



Comune di
Crespina Lorenzana
Provincia di Pisa

NUOVO PIANO STRUTTURALE

Comune di Crespina Lorenzana

Comune di Crespina Lorenzana

Quadro degli aspetti idraulici (QG)
Relazione idrologica e idraulica

QG.
IV.1

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

Indice generale

1. PREMESSA.....	2
2. CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO.....	3
3. RELAZIONE IDROLOGICA.....	4
3.1. <i>Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici.....</i>	5
3.2. Definizione degli afflussi: curva di possibilità pluviometrica.....	7
3.3. Definizione degli afflussi: ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio.....	12
3.4. Le perdite di bacino: il metodo CN.....	13
3.5. Trasformazione afflussi netti – deflussi.....	17
3.5.1. L'idrogramma SCS.....	17
3.5.2. Metodo IUH di Clark.....	19
3.6. <i>Propagazione dei deflussi.....</i>	20
3.7. <i>Risultati della modellazione idrologica: portate massime e idrogrammi di piena.....</i>	21
4. RELAZIONE IDRAULICA.....	32
4.1. Modello di calcolo a moto vario monodimensionale.....	32
4.1. Modello di calcolo a moto vario bidimensionale.....	33
4.2. Caratteristiche geometriche del modello idraulico.....	35
4.3. Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata.....	36
4.4. Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena.....	37
4.5. Scenari simulati.....	38
5. ANALISI DEI RISULTATI.....	40
6. ALLEGATI.....	41

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	1 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

1. PREMESSA

La presente indagine idrologica ed idraulica è redatta ai fini dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI).

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 dell'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale.

L'area di indagine è quella relativa al territorio dell'ex Comune di Crespina. Per il territorio dell'ex Comune di Lorenzana sono stati ripresi i risultati già disponibili nell'ambito degli studi già condotti da H.S. Ingegneria a supporto della *“Variante al Piano Strutturale ed al Regolamento Urbanistico del territorio di Lorenzana, con contestuale variante parziale al Piano Strutturale ed al Regolamento Urbanistico del territorio di Crespina, 2018”*. In particolare la magnitudo idraulica è stata definita sulla base delle griglie di altezze di esondazione e velocità già ricavate nell'ambito dei suddetti studi.

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

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	2 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

2. CORSI D'ACQUA OGGETTO DI STUDIO

I corsi d'acqua oggetto di studio sono i seguenti (Figura 1):

- Torrente Orcina;
- Torrente Crespina;
- Rio di Campo Cosimo ;
- Fosso Crespinella (codice BV10269);
- Torrente Isola.

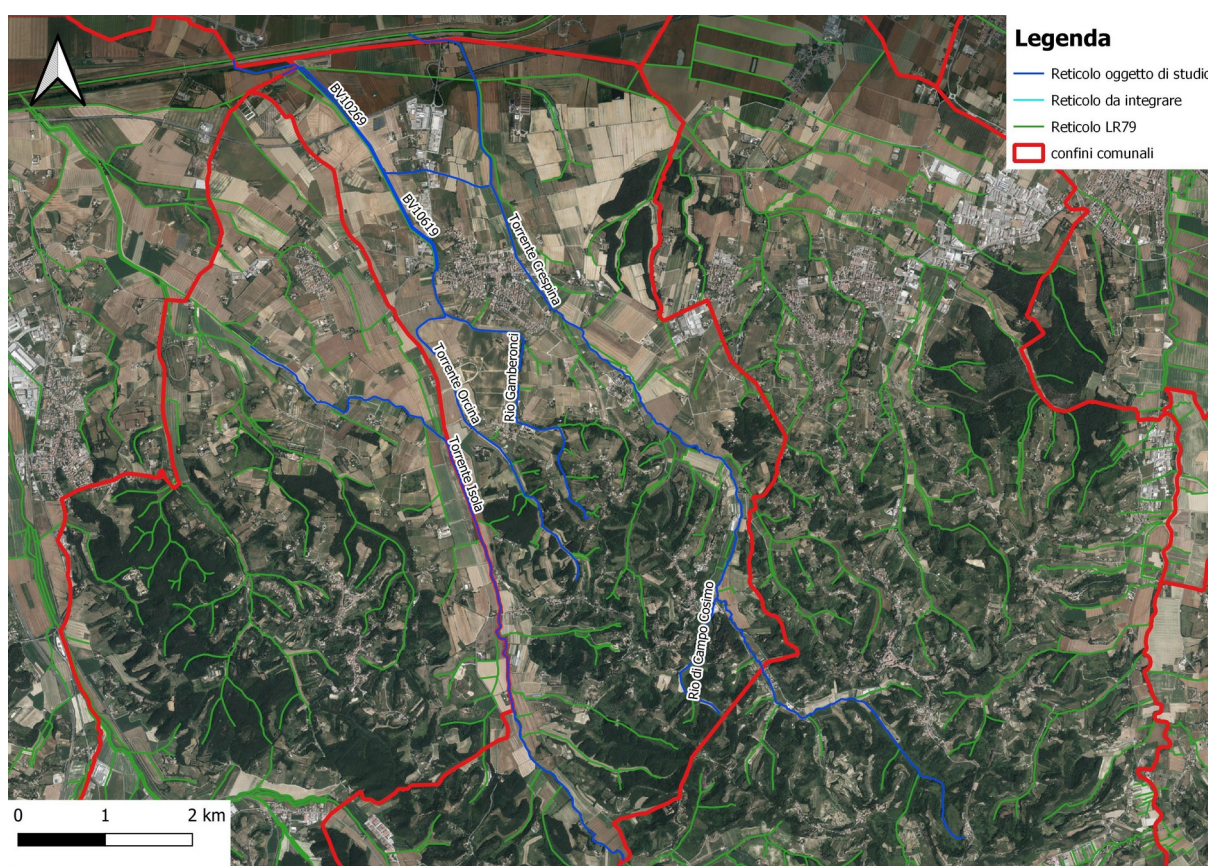


Figura 1: Corsi d'acqua oggetto di studio

Si precisa che per il torrente Isola si sono ripresi gli studi idrologico-idraulici già redatti nell'ambito della "Revisione della pericolosità idraulica dell'ambito produttivo commerciale di Valtriano. Studio idrologico-idraulico del margine Nord-Occidentale del Comune di Fauglia", Comune di Fauglia, Luglio 2020. Tali studi sono a loro volta coerenti con le valutazioni idrauliche fatte a supporto degli strumenti urbanistici del Comune di Collesalveti.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	3 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

3. RELAZIONE IDROLOGICA

La modellazione idrologica è stata effettuata tramite il software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System), prodotto dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito americano (USACE – United States Army Corps of Engineers).



Figura 2: Planimetria modello HMS.

Sono state determinate le portate di piena e gli idrogrammi di massima piena per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni, con tempo di pioggia pari a 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 12 ore. La Figura 2 riporta la planimetria del modello di bacino implementato su HMS relativamente ai torrenti Crespina, Orcina ed affluenti.

La Figura 3 riporta il modello HMS implementato per il torrente Isola.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	4 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica



Figura 3: Modello HMS per il Comune di Fauglia

Nello specifico, di quest'ultimo modello ci interesseranno i risultati relativi al bacino dell'Isola, del torrente Borro e del botro Ecina.

3.1. Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici

I bacini idrografici in esame sono stati ricavati sulla base delle elaborazioni condotte sui dati del DTM 10x10m e del Lidar della Regione Toscana tramite il software QGIS, provvedendo ad eventuali modifiche sulla base di mirati sopralluoghi sul posto e della diversa cartografia disponibile.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	5 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

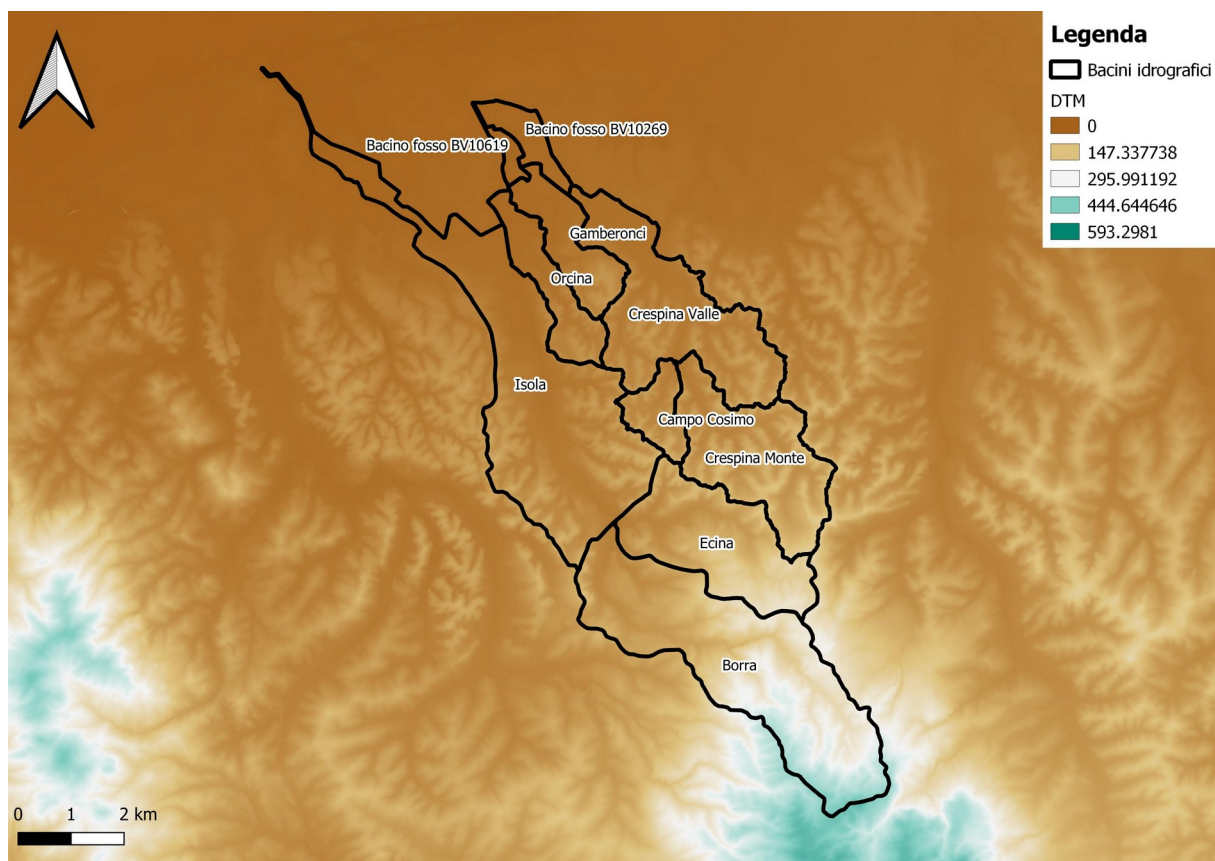


Figura 4: Inquadramento dell'area di studio su base DTM.

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei bacini di studio, desunte sulla base dei dati DTM 10x10m della Regione Toscana, dove si ha:

- A area del bacino,
- Z_{max} quota massima del bacino,
- Z_0 quota del bacino alla sezione di chiusura,
- i_b pendenza media di bacino,
- L_{max} lunghezza del massimo percorso idraulico,
- i_a pendenza media dell'asta principale,
- A_b percentuale dell'area boscata del bacino.

Bacino	A [kmq]	Z_{max} [m s.l.m.]	Z_0 [m s.l.m.]	i_b [m/m]	L_{max} [km]	i_a [m/m]	A_b [%]
Orcina	2.367	90.31	13.21	0.086	4.768	0.006	32.91
BV10269	1.107	23.89	7.32	0.008	2.302	0.004	0.000
BV10619	0.392	20.47	7.32	0.015	1.368	0.005	0.000
Campo Cosimo	1.407	140.00	39.62	0.228	2.385	0.042	48.33

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	6 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

<i>Crespina Monte</i>	5.841	208.31	39.62	0.245	4.887	0.096	32.75
<i>Crespina Valle</i>	7.302	140.00	20.84	0.150	4.577	0.004	19.95
<i>Isola</i>	13.115	127.402	2.17	0.127	11.863	0.016	25.34
<i>Ecina</i>	5.858	253.927	40.14	0.195	7.695	0.055	24.61
<i>Borra</i>	11.826	473.114	40.14	0.231	4.363	0.075	44.12
<i>Gamberonci</i>	2.517	90.00	13.21	0.080	2.997	0.002	10.37

Tabella 1: Parametri geomorfologici dei bacini in studio.

3.2. Definizione degli afflussi: curva di possibilità pluviometrica

Per la stima delle piogge intense è stato utilizzato il 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, basate 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:

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

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

Per la stima dei parametri della distribuzione è stato seguito un approccio gerarchico di regionalizzazione (Figura 3).

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	7 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

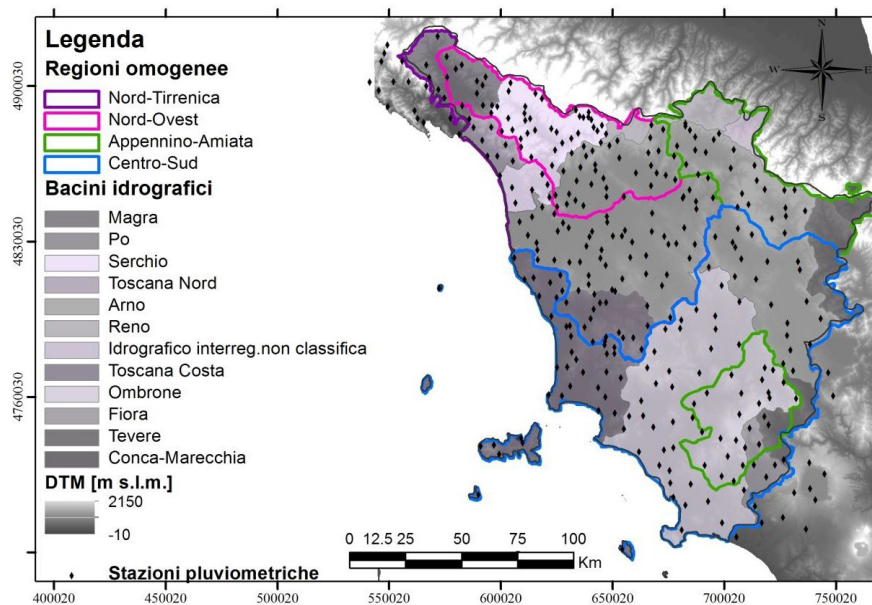


Figura 5: suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500. Successivamente 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, 500. I parametri a ed n forniti sono in formato raster, risoluzione 1kmx1km.

Le curve pluviometriche di tempo di ritorno trentennale e duecentennale per i bacini di Crespina, Orcina ed affluenti hanno le seguenti espressioni:

$$h_{30} = 59.902 t^{0.255}$$

$$h_{200} = 83.359 t^{0.281}$$

Per il bacino dell'Isola si hanno invece le seguenti curve:

$$h_{30} = 60.493 t^{0.256}$$

$$h_{200} = 84.182 t^{0.282}$$

Tali valori sono stati ricavati a partire dalle griglie relative all'area di interesse e ai sopracitati tempi di ritorno elaborate dalla Regione Toscana (Figure 5, 6, 7, 8).

Sono state prese in esame piogge di durata pari a 1, 2, 3, 4, 6, 8 e 12 ore.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	8 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

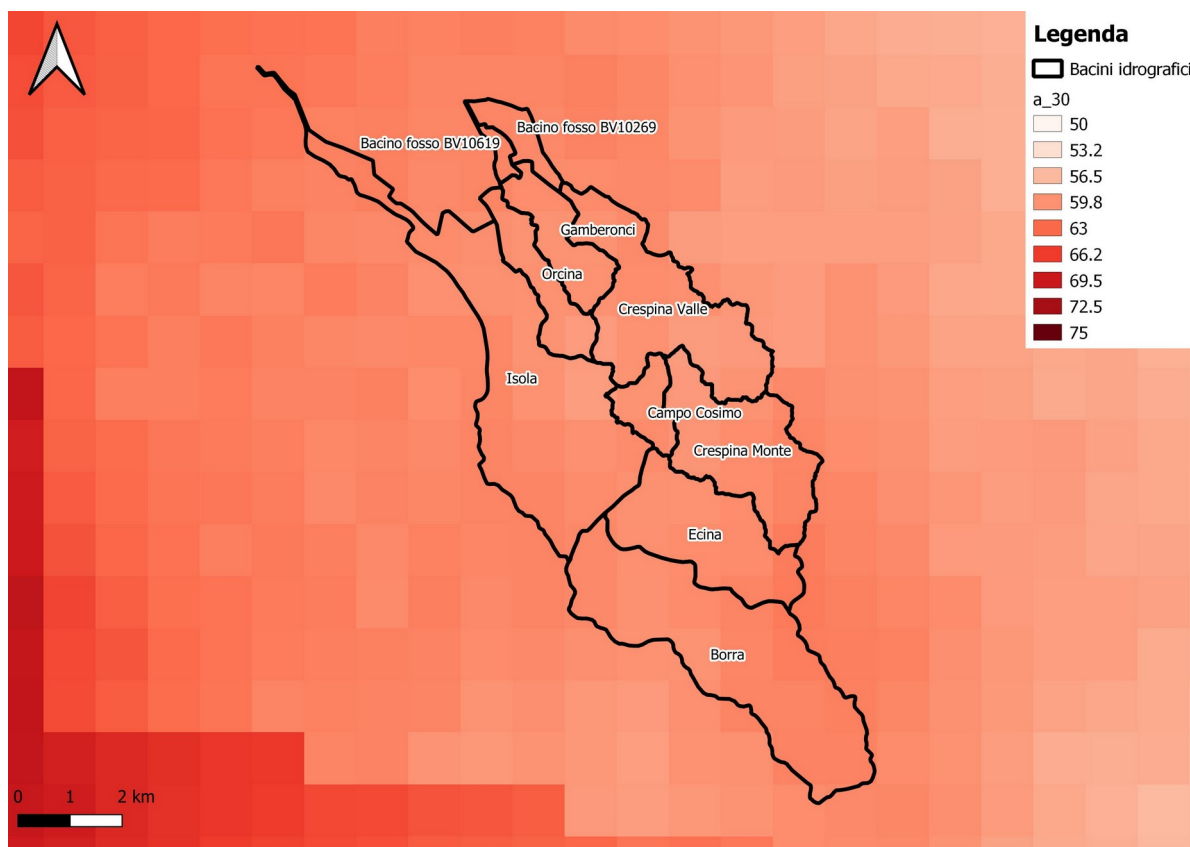


Figura 6: Parametro a per $Tr=30$ anni.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	9 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

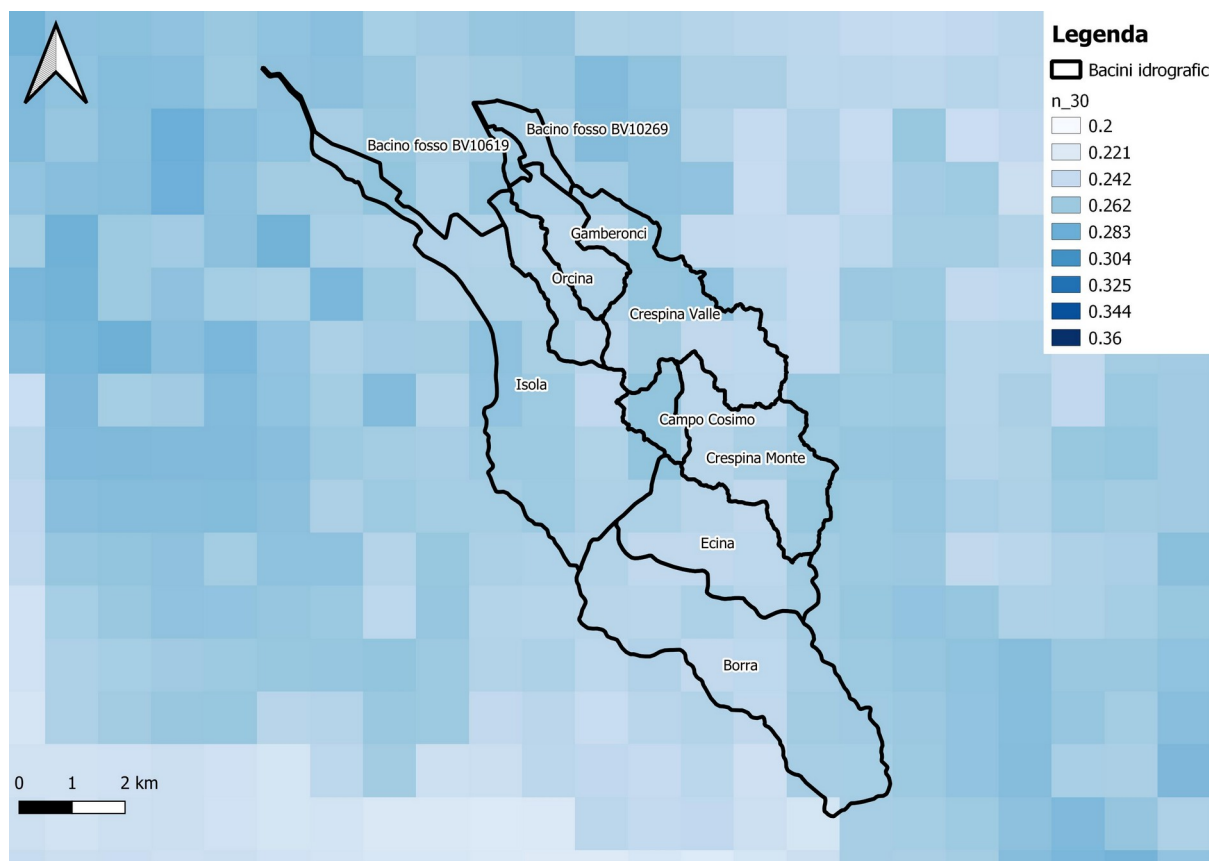


Figura 7: Parametro n per $Tr=30$ anni.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	10 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

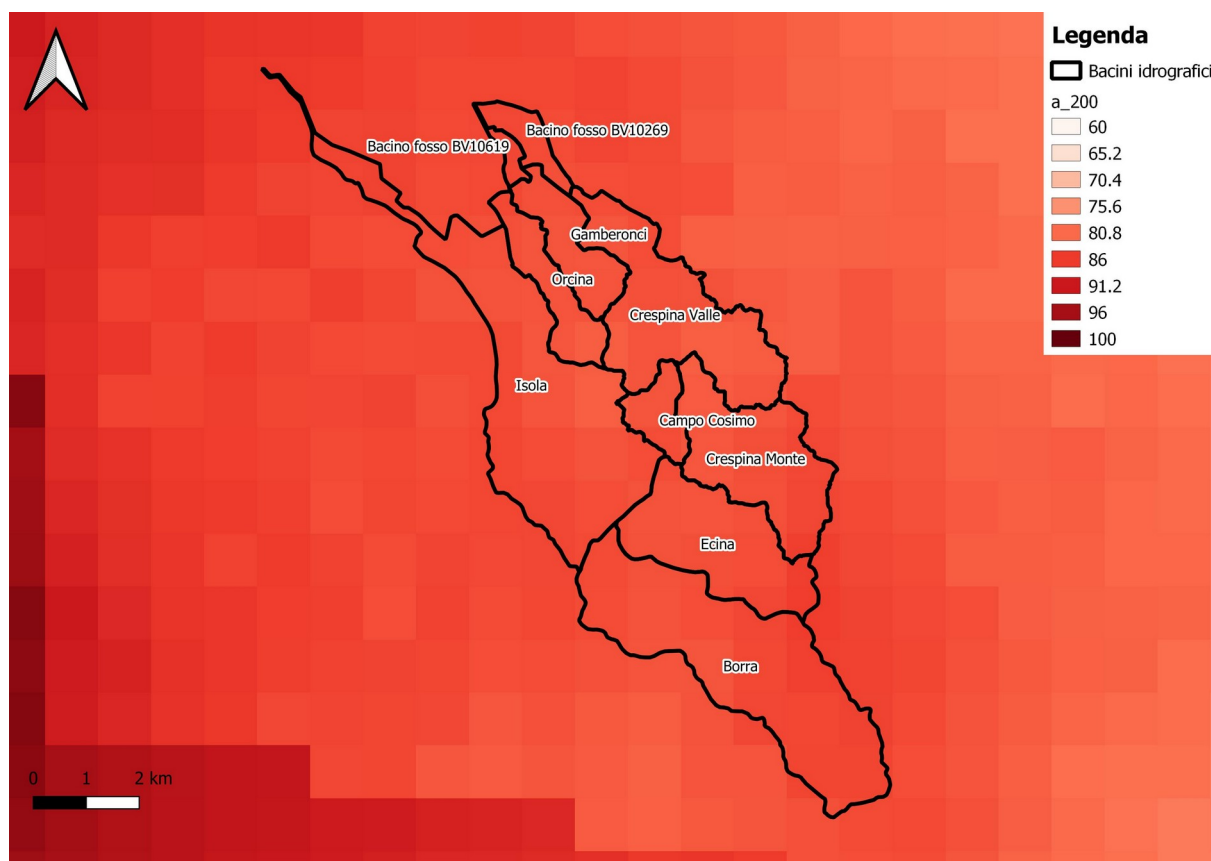


Figura 8: Parametro a per $Tr=200$ anni.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	11 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

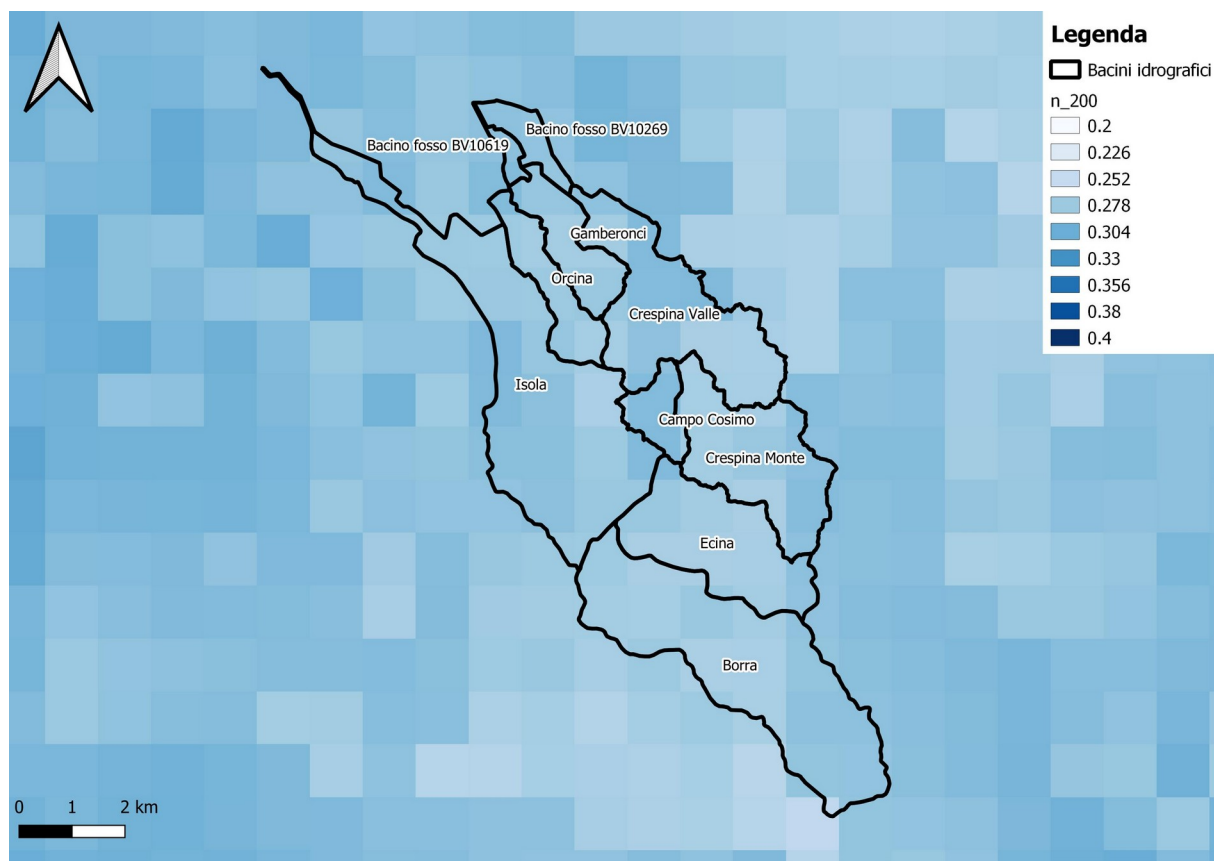


Figura 9: Parametro n per $Tr=200$ anni.

3.3. Definizione degli afflussi: ietogramma di progetto e fattore di ragguglio

Per le simulazioni idrologiche eseguite si è fatto riferimento ad uno ietogramma triangolare con picco di intensità posto al 50% della durata dell'evento di precipitazione ($r = 0.5$).

Considerata la ridotta dimensione dei bacini in esame, non si è cautelativamente effettuato il ragguglio delle piogge all'area, ovvero è stato considerato un fattore di riduzione areale (ARF) unitario.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	12 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

3.4. Le perdite di bacino: il metodo CN

Per la valutazione delle perdite di bacino è stato utilizzato il metodo Curve Number (CN), elaborato dal Soil Conservation Service (SCS). Nella stima dei dati di perdita si è fatto riferimento ai dati più aggiornati disponibili sul sito della Regione Toscana.

Per l'assegnazione del parametro CN è necessario conoscere i dati relativi al gruppo idrologico dei suoli ricadenti nell'area di analisi, le condizioni di umidità del suolo, l'uso e copertura del suolo.

Per quanto riguarda le informazioni sul gruppo idrologico dei suoli, si è fatto riferimento a quanto presente nel DB Pedologico¹ della Regione Toscana, il quale identifica quattro gruppi idrologici: A, B, C, D. La distribuzione spaziale di tali gruppi è rappresentata in Figura 10.

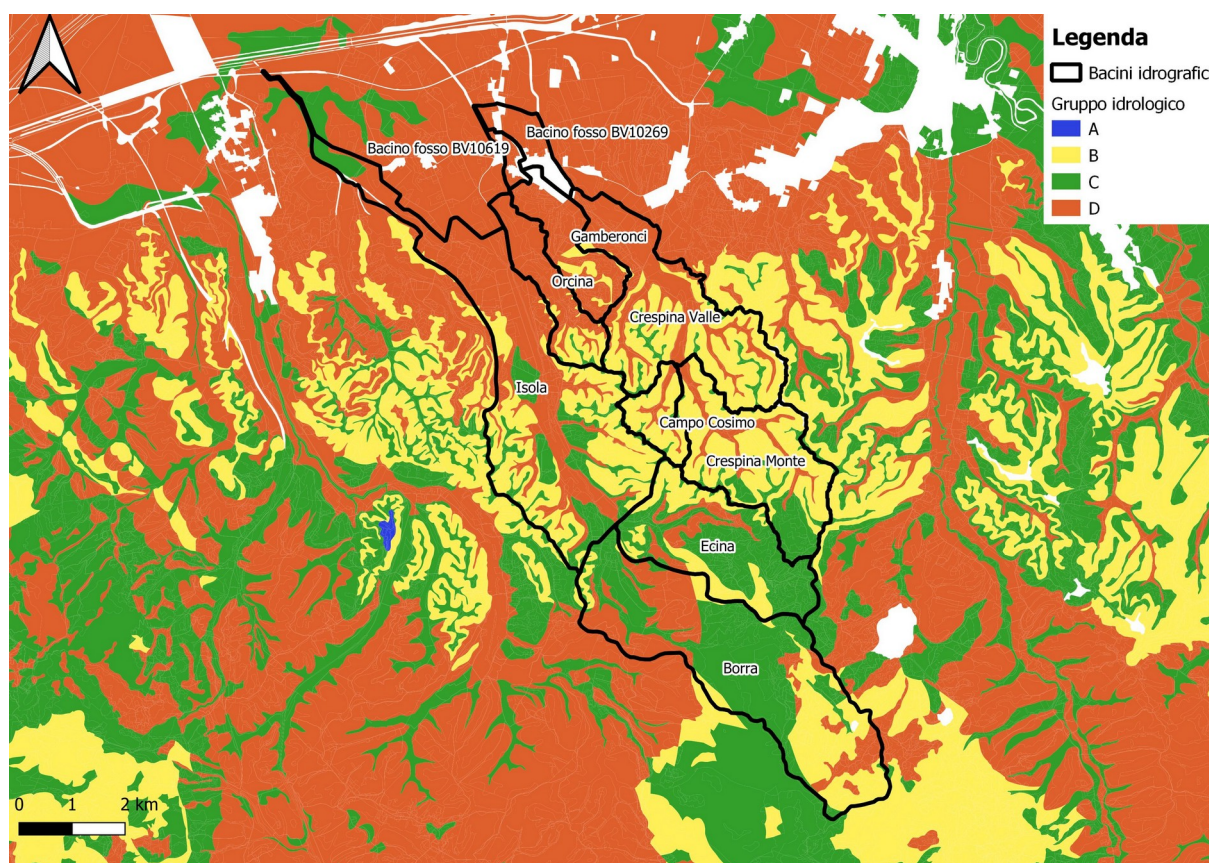


Figura 10: Distribuzione dei gruppi idrologici per l'area di studio.

I dati relativi all'uso e copertura del suolo sono stati ricavati dal database UCS 2007-2016² della Regione Toscana. La distribuzione spaziale d'uso e copertura del suolo dell'area in esame è rappresentato in Figura 11.

1 DBPedologico_Regione_Toscana\DBPedologico_Regione_Toscana\dbpedologico_rt.qgs

2 USO_E_COPERTURA_DEL_SUOLO_REGIONE_TOSCANA\ucs2016_shapefile\SHP\UCS_07_16.shp

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	13 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

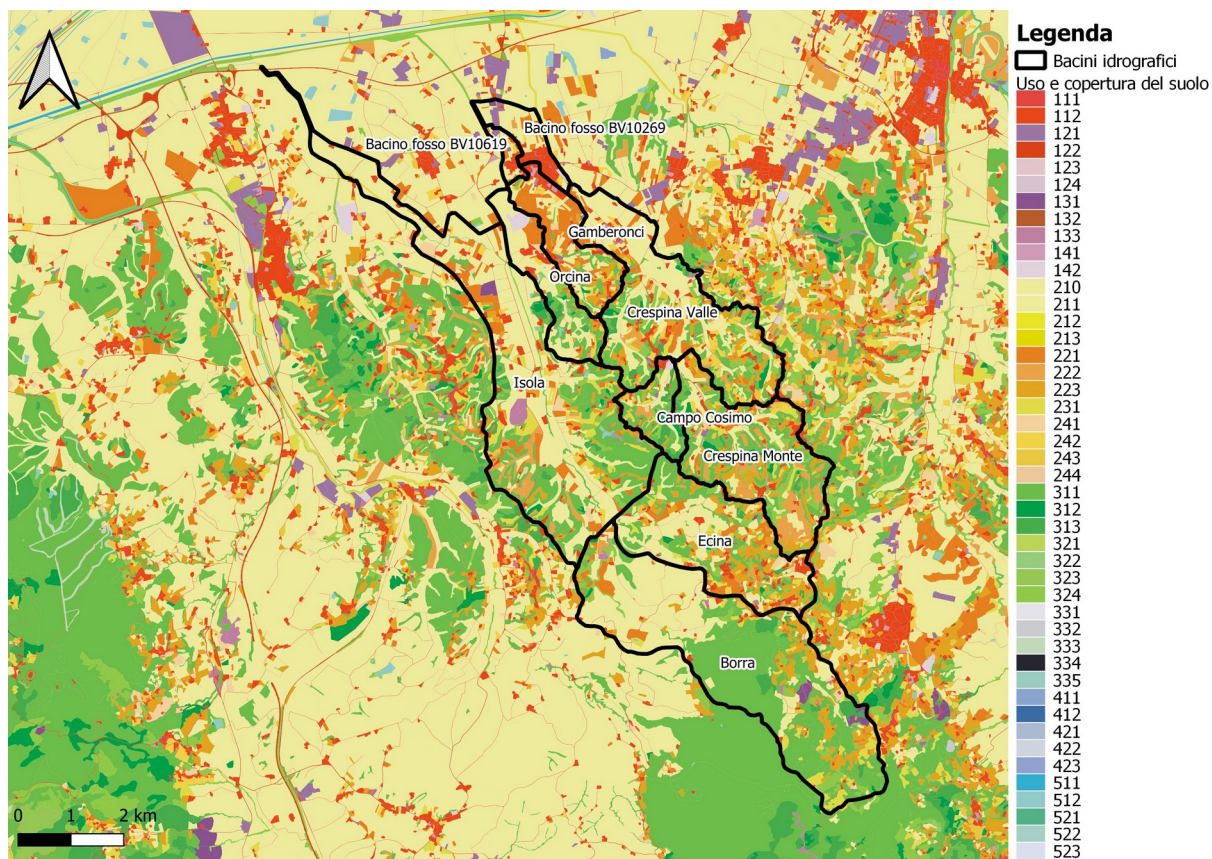


Figura 11: Distribuzione dell'uso e copertura del suolo per l'area di studio.

	Valori Regione Toscana				Valori <u>USDA</u>			
	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 misti di latifoglie e conifere (313)	36	60	73	79	36	48	57	63

Tabella 2: 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*.

Per l'assegnazione del parametro CN 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). È stata tuttavia effettuata una correzione a tale tabella in merito ad i valori assegnati alle aree boscate

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	14 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

(codici Corine 311, 312 e 313) sulla base delle indicazioni 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*), come indicato nella Tabella 2. La distribuzione spaziale del parametro CN è rappresentata in Figura 12.

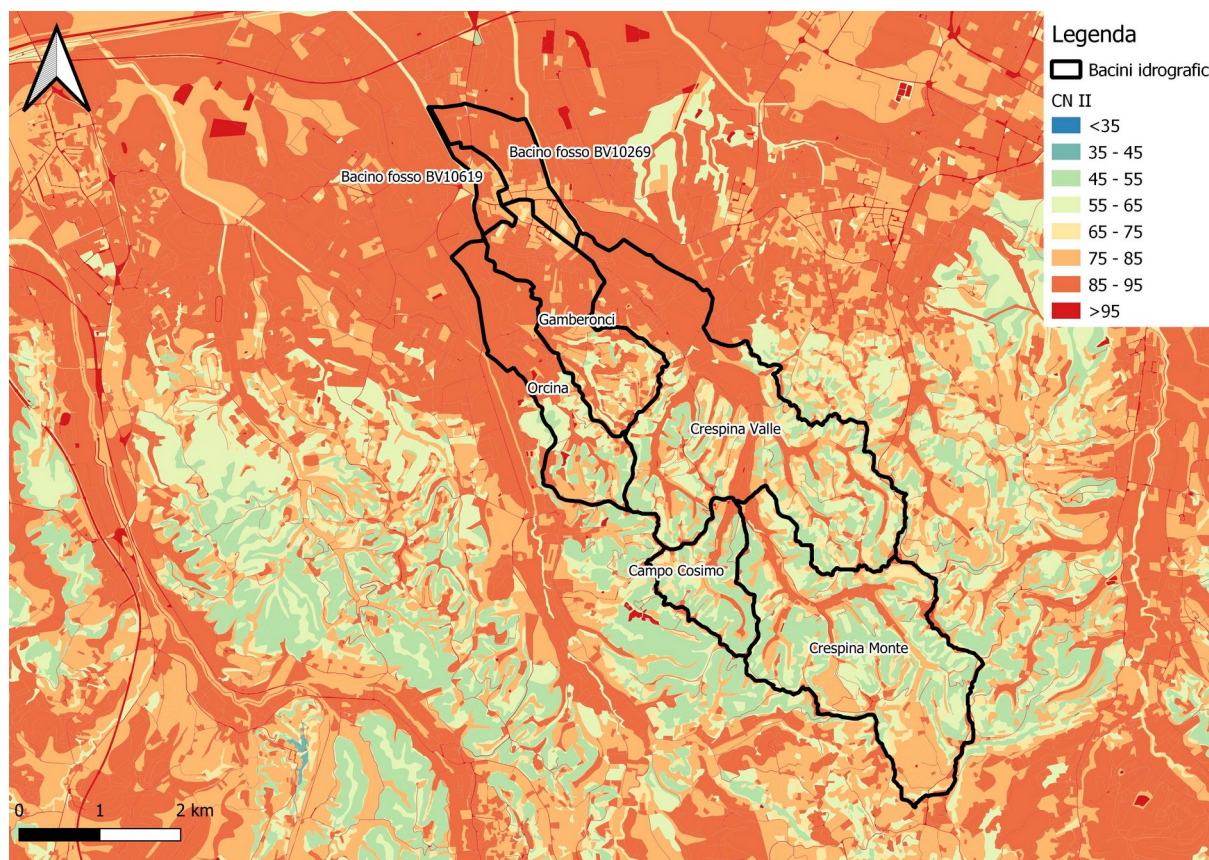


Figura 12: Distribuzione del parametro CN II per l'area di studio.

I dati sull'umidità del suolo, e quindi le condizioni di saturazione di quest'ultimo, sono fondamentali per la corretta determinazione della risposta del bacino ad una precipitazione. Sulla base dell'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti all'evento meteorico in esame (Tabella 3), l'SCS individua tre classi di umidità del suolo: AMC I (condizioni del suolo molto asciutte), AMC II (condizioni di media umidità), AMC III (condizioni molto umide).

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	15 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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: Classi AMC del metodo CN.

Il calcolo standard del CN fa riferimento a condizioni di umidità medie. La valutazione del CN per le altre condizioni di umidità può essere effettuata tramite le seguenti relazioni:

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

Nel presente studio è stata presa a riferimento la condizione AMC III di elevata umidità. Il valore medio del CN III per il bacino in esame è pari a 86.80.

A partire dal valore del CN III appena ricavato, è possibile stimare le perdite iniziali I_a in mm dovute all'intercettazione, infiltrazione e saturazione delle depressioni superficiali. Si assume classicamente $I_a = 0.2 S$. La valutazione di S viene eseguita noto il valore dell'indice CN, secondo la seguente relazione, valida per S espressa in mm:

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

Si riporta in Tabella 4 il valore del parametro CN III, ovvero in condizioni di suolo molto umido, per i vari sottobacini oggetto di studio.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	16 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

<i>Bacino</i>	<i>CN III</i>
<i>Orcina</i>	<i>90.85</i>
<i>Isola</i>	<i>85.78</i>
<i>Gamberonci</i>	<i>92.61</i>
<i>BV10269</i>	<i>93.77</i>
<i>BV10619</i>	<i>93.14</i>
<i>Campo Cosimo</i>	<i>80.7</i>
<i>Ecina</i>	<i>88.23</i>
<i>Borra</i>	<i>85.78</i>
<i>Crespina Monte</i>	<i>82.55</i>
<i>Crespina Valle</i>	<i>87.06</i>

Tabella 4: Valori del parametro CN III per i bacini in esame.

3.5. Trasformazione afflussi netti – deflussi

In coerenza con studi pregressi condotti nell'area di interesse, nelle analisi condotte si sono adottati:

- l'idrogramma SCS per i torrenti Crespina ed Orcina e relativi affluenti;
- l'idrogramma di Clark per l'Isola ed affluenti.

3.5.1. L'idrogramma SCS

L'idrogramma del Soil Conservation Service (SCS) americano è un'idrogramma adimensionale definito in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di grandi e piccole dimensioni. Per la sua definizione è necessario specificare l'area del bacino, il fattore di picco e il tempo di ritardo.

Il fattore di picco (Peaking Factor) è un coefficiente che definisce il volume di acqua nei rami crescente e decrescente dell'idrogramma. Il NOHRSC (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center) suggerisce di impostare il fattore di picco sulla base delle caratteristiche del bacino idrografico, in particolare grado di urbanizzazione e caratteristiche morfologiche quali pendenza media.

Il tempo di ritardo T_L del bacino idrografico può essere valutato a partire dal tempo di corrivazione T_c secondo la relazione: $T_L = 0.6 \cdot T_c$.

Per la stima del tempo di corrivazione sono state prese in esame le relazioni più adatte per le caratteristiche di ciascun bacino in esame:

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	17 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

$$T_c = 0.000325 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.77}$$

Kirpich

$$T_c = \frac{Lmax^{0.8} \cdot \left(\left(\frac{1000}{(CN2)} - 10\right) + 1\right)^{0.7}}{(1140 \cdot Sw^{0.5})}$$

US SCS

$$T_c = \frac{0.322 \cdot (A^{0.594} \cdot S02^{(0.313)})}{Lmax^{(0.594)} \cdot Sw^{(0.150)}}$$

Simas -Hawkins

$$T_c = 0.02221 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.8}$$

Kirpich, Chow, Watt, Pezzoli

$$T_c = 0.1602 \cdot \left(\frac{L}{I^{0.5}}\right)^{0.64}$$

Ven te Chow

$$T_c = 1.2 \cdot \left(\frac{L \cdot N}{I^{(0.5)}}\right)^{0.6}$$

Yen & Chow's

$$T_c = 0.108 \cdot \left(\frac{(AL)^{0.333}}{I^{0.5}}\right)$$

Pasini

$$T_c = 0.055 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)$$

Pezzoli

$$T_c = \frac{\left(\frac{1}{Md} \cdot \sqrt{A} + 1.5 L\right)}{(0.8 \sqrt{Hm})}$$

Giandotti Aronica Paltrinieri

$$T_c = \frac{0.26}{0.6} \cdot \left(\frac{L^{0.82} \cdot (1+S02)^{0.13}}{Sw^{0.2}}\right)$$

Bocchiola, De Michele, Pecora, Rosso

$$T_c = 0.02221 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}}\right)^{0.8}$$

Ferro

$$T_c = 0.32 \frac{\sqrt{A}}{0.6}$$

Toscana (A)

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	18 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

con L_{max} distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura, L lunghezza dell'asta principale in m, I pendenza media del corso d'acqua principale, A area del bacino in km^2 , $CN2$ valore del Curve Number del bacino per condizioni di media umidità, Sw pendenza media del bacino, $S02$ ritenzione massima in mm, N coefficiente di Manning medio del bacino in $s/m^{1/3}$, H_{max} quota massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura in m, H_m quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura in m, T_c espresso in ore.

Per i bacini BV10269 e BV10619, ovvero bacini di ridotte dimensioni e prevalentemente pianeggianti, sono state considerate le formule di Pasini, US SCS, Simas_Hawkins, ven Te Chow e Yen & Chow's. Per il bacino di Campo Cosimo, prevalentemente collinare, sono state considerate tutte le formule ad esclusione di Pasini, Toscana A e Toscana L. Per quanto riguarda i bacini dell'Orcina, del Gamberonci, di Crespina monte e valle sono state considerate le formule di Kirpich, US SCS, Simas- Hawkins, Bocchiola_ De Michele-Pecora-Rosso, Ferro, Toscana A e Toscana L.

I valori forniti dalle diverse formule sono stati confrontati tra loro (considerando di volta in volta le formule più adatte per il tipo di bacini in esame) e con il valore del tempo di corrivazione stimato attraverso il calcolo del tempo di percorrenza attraverso il percorso idraulico più lungo nel bacino, 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:

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

I valori del tempo di corrivazione ottenuto e del *Peak Rate Factor* (PRF) sono riportati in Tabella 4.

Per quanto riguarda i due bacini di pianura, il bacino BV10269 e il bacino BV10619 è stata adottata la formula di Sheridan arrotondandola, a favore di sicurezza, al valore di 250.

$$0.211 \times CS^{0.882} \times A^{0.264}$$

Dove con CS si identifica la pendenza del canale e con A l'area del bacino in esame.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	19 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

Bacino	T _c [min]	T _{lag} [min]	PRF
<i>Orcina</i>	75.67	45.4	484
<i>BV10269</i>	100.80	60.50	250
<i>BV10619</i>	73.80	44.30	250
<i>Rio Gamberonci</i>	64.2	38.5	484
<i>Rio di Campo Cosimo</i>	53.40	32.00	484
<i>Crespina Monte</i>	85.80	51.50	484
<i>Crespina Valle</i>	99.60	59.80	484

Tabella 5: Valori del tempo di corrivazione, tempo di ritardo e PRF adottati.

3.5.2. Metodo IUH 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 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.

Per i parametri dell'IU di Clark si è fatto ricorso ai risultati dedotti nell'ambito degli studi idraulici redatti a supporto degli strumenti urbanistici del Comune di Collesalveti, riassunti nella seguente Tabella 6

ID BACINI	T _c (h)	R(h)	R/R+T _c
Botro Ecina	1.584	0.990	0.385

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	20 di 42

PROGETTO			ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)			Relazione idrologico-idraulica
Torrente Borra	2.592	2.251	0.465
Fiume Isola	4.434	4.183	0.485

Tabella 6: Valori dei parametri T_c , R e del rapporto $R/(R+T_c)$

3.6. Propagazione dei deflussi

Per la propagazione dei deflussi negli elementi *Reach* si è adottato il metodo di Muskingum Cunge, che si basa 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 seguenti relazioni:

$$K = \Delta x / c \quad X = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{Q}{(B S_0 c \Delta x)} \right) \quad c = \frac{dQ}{dA}$$

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 e X del metodo Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua. Le caratteristiche del *Reach* sono riportate nella seguente tabella.

Reach	Length [m]	Slope [m/m]	Manning's n	Shape	Index flow [mc/s]	Bottom Width [m]	Side Slope [xH:1V]
R1	4557	0.004	0.035	Trapezoid	25	1.20	0.666

Tabella 7: parametri del metodo di Muskingum Cunge

Nel modello utilizzato per ricavare i valori relativi al torrente Isola sono, invece, presenti due *Reach*, con le seguenti caratteristiche:

Reach	Length [m]	Slope	Manning's	Shape
R_J0-J1	9381.11	0.0035	0.04	8-Points
R_J2-J3	498.99	0.0016	0.04	8-Points

Tabella 8: parametri del metodo di Muskingum Cunge per il modello Fauglia

3.7. Risultati della modellazione idrologica: portate massime e idrogrammi di piena

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, 8, 12 ore.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	21 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

Le simulazioni idrologiche sono individuate da un codice nella forma IT_TRxxx_TPyyyH, dove IT sta ad indicare che sono stati impiegati ietogrammi triangolari, TR indica il tempo di ritorno in anni e yyy il relativo anno, TP la durata di pioggia espressa in ore.

In Tabella 9 sono riportati i valori massimi di portata per tempi di ritorno di 30 e 200 anni, per i diversi scenari esaminati.

Bacino	Tp [ore]	Q _{max,30} [m ³ /s]	Q _{max,200} [m ³ /s]
<i>Orcina</i>	1	22.18	34.82
	2	22.67	35.4
	3	20.58	32.08
	4	18.49	28.84
	6	15.29	23.89
	8	13.07	20.48
	12	10.26	16.1
<i>BV10269</i>	1	5.02	6.88
	2	6	8.27
	3	6.31	8.7
	4	6.25	8.62
	6	5.8	8.88
	8	5.29	8.12
	12	4.45	6.85
<i>BV10619</i>	1	2.25	8.75
	2	2.61	10.19
	3	2.63	10.26
	4	2.52	9.85
	6	2.25	3.46
	8	2	3.09
	12	1.64	2.53
<i>Rio di Campo Cosimo</i>	1	9.93	17.93
	2	10.12	17.87
	3	9.17	16.06
	4	8.26	14.41
	6	6.88	11.98
	8	5.94	10.33
	12	4.74	8.23
<i>Rio Gamberonci</i>	1	29.33	44.89

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	22 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

	2	27.82	42.55
	3	24.64	37.36
	4	21.56	33
	6	17.47	26.81
	8	14.76	22.73
	12	11.44	17.67
<i>Crespina Monte</i>	1	31.23	55.23
	2	36.37	63.05
	3	35.3	60.58
	4	32.92	56.27
	6	28.43	48.45
	8	24.94	42.49
	12	20.21	34.37
<i>Crespina Valle</i>	1	44.17	73.22
	2	50.88	83.5
	3	49.58	80.83
	4	46.3	75.32
	6	39.96	64.96
	8	35	56.94
	12	28.23	45.91
<i>Isola</i>	1	14.03	24.82
	2	18.95	33.26
	3	22.28	38.65
	4	24.5	42.32
	6	27.21	46.59
	8	28.36	48.29
	12	28.37	47.92
<i>Ecina</i>	1	26.82	45.16
	2	32.78	54.75
	3	34.39	56.59
	4	33.62	55.13
	6	30.71	50.09
	8	27.79	45.25
	12	23.21	37.74
<i>Borra</i>	1	22.55	39.86
	2	29.89	52.31

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	23 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

	3	34.16	58.94
	4	36.28	62.27
	6	37.52	63.67
	8	36.67	61.87
	12	33.59	56.38

Tabella 9: Quadro riassuntivo delle portate massime simulate per $Tr = 30$ anni e $Tr = 200$ anni e per durate di pioggia pari a 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 h per il bacino idrografico in esame.

Per quanto riguarda le confluenze si fa riferimento invece alla Tabella 10:

Confluenza	Tp [ore]	$Q_{max,30}$ [m ³ /s]	$Q_{max,200}$ [m ³ /s]
J1	1	38.47	68.4
	2	44.9	78.18
	3	43.57	75.03
	4	40.61	69.64
	6	35.03	59.9
	8	30.71	52.5
	12	24.87	42.45
J2	1	7.21	10.96
	2	8.56	13.07
	3	8.89	13.59
	4	8.72	13.34
	6	8.01	12.28
	8	7.27	11.17
	12	6.08	9.36
J4	1	50.89	78.77
	2	50.05	77.35
	3	44.75	69.04
	4	39.84	61.57
	6	32.64	50.55
	8	27.75	43.11
	12	21.66	33.73
J0	1	43.17	74.2

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	24 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

	2	55.02	94.22
	3	61.52	104.22
	4	64.17	108.23
	6	63.97	106.95
	8	61.05	101.73
	12	54.47	90.53
J3	1	78.8	136.9
	2	92.7	158
	3	91.3	153.8
	4	85.7	143.6
	6	74.3	124.2
	8	65.3	109
	12	52.9	88.1

Tabella 10: Quadro riassuntivo delle portate massime simulate per $Tr = 30$ anni e $Tr = 200$ anni e per durate di pioggia pari a 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 h per le confluenze del bacino in esame

I grafici seguenti riportano gli idrogrammi per i bacini di interesse e le confluenze significative.

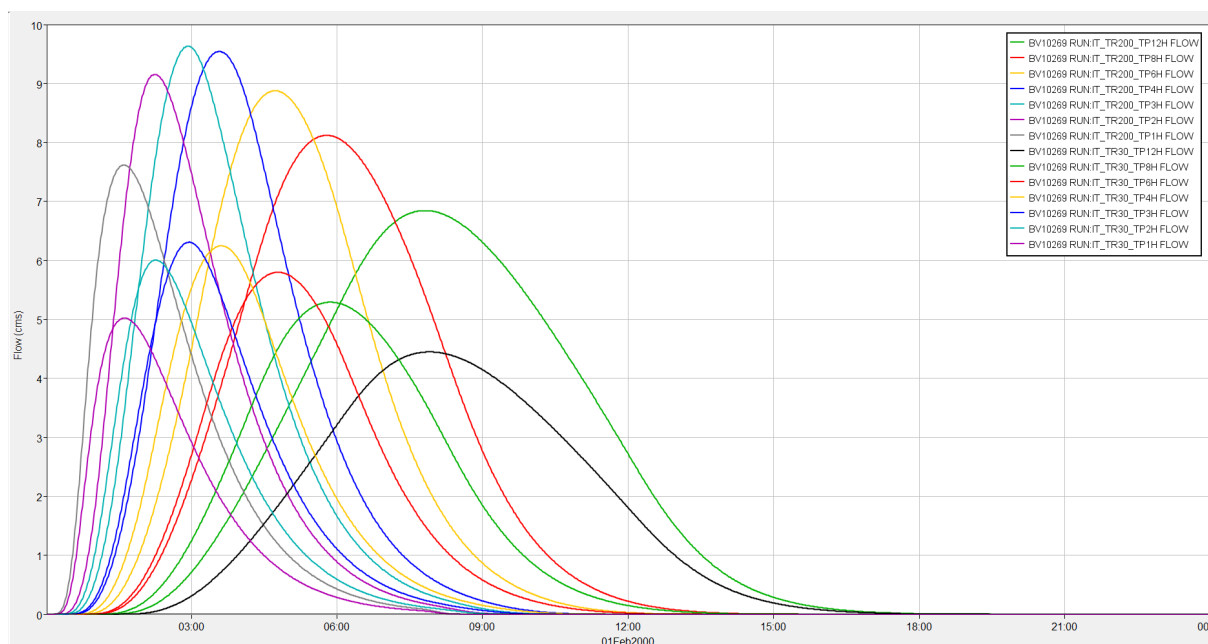


Figura 13: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del fosso Crespina

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	25 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

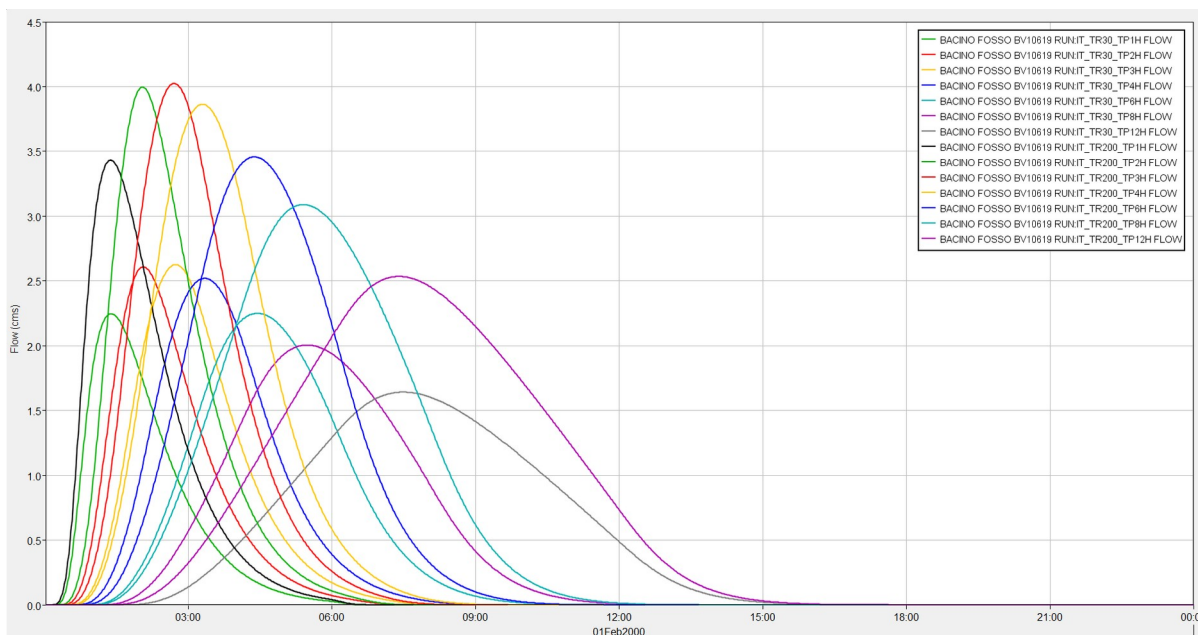


Figura 14: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del fosso BV10619

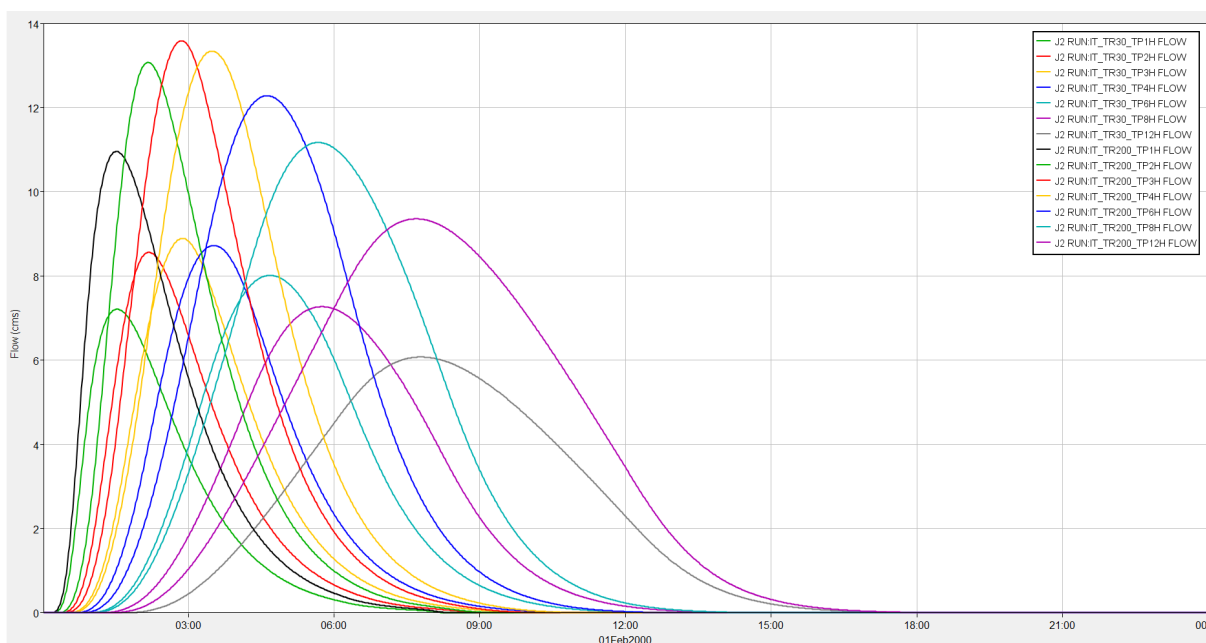


Figura 15: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni per la confluenza J2 tra fosso Crespinella e BV10619

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	26 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

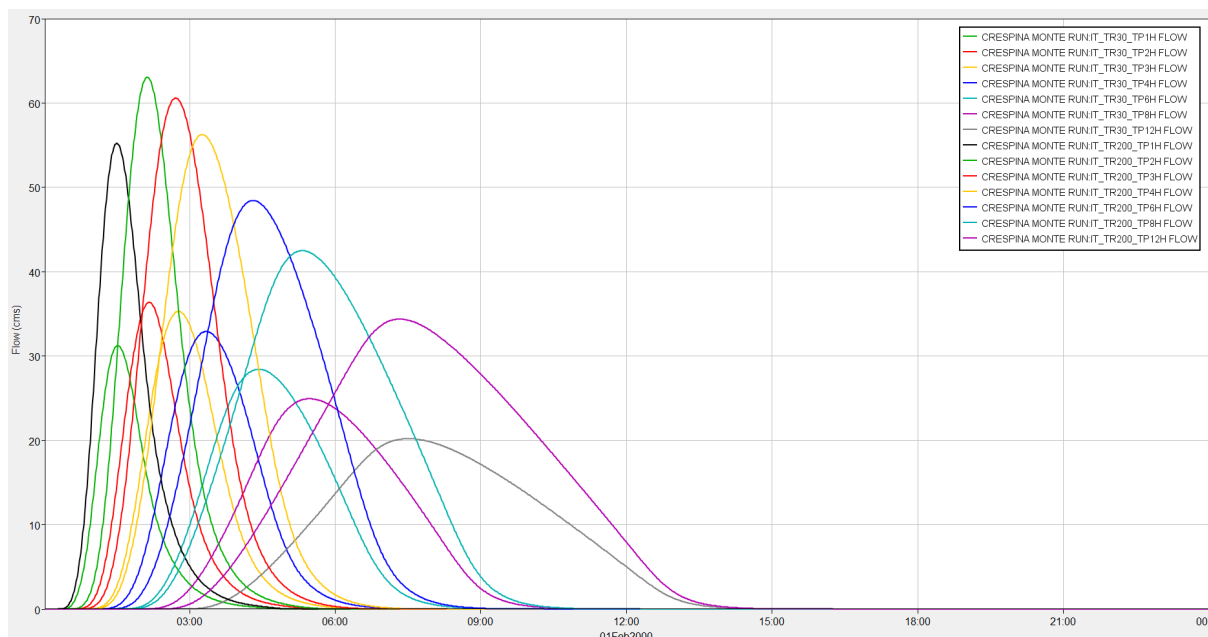


Figura 16: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del tratto di monte del Torrente Crespina

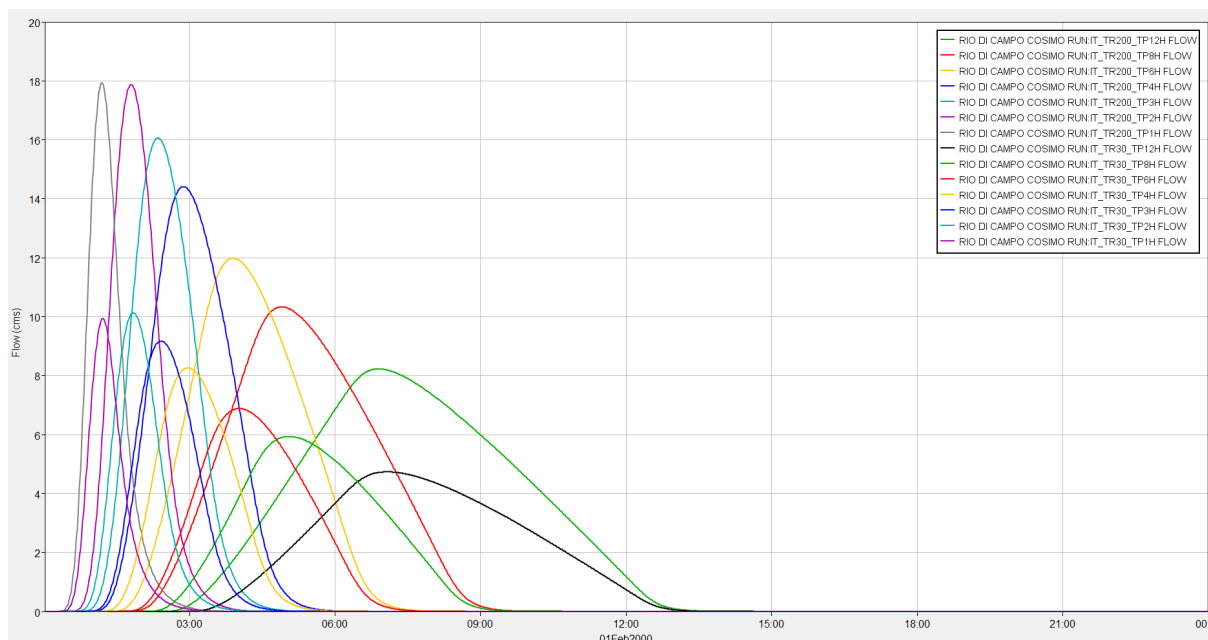


Figura 17: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del rio Campo Cosimo

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	27 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

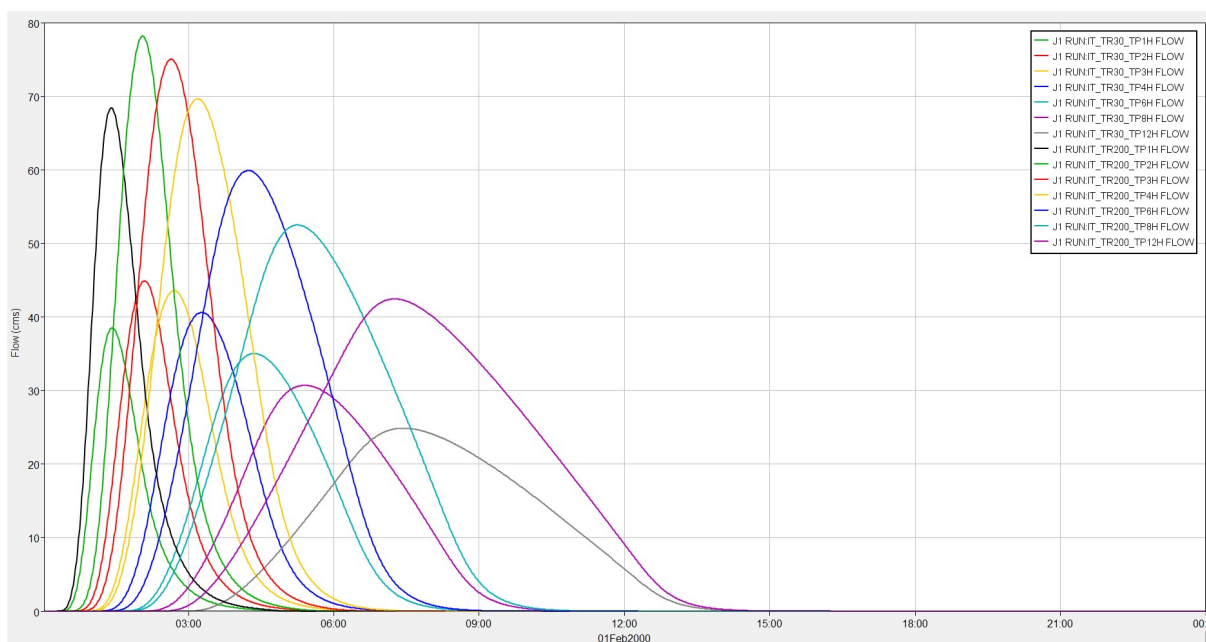


Figura 18: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni per la confluenza J1 tra torrente Crespina e Rio di Campo Cosimo

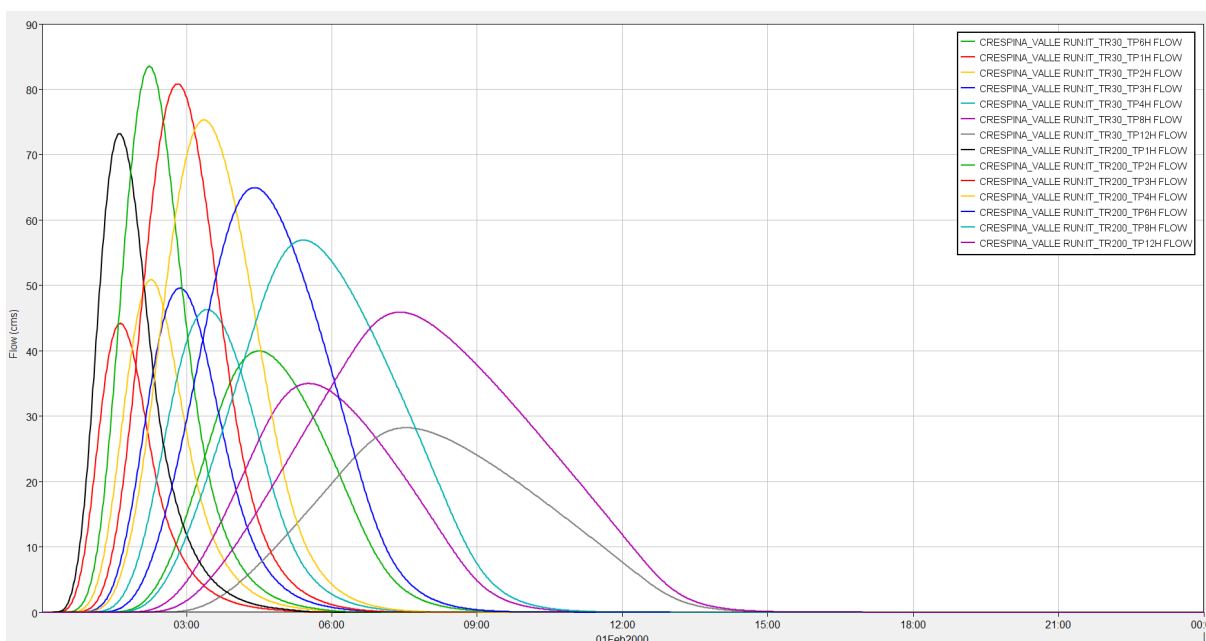


Figura 19: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del tratto di valle del Torrente Crespina

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	28 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

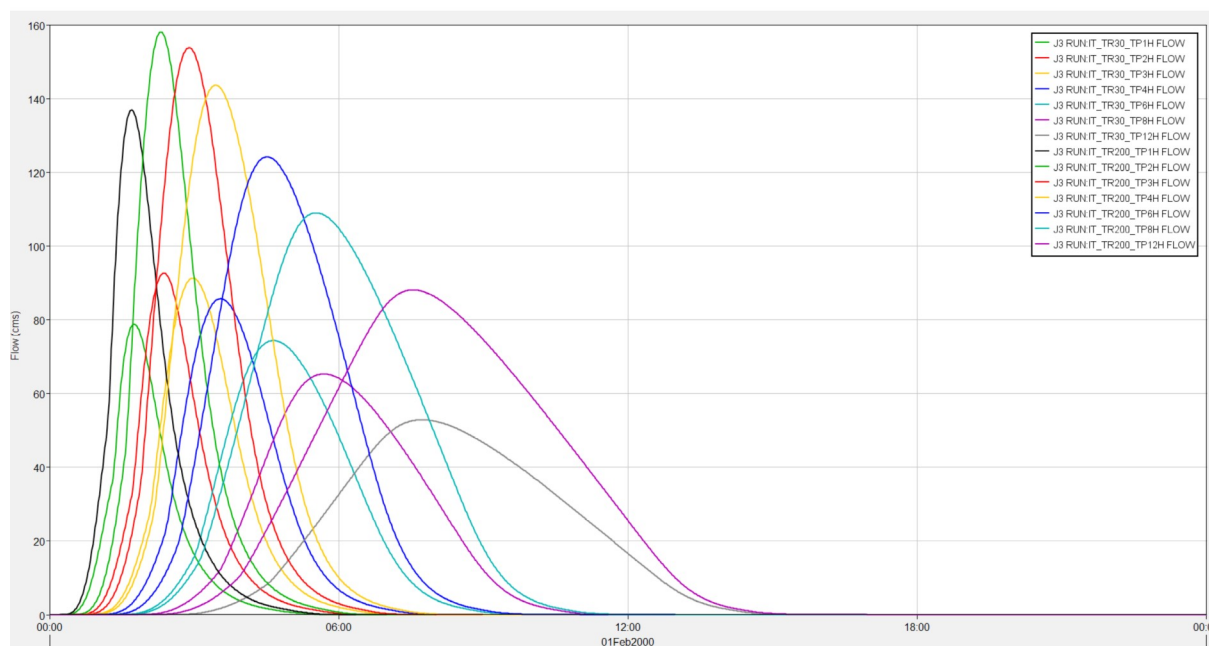


Figura 20: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni per la confluenza J0, identificante la sezione di chiusura del torrente Crespina nel modello HMS

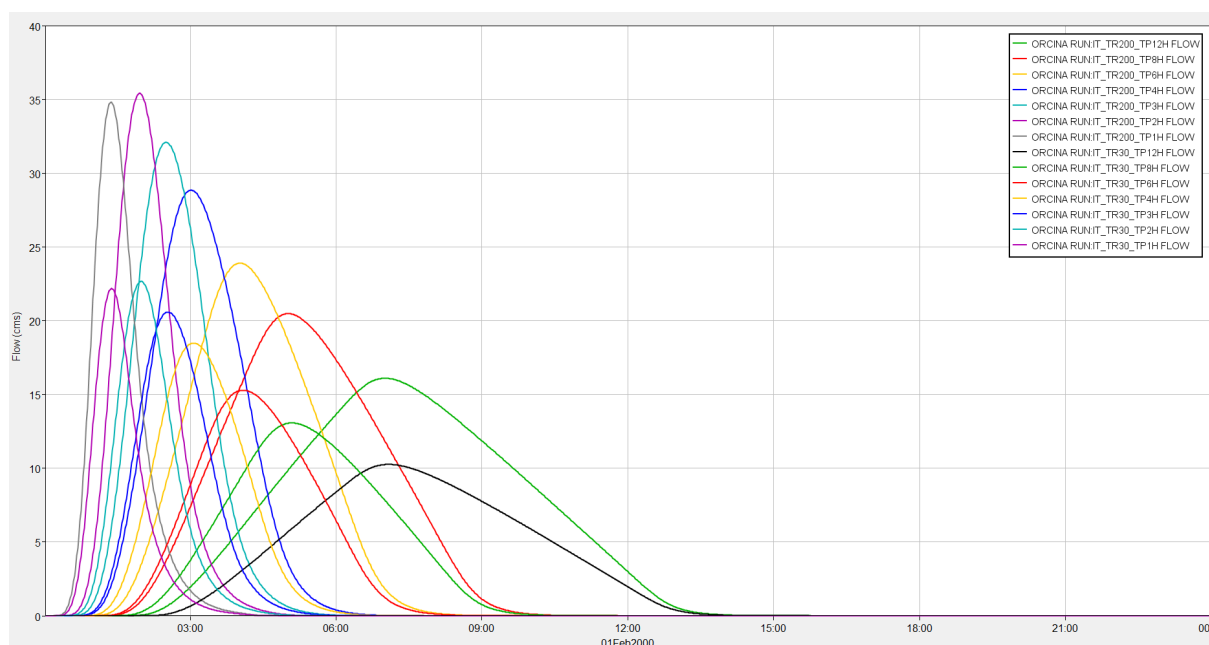


Figura 21: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del torrente Orcina

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	29 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

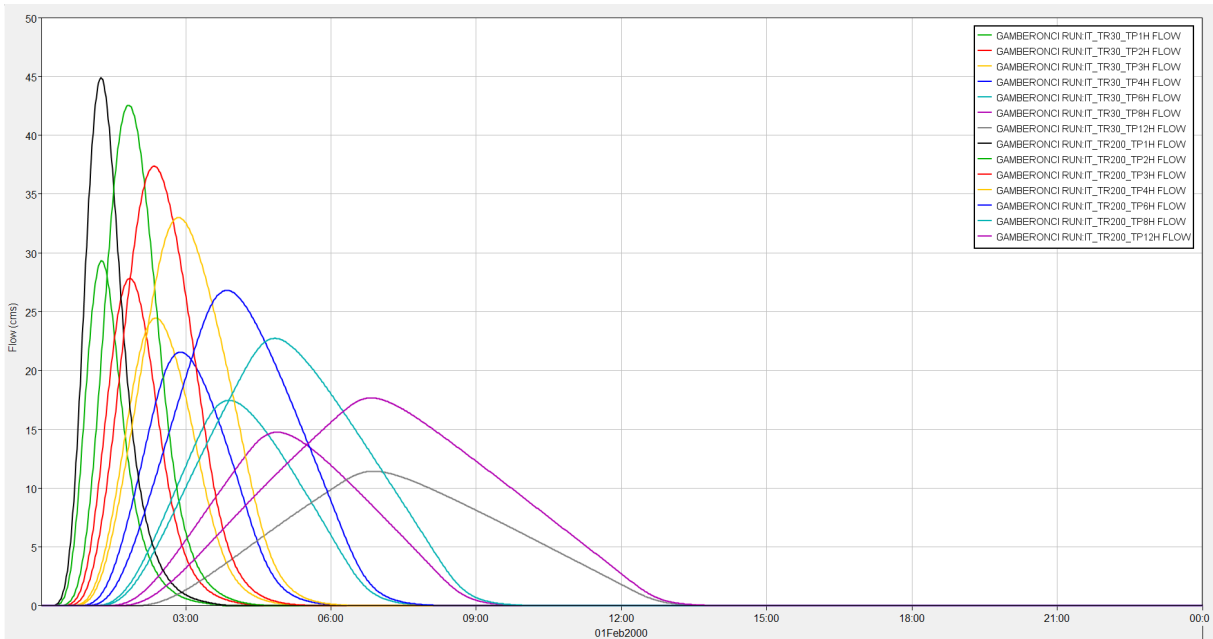


Figura 22: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del Rio Gamberonci

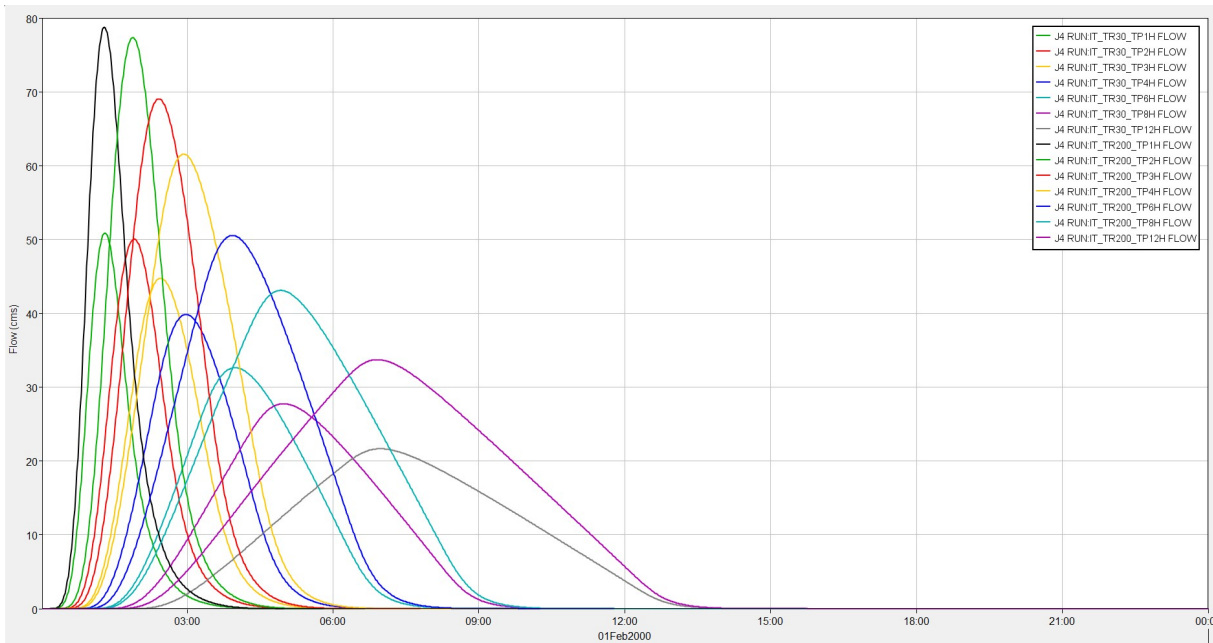


Figura 23: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni per la confluenza J4 tra torrente Orcina e Rio Gamberonci

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	30 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

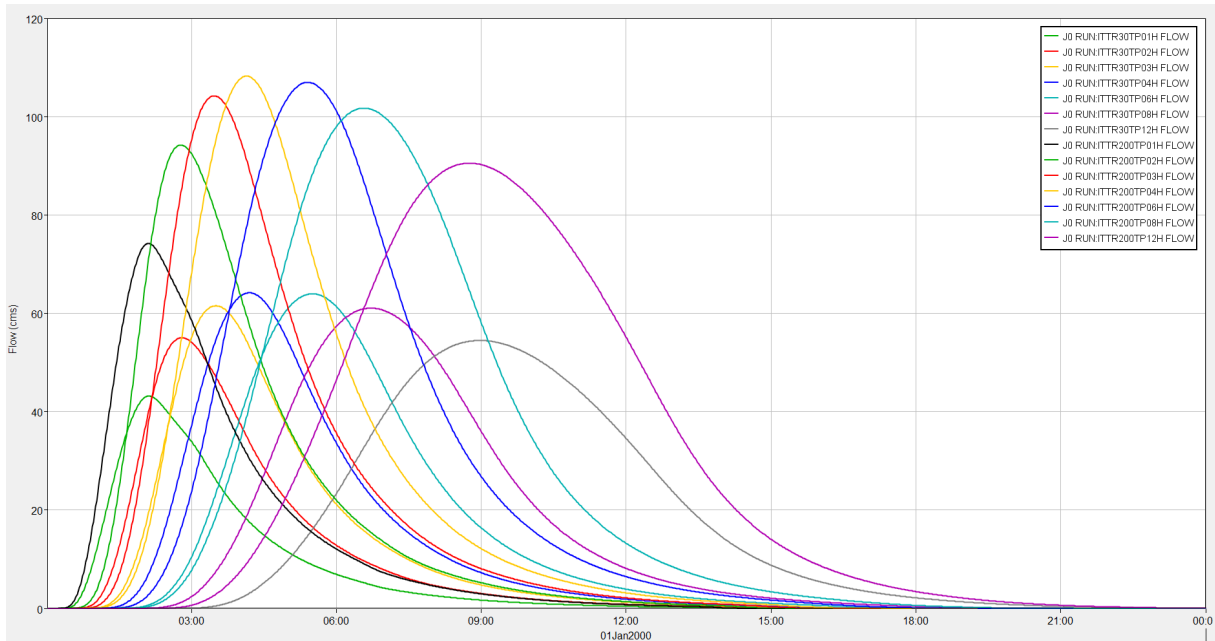


Figura 24: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni per la confluenza J0 tra torrente Borra e Botro Ecina

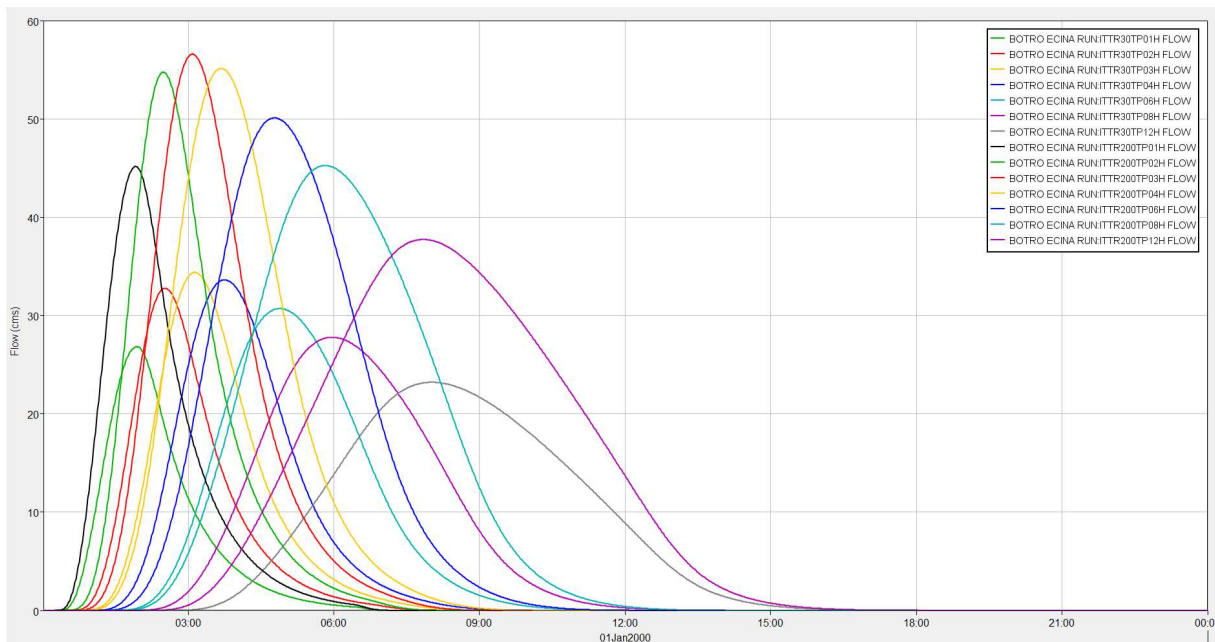


Figura 25: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del Botro Ecina

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	31 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

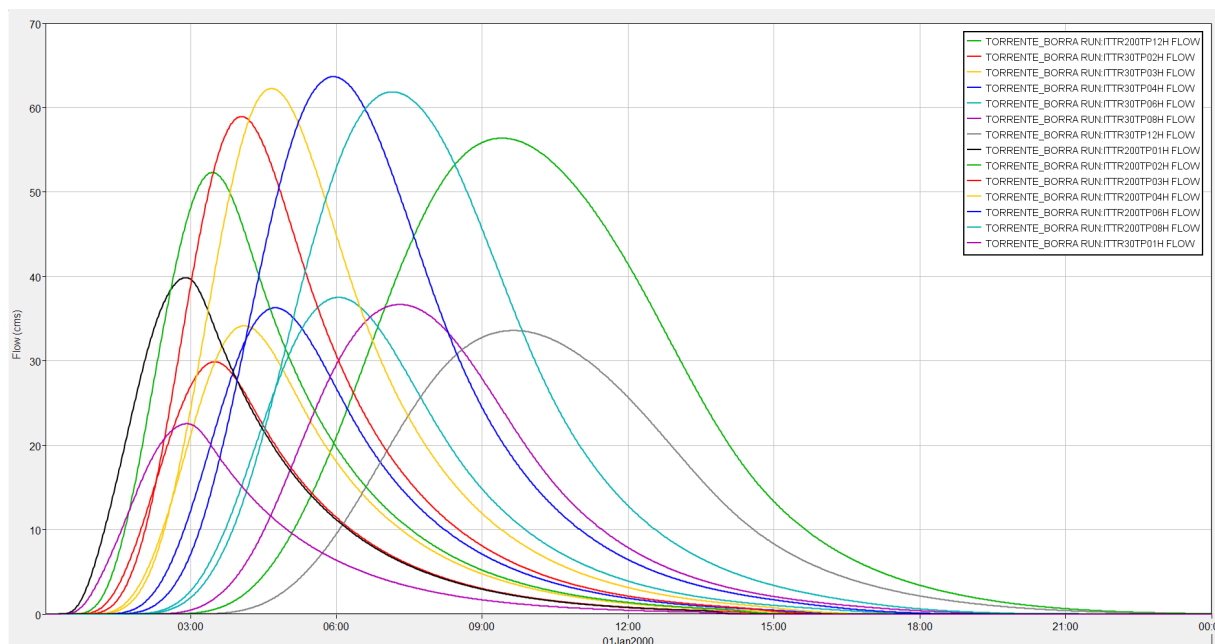


Figura 26: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del torrente Borra

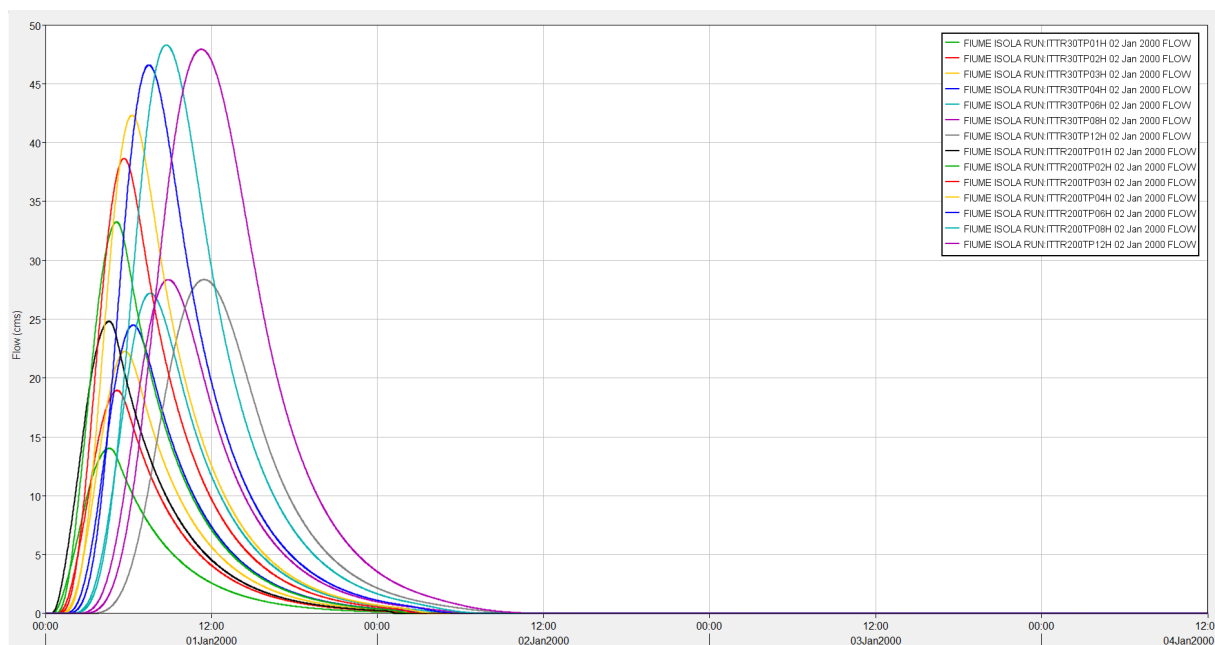


Figura 27: Idrogrammi per $Tr=200$ anni e $Tr=30$ anni del fiume Isola

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	32 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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 6.0 (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. Per i corsi d'acqua dotati di alveo inciso di dimensioni apprezzabili 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.

4.1. 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 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 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.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	33 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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. 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.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	34 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

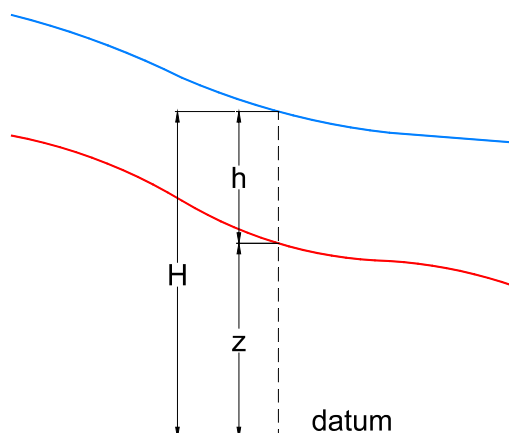


Figura 28: sistema di riferimento di Hec-Ras 2D: la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$ l'altezza idrica con $h(x,y,t)$; la quota del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$

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 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:

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

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

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:

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

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	35 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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:

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

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.

4.2. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

La geometria del modello (riportata in allegato) è stata implementata utilizzando i rilievi topografici disponibili redatti per il presente studio dal perito edile Giuseppe Alberto Giuliano, su incarico del Comune di Crespina Lorenzana.

I rilievi dei corsi d'acqua sono stati rapportati altimetricamente al Lidar della Regione Toscana tramite il rilievo di quote in punti significativi posti sulla viabilità principale od in aree a parcheggio asfaltate.

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 della Regione Toscana 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 break lines 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 structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	36 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

modello bidimensionale. La geometria delle lateral structure 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.

In definitiva, a livello di geometria di modellazione, i corsi d'acqua in studio sono stati suddivisi nei seguenti modelli RAS:

- Torrente Orcina ;
- Rio di Campo Cosimo ;
- Torrente Crespina;
- Fosso Crespinella

Per quanto riguarda invece il fosso BV10619 e il Rio Gamberonci si è scelto di rappresentarli tramite ingressi puntuali, rispettivamente nel fosso Crespinella e nel torrente Orcina.

Le planimetrie di modellazione dei diversi modelli implementati sono riportate in allegato.

4.3. 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 , considerando anche la possibilità che la piena possa avvenire in condizioni di non perfetta manutenzione del corso d'acqua.

Nello specifico per il fosso Crespinella si è optato per un numero di Manning pari a 0.045, per le prime sezioni di monte (dalla sezione 41 alla sezione 39). Per quanto riguarda il torrente Orcina invece si è mantenuto un Manning di 0.045 fino alla sezione 13. Dalla sezione 13 in poi, invece, si è optato per un Manning di 0.038 in quanto si ha tendenzialmente minor presenza di vegetazione. Un discorso analogo è stato condotto anche per il tratto di valle del torrente Crespina dove fino alla sezione 28 si è deciso di utilizzare un valore di 0.04 e dalla 28 verso valle un valore di 0.038.

Per quanto riguarda i tratti posti più a monte, rio di Campo Cosimo e torrente Crespina, si sceglie invece un valore di Manning di 0.04.

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 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):

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	37 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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

4.4. Condizioni al contorno ed 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. Per

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	38 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulico a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

quanto riguarda invece il rio Gamberonci e il fosso BV10619 si è scelto di realizzare delle "Lateral Inflow" per simulare la confluenza con lo specifico tratto fluviale.

Infine, l'idrogramma riguardante il bacino di valle del Crespina è stato assegnato come distribuito lungo tutta l'asta fluviale, ad eccezione del tratto arginato di valle.

Come condizione di valle per il sistema si è assunta l'ipotesi di Normal Depth (moto uniforme), con pendenze pari a quelle riportate in tabelle. Si precisa in particolare che, sulla base delle informazioni fornite dai competenti uffici regionali, le condizioni di deflusso dello Scolmatore d'Arno non portano ad effetti di rigurgito per i corsi d'acqua in esame.

	Pendenza Normal Depth
Orcina	0.0038
Crespina Valle	0.0029
BV10269	0.0025
Isola	0.0022

Tabella 12: Valori di Normal Depth

4.5. Scenari simulati

Le simulazioni effettuate sono individuate da un codice simile a quello utilizzato nella corrispondente simulazione idrologica, nella forma TRxxxTPyyyH, dove xxx indica il tempo di ritorno in anni ed yyy la durata di pioggia espressa in ore.

Per ogni scenario di simulazione è stato implementato un diverso plan su RAS. Per ogni modello si sono simulati eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni; le durata di pioggia prese in esame sono quelle critiche per ciascun corso d'acqua oggetto di studio.

La seguente tabella riassume le simulazioni implementate su RAS per i diversi corsi d'acqua, con i relativi codici dei plan:

Modello HEC-RAS	Scenari Tr200	Scenari Tr30
Orcina	TR200_1H	TR30_1H
	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H
BV10269	TR200_1H	TR30_1H

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	39 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H
<i>Campo Cosimo</i>	TR200_1H	TR30_1H
	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H
<i>Crespina Monte</i>	TR200_1H	TR30_1H
	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H
<i>Crespina valle</i>	TR200_1H	TR30_1H
	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H
<i>Isola</i>	TR200_1H	TR30_1H
	TR200_2H	TR30_2H
	TR200_3H	TR30_3H
	TR200_4H	TR30_4H
	TR200_6H	TR30_6H
	TR200_8H	TR30_8H
	TR200_12H	TR30_12H

Tabella 13: quadro riassuntivo simulazioni RAS.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	40 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

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. 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.

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	41 di 42

PROGETTO	ELABORATO
Studio idrologico idraulici a supporto dell'aggiornamento del quadro conoscitivo degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica del Comune di Crespina Lorenzana (PI)	Relazione idrologico-idraulica

6. ALLEGATI

Si riportano con allegato a parte i risultati delle simulazioni eseguite. Per ogni modello idraulico si ha:

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

PROGETTAZIONE	PAGINA
H.S. INGEGNERIA srl Via Bonistallo 39 50053 Empoli (FI) Tel. e Fax 0571-725283 P.IVA 01952520466 e.mail info@hsingegneria.it	42 di 42