

Comune di Bibbona

Provincia di Livorno

PIANO OPERATIVO

ai sensi dell'art. 95 della L.R. 65/2014

Arch. Giovanni Parlanti

Capogruppo progettista

Massimo Fedeli

Sindaco

Arch. Gabriele Banchetti

Responsabile VAS e censimento P.E.E.

Ing. Serena Talamucci

Responsabile del Procedimento

GEOPROGETTI Studio Associato

Geol. Emilio Pistilli

Analisi geologiche

Rag. Roberta Menghi

Garante dell'Informazione e della Partecipazione

H.S. Ingegneria s.r.l.

Ing. Simone Pozzolini

Analisi Idrauliche

Dott.ssa Agr. e Forestale Caterina Poli

Responsabile VINCA

Pian. Emanuele Bechelli

Paes. Chiara Balducci

Collaborazione al progetto

REL.QI1 - Relazione idrologica-idraulica

Adottato con Del. C.C. n. del

Febbraio 2026



<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

INDICE GENERALE

1. PREMESSA.....	2
2. CORSI D'ACQUA OGGETTO DI INDAGINE.....	3
3. RELAZIONE IDROLOGICA.....	4
<i>3.1. Caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio e discretizzazione del modello idrologico</i>	<i>4</i>
<i>3.2. Definizione degli afflussi.....</i>	<i>9</i>
3.2.1. LSPP adottate per la stima degli eventi trentennali e duecentennali.....	9
3.2.2. Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio.....	15
<i>3.3. Le perdite di bacino: il metodo CN.....</i>	<i>16</i>
<i>3.4. Trasformazione afflussi netti – deflussi: idrogramma unitario di Clark.....</i>	<i>22</i>
<i>3.5. Propagazione dei deflussi.....</i>	<i>23</i>
<i>3.6. Modellazione degli invasi.....</i>	<i>24</i>
<i>3.7. Risultati della modellazione idrologica.....</i>	<i>26</i>
<i>3.8. Valutazione delle portate idrologiche ottenute rispetto agli studi pregressi.....</i>	<i>36</i>
4. RELAZIONE IDRAULICA.....	38
<i>4.1. Modelli di calcolo RAS.....</i>	<i>39</i>
4.1.1. Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....	39
4.1.2. Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....	40
<i>4.2. Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....</i>	<i>42</i>
<i>4.3. Impostazioni di calcolo.....</i>	<i>43</i>
<i>4.4. Criteri di modellazione di ponti e tombini.....</i>	<i>43</i>
<i>4.5. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....</i>	<i>43</i>
<i>4.6. Condizioni al contorno e idrogrammi di piena.....</i>	<i>45</i>
<i>4.7. Scenari simulati.....</i>	<i>45</i>
5. ANALISI DEI RISULTATI.....	47
6. ALLEGATI.....	48

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

1. PREMESSA

La presente relazione idrologico-idraulica è redatta ai fini della definizione della pericolosità idraulica del reticolo idrografico che interessa il territorio urbanizzato del Comune di Bibbona. L'indagine è redatta ai sensi del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 5/R/2020 *"Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche."* e della L.R. 41/2018 *"Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni)"*, oltre che della vigente Disciplina di Piano del Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale.

I corsi d'acqua presi in esame in questa sede sono quelli le cui esondazioni possono potenzialmente interessare gli ambiti del territorio urbanizzato e le aree potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, sulla base delle indicazioni dell'amministrazione comunale.

Nel seguito del presente documento, dopo un inquadramento generale relativo al territorio ed ai corsi d'acqua oggetto di analisi, si procede dapprima con l'analisi idrologica dei corsi d'acqua di interesse e successivamente viene descritta la modellazione idraulica implementata per la definizione delle aree di esondazione trentennali e duecentennali e delle relativi classi di magnitudo idraulica.

Nella definizione del quadro conoscitivo della pericolosità idraulica si sono tenute presenti le valutazioni già condotte in tema di pericolosità idraulica nell'ambito degli studi idrologico-idraulici redatti per il Comune di Bibbona, a supporto della *"Variante quinquennale al Regolamento Urbanistico - Terzo Regolamento Urbanistico"* (Novembre 2016), procedendo ad un generale aggiornamento delle analisi idrologiche ed idrauliche.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

2. CORSI D'ACQUA OGGETTO DI INDAGINE

Nell'ambito della presente indagine sono stati presi in esame i seguenti corsi d'acqua del reticolo idrografico di cui alla LR 79/2012:

- Fosso degli Alberelli
- Fosso Camilla
- Fosso Cancellini
- Fosso del Castellaro
- Fosso delle Basse (TC8071)
- Fosso delle Tane
- Fosso Fonte di Lagone
- Fosso del Livrone
- Fosso della Madonna
- Fosso Michelina (I e II)
- Fosso dei Poggiali
- Fosso Sorbizzi
- Fosso Trogoli

Nella figura seguente si riportano i corsi d'acqua oggetto di indagine:

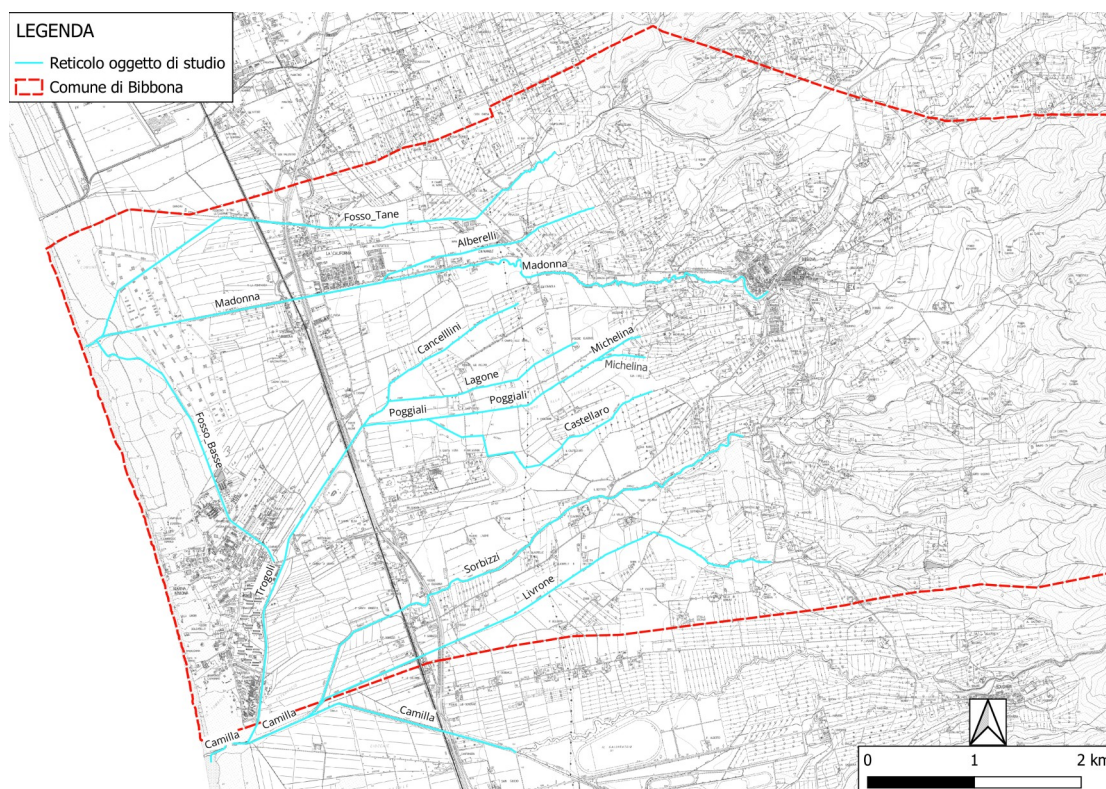


Figura 2.1: Corsi d'acqua oggetto di indagine

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

3. RELAZIONE IDROLOGICA

La modellazione idrologica è stata effettuata con l'utilizzo del software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) prodotto dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE).

Sono state determinate le portate di piena e gli idrogrammi di massima piena per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni.

La seguente figura riporta la planimetria di modellazione idrologica implementata in HEC-HMS, relativa ai diversi bacini oggetto di studio.

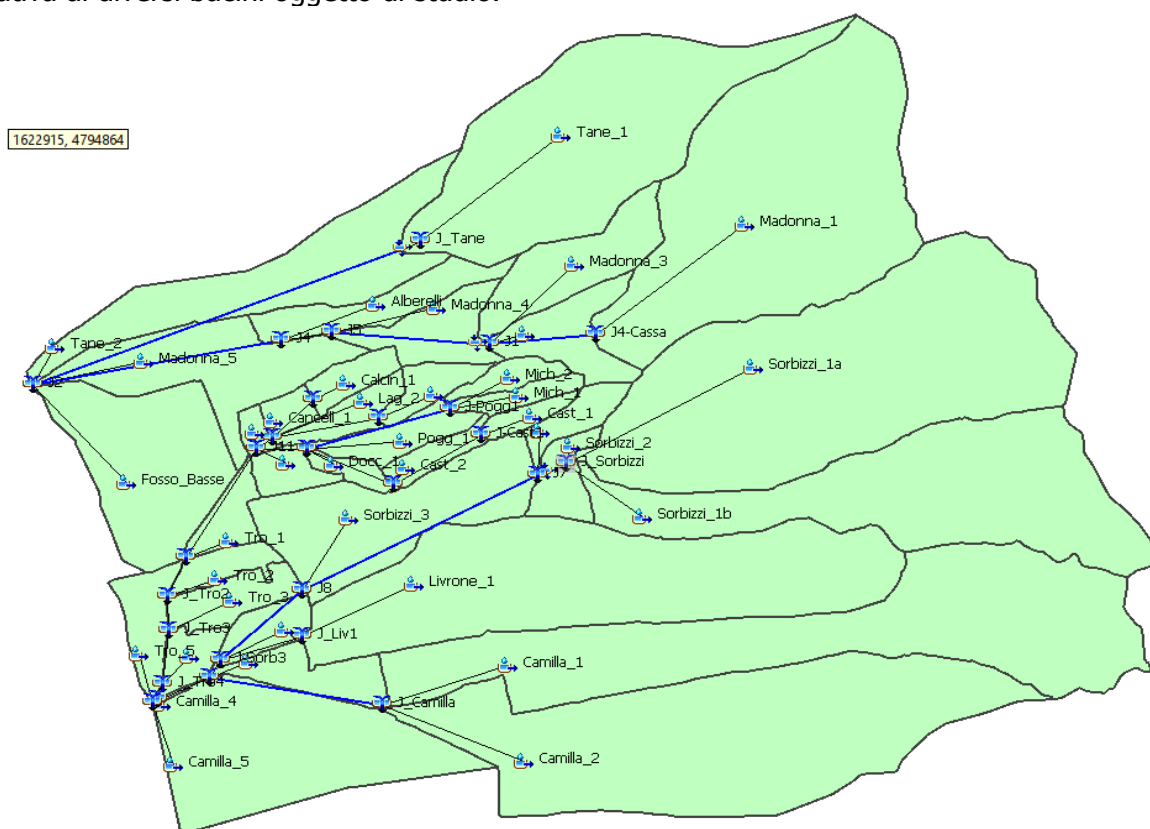


Figura 3.1: Planimetria di modellazione idrologica su HEC-HMS

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

La seguente Figura 3.2 e la successiva Tabella 3.1 mostrano e riportano l'elenco dei bacini idrografici analizzati in fase di modellazione idrologica.

LEGENDA

- Sottobacini afferenti al Fosso della Madonna
- Sottobacini afferenti alla Fossa Camilla

Reticolo idrografico ai sensi della L.R. 79/2012

- SI
- NO (ALTRO RETICOLO)
- TOMBATO
- CASO PARTICOLARE

0 1 2 km

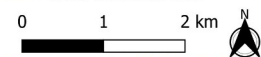


Figura 3.2: Inquadramento generale dei bacini idrografici oggetto di studio.

Foce	Bacino idrografico	Elemento HMS
Fosso della Madonna	Madonna	Madonna_1
	Madonna	Madonna_2
	Madonna	Madonna_3
	Madonna	Madonna_4
	Madonna	Alberelli
	Madonna	Madonna_5
	Tane	Tane_1
	Tane	Tane_2
	Basse	Fosso_Basse
Fossa Camilla	Sorbizzi	Sorbizzi_1a
	Sorbizzi	Sorbizzi_1b
	Sorbizzi	Sorbizzi_2
	Sorbizzi	Badie
	Sorbizzi	Sorbizzi_3
	Livrone	Livrone_1
	Livrone	Livrone_2
	Poggiali	Mich_1
	Poggiali	Mich_2

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

	Poggiali	Pogg_1
	Poggiali	Docc_1
	Poggiali	Cast_1
	Poggiali	Cast_2
	Poggiali	Pogg_2
	Trogoli	Calcin_1
	Trogoli	Cancell_1
	Trogoli	Cancell_2
	Trogoli	Tro_1
	Trogoli	Tro_2
	Trogoli	Tro_3
	Trogoli	Tro_4
	Trogoli	Tro_5
	Camilla	Camilla_1
	Camilla	Camilla_2
	Camilla	Camilla_3
	Camilla	Camilla_4
	Camilla	Camilla_5

Tabella 3.1: Elenco dei bacini idrografici oggetto di analisi idrologica

Nelle figure seguenti sono mostrate le principali caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio, con sovrapposti i bacini idrografici mostrati in precedenza.

LEGENDA

- ▬ Sottobacini Fosso della Madonna
- ▬ Sottobacini Fossa Camilla

DTM (m. slm)

- ≤ 10.34
- 10.34 - 12.33
- 12.33 - 14.20
- 14.20 - 15.60
- 15.60 - 18.40
- 18.40 - 20.81
- 20.81 - 27.63
- 27.63 - 38.94
- 38.94 - 63.30
- > 63.30

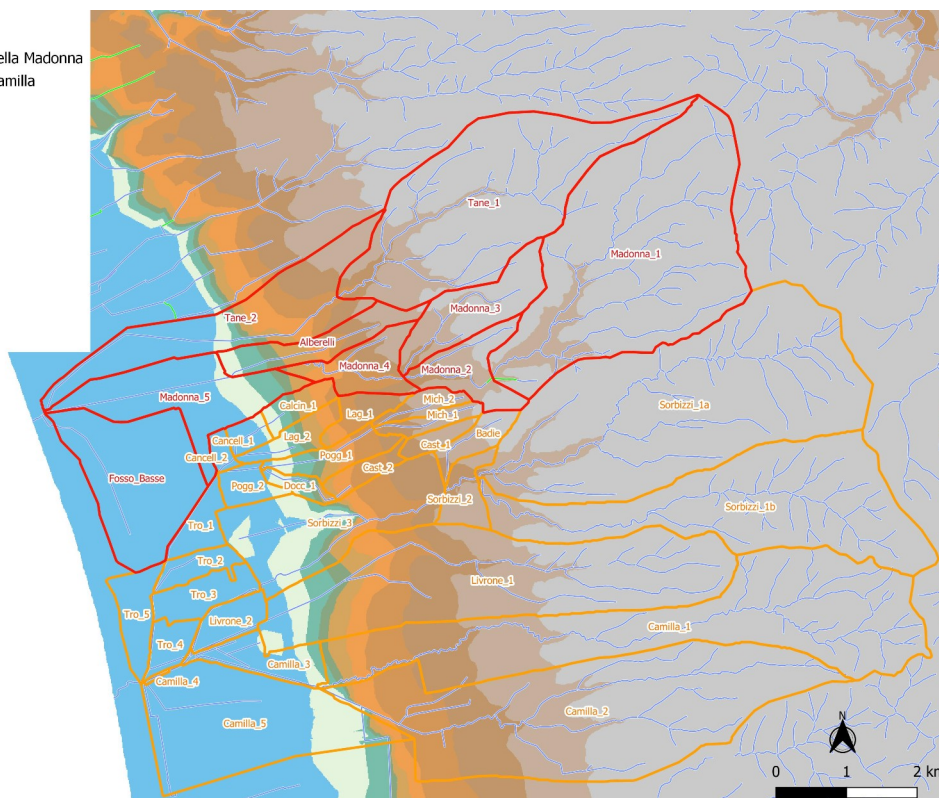


Figura 3.3: Quote altimetriche valutate su base DTM 10x10 della Regione Toscana

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

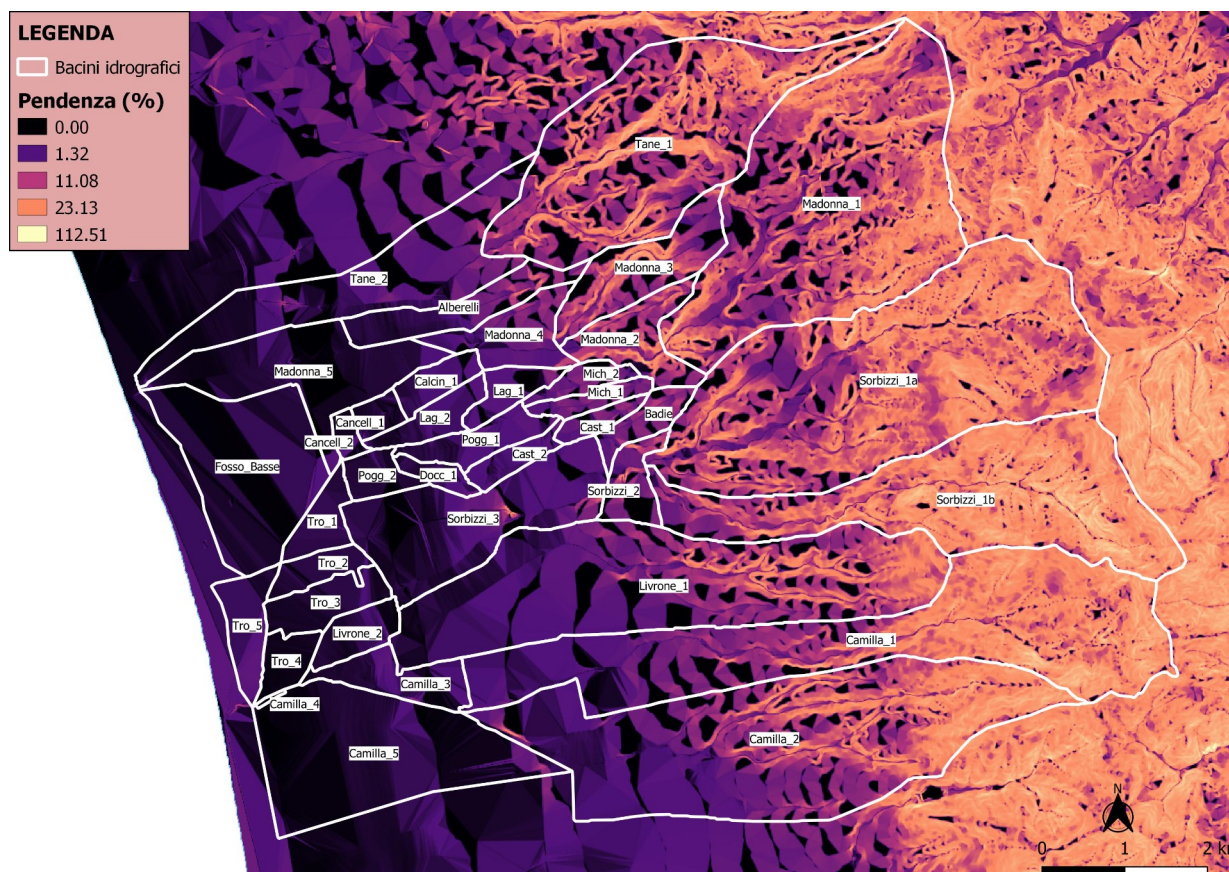


Figura 3.4: Pendenze % valutate sulla base dell'altimetria DTM 10 x 10

In tabella Tabella 3.2 vengono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici oggetto di studio.

I dati idrologici dei bacini idrografici in esame stati ripresi direttamente dagli studi idraulici citati in premessa.

<i>PROGETTO:</i>					<i>ELABORATO:</i>	
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>					<i>Relazione idrologico-idraulica</i>	
	Area del bacino	Quota massima del bacino	Quota minima del bacino	Quota media del bacino	Pendenza media del bacino	Lunghezza dell'asta principale
Simbolo	A	H _{max}	H _{min}	H _m	I _b	L
Unità di misura	m ²	m. slm	m. slm	m. slm	%	km
Madonna_1	8.54	332.35	39.81	110	15.20	5.9
Madonna_2	1.02	100	27.3	60	9.70	3
Madonna_3	1.47	106.14	27.17	70	9.40	2.7
Madonna_4	0.99	60	11.4	27.46	3.50	3.6
Alberelli	0.99	70	10.88	21.15	2.90	2.2
Madonna_5	2.32	20	2.15	9.94	0.50	2.7
Tane_1	6.31	271.54	23.67	90	13.90	6.3
Tane_2	3.13	69.88	2.01	19.36	1.80	4.9
Fosso_Basse	3.06	10	2.07	4.53	0.50	2
Sorbizzi_1a	9.83	410	34.99	143.3	18.20	6.8
Sorbizzi_1b	6.13	590	35.12	245.2	27.60	7
Sorbizzi_2	0.56	70.58	29.09	45.17	5.30	0.6
Badie	0.47	90	29.7	60	4.70	1.4
Sorbizzi_3	2.98	40	7.73	12.92	1.40	3.2
Livrone_1	7.39	290	2.53	42.58	6.50	7
Livrone_2	0.44	9.51	2.77	6.05	0.60	0.1
Lag_1	0.44	43.43	16.82	27.07	1.90	1
Lag_2	0.5	24.36	7.7	14.79	1.00	1.1
Mich_1	0.33	70	25.71	45.18	4.10	1.5
Mich_2	0.34	61.73	25.6	46.79	3.30	1.4
Pogg_1	0.63	34.55	9.6	18.57	1.30	1.7
Docc_1	0.25	17.81	9.59	13.23	1.10	1.2
Cast_1	0.26	70	30.23	40.63	3.40	1.1
Cast_2	0.36	36.84	16.64	22.56	1.40	1.1
Pogg_2	0.39	11.96	6.75	9.08	0.50	0.6
Calcin_1	0.43	23.84	10.83	15.86	1.10	1.1
Cancell_1	0.25	11.56	7.5	9.69	0.50	0.8
Cancell_2	0.17	9.62	6.75	8.91	0.60	0.3
Tro_1	0.48	10.28	4.64	6.77	0.80	1.5

PROGETTO:					ELABORATO:	
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona					Relazione idrologico-idraulica	
Tro_2	0.43	10.53	2.67	6.61	0.70	1.4
Tro_3	0.66	10.13	1.96	4.92	0.50	1.5
Tro_4	0.39	3.74	1.35	2.1	0.20	0.8
Tro_5	0.65	9.25	1.34	4.35	1.30	1.6
Camilla_1	7.98	552.93	10.74	150.47	17.40	11.1
Camilla_2	8.7	447.74	10.68	68.58	10.60	7.7
Camilla_3	0.81	14.88	2.15	9.69	1.00	2.4
Camilla_4	0.03	2.15	1.33	1.5	0.10	0.7
Camilla_5	3.98	22.27	1.04	4.16	0.50	1.8

Tabella 3.2: Principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici oggetto di studio

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:

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

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:

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

$$\varepsilon_1 = \theta_1 \ln \lambda_1, \quad \theta = \theta_2/\theta_1, \quad \lambda = \lambda_2/(\lambda_1)^{1/\theta};$$

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,

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

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.

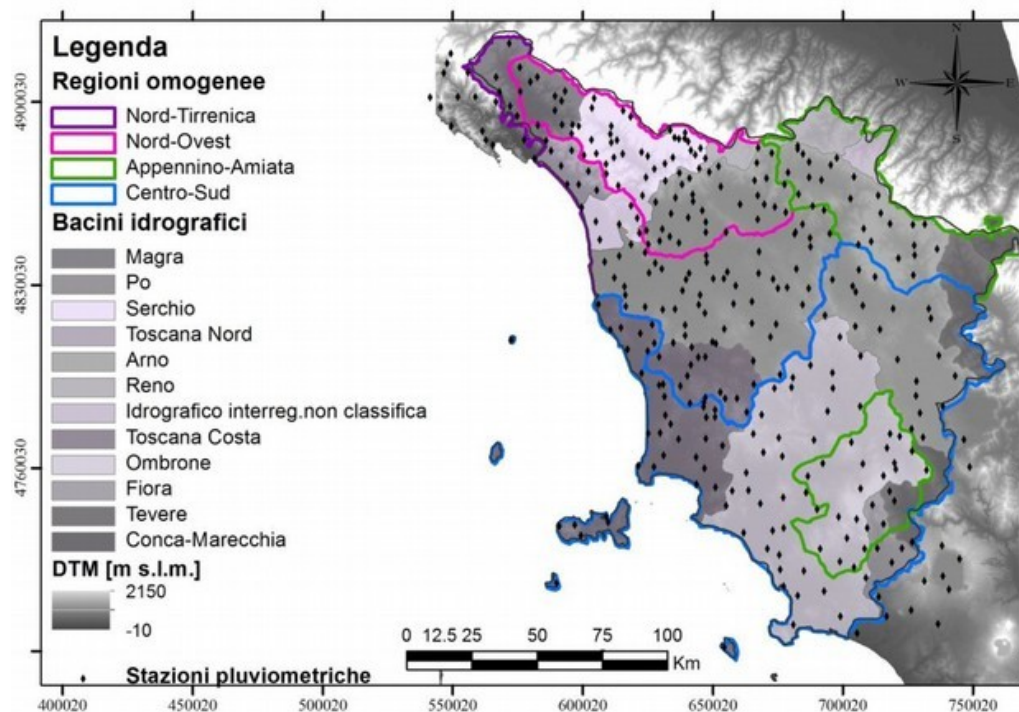


Figura 3.5: Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee.

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.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

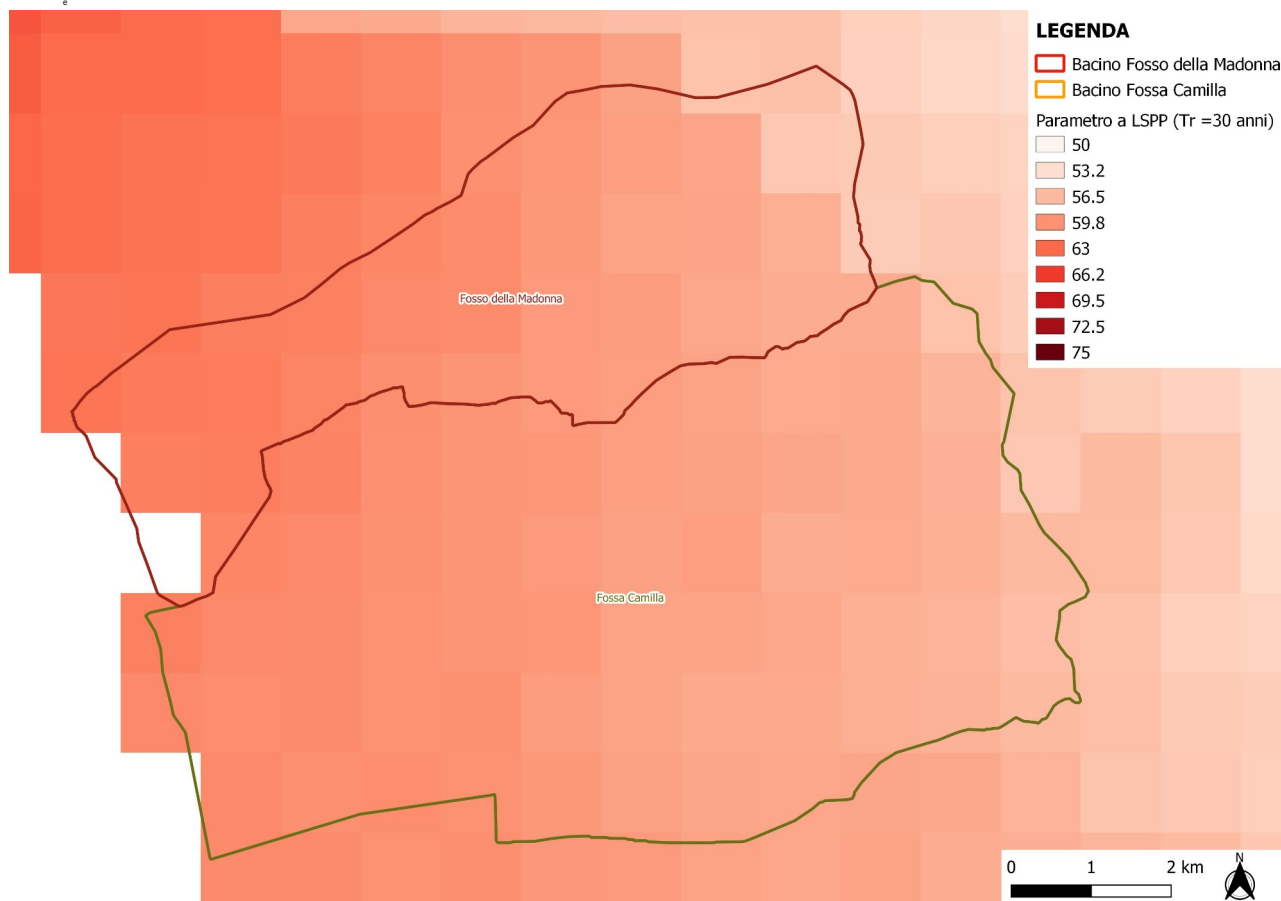


Figura 3.6: Parametro "a" della curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno pari a 30 anni

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

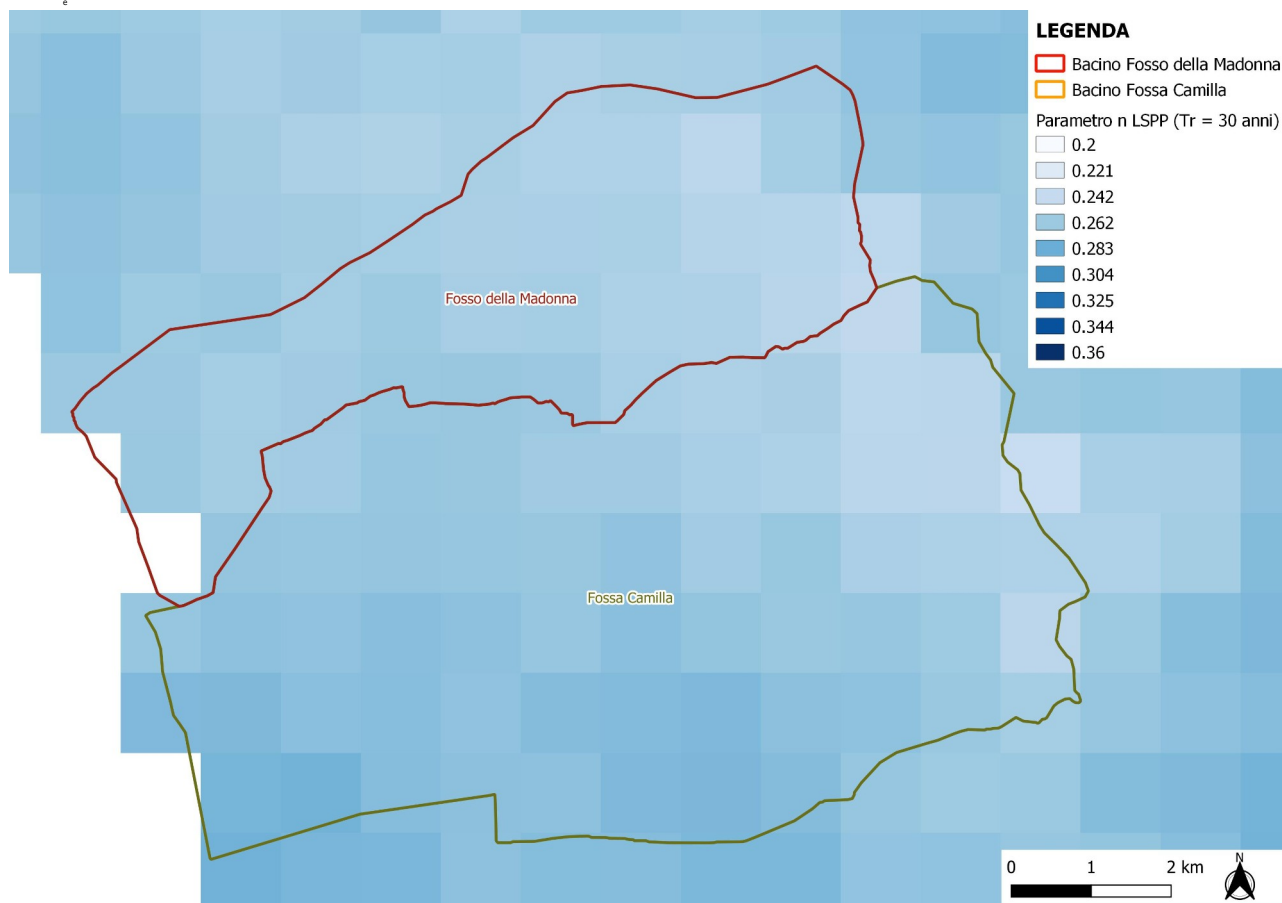


Figura 3.7: Parametro "n" della curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno pari a 30 anni

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

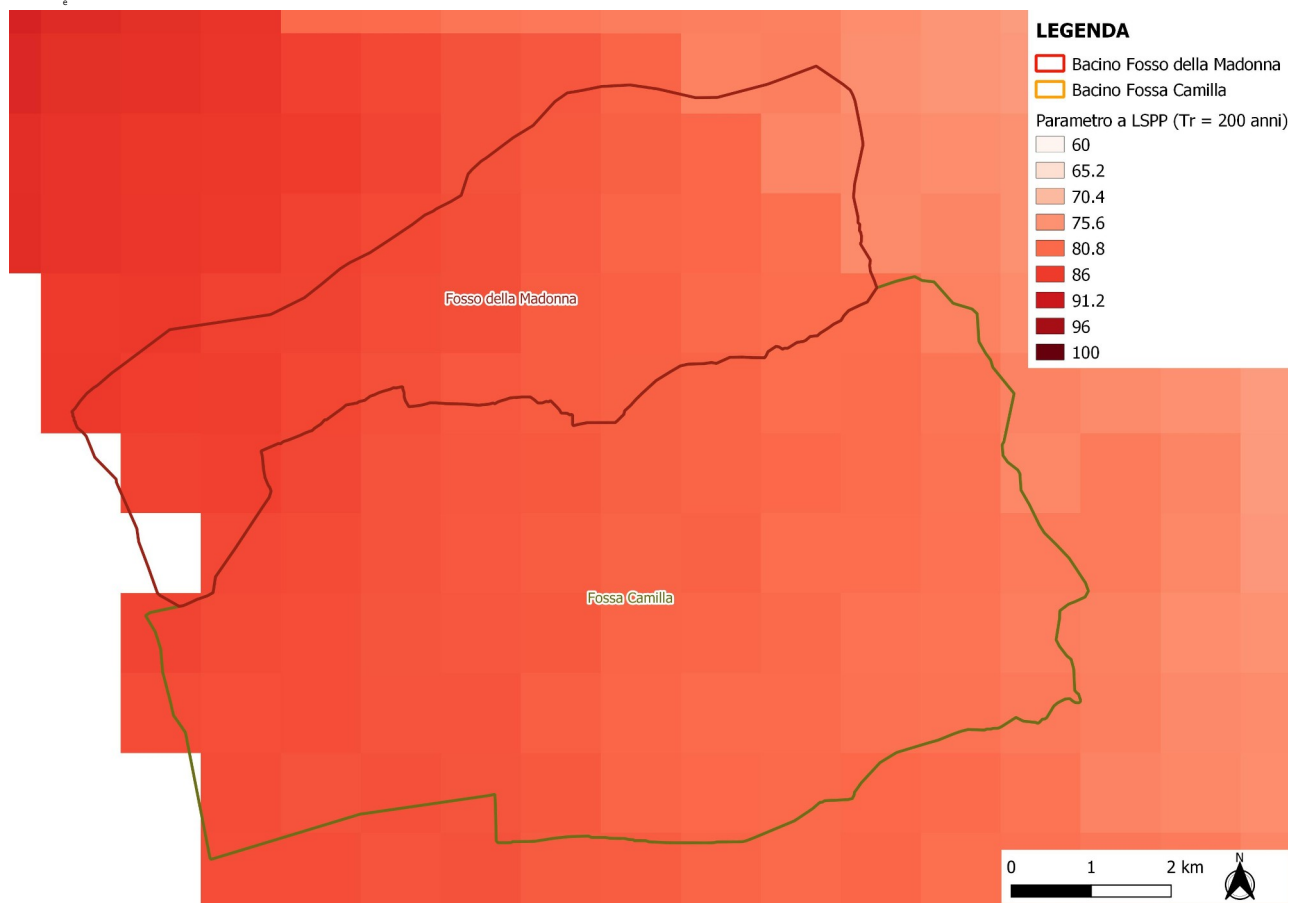


Figura 3.8: Parametro "a" della curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno pari a 200 anni

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

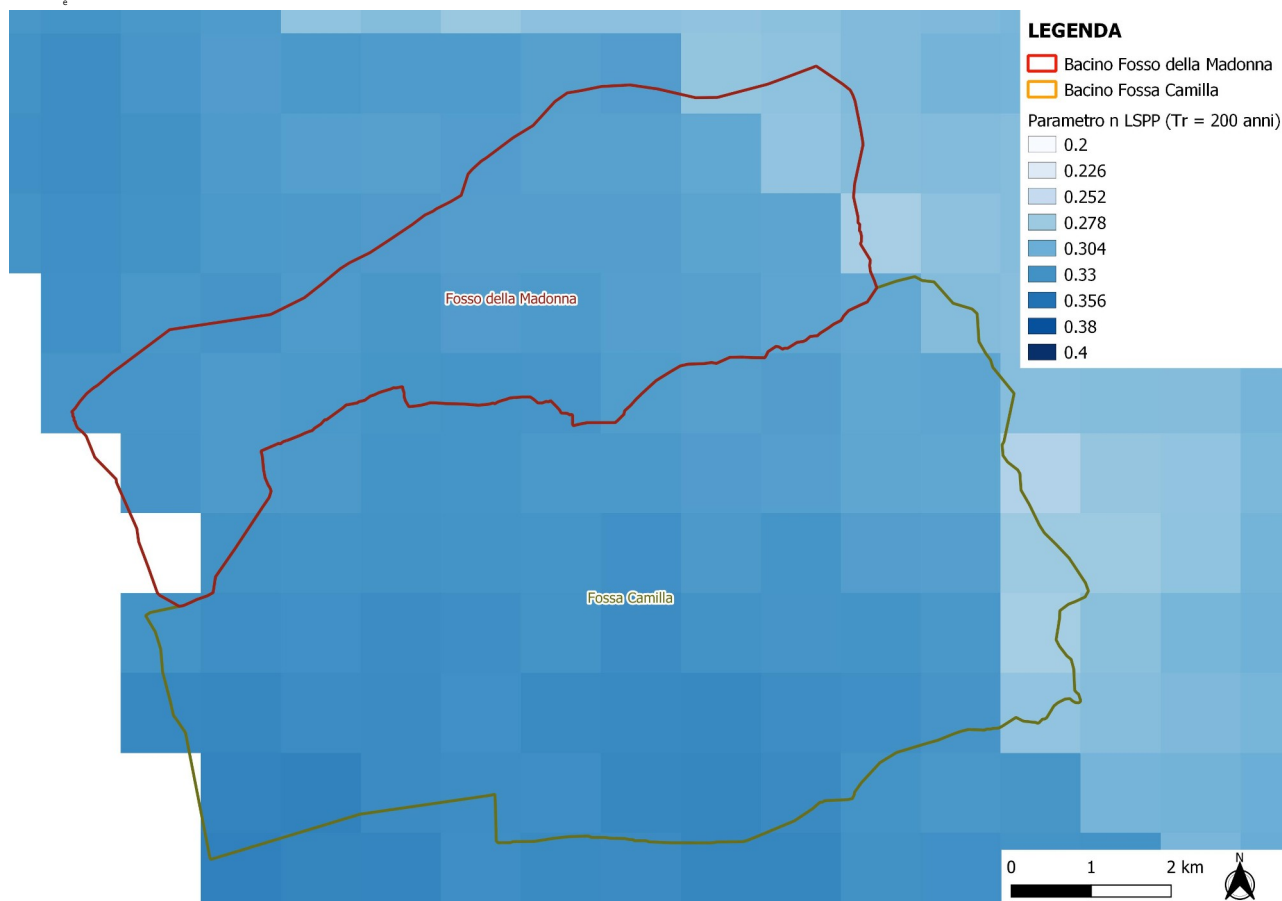


Figura 3.9: Parametro "n" della curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno pari a 200 anni

Sono stati analizzati eventi di precipitazione di durata pari a 1,2,3,4,6,9 ore. Le altezze di pioggia sono state determinate assumendo un'unica curva per ogni tempo di ritorno analizzato.

Il bacino complessivo è stato suddiviso in due macrobacini: il sottobacino di raccolta delle acque che confluiscono nel Fosso del Madonna e quello che riceve le acque che confluiscono nella Fossa Camilla. I parametri a e n sono calcolati come media zonale sulle due superfici complessive. Si ottengono così le seguenti curve di possibilità pluviometrica, valide per durate di pioggia non inferiori a 1 ora:

Macrobacino	Tr = 30 anni	Tr = 200 anni
Fosso della Madonna	$h = 59.373 t^{0.257}$	$h = 82.588 t^{0.318}$
Fossa Camilla	$h = 58.789 t^{0.264}$	$h = 81.775 t^{0.325}$

Tabella 3.3: Curve di possibilità pluviometrica per i due macrobacini studiati per tempi di ritorno di 30 e 200 anni

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

3.2.2. Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio

Ai fini dell'analisi sono stati considerati ietogrammi triangolari a picco centrato.

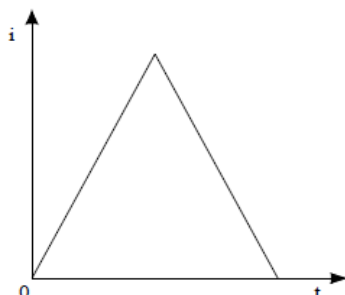


Figura 3.10: ietogramma di progetto triangolare a picco centrato.

Considerando che l'area del bacino è superiore a 25 Km² si è applicato un fattore di ragguaglio areale alle precipitazioni. In particolare si è fatto riferimento alla relazione sviluppata da V.Milano, S.Pagliara, E Di Carlo, A.Morelli, "La spazializzazione delle piogge sui bacini dell'Arno e del Serchio e sul territorio italiano", Dipartimento di Ingegneria Civile Università di Pisa, ed. ETS (2001), per cui si ha che:

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

con ARF fattore di ragguaglio areale, t durata della precipitazione (h), A area del bacino (Km²).

La tabella seguente riporta i valori del fattore di ragguaglio ARF e delle altezze di pioggia ragguagliate per le diverse durate e tempi di ritorno presi in esame, considerati separatamente per i due bacini principali in esame.

Bacino Fosso della Madonna				
<i>T_p (h)</i>	<i>Area (km²)</i>	<i>ARF</i>	<i>h₃₀ (mm)</i>	<i>h₂₀₀ (mm)</i>
1	27.95	0.888	52.70	73.30
2		0.909	64.53	93.64
3		0.922	72.63	108.02
4		0.931	78.97	119.54
6		0.944	88.85	137.86
9		0.957	99.94	158.96

Tabella 3.4: Fattori di ragguaglio e altezze di pioggia ragguagliate per il sottobacino Fosso della Madonna

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

Bacino Fossa Camilla				
<i>T_p (h)</i>	<i>Area (km²)</i>	<i>ARF</i>	<i>h₃₀ (mm)</i>	<i>h₂₀₀ (mm)</i>
1	56.54	0.875	51.46	71.57
2		0.898	63.39	91.99
3		0.911	71.60	106.50
4		0.921	78.05	118.15
6		0.934	88.12	136.73
9		0.947	99.47	158.21

Tabella 3.5: Fattori di ragguaglio e altezze di pioggia ragguagliate per il sottobacino Fossa Camilla

3.3. Le perdite di bacino: il metodo CN

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:

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

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 del gruppo idrologico di suolo e della tipologia di uso del suolo.

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:

<i>PROGETTO:</i>		<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>		<i>Relazione idrologico-idraulica</i>
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 3.6: 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:

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

Per quanto concerne la classificazione dei gruppi idrologici dei bacini idrografici oggetto di indagine, si è fatto riferimento al database pedologico regionale¹ e allo strato informativo relativo all'uso del suolo derivante dal database UCS 2007-2019².

Le figure seguenti riportano i Codici Corine e i gruppi idrologici all'interno dei bacini studiati.

¹ DBPedologico_Regione_Toscana\DBPedologico_Regione_Toscana\dbpedologico_rt.qgs

² USO_E_COPERTURA_DEL_SUOLO_REGIONE_TOSCANA.7z

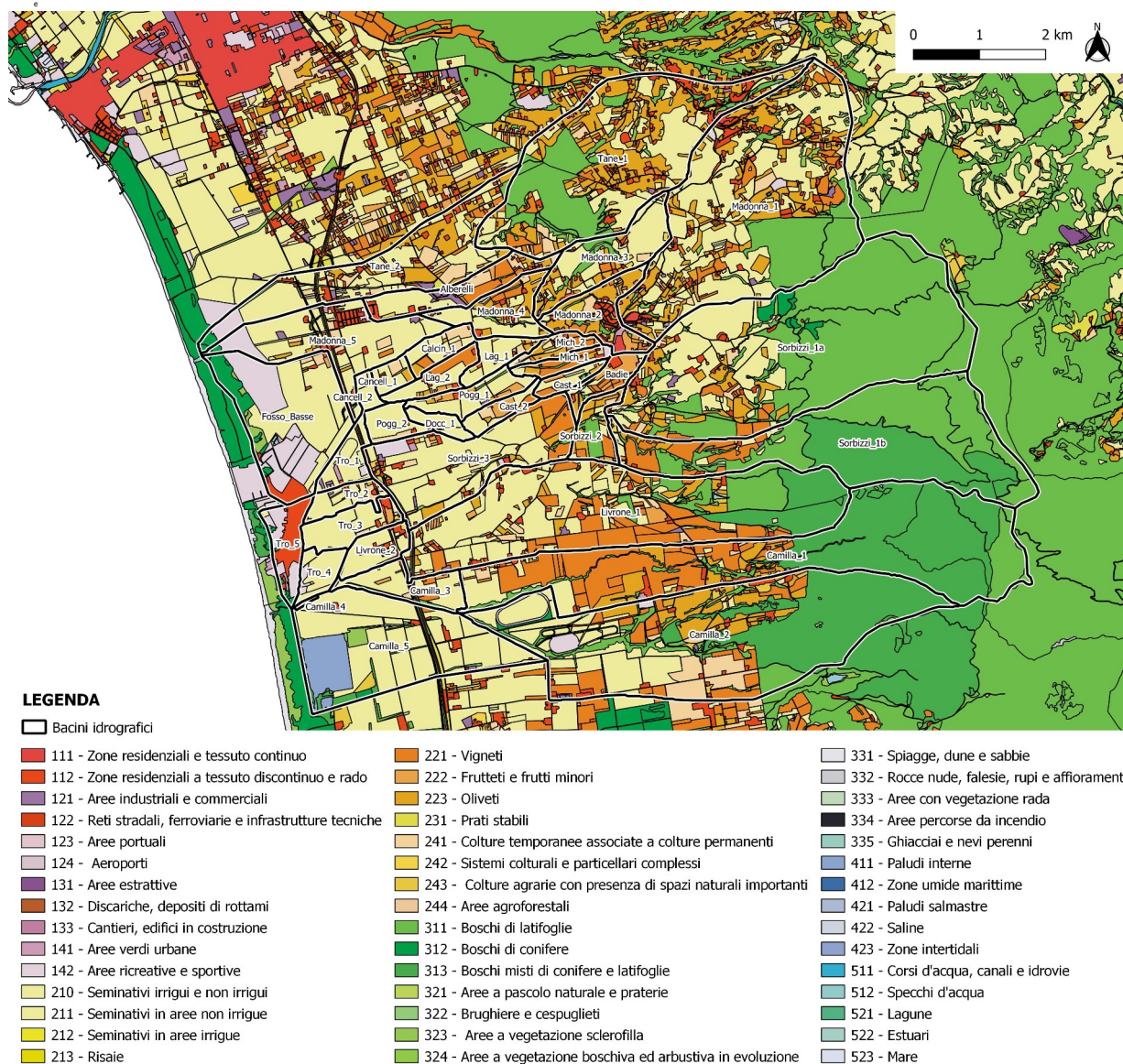


Figura 3.11: Codici Corine all'interno dei bacini idrografici oggetto di studio, derivati dal database Uso e Copertura del Suolo della Regione Toscana.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

LEGENDA

Gruppi idrologici

- 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.

0 1 2 km

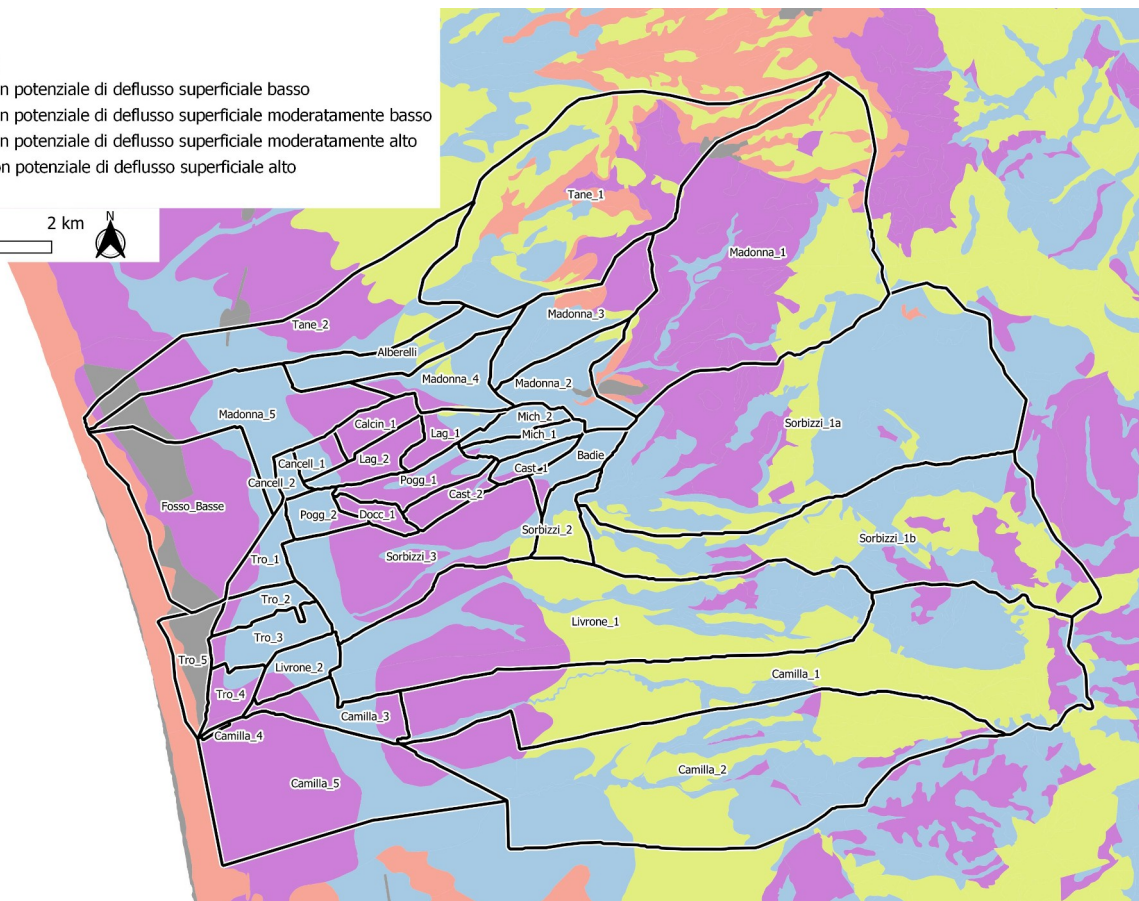


Figura 3.12: Gruppi idrologici USDA all'interno dei bacini oggetto di studio, derivati dal Database Pedologico della Regione Toscana

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 use³", 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

³ "Hydrology training series. Module 104. Runoff Curve Number Computations. Study Guide". USDA, NRCS, 1989.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

Regione Toscana in corrispondenza delle aree boscate (codici Corine 311, 312 e 313), come da tabella seguente:

	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 3.7: 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.

Ai fini della modellazione idrologica, sono stati adottati valori di CN in condizioni AMC III. Nella seguente figura è mostrata la sovrapposizione dei bacini idrografici e la carta del CN (AMC II). La successiva tabella riporta i valori del CN III adottati in sede di analisi idrologica.

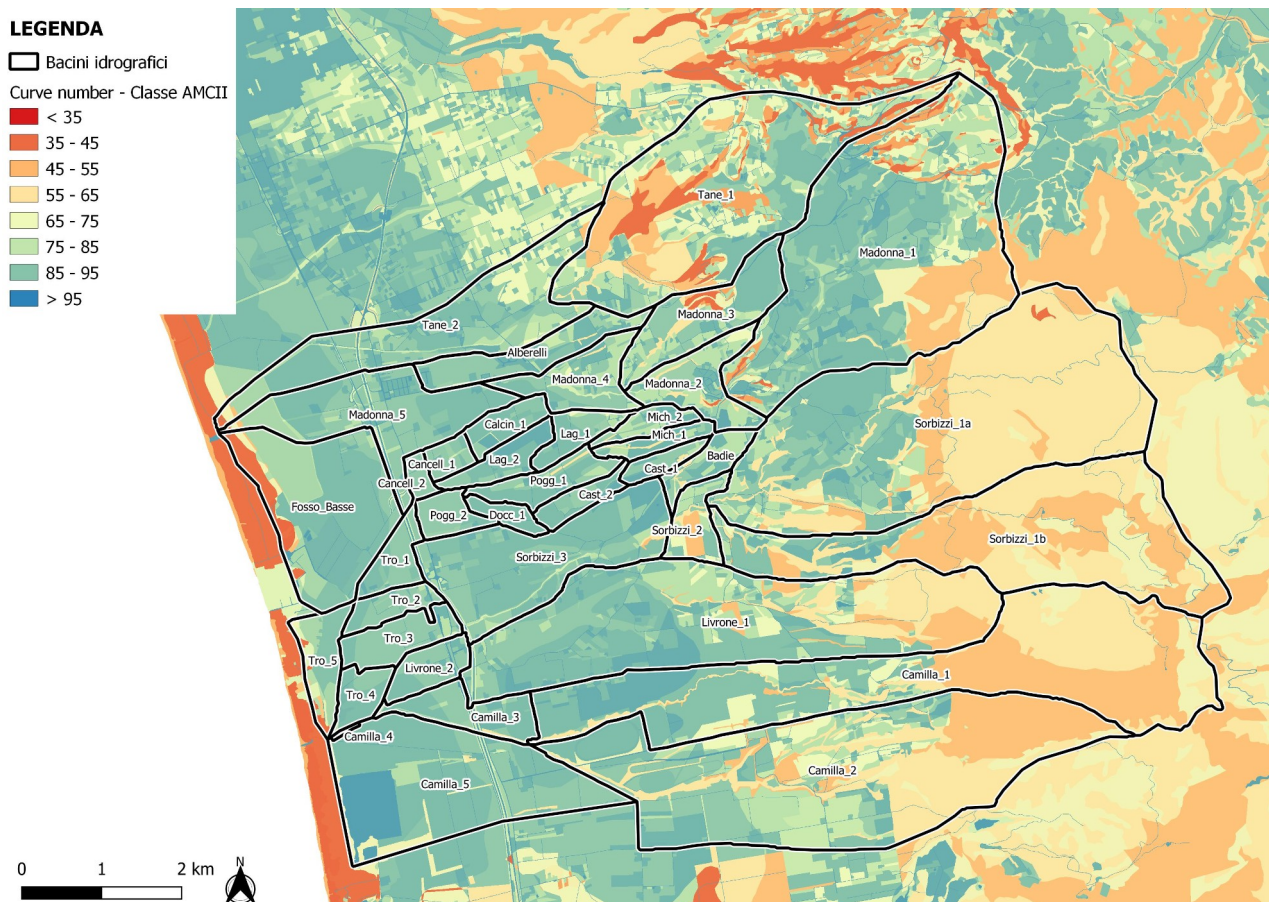


Figura 3.13: Curve Number (Classe AMC II) all'interno dei bacini idrografici oggetto di studio

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

Bacino	CN(III)
Madonna_1	87.50
Madonna_2	90.04
Madonna_3	89.25
Madonna_4	91.27
Alberelli	92.76
Madonna_5	92.57
Tane_1	82.72
Tane_2	90.57
Fosso_Basse	89.91
Sorbizzi_1a	81.45
Sorbizzi_1b	76.88
Sorbizzi_2	85.04
Badie	91.08
Sorbizzi_3	93.27
Livrone_1	87.9
Livrone_2	92.85
Lag_1	92.53
Lag_2	94.53
Mich_1	92.53
Mich_2	91.78
Pogg_1	92.54
Docc_1	93.88
Cast_1	92.54
Cast_2	93.57
Pogg_2	92.35
Calcin_1	93.56
Cancell_1	91.87
Cancell_2	92.17
Tro_1	92.81
Tro_2	92.44
Tro_3	92.18
Tro_4	92.98
Tro_5	87.56
Camilla_1	81.67
Camilla_2	83.61
Camilla_3	92.56
Camilla_4	86
Camilla_5	93.34

Tabella 3.8: Valori medi del parametro CN(III) all'interno dei bacini idrografici, adottati in fase di modellazione idrologica

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

Per la stima delle perdite iniziali I_a si può far ricorso alla seguente equazione: $I_a = 0.1 - 0.4 S$ (generalmente $I_a = 0.2 S$, come nel presente caso). La valutazione di S è ricondotta a quella dell'indice CN, secondo la seguente relazione, valida per S espressa in mm:

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

3.4. Trasformazione afflussi netti – deflussi: idrogramma unitario di Clark

Per la trasformazione afflussi netti deflussi si è adottata la metodologia dell'idrogramma unitario di Clark, in analogia a quanto fatto negli studi citati in premessa.

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 svasso di acqua che avvengono in un bacino soggetto ad eventi meteorici.

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

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.

I valori riassuntivi dei parametri idrologici richiesti per l'applicazione dell'IUH di Clark sono esposti nella tabella seguente. I valori del tempo di corrivazione sono stati ripresi direttamente dallo studio citato. Il valore della costante di invaso R è stato calcolato con la formulazione di Clark, sempre in coerenza con il citato studio di riferimento.

Bacino	Tc	R
Madonna_1	1.78	0.75
Madonna_2	1.03	0.48
Madonna_3	0.98	0.44
Madonna_4	1.43	0.96
Alberelli	1.04	0.64
Madonna_5	1.99	1.90
Tane_1	1.82	0.84
Tane_2	2.1	1.82
Fosso_Basse	2.27	1.41
Sorbizzi_1a	1.87	0.79

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

Sorbizzi_1b	1.58	0.66
Sorbizzi_2	0.43	0.13
Badie	0.59	0.32
Sorbizzi_3	2.04	1.34
Livrone_1	2.17	1.36
Livrone_2	0.42	0.06
Lag_1	0.63	0.36
Lag_2	0.78	0.55
Mich_1	0.63	0.37
Mich_2	0.63	0.38
Pogg_1	0.98	0.74
Docc_1	0.86	0.57
Cast_1	0.55	0.30
Cast_2	0.72	0.46
Pogg_2	0.76	0.42
Calcin_1	0.81	0.52
Cancell_1	0.84	0.56
Cancell_2	0.47	0.19
Tro_1	1.31	0.83
Tro_2	1.1	0.83
Tro_3	1.31	1.05
Tro_4	1.25	0.89
Tro_5	1.26	0.70
Camilla_1	2.4	1.32
Camilla_2	2.13	1.18
Camilla_3	1.49	1.19
Camilla_4	1.11	1.10
Camilla_5	2	1.27

Tabella 3.9: parametri dell'idrogramma di Clark

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:

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

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, riportate in Tabella 3.10.

Reach	L [m]	S [m/m]	n [s/(m ^{1/3})]	Sezione	W [m]	SS [H:V]
R_Tane	4893.43	0.00378	0.035	Trapezoid	2.2	1.2
R2	1575.02	0.00668	0.035	Trapezoid	2.5	1.2
R2.1	2166.5	0.00543	0.035	Trapezoid	2.8	1.2
R3	3309.61	0.00407	0.035	Trapezoid	3	0.9
R4.1	1742.77	0.01038	0.035	Trapezoid	2.2	1.2
R8	3222	0.01109	0.035	Trapezoid	4.5	1.5
R5	1529.32	0.00268	0.035	Trapezoid	4.5	2
R4	2046.35	0.00328	0.035	Trapezoid	4.5	1.5

L: lunghezza, S: pendenza, n: coefficiente di scabrezza di Manning, W: larghezza di fondo della sezione trapezia, SS: scarpa

Tabella 3.10: Parametri di propagazione dei deflussi per gli elementi di tipo reach

3.6. Modellazione degli invasi

Sui corsi d'acqua oggetto di studio sono presenti 3 casse di espansione in derivazione, per la cui modellazione si è utilizzato un approccio analogo a quanto effettuato nel citato studio redatto a supporto della "Variante quinquennale al Regolamento Urbanistico - Terzo Regolamento Urbanistico".

Le casse sono state inserite semplicemente come elementi diversion, di cui sono state definite le caratteristiche geometriche e la scala di deflusso a valle dell'opera di presa. Per ogni cassa è stata poi definita la massima capacità di invaso, come da tabella seguente.

ID Cassa HMS	Capacità massima di invaso (1000 m ³)	Massima portata derivabile (m ³ /s)	Altezza della soglia sfiorante (m)	Lunghezza della soglia sfiorante (m)	Coefficiente di stramazzo (m ^{0.5} /s)
Cassa_Tane	90	55	1.95	35	3.1
Cassa_Madonna	100	81	3.6	28	3.1
Cassa_Sorbizzi_Est	50	132	3.94	20	3.1

Tabella 3.11: Caratteristiche degli invasi e delle soglie sfioranti per gli elementi reservoir del modello HMS

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

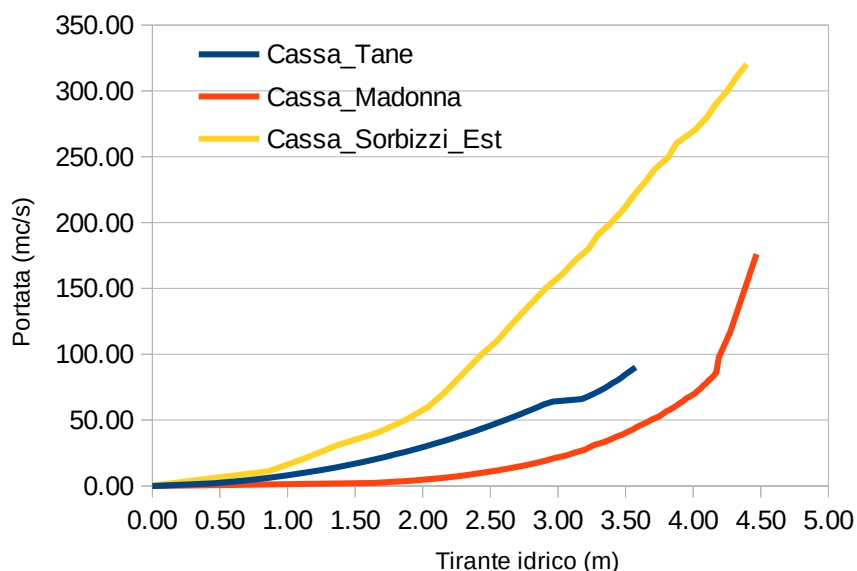


Figura 3.14: Scala di deflusso della sezione idraulica posta immediatamente a valle dello sfioratore ed associata agli elementi "reservoir" riportati in legenda e modellati in HMS

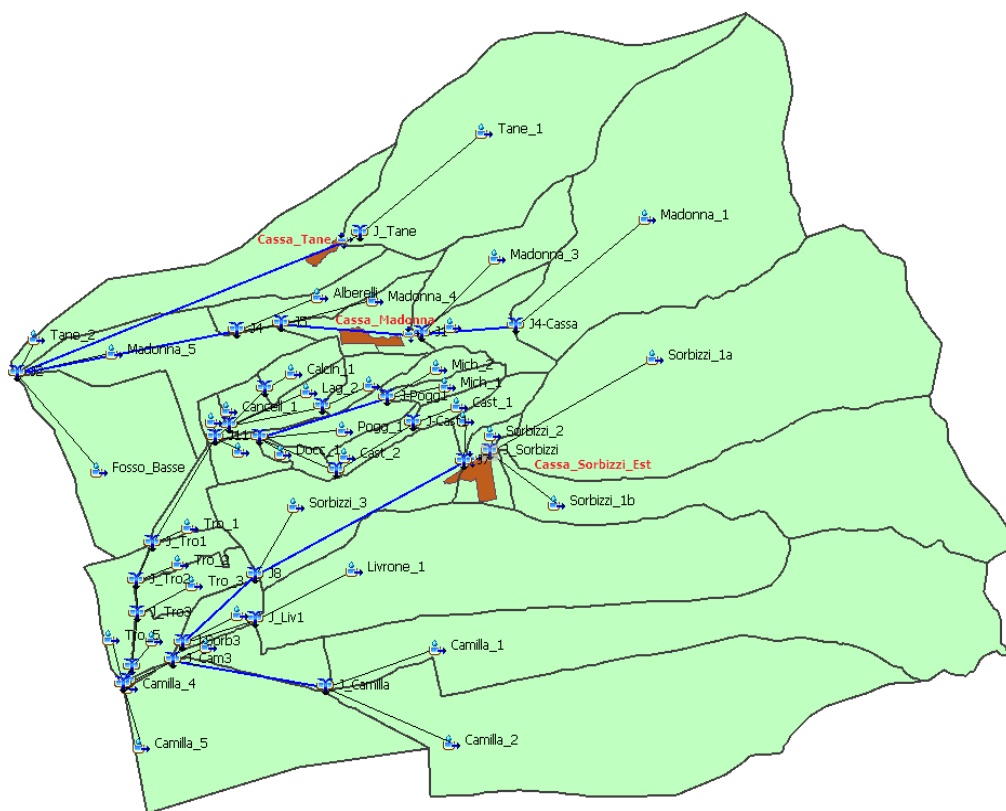


Figura 3.15: Planimetria di modellazione idrologica in HEC-HMS con indicazione della posizione delle casse di espansione sul Fosso delle Tane (ID HMS: Cassa_Tane), sul Fosso della Madonna (ID HMS: Cassa_Madonna) e sul Fosso Sorbizzi (ID HMS: Cassa_Sorbizzi_Est)

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

3.7. Risultati della modellazione idrologica

Sulla base di quanto sopra esposto è stato implementato il modello idrologico dell'area di studio. Sono state eseguite simulazioni per tempi di ritorno 30 e 200 anni con durata di pioggia pari a 1-2-3-4-6-9 ore.

Le simulazioni idrologiche sono individuate da un codice nella forma *IT_TRxxx_TPyyy_R*, dove *IT* sta ad indicare che si sono impiegati ietogrammi triangolari, *TR* indica il tempo di ritorno *xxx* in anni e *TP* la durata di pioggia *yyy*.

Si indicano in tabella gli elementi idrologici inseriti come "junction" del modello HEC-HMS, corrispondenti a sezioni idrografiche significative, per le quali si riportano a seguire i grafici degli idrogrammi. Per il dettaglio degli idrogrammi relativi ad i singoli bacini si rimanda direttamente ad i file DSS allegati al presente studio, liberamente visualizzabili con il software HEC-DSS.

Elemento idrologico HMS	Corso d'acqua
Nodo "J_Tane"	Fosso delle Tane
Nodo "J1"	Fosso della Madonna
Nodo "J4"	Fosso della Madonna
Nodo "J2"	Fosso della Madonna
Nodo "J_Pogg2"	Fosso dei Poggiali
Nodo "J_Lag2"	Fosso Fonte di Lagone
Nodo "J_Tro1"	Fosso Trogoli
Nodo "J_Sorbizzi"	Fosso Sorbizzi
Nodo "J8"	Fosso Sorbizzi
Nodo "J_Camilla"	Fossa Camilla
Nodo "J_Cam3"	Fossa Camilla
Nodo "J-F"	Fossa Camilla

Tabella 3.12: Indicazione dei elementi idrologici modellati in HEC-HMS come junction e il relativo corso d'acqua di pertinenza.

Le seguenti tabelle riportano i valori massimi di portata per tempi di ritorno di 30 e 200 anni, per i nodi di HEC-HMS esposti all'inizio di questo paragrafo.

t _p (h)	1	2	3	4	6	9	Q _{max} (m³/s) - TR = 30 anni
Nodo	Q (m³/s) - TR = 30 anni						
J_Tane	17.11	23.47	25.97	26.45	25.05	22.25	26.45
J1	41.29	54.24	58.57	58.15	53.36	46.10	58.57
J4	50.91	62.56	64.94	64.43	61.02	54.89	64.94
J2	89.23	114.79	123.72	125.37	120.19	108.55	125.37
J_Pogg2	18.69	19.07	17.47	15.90	13.40	10.93	19.07
J_Lag2	14.71	14.83	13.51	12.24	10.26	8.31	14.83
J_Tro1	40.43	41.68	38.44	35.11	29.72	24.30	41.68
J_Sorbizzi	35.56	51.30	58.71	61.20	59.18	53.20	61.20

<i>PROGETTO:</i> <i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>							<i>ELABORATO:</i> <i>Relazione idrologico-idraulica</i>
J8	47.24	66.16	75.26	78.16	75.39	67.66	78.16
J_Camilla	32.22	45.76	52.94	56.28	56.71	52.81	56.71
J_Cam3	99.96	139.02	158.45	166.49	164.95	151.25	166.49
J-F	129.19	178.05	204.83	216.59	214.36	196.01	216.59

Tabella 3.13: Portate massime ottenute nei nodi idrologici significativi oggetto di studio per tempo di ritorno 30 anni

t _p (h)	1	2	3	4	6	9	Q _{max} (m³/s) - TR = 200 anni
Nodo	Q (m³/s) - TR = 200 anni						
J_Tane	31.18	43.38	48.17	49.12	46.88	42.02	49.12
J1	69.57	93.42	101.35	101.01	93.68	81.86	101.35
J4	74.88	89.23	97.28	108.43	104.94	89.93	108.43
J2	139.52	172.47	185.33	200.43	197.41	176.85	200.43
J_Pogg2	29.03	30.24	28.14	25.87	22.17	18.35	30.24
J_Lag2	22.59	23.31	21.58	19.77	16.84	13.86	23.31
J_Tro1	62.66	66.00	61.80	57.05	49.08	40.75	66.00
J_Sorbizzi	68.77	99.65	114.21	118.55	114.93	104.07	118.55
J8	86.78	123.35	141.10	146.34	141.88	128.50	146.34
J_Camilla	59.02	85.01	99.01	105.44	106.67	100.09	106.67
J_Cam3	179.53	254.05	291.84	307.41	306.03	283.09	307.41
J-F	226.31	318.88	370.31	392.12	390.10	360.13	392.12

Tabella 3.14: Portate massime ottenute nei nodi idrologici significativi oggetto di studio per tempo di ritorno 200 anni

Le seguenti tabelle riportano i valori massimi di portata per tempi di ritorno di 30 e 200 anni, per i bacini di HEC-HMS oggetto di modellazione.

t _p (h)	1	2	3	4	6	9	Q _{max} (m³/s) - TR = 30 anni
Bacino	Q (m³/s) - TR = 30 anni						
Madonna_1	33.15	42.70	45.39	44.87	41.05	35.43	45.39
Madonna_2	7.31	8.08	7.61	7.00	5.96	4.88	8.08
Madonna_3	10.63	11.66	10.91	10.01	8.49	6.94	11.66
Madonna_4	4.65	5.59	5.70	5.52	4.99	4.28	5.70
Madonna_5	7.32	9.13	9.87	10.09	9.79	8.95	10.09
Alberelli	7.42	8.11	7.69	7.12	6.11	5.03	8.11
Tane_1	17.11	23.47	25.97	26.45	25.06	22.25	26.45
Tane_2	8.79	11.25	12.34	12.74	12.50	11.51	12.74
Fosso_Basse	9.15	11.85	13.04	13.43	13.03	11.81	13.43
Sorbizzi_1a	23.51	33.33	37.61	38.72	37.10	33.19	38.72
Sorbizzi_1b	12.41	18.39	20.85	21.38	20.41	18.26	21.38
Sorbizzi_2	5.91	5.08	4.32	3.78	3.08	2.47	5.91
Sorbizzi_3	11.32	14.09	15.08	15.18	14.33	12.71	15.18
Badie	4.82	4.52	3.98	3.54	2.91	2.32	4.82
Livrone_1	19.51	26.03	29.05	30.15	29.55	26.99	30.15
Livrone_2	9.24	6.89	5.54	4.70	3.68	2.86	9.24

PROGETTO:							ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona							Relazione idrologico-idraulica
Lag_1	4.67	4.41	3.90	3.47	2.85	2.28	4.67
Lag_2	4.66	4.69	4.28	3.89	3.26	2.64	4.69
Mich_1	3.53	3.35	2.97	2.65	2.18	1.74	3.53
Mich_2	3.38	3.25	2.90	2.60	2.15	1.72	3.38
Pogg_1	4.20	4.66	4.48	4.20	3.66	3.06	4.66
Pogg_2	3.71	3.70	3.35	3.02	2.51	2.02	3.71
Docc_1	2.10	2.14	1.98	1.81	1.53	1.25	2.14
Cast_1	3.18	2.87	2.49	2.19	1.78	1.41	3.18
Cast_2	3.46	3.41	3.07	2.76	2.30	1.85	3.46
Calcin_1	3.76	3.84	3.52	3.20	2.69	2.18	3.84
Cancell_1	1.94	2.06	1.92	1.77	1.50	1.24	2.06
Cancell_2	2.36	1.98	1.66	1.43	1.14	0.90	2.36
Tro_1	2.80	3.27	3.26	3.11	2.75	2.33	3.27
Tro_2	2.52	2.88	2.83	2.68	2.36	2.00	2.88
Tro_3	3.40	4.04	4.12	3.99	3.62	3.12	4.12
Tro_4	2.35	2.72	2.71	2.58	2.30	1.95	2.72
Tro_5	3.10	3.81	3.87	3.72	3.33	2.84	3.87
Camilla_1	13.54	19.64	23.06	24.81	25.45	24.01	25.45
Camilla_2	18.90	26.49	30.24	31.77	31.48	28.95	31.77
Camilla_3	3.56	4.31	4.47	4.38	4.03	3.52	4.47
Camilla_4	0.07	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.10
Camilla_5	15.90	19.73	21.01	21.06	19.75	17.42	21.06

Tabella 3.15: Portate idrologiche per i bacini oggetto di modellazione in HEC-HMS. per tempo di ritorno $Tr = 30$ anni.

t _p (h)	1	2	3	4	6	9	Q _{max} (m ³ /s) - TR = 200 anni
Bacino	Q (m ³ /s) - TR = 200 anni						
Madonna_1	55.87	73.47	78.70	78.18	72.34	63.19	78.70
Madonna_2	11.79	13.29	12.67	11.77	10.16	8.44	13.29
Madonna_3	17.36	19.38	18.34	16.98	14.6	12.09	19.38
Madonna_4	7.39	9.10	9.40	9.18	8.42	7.33	9.40
Madonna_5	11.41	14.68	16.10	16.62	16.37	15.18	16.62
Alberelli	11.50	12.88	12.39	11.59	10.10	8.45	12.88
Tane_1	31.18	43.38	48.17	49.12	46.88	42.02	49.12
Tane_2	14.14	18.61	20.68	21.52	21.39	19.96	21.52

PROGETTO:							ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona							Relazione idrologico-idraulica
Fosso_Basse	14.86	19.78	22.02	22.85	22.44	20.59	22.85
Sorbizzi_1a	44.07	63.01	71.29	73.35	70.64	63.72	73.35
Sorbizzi_1b	25.44	37.44	42.25	43.12	41.26	37.15	43.12
Sorbizzi_2	10.16	8.89	7.68	6.78	5.60	4.54	10.16
Sorbizzi_3	17.51	22.42	24.37	24.76	23.71	21.37	24.76
Badie	7.63	7.31	6.53	5.87	4.89	3.97	7.63
Livrone_1	32.83	44.75	50.50	52.70	52.12	48.16	52.70
Livrone_2	14.09	10.79	8.83	7.57	6.03	4.76	14.09
Lag_1	7.24	7.00	6.29	5.66	4.72	3.83	7.24
Lag_2	7.03	7.27	6.75	6.19	5.28	4.35	7.27
Mich_1	5.47	5.31	4.78	4.31	3.60	2.92	5.47
Mich_2	5.30	5.21	4.72	4.27	3.58	5.16	5.30
Pogg_1	6.55	7.43	7.26	6.87	6.08	3.41	7.43
Pogg_2	5.77	5.90	5.41	4.93	4.17	2.07	5.90
Docc_1	3.15	3.35	3.15	2.91	2.50	2.36	3.35
Cast_1	4.91	4.54	4.00	3.56	2.94	3.07	4.91
Cast_2	5.29	5.34	4.89	4.45	3.76	3.62	5.34
Calcin_1	5.76	6.02	5.61	5.15	4.40	2.10	6.02
Cancell_1	3.05	3.30	3.13	2.91	2.52	2.10	3.30
Cancell_2	3.66	3.14	2.68	2.34	1.90	1.51	3.66
Tro_1	4.37	5.22	5.27	5.07	4.56	3.92	5.27
Tro_2	3.95	4.61	4.59	4.39	3.93	3.37	4.61
Tro_3	5.34	6.51	6.72	6.57	6.05	5.30	6.72
Tro_4	3.64	4.32	4.37	4.21	3.80	3.27	4.37
Tro_5	5.23	6.52	6.69	6.48	5.87	5.07	6.69
Camilla_1	25.31	37.15	43.85	47.22	48.55	46.10	48.55
Camilla_2	34.12	48.52	55.78	58.72	58.49	54.26	58.72
Camilla_3	5.56	6.90	7.27	7.20	6.72	5.96	7.27
Camilla_4	0.12	0.16	0.17	0.17	0.16	0.14	0.17
Camilla_5	24.57	31.35	33.91	34.30	32.64	29.25	34.30

Tabella 3.16: Portate idrologiche per i bacini oggetto di modellazione in HEC-HMS. per tempo di ritorno $Tr = 200$ anni.

Le seguenti figure riportano gli idrogrammi per i nodi significativi del modello idrologico.

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

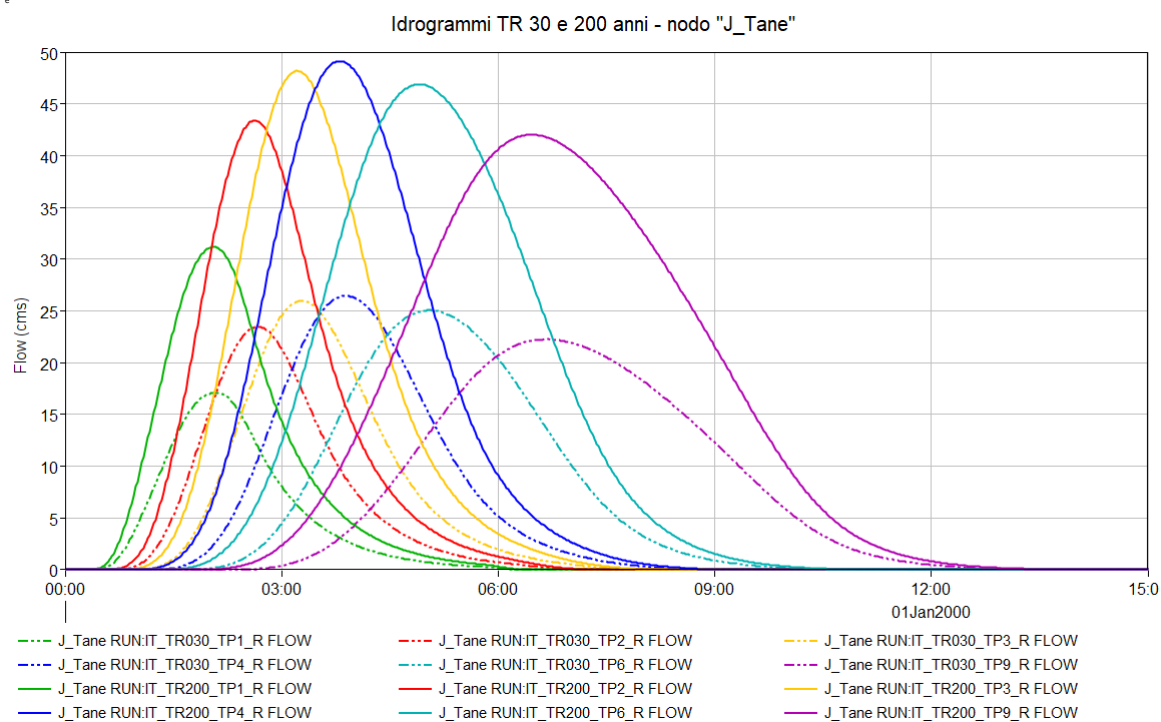


Figura 3.16: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J_Tane"

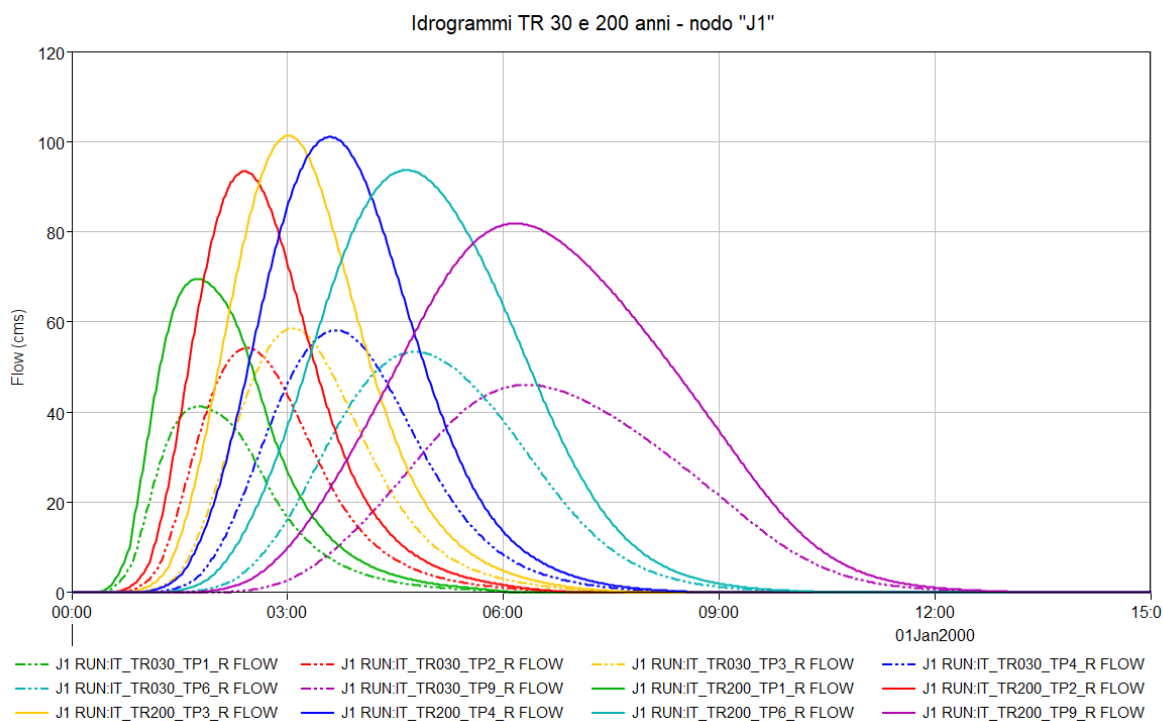


Figura 3.17: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J1"

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

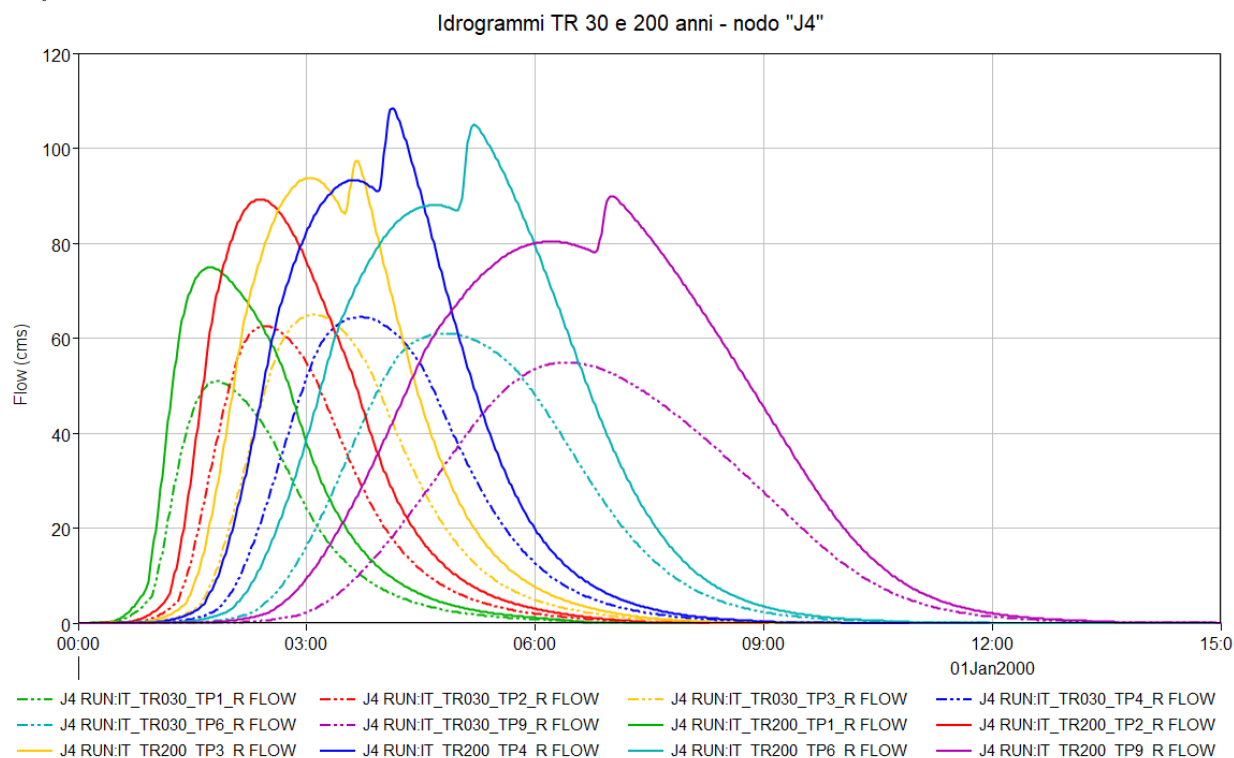


Figura 3.18: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J4"

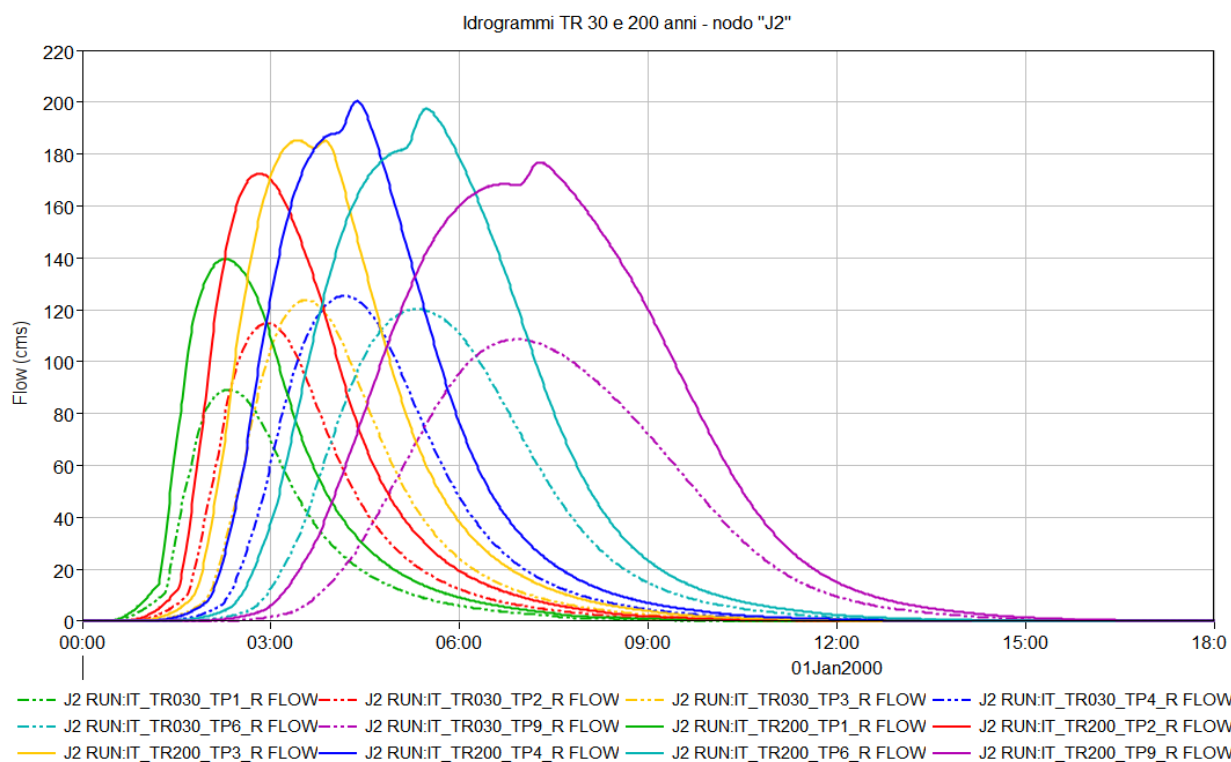


Figura 3.19: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J2"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

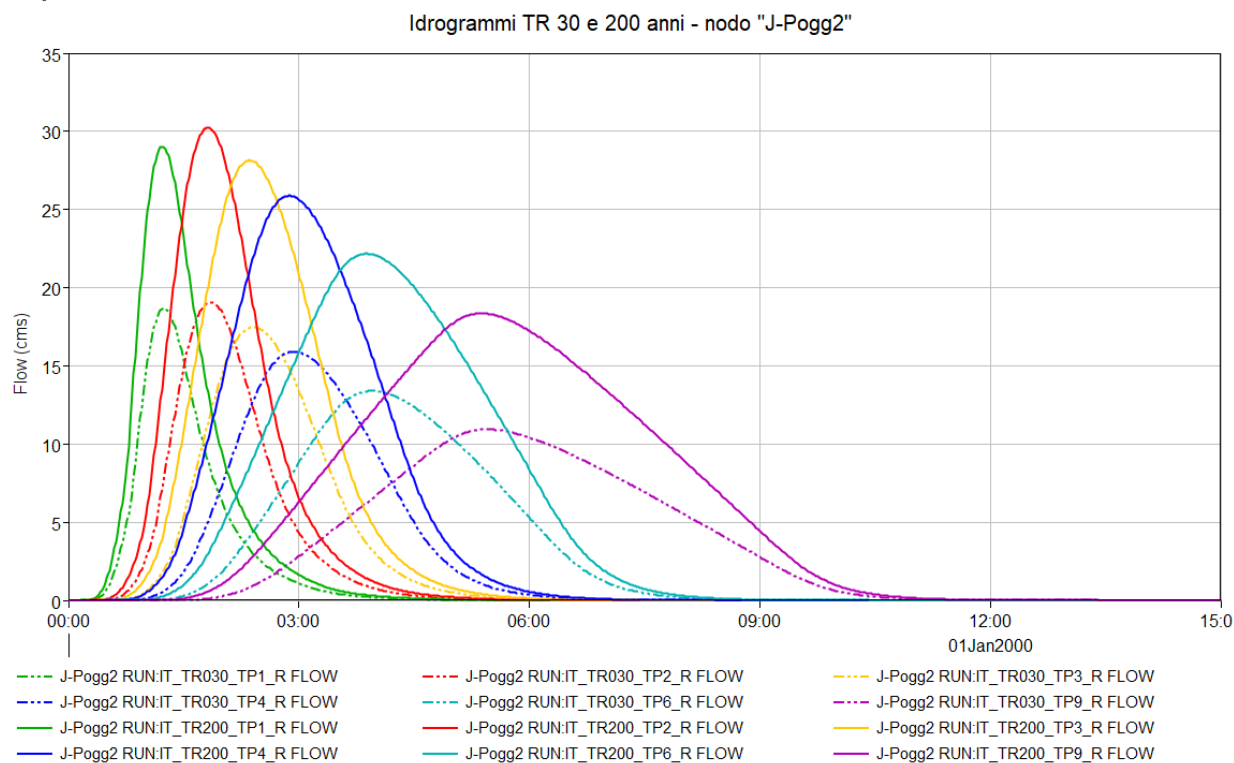


Figura 3.20: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J-Pogg2"

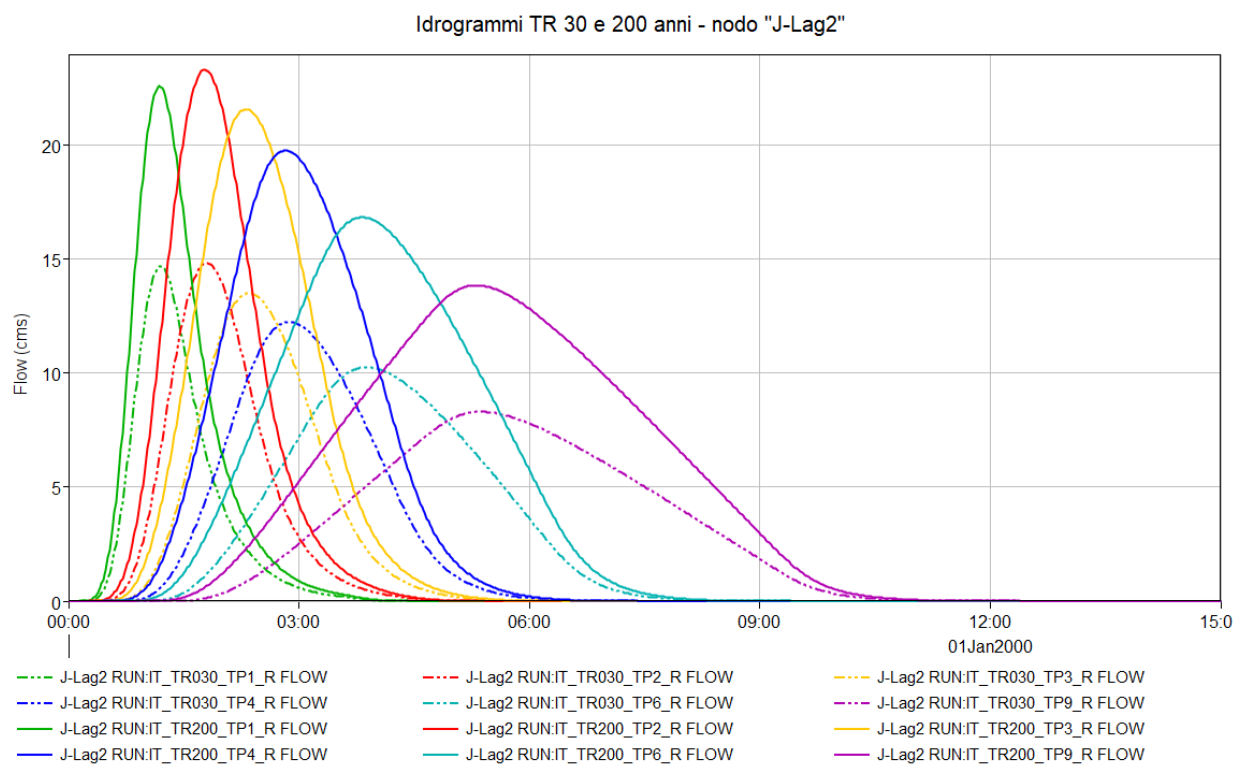


Figura 3.21: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J-Lag2"

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

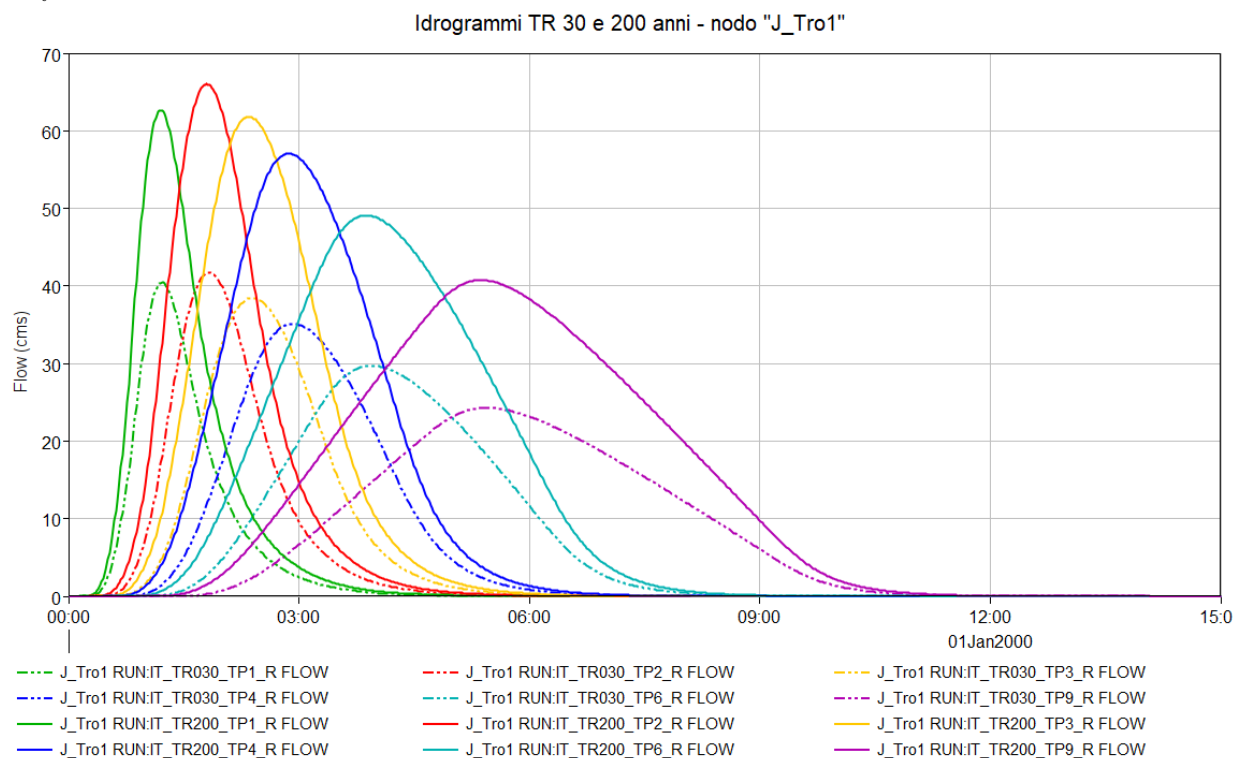


Figura 3.22: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J_Tro1"

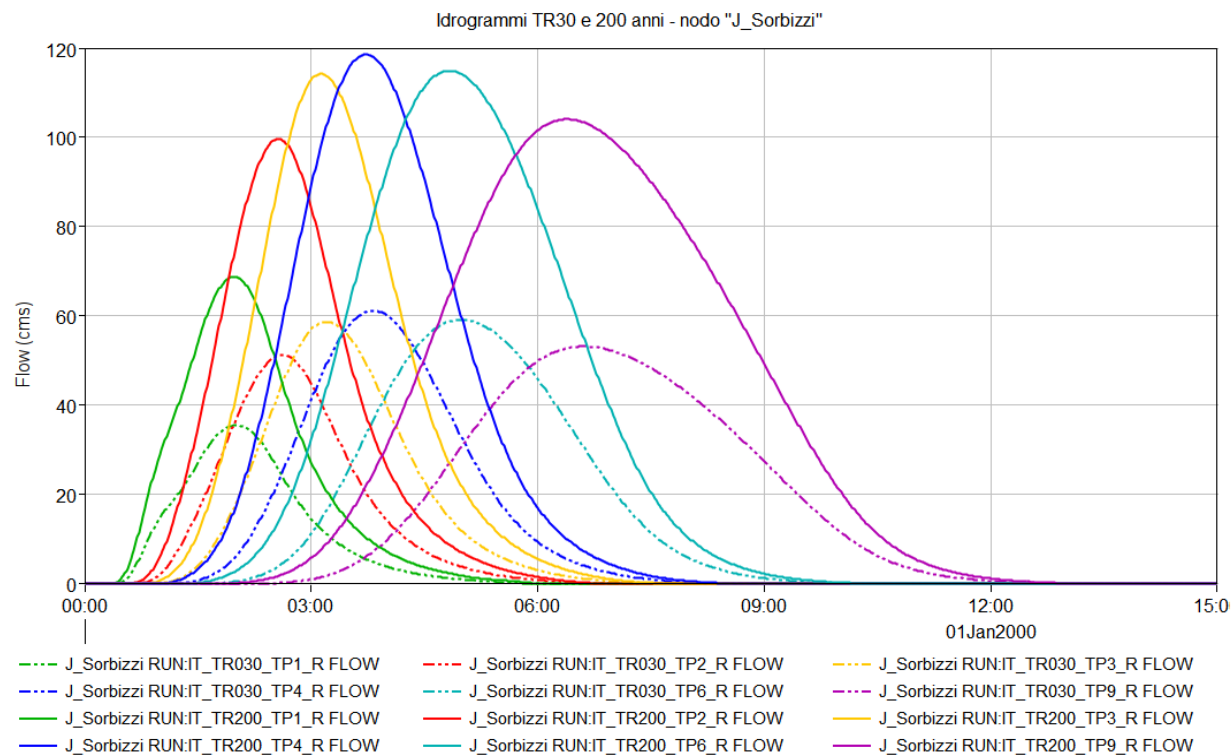


Figura 3.23: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J_Sorbizzi"

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

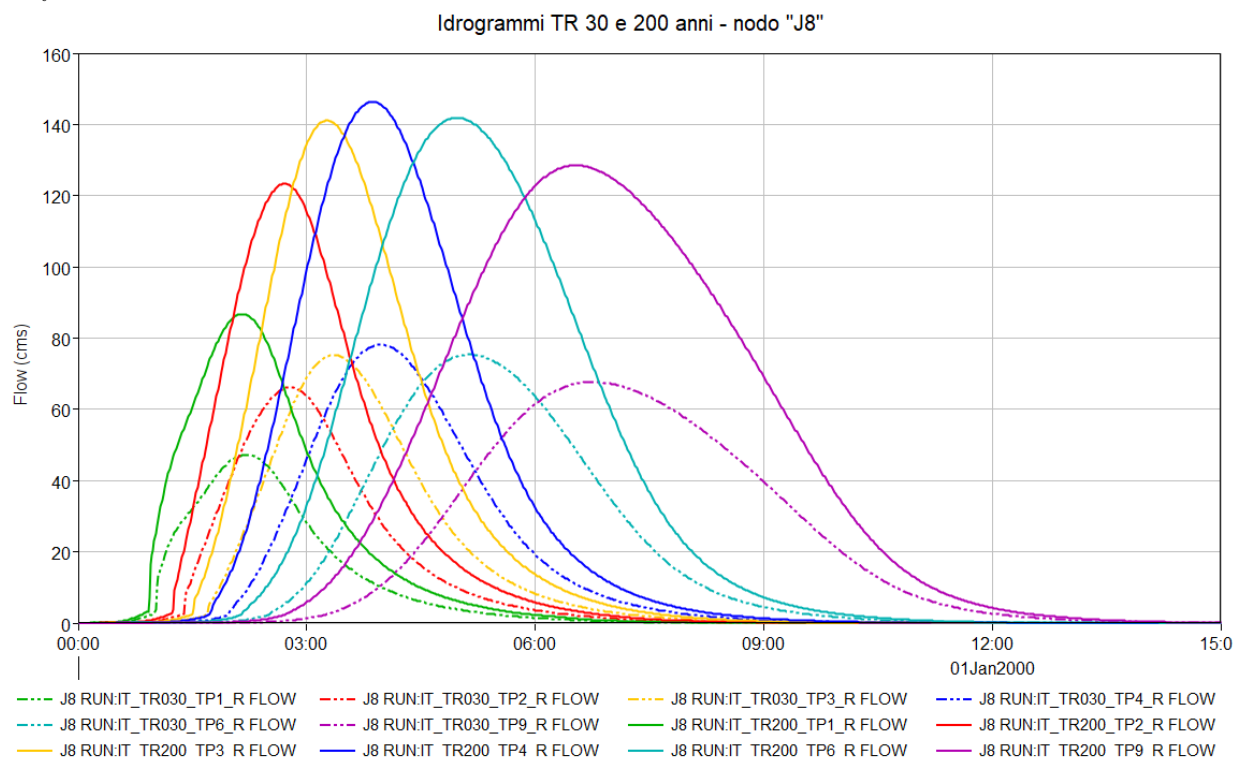


Figura 3.24: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J8"

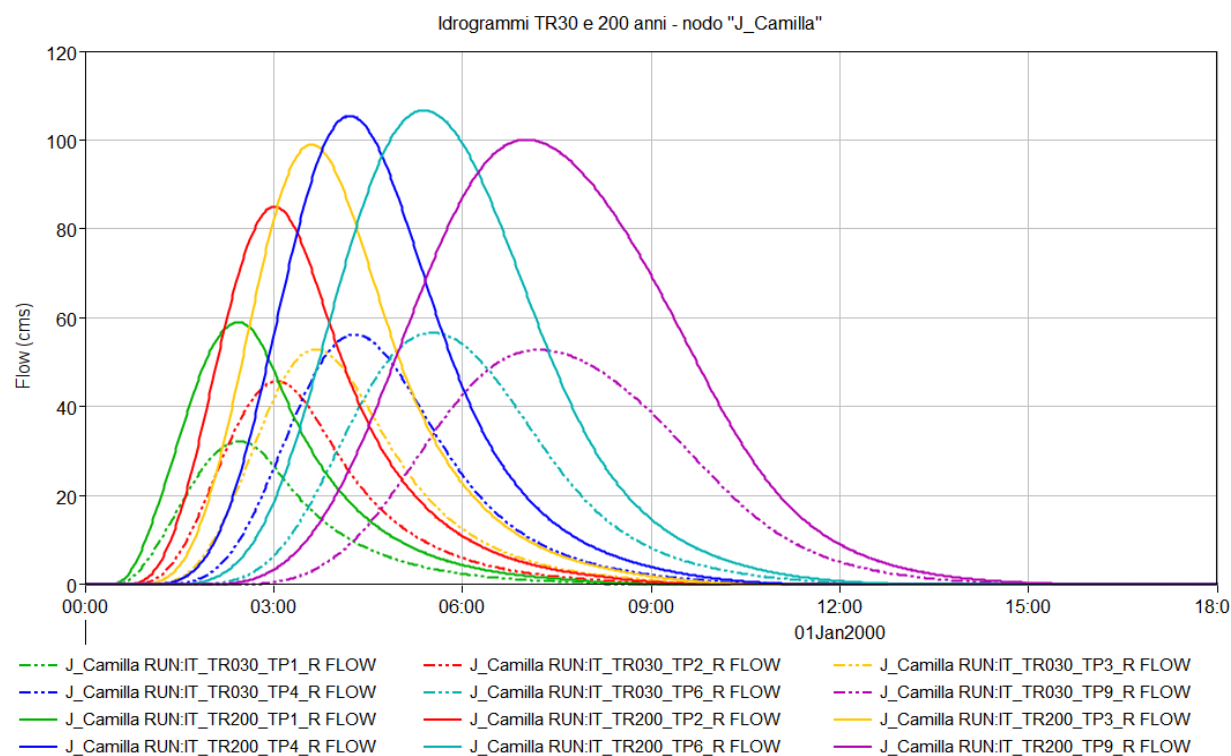


Figura 3.25: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J_Camilla"

PROGETTO:	ELABORATO:
Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona	Relazione idrologico-idraulica

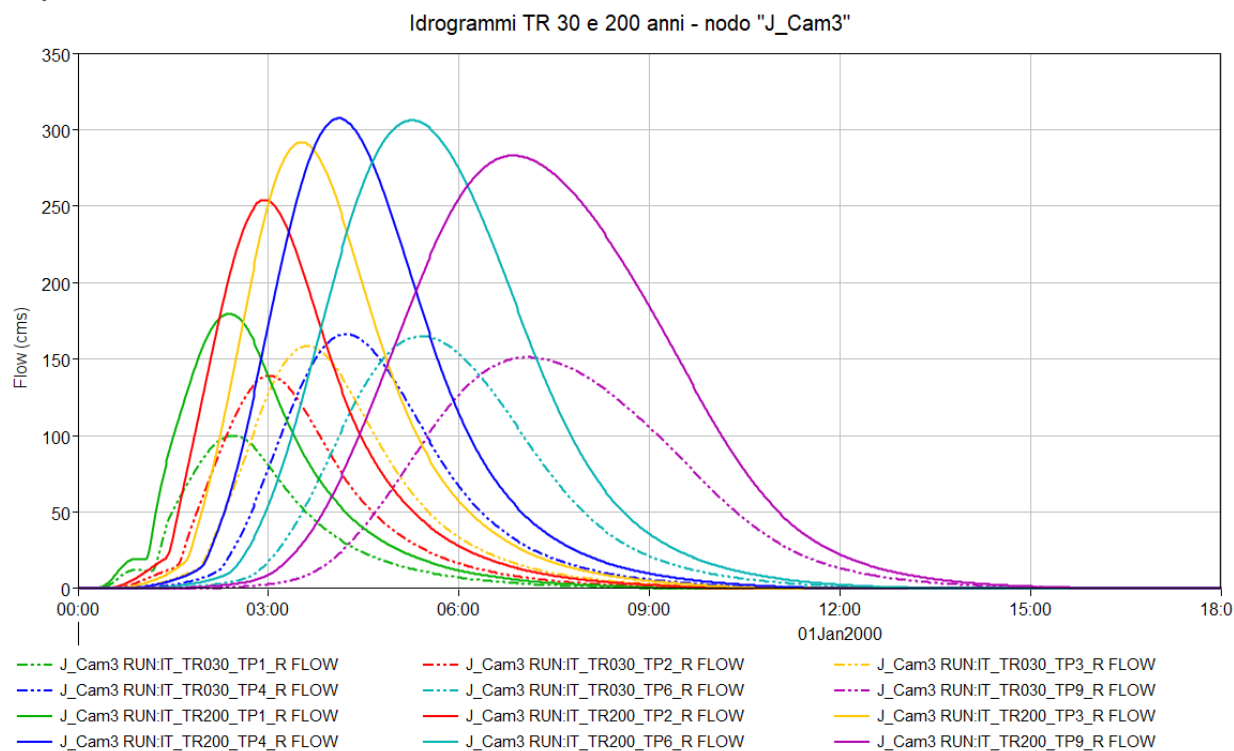


Figura 3.26: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J_Cam3"

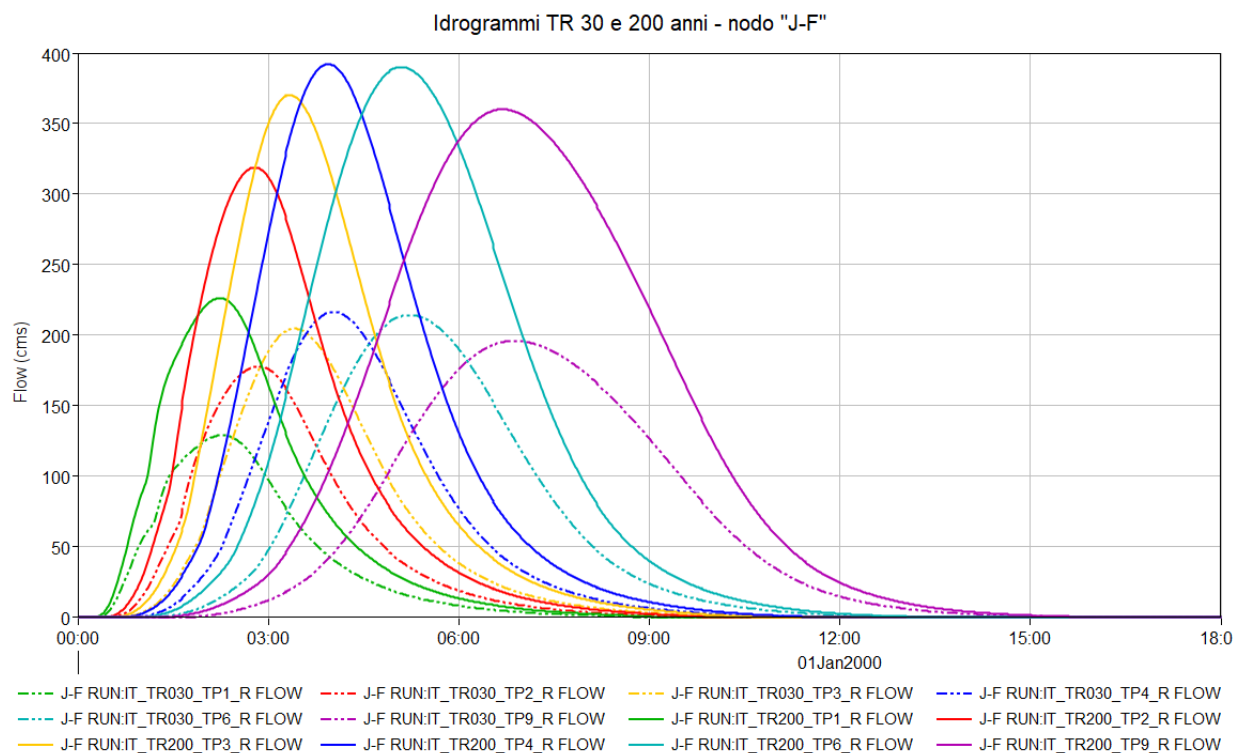


Figura 3.27: Idrogrammi ottenuti in fase di modellazione idrologica per tempi di ritorno 30 e 200 anni per il nodo HMS "J-F"

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

3.8. Valutazione delle portate idrologiche ottenute rispetto agli studi pregressi

Si riporta di seguito una tabella di confronto tra le portate idrologiche ottenute nel presente studio e gli studi idrologico-idraulici di riferimento, redatti per il Comune di Bibbona, a supporto della "Variante quinquennale al Regolamento Urbanistico - Terzo Regolamento Urbanistico" (Novembre 2016).

Si precisa che, in assenza dei dati sulle portate ai nodi "J2" e "J-F" nella relazione di riferimento e in virtù della differente schematizzazione del modello idrologico, si riportano solo le informazioni degli elementi HMS aventi la medesima area drenata.

ID Elemento idrologico HMS	Q presente studio (m³/s)		Q RU 2016 (m³/s)	
	TR = 30 anni	TR = 200 anni	TR = 30 anni	TR = 200 anni
Nodo "J4"	64.94	108.43	58.48	90.07
Nodo "J8"	78.16	146.34	76.44	153.00
Nodo "J_Camilla"	56.71	106.67	55.65	109.64

Tabella 3.17: Confronto tra le portate idrologiche [mc/s] del presente studio e di lavori precedenti

Si riporta inoltre una planimetria in cui vengono indicati in pianta i nodi presi a riferimento per il confronto delle portate con tempi di ritorno trentennali e duecentennali.

Le portate di calcolo sono sostanzialmente coerenti nei due studi in esame.

LEGENDA

- Reticolo idrografico ai sensi della L.R. 79/12
- Sottobacini del modello idrologico HMS
- ★ Elementi idrologici in HMS di confronto tra il presente studio e il Regolamento Urbanistico

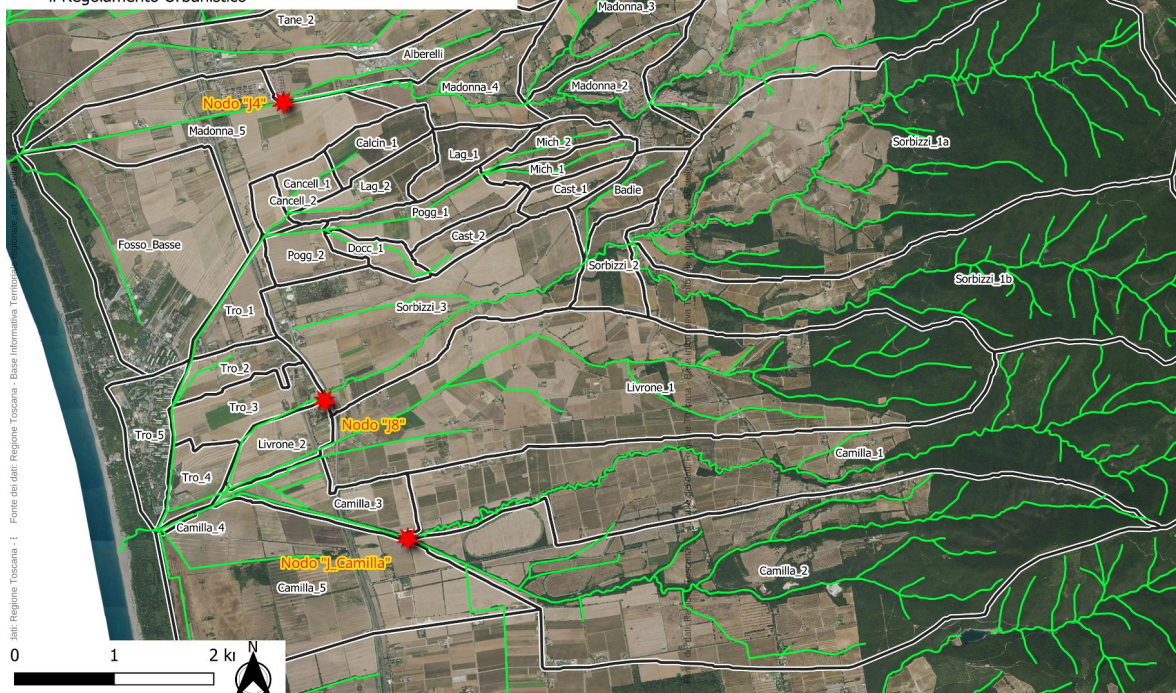


Figura 3.28: Planimetria con indicazione in pianta dei nodi idrologici in cui è stato fatto il confronto delle portate con tempo di ritorno di 30 e 200 anni.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-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 6.6 (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) prodotto 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 condizioni di pericolosità dell'area sono state effettuate più simulazioni, corrispondenti alle durate di pioggia critiche per i corsi d'acqua in esame.

I tratti oggetto di studio si estendono ben oltre le aree di interesse urbanistico, sia per quel che riguarda la modellazione monodimensionale che per quel che riguarda la modellazione bidimensionale, al fine di evitare effetti al contorno e sono quindi da ritenersi idraulicamente significativi.

Sulla base di quanto esposto in premessa nella presente sede si è proceduto con lo studio dei seguenti corsi d'acqua:

- Fosso degli Alberelli
- Fosso Camilla
- Fosso Cancellini
- Fosso del Castellaro
- Fosso delle Basse (TC8071)
- Fosso delle Tane
- Fosso Fonte di Lagone
- Fosso del Livrone
- Fosso della Madonna
- Fosso Michelina (I e II)
- Fosso dei Poggiali
- Fosso Sorbizzi
- Fosso Trogoli

La seguente figura riporta un estratto della planimetria di modellazione idraulica, riportata anche in allegato alla presente relazione.

PROGETTO:

Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona

ELABORATO:

Relazione idrologico-idraulica

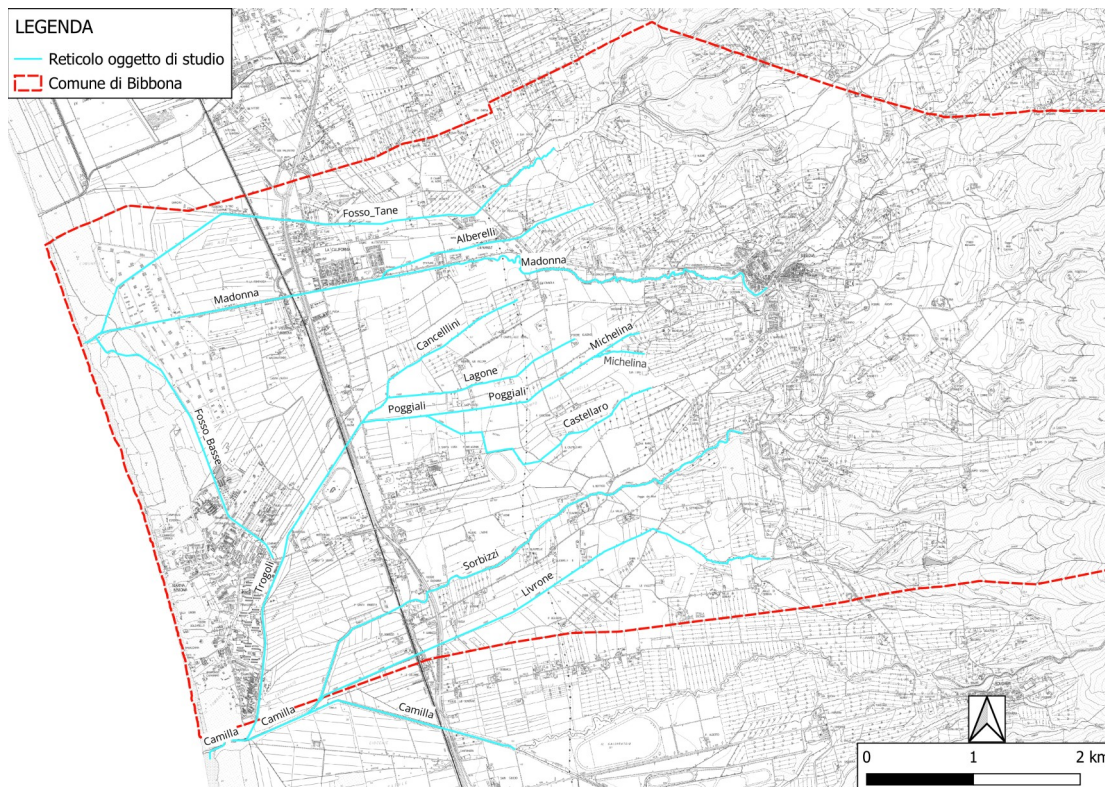


Figura 4.1: Corsi d'acqua oggetto di indagine

4.1. Modelli di calcolo RAS

4.1.1. Modello di calcolo a moto vario monodimensionale

La forma delle equazioni del moto vario (o equazioni di De Saint Venant) utilizzate in HEC-RAS è di seguito riportata.

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:

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

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

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

HEC-RAS utilizza generalmente il modello completo delle equazioni di De Saint Venant. Nelle analisi in moto vario le tecniche di soluzione numerica delle equazioni del moto assumono un'importanza maggiore rispetto alle analisi a moto permanente. La soluzione numerica di tali equazioni in regime di corrente lenta è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto in letteratura come *box scheme*. Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua, e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di N equazioni in N incognite, con N pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo. Il sistema di equazioni lineari viene risolto con metodo iterativo, utilizzando l'algoritmo *skyline*, specificatamente pensato per la soluzione dei problemi di moto vario nelle reti a pelo libero.

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

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

4.1.2. 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.

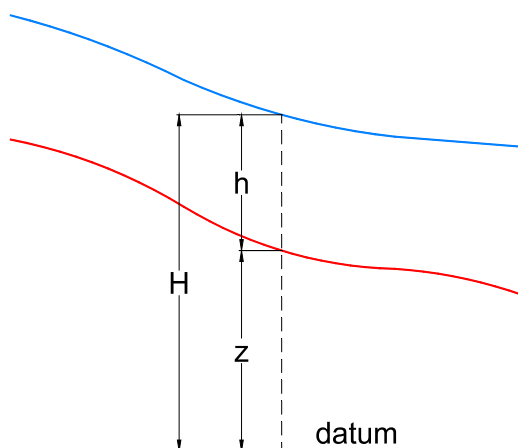


Figura 4.2: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

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

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

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

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

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

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

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 invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

4.2. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

La geometria del modello di calcolo (riportata in allegato) è stata implementata utilizzando i seguenti dati di base:

- sezioni dei corsi d'acqua relative agli studi idrologico-idraulici redatti per il Comune di Bibbona, a supporto della "*Variante quinquennale al Regolamento Urbanistico - Terzo Regolamento Urbanistico*" citati in premessa;
- rilievi forniti dal Consorzio di Bonifica 5 Toscana Costa relativamente al Fosso delle Basse (o del Prato) (TC8071), Fosso Cancellini, Fosso Fonte di Lagone, Fosso dei Poggiali, Fosso del Castellaro (o dei Doccioni), Fosso Trogoli, Fosso Camilla, Fosso Sorbizzi, Fosso del Livrone;
- rilievi integrativi e di verifica diretti condotti da H.S. Ingegneria per il presente studio, relativamente ad alcuni attraversamenti sul Fosso del Castellaro, Fosso dei Poggiali, Fosso degli Alberelli, Fosso della Madonna, Fosso delle Tane, Fosso Fonte di Lagone e alle opere di presa e di sfioro delle casse di espansione esistenti nonché dei tombini ferroviari e della variante Aurelia.

I rilievi dei corsi d'acqua sono stati rapportati altimetricamente al Lidar da volo 2008 e da volo 2021 (dati non collaudati) per le aree non coperte da volo 2008, tramite il rilievo di quote in punti significativi.

Per la definizione della geometria del modello si è operato nel seguente modo:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento alle sezioni di rilievo topografico. L'ubicazione planimetrica delle sezioni di calcolo è riportata in allegato. Per una più corretta definizione della geometria di progetto sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate e ricostruite anche sulla base dei dati LIDAR disponibili.
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR (da volo 2008 e da volo 2021) disponibili per l'area di studio, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed i dati LIDAR. La rete di calcolo bidimensionale interessa le aree esterne all'alveo inciso ed è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in RAS, definendo opportune *breaklines* in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle *lateral structures* da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle strutture laterali è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR.

Le strutture laterali sono state modellate con l'opzione *Normal 2D Equation*.

A livello di geometria di modellazione, i corsi d'acqua oggetto di studio sono stati modellati all'interno di un unico modello RAS; la planimetria di modellazione implementata in RAS è riportata in allegato.

Si precisa che nell'area di studio negli anni passati sono state realizzate tre casse di espansione, sul Fosso delle Tane, sul Fosso dei Sorbizzi e sul Fosso della Madonna. Quest'ultima, è oggi in fase di ampliamento sulla base di un progetto redatto a cura del Consorzio di Bonifica Toscana 5. Ad oggi non sono stati completati i lavori previsti. Si è proceduto quindi con una modellazione della stessa in RAS facendo riferimento alla configurazione di stato attuale, desunta

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

dai dati forniti dallo stesso Consorzio di Bonifica. Per le altre due casse si è potuto procedere invece con rilievi ad hoc realizzati dalla scrivente H.S. Ingegneria ai fini della definizione delle caratteristiche geometriche delle suddette casse (in particolare relativamente alle opere di presa e agli sfioratori di sicurezza) all'interno del modello idraulico implementato in RAS.

4.3. 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, variabili tra 0.45 ed 1.

4.4. 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, 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.

4.5. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n . Per tutti i corsi d'acqua in questione si è utilizzato un valore del numero di Manning pari a 0.040.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione pari a 0.1/0.3 per le sezioni correnti e variabili tra 0.3/0.5 e 0.5/0.7 in presenza di discontinuità (tipicamente attraversamenti), a seconda delle caratteristiche di variazione della sezione.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la Tabella 4.1 di corrispondenza (ripresa da R. Pestana et al., 2013, *Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river*, ESA Living Planet Symposium 2013):

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

Code	Designation	n
111	Continuos 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-irigated arable land	0.043
212	Permanently irigated 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 4.1: Valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R.Pestana et al., 2014).

Di seguito si riporta una planimetria con la scabrezza relativa al dominio bidimensionale di calcolo.

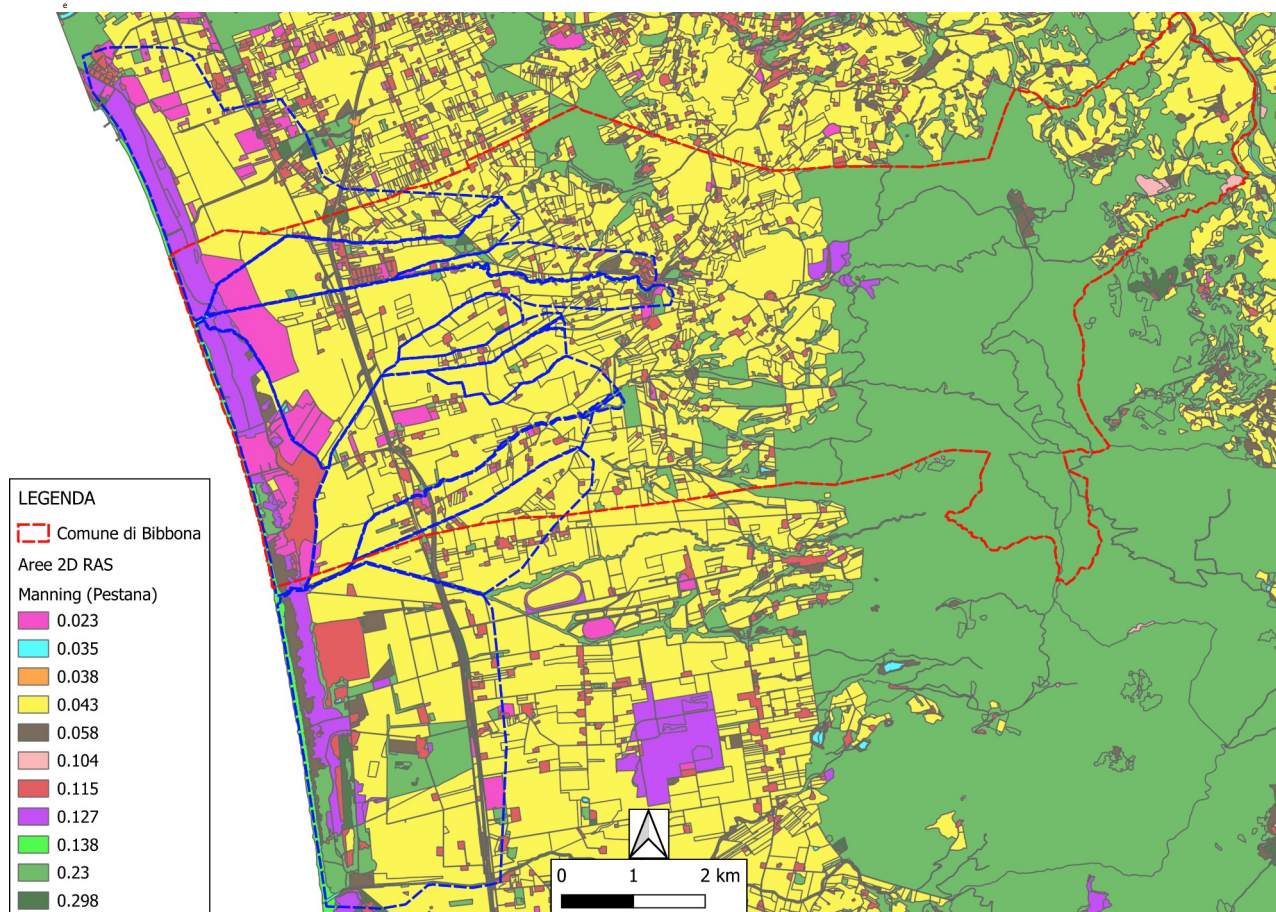


Figura 4.3: Scabrezza aree 2D (in rosso il perimetro del Comune di Bibbona)

4.6. Condizioni al contorno e idrogrammi di piena

Gli scenari simulati hanno tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni. Le condizioni al contorno di monte sono date dagli idrogrammi determinati in sede di analisi idrologica e precedentemente riportati. Per i tratti corrispondenti agli interbacini tali idrogrammi sono stati inseriti nella modellazione idraulica come deflusso distribuito.

Come condizione al contorno di valle si è adottata l'opzione Stage Hydrograph, assumendo per lo sbocco a mare una quota del pelo libero costante e pari a 0.7 m.s.m., in coerenza con gli studi pregressi citati. Da notare comunque che per i tempi di ritorno delle piene di interesse l'effetto della condizione di sbocco a mare risulta poco significativo.

In corrispondenza dei bordi di uscita delle aree 2D sono state assegnate (dove significative) condizioni al contorno di sbocco libero, con scala di deflusso a moto uniforme e pendenza motrice pari al valor medio della pendenza sul piano campagna in corrispondenza della linea di chiusura.

4.7. Scenari simulati

Le simulazioni effettuate sono individuate da un codice simile a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma *IT_TRxxx_TPyxyz*, dove *IT* sta ad indicare che

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

si sono impiegati ietogrammi triangolari, *TR* indica il tempo di ritorno *xxx* in anni e *TP* la durata di pioggia *yyy* espressa in ore.

Per ogni scenario di simulazione è stato implementato un diverso *Plan* su RAS. Si sono simulati eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni. Le durate di pioggia prese in esame sono quelle critiche per ciascun corso d'acqua oggetto di studio; in particolare si sono simulate durate di pioggia pari a 1,2,3,4,6 e 9 ore.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

5. ANALISI DEI RISULTATI

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.

Le classi di pericolosità idraulica sono state assegnate in funzione delle planimetrie di allagamento atteso per i vari tempi di ritorno considerati nell'analisi idraulica, tramite operazioni di regolarizzazione delle aree di esondazione trovate da modellazione, con l'utilizzo di appositi algoritmi gis e con finiture manuali.

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.

Si precisa infine che i modelli idrologici ed idraulici redatti hanno finalità di definizione del quadro di pericolosità idraulica alla scala di bacino o di sottobacino idrografico. L'estrapolazione dei risultati dei modelli alla scala di dettaglio per finalità edilizie è sempre da effettuarsi con cautela, prevedendo, a seconda dei casi, ulteriori valutazioni sulla vulnerabilità dei singoli manufatti oggetto di intervento e/o l'adozione di opportuni margini di sicurezza.

<i>PROGETTO:</i>	<i>ELABORATO:</i>
<i>Studio idrologico-idraulico a supporto del Piano Operativo del Comune di Bibbona</i>	<i>Relazione idrologico-idraulica</i>

6. ALLEGATI

Si riportano con allegato a parte i risultati delle simulazioni eseguite in termini di:

1. Planimetria di modellazione;
2. Profili 1D Tr30 e Tr200;
3. Sezioni di calcolo RAS;
4. Tabelle numeriche.