

PIANO STRUTTURALE ai sensi della L.R.65/14



Comune di Santa Maria a Monte
(Provincia di Pisa)



Sindaco
Manuela del Grande

Assessore Urbanistica
Elena Trovatelli

Responsabile del procedimento
Ing. Alessandro Veracini

Ufficio Urbanistica
Arch. Francesca Ringuassi

Garante dell'informazione e partecipazione
Arch. Ilaria Mannucci

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Pianificazione Urbanistica e Coordinamento

Architetti Associati Ciampa
Arch. Mauro Ciampa
Arch. Chiara Ciampa
Arch. Giovanni Giusti

Restituzione digitale degli elaborati
Pianificatore. Junior Anita Pieroni

Processo Partecipativo

Arch. Chiara Ciampa

Valutazioni ambientali (VAS - Vinca)

Dott. Agr. Federico Martinelli - *PFM Srl Società tra professionisti*

Studi geologici

Dott. Geol. Alessandra Giannetti - *Comune di Santa Maria a Monte*

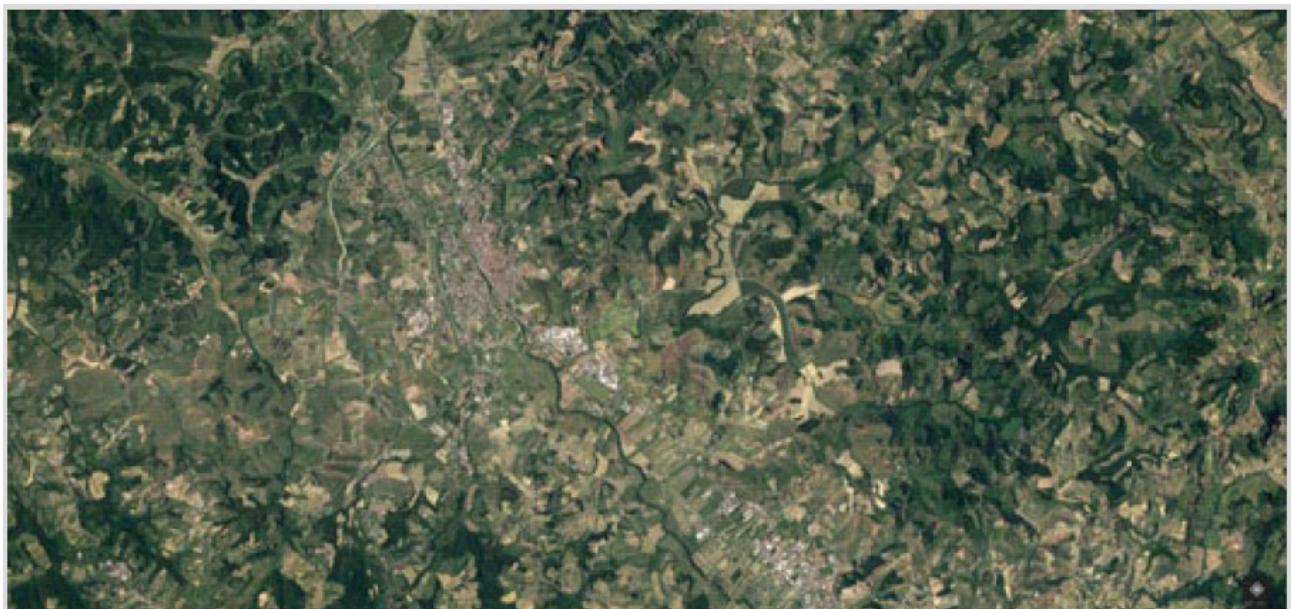
Studi Idraulici

Ing. Gesualdo Bavecchi

**INDAGINI IDROLOGICHE IDRAULICHE
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA**



Indagini idrologiche – idrauliche a supporto del piano strutturale del Comune di Santa Maria a Monte



RELAZIONE TECNICA IDROLOGICA-IDRAULICA

Ing. Gesualdo Bavecchi

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. ANALISI DELLO STATO ATTUALE.....	6
2.1 ANALISI IDROLOGICA PER L'AREA DI INTERESSE	6
2.2 IL BACINO IDROGRAFICO RIO NERO – RIO DELLA SELVA	8
<i>Metodo di calcolo della portata.....</i>	8
<i>Afflussi - deflussi.....</i>	9
<i>Gruppo idrologico del suolo.....</i>	10
<i>Uso del suolo</i>	12
<i>Condizioni iniziali di saturazione</i>	15
<i>Stima del CN.....</i>	16
2.3 IL BACINO IDROGRAFICO RIO BOTTACCIO – RIO DEL DOLCIONE.....	18
<i>Stima del CN.....</i>	20
2.4 IL BACINO IDROGRAFICO RIO DI VAIANO – RIO GUADAGNINO.....	21
<i>Stima del CN.....</i>	23
<i>Calcolo idrogrammi di piena.....</i>	24
3. LE VERIFICHE IDRAULICHE	35
3.1 LA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	35
3.2 LA MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE DELLE AREE ALLAGABILI	38
NELLE PAGINE SUCCESSIVE SI RIPORTANO LE GEOMETRIE DEI MODELLI SVILUPPATI.....	38
3.3 LA SCABREZZA ADOTTATA.....	41
3.4 I RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE.	42
3.4.1 IL SISTEMA IDRAULICO RIO DI BOTTACCIO – E RIO DEL DOLCIONE.....	42
3.4.2 IL SISTEMA IDRAULICO RIO DI VAIANO – RIO DEL GUADAGNINO.....	42
3.4.3 IL RIO NERO.....	43

1. Premessa

Il presente lavoro costituisce lo studio idrologico idraulico di supporto al Piano Strutturale Intercomunale del Comune di Santa Maria a Monte, ed è finalizzato alla verifica ed eventuale aggiornamento delle mappe di pericolosità idraulica sul territorio del comune interessato.

All'interno dell'ambito di indagine, sono stati individuati alcuni corsi d'acqua che concorrono a determinare il livello di pericolosità idraulica dei territori oggetto di studio. Tali corsi d'acqua sono classificati in reticolo principale e secondario del bacino dell'Arno ai sensi della Disciplina di Piano del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni redatto ai sensi della Direttiva Europea 2007/60/CE e del D.L. 49/2010. La pericolosità idraulica generata dal F. Arno che interessa tutta la parte del territorio comunale a sud del Canale Usciana è stata recentemente aggiornata dall'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale (Studio idrologico-idraulico del Fiume Arno dalla confluenza con il Fiume Elsa fino allo Scolmatore di Pontedera finalizzato all'implementazione e all'aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione del P.G.R.A), determinandone la pericolosità idraulica e i battenti attesi per $Tr=200$ anni (per eventi con $Tr=30$ anni non si ha fenomeni di allagamento).

Quindi, per quanto riguarda il fondo valle del territorio comunale compreso tra Canale Usciana e argini del F. Arno si fa riferimento al PGRA vigente.

Nel zona più a Nord, anche in relazione alle problematiche emerse negli ultimi anni, sono stati studiati in dettaglio alcuni corsi d'acqua e in particolare:

- Sistema idraulica Rio Nero – Rio Selva - Tratto tra la confluenza con il canale scolmatore dell' Usciana – sino a monte del Rio Della Selva ;
- Sistema idraulico Rio di Vaiano – Rio del Guadagnino;
- Sistema idraulico Rio di Bottaccio – e Rio del Dolcione presso la strada provinciale di Valdinievole;

Questi tre corsi d'acqua negli ultimi anni hanno generato fenomeni di esondazione e ristagno sia per le abitazioni residenziali e le infrastrutture presenti nella zona.

Per la redazione del presente studio si è fatto riferimento al Regolamento 30 gennaio 2020, n. 5/R, di attuazione dell'art. 104 della L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il Governo del Territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

Ai fini dell'indagine, sono stati considerati gli elementi idrologico-idraulici necessari a caratterizzare la probabilità di esondazione dei corsi d'acqua in riferimento al reticolo di interesse, definendo le pericolosità da alluvione secondo la classificazione di cui al Regolamento 30 gennaio 2020, n. 5/R, di attuazione dell'art. 104 della L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il Governo del Territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche, ovvero:

- aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3), che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno 30 anni;
- aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2), con aree allagabili per eventi con tempo di ritorno 200 anni.

Tale classificazione, indicata al paragrafo C.2 dell'Allegato A del Regolamento 5R/2020 - Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche – fa infatti riferimento alle definizioni di cui alla L.R. 41/2018 - Disposizioni in materia di rischio di 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). Modifiche alla L.R. 80/2015 e alla L.R. 65/2014 – per la definizione dei criteri generali di fattibilità idraulica degli interventi, che introduce la seguente classificazione:

- scenario per alluvioni frequenti: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera c), del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a trenta anni;
- scenario per alluvioni poco frequenti: lo scenario di cui all'articolo 6, comma 2, lettera b) del d.lgs. 49/2010, individuato negli atti di pianificazione di bacino e definito dai medesimi atti con riferimento al tempo di ritorno non inferiore a duecento anni.

2. Analisi dello stato attuale

Ai fini della definizione delle pericolosità, come detto in premessa, per quanto riguarda il territorio che si sviluppa a sud del Canale Usciana occorre far riferimento ai risultati ottenuti dallo “Studio idrologico-idraulico del Fiume Arno dalla confluenza con il Fiume Elsa fino allo Scolmatore di Pontedera finalizzato all’implementazione e all’aggiornamento delle mappe di pericolosità da alluvione del P.G.R.A “ redatto in collaborazione con l’ Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale che ha portato all’aggiornamento del PGRA nell’Ottobre 2023.

Per quanto riguarda il territorio che si sviluppa a nord del canale Usciana, anche in relazione alle problematiche emerse negli ultimi anni, sono stati studiati in dettaglio alcuni corsi d’acqua e in particolare:

- Sistema idraulica Rio Nero – Rio Selva - Tratto tra la confluenza con il canale scolmatore dell’Usciana – sino a monte del Rio Della Selva;
- Sistema idraulico Rio di Vaiano – Rio del Guadagnino;
- Sistema idraulico Rio di Bottaccio – e Rio del Dolcione presso la strada provinciale di Valdinievole;

2.1 Analisi idrologica per l’area di interesse

L’analisi idrologica del territorio è stata effettuata sulla base dei nuovi parametri delle curve di possibilità pluviometriche forniti dal Servizio Idrologico Regionale (SIR) del Centro Funzionale Regionale (CFR) della Regione Toscana e aggiornati nel 2012.

Nell’ambito dell’accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, al fine di procedere ad un’implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, il Sistema Idrologico Regionale ha provveduto ad effettuare un aggiornamento dell’analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all’anno 2012 compreso.

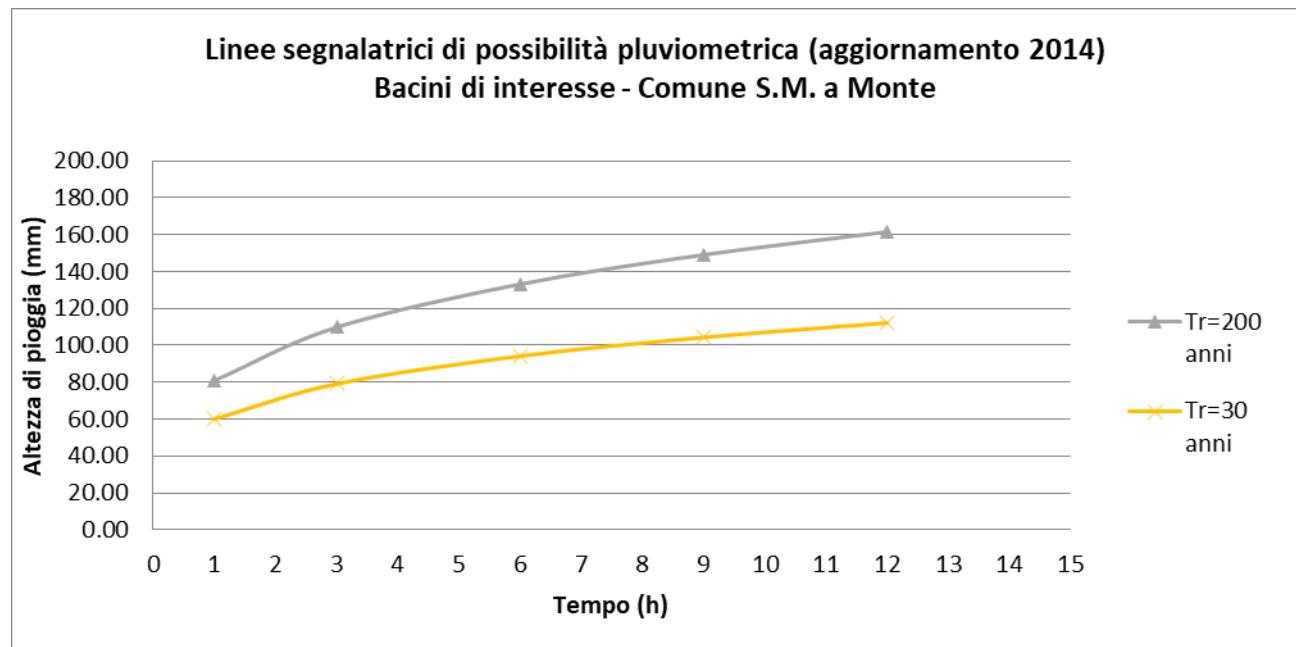
Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica il SIR ha determinato le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n.

Tra i risultati sono quindi disponibili le cartelle delle coppie di ASCII Grid di a e di n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati.

I nuovi parametri della curva di possibilità climatica per Tr=200 anni risultano:

Nuovi parametri curva possibilità climatica:

	a	n
Tr=30 anni	58.98	0.253
Tr=200 anni	80.85	0.278



2.2 Il bacino idrografico Rio Nero – Rio della Selva

Il bacino idrografico del rio Nero e Rio della Selva Prataccio, evidenziato nella pagina seguente immagine, è stato definito in ambiente GIS considerando le informazioni raccolte in sede di sopralluogo.

Complessivamente, ovvero assumendo come sezione di chiusura la confluenza con il Rio della Selva, il bacino ha una superficie di circa 3.9 kmq.

Metodo di calcolo della portata

Gli idrogrammi di piena sono stati calcolati mediante il software compatibile con **HEC-HMS**.

E' stato scelto di utilizzare il metodo SCS-Curve Number per stimare il volume di perdita. Mentre come metodo di trasformazione afflussi deflussi è stato adottato il SCS Unit Hydrograph, con il lag time (tempo di ritardo) calcolato come 0.6 Tc (con Tc tempo di corriavazione ricavato mediante formule da letteratura).

Il tempo di corriavazione è stato calcolato sulla base delle grandezze caratteristiche del bacino come media dei tempi di corriavazione ottenuti da diverse formule disponibili in letteratura. Di seguito si riportano le caratteristiche del Bacino del Rio Nero e del Rio Selva.

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE Rio Nero – Rio Selva								
BACINO	H min [m s.l.m.]	H max bacino [m s.l.m.]	H media [m s.l.m.]	A (kmq)	A (ha)	L asta [km]	H max asta [m s.l.m.]	Pend. asta
RIO Nero	23	110	64	3.49	349	4.18	98	0.02
RIO della Selva	23	99	59	0.41	41	1.28	85	0.06

Il tempo di corriavazione è stato poi utilizzato nella stima del Lag Time (tempo di ritardo) adottato nell'analisi idrologica, descritta in seguito, eseguita tramite software – compatibile HEC-HMS, che ha permesso il calcolo degli idrogrammi di piena e l'individuazione del tempo di risposta del bacino, ovvero la durata di pioggia critica.

Solitamente nel caso di applicazione del metodo afflussi deflussi SCS si adotta un tempo di corivazione calcolato dalla lunghezza massima del tratto di corso d'acqua (LA), dalla pendenza media del terreno del bacino idrografico (ib) e dalla massima ritenzione potenziale (S), come segue:

$$T_c = \frac{L_A^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1.140 i_b^{0.5}}$$

Dove la massima ritenzione potenziale (S) è definita attraverso la seguente formula, attraverso il CN:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10.$$

Afflussi - deflussi

Per stimare il coefficiente di deflusso che governa la trasformazione afflussi-deflussi, tenendo contemporaneamente dell'effetto del tipo di suolo e dell'intensità della precipitazione, è stato utilizzato il metodo SCS-Curve Number (CN), tale metodo è stato sviluppato dal “USDA Natural Resources Conservation Service (Soil Conservation Service)” sulla base di un'analisi empirica del deflusso da piccoli bacini idrografici e appezzamenti di colline monitorati dall'USDA. È ampiamente utilizzato ed è un metodo efficiente per determinare la quantità approssimativa di deflusso diretto da un evento di pioggia in una particolare area.

Il CN varia in funzione di 3 diversi parametri:

1. gruppo idrologico del suolo: classificazione dell'infiltrabilità del suolo in 4 classi A, B, C e D;
2. uso del suolo (pascoli, boschi, etc.), eventuali sistemazioni agrarie della superficie;
3. condizioni iniziali di saturazione dei suoli (AMC – Antecedent Moisture Condition);

La procedura fornita da (USDA) Natural Resources Conservation Service (Soil Conservation Service) per stimare il CN si basa quindi sulla determinazione dei principali fattori che influenzano il valore CN: il gruppo idrologico del suolo (HSG), il tipo di copertura e

la condizione idrologica iniziale; questi fattori sono mostrati nell'USDA (1986) "Urban Hydrology for Small Watersheds".

Nel seguente grafico si riporta una rappresentazione schematica generale dell'effetto del CN sulla pioggia efficace.

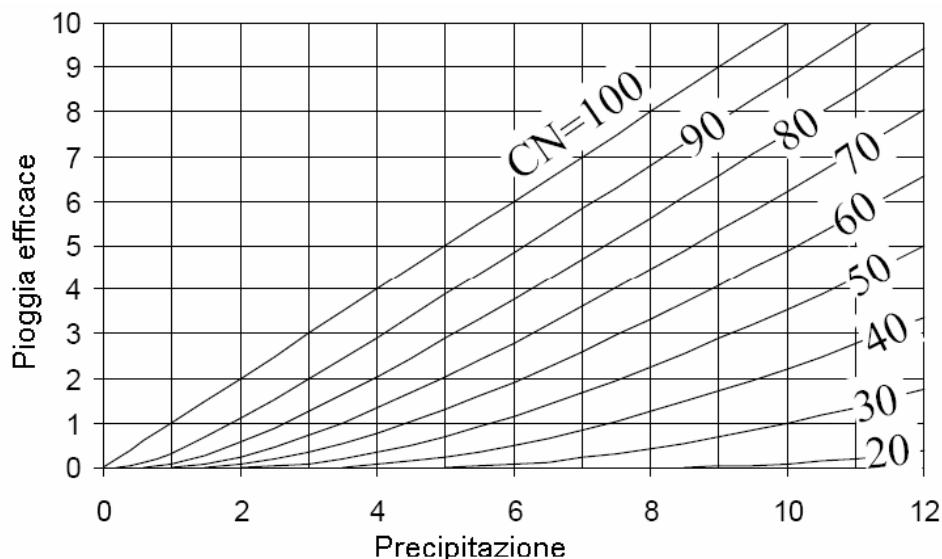
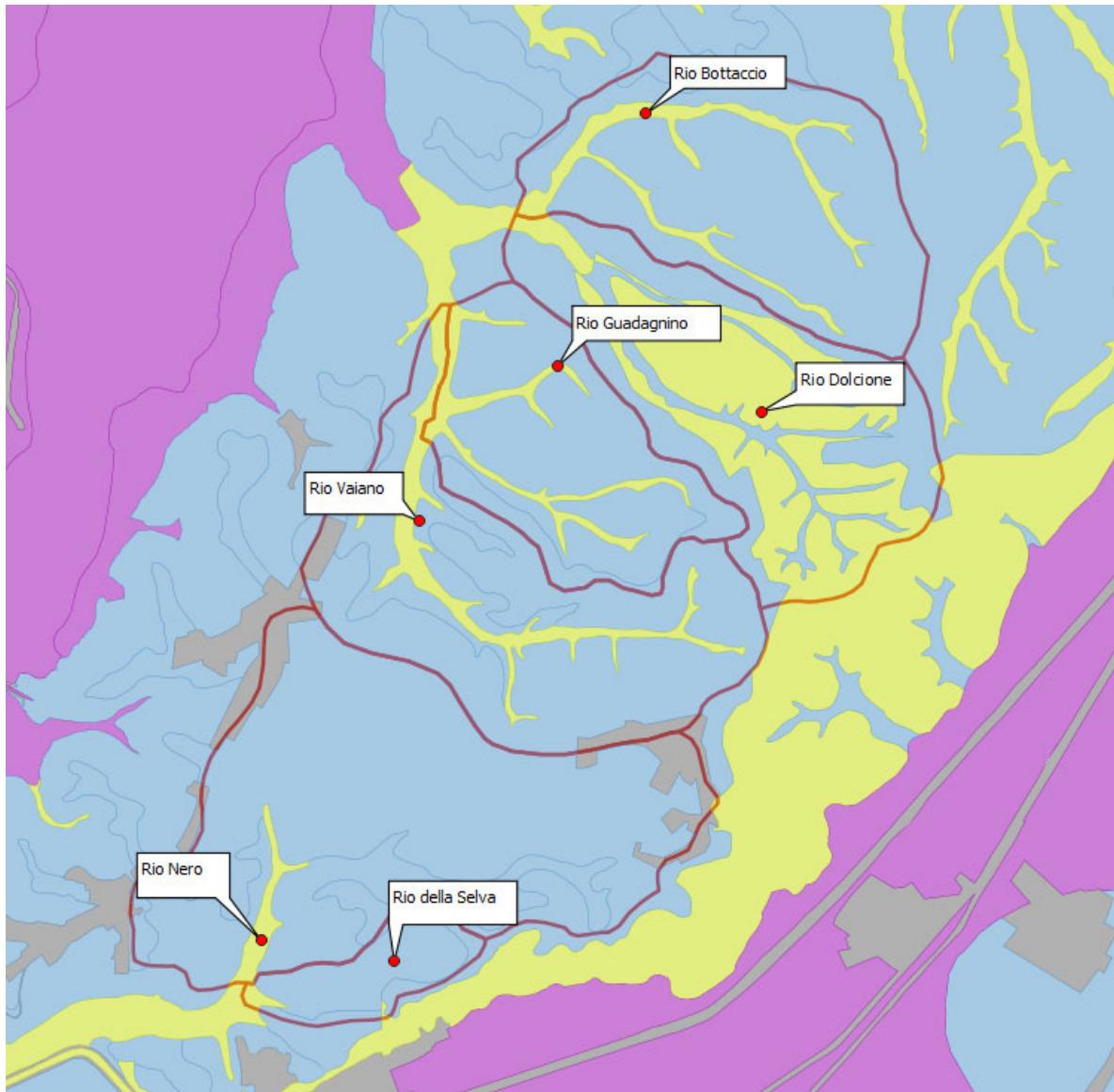


Grafico precipitazione – pioggia efficace in funzione del CN

Gruppo idrologico del suolo

I bacini di interesse ricadono sostanzialmente e cautelativamente, secondo la classificazione del Hydrologic Soil Group ("HSG", SCS-CN USDA), al gruppo C. Tale informazione è stata desunta dalla mappa idrologica del suolo fornita dalla Regione Toscana della quale di seguito si riporta un estratto con localizzazione del perimetro dei bacini idrografici in esame.



Estratto mappa del gruppo idrologico del suolo USDA

 **Gruppo idrologico USDA**

 nodata

 A - Suoli con potenziale di deflusso superficiale basso

 B - Suoli con potenziale di deflusso superficiale moderatamente basso

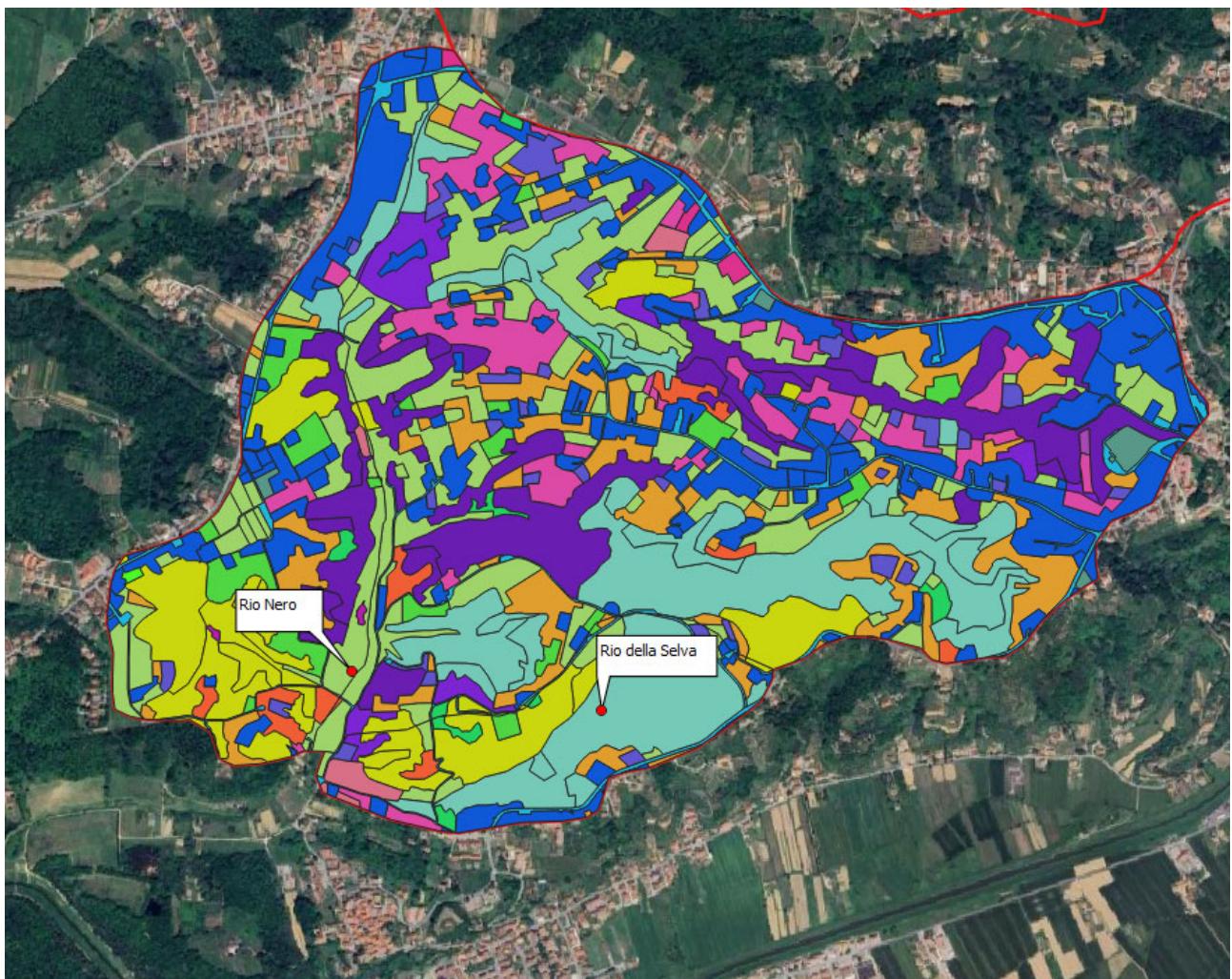
 C - Suoli con potenziale di deflusso superficiale moderatamente alto

 D - Suoli con potenziale di deflusso superficiale altro

In altre parole, il terreno in esame è caratterizzato da un potenziale di deflusso moderatamente alto (<50% di sabbia e 20-40% di argilla).

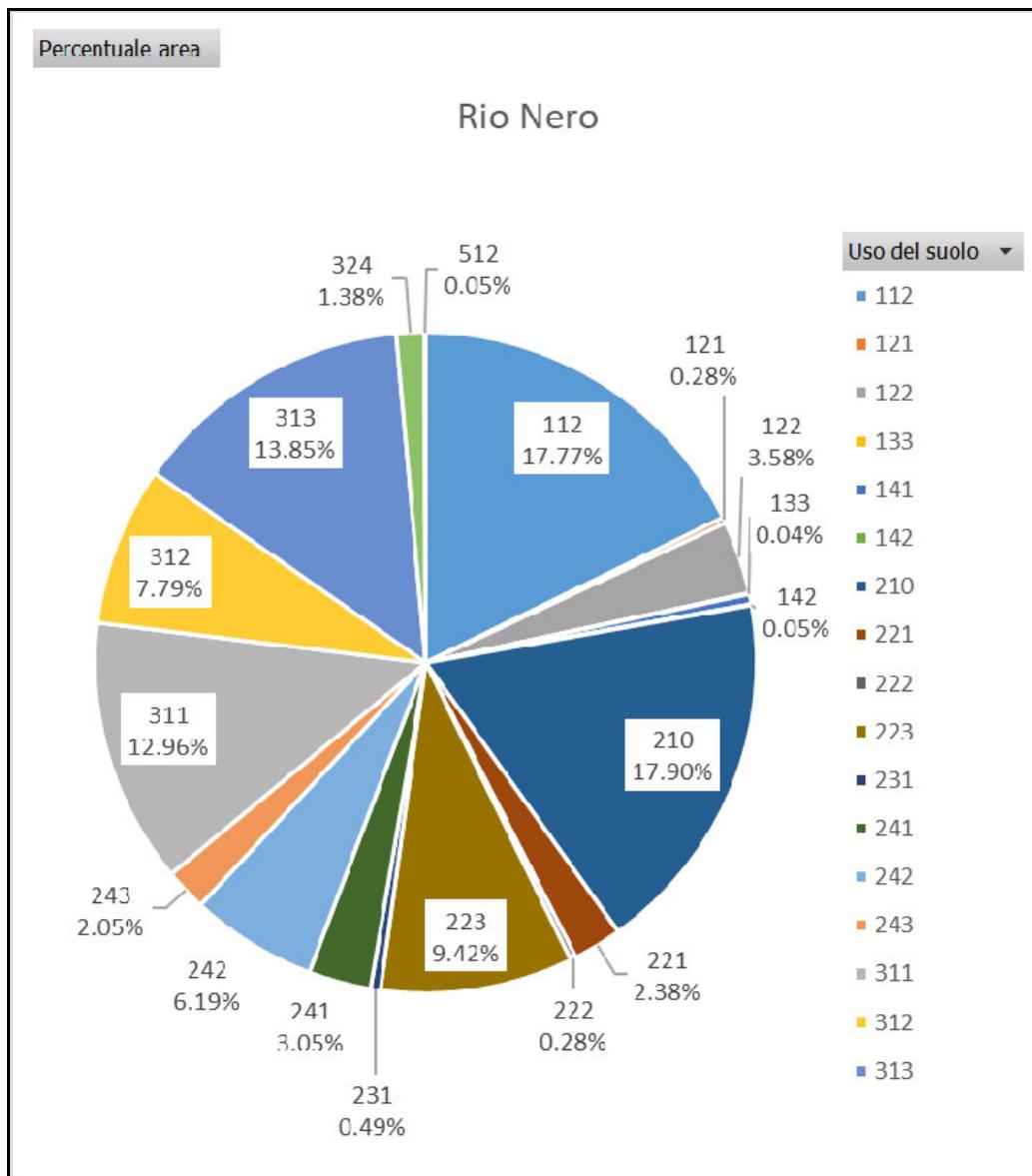
Uso del suolo

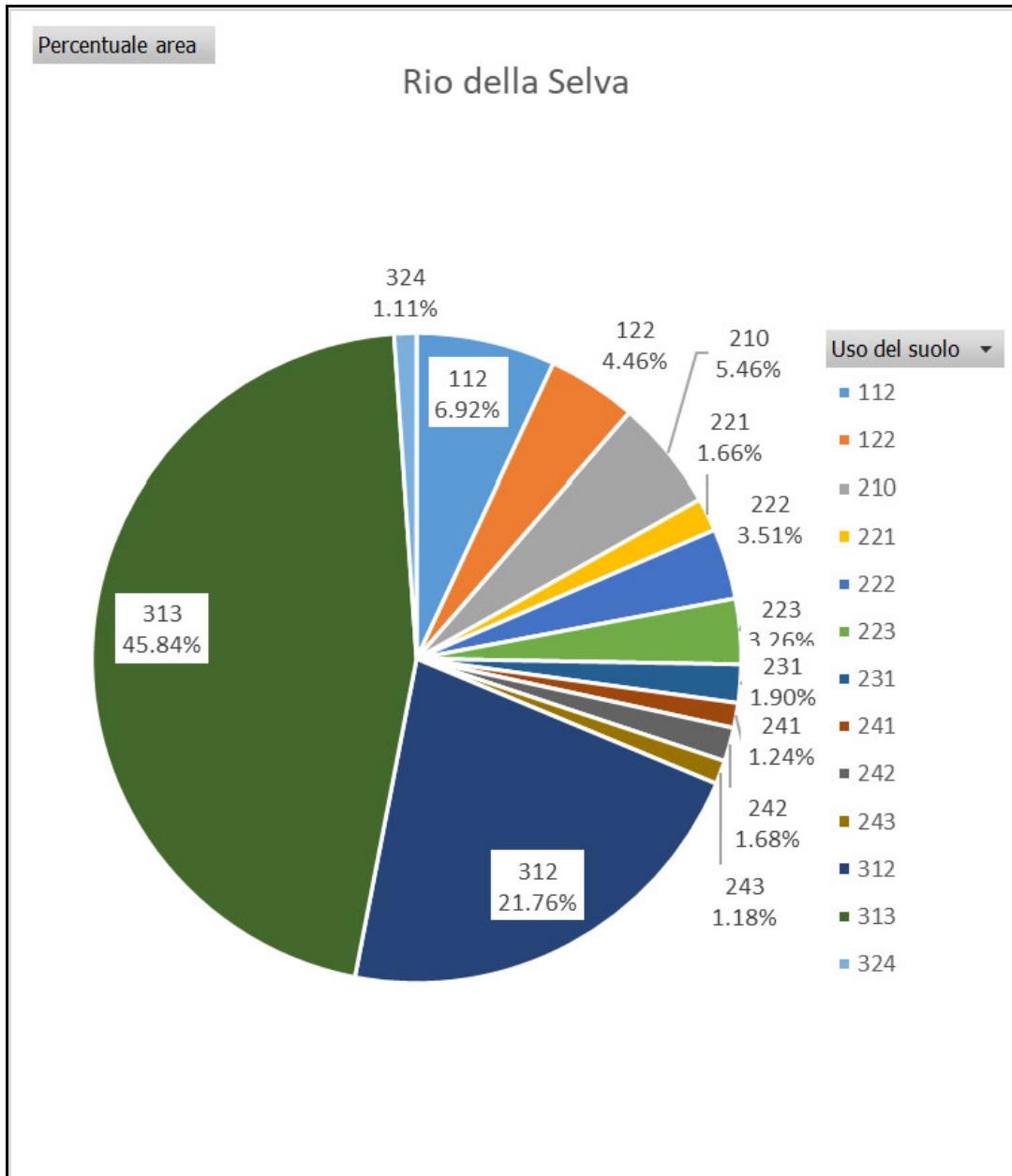
Per la definizione dell'uso del suolo è stato fatto riferimento alla mappatura del Corine Land Cover (CLC2013), che permette in ambiente GIS di definire le differenti tipologie di uso del suolo in funzione di un codice di riferimento.



Estratto dell'uso suolo del CLC ritagliato sul bacino di interesse

Nelle seguenti immagini si riporta la ripartizione tra le differenti tipologie di uso suolo.





Condizioni iniziali di saturazione

La condizione di umidità del suolo nel bacino di drenaggio prima che si verifichi il deflusso è un fattore importante che influenza il valore CN finale. Nel metodo del Curve Number, la condizione di umidità del suolo è classificata in tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition):

- AMC I: i terreni nel bacino di drenaggio sono praticamente asciutti;
- AMC II: condizioni medie;
- AMC III: i suoli nei bacini di drenaggio sono praticamente saturi di piogge antecedenti.

Queste classi si basano sulle precipitazioni nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico (ovvero la precipitazione totale accumulata prima del deflusso in esame). Nel metodo SCS è stata fatta una distinzione tra la stagione di riposo e la stagione di crescita per tenere conto delle differenze nell'evapotraspirazione.

Di solito, il valore CN dato viene assunto come CN II e i valori CN I o CN III possono essere stimati con le seguenti formule:

$$CN\ I = \frac{4.2\ CN\ II}{10 - 0.058\ CN\ II}$$

$$CN\ III = \frac{23\ CN\ II}{10 + 0.13\ CN\ II}$$

O mediante il seguente grafico:

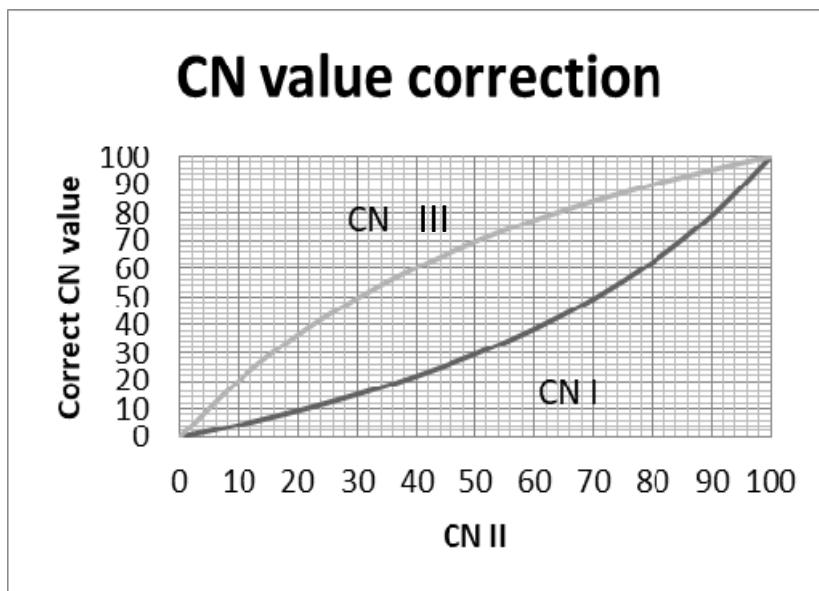


Grafico correlazione CN II con CN I e CN III

Stima del CN

Una volta definito il gruppo idrologico del suolo (gruppo C) e la condizione idrologica iniziale (AMC II) è possibile determinare il CN sulla base della seguente tabella, che fornisce il valore di CN II in funzione del tipo di uso suolo secondo la classificazione del Corine Land Cover e del gruppo idrologico.

Rio della Selva	Rio Nero
112	112
122	122
210	210
221	221
222	222
223	223
231	231
241	241
242	242
243	243
312	312
313	313
324	324
121	
133	
141	
142	
311	
512	

Corine LIVELLO 3	SCS-CN per diversi HSG				Rif. USDA 1986
	A	B	C	D	
111 - Tessuto urbano continuo	89	92	94	95	Commercial and business (85% imp.)
112 - Tessuto urbano discontinuo	77	85	90	92	1/8 acre or less (town houses) (65% imp.)/small>
121 - Unità industriali o commerciali	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
122 - Reti di strade e binari e territori associati	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
123 - Aree portuali	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
124 - Aeroporti	98	98	98	98	Paved parking lots, roofs, driveways, etc.
131 - Luoghi di estrazioni di minerali	76	85	89	91	Gravel (including right of way)
132 - Discariche	81	88	91	93	Industrial (72% imp.)
133 - Luoghi di costruzione	77	86	91	94	Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)
141 - Aree di verde urbano	49	69	79	84	Fair condition (grass cover 50 to 75%)
142 - Strutture di sport e tempo libero	68	79	86	89	Poor condition (grass cover <50%)

Rio della Selva	Rio Nero
112	112
122	122
210	210
221	221
222	222
223	223
231	231
241	241
242	242
243	243
312	312
313	313
324	324
121	121
133	133
141	141
142	142
311	311
512	512

211 - Seminativi non irrigati	61	73	81	84	Contoured (C)
212 - Suolo permanentemente irrigato	67	78	85	89	Straight row (SR)
213 - Risaie	62	71	78	81	Contoured & terraced (C&T)
221 - Vigneti	76	85	90	93	Crop residue cover
222 - Frutteti e frutti minori	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
223 - Oliveti	43	65	76	82	Woods—grass combination (orchard or tree farm)
231 - Pascoli	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
241 - Colture annuali associate a colture permanenti	61	73	81	84	Small grain
242 - Coltivazione complessa	61	73	81	84	Small grain
243 - Suoli principalmente occupati dall'agricoltura	61	73	81	84	Small grain
244 - Aree di agro-selvicoltura	43	65	76	82	Small grain
311 - Foreste a latifoglie	36	60	73	79	Woods
312 - Foreste a conifere	36	60	73	79	Woods
313 - Foreste miste	36	60	73	79	Woods
321 - Prateria naturale	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
322 - Lande e brugheria	49	69	79	84	Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing.
323 - Vegetazione sclerofila	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
324 - Transizione suolo boscoso/arbusi	35	56	70	77	Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element
331 - Spiagge, dune e piani di sabbia	46	65	77	82	12% imp.
332 - Roccia nuda	96	96	96	96	Artificial desert landscaping
333 - Aree scarsamente vegetate	63	77	85	88	Natural desert landscaping (pervious area only)

Estratto tabella CN per territori agricoli (fonte MOBIDIC regione Toscana)

Sulla base della ripartizione areale tra le differenti classi esplicitata nel grafico precedente è stata fatta la media pesata tra le aree e calcolato il valore di **CN** (AMC III) medio del bacino complessivo che risultano:

Bacino Rio nero: 90.4 – Bacino Rio della Selva 88.1

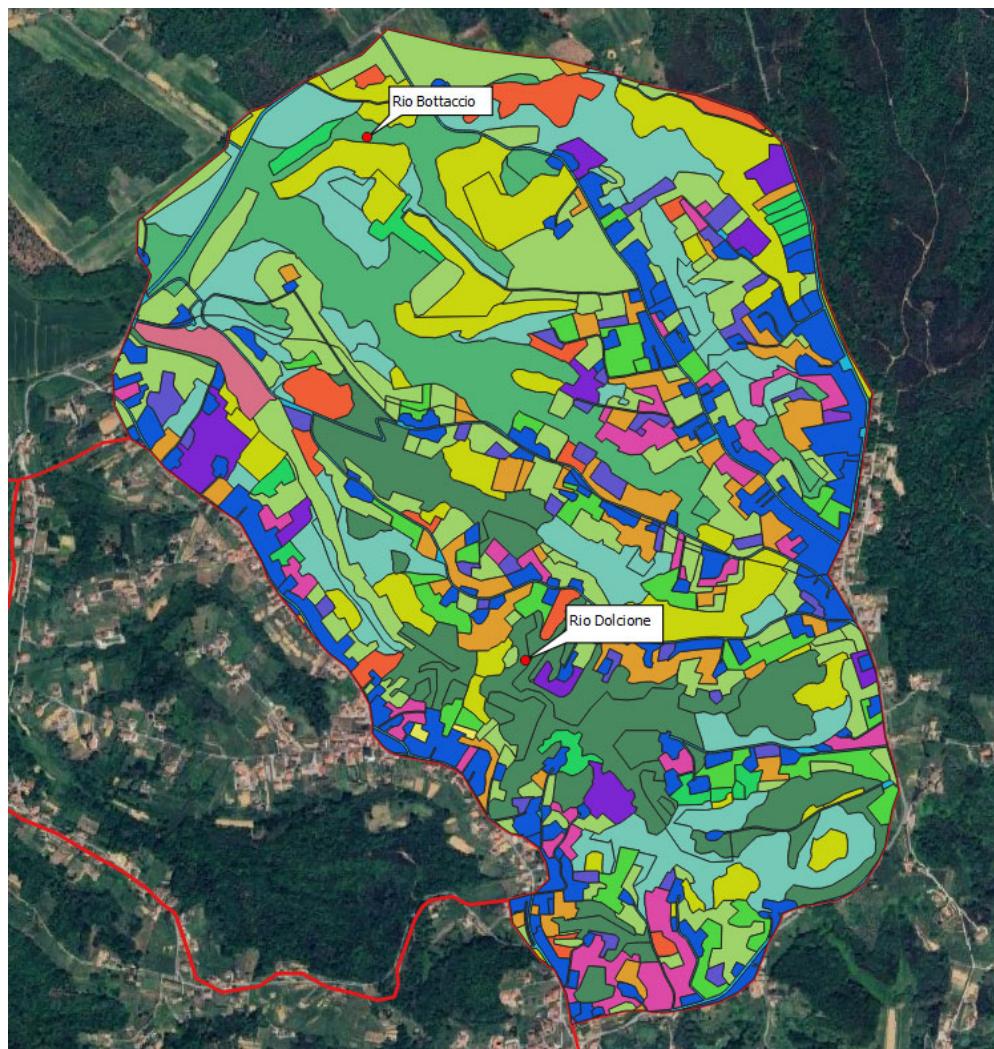
2.3 Il bacino idrografico Rio Bottaccio – Rio del Dolcione

In analogia a quanto esplicitato nel par. 2.2, è stato calcolato il CN per il sistema idraulico del bacino del Rio Bottaccio e del Rio Dolcione.

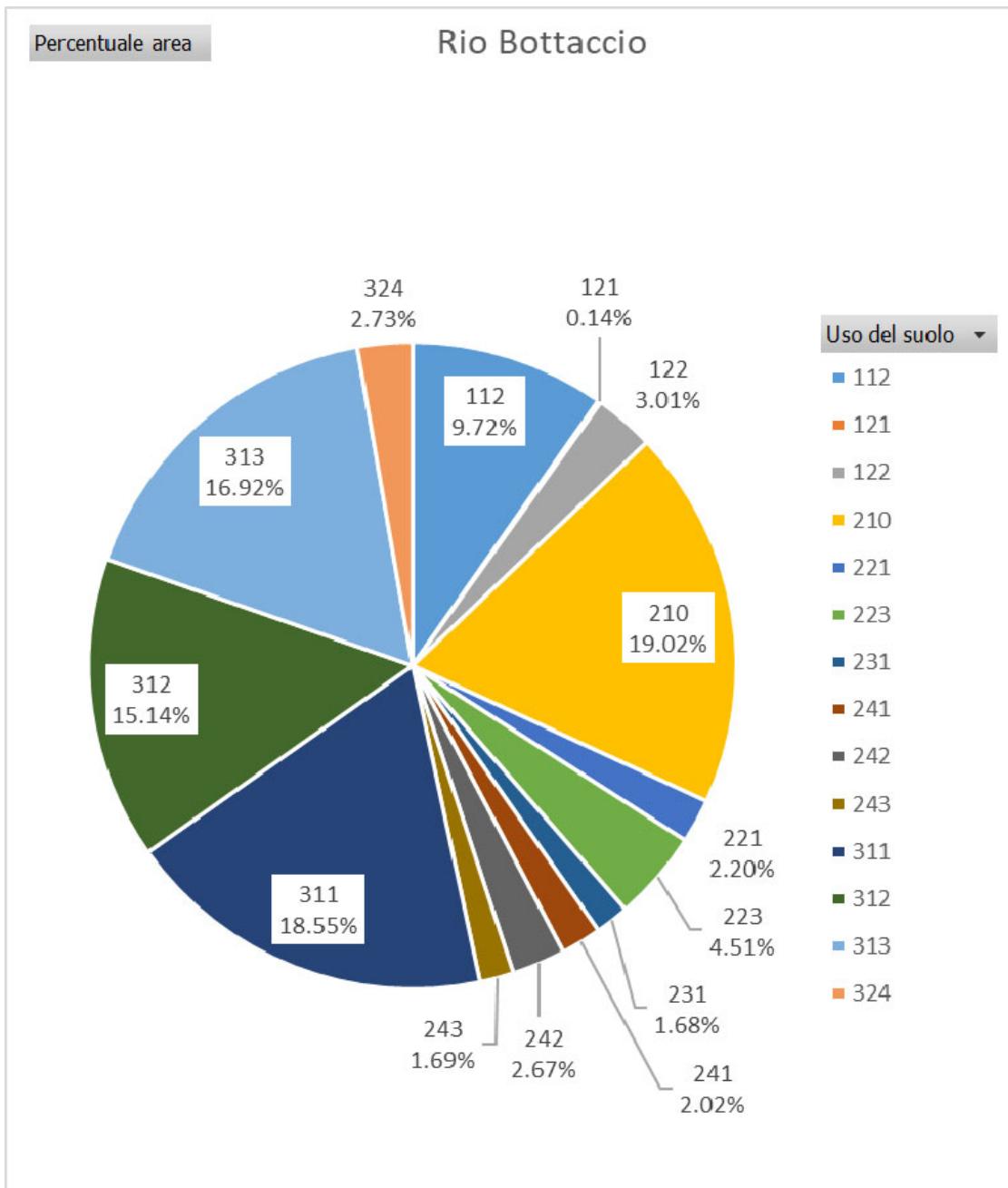
Caratteristiche Morfometriche

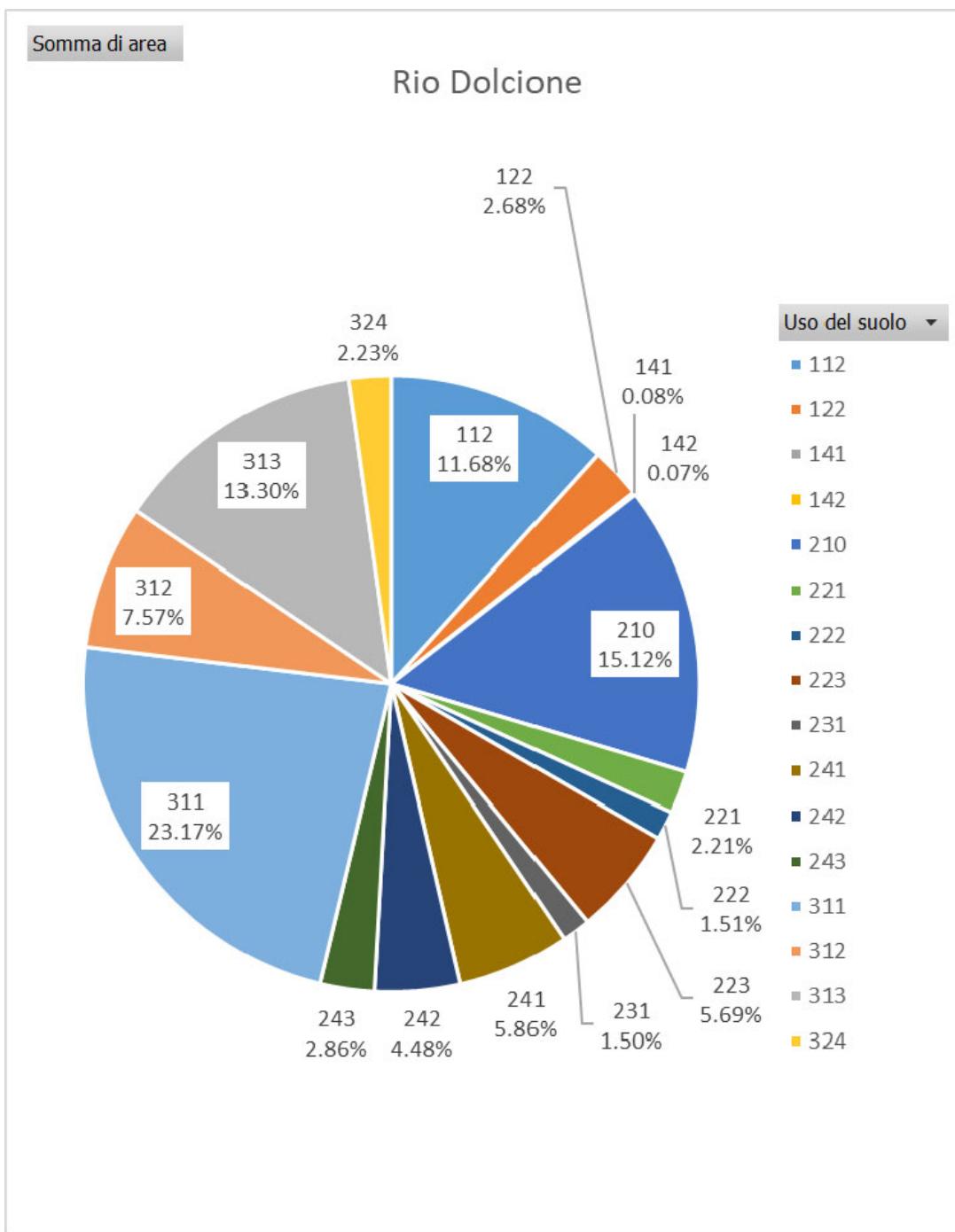
CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE Rio Bottaccio – Rio Dolcione								
BACINO	H min [m s.l.m.]	H max bacino [m s.l.m.]	H media [m s.l.m.]	A (kmq)	A (ha)	L asta [km]	H max asta [m s.l.m.]	Pend. asta
RIO Bottaccio	10	92	54	2.13	213	3.06	88	0.025
RIO Dolcione	10	98	57	2.34	234	3.18	94	0.026

Uso del Suolo



Estratto dell'uso suolo del CLC ritagliato sul bacino di interesse





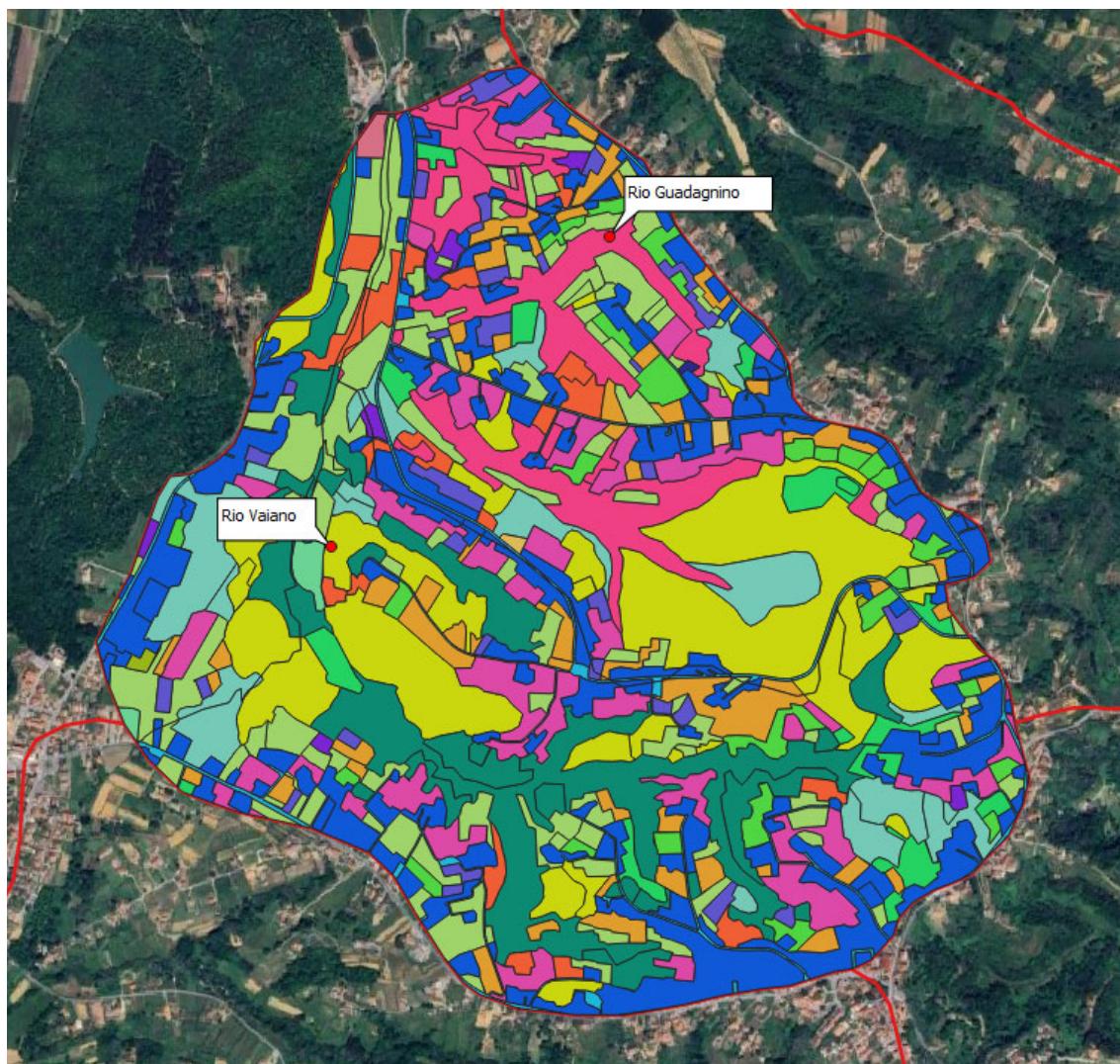
2.4 Il bacino idrografico Rio di Vaiano – Rio Guadagnino

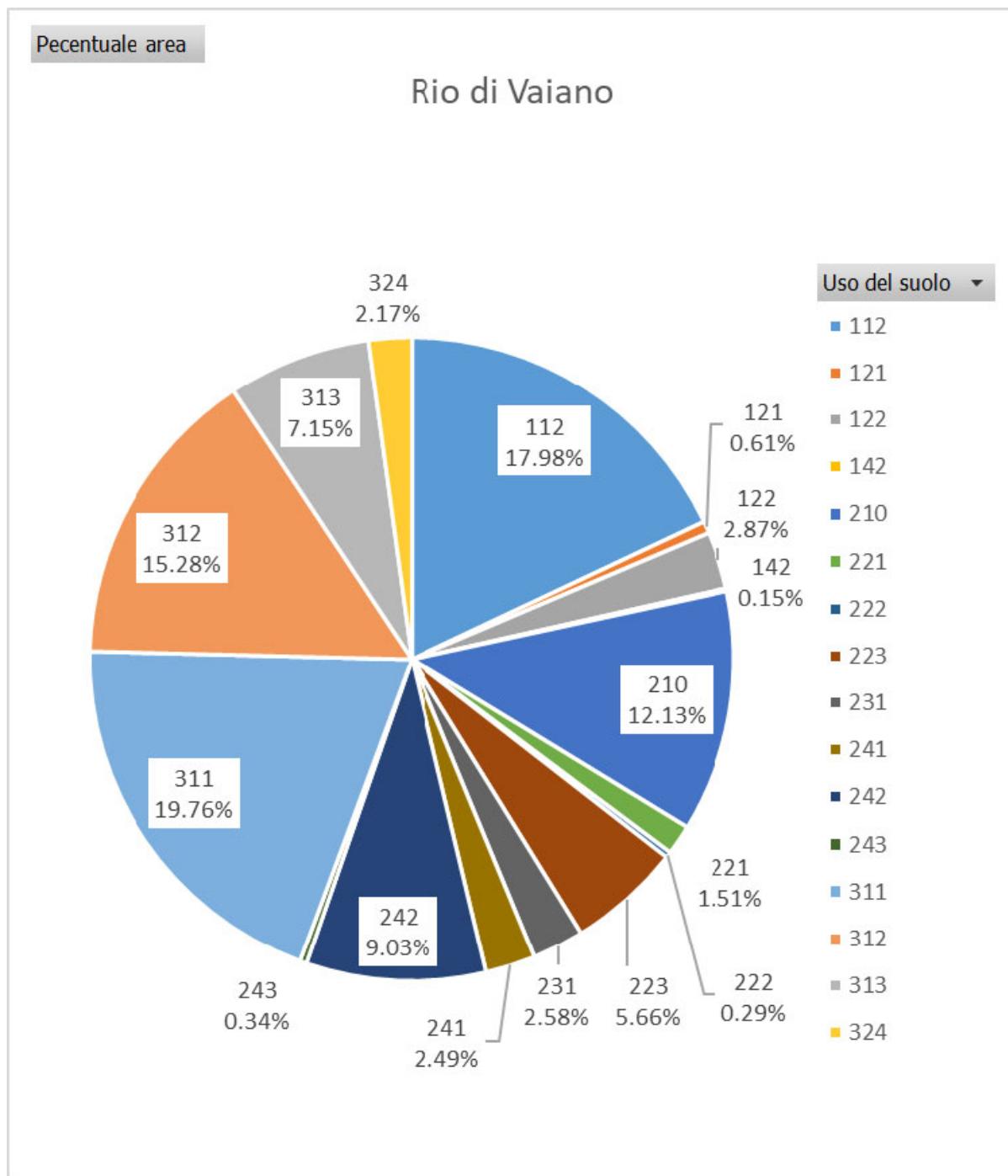
In analogia a quanto esplicitato nel par. 2.2 e 2.3, è stato calcolato il CN per il sistema idraulico del bacino del Rio Vaiano e del Rio Guadagnino

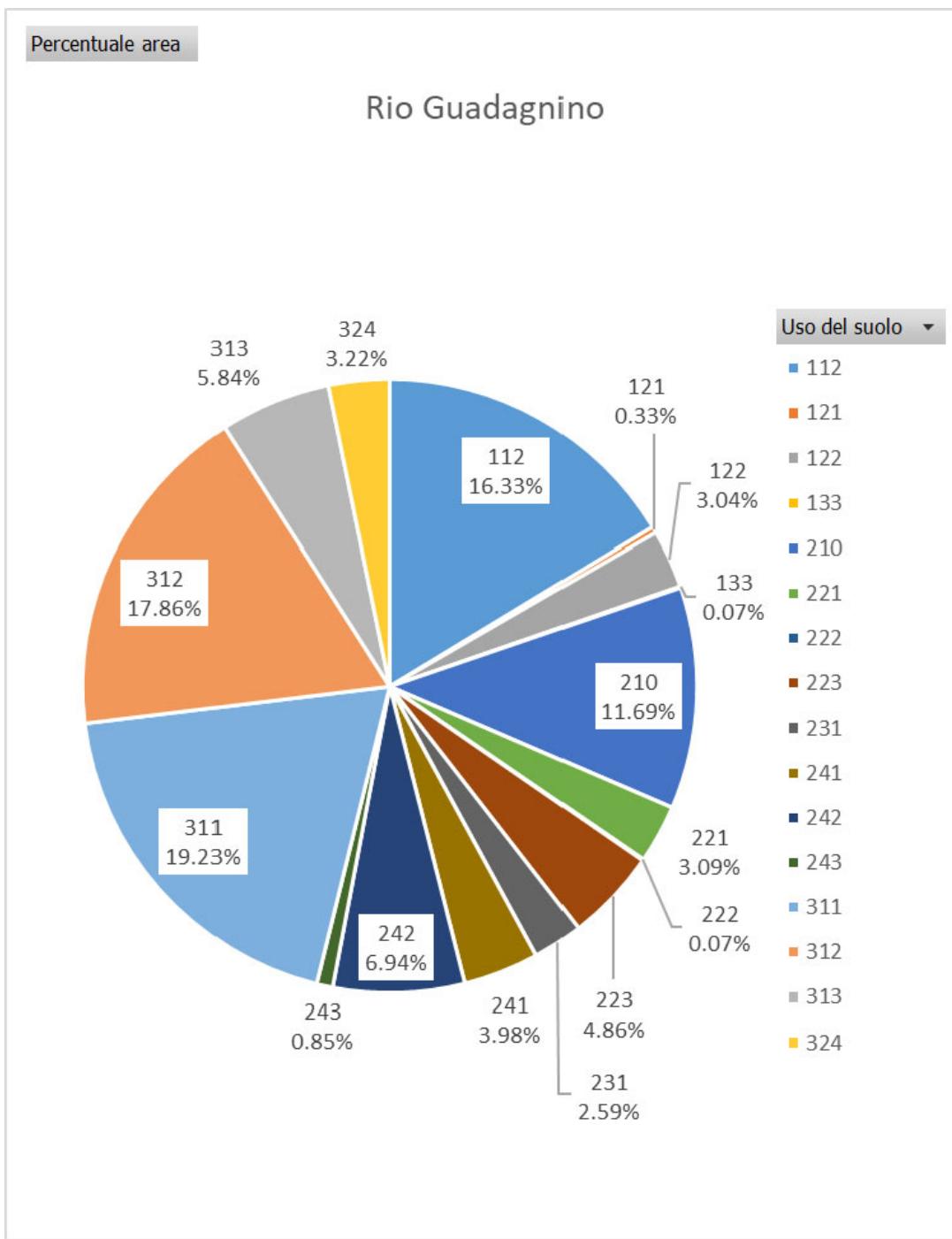
Caratteristiche Morfonometriche

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE Rio di Vaiano – Rio Guadagnino								
BACINO	H min [m s.l.m.]	H max bacino [m s.l.m.]	H media [m s.l.m.]	A (kmq)	A (ha)	L asta [km]	H max asta [m s.l.m.]	Pend. asta
Rio di Vaiano	11	101	62	2.38	238	3.72	95	0.022
Rio Guadagnino	11	97	53	1.51	151	2.37	92	0.033

Uso del Suolo







Stima del CN

Sulla base della ripartizione areale tra le differenti classi esplicitata nel grafico precedente è stata fatta la media pesata tra le aree e calcolato il valore di **CN** (AMC III) medio del bacino complessivo che risultano:

Bacino Rio di Vaiano: 89.9 – Bacino Rio Guadagnino : 89.8

Calcolo idrogrammi di piena

I modelli di trasformazione afflussi–deflussi consentono il calcolo, idealmente in ciascun punto del bacino idrografico, della precipitazione netta o efficace e della relativa produzione di deflusso superficiale; tale deflusso $q(x,t)$ risulterà funzione sia dello spazio che del tempo ed avrà le dimensioni di una portata per unità di area. Obiettivo dei modelli di formazione dell'onda di piena è la determinazione dell'andamento nel tempo $Q(t)$ della portata nella sezione fluviale di chiusura del bacino in esame, ossia del calcolo dei tempi impiegati dai deflussi $q(x,t)$ prodotti in ciascun punto x del bacino per arrivare alla sezione di chiusura. Se il tempo di trasferimento della quantità d'acqua q dal punto x generico alla sezione di chiusura fosse istantaneo, l'andamento della portata in tale sezione sarebbe pari all'integrale di q sull'area, con una stima tanto più errata quanto maggiori sono le dimensioni del bacino.

Immaginando che la quantità $q(x,t)$ rappresenti il volume “raccolto” dal bacino nell'unità di tempo, all'istante x e nel punto t , l'intervallo di tempo necessario perché questa raggiunga la sezione di chiusura (tempo di ritardo) sarà dato dalla somma del tempo necessario per raggiungere il tratto di reticolo idrografico più velocemente raggiungibile dal punto x e del tempo necessario per arrivare da questo, lungo il reticolo stesso, alla sezione di chiusura. In pratica tale tempo dipenderà dalla distanza topologica del punto x dalla sezione di chiusura e dalle velocità di scorrimento lungo i versanti ed i canali del reticolo idrografico: mentre le distanze topologiche di ciascun punto sono facilmente determinabili dalla morfologia del punto stesso, le velocità di scorrimento saranno funzione, oltre che della morfologia del bacino e delle caratteristiche idrauliche sia dei versanti che delle aste fluviali, anche delle condizioni di deflusso in ciascun punto a valle del punto x nonché del valore di q stesso (Castelli, Preti et al., 1998).

In definitiva soltanto una modellistica di tipo distribuito comprendente anche la descrizione del moto dell'acqua sia sui versanti che nei canali, è in teoria in grado di stimare correttamente questa complessa sequenza di dipendenze.

Esistono però molti modelli semplificati, basati sull'ipotesi di linearità della risposta idrografica, secondo la quale il tempo di ritardo alla sezione di chiusura del deflusso $q(x,t)$ dipende unicamente dalla posizione x di origine, che equivale nella pratica ad assumere valori costanti per le velocità dell'acqua nei versanti e sui canali. Nel caso si segua un

approccio di tipo integrato per il calcolo dei deflussi superficiali, valutati come valori medi $q(t)$ sull'intero bacino, l'ipotesi di linearità porta alla formulazione di un modello di formazione dell'onda di piena noto come Modello dell'Idrogramma Istantaneo Unitario (I. U. H.) (Sherman, 1932).

Partendo da un ragionamento di tipo probabilistico e ipotizzando lineare e stazionario il comportamento del sistema bacino idrografico, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$ variabile nel tempo, ma supposta uniformemente distribuita sull'area A dell'intero bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad [34]$$

nel quale $p(t) = i(t) \cdot A$ è la portata d'afflusso meteorico al generico istante t e la funzione $h(t)$, che prende proprio il nome di Idrogramma Istantaneo Unitario, rappresenta la risposta del bacino ad un afflusso meteorico netto di carattere impulsivo, avente cioè volume unitario ma concentrato in un intervallo di tempo infinitesimo.

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste essenzialmente nella determinazione della forma della funzione $h(t)$, che viene stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche di vario genere e stimandone i parametri o per taratura utilizzando – ove esistano – dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura o, più frequentemente, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Esistono diversi modelli attualmente utilizzati, fra i quali è stato scelto, per lo studio del bacino in esame, dalle caratteristiche geomorfologiche naturali, il Modello di Nash.

L'I.U.H, che, di fatto, costituisce il modello dell'onda di piena, viene stimato fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche di vario genere e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura o, come accade più frequentemente, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Il modello di Nash, uno fra i più diffusi ed utilizzato nel presente studio, è basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari posti in serie.

Partendo dal caso di un singolo serbatoio la legge di svuotamento di un serbatoio lineare stabilisce che il volume invasato $V(t)$ e la portata in uscita dal serbatoio $Q(t)$ sono proporzionali secondo la legge:

$$Q(t) = \frac{I}{K}V(t) \quad [35]$$

dove K è la costante del serbatoio, con le unità di misura di un tempo. Se $I(t)$ è una generica portata in ingresso al serbatoio, la legge del bilancio di massa può essere scritta come:

$$\frac{dV}{dt} = I(t) - Q(t) = I(t) - \frac{I}{K}V(t) \quad [36]$$

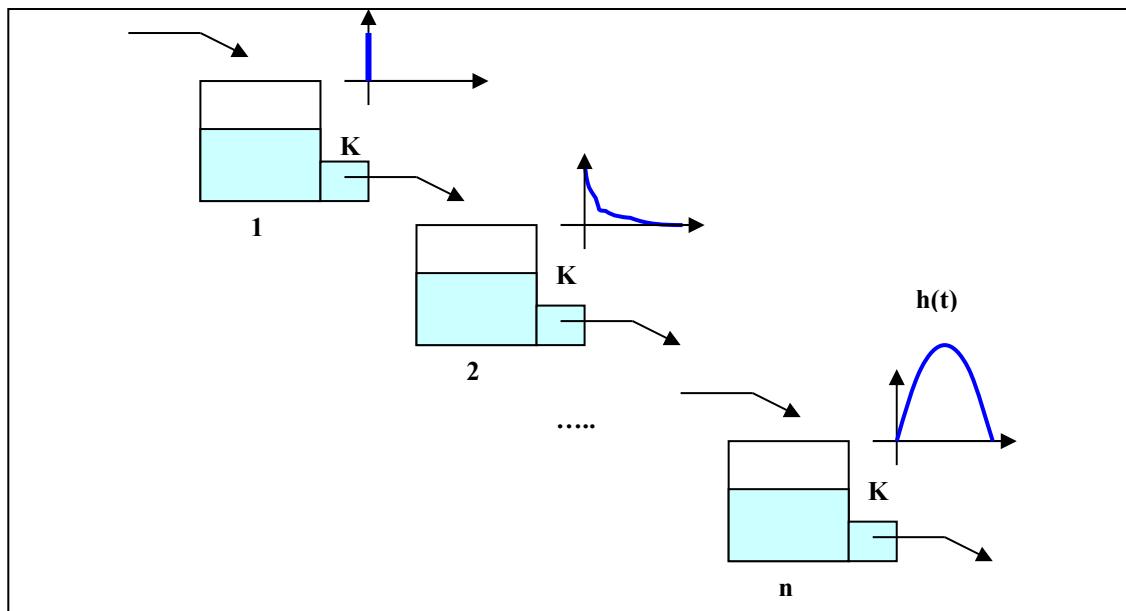
che può essere risolta in $V(t)$, e quindi in $Q(t)$, note le portate in ingresso $I(t)$ e la condizione iniziale $V = V_0$ per $t=0$.

Se la portata in ingresso è una portata unitaria istantanea per unità di area, la soluzione della precedente equazione, assimilando il comportamento del bacino a quello di un serbatoio lineare di costante temporale K , fornisce:

$$h(t) = \frac{I}{K}e^{-\frac{t}{K}} \quad [37]$$

Tale formula offre un primo semplice modello di idrogramma istantaneo unitario, denominato Modello dell’Invaso, che trova comunque scarsa applicabilità poiché la supposizione che il bacino possa essere considerato come un unico serbatoio appare non realistica.

Se si suppone invece che il bacino si comporti come un insieme di n serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico K , la portata in uscita da ciascuno di essi, calcolabile tramite l’equazione [37], andrà a costituire l’ingresso al serbatoio successivo; quindi potrà essere applicata l’equazione [36] al fine di calcolarne la portata in uscita.



Schematizzazione del bacino come un insieme di n serbatoi lineari

Ripetendo tale procedura per ognuno degli n serbatoi, la portata in uscita dall' n -esimo costituirà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, rappresentato dalla seguente espressione (Nash, 1959) nota come Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash:

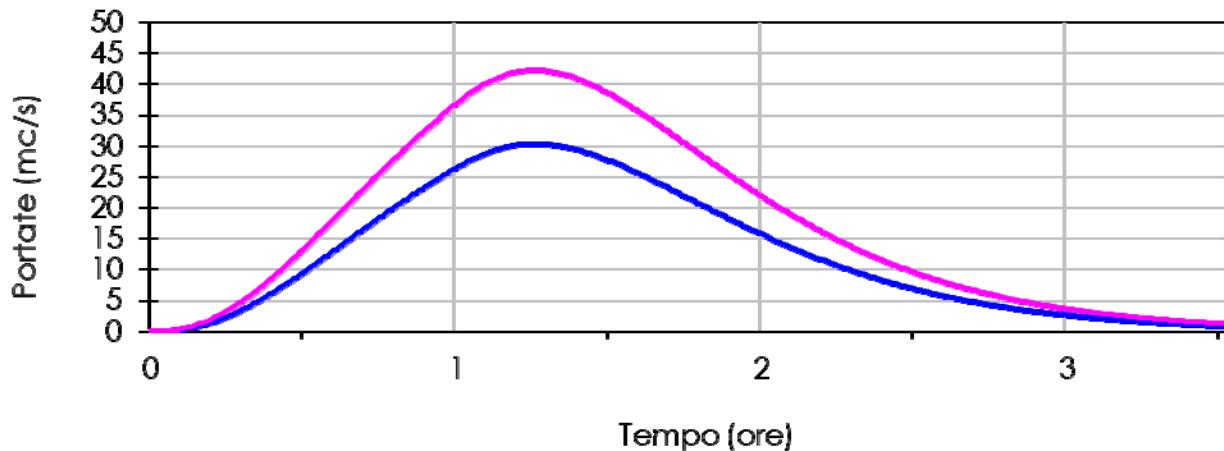
$$h(t) = \frac{1}{K} \left(\frac{t}{K} \right)^n \frac{e^{-t/K}}{\Gamma(n)} \quad [38]$$

dove la funzione $\Gamma(n)$ rappresenta la distribuzione Γ del parametro n .

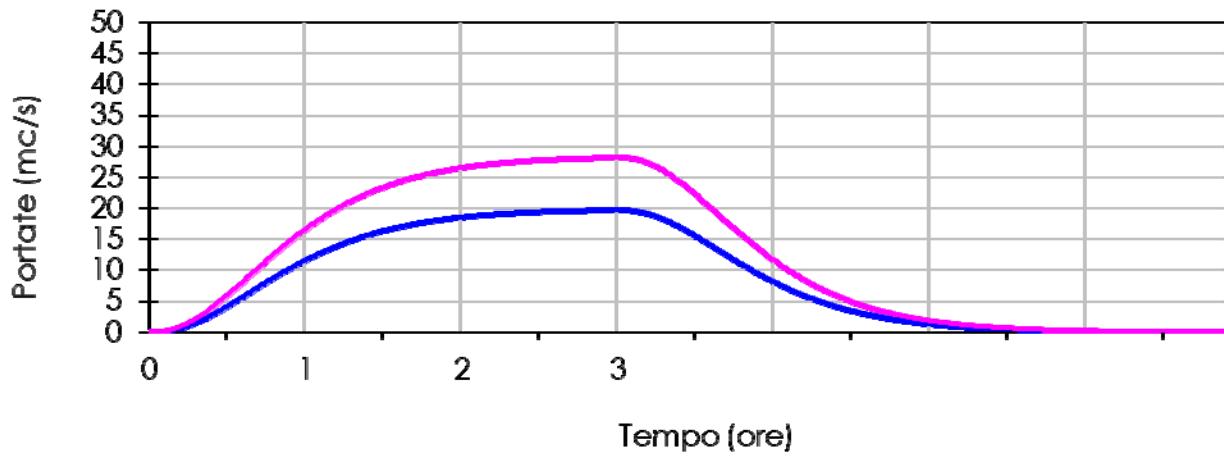
La determinazione dei parametri K e n del modello di Nash richiederebbe, come in un qualsiasi modello basato sul concetto di idrogramma istantaneo unitario, la disponibilità di registrazioni di piogge e portate per un certo numero di eventi di piena sul bacino in esame, tramite i quali calibrare i parametri stessi (Castelli, Preti et al., 1998).

Nei grafici seguenti si esplicitano gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno 30 e 200 anni per i bacini presi in esame, con tempi di pioggia di picco (1 ora) e anche per tempi di pioggia più lunghi (3 ore) al fine di avere volumi in gioco maggiori.

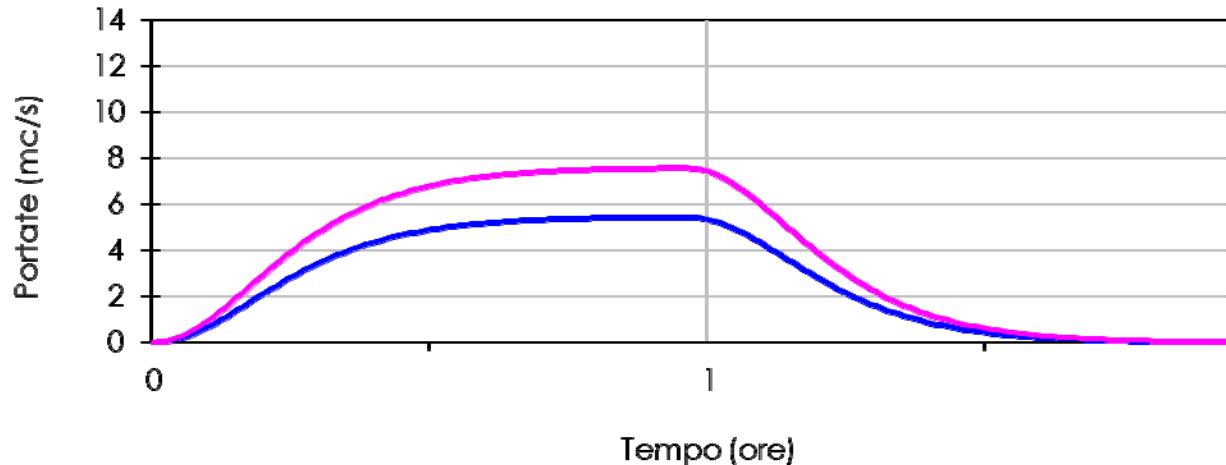
- Rio Nero -
Idrogrammi di piena TR 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 1.0 ore - CN 90.4



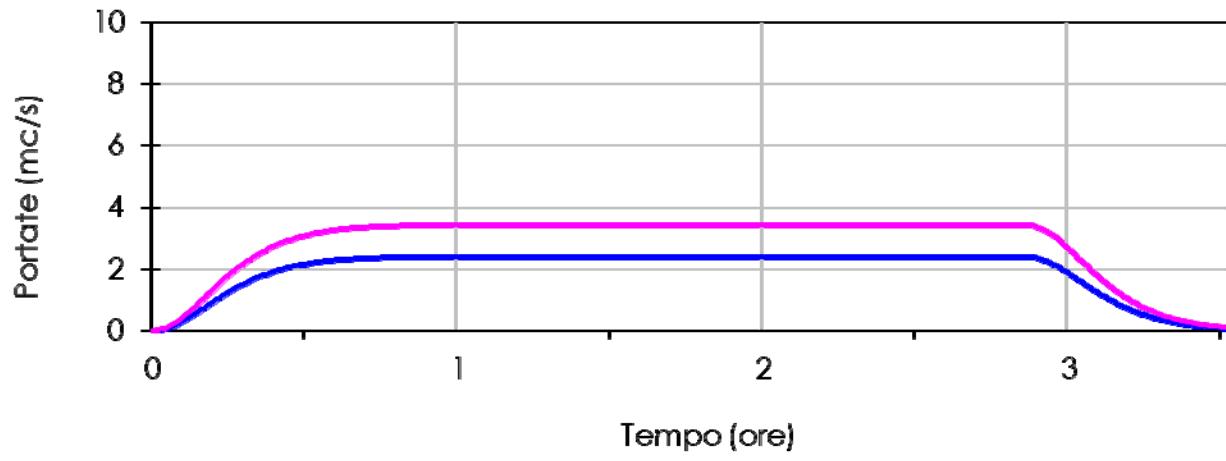
- Rio Nero -
Idrogrammi di piena TR 200 e Tr30 anni
Tpioggia = 3.0 ore - CN 90.4



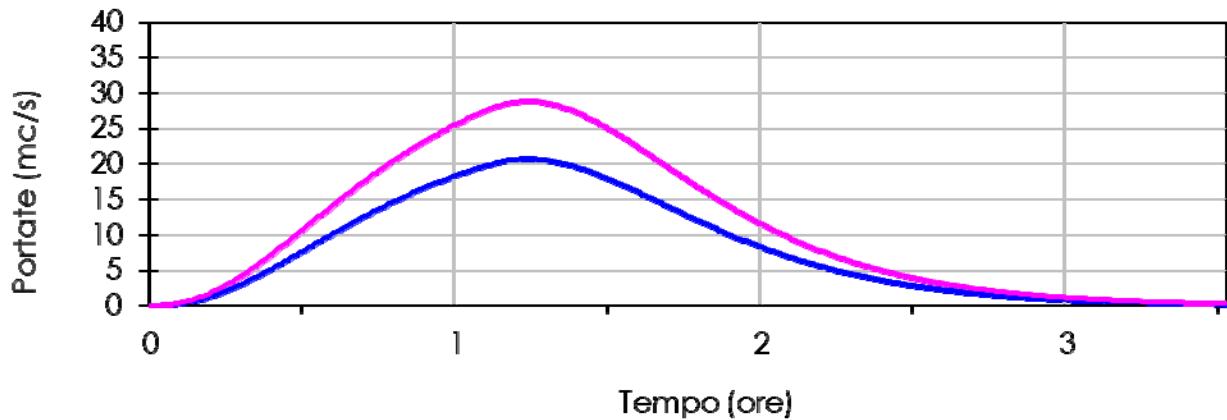
- Rio Selva -
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 1 ore - CN 88.1



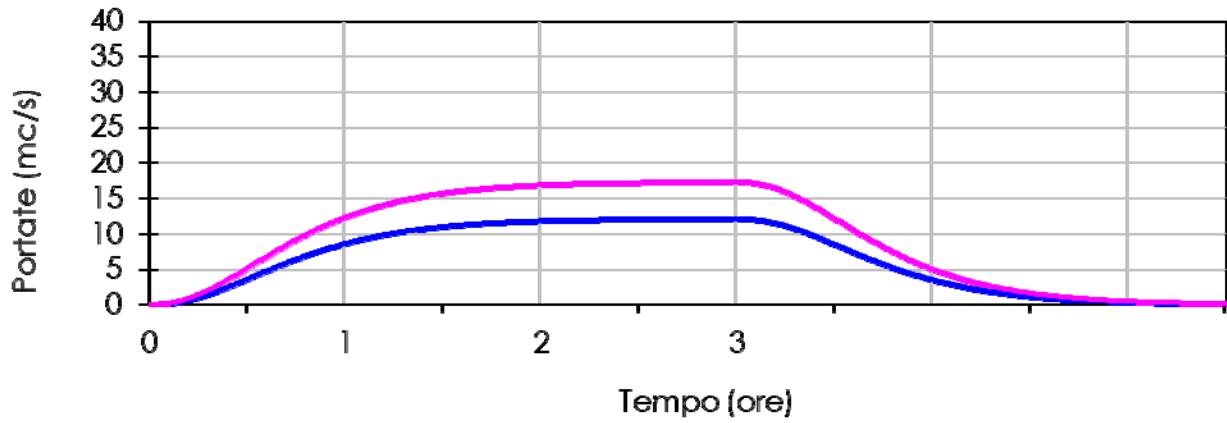
- Rio Selva -
Idrogrammi di piena TR 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 3 ore - CN 88.1



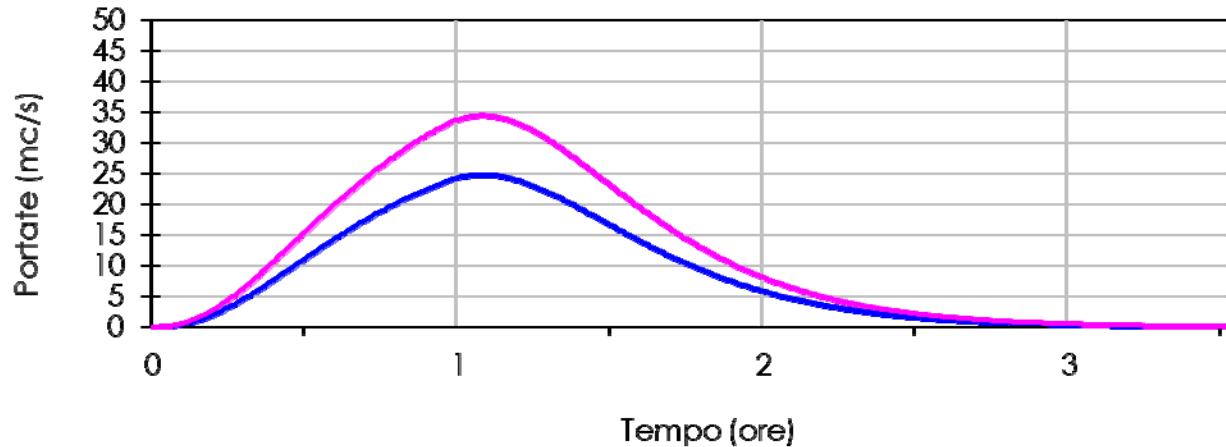
- Rio Bottaccio-
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpiaoggia = 1.0 ore - CN 89.3



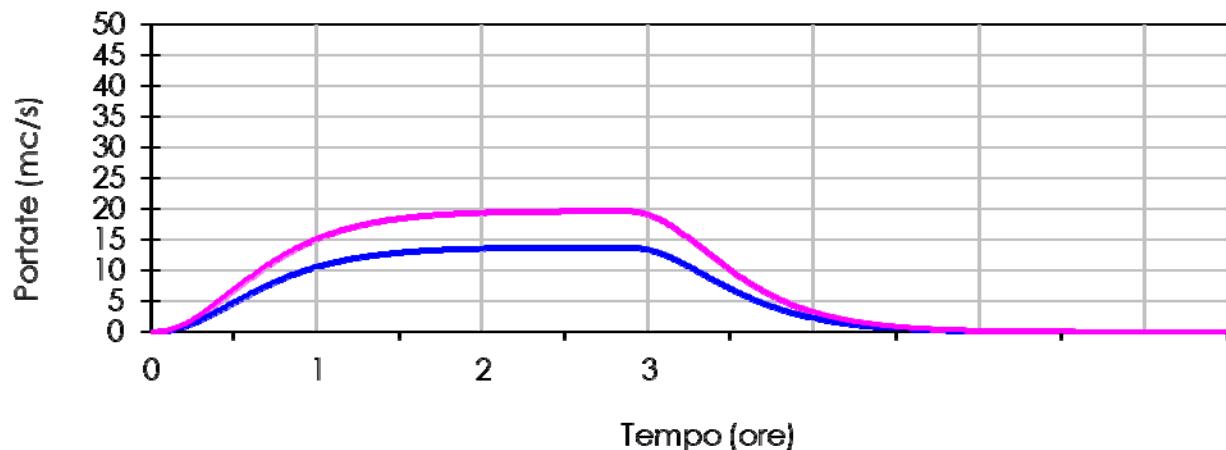
- Rio Bottaccio-
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpiaoggia = 3.0 ore - CN 89.3



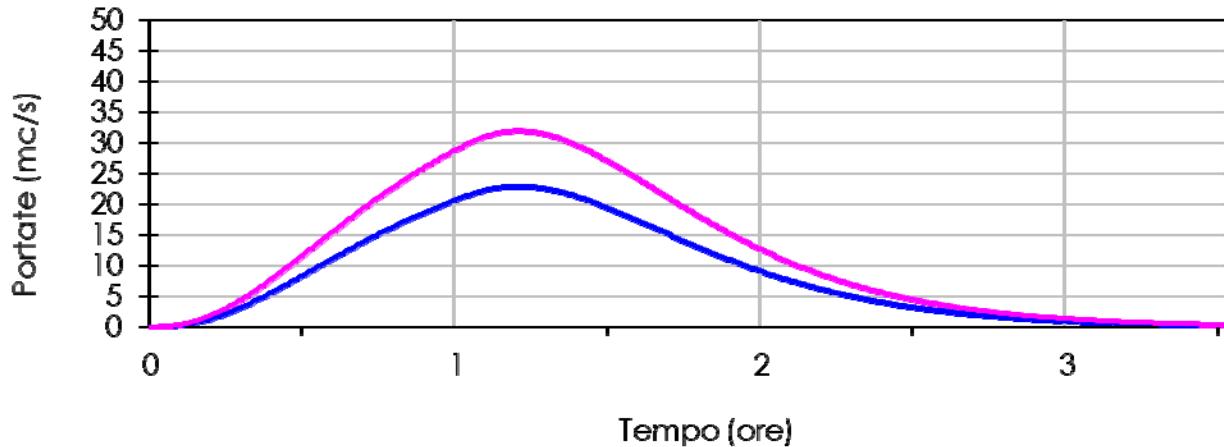
- Rio Dolcione -
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 1.0 ore - CN 89.6



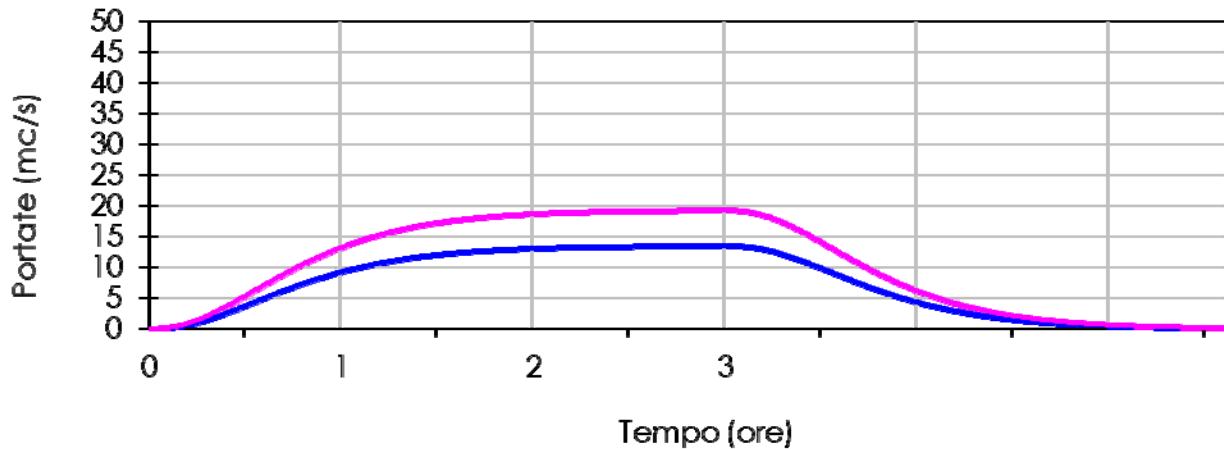
- Rio Dolcione -
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 3.0 ore - CN 89.6



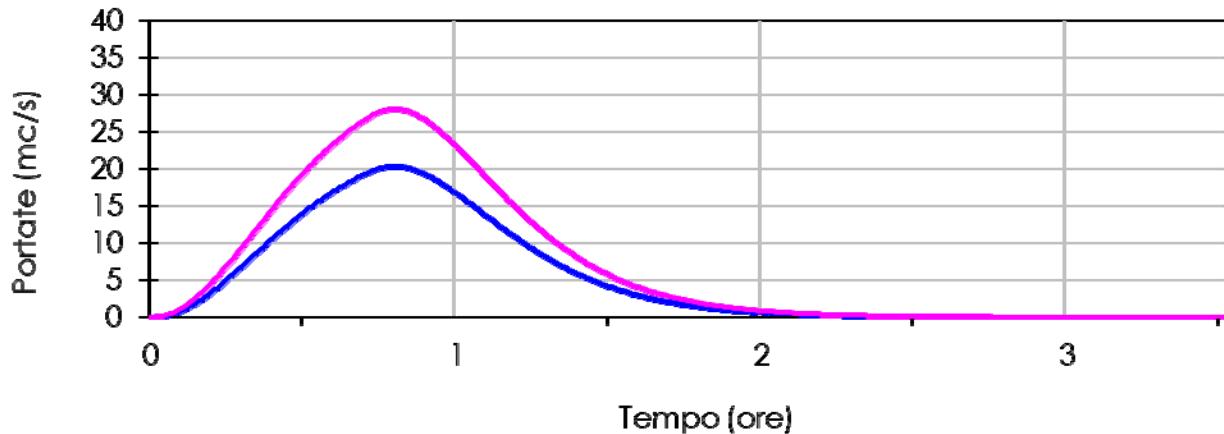
- Rio di Valano -
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 1.0 ore - CN 89.3



- Rio di Valano -
Idrogrammi di piena Tr 200 anni e Tr 30 anni
Tpioggia = 3.0 ore - CN 89.3



- Rio Guadagnino-
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 1.0 ore - CN 89.8



- Rio Guadagnino-
Idrogrammi di piena Tr 200 e Tr 30 anni
Tpioggia = 3.0 ore - CN 89.8

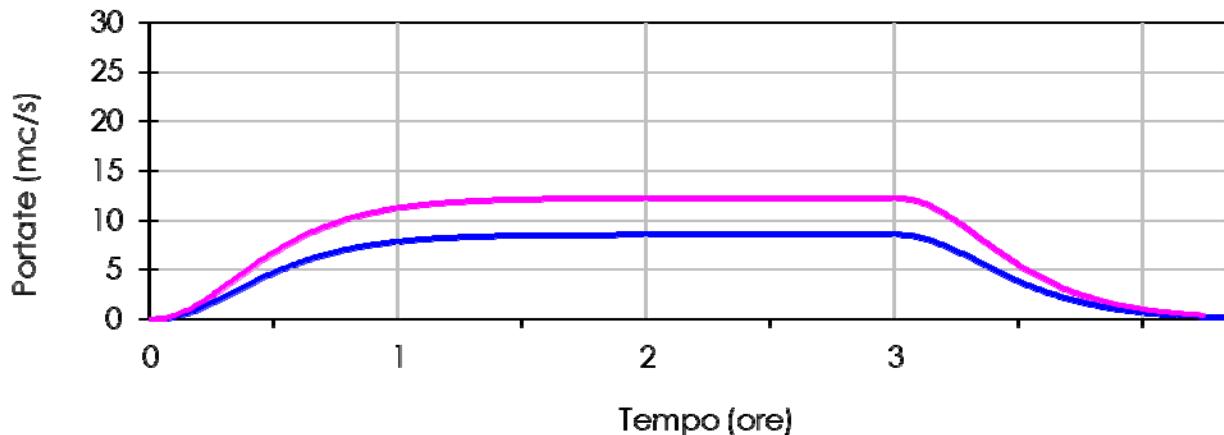


Tabella riassuntiva Qmax Tr 30 anni – Tp 1 e 3 ore

Rio	Tp1h – mc/s	Tp3h – mc/s
Nero	30	20
Selva	6	2
Botticino	20	12
Dolcione	25	14
Vaiano	23	14
Guadagnino	20	9

Tabella riassuntiva Qmax Tr 200 anni – Tp 1 e 3 ore

Rio	Tp1h – mc/s	Tp3h – mc/s
Nero	43	28
Selva	8	4
Botticino	29	18
Dolcione	35	20
Vaiano	32	20
Guadagnino	28	13

3. Le verifiche idrauliche

3.1 La modellazione idraulica

La simulazione idraulica è stata implementata utilizzando il software HEC-RAS 6.2 sviluppato dall'US Army Corps of Engineers (USACE), progettato per eseguire calcoli idraulici unidimensionali e bidimensionali.

Le versioni più recenti del software permettono di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. È possibile eseguire una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema quasi-bidimensionale e/o bidimensionale puro (2D) per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi, con l'aggiunta di un'area 2D nel modello nello stesso modo in cui si aggiungerebbe una cella d'accumulo (storage area) nel modello quasi-bidimensionale.

Un'area 2D viene aggiunta nel modello disegnando un poligono 2D, definendo il modello digitale del terreno e quindi agganciando l'area 2D al modello monodimensionale attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (lateral structure). Oppure è possibile implementare una modellazione solo 2D inserendo, all'interno o lungo il perimetro di area 2D, delle boundary condition line lungo le quali definire le condizioni al contorno presenti (idrogrammi di esondazione, battenti costanti, pendenza di moto uniforme, etc..).

L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabile a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. Tale approccio migliora l'analisi in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.
- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate non strutturate: il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturati o non strutturati. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-trattata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione.

A partire dalla geometria implementata e dalle condizioni al contorno definite (dati di input e condizioni di valle), vengono creati tramite il RAS Mapper i set di dati relativi alla profondità dell'inondazione, alle velocità e ai battenti in quote assolute. Tali dati possono poi essere estratti e trattati in ambiente GIS.

Descrizione della procedura adottata nella modellazione

In questo studio la modellazione HEC-RAS è stata sviluppata seguendo la procedura descritta di seguito:

1. Elaborazione del modello del terreno nel formato binario a virgola mobile raster (.flt) con RAS Mapper, a partire dal modello DTM ricavato dall'unione dei vari riquadri del Lidar.
2. Implementazione della geometria come modello combinato monodimensionale per l'asta fluviale e bidimensionale per le aree allagabili.

Relativamente alle geometrie implementate per la modellazione monodimensionale dei corsi d'acqua sono stati eseguiti dei rilievi sui corsi d'acqua studiati utilizzando stazione GPS. I capisaldi utilizzati sono omogenei con le quote Lidar.

Relativamente alle aree allagabili sono state inserite varie aree 2D che coprono tutte le zone che posso essere interessate da esondazioni dei corsi d'acqua studiati. Le arre 2D, agganciate al DTM, sono state ripartite con maglie in generale di 10 m x 10 m con affinamenti locali in corrispondenza di singolarità morfologiche.

3. Definizione delle condizioni al contorno, corrispondenti agli idrogrammi di piena dei corsi d'acqua studiati per i vari scenari di verifica.

Oltre agli idrogrammi, come dato di input, sono state inserite nel modello di verifica le condizioni al contorno di valle, che corrispondono alla condizione di moto uniforme delle sezioni di chiusura delle aste studiate.

4. Esecuzione del modello di moto vario con regime di flusso misto, risolvendo il moto bidimensionale (2D) con equazioni di diffusione dell'onda con un passo temporale di calcolo di 5 secondi.

5. Post elaborazione con Floodplain Mapping: i perimetri delle aree allagabili e le profondità dell'acqua dovute al transito delle portate di piena e le relative velocità massime sono stati estratti da RAS Mapper per i diversi tempi di ritorno di interesse e nei vari scenari di verifica.

3.2 La modellazione bidimensionale delle aree allagabili

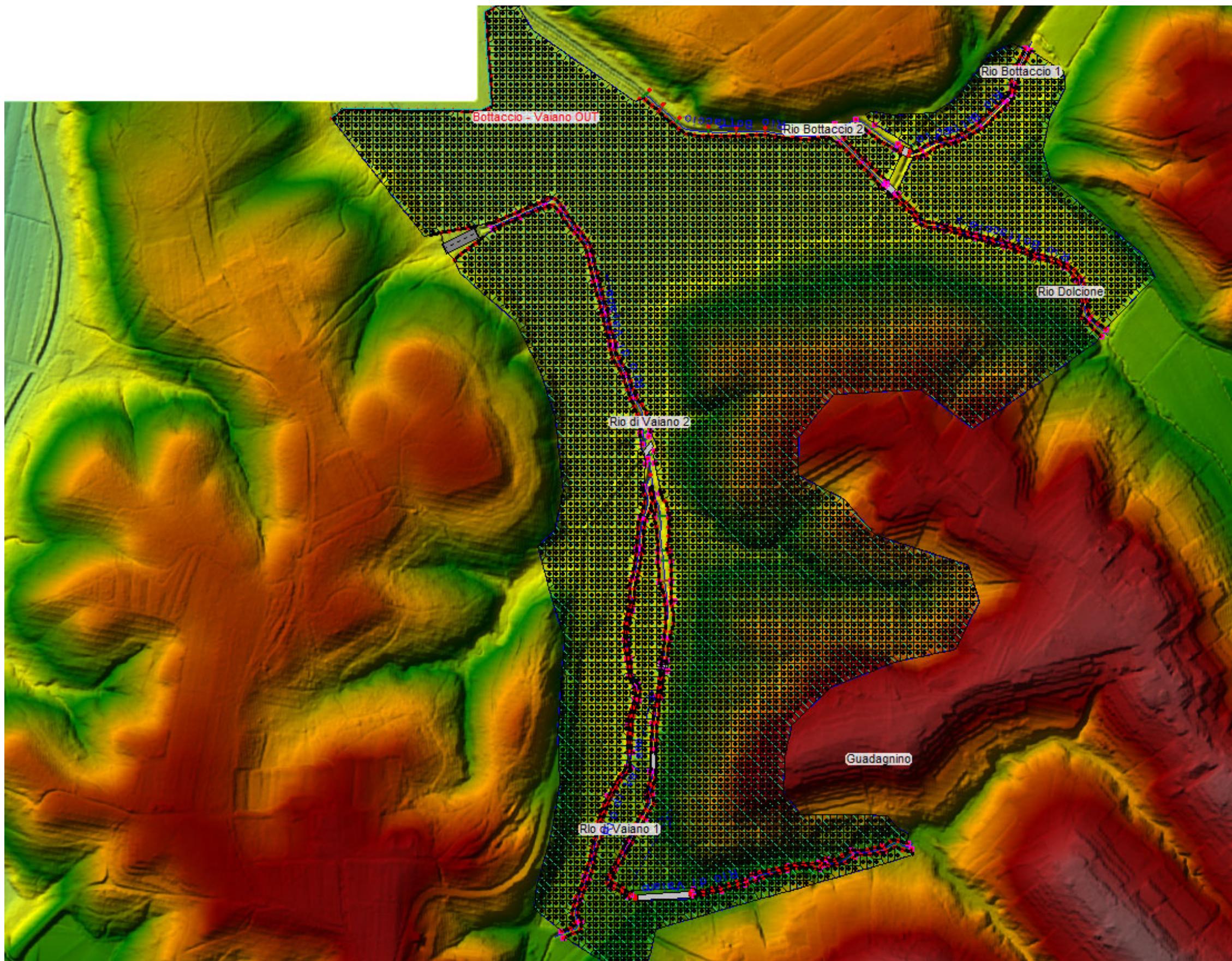
Il modello digitale del terreno utilizzato nell'ambito della verifica idraulica è stato ricavato dal LiDAR 1m x 1m (Light Detection And Ranging).

Per definire l'approccio metodologico generale adottato nella modellazione bidimensionale è stata fatta una comparazione preliminare tra l'utilizzo delle sezioni estese e la modellazione 2D per le aree golenali.

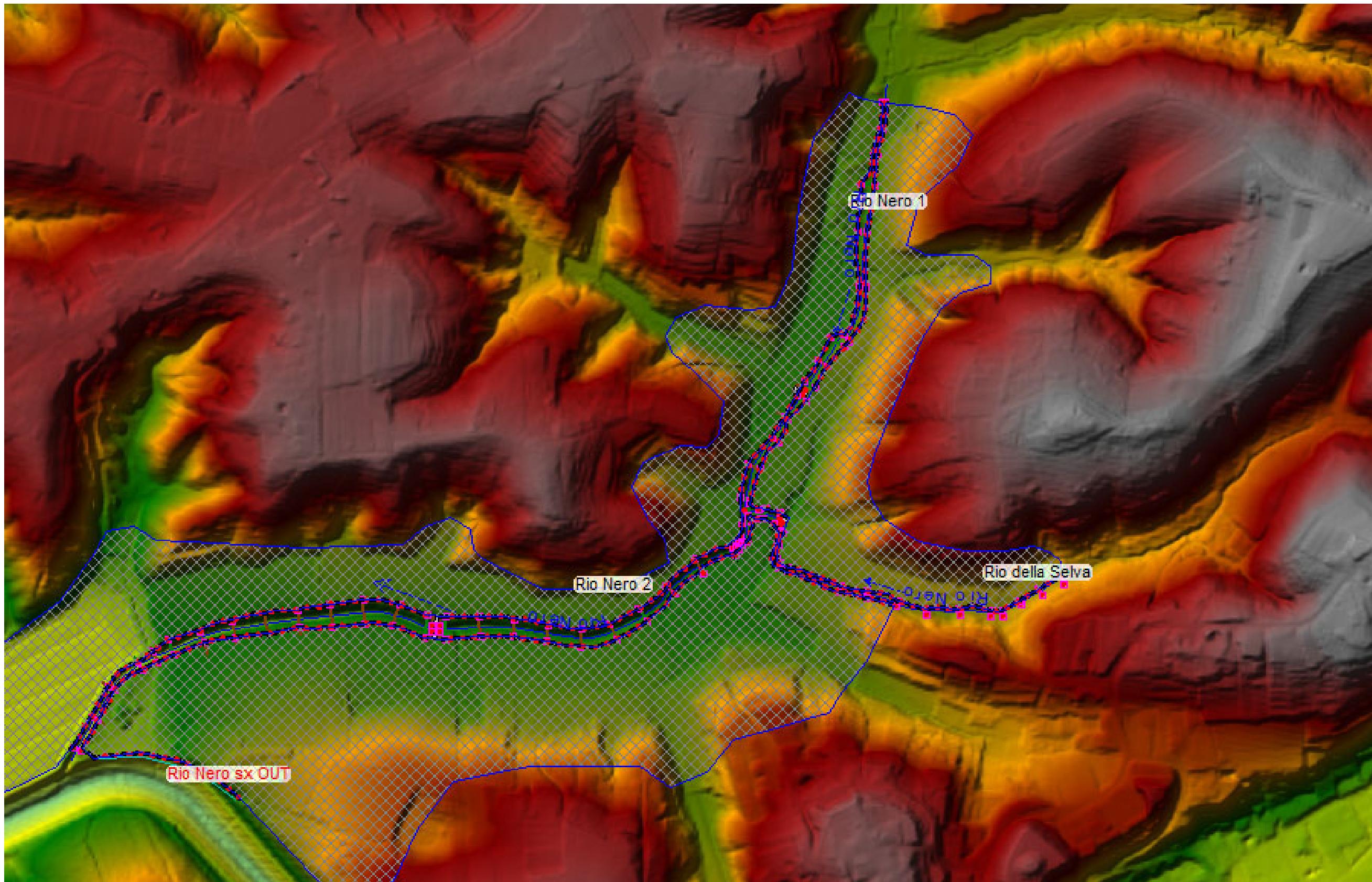
Nella geometria del modello si è privilegiato l'utilizzo della modellazione 2d nelle aree di entità rilevante esterne all'alveo inciso in quanto si è ritenuto che tale scelta rispecchi più fedelmente i fenomeni esondativi, oltre che a dettagliarne la dinamica di deflusso in direzione ortogonale dei corsi d'acqua. Le “lateral structures” in questo caso sono state sempre riferite ai cigli di sponda/arginature in maniera da rendere la dinamica bidimensionale la più corretta possibile.

Nelle pagine successive si riportano le geometrie dei modelli sviluppati.

Geometria sistema idraulico Rio Bottaccio – Rio Dolcione – Rio Vaiano – Rio Guadagnino



Geometria sistema idraulico Rio Neo – Rio della Selva



3.3 La scabrezza adottata

Per i coefficienti di scabrezza da inserire nella geometria del modello si è fatto riferimento, in prima analisi, ai modelli idraulici sviluppati e approvati recentemente. Viste le modeste dimensioni delle sezioni di deflusso e le caratteristiche piuttosto omogenee tra fondo alveo e sponde, si è ritenuto opportuno utilizzare una scabrezza omogenea.

Mannings Value

Left Overbank	Central Chanel	Right Overbank
0.035	0.035	0.035

Per le aree 2D è stato utilizzato come coefficiente di scabrezza – Manning pari a 0.06.

Riepilogo parametri adottati nella modellazione idraulica 1D-2D:

PARAMETRO	VALORE
COEFF. DI MANNING ALVEO [s/m ^{-1/3}]	0.035
COEFF. DI MANNING ATTRAVERSAMENTI - CULVERT [s/m ^{-1/3}]	0.022
COEFF. DI MANNING AREA 2D [s/m ^{-1/3}]	0.06
DIMENSIONI MESH AREA 2D [m]	10 x 7.5
WEIR COEFFICIENT LATERAL STRUCTURE CIGLIO DI SPONDA – C _d [m ^{1/2} /s]	0.28
METODO DI CALCOLO PONTI (HIGH FLOW METHODS)	energy

3.4 I risultati delle modellazioni idrauliche.

3.4.1 Il sistema idraulico Rio di Bottaccio – e Rio del Dolcione

Il tratto di monte del Rio Bottaccio (Rio Bottaccio 1) presenta un attraversamento costituito da un Ø 1000, che risulta pesantemente insufficiente per il transito della portata di progetto sia Tr=200 che Tr 30 anni. L'attraversamento più a valle risulta anch'esso insufficiente per il transito della Tr=200 anni. Le sezioni idrauliche risultano inadeguate.

Nel tratto di valle non risultano presenti ulteriori attraversamenti, e le sezioni idrauliche risultano più adeguate, rispetto al tratto di monte, per il transito della portata di verifica.

Per quanto riguarda il Rio Dolcione, le sue sezioni risultano appena insufficienti per il transito della portata di progetto: anche l'attraversamento presente sulla Via Valdinievole Nord, risulta appena insufficiente al transito della portata di verifica.

Tale situazione determina fenomeni di esondazione che interessano tutto il fondo valle del sistema idraulico Bottaccio – Dolcione, sia per Tr=30 anni che per Tr=200 anni, **con battenti idraulici massimi attesi varabili tra 1.5 m – 1.8 m.**

3.4.2 Il sistema idraulico Rio di Vaiano – Rio del Guadagnino

Il rio Vaiano, in tutto il suo tratto, è caratterizzato da sezioni di deflusso non abbastanza capienti da far transitare la portata di progetto. L'attraversamento sulla strada Valdinievole Nord risulta pesantemente insufficiente per il transito della portata con Tr 200 anni. In particolare, la sezione dell'attraversamento risulta fortemente parzializzata dalla presenza di materiale lapideo depositato.

Il rio Guadagnino è caratterizzato da numerosi tombamenti, qualcuno anche molto esteso, che inficiano pesantemente sul transito della portata di verifica. Anche le sezioni di deflusso risultano ampiamente insufficienti.

Anche in questo caso, sia per la portata con $Tr=30$ anni che per la $TR=200$ anni, il fondovalle in cui scorrono i due corsi d'acqua, risulta caratterizzato da battenti idraulici **che possono superare 1.5 m.**

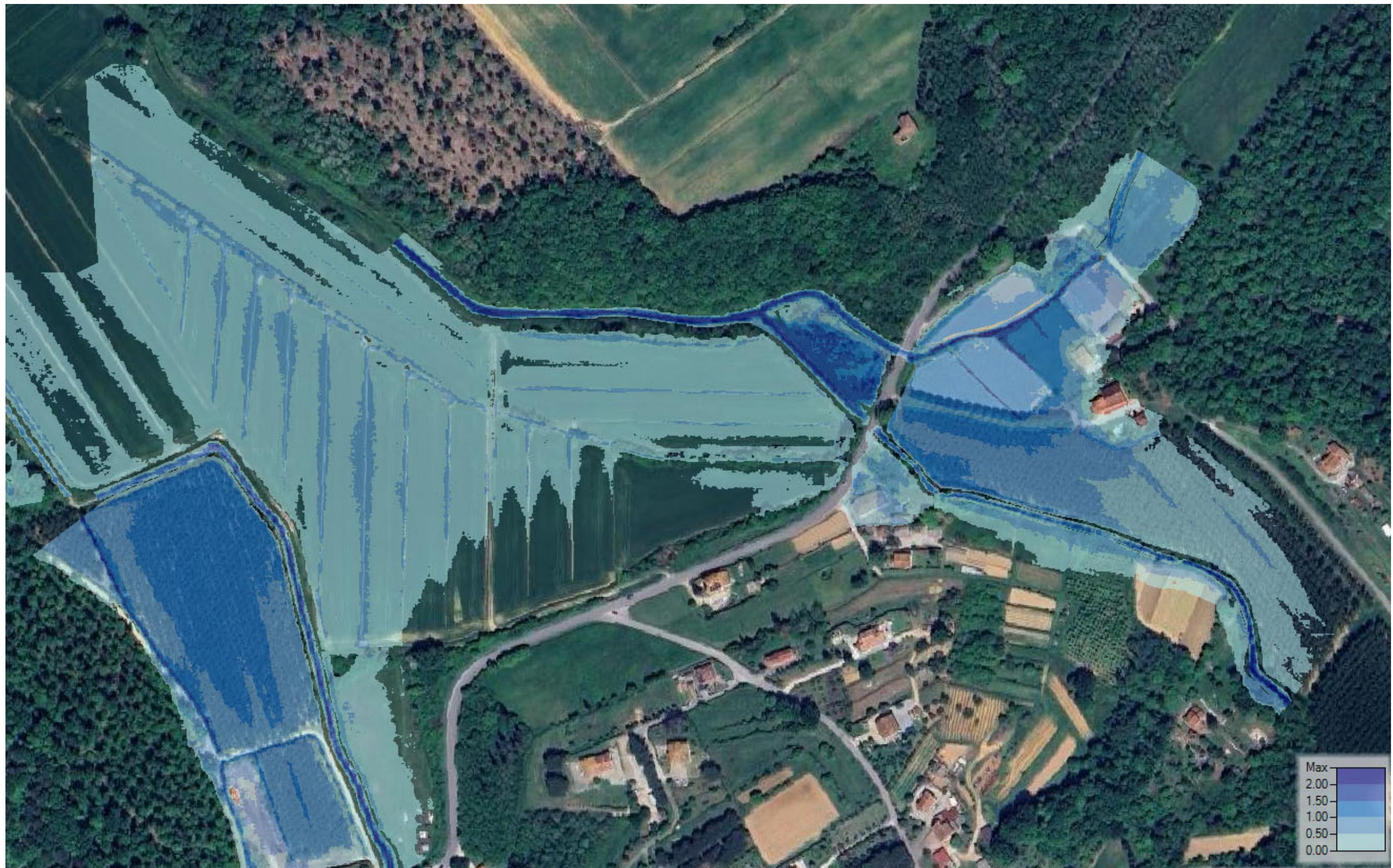
3.4.3 Il Rio Nero

Il Rio Nero defluisce nello scolmatore dell'Usciana: il suo tratto finale è caratterizzato da sezioni piuttosto ampie, che riescono a contenere quasi sempre la portata con $Tr=200$ (a parte delle modeste tracimazioni in destra idraulica). A monte e a valle del primo attraversamento le sezioni riescono a contenere la portata in transito: l'attraversamento ($\varnothing 3000$ mm) non è però in grado di far transitare la portata $Tr=200$ anni. Inoltre a valle dell'attraversamento stesso, in sinistra idraulica, è presente una forte erosione che mette in pericolo la stabilità del manufatto.

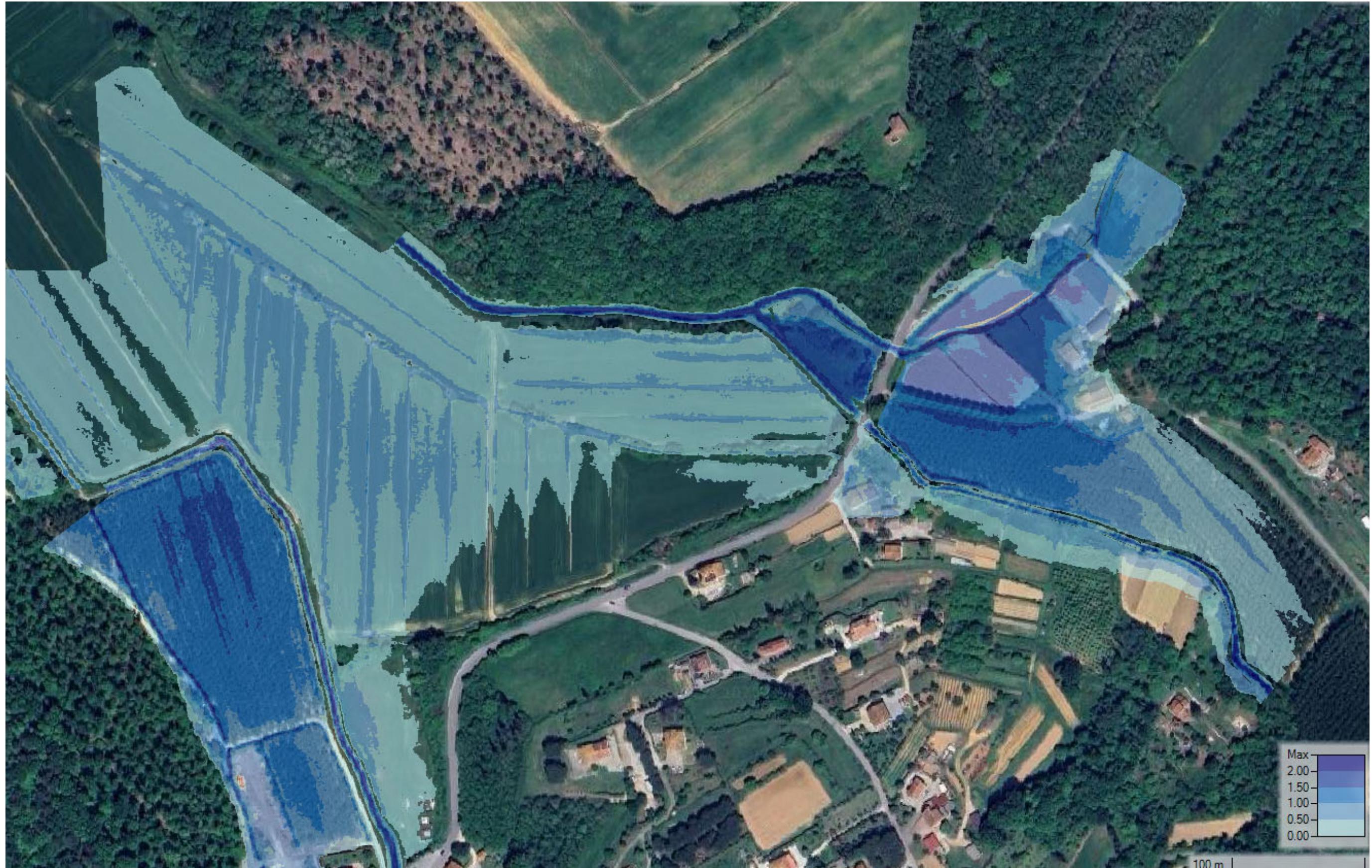
Nel tratto più a monte, in corrispondenza dell'immissione del rio della Selva, le sezioni si riducono, e nel tratto del Rio Selva sono presenti numerosi attraversamenti di modeste dimensioni ($\varnothing 1000$) che condizionano fortemente il regolare deflusso delle portate in arrivo.

Mentre nel tratto a monte e a valle dell'attraversamento costituito da un $\varnothing 3000$ non siano esondazioni, nel tratto più a monte, il fondovalle è interessato da fenomeni esondativi diffusi, con battenti massimi attesi talvolta **anche oltre 2 metri**.

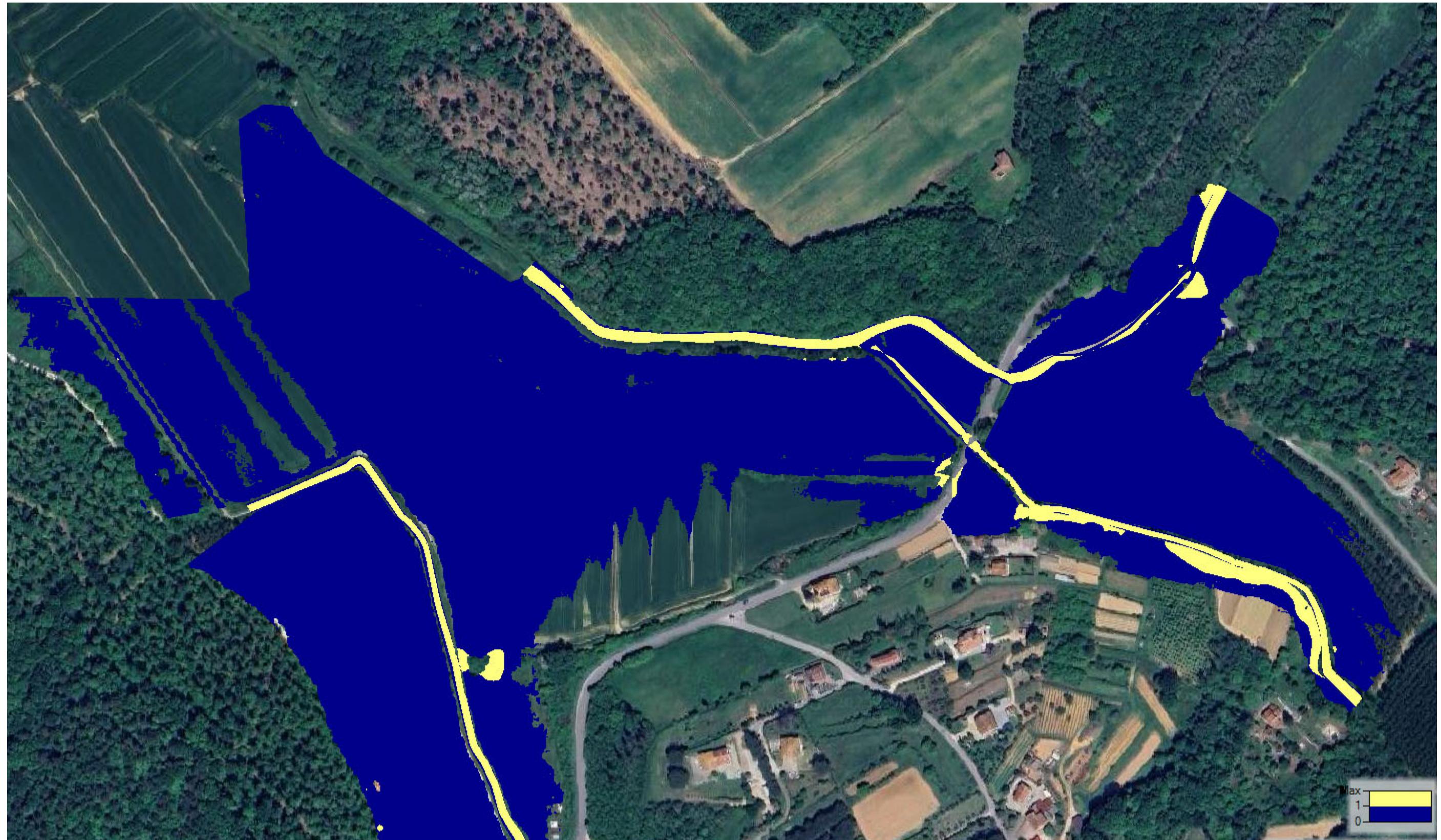
Aree allagate e battenti idraulici attesi Tr=30 anni - sistema idraulico Rio Bottaccio – Rio Dolcione



Aree allagate e battenti idraulici attesi Tr=200 anni - sistema idraulico Rio Bottaccio – Rio Dolcione



Arearie allagate e velocità attese Tr=200 anni - sistema idraulico Rio Bottaccio – Rio Dolcione



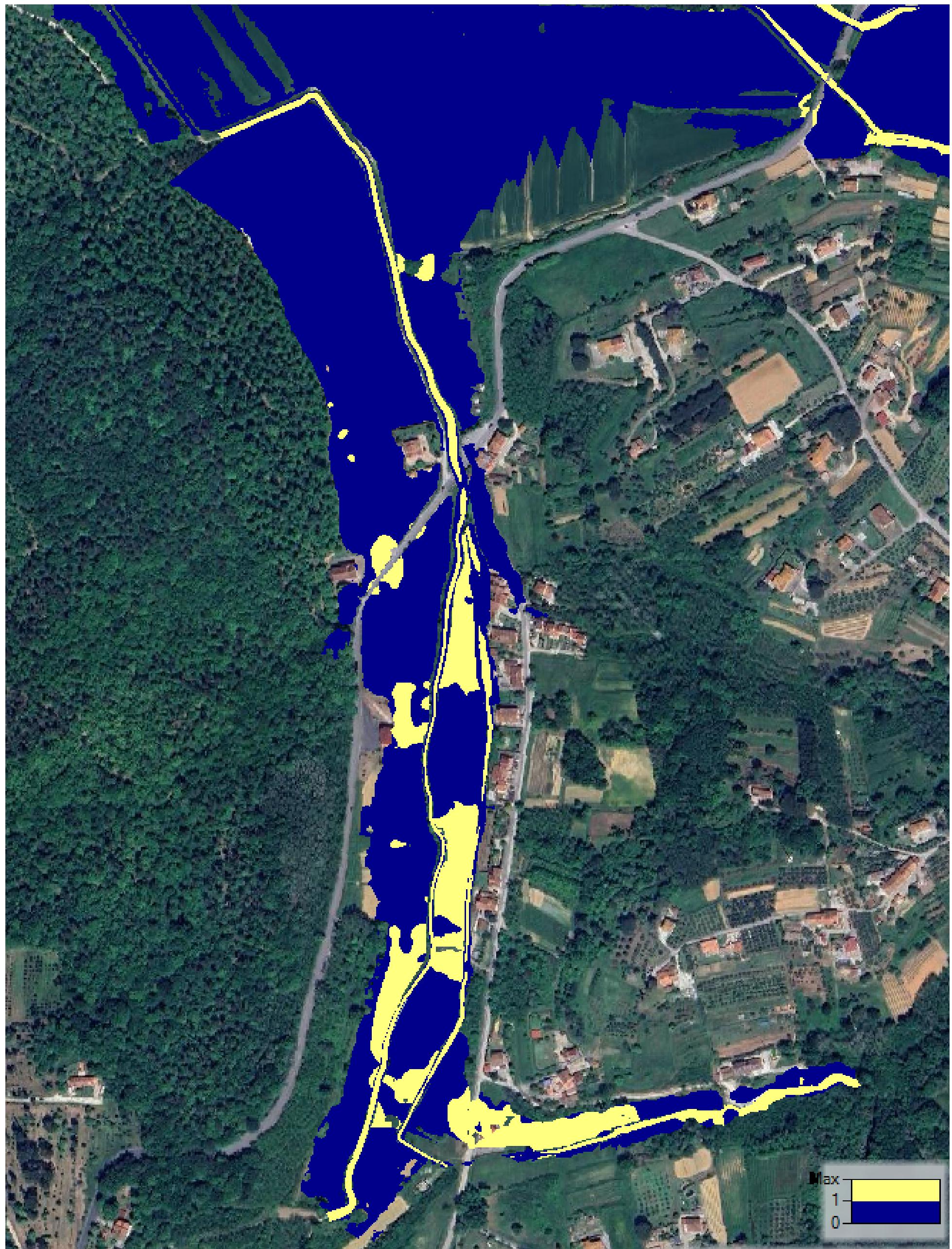
Aree allagate e battenti idraulici attesi Tr=30 anni - sistema idraulico Rio Vaiano – Rio Guadagnino



Aree allagate e battenti idraulici attesi Tr=200 anni - sistema idraulico Rio Vaiano – Rio Guadagnino



Aree allagate e velocità attese Tr=200 anni - sistema idraulico Rio Vaiano – Rio Guadagnino



Aree allagate e battenti idraulici attesi Tr=30 anni - sistema idraulico Rio Nero – Rio Selva



Arearie allagate e battenti idraulici attesi $T_r=200$ anni - sistema idraulico Rio Nero – Rio Selva



Arearie allagate e velocità attese $Tr=200$ anni - sistema idraulico Rio Nero – Rio Selva

