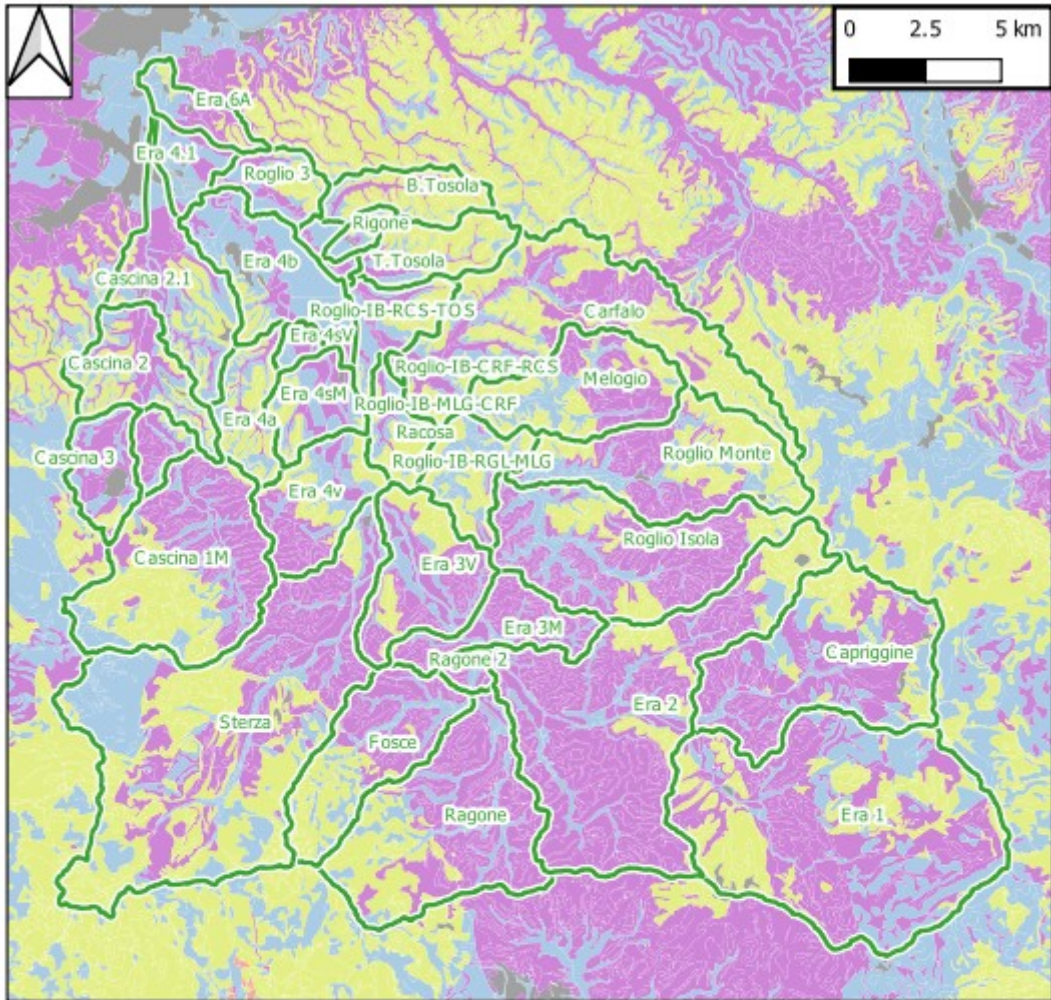
Le Figure 3.11 e 3.12 riportano i gruppi idrologici e i Codici Corine all'interno del bacino del

² DBPedologico_Regione_Toscana\DBPedologico_Regione_Toscana\dbpedologico_rt.qgs

³ USO_E_COPERTURA_DEL_SUOLO_REGIONE_TOSCANA.7z

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

Fiume Era.



Legenda

Bacini idrografici oggetto di studio

Gruppo idrologico USDA

- A - Suoli con potenziale di deflusso superficiale basso
- B - Suoli con potenziale di deflusso superficiale moderatamente basso
- C - Suoli con potenziale di deflusso superficiale moderatamente alto
- D - Suoli con potenziale di deflusso superficiale alto
- n. d.

Figura 3.11: Gruppo idrologico USDA all'interno del bacino del Fiume Era, derivato dal Database Pedologico della Regione Toscana

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

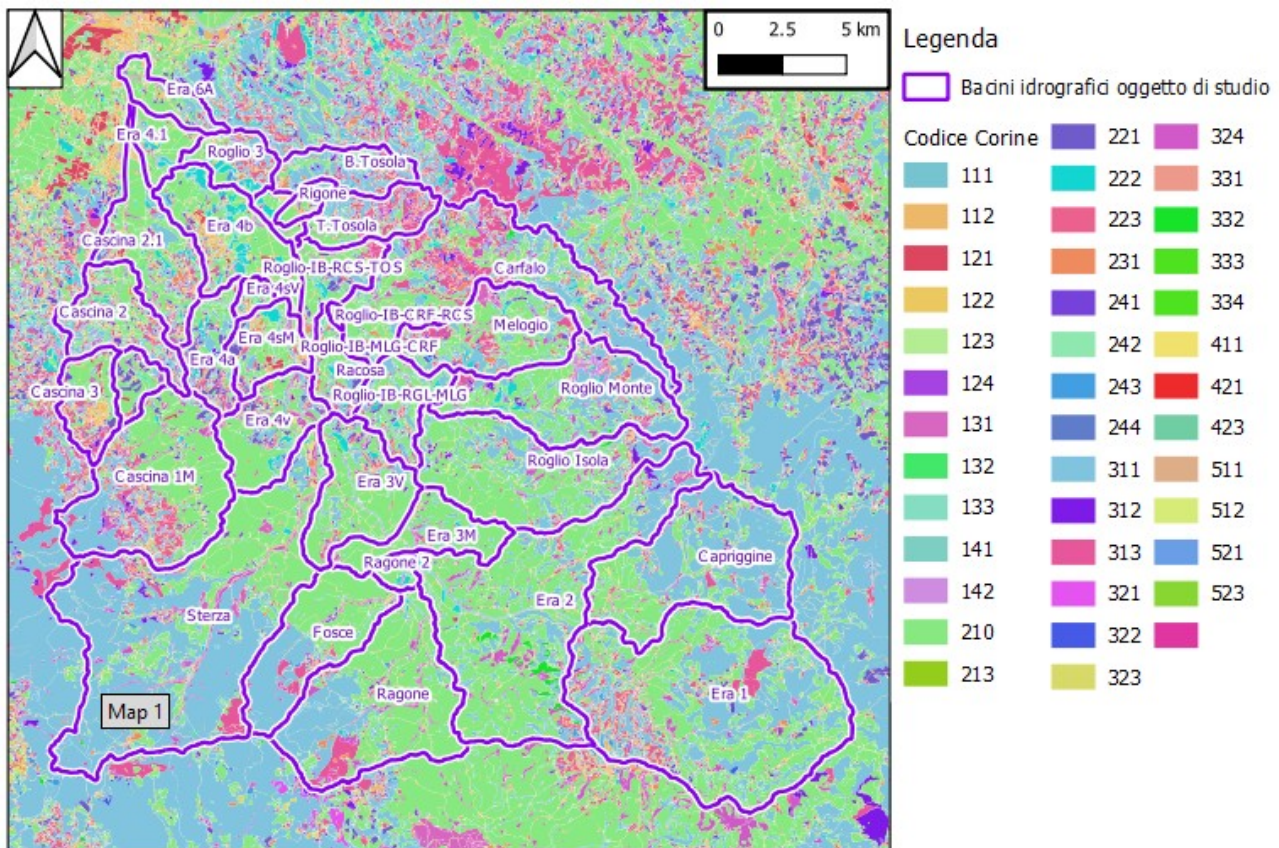


Figura 3.12: Codici Corine all'interno del bacino del Fiume Era, derivati dal database Uso e Copertura del Suolo 2007-2016 della Regione Toscana.

Per l'assegnazione del parametro CN (classe AMC II) si è fatto riferimento alla specifica tabella riportata in "Macroattività B - Modellazione idrologica Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: parametrizzazione HMS" (Università di Firenze, Regione Toscana, 2014).

Si è tuttavia effettuata una correzione a tale tabella in merito ad i valori assegnati alle aree boscate (codici di uso del suolo Corine 311, 312 e 313). Nella pubblicazione originale della Regione Toscana i valori di CN associati a tali aree risultano infatti quelli relativi all'uso del suolo "woods, fair hydrologic conditions" di cui alle tabelle del metodo CN redatte dall'USDA Natural Resources Conservation Service (Tabella 9-1, *National Engineering Handbook, part 630 Hydrology, Chapter 9: Hydrologic Soil Cover complexes*). In effetti nell'ambito della metodologia CN con il termine woods si intendono "small isolated groves of trees being raised for farm or ranch use"⁴, tipologia di uso del suolo che ha un comportamento idrologico diverso rispetto a "Forest-range", di cui allo stesso Chapter 9 del citato *National Engineering Handbook, part 630 Hydrology*. Nella letteratura tecnica sono peraltro presenti più studi che evidenziano la tendenziale sovrastima dei deflussi derivante dall'applicazione del metodo CN alle aree boscate. Ad esempio il software AdB-ToolBox, sviluppato in Italia a cura del Ministero dell'Ambiente, adotta valori del parametro CN per le aree boscate inferiori a quelli proposti dall'USDA.

Nello spirito di volersi mantenere coerenti con i valori di CN per aree boscate proposti dall'USDA (l'ente che ha sviluppato il metodo stesso del CN) si è provveduto a variare i valori adottati dalla Regione Toscana in corrispondenza delle aree boscate (codici Corine 311, 312 e 313), come da tabella seguente:

⁴ "Hydrology training series. Module 104. Runoff Curve Number Computations. Study Guide". USDA, NRCS, 1989.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

	REGIONE TOSCANA				USDA			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Boschi di latifoglie (311)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi di conifere (312)	36	60	73	79	36	48	57	63
Boschi di latifoglie e conifere (313)	36	60	73	79	36	48	57	63

Tabella 3.8: Parametro CN per le aree boscate. Per la colonna A dei valori USDA si sono assunti gli stessi valori proposti dalla Regione Toscana, in assenza di indicazioni sul National Engineering Handbook, part 630 Hydrology.

Le Figure 3.13, 3.14 e 3.15 riportano i valori del parametro CN così individuati, rispettivamente in condizioni AMC I, AMC II e AMC III.

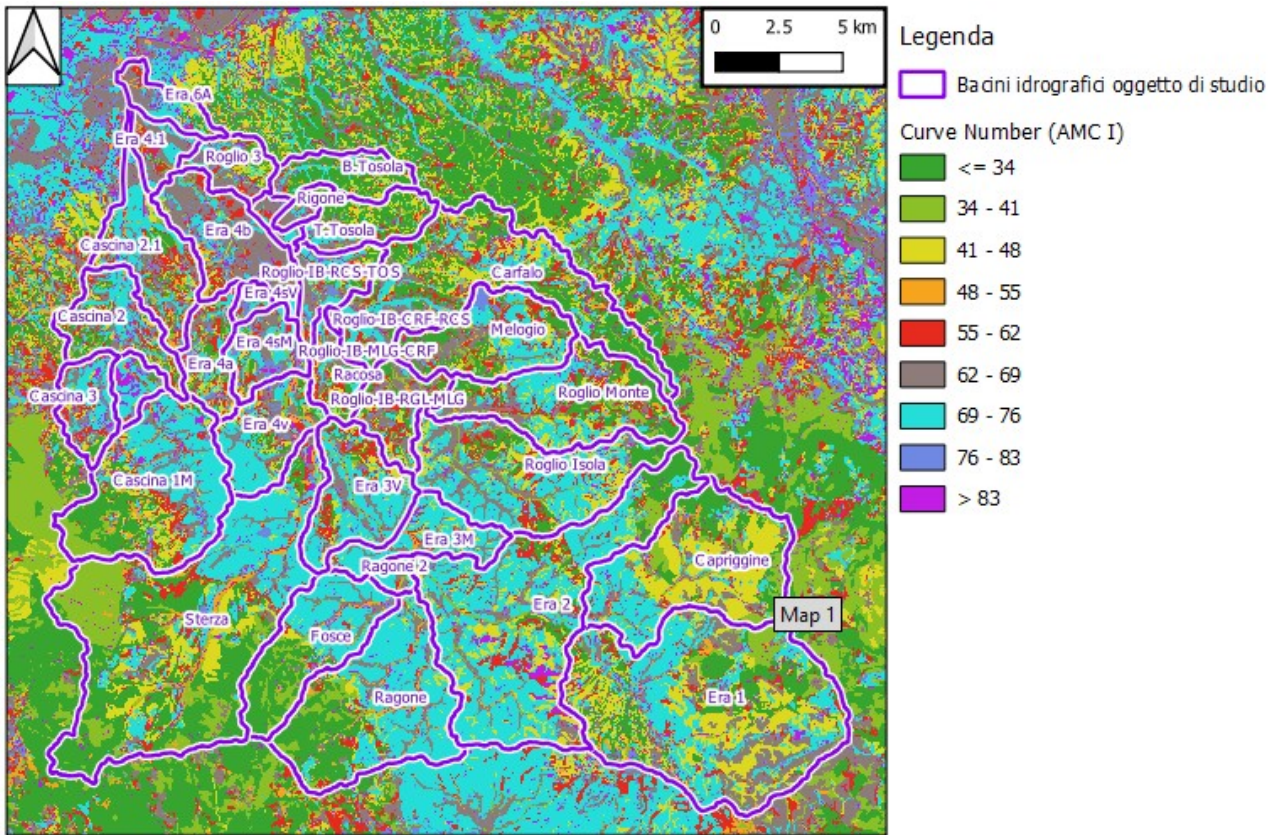


Figura 3.13: Curve Number (classe AMC I) all'interno del bacino del Fiume Era

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

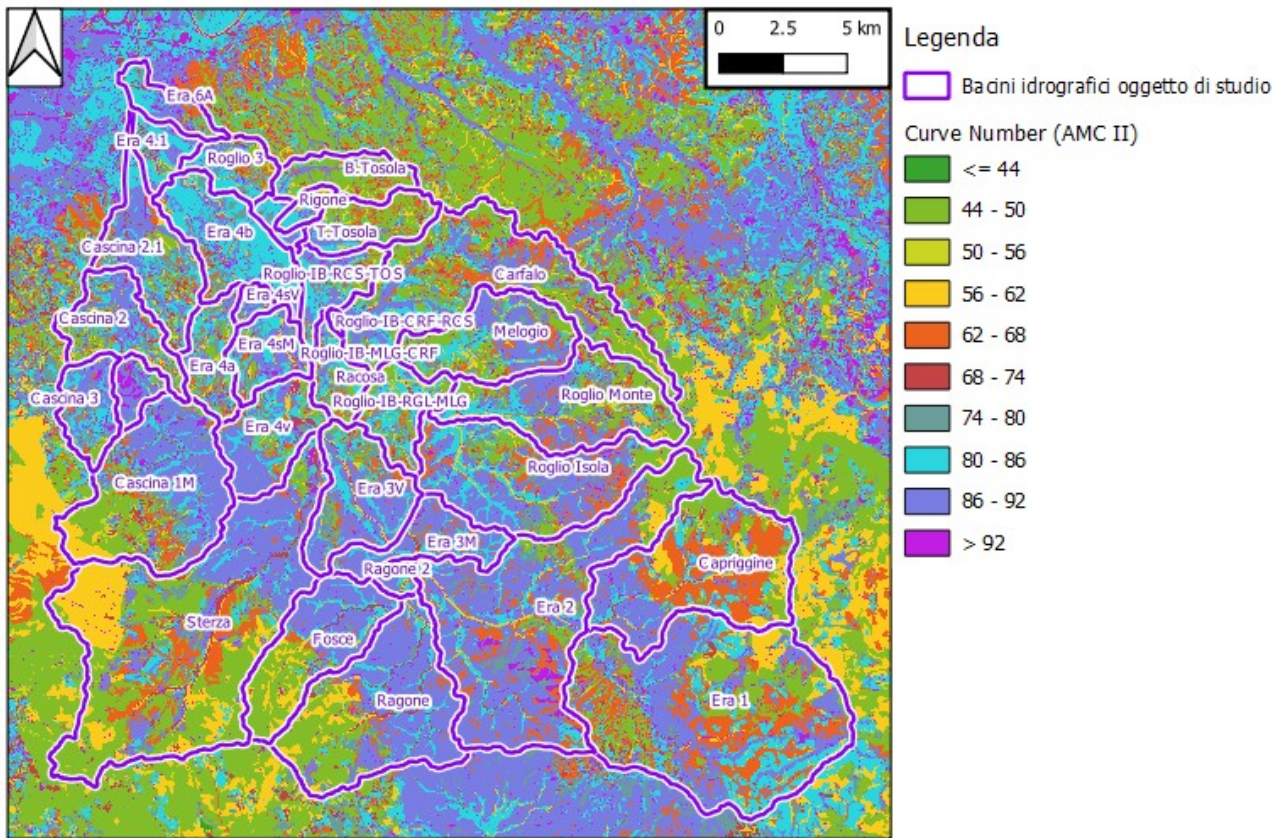


Figura 3.14: Curve Number (classe AMC II) all'interno del bacino del Fiume Era

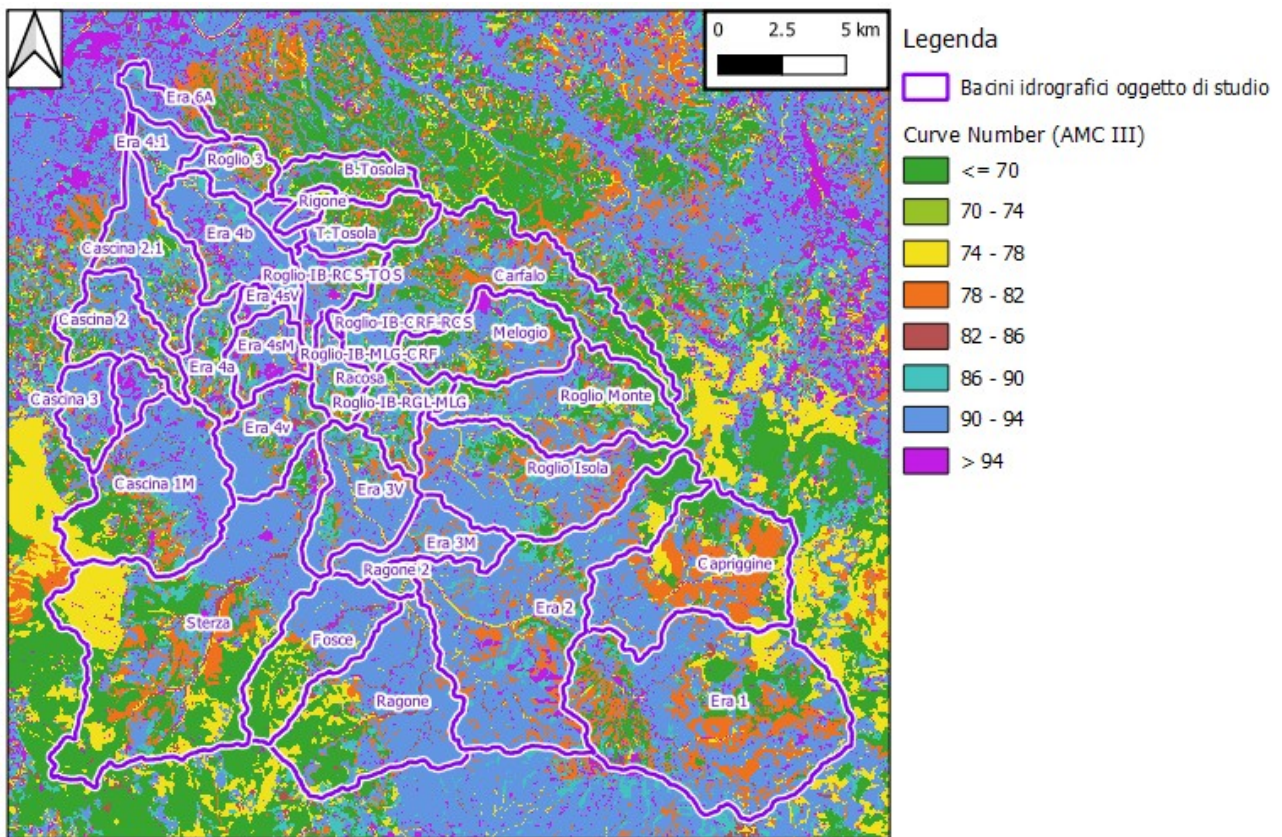


Figura 3.15: Curve Number (classe AMC III) all'interno del bacino del Fiume Era

Definita la mappatura del parametro CN in una determinata condizione AMC, ad ogni sottobacino oggetto di studio viene assegnato un valore univoco ottenuto come media zonale all'interno della superficie dello stesso.

La seguente tabella riporta i valori di CN assegnati ad i diversi sottobacini di calcolo, in condizioni di CN2. Si precisa comunque che i calcoli relativi agli eventi trentennali e duecentennali sono stati effettuati con riferimento alle condizioni di CN3.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Bacino	CN(II)	Bacino	CN(II)
B.Tosola	60.18	Era 6A	78.76
Capriggine	69.19	Fosce	70.71
Carfalo	67.20	Melogio	72.18
Cascina 1M	73.90	Racosa	71.92
Cascina 1V	82.85	Ragone	74.41
Cascina 2	74.37	Ragone 2	83.08
Cascina 2.1	77.39	Rigone	69.00
Cascina 3	80.25	Roglio 3	74.57
Era 1	72.93	Roglio Isola	75.64
Era 2	78.13	Roglio Monte	68.97
Era 3M	83.97	Roglio-IB-CRF-RCS	79.69
Era 3V	79.78	Roglio-IB-MLG-CRF	73.16
Era 4.1	82.14	Roglio-IB-RCS-TOS	75.88
Era 4a	74.78	Roglio-IB-RGL-MLG	68.73
Era 4b	82.04	Roglio-IB-RIG-IDR	78.12
Era 4sM	80.23	Roglio-IB-TOS-RIG	81.34
Era 4sV	83.84	Sterza	65.91
Era 4v	78.83	T.Tosola	64.22

Tabella 3.9: Valori medi del parametro CN (AMC II) all'interno dei sottobacini analizzati.

3.4. Trasformazione afflussi netti-deflussi

Per la derivazione degli idrogrammi relativi ai sottobacini del corso d'acqua nei vari scenari, sono stati considerati due diversi modelli di trasformazione degli afflussi netti in deflussi, in particolare:

- il modello di Clark, utilizzato per i sottobacini del Fiume Cascina, del Fiume Era a monte e a valle della confluenza con il Torrente Roglio, e per i bacini di testa del Torrente Roglio;
- il modello Kinematic Wave per gli interbacini del Torrente Roglio.

Nel seguito, si riporta una descrizione della teoria alla base dei modelli. I valori numerici dei parametri per i Fiumi Cascina ed Era sono stati definiti in fase di taratura. I parametri del modello idrologico del Torrente Roglio (chiuso all'idrometro di Forcoli) sono stati definiti nell'ambito dello "Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli" redatto dalla scrivente società ed approvato dagli enti competenti.

3.4.1. Modello di Clark

La definizione dell'IU di Clark nasce dalla considerazione che i fenomeni fisici che governano la trasformazione afflussi deflussi sono essenzialmente due:

- la traslazione della pioggia netta dal suo punto di origine alla sezione di chiusura del bacino idrografico;
- i fenomeni di invaso e svaso di acqua che avvengono in un bacino soggetto a eventi meteorici.

La sua applicazione richiede la definizione del tempo di corrivazione del bacino idrografico e della costante di invaso del serbatoio lineare, che rappresenta i fenomeni di invaso nel bacino idrografico.

Come valori di stima iniziale dei parametri di Clark si sono adottati (ad eccezione del citato

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

bacino del Roglio) i valori già inseriti nel modello implementato dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, poi modificati in sede di taratura.

Per i bacini derivanti dalla nuova discretizzazione (Cascina 1M, Cascina 1V, Era 3M, Era 3V, Era 4sM, Era 4sV, Era 6A) i valori dei tempi di corrivazione sono stati stimati a partire dalle seguenti formule.

Fonte/Autore	Formola*
US-SCS	$\frac{L_m^{0.8} \cdot \left(\left(\frac{1000}{CN_2} - 10 \right) + 1 \right)^{0.7}}{(1140 \cdot S_w^{0.5})}$
Simas-Hawkins	$\frac{0.322 \cdot (A^{0.594} \cdot S_{02}^{0.313})}{(L_m^{0.594} \cdot S_w^{0.150})}$
Ven Te Chow	$0.1602 \cdot \left(\frac{L}{I^{0.32}} \right)^{0.64}$
Kirpich, Chow, Watt, Pezzoli	$0.02221 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.8}$
Bocchiola, De Michele, Pecora, Rosso	$0.26 \cdot \left(\frac{L^{0.82} \cdot (1 + S_{02})^{0.13}}{S_w^{0.2}} \right)$
Ferro	$0.675 \sqrt{A}$
Regionalizzazione portate di piena Toscana (L-H _{max})	$1.66 \cdot L^{0.86} \cdot H_{max}^{-0.177}$

* L_m : distanza massima fra spartiacque e sezione di chiusura [km]; CN_2 : Curve Number, classe AMC II [-]; S_w : pendenza media di bacino [m/m]; A : area del bacino [km²]; S_{02} : ritenzione massima valutata con il valore di CN_2 [mm]; L : lunghezza dell'asta principale [km]; I : pendenza media asta principale [m/m]; H_{max} : quota massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m].

Tabella 3.10: Equazioni di letteratura considerate per il calcolo di prima stima dei tempi di corrivazione.

I valori forniti dalle diverse formule sono stati mediati tra loro e confrontati per coerenza con il valore del tempo di corrivazione stimato attraverso il calcolo del tempo di percorrenza attraverso il percorso idraulico più lungo dei diversi bacini (suddiviso in tratti omogenei di lunghezza L_i), valutando per ogni tratto la velocità V_i della corrente in condizioni di piena utilizzando la formula di Manning per il deflusso in canali e corsi d'acqua e la formula dell'*overland flow* per il moto delle particelle d'acqua sui versanti, secondo la relazione:

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

Secondo Eaglin e Wanielista la costante R può essere posta in prima approssimazione uguale al tempo di corrivazione del bacino. Inoltre, sulla base degli studi condotti da HEC-USACE, il rapporto $R/(T_c+R)$ assume generalmente un valore costante all'interno di regioni idrologiche omogenee. Tale parametro varia generalmente da valori prossimi a 0.1, tipici solitamente di idrogrammi caratterizzati da un ramo ascendente ripido (ad esempio idrogrammi generati da bacini urbani o da bacini ad elevata pendenza media) fino a valori prossimi a 0.7, che si hanno per idrogrammi relativi a bacini agricoli pianeggianti o coperti da boschi, con bassa pendenza media.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

Per la stima della costante di invaso di Clark sono poi state effettuate analisi di dettaglio in sede di taratura del modello, descritte a seguire. I parametri adottati per il modello di Clark sono riportati nel successivo paragrafo 3.7.3.

3.4.2. Modello Kinematic Wave

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale. Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale (*overland flow planes*) e fino a tre canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari.

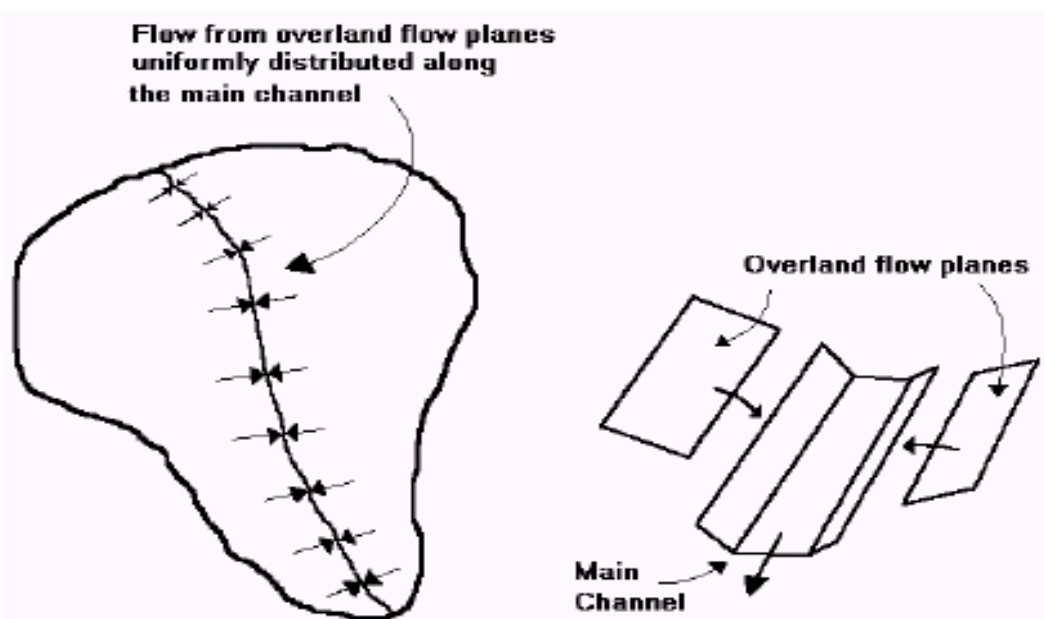


Figura 3.16: Schematizzazione del bacino idrografico nel modello Kinematic Wave.

Il calcolo inizia a partire dall'analisi del deflusso sui piani rettangolari (*overland flow planes*). HEC-HMS calcola l'idrogramma dei deflussi relativo al primo piano ed al secondo piano. Il deflusso proveniente dai due piani rettangolari viene sommato e poi immesso nel canale principale (*main channel*) come portata laterale uniformemente distribuita lungo tutto il corso del canale.

Se oltre al canale principale è presente un canale collettore secondario il deflusso proveniente da un piano viene immesso nel collettore secondario come portata laterale uniformemente distribuita. Il deflusso in uscita dal collettore secondario viene poi a sua volta immesso nel canale principale come portata laterale uniformemente distribuita. Nel caso siano presenti due collettori secondari il deflusso proveniente dai piani rettangolari viene prima immesso nel secondo collettore secondario come portata laterale uniformemente distribuita, il deflusso in uscita dal secondo collettore secondario viene poi a sua volta immesso nel primo canale secondario come portata laterale uniformemente distribuita e finalmente si ha l'immissione nel canale principale dal primo collettore secondario (ancora come portata laterale uniformemente distribuita).

L'equazione che modella il fenomeno di trasferimento della massa liquida sia sui versanti

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

(*overland flow planes*) che nell'alveo del corso d'acqua è l'equazione dell'onda cinematica:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + am.A^{(m-1)} \frac{\partial A}{\partial x} = q$$

in cui A è l'area liquida della sezione di deflusso, q la portata continua in ingresso lungo l'ascissa x del corso d'acqua, a ed m due parametri univocamente determinati dalla geometria e dalla scabrezza della sezione di deflusso, essendo per ipotesi nel metodo cinematico:

$$Q = aA^m$$

Il coefficiente di scabrezza relativo al moto sui versanti (che è diverso dal coefficiente di Manning) può essere ricavato dalla seguente tabella, ripresa da *USACE Flood Runoff Analysis EM*:

n	Surface Description
0.011	Smooth asphalt
0.012	Smooth concrete
0.013	Concrete lining
0.014	Good wood
0.014	Brick with cement mortar
0.015	Vitrified clay
0.015	Cast iron
0.024	Corrugated metal pipe
0.024	Cement rubble surface
0.050	Fallow (no residue)
	Cultivated soils
0.060	Residue cover ≤ 20%
0.170	Residue cover > 20%
0.130	Range (natural)
	Grass
0.150	Short grass prairie
0.240	Dense grasses
0.410	Bermuda grass
	Woods
0.400	Light underbrush
0.800	Dense underbrush

*When selecting n for woody underbrush, consider cover to a height of about 30 mm (0.1 ft). This is the only part of the plant cover that will obstruct sheet flow.

Tabella 3.11: Valori del coefficiente di scabrezza per correnti di tipo overland.

Associando ad ogni classe di uso del suolo (Codice Corine) il coefficiente di scabrezza stimato si possono ottenere medie zonali del parametro su ogni interbacino.

Il metodo KW è stato impiegato per i soli interbacini del torrente Roglio, adottando gli stessi parametri già utilizzati per lo studio a supporto del Piano Operativo di Peccioli, riportati nelle seguenti tabelle.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

ID Bacino	L_{of} (m)	P (m/m)	N ($s/m^{1/3}$)
Roglio-IB-CRF-RCS	243.9	0.069	0.426
Roglio-IB-MLG-CRF	240.38	0.14	0.474
Roglio IB-RGL-MLG	209.2	0.193	0.488
Roglio-IB-RCS-TOS	265.96	0.131	0.442
Roglio-IB-TOS-RIG	225.22	0.026	0.368
Roglio-IB-RIG-IDR	320.51	0.03	0.342

L_{of} : lunghezza di overland flow; P: pendenza media del bacino;

N: coefficiente di scabrezza relativo al moto sui versanti

Tabella 3.12: Parametri adottati nel metodo Kinematic Wave per i flow plane degli interbacini del torrente Roglio chiuso all'idrometro di Forcoli (derivati nell'ambito dello "Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli").

ID Bacino	L (m)	P_L (m/m)	Shape	n ($s/m^{1/3}$)	L.B. n ($s/m^{1/3}$)	R.B. n ($s/m^{1/3}$)
Roglio-IB-CRF-RCS	951	0.003	Eight Point	0.06	0.06	0.06
Roglio-IB-MLG-CRF	2833	0.0011	Eight Point	0.06	0.06	0.06
Roglio IB-RGL-MLG	3743	0.0023	Eight Point	0.06	0.06	0.06
Roglio-IB-RCS-TOS	4320	0.0019	Eight Point	0.06	0.06	0.06
Roglio-IB-TOS-RIG	1376	0.0014	Eight Point	0.06	0.06	0.06
Roglio-IB-RIG-IDR	1724	0.0012	Eight Point	0.06	0.06	0.06

L: lunghezza dell'asta principale; P_L : pendenza media; n: coefficiente di scabrezza di Manning dell'alveo inciso;

L.B. n e R.B. n: coefficienti di scabrezza di Manning assunti per le aree golenali sinistra e destra, rispettivamente.

Tabella 3.13 - Parametri adottati nel metodo Kinematic Wave per il main channel degli interbacini del torrente Roglio chiuso all'idrometro di Forcoli (derivati nell'ambito dello "Studio idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Peccioli").

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

3.5. Propagazione dei deflussi

Per la modellazione idrologica della propagazione dei deflussi negli elementi di tipo *reach* si è fatto riferimento al metodo di Muskingum-Cunge.

Il metodo di Muskingum-Cunge è basato sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant. I coefficienti del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle relazioni:

$$k = \frac{\Delta x}{c} \quad X = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{Q}{BS_0 c \Delta x} \right) \quad c = \frac{dQ}{dA}$$

in cui Δx è l'intervallo di discretizzazione spaziale, Δt il passo temporale di calcolo, c la celerità di traslazione dell'onda, S_0 la pendenza di fondo e A l'area liquida.

Con tale metodo i valori dei coefficienti K ed X del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua. Nel caso in cui siano presenti significativi effetti di rigurgito (come avviene per i tratti terminali di Era e Cascina) la pendenza può essere intesa come parametro di taratura, andando a rappresentare fisicamente la pendenza della linea dell'energia, che varia in funzione delle condizioni di deflusso.

La Tabella 3.14 riporta i parametri di calcolo degli elementi di tipo reach.

Reach	L [m]	S [m/m]	Shape	n	L. B. n	R. B. n
r_jc1	3395.8	0.0018	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r_3M	1982.6	0.0055	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r_4sV	2291.2	0.0014	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r_6A	3957.55	0.0004	Eight Point	0.045	0.1	0.1
r1	8050.53	0.0058	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r2	1715.26	0.0044	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r2b	5925.2	0.0028	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r3	3198.76	0.0024	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r3b	9492.82	0.0004	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r5	6700.48	0.0006	Eight Point	0.045	0.05	0.05
r6	5261.47	0.0004	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r7	6589.34	0.00055	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r8	2732.87	0.0045	Eight Point	0.07	0.1	0.1
r8b	4479.7	0.0035	Eight Point	0.045	0.05	0.05

L: lunghezza del reach, S: pendenza, n: coefficiente di Manning dell'alveo inciso, L.B./R.B. n: coefficiente di Manning nella golena sinistra/destra

Tabella 3.14 - Parametri di calcolo degli elementi di tipo reach.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

3.6. Modellazione delle casse di espansione su Era e Cascina: elementi diversion e reservoir

Il modello idrologico definito in ambiente *HEC-HMS* considera anche la presenza delle casse d'espansione in linea e in derivazione presenti sulle aste dell'Era e del Cascina. In particolare, le casse in linea vengono modellate attraverso elementi di tipo *reservoir* che ricevono il deflusso direttamente dal corso d'acqua, mentre le casse in derivazione sono modellate attraverso l'uso di elementi di tipo *diversion*, ovvero le soglie di alimentazione, che ricevono il deflusso dal corso d'acqua e ne deviano una parte verso elementi di tipo *reservoir*. I dati relativi alla modellazione delle casse di espansione esistenti nel bacino (leggi di alimentazione e curve di invaso) sono stati ripresi direttamente dal modello HMS realizzato dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, e derivano dalle analisi fatte in sede di progetto delle casse stesse.

Le curve di invaso delle singole aree sono riportate a seguire.

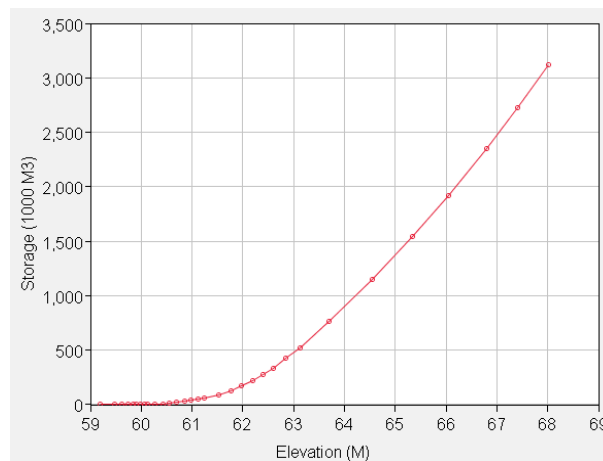


Figura 3.17 - Curva d'invaso della cassa E4 sul Fiume Era

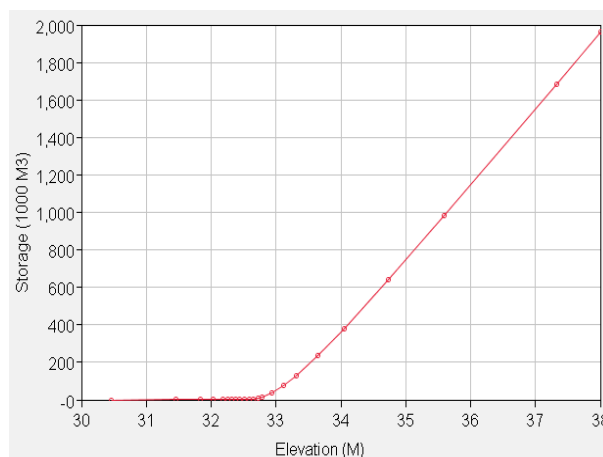


Figura 3.18: curva d'invaso della cassa La Bianca sul Fiume Era

PROGETTO: Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	ELABORATO: Relazione idrologica e idraulica
--	---

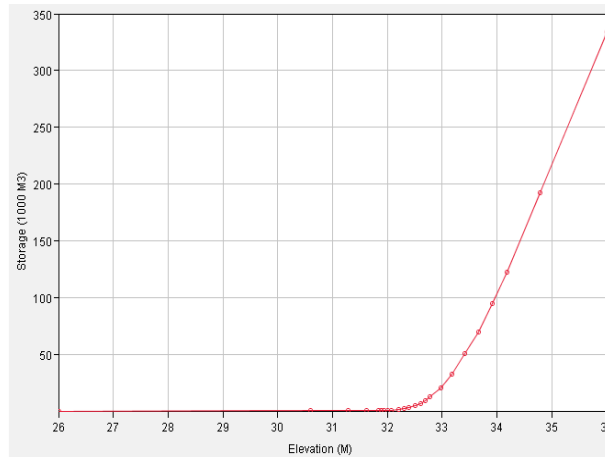


Figura 3.19: curva d'invaso della cassa d'espansione "Cassa1_La Capannina", posta in sinistra idraulica del Fiume Cascina nei pressi della località La Capannina.

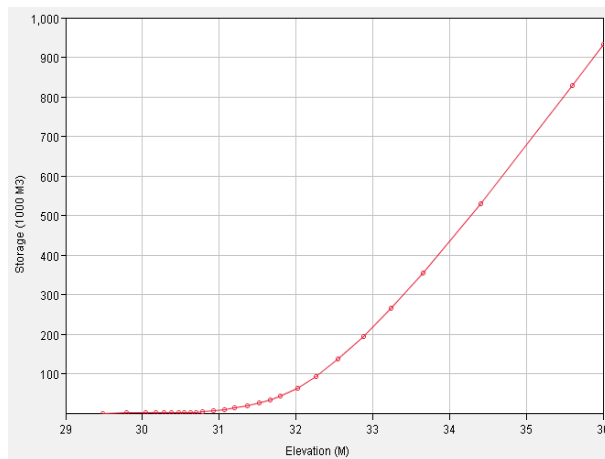


Figura 3.20: curva d'invaso della cassa d'espansione "Cassa2M_LaCapannina", posta in destra idraulica del Fiume Cascina nei pressi della località La Capannina (settore di monte).

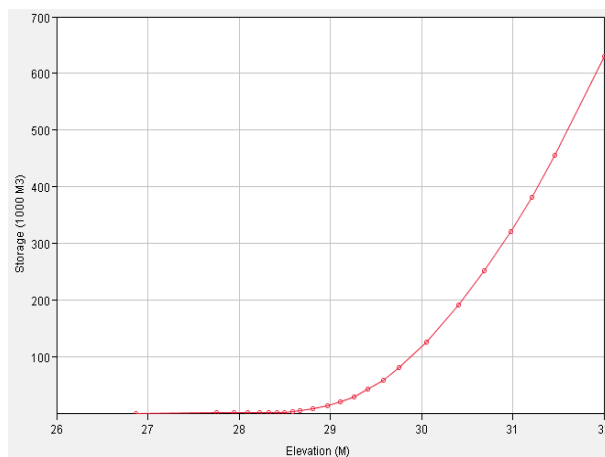


Figura 3.21: curva d'invaso della cassa d'espansione "Cassa2V_LaCapannina", posta in destra idraulica del Fiume Cascina nei pressi della località La Capannina (settore di valle).

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

3.7. Taratura del modello idrologico

In fase di taratura e verifica del modello idrologico sono stati presi in esame 2 eventi di rilievo, descritti nei seguenti report elaborati dal Centro Funzionale della Regione Toscana:

- I. *"Report evento meteo-idrologico dei giorni 9 e 10 settembre 2017"*: l'evento ha interessato prevalentemente la porzione costiera delle province di Livorno e Pisa con piogge abbondanti e assai intense in particolar modo dalle 21 di sabato sera fino alle 6 del mattino di domenica 10. Sono stati raggiunti livelli considerevoli di precipitazione anche nel bacino del Fiume Cascina;
- II. *"Report evento meteo-idrologico dei giorni 30 Gennaio – 01 Febbraio 2014"* : l'evento piuttosto significativo per il settore nord-occidentale della regione. All'idrometro di Ponsacco e Belvedere sono stati registrati rispettivamente il livello massimo storico dei Fiumi Cascina ed Era.

In fase preliminare erano stati presi in esame anche gli eventi di piena sul bacino dell'Arno del Novembre e Dicembre 2019. Tali eventi hanno portato a livelli elevati in corrispondenza del tratto terminale dell'Era, ma sostanzialmente per effetti di rigurgito dall'Arno, in quanto le piogge sul bacino dell'Era hanno presentato caratteri di ordinarietà. Essi non sono stati pertanto ritenuti utili ai fini della taratura del modello.

Gli idrometri presi in esame per la taratura di Era e Cascina sono i seguenti:

- Belvedere (TOS01005161)
- Ponsacco (TOS01005151)

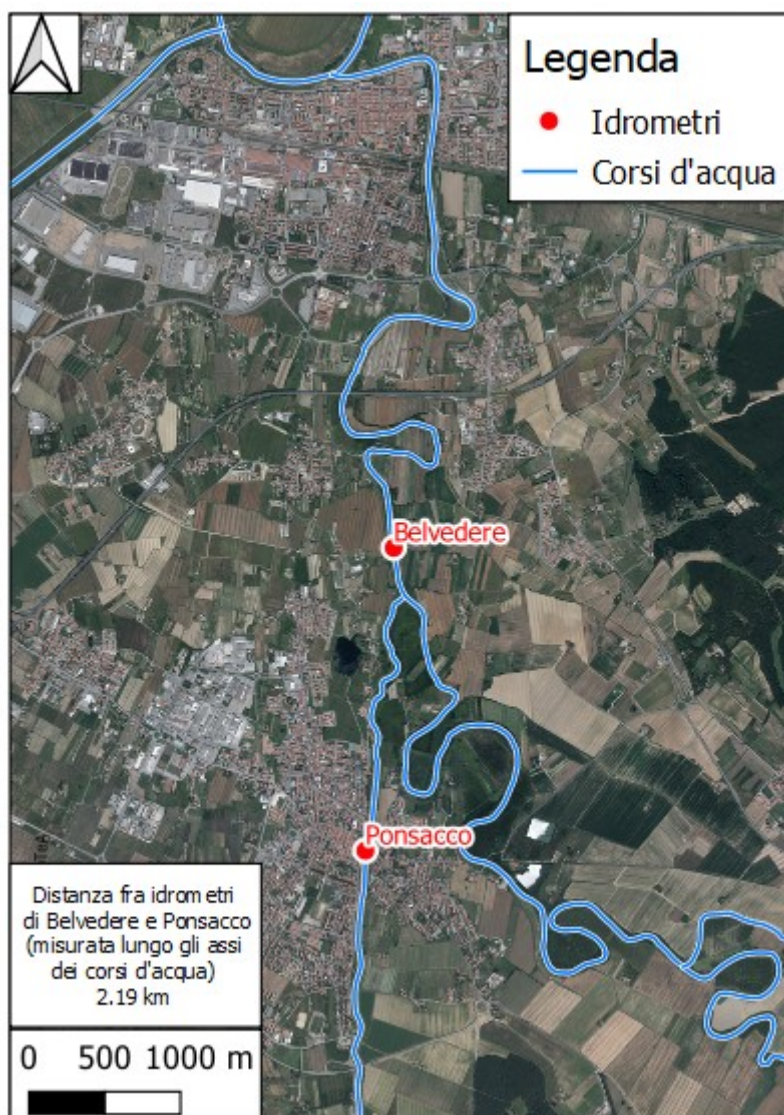


Figura 3.22 - Idrometri d'interesse per l'analisi degli eventi storici considerati ai fini della taratura

L'idrometro di Forcoli sul Roglio è già stato precedentemente adottato per la taratura del modello idrologico del Roglio, effettuata nell'ambito del citato studio per il PO di Peccioli.

Sull'asta dell'Era è presente anche l'idrometro di Capannoli, ma i dati storici di tale idrometro presentano ridotta affidabilità, come segnalato dai tecnici del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa, per cui non sono stati presi in esame.

Preliminarmente alle operazioni di taratura e verifica del modello sono state effettuate le seguenti modifiche al modello HMS di partenza, redatto dai tecnici del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa:

- nuova discretizzazione del modello: sono stati definiti ex-novo i seguenti sottobacini: Era 6A, bacino del Rio Malsatto a valle dell'idrometro di Belvedere, e suddivisi i sottobacini Cascina 1, Era 3 ed Era 4s in corrispondenza di casse d'espansione in linea o in derivazione;
- modifica dei parametri di perdita con inserimento dei valori di CN stimati secondo quanto riportato al paragrafo 3.3;

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

- stima dei valori dei tempi di corrivazione per i sottobacini modificati o di nuova definizione, come da paragrafo 3.4.1;
- definizione del metodo di Muskingum Cunge per tutti gli elementi reach del modello, come da paragrafo 3.5.

I parametri oggetto di attenzione durante la fase di taratura idrologica sono stati:

1. parametri di perdita idrologica, in particolare:
 - scelta della classe AMC da assegnare ai CN di ciascun evento per rappresentare al meglio le condizioni di umidità del suolo;
 - determinazione dei rapporti $\beta=I_a/S$ in funzione delle caratteristiche dei bacini e della stagione in cui è avvenuto l'evento considerato;
2. parametri della trasformazione afflussi-deflussi, con particolare riferimento al valore dei tempi di corrivazione e del rapporto $R/(T_c+R)$ da adottare per determinare la costante di invaso R;
3. parametri del metodo di Muskingum Cunge (in particolare la pendenza) per i reach posti nel tratto terminale, ai fini di rappresentare gli effetti di rigurgito.

3.7.1. Eventi pluviometrici di riferimento

Per la definizione degli afflussi e la taratura del modello idrologico si è ricorsi all'utilizzo del metodo dei topiati (metodo dei poligoni di Thiessen), procedendo con il calcolo delle percentuali di area di competenza di ciascuna stazione di misura rispetto al bacino idrografico chiuso alla sezione in esame.

Per la definizione dei topiati si sono prese in esame le stazioni pluviometriche ricadenti all'interno o comunque di interesse per il bacino idrografico di riferimento. Si è fatto riferimento alle stazioni per cui risultano disponibili i dati per gli eventi selezionati.

I pluviometri presi in considerazione per il procedimento di taratura sono mostrati nelle Figure 3.23 e 3.24, in cui viene riportata la suddivisione in topiati dei bacini in studio.

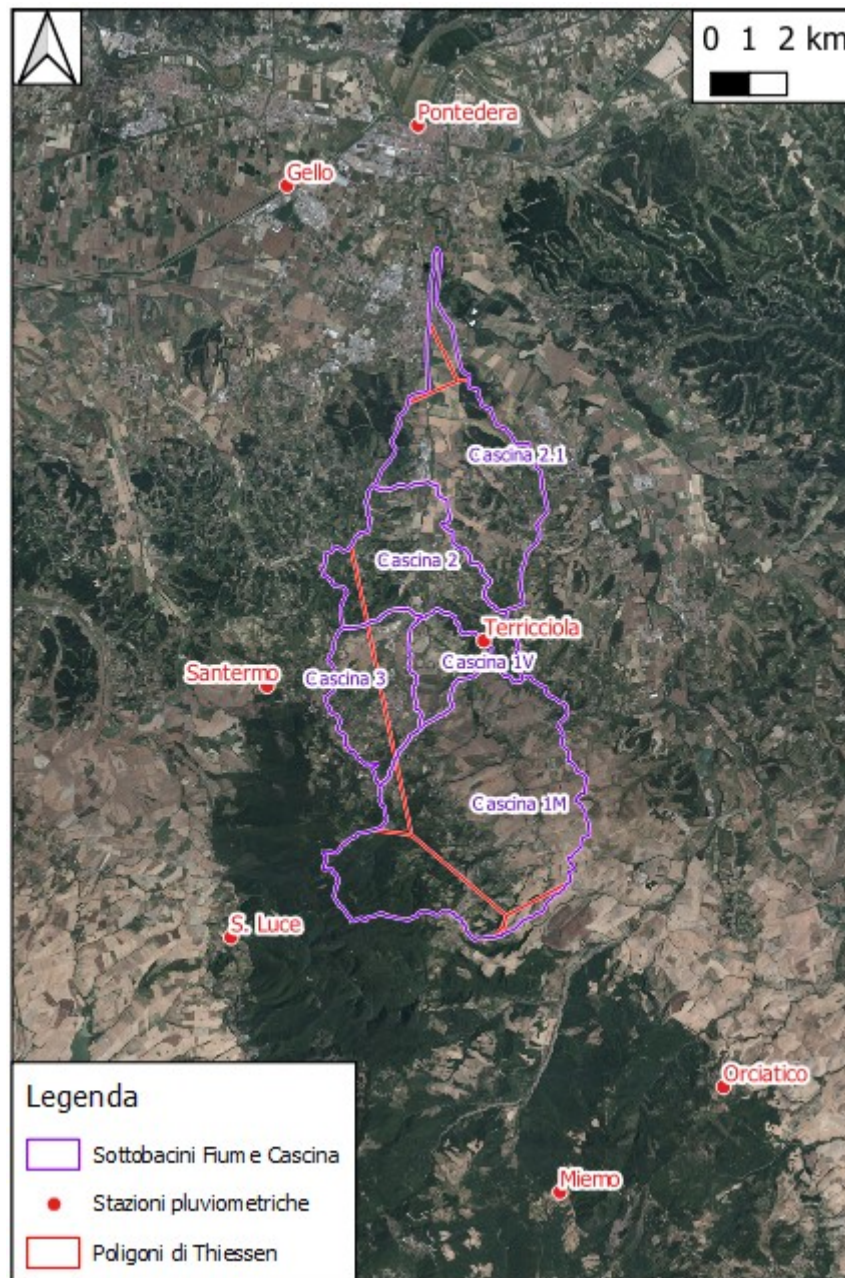


Figura 3.23: suddivisione dei sottobacini del Fiume Cascina in topoiets, per l'analisi delle precipitazioni relative all'evento di settembre 2017

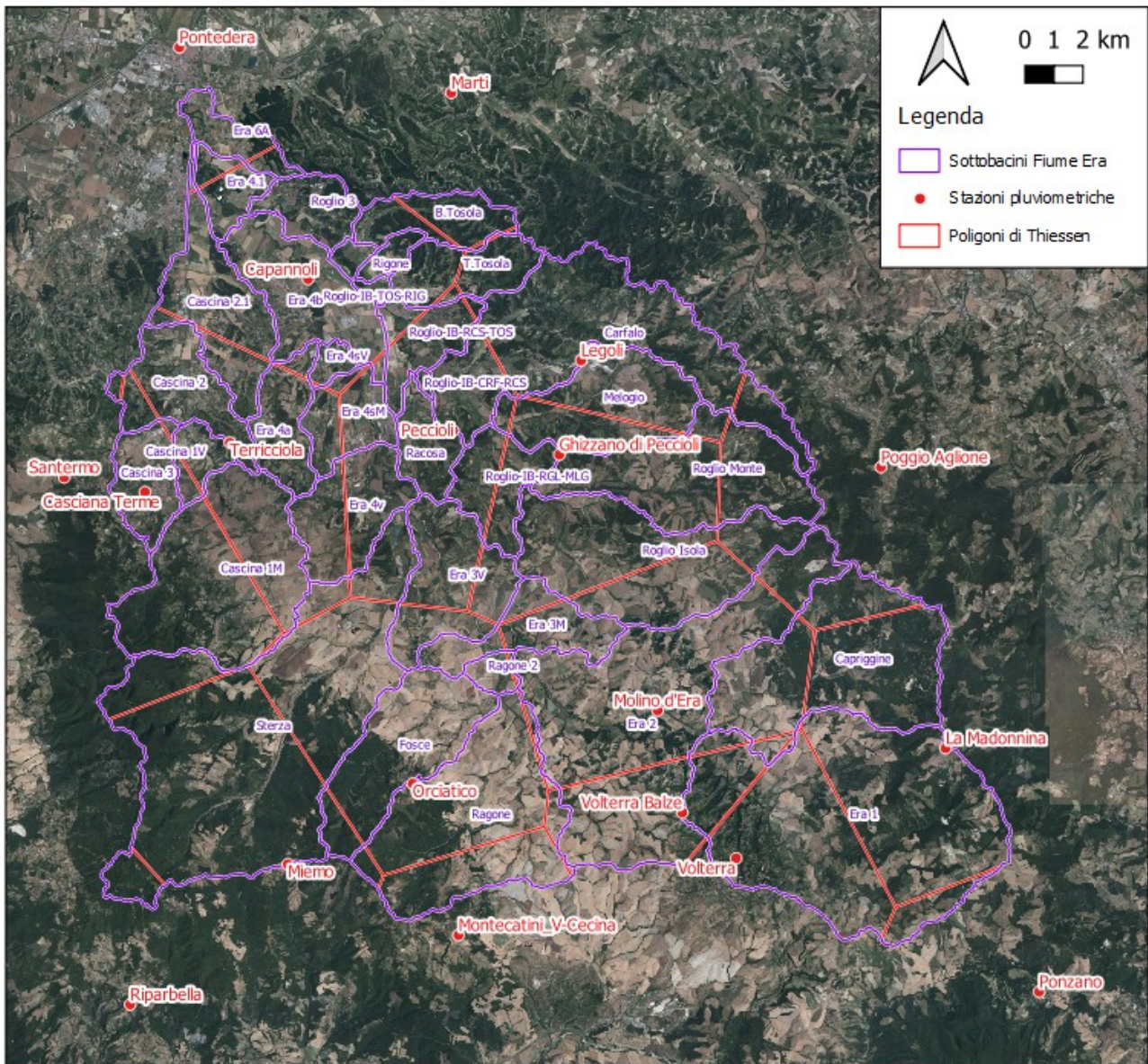


Figura 3.24: suddivisione dei sottobacini del Fiume Era in topoiets, per l'analisi delle precipitazioni relative all'evento di gennaio/febbraio 2014

La definizione degli afflussi è stata effettuata in modo da dare in ingresso ad ogni sottobacino il relativo ietogramma, adottando l'opzione Gage Weights su HMS.

Le altezze di pioggia per i bacini idrografici vengono determinate come media pesata delle altezze di pioggia di ciascuna stazione di misura rispetto alle frazioni di area dei topoiets ricadenti nei rispettivi bacini secondo la formula:

$$h = \frac{\sum_i h_i \cdot w_i}{\sum_i w_i}$$

in cui h_i indica la pioggia registrata nella stazione di misura i -esima e w_i la percentuale di area del bacino idrologico ricadente entro il topoiets riferito alla stazione i -esima. Le seguenti tabelle

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

3.15 e 3.16 riportano i pesi di ciascuna stazione di misura relativamente ad i diversi sottobacini.

Bacino	A_{bac} [kmq]	Pluviometro	A_i [kmq]	A_i/A_{bac}	$\Sigma (A_i/A_{bac})$
Cascina 1M	31.67	Miemo	0.04	0.001	1
	31.67	Orciatico	0.51	0.016	
	31.67	Santermo	0.96	0.030	
	31.67	S. Luce	7.59	0.240	
	31.67	Terricciola	22.57	0.713	
Cascina 1V	3.94	Terricciola	3.94	1.000	1
Cascina 2	12.20	Santermo	1.33	0.109	1
	12.20	Terricciola	10.87	0.891	
Cascina 2.1	15.70	Gello	0.87	0.056	1
	15.70	Pontedera	1.03	0.066	
	15.70	Terricciola	13.80	0.879	
Cascina 3	7.70	Santermo	4.47	0.581	1
	7.70	Terricciola	3.23	0.419	

Tabella 3.15: Pesi delle stazioni pluviometriche relative all'evento di settembre 2017 nei vari sottobacini del Fiume Cascina. A_{bac} indica l'area totale del sottobacino; A_i l'area di competenza della singola stazione pluviometrica

PROGETTO:						ELABORATO:								
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio						Relazione idrologica e idraulica								
Bacino	A _{bac} [kmq]	Pluviometro	A _i [kmq]	A _i /A _{bac}	Σ (A _i /A _{bac})	Bacino	A _{bac} [kmq]	Pluviometro	A _i [kmq]	A _i /A _{bac}	Σ (A _i /A _{bac})			
B. Tosola	8.04	Capannoli	3.08	0.383	1	Era 4sV	1.76	Capannoli	1.71	0.974	1			
		Legoli	0.18	0.023				Terriciola	0.05	0.026				
		Marti	4.77	0.594		Era 4v	12.81	Peccioli	6.87	0.537	1			
Capriggine	32.93	La Madonnina	16.31	0.495	1	Era 6A	5.00	Terriciola	5.93	0.463	1			
		Molino d'Era	10.57	0.321				Capannoli	1.16	0.231				
		Poggio Aglione	5.07	0.154		Fosce	19.03	Pontedera	3.84	0.769	1			
		Volterra	0.15	0.005		Miemo	2.06	0.108						
Volterra Balze	0.84	0.025	Orciatico	16.97	0.892	1								
Carfalo	33.84	Ghizzano di Peccioli	0.01	0.0004	1	Melogio	17.60	Ghizzano di Peccioli	6.43	0.365	1			
		Legoli	27.16	0.803				Legoli	10.40	0.591				
		Peccioli	3.32	0.098				Peccioli	0.78	0.044				
		Poggio Aglione	3.34	0.099		Racosa	6.02	Peccioli	6.02	1.000				
Cascina 1M	31.67	Casciana Terme	20.05	0.633	1	Ragone	33.23	Miemo	0.76	0.023	1			
		Orciatico	0.19	0.006				Molino d'Era	0.62	0.019				
Cascina 1V	3.94	Terriciola	11.43	0.361	1			Ragone 2	2.07	Montecatini_V-Cecina		10.25	0.309	1
		Casciana Terme	1.02	0.258						Orciatico		20.42	0.615	
Cascina 2	12.20	Terriciola	2.92	0.742	1			Ragone 2	2.07	Volterra Balze		1.17	0.035	1
		Capannoli	0.01	0.0006		Molino d'Era	0.18			0.089				
		Casciana Terme	1.75	0.143		Rigone	2.03	Capannoli	2.03	1.000	1			
		Santermo	0.43	0.035		Roglio 3	6.38	Capannoli	6.38	1.000	1			
Cascina 2.1	15.70	Terriciola	10.02	0.822	1	Roglio Isola	30.37	Ghizzano di Peccioli	15.56	0.512	1			
		Capannoli	10.98	0.699				Molino d'Era	10.69	0.352				
		Pontedera	0.32	0.020				Poggio Aglione	4.12	0.136				
Cascina 3	7.70	Terriciola	4.41	0.281	1	Roglio Monte	24.04	Ghizzano di Peccioli	13.81	0.574	1			
		Casciana Terme	7.43	0.964				Legoli	1.32	0.055				
Era 1	62.36	Terriciola	0.28	0.036	1			Roglio-IB-CRF-RCS	0.40	Poggio Aglione		8.91	0.371	1
		La Madonnina	29.06	0.466		Peccioli	0.40			1.000				
		Molino d'Era	1.13	0.018		Roglio-IB-MLG-CRF	3.66			Peccioli	3.66	1.000	1	
		Ponzano	3.11	0.050		Roglio-IB-RCS-TOS	7.61			Capannoli	1.47	0.193	1	
		Volterra	23.51	0.377						Legoli	0.34	0.045		
Era 2	53.38	Volterra Balze	5.55	0.089	1	Roglio-IB-RGL-MLG	9.31	Peccioli	5.80	0.762	1			
		Molino d'Era	33.68	0.631				Ghizzano di Peccioli	4.91	0.528				
		Poggio Aglione	4.69	0.088		Peccioli	4.40	0.472	1					
		Volterra	0.67	0.013		Roglio-IB-RIG-IDR	1.32	Capannoli		1.32	1.000	1		
Era 3M	10.08	Volterra Balze	14.34	0.269	1	Roglio-IB-TOS-RIG	0.86	Capannoli	0.86	1.000	1			
		Ghizzano di Peccioli	1.67	0.166				Casciana Terme	5.41	0.076				
		Molino d'Era	5.63	0.558				Miemo	38.02	0.532				
Era 3V	16.12	Orciatico	2.78	0.276	1	Sterza	71.52	Orciatico	19.12	0.267	1			
		Peccioli	8.35	0.518				Peccioli	4.58	0.064				
		Ghizzano di Peccioli	3.24	0.201				Riparbella	2.69	0.038				
Era 4.1	5.04	Orciatico	4.54	0.281	1			T. Tosola	9.08	Terriciola		1.68	0.024	1
		Peccioli	8.35	0.518						Capannoli		4.17	0.459	
Era 4a	8.29	Capannoli	3.66	0.727	1	T. Tosola	9.08	Legoli	4.51	0.497	1			
		Pontedera	1.37	0.273				Marti	0.05	0.006				
Era 4b	16.25	Capannoli	0.93	0.112	1			T. Tosola	9.08	Marti		0.01	0.001	1
		Terriciola	7.36	0.888						Peccioli		0.33	0.037	
Era 4sM	7.94	Capannoli	15.82	0.973	1	T. Tosola	9.08	Capannoli	4.17	0.459	1			
		Peccioli	0.43	0.027				Legoli	4.51	0.497				
		Capannoli	0.60	0.075				Marti	0.05	0.006				
Era 4sM	7.94	Peccioli	4.18	0.526	1	T. Tosola	9.08	Peccioli	0.33	0.037	1			
		Terriciola	3.17	0.399										

Tabella 3.16: Pesi delle stazioni pluviometriche relative all'evento di gennaio/febbraio 2014 nei vari sottobacini del Fiume Era. A_{bac} indica l'area totale del sottobacino; A_i l'area di competenza della singola stazione pluviometrica

Le seguenti figure riportano infine l'andamento delle precipitazioni medie sul bacino complessivo dell'Era e del Cascina relativamente agli eventi di riferimento. In ordinata vengono riportate le altezze di pioggia con passo temporale 15 minuti.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Precipitazione media

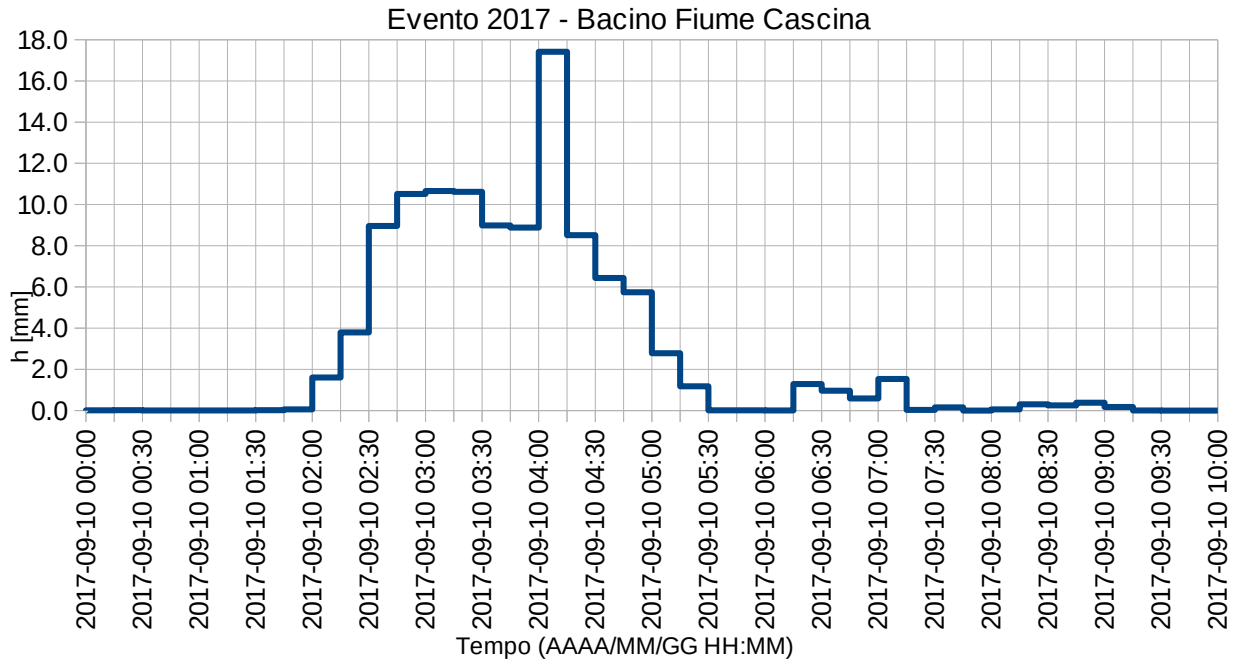


Figura 3.25: Evento pluviometrico del giorno 10 settembre 2017 (precipitazione media sul bacino del Fiume Cascina)

Precipitazione media

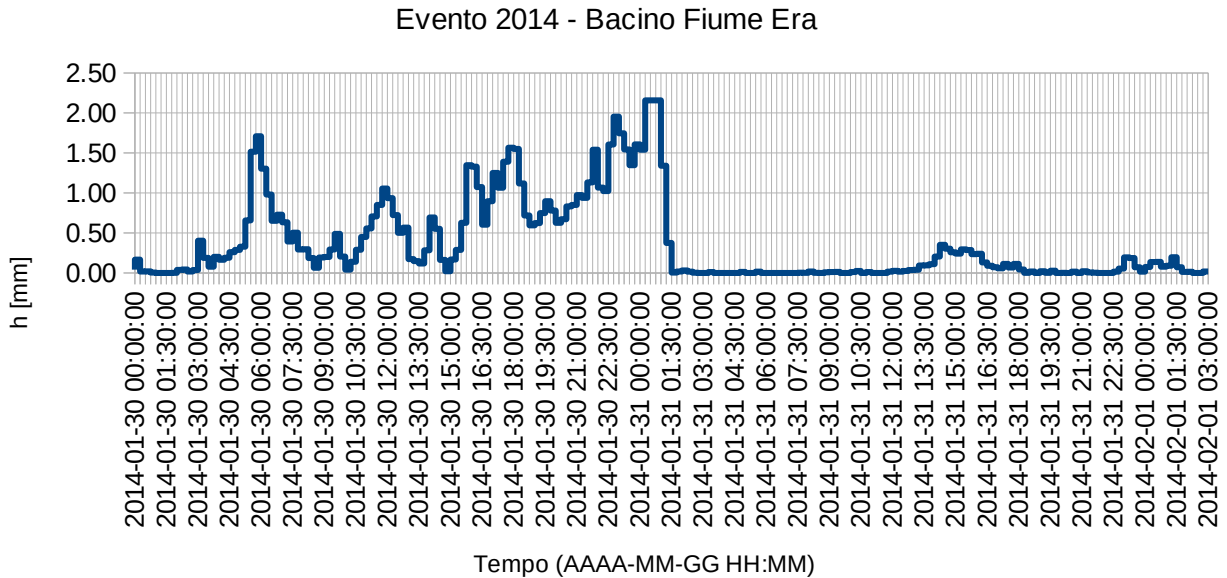


Figura 3.26: Evento pluviometrico dei giorni 30 gennaio – 1 febbraio 2014 (precipitazione media sul bacino del Fiume Era)

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

3.7.1.1. Evento del 10 settembre 2017

L'evento pluviometrico dei giorni 9 e 10 settembre 2017, come riportato nel "Report evento meteo-idrologico dei giorni 9 e 10 settembre 2017", redatto a cura del Centro Funzionale della Regione Toscana ed a cui si rimanda per eventuali approfondimenti, ha interessato prevalentemente la porzione costiera delle province di Livorno e Pisa con piogge abbondanti e assai intense in particolar modo dalle 21 di sabato sera fino alle 6 del mattino di domenica 10. L'evento è stato caratterizzato da tre periodi più intensi. Durante il primo impulso, che ha insistito prevalentemente sulle aree più prossime alla costa, si sono registrati cumulati massimi di circa 63-66 mm/1ora su Livorno e Marina di Pisa. Successivamente, le zone della costa di Pisa e quelle più interne confinanti con il comune di Pisa stesso sono state interessate da fortissimi piogge con cumulati di entità rilevante sulle brevi durate (15 minuti e 1-2 ore). L'ultimo impulso temporalesco, rivelatosi il più violento (sono state registrate punte superiori a 40 mm/15 min, 120mm/1 ora e 230 mm in 3 ore) ha interessato prevalentemente le zone fra la zona sud della città di Livorno e Rosignano.

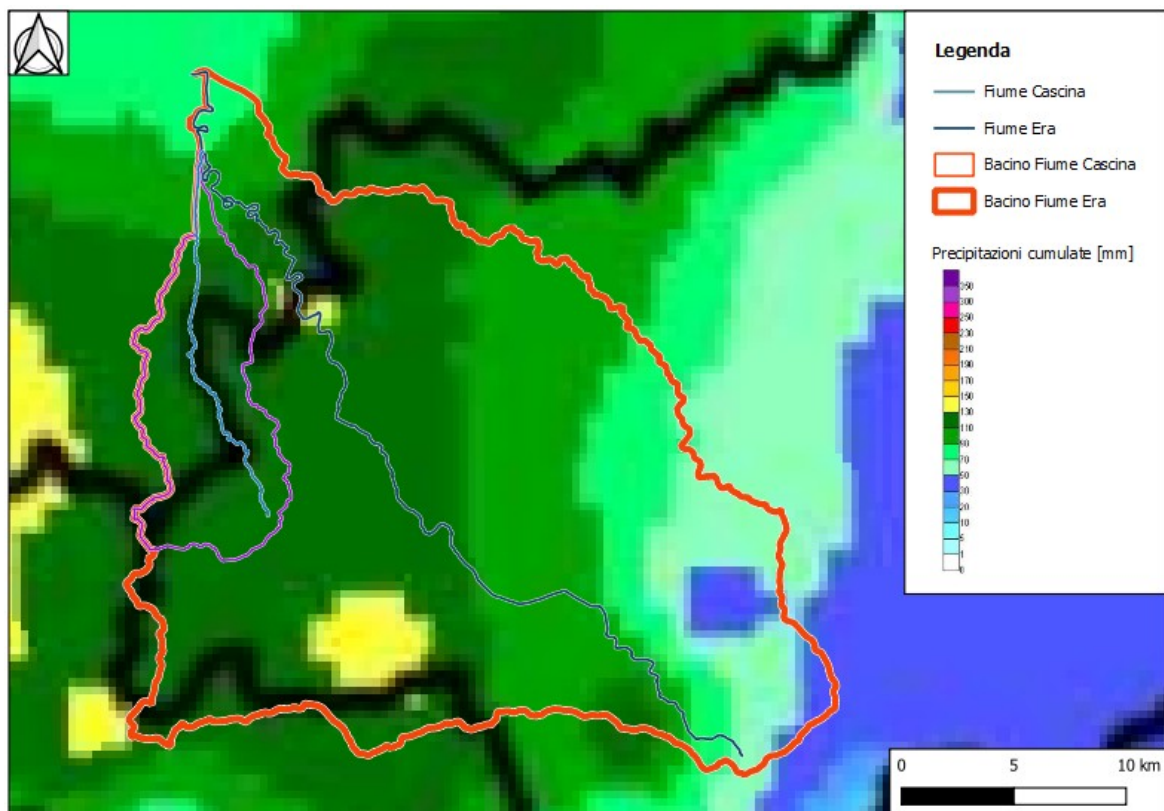


Figura 3.27: Precipitazione cumulata a 24h (alle ore 00:00 del 2017-09-11) in occasione dell'evento pluviometrico del 9-10 settembre 2017 all'interno dei bacini dei Fiumi Cascina ed Era

Si evidenzia che per le stazioni di Santeramo, S. Luce, e Terricciola (quelle di principale interesse per la stima della precipitazione media sulla base dei poligoni di Thiessen precedentemente riportati) sono stati stimati dal Centro Funzionale tempi di ritorno superiori a 100 anni per intervalli temporali compresi fra 2 e 6 ore. Si ottengono valori analoghi prendendo a riferimento la precipitazione ricostruita a scala di bacino sulla base dei poligoni di Thiessen descritti

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

precedentemente, e stimandone il tempo di ritorno per varie durate tramite confronto con i valori di altezza di precipitazione ricavabili per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni dalla curva pluviometrica media a scala di bacino dell'Era $h=aT_p^n$, in cui i parametri a ed n sono stati determinati, per ogni tempo di ritorno, come statistica zonale sulla superficie del bacino del Fiume Era dei valori derivanti dagli studi di regionalizzazione delle piogge della Regione Toscana (Tabella 3.17).

T_p [h]	h_{rag} [mm]	T_r [anni]
1	56.56	23.37
2	90.97	107.34
3	104.89	127.86
4	106.15	85.75
5	110.46	75.92
6	110.71	58.92
8	111.88	42.12
12	113.04	27.10
24	117.89	15.78

Tabella 3.17: Tempi di ritorno associati all'evento del giorno 10 settembre 2017

La seguente figura riporta l'andamento dei livelli registrato all'idrometro di Ponsacco in occasione dell'evento analizzato.

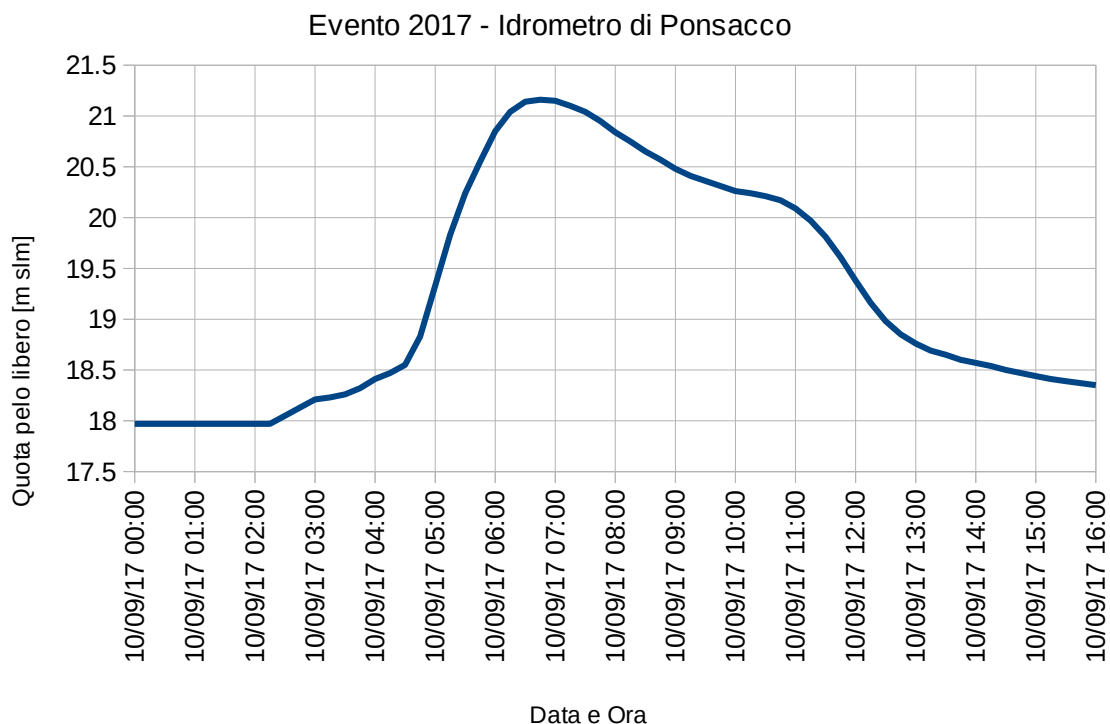


Figura 3.28: andamento dei livelli del Fiume Cascina all'idrometro di Ponsacco durante l'evento del 10 settembre 2017.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

3.7.1.2. Evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014

L'evento pluviometrico del giorno 30 gennaio/1 febbraio 2014 è stato piuttosto significativo per il settore nord-occidentale della regione. La Figura 3.29 riporta la distribuzione spaziale della precipitazione avvenuta durante l'evento. Il Bacino del Fiume Era ricade nella zona in cui sono piovuti fra i 60 e 100 mm.

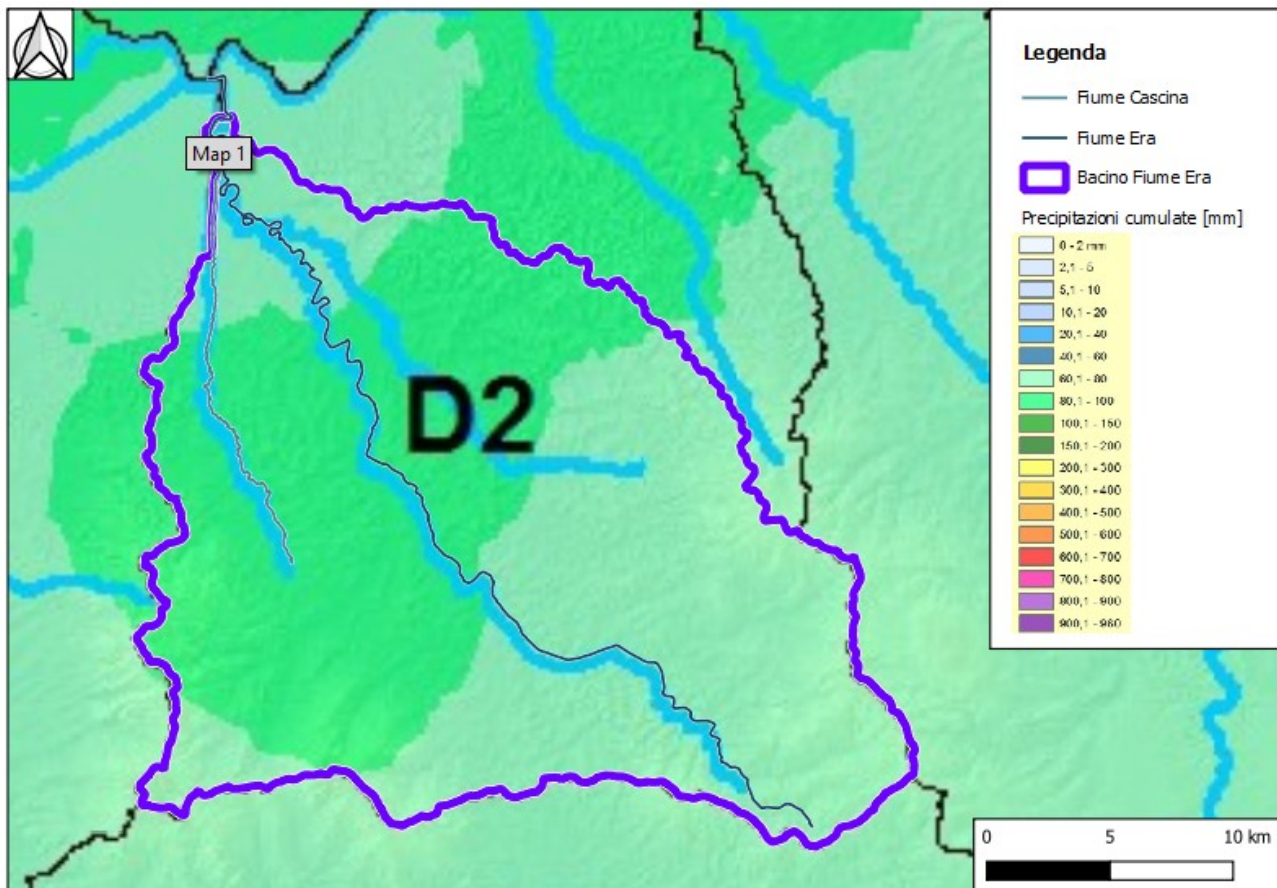


Figura 3.29: Precipitazione totale in occasione dell'evento pluviometrico del 30 gennaio / 1 febbraio 2014 all'interno del bacino del Fiume Era.

Nonostante l'evento non sia stato eccezionale da un punto di vista meteorologico, esso ha interessato tutto il territorio regionale, con punte sopra i 200mm in alcune zone della Garfagnana e nella porzione di alimentazione dell'Ombrore Pistoiese, e valori massimi fra i 120 e 140 mm nei bacini del Cecina, dell'Albegna e del Cornia. Nel bacino dell'Arno sono state registrate piogge medie di circa 80 mm e punte di 180 mm. Per i fiumi Cascina ed Era, nel corso di tale evento è stato registrato il massimo storico dei livelli registrati agli idrometri rispettivamente di Ponsacco e Belvedere.

Le elaborazioni del Centro Funzionale riportano per le stazioni pluviometriche all'interno del bacino dell'Era tempi di ritorno variabili tra 4 e 6 anni, associati a durate di pioggia di 24 h. Si ottengono valori analoghi prendendo a riferimento la precipitazione ricostruita a scala di bacino sulla base dei poligoni di Thiessen descritti precedentemente, e stimandone il tempo di ritorno per varie durate tramite confronto con i valori di altezza di precipitazione ricavabili per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni dalla curva pluviometrica media a scala di bacino dell'Era $h = aT_p^n$, in cui i parametri a ed n sono stati determinati, per ogni tempo di ritorno,

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

come statistica zonale sulla superficie del bacino del Fiume Era dei valori derivanti dagli studi di regionalizzazione delle piogge della Regione Toscana (Tabella 3.18).

T_p [h]	h [mm]	T_r [anni]
6	29.70	1.58
8	38.95	2.28
12	47.64	2.87
15	54.59	3.44
18	58.01	3.61
24	68.23	4.48
36	70.26	3.95
48	73.43	3.81

Tabella 3.18: Tempi di ritorno associati all'evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014

Le seguenti figure riportano l'andamento dei livelli registrati sul Fiume Era all'idrometro di Belvedere e sul Fiume Cascina all'idrometro di Ponsacco in occasione dell'evento analizzato, durante il quale si sottolinea che sono stati registrati i livelli massimi storici in tali corsi d'acqua. Il livello dell'Era è stato poi superato dalla piena del Dicembre 2019, che era tuttavia sostanzialmente una piena del solo fiume Arno (a conferma dell'importanza degli effetti di rigurgito per il tratto terminale del corso d'acqua).

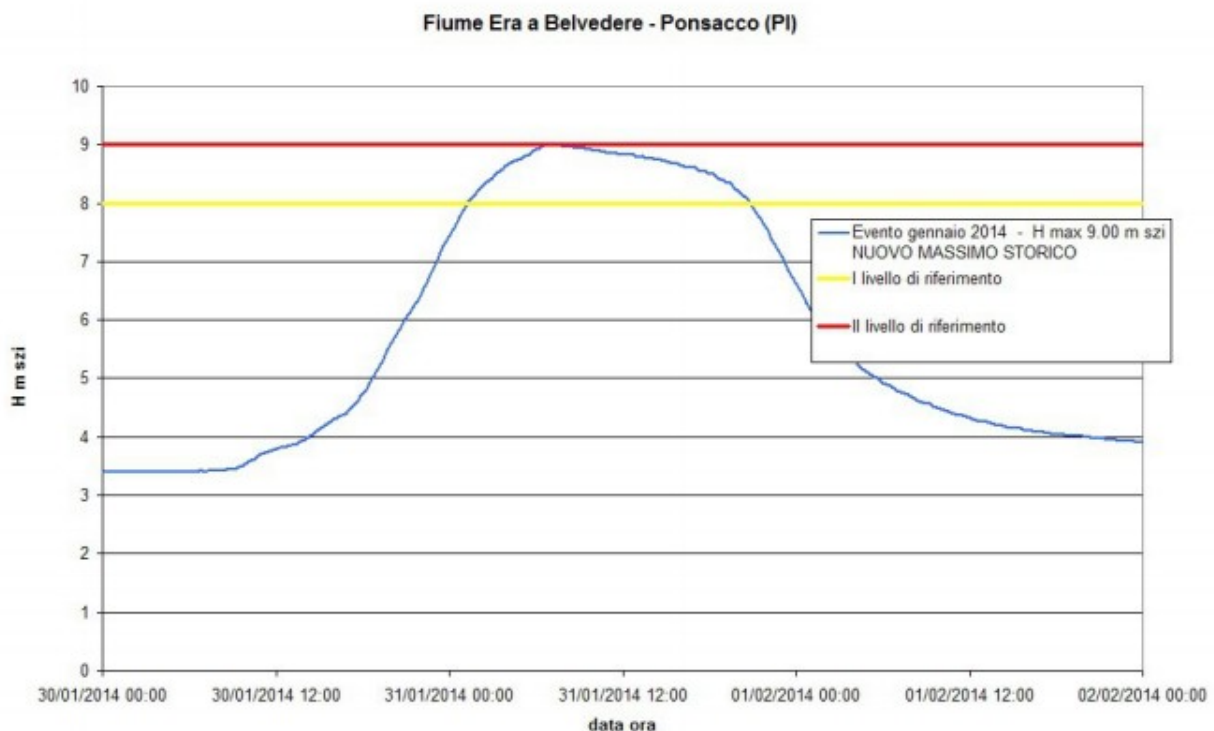


Figura 3.30: andamento dei livelli del Fiume Era all'idrometro di Belvedere durante l'evento del 30 gennaio / 1 febbraio 2014.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

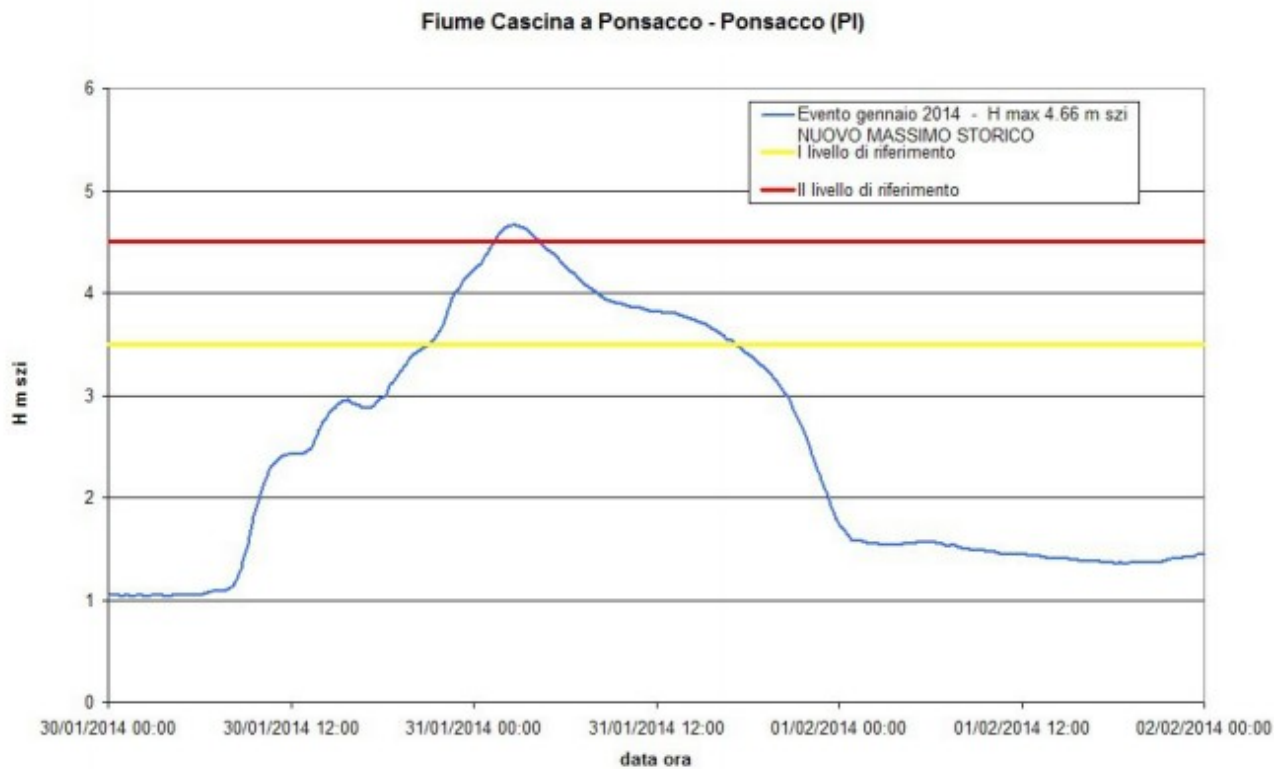


Figura 3.31: andamento dei livelli del Fiume Cascina all'idrometro di Ponsacco durante l'evento del 30 gennaio / 1 febbraio 2014.

Nel corso dell'evento si è verificata anche una rottura arginale dell'argine sinistro dell'Era nella zona sud-est di Ponsacco, in località Le Colombaie (Figura 3.32). Tale aspetto è stato considerato in fase di modellazione idraulica, come descritto nel Paragrafo 3.7.5.2.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>



1. *Figura 3.32: Breccia dell'argine sinistro del Fiume Era presso la zona sud-est di Ponsacco durante l'evento del 30 Gennaio/1 Febbraio 2014.*

3.7.2. Valutazione delle perdite idrologiche per gli eventi di taratura

Il calcolo della precipitazione efficace a partire dai dati di pioggia è stato eseguito ricorrendo al metodo del Curve Number, la cui descrizione è riportata al precedente paragrafo 3.3. In tal senso sono stati quindi modificati i valori inseriti nel modello HMS redatto dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa.

Per ciascuno degli eventi meteorici oggetto di interesse, il valore appropriato di CN è stato definito sulla base delle condizioni di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico (AMC). Tale valutazione si basa convenzionalmente sui millimetri di pioggia che si sono verificati nei 5 giorni antecedenti l'evento oggetto di interesse, stimati come media pesata dei dati delle stazioni pluviometriche considerate sulla base dei poligoni di Thiessen descritti nel paragrafo 3.7.1. La condizione del suolo assunta nei diversi eventi è riassunta nella seguente tabella. Si evidenzia che nonostante le piogge dei 5 giorni precedenti relative all'evento del 2014 non siano state di intensità elevata, l'evento si è svolto nel periodo invernale con il bacino in condizioni di umidità elevata derivante dalle precipitazioni occorse nei giorni 13-24 Gennaio, ed è stata quindi comunque assunta in sede di taratura la classe di umidità AMC III, ritenuta fisicamente più realistica.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Evento	Periodo di valutazione	Pioggia 5 giorni antecedenti [mm]	Condizioni suolo
10 settembre 2017	5-9/09/2017	7.87	Classe AMC I
31 gen/1 feb 2014	25-29/09/2014	8.6	Classe AMC III

Tabella 3.19: Condizione di umidità del suolo per i tre eventi di riferimento

In sede di taratura del modello le perdite iniziali I_a sono state valutate come $I_a = \beta S$, con $\beta = 0.10$ in occasione dell'evento del 2014, avvenuto in periodo invernale, mentre nell'evento del 2017, avvenuto poco dopo il periodo estivo, si è utilizzato $\beta = 0.30$ nei bacini di monte Cascina 1M e 1V (caratterizzati da una maggior percentuale di superfici boschive) del Fiume Cascina, e $\beta = 0.2$ nei bacini restanti di valle.

3.7.3. Scelta dei parametri della trasformazione afflussi netti-deflussi

Per la trasformazione afflussi netti – deflussi è stato adottato il metodo dell'idrogramma unitario di Clark, per la cui descrizione di rimanda al paragrafo 3.4.

In sede di valutazioni preliminari si è testato il comportamento del modello inizialmente con i valori della costante R inseriti nel modello HMS redatto dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa . Successivamente si è provveduto a variare il rapporto $R/(T_c+R)$ nell'intervallo 0.25-0.45. Il miglior adattamento ai dati sperimentali si è registrato con un valore del rapporto suddetto pari a 0.35. Tale valore, in linea con le indicazioni di letteratura tecnica, era stato peraltro adottato anche in sede di modellazione e taratura del bacino del Roglio.

Ulteriori analisi sono state condotte in merito alla sensitività dei risultati trovati ai valori del tempo di corruzione, ma i valori inseriti nel modello iniziale e quelli stimati con le formule di cui al paragrafo 3.4 si sono dimostrati generalmente idonei a fornire una buona riproduzione degli idrogrammi osservati già con le loro stime iniziali. In definitiva sono stati assunti i valori di calcolo riportati in tabella seguente.

Bacino	T_c [h]	R [h]
B.Tosola	2.267	1.22
Capriggine	2.87	1.55
Carfalo	4.053	2.18
Cascina 1M	2.72	1.46
Cascina 1V	1.40	0.75
Cascina 2	1.54	0.83
Cascina 2.1	2.07	1.11
Cascina 3	1.92	1.03
Era 1	3.57	1.92
Era 2	3.69	1.99
Era 3M	1.56	0.84
Era 3V	2.73	1.47
Era 4a	1.90	1.02
Era 4b	2.56	1.38
Era 4sM	1.95	1.05
Era 4sV	1.37	0.74
Era 4v	1.93	1.04
Era 4.1	2.99	1.61

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Era 6A	1.6	0.86
Fosce	2.68	1.44
Melogio	2.849	1.53
Racosa	1.717	0.92
Ragone	3.08	1.66
Ragone 2	1.26	0.68
Rigone	0.860	0.46
Roglio Isola	4.527	2.44
Roglio Monte	3.674	1.98
Roglio 3	2.21	1.19
Sterza	5.40	2.91
T.Tosola	2.07	1.11

Tabella 3.20 - Tempi di corrivazione e costanti d'invaso scelti per i bacini modellati con il metodo di Clark

3.7.4. Parametri di calcolo della propagazione dei deflussi

Per la modellazione della propagazione dei deflussi si è adottato il metodo di Muskingum Cunge, che è un metodo fisicamente basato. Anche tale metodo, come tutti i metodi idrologici di propagazione, va impiegato con attenzione nel caso di presenza di significativi effetti di rigurgito nella rete idraulica oggetto di modellazione. E' questo il caso dei tratti terminali delle aste in esame, in cui è risultato necessario agire sulla pendenza dei singoli reach (procedendo per via iterativa anche sulla base dell'esame delle simulazioni idrauliche relative agli eventi di taratura) per ottenere un miglior adattamento dell'idrogramma registrato a quello calcolato, in particolare in termini di istante di picco.

I valori dei parametri di Muskingum Cunge adottati per la ricostruzione dell'evento 2014 e per la successiva stima degli eventi con tempo di ritorno di 30 e 200 anni sono riportati direttamente al paragrafo 3.4. Per la ricostruzione dell'evento 2017 sul Cascina si è riscontrata una maggior aderenza all'idrogramma registrato adottando per il reach r5 un valore di pendenza pari a 0,003 piuttosto che 0,0006. Tale assunzione trova fisicamente conferma nel fatto che per l'evento 2017 il deflusso del Cascina in Era è stato sostanzialmente libero, senza effetti di rigurgito da valle.

3.7.5. Risultati della calibrazione del modello idrologico

La taratura del modello idrologico del fiume Cascina è stata effettuata con riferimento all'idrometro di Ponsacco con riferimento all'evento 2017, mentre quella del fiume Era è stata effettuata con riferimento all'idrometro di Belvedere, con riferimento all'evento 2014. A seguire si riporta il dettaglio delle analisi per i due eventi considerati.

3.7.5.1. Evento del 10 settembre 2017

L'evento del 10 settembre 2017, significativo per il Fiume Cascina, è stato analizzato in ambiente HMS con i parametri descritti precedentemente e in ambiente HEC-RAS, con la geometria descritta nel successivo Capitolo 4. In particolare, è stata considerata una geometria ristretta del modello idraulico, in cui sono stati considerati solo gli elementi di modellazione relativi al Fiume Cascina, per il quale è stata ipotizzata come condizione al contorno di valle lo sbocco a moto uniforme, dato che il Fiume Era non ha presentato livelli significativi in tale occasione. La tabella 3.21 riporta un confronto fra i coefficienti di deflusso (ottenuti come rapporto fra il volume

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

sotteso dall'idrogramma delle portate dei modelli idrologico e idraulico e il volume di precipitazione dell'evento) alla sezione di chiusura del bacino del Fiume Cascina.

Bacino	Elemento HMS	Sezione RAS	A drenata [km2]	C _d - HMS	C _d - RAS
Cascina a monte Confluenza Era	j11	1792	71.21	19.4%	18.8%

Tabella 3.21: Coefficienti di deflusso ottenuti dall'applicazione del modello idrologico (C_d - HMS) e idraulico (C_d - RAS) relativamente all'evento di settembre 2017.

Il confronto fra i livelli misurati e simulati all'idrometro di Ponsacco è riportato nelle seguenti figura e tabella.

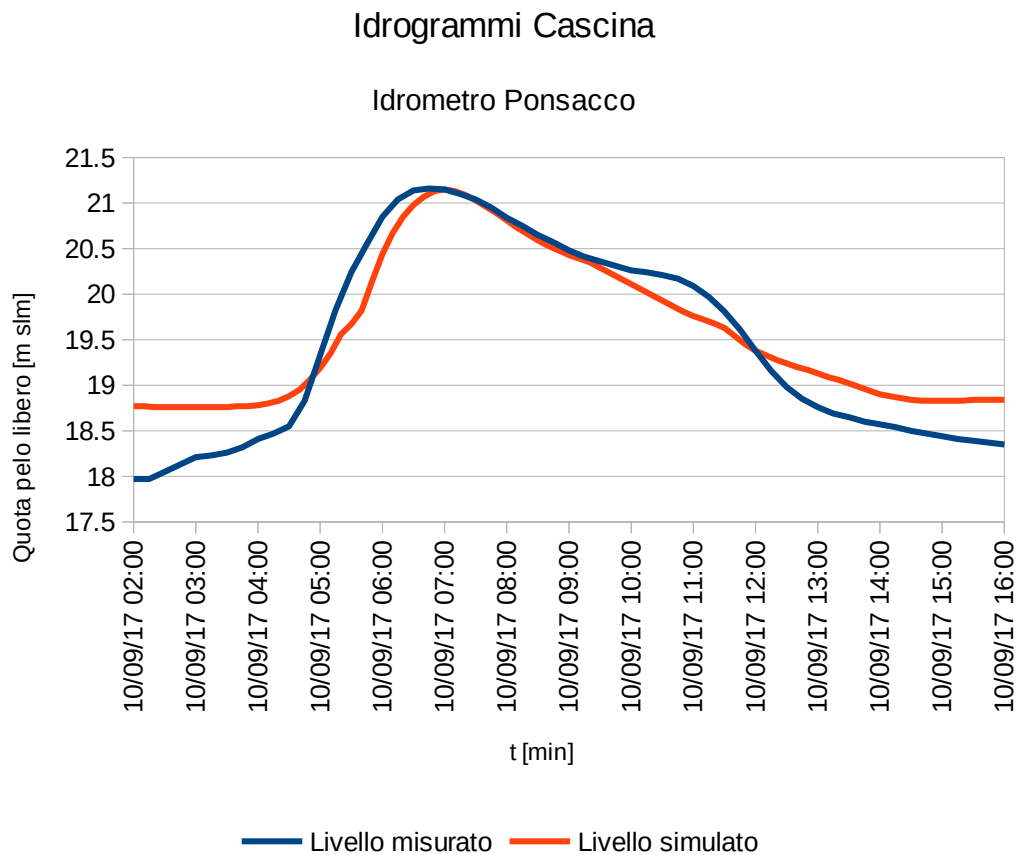


Figura 3.33: Confronto fra l'andamento dei livelli misurati e simulati (in fase di modellazione idraulica) all'idrometro di Ponsacco per l'evento di settembre 2017.

Livello massimo (Evento 2017) [m slm]	
Misurato	Simulato
21.16	21.17

Tabella 3.22: Confronto fra il livello massimo misurato e quello simulato (in fase di modellazione idraulica) all'idrometro di Ponsacco per l'evento di settembre 2017.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

3.7.5.2. Evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014

L'evento del 30 gennaio/1 febbraio 2014, significativo per entrambi i Fiumi Era e Cascina, è stato analizzato in ambiente HMS con i parametri descritti precedentemente e in ambiente HEC-RAS, con la geometria descritta nel successivo Capitolo 4, relativa al modello completo Era-Cascina. In particolare, in fase di modellazione idraulica è stata simulata anche la rottura arginale avvenuta sulla sponda sinistra nella zona sud-est di Ponsacco. La breccia è avvenuta a partire dalle ore 08:00 del 31 Gennaio 2014 e si è sviluppata per una lunghezza in pianta di circa 21m, per tutta l'altezza dell'argine. Le Figure 3.34 e 3.35 riportano i parametri adottati per la modellazione della breccia arginale in ambiente HEC-RAS. L'area d'esondazione conseguente è riportata in Figura 3.36.

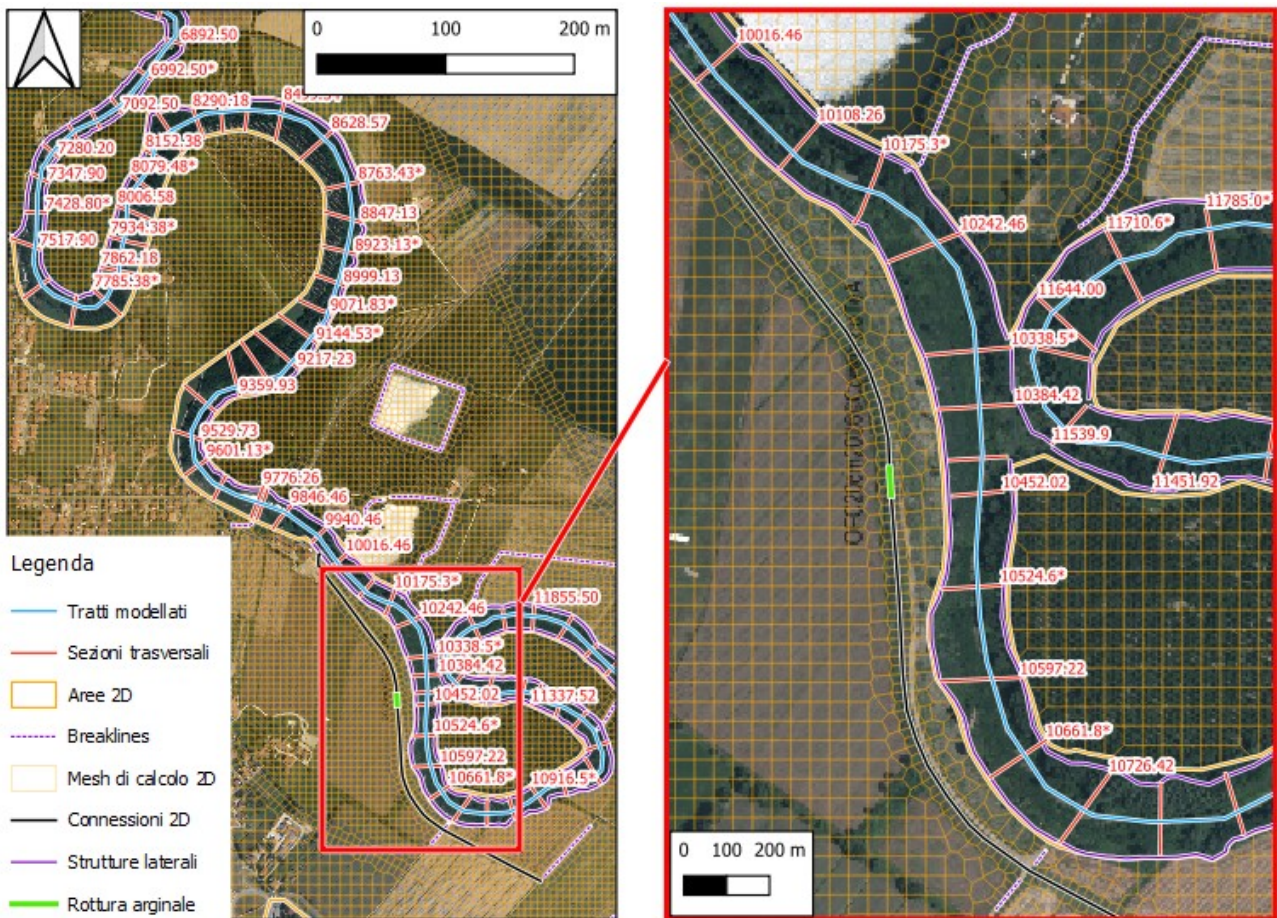


Figura 3.34: Planimetria di modellazione idraulica della breccia arginale avvenuta nell'evento del 2014 nella zona sud-est di Ponsacco

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

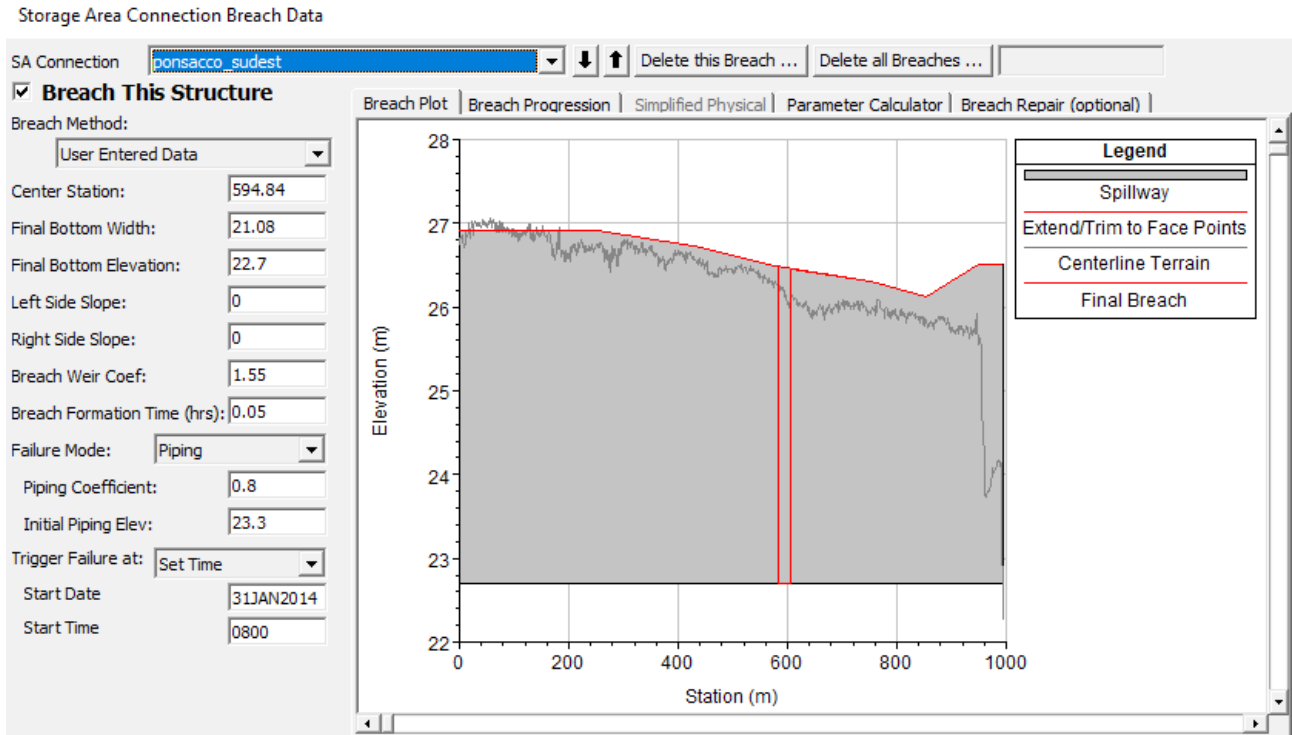


Figura 3.35: Parametri di modellazione della rottura arginale avvenuta nell'evento del 2014, come impostati in ambiente HEC-RAS

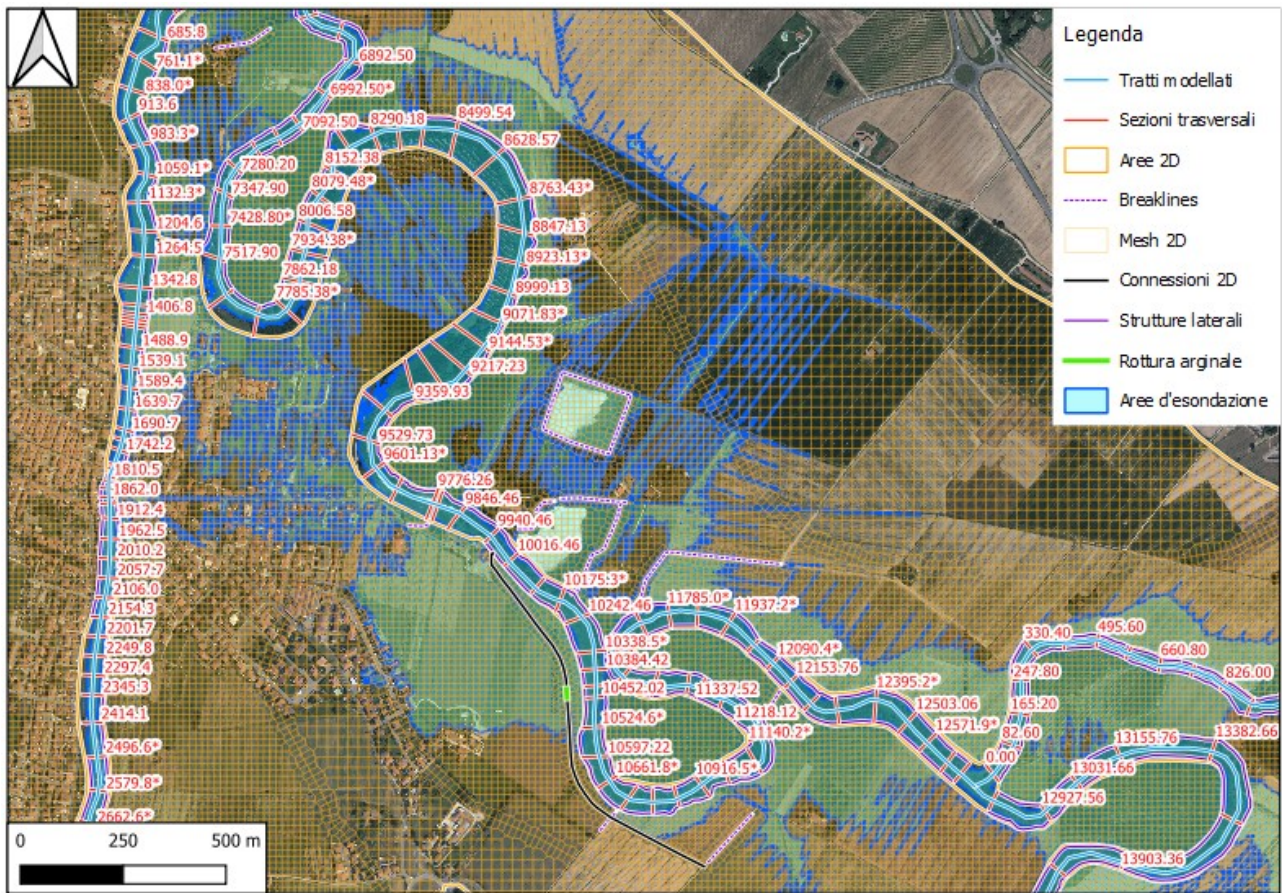


Figura 3.36: Area d'ondazione simulata in occasione dell'evento del 2014, nella zona della breccia della zona sud-est di Ponsacco

La tabella 3.23 riporta un confronto fra i coefficienti di deflusso (ottenuti come rapporto fra il volume sotteso dall'idrogramma delle portate dei modelli idrologico e idraulico e il volume di precipitazione dell'evento) alla sezione di chiusura del bacino del Fiume Era.

Bacino	Elemento HMS	Sezione RAS	A drenata [km2]	C _d - HMS	C _d - RAS
Cascina a monte Confluenza Era (Idrometro Ponsacco)	j11	1792	71.21	63.8%	71.6%
Era a valle confluenza Cascina (Idrometro Belvedere)	j13	5720.3	584.57	55.1%	54.5%

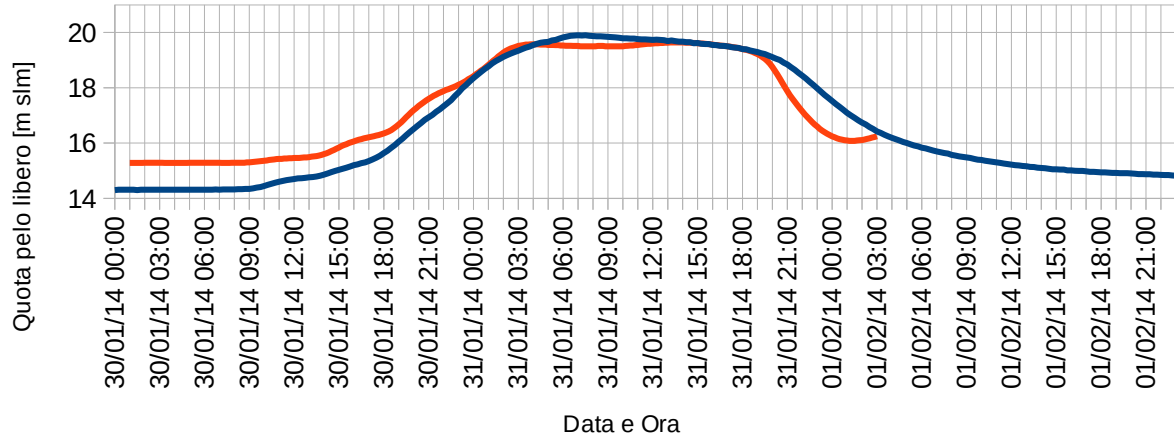
Tabella 3.23: Coefficienti di deflusso ottenuti dall'applicazione del modello idrologico (C_d - HMS) e idraulico (C_d - RAS) relativamente all'evento di settembre 2014.

Di seguito si riporta il confronto fra i livelli misurati e simulati per il Fiume Era all'idrometro di Belvedere e per il Fiume Cascina all'idrometro di Ponsacco.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

Confronto Livelli osservati e simulati

Evento 2014 - Idrometro di Belvedere

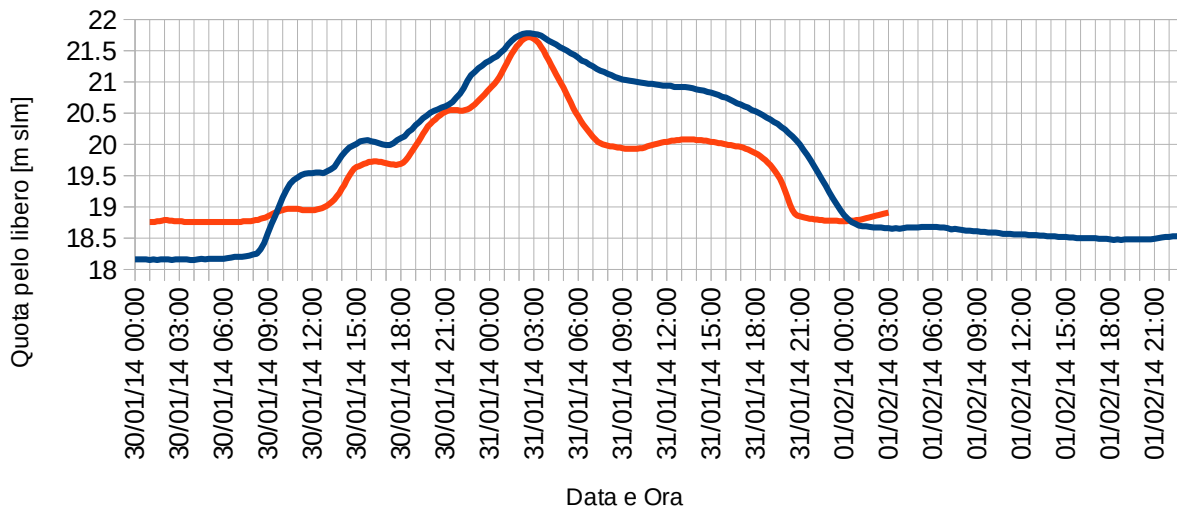


— Livello misurato — Livello simulato

Figura 3.37: Confronto fra l'andamento dei livelli misurati e simulati (in fase di modellazione idraulica) all'idrometro di Belvedere per l'evento del 2014.

Confronto Livelli osservati e simulati

Evento 2014 - Idrometro di Ponsacco



— Livello misurato — Livello simulato

Figura 3.38: Confronto fra l'andamento dei livelli misurati e simulati (in fase di modellazione idraulica) all'idrometro di Ponsacco per l'evento del 2014.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

Livello massimo (Evento 2014) [m slm]		
Idrometro	Misurato	Simulato
Ponsacco	21.78	21.71
Belvedere	19.9	19.64

Tabella 3.24: Confronto fra il livello massimo misurato e quello simulato (in fase di modellazione idraulica) all'idrometro di Ponsacco per l'evento di settembre 2017.

Come si può osservare, vi è una buona corrispondenza fra l'andamento dei livelli misurati e simulati.

Si riportano a seguire anche le scale di deflusso relative agli idrometri di Ponsacco e Belvedere, desunte dalla modellazione idraulica per l'evento 2014. Per l'idrometro del Cascina di Ponsacco è interessante il raffronto con la scala di deflusso relativa all'evento del 2017, in cui non erano presenti condizioni di rigurgito dall'Era. Dalla Figura 3.40 si nota il cappio di piena indotto dagli effetti di rigurgito dell'Era. In generale, come emerso anche dalle successive simulazioni idrauliche, gli effetti di rigurgito hanno significativi effetti sulle condizioni di deflusso nei tratti terminali dei due corsi d'acqua in esame.

Scala di deflusso stimata

Evento 2014 - Idrometro di Belvedere

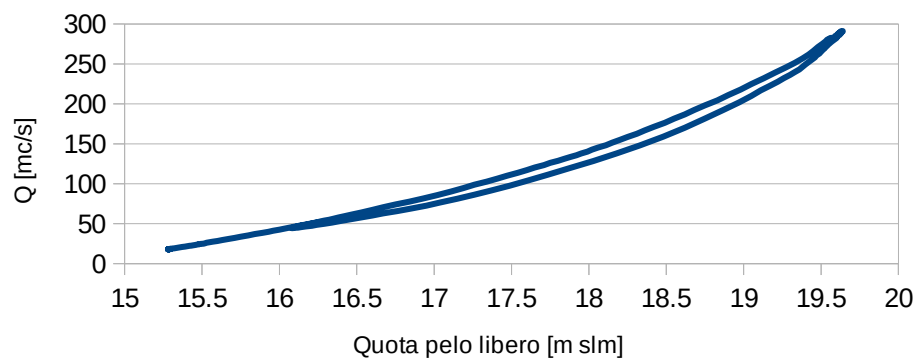


Figura 3.39: Scala di deflusso stimata all'idrometro di Belvedere in occasione dell'evento del 2014.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

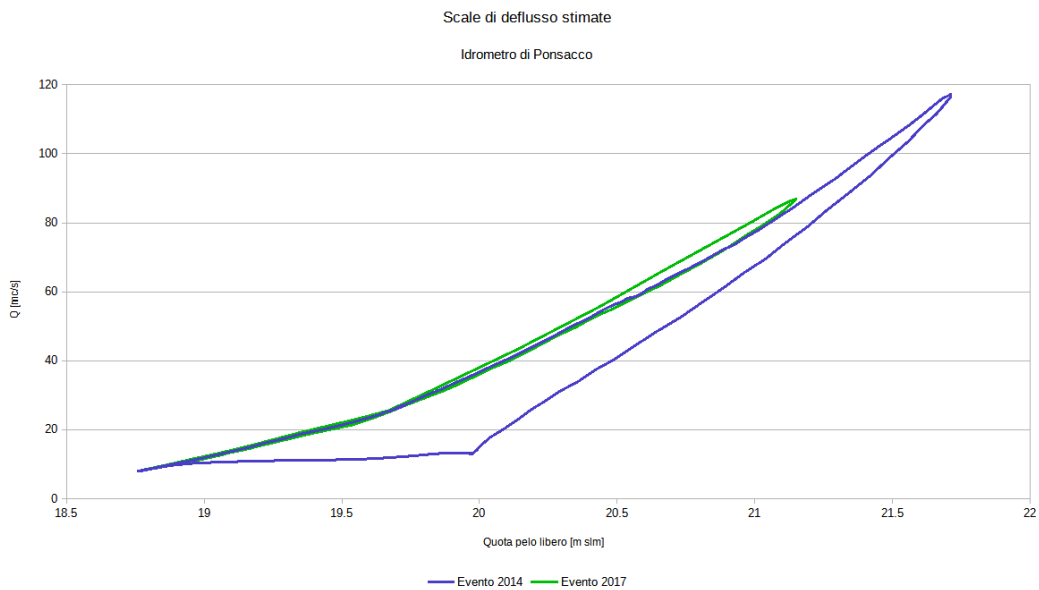


Figura 3.40: confronto fra scale di deflusso stimate all'idrometro di Ponsacco per gli eventi di settembre 2017 e del 30 gennaio/1 febbraio 2014.

3.8. Gli eventi sintetici di progetto per Tr30 e 200 anni

Terminata la fase di taratura, si procede all'implementazione del modello idrologico per la simulazione degli eventi di progetto.

Sulla base di quanto sopra esposto, è stato quindi implementato il modello idrologico dell'area di studio. Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno 30 e 200 anni con durate di pioggia pari a 3, 6, 12, 18, 24 e 36 ore.

In generale, le simulazioni idrologiche sono individuate da codici nelle seguenti forme (xxx indica il tempo di ritorno in anni ed yy la durata di pioggia espressa in ore):

- scenario idrologico 1: codice IC_TRxxx_TPyH, dove IC sta ad indicare che si sono impiegati ietogrammi costanti (con fattore di ragguglio calcolato sull'intero bacino analizzato del Fiume Era, cfr. paragrafo 3.2.2);
- scenario idrologico 2: codice IT_TRxxx_TPyH_C, dove IT sta ad indicare che si sono impiegati ietogrammi triangolari e il suffisso "_C" a ricordare che per questi eventi il fattore di ragguglio è stato calcolato con riferimento al bacino del solo Fiume Cascina (cfr. paragrafo 3.2.2);
- scenario idrologico 3: codice IT_TRxxx_TPyH_R, dove IT sta ad indicare che si sono impiegati ietogrammi triangolari e il suffisso "_R" a ricordare che per questi eventi il fattore di ragguglio è stato calcolato con riferimento al bacino del solo Torrente Roglio (cfr. paragrafo 3.2.2).

Gli eventi sono stati analizzati in condizioni di umidità AMCIII, con rapporto $\beta=I_a/S$ pari a 0.1. I valori dei parametri del modello di trasformazione afflussi-deflussi sono pari a quelli ottenuti in fase di taratura (Paragrafo 3.7).

Di seguito si riportano i picchi di piena nei nodi di modellazione. Si riportano i risultati relativi agli scenari IC per il bacino complessivo dell'Era, mentre quelli relativi allo scenario IT sono riportati per i bacini del Torrente Roglio e del Fiume Cascina.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

		Scenario idrologico 2 (codice IT_TRxxx_TPyH_C, ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Cascina)									
		Tempo di ritorno = 30 anni					Tempo di ritorno = 200 anni				
		3	6	12	18	24	3	6	12	18	24
Elemento	TP [h] Tipo	Portata di picco [mc/s]					Portata di picco [mc/s]				
Cascina 1M	Subbasin	109.06	115.85	98.38	83.33	72.51	181.52	191.88	163.21	138.60	120.75
Cascina 1V	Subbasin	25.76	21.59	15.71	12.49	10.52	40.36	33.94	24.88	19.90	16.82
Cascina 2	Subbasin	63.28	56.34	42.79	34.70	29.57	104.26	92.69	70.68	57.54	49.11
Cascina 2.1	Subbasin	72.75	69.64	55.02	45.23	38.74	117.97	112.71	89.45	73.82	63.34
Cascina 3	Subbasin	40.02	36.93	28.49	23.17	19.73	63.72	58.82	45.64	37.30	31.83
Cassa1_LaCapannina	Reservoir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cassa2M_LaCapannina	Reservoir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.75	23.70	11.17	0.69
Cassa2V_LaCapannina	Reservoir	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
j10	Junction	140.27	154.25	135.85	115.41	100.50	211.40	231.51	213.75	187.28	165.26
j10b	Junction	164.25	175.01	164.22	146.59	127.87	207.57	217.58	208.09	197.77	185.26
j10m	Junction	111.92	123.87	109.96	93.67	81.69	172.49	193.31	175.83	153.44	135.01
j11	Junction	169.62	207.21	204.04	183.32	160.28	252.99	295.15	284.38	263.87	242.84
La Capannina_1	Diversion	168.66	189.56	170.07	146.60	127.87	246.03	261.91	247.00	224.12	203.05
La Capannina_2	Diversion	164.25	175.01	164.22	146.59	127.87	207.57	217.58	208.09	197.77	185.26
Morrone	Reservoir	105.93	113.35	98.07	83.18	72.42	170.25	183.66	160.39	137.74	120.21
r5	Reach	142.06	162.53	159.18	143.20	125.14	190.85	209.18	206.33	196.51	183.64
r8	Reach	105.48	113.04	97.96	83.13	72.38	167.87	182.41	159.76	137.48	120.18
r8b	Reach	139.45	153.92	135.67	115.32	100.44	207.08	230.22	213.24	187.03	165.17

Tabella 3.26: portate di picco negli elementi del modello HMS, scenario idrologico 2 (codice IT_TRxxx_TPyH_C, ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Cascina)

		Scenario idrologico 3 (codice IT_TRxxx_TPyH_C, ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Roglio)									
		Tempo di ritorno = 30 anni					Tempo di ritorno = 200 anni				
		3	6	12	18	24	3	6	12	18	24
Elemento	TP [h] Tipo	Portata di picco [mc/s]					Portata di picco [mc/s]				
Roglio Isola	Subbasin	55.80	66.93	65.45	58.47	52.42	92.64	110.51	107.52	96.09	86.03
Roglio Monte	Subbasin	44.71	52.94	49.89	43.98	39.20	77.42	90.70	84.81	74.73	66.45
J-RGL-ISL	Junction	98.59	118.51	114.83	102.20	91.47	166.79	198.94	191.39	170.32	152.17
Roglio-IB-RGL-MLG	Subbasin	97.85	119.79	124.69	114.46	103.74	166.54	201.14	209.11	191.52	173.14
Melogio	Subbasin	44.57	48.53	41.99	35.81	31.34	75.41	81.31	70.08	59.83	52.25
J-RGL-MLG	Junction	116.44	151.68	161.33	147.18	132.91	208.11	262.18	272.70	247.52	222.80
Roglio-IB-MLG-CRF	Subbasin	114.64	149.70	163.81	151.35	137.42	203.85	260.75	278.75	255.43	230.82
Carfalo	Subbasin	54.79	66.84	65.44	58.58	52.65	96.05	115.93	112.41	100.50	90.10
J-IB-M	Junction	159.84	210.61	227.79	209.18	189.56	290.25	373.31	390.62	355.63	320.70
Roglio-IB-CRF-RCS	Subbasin	159.78	210.58	228.14	209.69	190.10	289.93	373.22	391.30	356.51	321.61
Racosa	Subbasin	22.01	20.48	15.95	13.07	11.22	37.10	34.24	26.63	21.87	18.73
J-IB-C	Junction	161.77	214.72	237.40	219.15	199.01	293.73	383.63	408.80	373.35	337.10
Roglio-IB-RCS-TOS	Subbasin	161.41	214.89	243.05	228.13	208.67	291.16	383.14	420.64	389.51	353.70
T.Tosola	Subbasin	23.61	24.19	20.04	16.86	14.69	41.99	42.40	34.95	29.43	25.56
J-TOS-IB	Junction	163.35	219.28	254.69	240.64	220.67	295.43	395.09	444.39	412.93	375.43
Roglio-IB-TOS-RIG	Subbasin	162.78	218.75	254.65	241.32	221.58	293.58	393.38	444.51	414.16	376.96
Rigone	Subbasin	9.53	7.64	5.48	4.39	3.73	16.28	12.99	9.33	7.47	6.34
J-TOS-RIG	Junction	162.78	218.75	255.83	243.50	223.96	293.58	393.43	447.62	418.39	381.26
Roglio-IB-RIG-IDR	Subbasin	161.81	217.79	255.56	244.38	225.24	290.89	390.69	447.36	420.02	383.43
B.Tosola	Subbasin	17.20	18.56	15.93	13.61	11.95	31.54	33.41	28.47	24.30	21.28
J_Idrometro	Junction	162.94	220.56	264.13	254.27	234.94	293.67	398.50	465.90	439.16	401.47
r6	Reach	120.61	166.81	212.02	221.68	214.73	220.43	303.65	379.78	388.42	370.23
Roglio 3	Subbasin	20.23	20.25	16.48	13.72	11.86	33.92	33.66	27.33	22.80	19.67
j9m	Junction	120.61	166.87	212.82	225.30	220.24	220.52	304.39	384.15	398.32	381.72

Tabella 3.27: portate di picco negli elementi del modello HMS, scenario idrologico 3 (codice IT_TRxxx_TPyH_R, ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Roglio)

A seguire si riportano gli idrogrammi relativi ad alcuni nodi significativi del modello:

- Era a valle della confluenza con lo Sterza (elemento J4)
- sezione di chiusura Roglio (elemento J9M)
- Era a valle della confluenza con il Roglio (elemento J9)
- sezione di chiusura Cascina (elemento J11)
- sezione di chiusura Era (elemento J14)

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

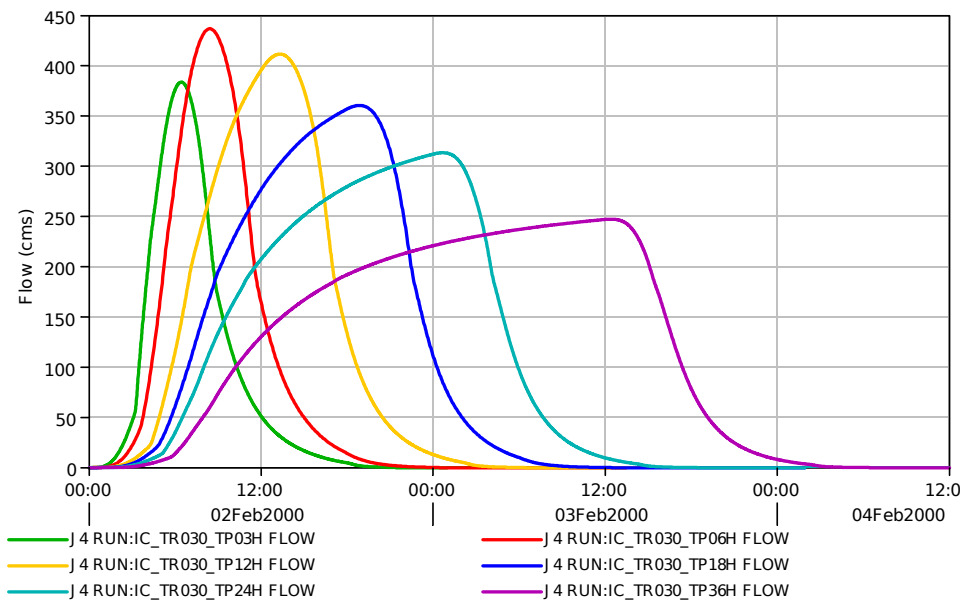


Figura 3.41: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J4 a valle della confluenza con lo Sterza (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=30$ anni.

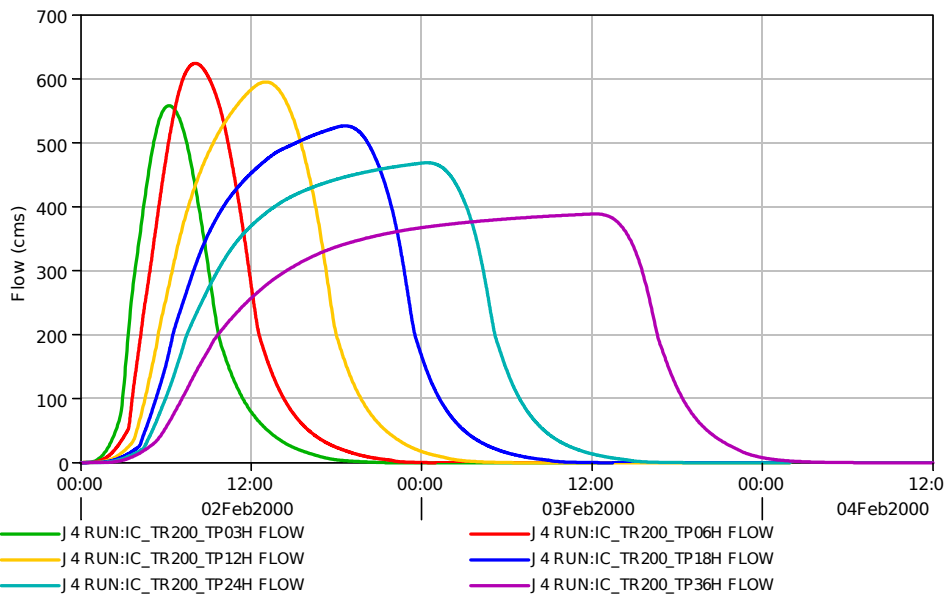


Figura 3.42: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J4 a valle della confluenza con lo Sterza (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=200$ anni.

PROGETTO: Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	ELABORATO: Relazione idrologica e idraulica
---	--

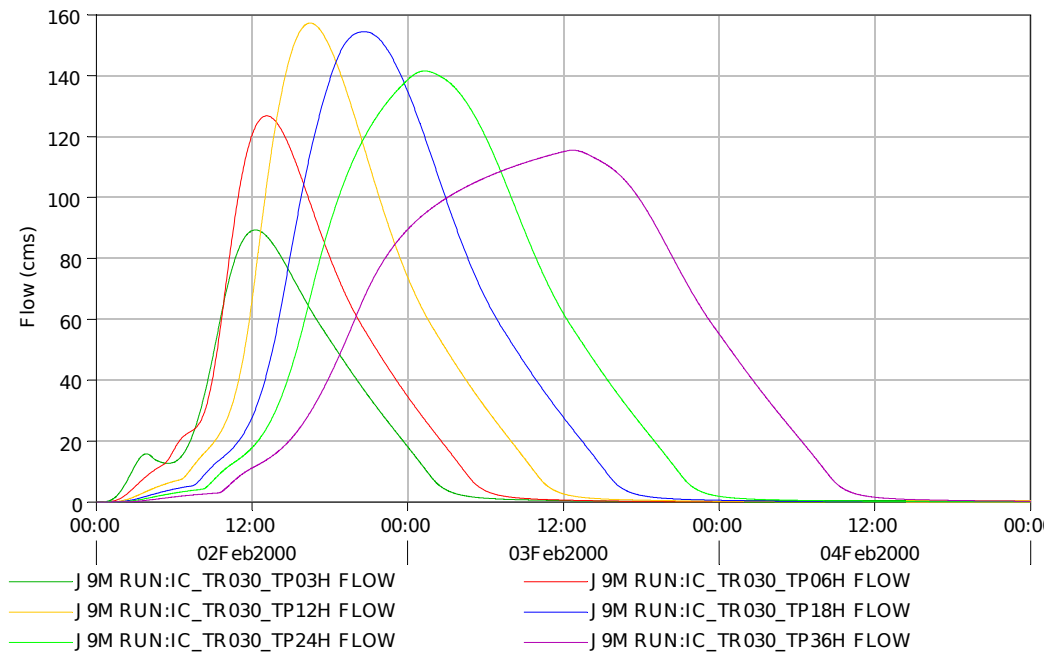


Figura 3.43: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9M di chiusura del Roglio (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=30$ anni.

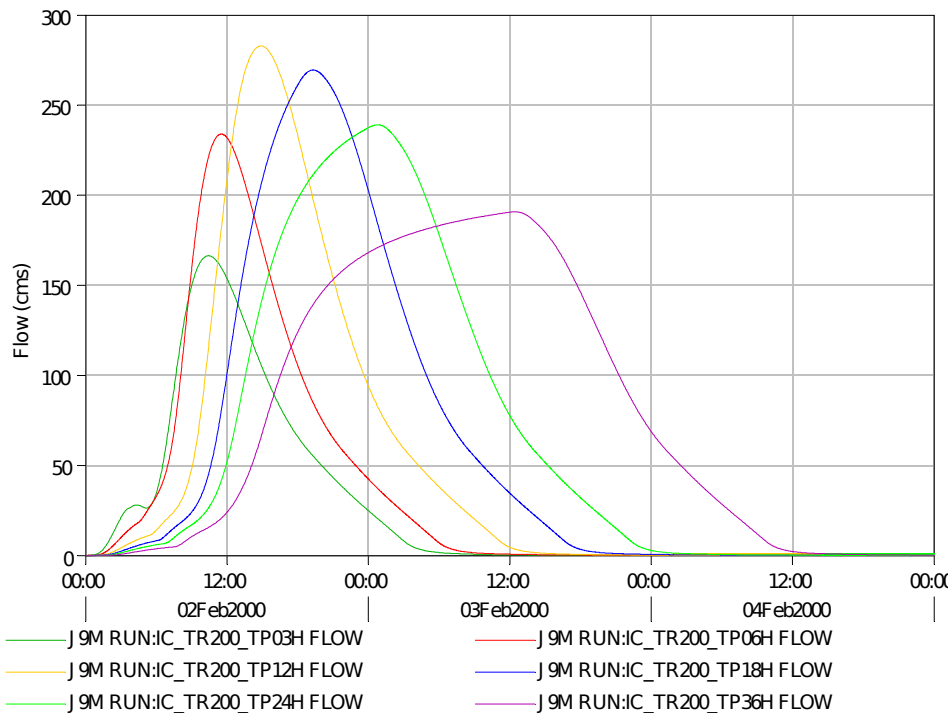


Figura 3.44: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9M di chiusura del Roglio (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=200$ anni.

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

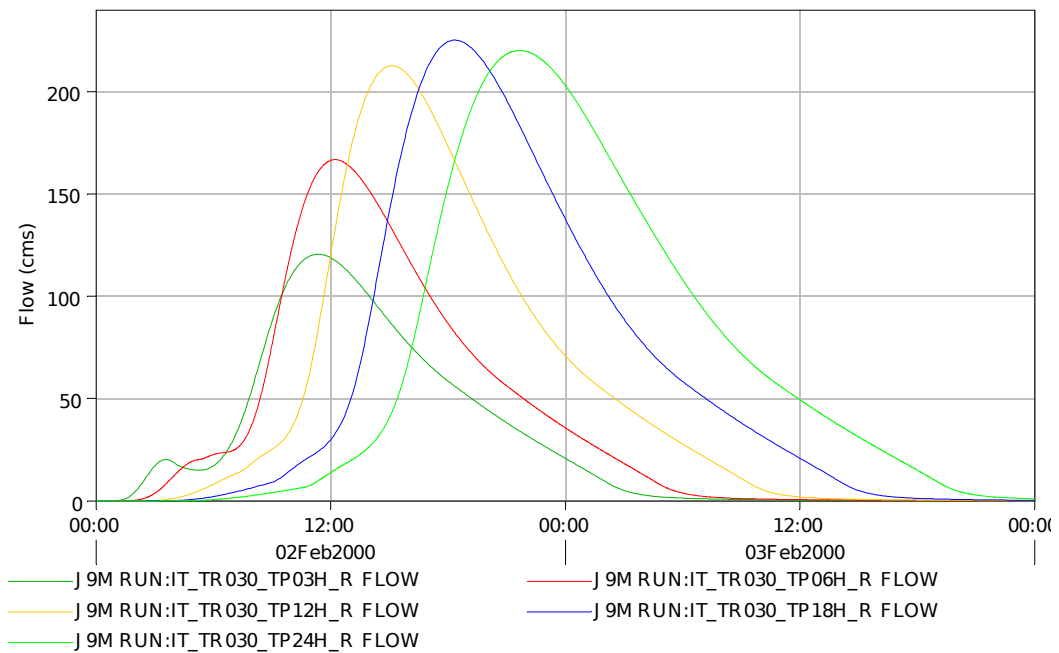


Figura 3.45: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9M di chiusura del Roglio (scenario idrologico 3: ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Roglio) per $Tr=30$ anni.

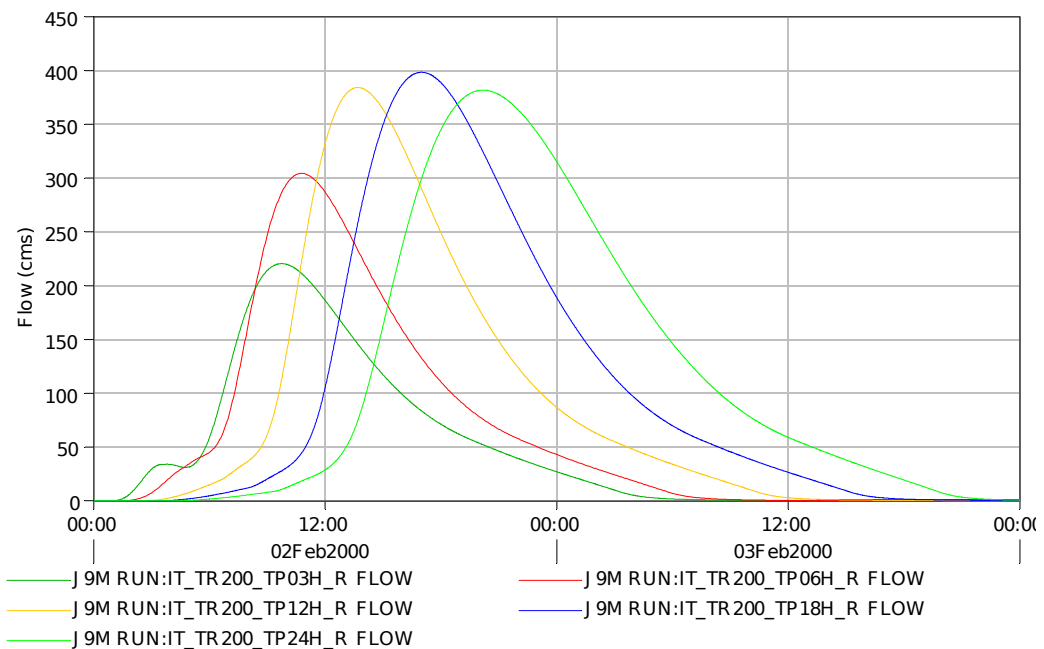


Figura 3.46: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9M di chiusura del Roglio (scenario idrologico 3: ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Roglio) per $Tr=200$ anni.

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

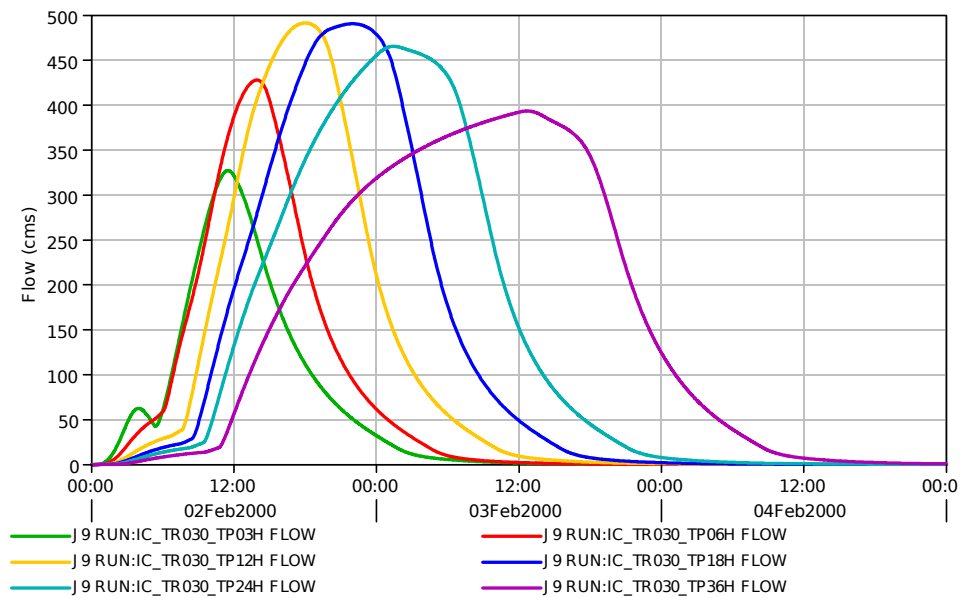


Figura 3.47: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9 a valle della confluenza con il Roglio (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=30$ anni.

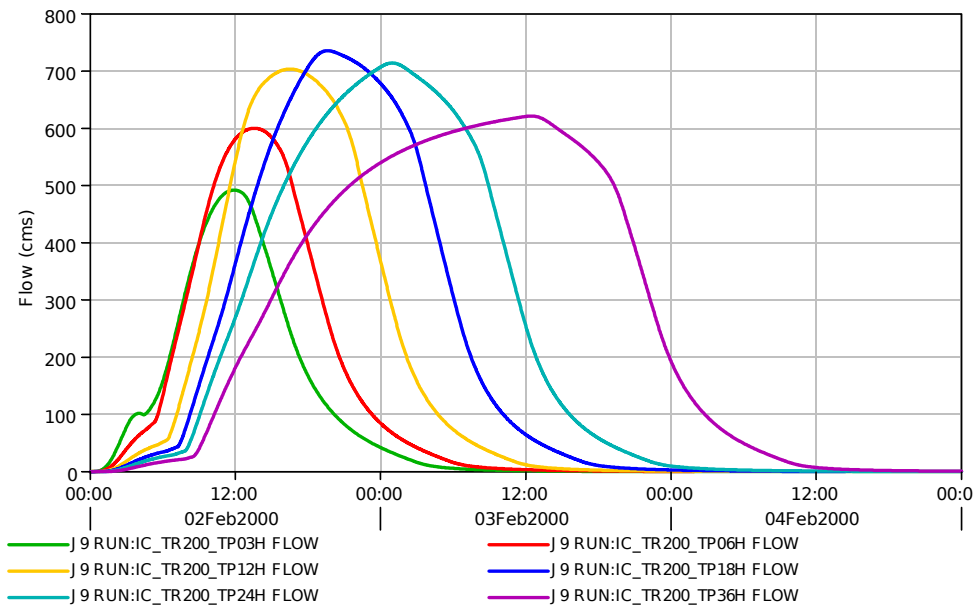


Figura 3.48: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J9 a valle della confluenza con il Roglio (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=200$ anni.

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

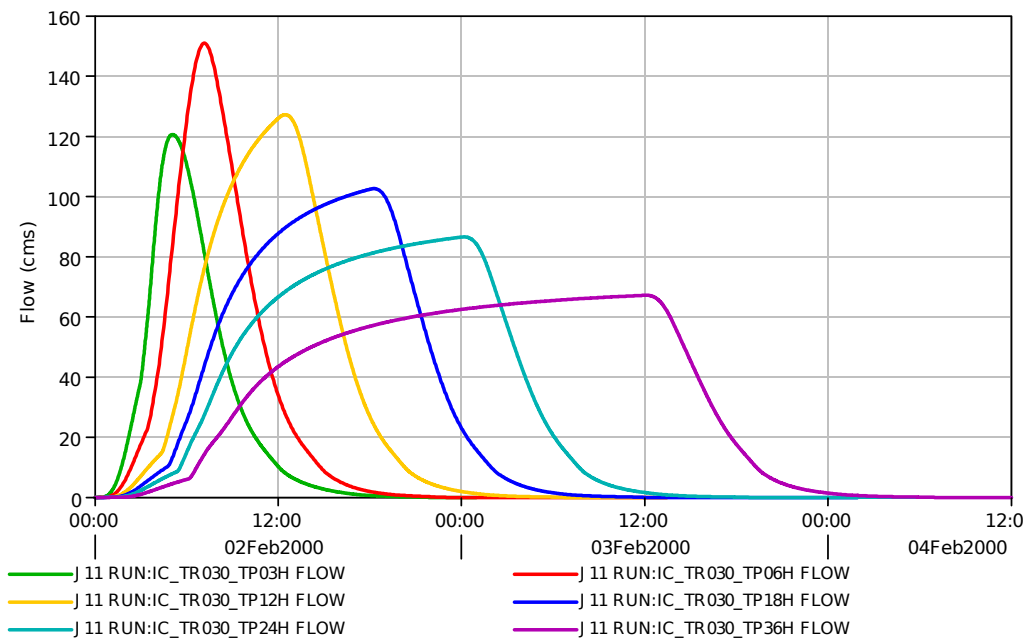


Figura 3.49: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J11 di chiusura del Cascina (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=30$ anni.

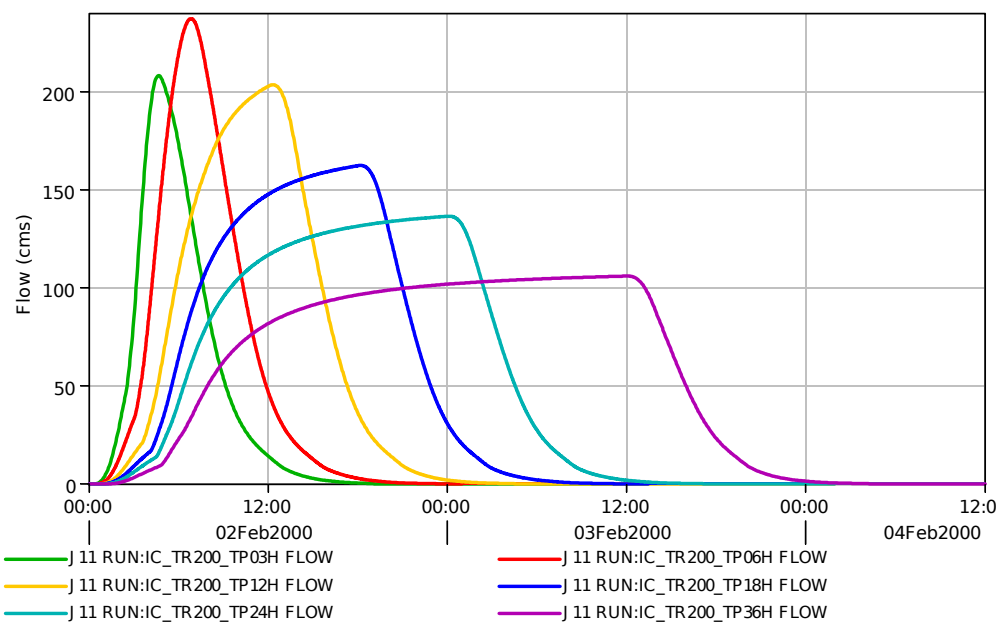


Figura 3.50: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J11 di chiusura del Cascina (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguglio bacino Era) per $Tr=200$ anni.

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

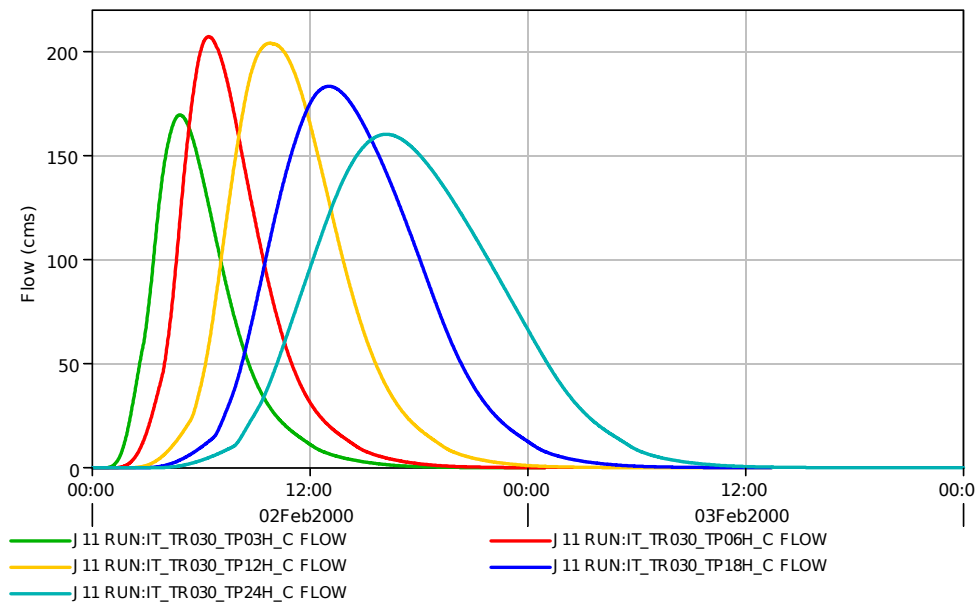


Figura 3.51: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J11 di chiusura del Cascina (scenario idrologico 2: ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Cascina) per Tr=30 anni.

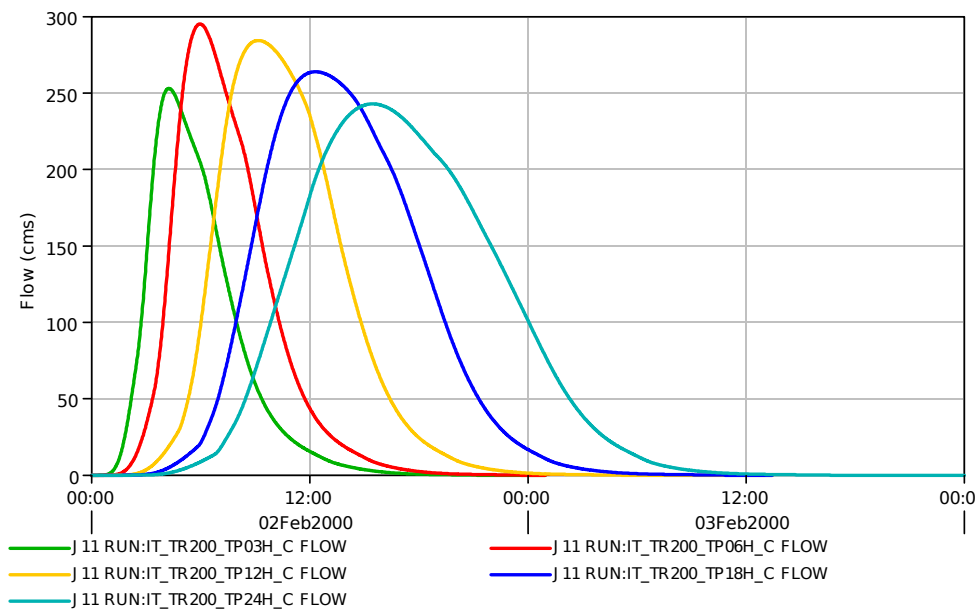


Figura 3.52: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J11 di chiusura del Cascina (scenario idrologico 2: ietogrammi triangolari, ragguglio bacino Cascina) per Tr=200 anni.

<i>PROGETTO:</i> Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	<i>ELABORATO:</i> Relazione idrologica e idraulica
--	---

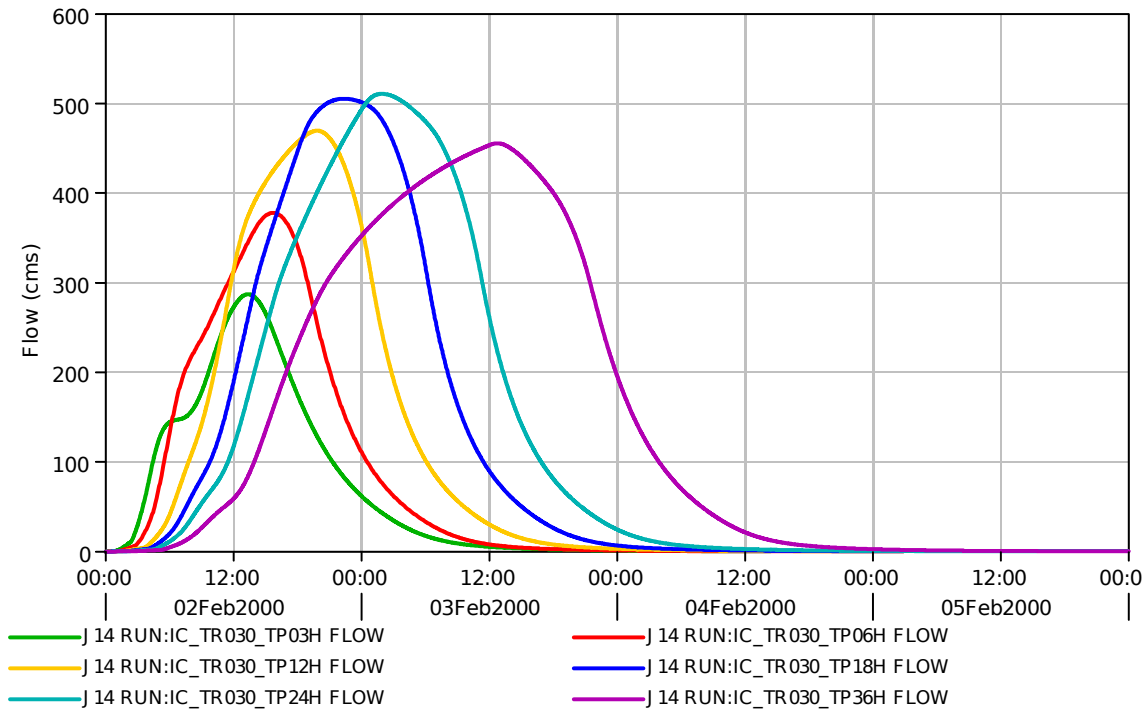


Figura 3.53: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J14 di chiusura dell'Era (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguaglio bacino Era) per $Tr=30$ anni.

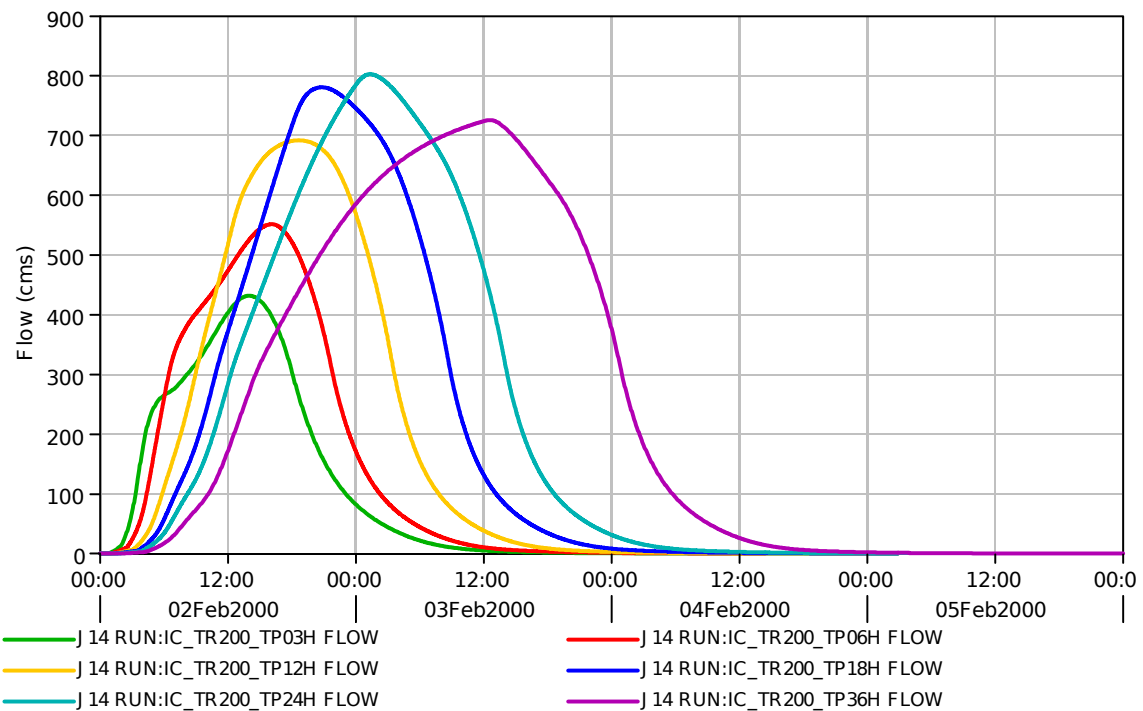


Figura 3.54: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica nella sezione J14 di chiusura dell'Era (scenario idrologico 1: ietogrammi rettangolari, ragguaglio bacino Era) per $Tr=200$ anni.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

4. RELAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica dei tratti fluviali di interesse per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica è stata condotta mediante il software HEC-RAS 5.0.7 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto anch'esso dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

Le simulazioni sono state eseguite in regime di moto vario mono e bidimensionale e sono descritte in dettaglio nel seguito. In particolare, si è proceduto ad implementare un'analisi monodimensionale in alveo e bidimensionale al di fuori dell'alveo inciso.

Per la definizione delle aree a pericolosità idraulica si sono simulati gli idrogrammi con le massime portate e quelli generati dalle piogge di durata maggiore rispetto alla pioggia critica, caratterizzati da portate al picco più basse ma volumi globali di deflusso maggiori.

A seguire si riporta una breve descrizione dei modelli matematici di HEC-RAS, rimandando direttamente ai manuali del software per maggiori dettagli.

4.1. Modello matematico a moto vario monodimensionale

La forma delle equazioni del moto vario (o equazioni di De Saint Venant) utilizzate in HEC-RAS è la seguente:

Equazione di continuità:

$$\frac{(\partial A)}{(\partial t)} + \frac{(\partial(\Phi \cdot Q))}{(\partial x_c)} + \frac{(\partial((1-\Phi) \cdot Q))}{(\partial x_f)} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto:

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

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

I pedici c ed f nelle equazioni si riferiscono rispettivamente al main channel (alveo centrale) ed alle floodplain (aree golenali), Q rappresenta la portata, g l'accelerazione di gravità, x l'ascissa, t il tempo, K la conveyance (o fattore di trasporto) della sezione, Z la quota del pelo libero (somma della quota di fondo z e dell'altezza liquida y), A l'area liquida, S_f la pendenza della linea dell'energia.

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. Nelle analisi in moto vario le tecniche di soluzione numerica delle equazioni del moto assumono un'importanza maggiore rispetto alle analisi a moto permanente. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come box scheme. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua, e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo skyline, specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero.

Nel caso di corrente mista lenta o veloce HEC-RAS utilizza la tecnica *Local Partial Inertia* (LPI), mediante la quale si passa gradualmente dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario. Il modello parabolico viene applicato dal programma soltanto nei tratti di corso d'acqua in cui si ha un numero di Froude maggiore di un valore soglia definibile dall'utente (generalmente si assume $Fr=1$, corrispondente al passaggio della corrente attraverso lo stato critico). Il modello matematico riesce così a garantire una buona stabilità di calcolo anche nei tratti interessati da corrente veloce o mista, pur mantenendo un'adeguata accuratezza di calcolo.

Per ulteriori dettagli sulle equazioni e gli algoritmi di calcolo si rimanda alla manualistica di HEC-RAS ed in particolare all'Hydraulic Reference Manual.

4.2. Modello di calcolo a moto vario bidimensionale

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti.

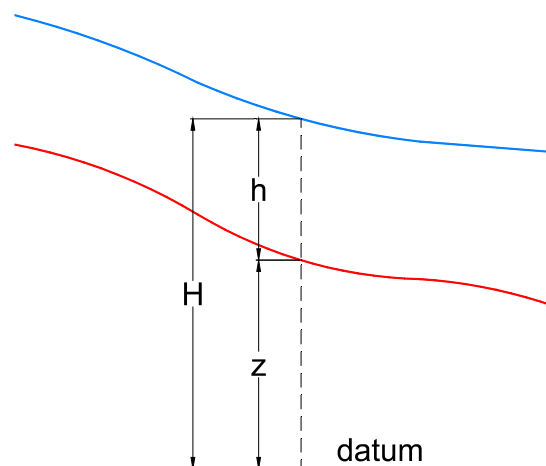


Figura 4.1: Sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

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

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

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x ed y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni o uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes. In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

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

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

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy ed R è il raggio idraulico.

Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6} / n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

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

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di preprocessione viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di vaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

4.3. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

La geometria del modello di calcolo implementato è di tipo 1D-2D. La geometria dell'alveo inciso è stata ricostruita a partire dai seguenti dati di base:

- sezioni di rilievo dell'Era fornite dalla Regione Toscana e derivanti dai rilievi effettuati dalla Provincia di Pisa a supporto della progettazione delle casse di espansione sull'asta dell'Era;
- modello Ras del tratto terminale del fiume Era e modello RAS del tratto terminale del fiume Cascina forniti dal Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa.

Per quanto riguarda il Roglio le sezioni d'alveo 1D sono state ricavate dal DTM Lidar della Regione Toscana. In aggiunta, a supporto del presente studio sono stati effettuati alcuni rilievi di

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio</i>	<i>Relazione idrologica e idraulica</i>

integrazione, controllo e collegamento tra i rilievi esistenti ed il DTM Lidar della Regione Toscana, assunto come DTM di riferimento per le simulazioni idrauliche condotte. Tali rilievi hanno riguardato in particolare alcuni sottopassi ferroviari in prossimità dell'alveo del Fiume Era nell'abitato di Pontedera ed alcuni attraversamenti stradali sulla FI-PI-LI e sulla SP11 nei pressi della frazione Il Romito, nonché sulla SP64 nei pressi di Forcoli, le soglie di alimentazione delle casse d'espansione La Bianca sul Fiume Era e delle casse d'espansione in località La Capannina sul Fiume Cascina, nonché il profilo degli argini nei pressi del ponte sulla SR439 (idrometro di Ponsacco). AL DTM lidar usato come riferimento sono stati inoltre aggiunti i rilievi svolti per gli studi idraulici di supporto al Piano Strutturale di Ponsacco. I rilievi topografici eseguiti sono stati riferiti al dato lidar attraverso l'utilizzo di punti di appoggio rilevati in corrispondenza delle infrastrutture viarie e di piazze/parcheeggi pavimentate.

Per una più appropriata definizione della geometria del modello, sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato. La tabella seguente riporta la lunghezza complessiva di simulazione ed il numero di sezioni d'alveo definite (al netto delle sezioni corrispondenti agli attraversamenti):

Corso d'acqua	Lunghezza [km]	n° sezioni
Cascina	9.24	171
Roglio	5.22	109
Era (a monte del Roglio)	19.87	189
Era (fra Roglio e Cascina)	6.43	109
Era (a valle del Cascina)	5.84	129

Tabella 4.1: sintesi geometria 1D.

Ciascuna area bi-dimensionale è separata dalle altre da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche effettivamente presenti, quali i rilevati arginali delle casse in linea di Peccioli e Selvatelle, la viabilità con i relativi sottoattraversamenti stradali (SP41, SP26, SP11, SR439, FI-PI-LI, Via delle Colline per Legoli, Viale Europa, Viale Asia, Strada Comunale Pian di Roglio), il rilevato ferroviario nell'abitato di Pontedera, nonché i rilevati corrispondenti ad argini remoti. Le connessioni idrauliche permettono il collegamento delle aree bidimensionali per sormonto dei rilevati o per attraversamento presso i sottopassi esistenti. Inoltre, per garantire maggior precisione al calcolo bidimensionale, sono state inserite nel modello opportune break lines per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

Di seguito si riporta un'immagine con la planimetria di modellazione idraulica dell'area di studio.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico del fiume Era e degli affluenti Cascina e Roglio	Relazione idrologica e idraulica

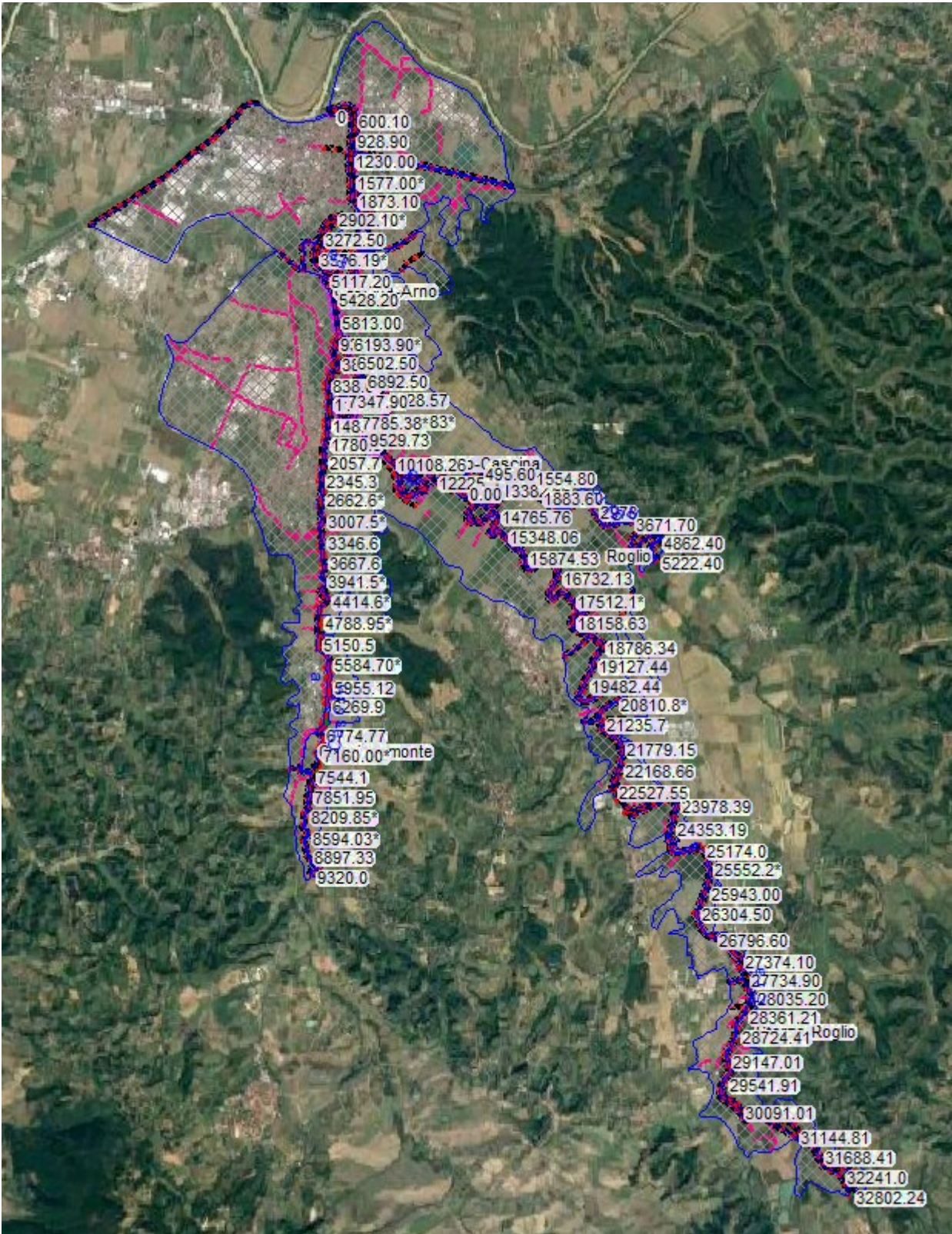


Figura 4.2: Planimetria di modellazione idraulica in ambiente HEC-RAS

4.4. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

Per la stima dei coefficienti di scabrezza n di Manning di primo tentativo si è proceduto al confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n . La stima è stata poi affinata in fase di taratura idraulica.

In generale, nel Fiume Cascina è presente vegetazione significativa sia nell'alveo inciso che nelle golene nel tratto non arginato a monte della SP26, che va a ridursi nel tratto arginato a valle. Nel Fiume Era è presente vegetazione significativa fino alla confluenza con il Cascina, per poi ridursi nel tratto arginato a valle ed essere pressoché inesistente a valle del meandro sulla FI-PI-LI nel centro abitato di Pontedera. L'alveo del Torrente Roglio è anch'esso caratterizzato dalla presenza di vegetazione.

I valori adottati nella modellazione 1D sono riportati nelle sezioni RAS in allegato e nella seguente tabella.

	COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING [$s/m^{1/3}$]
Alveo inciso (main channel)	Vedere Figura 4.3
Aree golenali (overbank areas)	0.045 (campi coltivati) ÷ 0.1 (vegetazione boschiva)

Tabella 4.2: valori del coefficiente di Manning nella modellazione 1D.

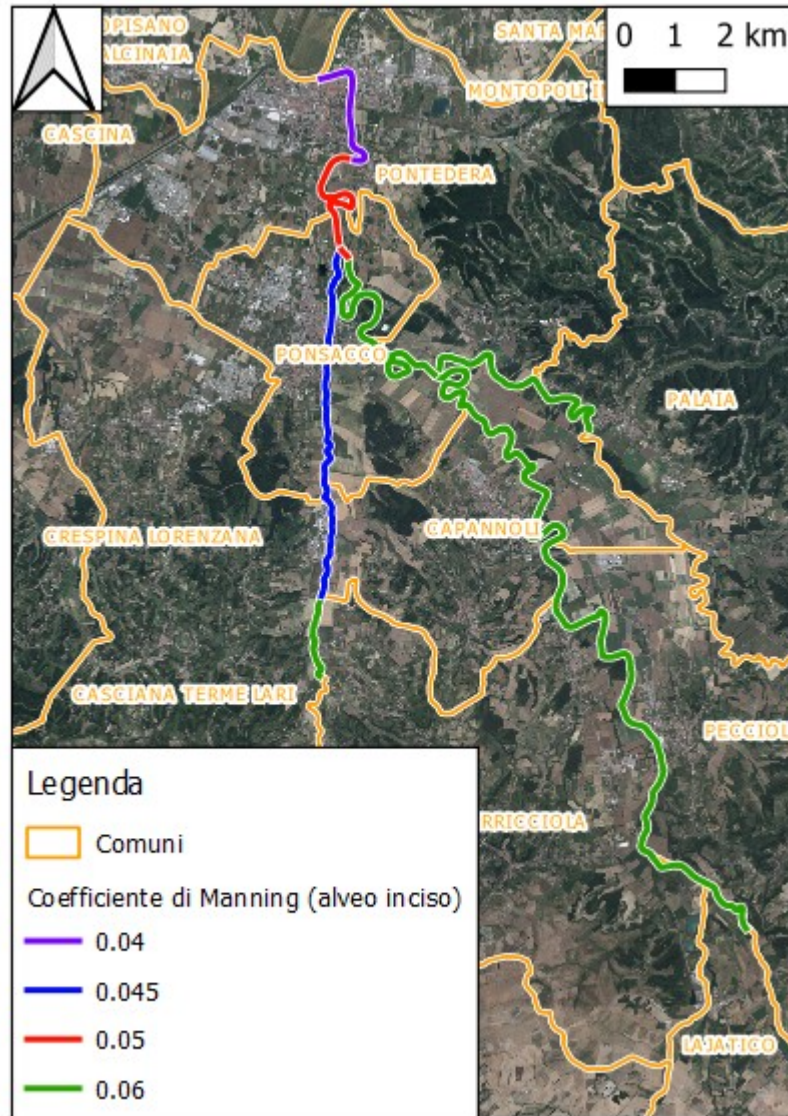


Figura 4.3: distribuzione di scabrezza 1D in alveo.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione rispettivamente pari a 0.1/0.3 per ogni sezione corrente di calcolo, ad eccezione di quelle in prossimità di ponti e attraversamenti per cui i coefficienti sono variabili fra 0.3/0.5 e 0.5/0.7 in funzione del grado di restringimento indotto.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013).

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

Tabella 4.3: valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2014).

La figura seguente mostra la distribuzione di scabrezza sulle aree 2D, in accordo con i valori riportati in Tabella 4.3.

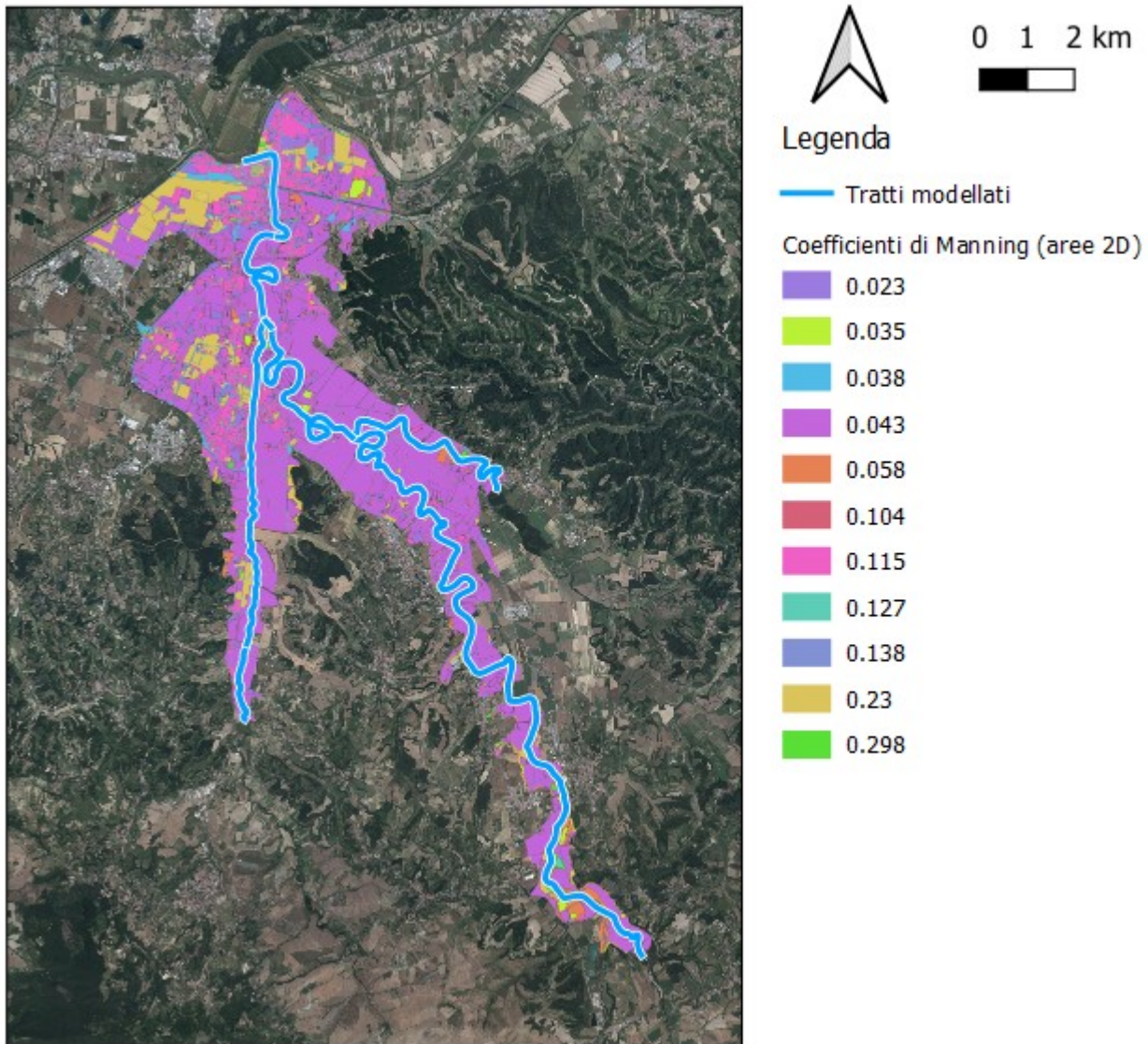


Figura 4.4: coefficienti di scabrezza di Manning nelle aree 2D.

4.5. Criteri di modellazione di ponti e tombini

I ponti sono stati modellati su RAS utilizzando la conservazione dell'energia per le condizioni di *low flow* (acqua non a contatto con l'impalcato) e l'opzione *pressure/weir* per le condizioni di *high flow* (acqua a contatto con l'impalcato); per i coefficienti di deflusso del funzionamento a pressione/stramazzo, si sono adottati i valori consigliati dalla FHWA.

Per i tombini - identificabili nel modello dagli attraversamenti sotto i rilevati stradali - si è adottata l'opzione di calcolo (*Computed flow control*) che fornisce il risultato più cautelativo (massima quota della linea dell'energia a monte dell'opera) tra la modalità di funzionamento idraulico di tipo *inlet* e la modalità di tipo *outlet*.

4.6. Condizioni al contorno e idrogrammi di piena

Gli ingressi al modello idraulico sono rappresentati dagli idrogrammi di calcolo ricavati su HMS, ripartiti come da tabella seguente:

Bacino / Junction	Corso d'acqua	Tratto	RS / BC Line	Tipo
J10	Cascina	Cascina	RS 9320	Ingresso puntuale
Cascina 2	Cascina	Cascina	RS 9239.29 → RS 7715.3	Ingresso distribuito
Cascina 2.1	Cascina	Cascina	RS 6630.0 → RS 3346.6*	Ingresso distribuito
J_Idrometro	Roglio	Roglio	RS 5222.40	Ingresso puntuale
Roglio 3	Roglio	Roglio	RS 4782 → RS 908.6	Ingresso distribuito
J4m	Era	A monte confluenza Cascina	RS 32802.24	Ingresso puntuale
Sterza	Era	A monte confluenza Cascina	RS 31371.91	Ingresso puntuale
Era 4v	Era	A monte confluenza Cascina	RS 31144.81 → RS 28552.51	Ingresso distribuito
Era 4sM	Era	A monte confluenza Cascina	RS 28035.2 → RS 24641.9	Ingresso distribuito
Era 4sV	Era	A monte confluenza Cascina	RS 24353.19 → RS 23352.17	Ingresso distribuito
Era 4b	Era	A monte confluenza Cascina	RS 22168.66 → RS 15348.06	Ingresso distribuito
Era 4a	Era	A monte confluenza Cascina	RS 22168.66	Ingresso puntuale
Era 4.1	Era	A monte confluenza Cascina	RS 12640.96 → RS 6892.5	Ingresso distribuito
Era 6A	Era	A valle confluenza Cascina	RS 4447.09 → RS 2828.3	Ingresso distribuito

Tabella 4.4: assegnazione ingressi al modello idraulico.

Come condizione al contorno allo sbocco in Arno dell'Era si sono riportati gli idrogrammi dei livelli dell'Arno direttamente trasmessi dall'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale (relativi alla sezione 243), e riportati a seguire. In corrispondenza dei fronti d'esonazione il cui deflusso finisce sullo Scolmatore dell'Arno, è stata imposta una condizione di sbocco a moto uniforme con pendenza pari a 0.001.

Idrogrammi Arno

TR=30 anni - Sezione 243

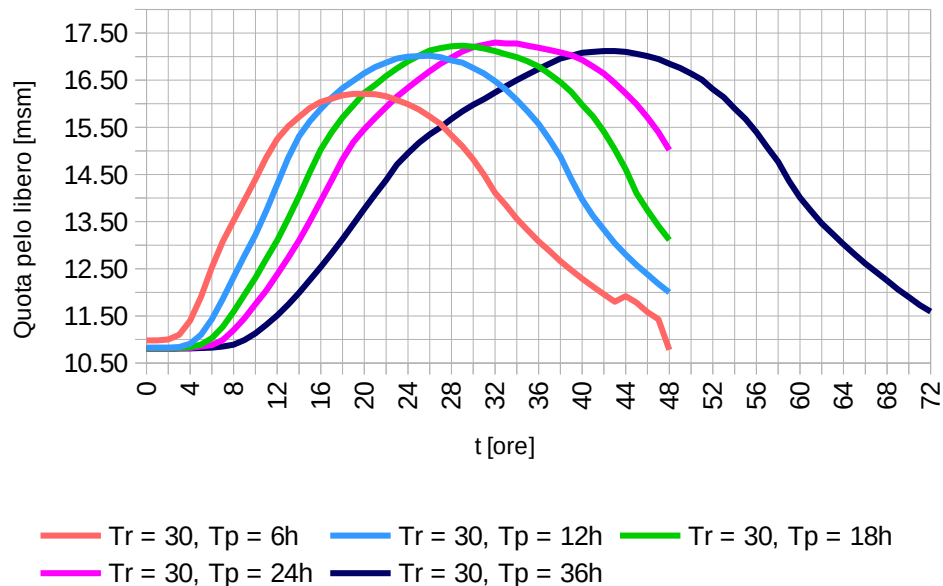
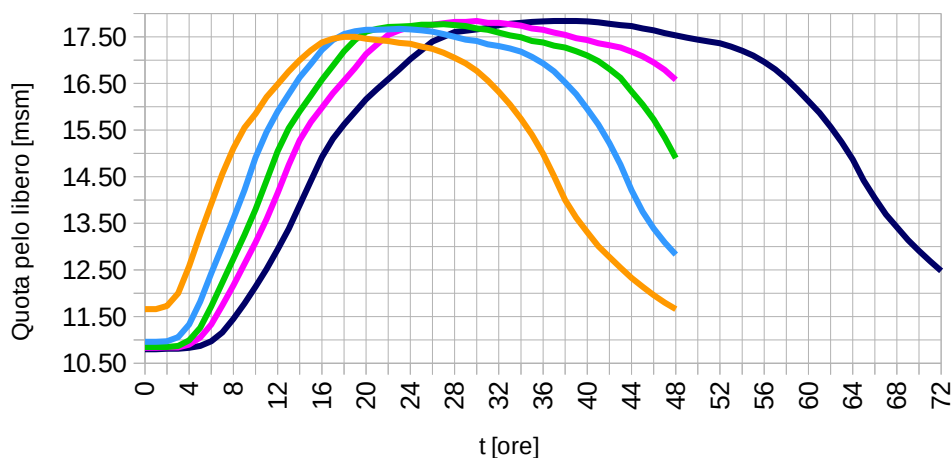


Figura 4.5: idrogrammi dei livelli dell'Arno trasmessi dall'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale (relativi alla sezione 243), per tempo di ritorno 30 anni.

Idrogrammi Arno

TR=200 anni - Sezione 243



— Tr = 200, Tp = 6h — Tr = 200, Tp = 12h — Tr = 200, Tp = 18h
— Tr = 200, Tp = 24h — Tr = 200, Tp = 36h

Figura 4.6: idrogrammi dei livelli dell'Arno trasmessi dall'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale (relativi alla sezione 243), per tempo di ritorno 200 anni.

4.7. Impostazioni di calcolo

Le simulazioni sono state effettuate adottando il modello completo di calcolo (Full Momentum) basato sulle equazioni di De Saint Venant sia per la parte 1D che per la parte 2D del dominio di calcolo.

Per la definizione dell'intervallo temporale di calcolo si è adottata l'opzione *Adaptive Time Step* di RAS, che varia l'intervallo di calcolo in modo da mantenere un valore del numero di Courant compreso tra limiti preimpostati. Nella fattispecie si è adottato un intervallo del numero di Courant variabile tra 0.45 ed 1.7, con intervallo temporale di base pari a 6 secondi.

4.8. Scenari di calcolo

Le simulazioni idrauliche relative agli eventi di taratura di gennaio 2014 per il Fiume Era e settembre 2017 per il Fiume Cascina sono individuate rispettivamente dalle sigle ER_GEN2014 ed ER_SET2017.

Per quanto riguarda gli eventi sintetici di progetto, le simulazioni idrauliche sono individuate da un codice analogo a quello impiegato durante la fase di modellazione idrologica. Per lo studio della pericolosità del Fiume Era sono state definite, con riferimento allo scenario idrologico 1 (ietogrammi rettangolari con fattore di ragguglio calcolato considerando il bacino dell'Era alla sezione di chiusura), simulazioni individuate da un codice del tipo IC_TRxxx_TPyH, in cui IC sta ad indicare che sono stati utilizzati ietogrammi costanti, xxx è il tempo di ritorno in anni e yy la durata di pioggia in ore. Per lo studio della pericolosità del Fiume Cascina e del Torrente Roglio sono stati individuati, con riferimento agli scenari idrologici 2 e 3 (ietogrammi triangolari con fattore di ragguglio calcolato considerando il bacino del Fiume Cascina o del Torrente Roglio alla sezione di chiusura), due ulteriori gruppi di

simulazioni, individuate rispettivamente da un codice del tipo IT_Trxxx_TpyyH_C e IT_TRxxx_TPyyH_R, in cui IT sta ad indicare che sono stati utilizzati ietogrammi triangolari, xxx è il tempo di ritorno in anni e yy la durata di pioggia in ore, _C indica che il ragguglio per le precipitazioni è stato valutato alla sezione di chiusura del bacino del Fiume Cascina e _R che il ragguglio per le precipitazioni è stato valutato alla sezione di chiusura del bacino del Torrente Roglio. Per questi ultimi gruppi di simulazioni sono stati assegnati, con riferimento allo schema riportato in Tabella 4.4:

- gli idrogrammi relativi allo scenario idrologico 2/3 (codice IT_Trxxx_TpyyH_C e IT_TRxxx_TPyyH_R delle simulazioni idrologiche, ietogrammi triangolari con fattore di ragguglio calcolato considerando il bacino del Fiume Cascina / Torrente Roglio alla sezione di chiusura) ai nodi e bacini del Fiume Cascina / Torrente Roglio;
- gli idrogrammi relativi allo scenario idrologico 1 (codice IC_TRxxx_TPyyH delle simulazioni idrologiche, ietogrammi rettangolari con fattore di ragguglio calcolato considerando il bacino dell'Era alla sezione di chiusura) ai nodi e bacini dei corsi d'acqua restanti.

La tabella seguente riporta l'elenco delle simulazioni idrauliche eseguite.

Plan	Pericolosità	TR [anni]	TP [h]	Scenario idrologico per l'assegnazione degli idrogrammi		
				Fiume Era	Fiume Cascina	Torrente Roglio
IC_TR030_TP06H	Fiume Era	30	6	1	1	1
IC_TR030_TP12H	Fiume Era	30	12	1	1	1
IC_TR030_TP18H	Fiume Era	30	18	1	1	1
IC_TR030_TP24H	Fiume Era	30	24	1	1	1
IC_TR030_TP36H	Fiume Era	30	36	1	1	1
IC_TR200_TP06H	Fiume Era	200	6	1	1	1
IC_TR200_TP12H	Fiume Era	200	12	1	1	1
IC_TR200_TP18H	Fiume Era	200	18	1	1	1
IC_TR200_TP24H	Fiume Era	200	24	1	1	1
IC_TR200_TP36H	Fiume Era	200	36	1	1	1
IT_TR030_TP06H_C	Fiume Cascina	30	6	1	2	1
IT_TR030_TP12H_C	Fiume Cascina	30	12	1	2	1
IT_TR030_TP18H_C	Fiume Cascina	30	18	1	2	1
IT_TR030_TP24H_C	Fiume Cascina	30	24	1	2	1
IT_TR200_TP06H_C	Fiume Cascina	200	6	1	2	1
IT_TR200_TP12H_C	Fiume Cascina	200	12	1	2	1
IT_TR200_TP18H_C	Fiume Cascina	200	18	1	2	1
IT_TR200_TP24H_C	Fiume Cascina	200	24	1	2	1
IT_TR030_TP06H_R	Torrente Roglio	30	6	1	1	3
IT_TR030_TP12H_R	Torrente Roglio	30	12	1	1	3
IT_TR030_TP18H_R	Torrente Roglio	30	18	1	1	3
IT_TR030_TP24H_R	Torrente Roglio	30	24	1	1	3
IT_TR200_TP06H_R	Torrente Roglio	200	6	1	1	3
IT_TR200_TP12H_R	Torrente Roglio	200	12	1	1	3
IT_TR200_TP18H_R	Torrente Roglio	200	18	1	1	3
IT_TR200_TP24H_R	Torrente Roglio	200	24	1	1	3

Tabella 4.5: riepilogo simulazioni idrauliche eseguite.

4.9. Risultati delle modellazioni idrauliche

I risultati dettagliati delle simulazioni RAS effettuate sono riportati in allegato alla presente relazione.

Le simulazioni condotte sono servite come base per la redazione delle cartografie di pericolosità per l'area di studio, ai sensi del vigente PGRA e del DPGR 5/R del 2020.

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

Per la perimetrazione delle aree esondate da eventi di piena con tempo di ritorno di 500 anni si fa riferimento direttamente a quanto riportato nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - Pericolosità Idraulica (P1).