



# COMUNE DI BIBBIENA

(Provincia di AREZZO)




**Ristrutturazione fabbricato ex-edilceramica, demolizione e ricostruzione di un capannone esistente per la realizzazione di un complesso sportivo polivalente con bar, ristorante, foresteria, ubicato lungo la strada vicinale dell'Archiano nel comune di Bibbiena (AR).**

Committente: Sig. Gionata Fornaini



Elaborato <b>R-01</b>	<b>RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA</b>	Scala -
--------------------------	---------------------------------------	------------

Revisione	Nome file:	Data:	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
3 <sup>a</sup>						
2 <sup>a</sup>						
1 <sup>a</sup>						
emissione		Maggio 2020	1° Emissione			Ing. Luigi Bigazzi

 <p><b>CHIARINI ASSOCIATI</b> INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE</p> <p>Via Galileo Ferraris, 63 - 52100 AREZZO - Tel. e fax 0575 355817 www.chiariniassociati.com - email: info@chiariniassociati.com</p>	<p><b>Ing. Luigi Bigazzi</b></p>	<p>Visto del committente:</p>
--	----------------------------------	-------------------------------

Il presente elaborato, posto sotto tutela di legge, è stato redatto da CHIARINI ASSOCIATI Ingegneria Civile e Ambientale e, senza la preventiva autorizzazione scritta dell'autore, sono vietate la riproduzione, anche parziale, e la cessione a terzi estranei ai procedimenti autorizzativi o di appalto.

## Sommario

<b>1</b>	<b>Introduzione</b> .....	<b>4</b>
1.1	Contesto idrografico e zona di indagine.....	5
1.2	Criteri operativi e obiettivi dello studio.....	8
<b>2</b>	<b>Quadro normativo di riferimento</b> .....	<b>11</b>
2.1	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.).....	11
2.2	Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Rischio Idraulico.....	13
2.3	L.R. 41 del 24.07.2018. 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). ...	14
2.4	Piano Strutturale Comunale (D.C.C. n. 114 del 24/11/2005).....	15
<b>3</b>	<b>Analisi idrologica</b> .....	<b>16</b>
3.1	Considerazioni generali circa la stima degli idrogrammi di piena.....	16
3.2	Definizione degli afflussi meteorici.....	17
3.3	Determinazione dello ietogramma di progetto.....	20
3.4	Stima delle perdite idrologiche mediante il metodo del Curve Number.....	22
3.4.1	Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per i bacini idrografici in esame	23
3.4.2	Determinazione del Parametro CN.....	26
3.5	La trasformazione afflussi – deflussi.....	27
3.5.1	Il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH).....	27
3.5.2	Il Metodo Cinematico (Kinematic Wave).....	28
3.5.3	La propagazione delle onde di piena.....	29
3.6	Stima della portata di progetto, analisi preliminari e scelta del modello idrologico.....	31
3.6.1	Relazioni matematiche.....	31
3.6.2	Modelli matematici.....	34
3.7	Parametri idrologici dei modelli Hec-Hms.....	40
3.7.1	Modello idrologico.....	41
<b>4</b>	<b>Risultati dell'analisi idrologica</b> .....	<b>43</b>
<b>5</b>	<b>Analisi idraulica</b> .....	<b>45</b>
5.1	Il modello numerico di simulazione idraulica.....	45
5.2	Principi teorici della modellazione numerica.....	45
5.2.1	Assegnazione dei parametri di scabrezza.....	47
5.2.2	Condizioni al contorno.....	48
5.3	Allestimento del modello geometrico.....	49
5.3.1	Scabrezze.....	50
5.4	Schema planimetrico con individuazione dei fronti di esondazione diretta.....	50
<b>6</b>	<b>Risultati della modellazione idraulica</b> .....	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>Condizioni di fattibilità dell'intervento alla luce del rischio idraulico presente, opere per la gestione del rischio alluvioni e considerazioni circa il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree</b> .....	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Pericolosità idraulica nell'ambito territoriale analizzato ricavata dal presente studio idrologico-idraulico di dettaglio</b> .....	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Considerazioni conclusive</b> .....	<b>59</b>



- **APPENDICE 1** (SU DVD-ROM) - Outputs grafici e numerici delle simulazioni effettuate in regime di moto vario con il software Hec-Ras

## 1 Introduzione

La presente relazione documenta ed illustra lo studio idrologico – idraulico redatto per conto del Sig. Gionata Fornaini a supporto della ristrutturazione del fabbricato ex Edilceramica ubicato in destra idrografica del torrente Archiano e in sinistra idrografica del fosso Sorrassa a circa 230 m a nord del ponte della S.R. n.71 (Umbro Casentino Romagnolo) nel Comune di Bibbiena (AR).

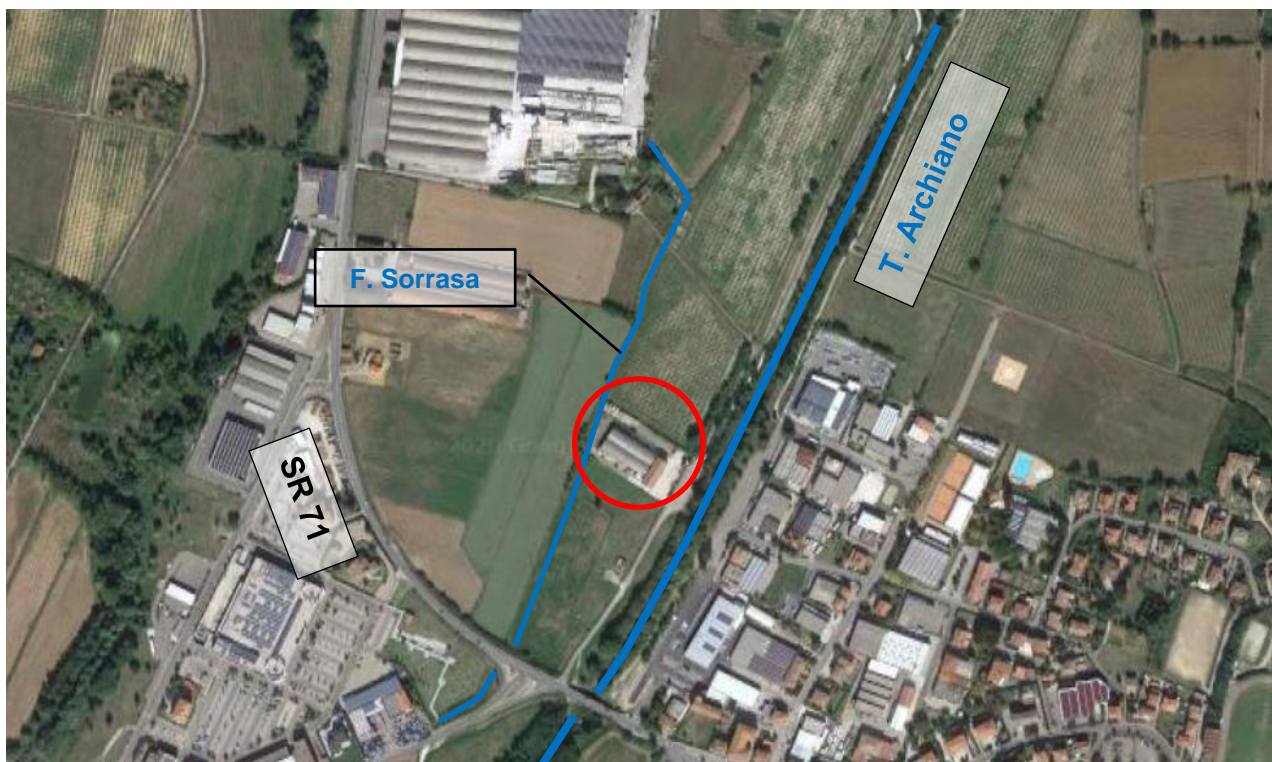


Figura 1-1: foto aerea con indicazione (in color rosso) dell'area di intervento.

L'intervento prevede la realizzazione di un complesso sportivo polivalente lungo la strada vicinale dell'Archiano.

Per la realizzazione dello stesso verrà riutilizzato, mediante ristrutturazione interna, il fabbricato che era stato adibito a sede espositiva amministrativa della società Edilceramica, realizzando inoltre un nuovo fabbricato, previa demolizione degli altri manufatti esistenti quali un pergolato, un capannone ed un fabbricato a pian terreno (originariamente destinato ad uso uffici).

L'intervento, sull'edificio esistente da ristrutturare, consentirà di realizzare: un bar, un ristorante e degli spazi per accoglienza atleti al pian terreno mentre al primo piano saranno realizzati una zona riunioni e otto camere per foresteria.

Nel nuovo fabbricato si prevede la realizzazione di due campi da calcetto e, nell'area adiacente all'edificio preesistente, l'istallazione di 6 piste da bowling.

Sopra l'impianto bowling è prevista la realizzazione, con struttura leggera in acciaio, di un solaio intermedio alla stessa quota del piano di calpestio del primo piano del fabbricato esistente così da creare un'area di 370 mq per sala riunioni, sala giochi con gonfiabili per bambini e spazio aggiuntivo per il ristorante; da questa zona si potranno seguire, attraverso una vetrata, le partite di calcetto nei due campi sottostanti.

In adiacenza al nuovo fabbricato, lungo il lato sud verranno realizzati a piano terra locali spogliatoi per atleti, arbitri e istruttori, nonché altri locali destinati a pronto soccorso, magazzino e ufficio.

Lungo il lato nord verranno realizzati a piano terra: un fabbricato per cucina, spogliatoi e servizi per il personale e servizi per i clienti del ristorante bar.

Il presente studio idrologico-idraulico, conformemente a quanto prescritto dal quadro normativo di riferimento descritto nei paragrafi seguenti, si è posto l'obiettivo di valutare l'effettivo livello di rischio idraulico sussistente allo stato attuale nell'area di interesse rispetto ai potenziali fronti di esondazione del reticolo idrografico circostante per eventi di piena con tempo di ritorno pari a 30 e 200 anni.

In particolare, come sarà più dettagliatamente descritto nei paragrafi seguenti, il presente studio dimostra che l'area di intervento non risulta interessata da fenomeni di allagamento per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni.

In ogni caso adottando "*il principio di precauzione*"<sup>1</sup> saranno adottati i seguenti ulteriori accorgimenti finalizzati alla gestione del rischio residuo:

- rialzamento del piano di calpestio alla quota di 337.50 m s.l.m.;
- installazioni di porte anti-allagamento a tenuta stagna sugli accessi ai fabbricati;
- installazione di dispositivi antiriflusso sugli scarichi.

## 1.1 Contesto idrografico e zona di indagine.

L'area oggetto di intervento è situata in destra idraulica del torrente Archiano e in sinistra idrografica del fosso Sorrassa, in una situazione di alto morfologico rispetto al piano campagna circostante (vedi Figura 1-2); infatti, l'area ex-edilceramica fu realizzata su di un terrapieno.

<sup>1</sup> Tale principio è inserito a livello comunitario nell'art. 191 del "Trattato sul funzionamento dell'unione europea" e più recentemente ripreso anche dalla normativa nazionale nell'art. 301, secondo comma, del D.lgs. 152/2006.

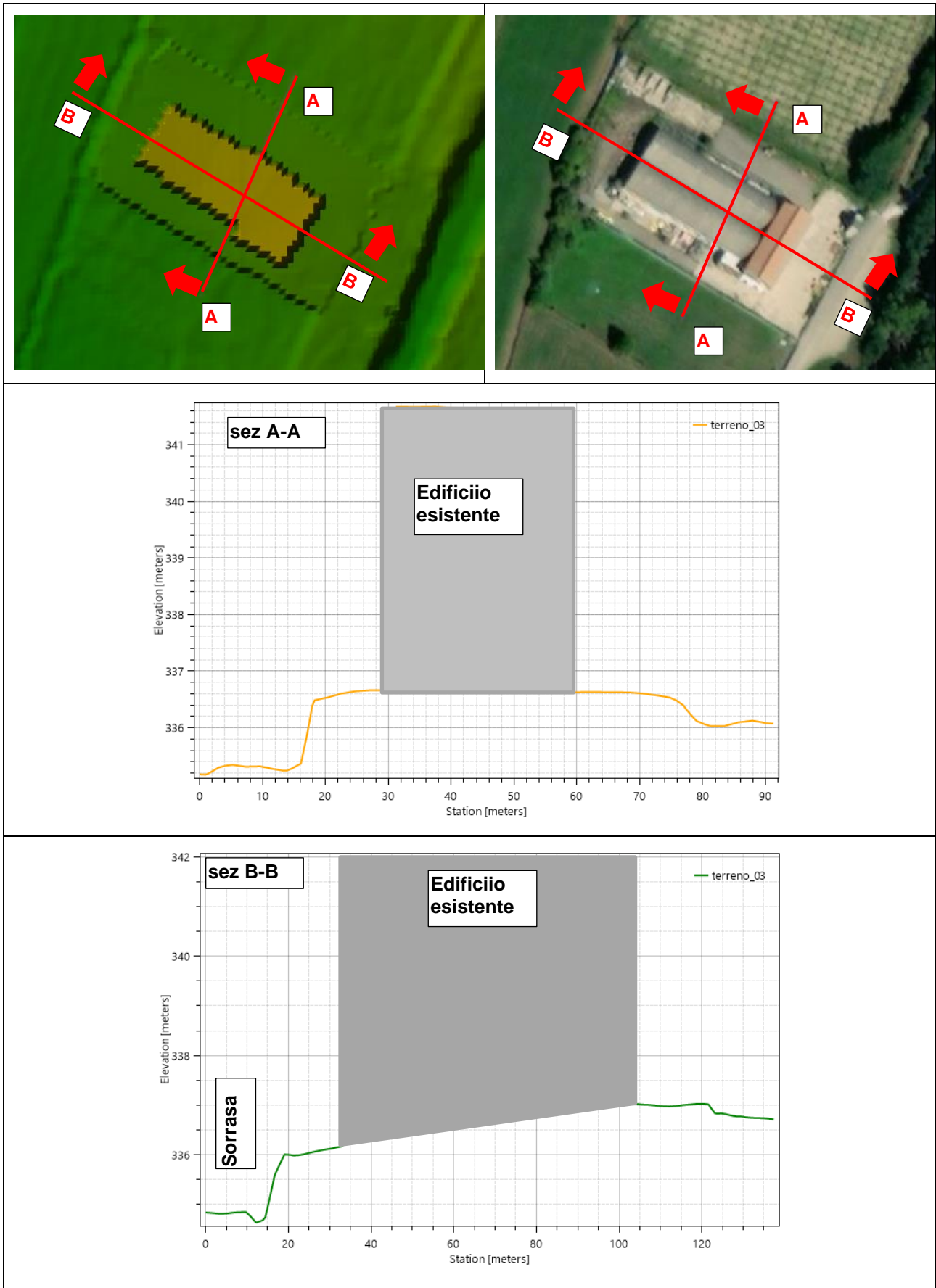


Figura 1-2: situazione morfologicamente favorevole dell'area di intervento rispetto al piano campagna circostante.

Inoltre, come hanno messo in evidenza i sopralluoghi effettuati e come mostrato nella successiva Figura 1-3, l'area in destra idrografica del torrente Archiano a monte del ponte della SR 71 presenta una morfologia che degrada dalle sponde del predetto corso d'acqua e dal tracciato della SR 71 verso il fosso Sorrasa.

Pertanto i volumi eventualmente esondati dal torrente Archiano in destra idrografica andranno ad accumularsi in detta area morfologicamente depressa per poi essere drenati dal fosso Sorrasa (che circa 250 m a valle della SR 71 si immette nel torrente Archiano) e da un fosso minore affluente del Sorrasa stesso.

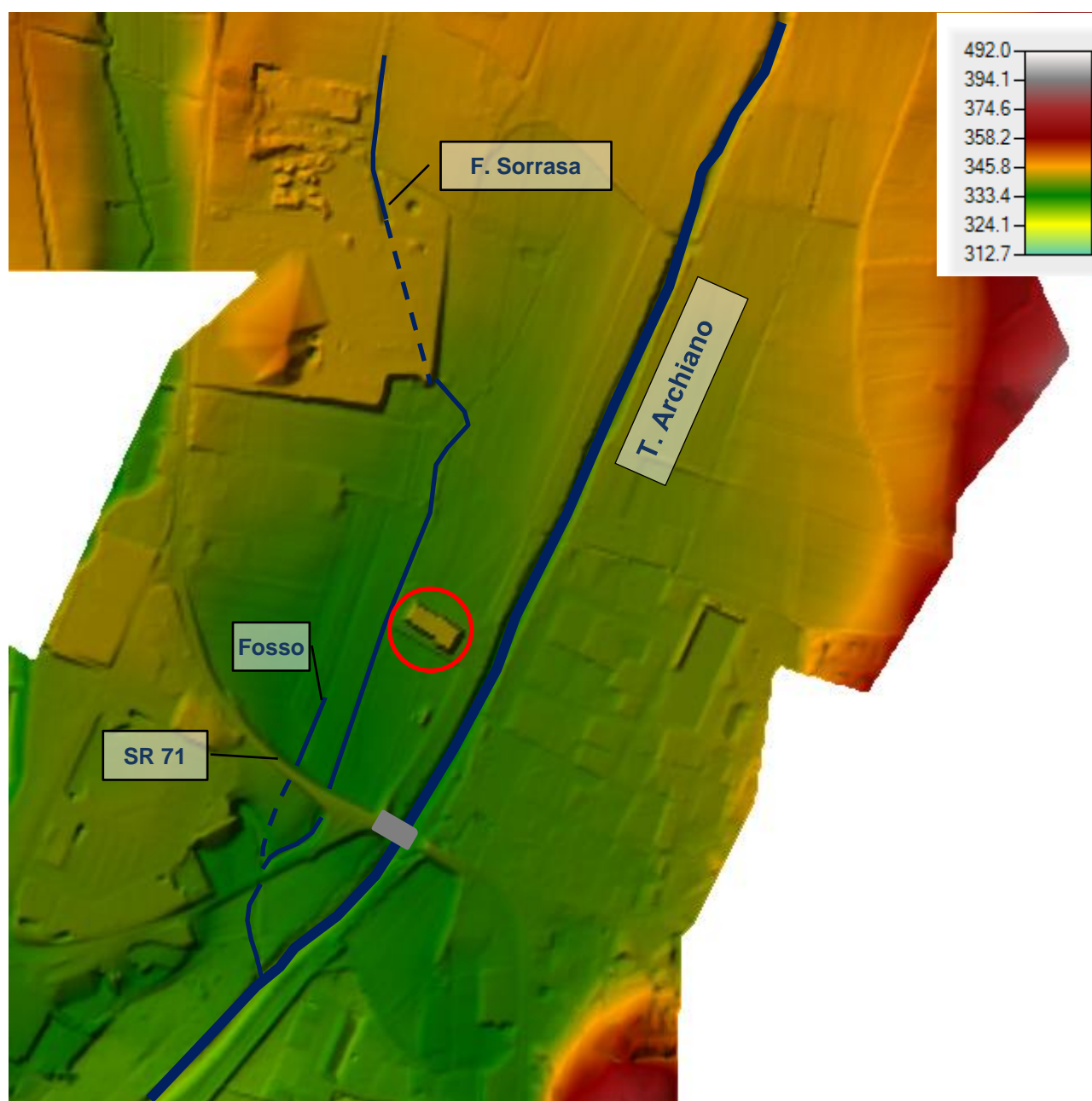


Figura 1-3: modello digitale del terreno (DTM) realizzato a partire dai dati di base morfologici ad elevata risoluzione disponibili (dati LIDAR) opportunamente integrati dai nuovi rilievi topografici dell'area del resede del fabbricato ex edilceramica (cerchiata in rosso l'area di intervento).

## 1.2 Criteri operativi e obiettivi dello studio

Il presente studio intende fornire un aggiornamento del quadro conoscitivo comunale relativo alla pericolosità idraulica a cui è soggetta l'area di intervento, ciò basandosi sugli stessi criteri<sup>2</sup> già adottati e approvati (scabrezze, tipologia di modellazione idraulica, ecc) per il vigente P.G.R.A. e la redazione delle relative carte di pericolosità idraulica.

L'aggiornamento puntuale al quadro conoscitivo esistente si è sviluppato sulla base dei seguenti aspetti:

- impiego di nuove curve di possibilità climatica rese disponibili dalla Regione Toscana (in cui l'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme è stata aggiornata fino all'anno 2012 compreso);
- rilievo strumentale dell'area del resede del fabbricato ex edilceramica e del fosso Sorrassa, che va ad integrare i dati di base morfologici ad elevata risoluzione disponibili (dati LIDAR forniti dalla Regione Toscana e condotti dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento);
- modellazione accoppiata 1-D in alveo e puramente 2-D extra-alveo anche nel tratto a monte della SR71 di maggiore dettaglio rispetto a quella di supporto al PGRA.

Per poter valutare livello di rischio idraulico sussistente allo stato attuale nell'area di interesse rispetto ai potenziali fronti di esondazione del reticolo idrografico circostante (torrente Archiano e fosso Sorrassa), è stato necessario valutare preliminarmente gli idrogrammi di piena attesi nei tratti dei corsi d'acqua esaminati corrispondenti ad eventi meteorici estremi (rispettivamente con tempo di ritorno trentennale e duecentennale).

Per i dettagli relativi alla modellistica afflussi-deflussi che ha consentito di stimare gli idrogrammi di piena trentennali e duecentennali si rinvia al §3. In Figura 1-4 è rappresentato il bacino idrografico oggetto di studio.

---

<sup>2</sup> Studio idrologico idraulico redatto per conto del Comune di Bibbiena di supporto alla "Proposta di modifica delle mappe di pericolosità idraulica del PGRA". Ing. Remo Chiarini e Ing. Marco Benini – giugno 2015.



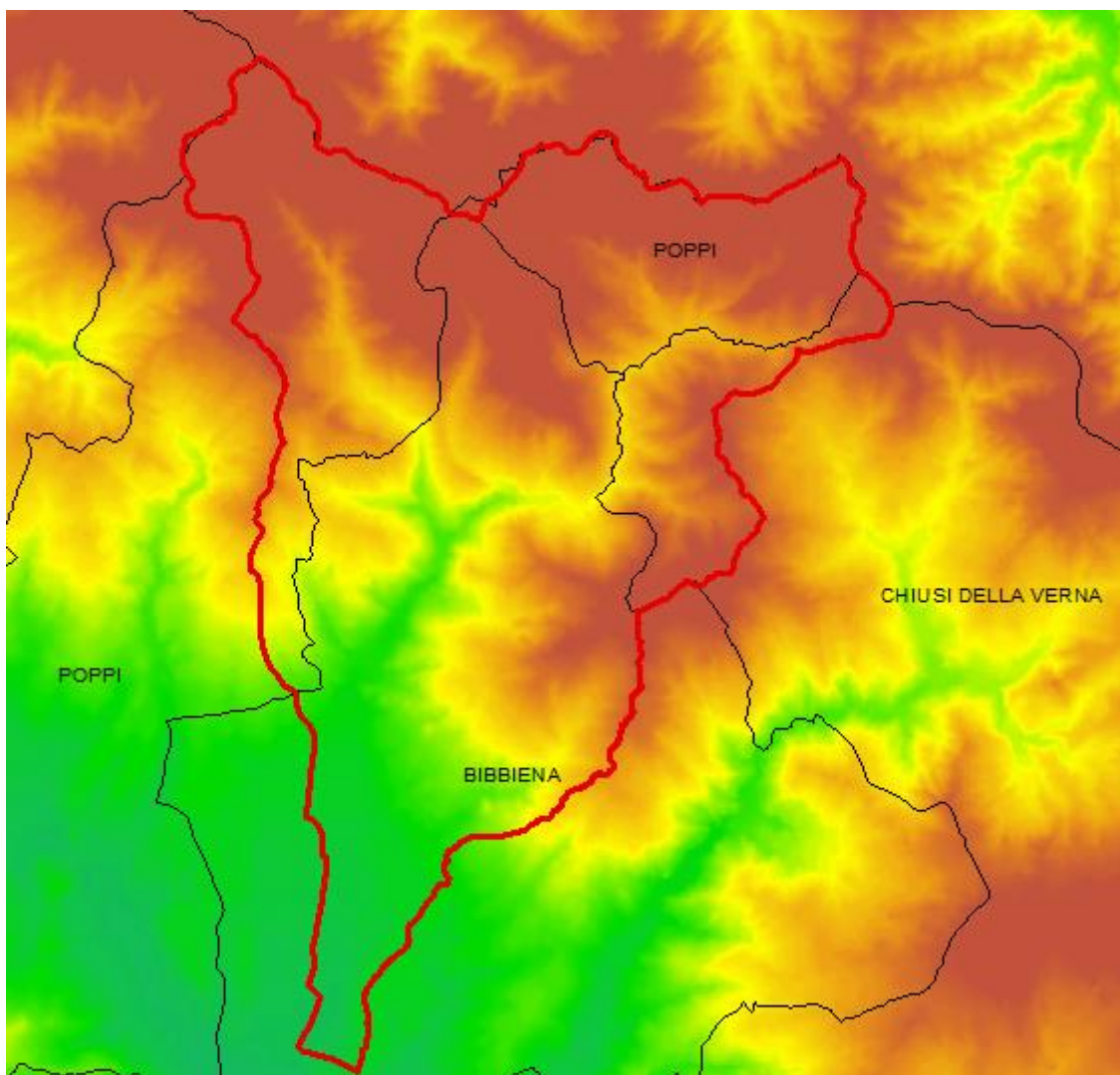


Figura 1-4: ambito idrologico analizzato nel presente studio (in rosso il bacino idrografico investigato).

Per le analisi idrauliche inerenti ai corsi d'acqua oggetto di studio (torrente Archiano, fosso Sorrassa, fosso minore) è stato implementato un apposito modello numerico mediante l'utilizzo del software HEC-RAS vers. 5.0.7, nella opzione relativa al regime di moto vario, con schematizzazione accoppiata 1-D in alveo e puramente 2-D extra-alveo.

La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni (definite dalla normativa come “*aree a pericolosità per alluvioni frequenti*”) e minore o uguale a 200 anni (definite dalla normativa come “*aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti*”), è stata infine condotta con strumenti CAD/GIS sulla base dei risultati raster forniti direttamente dal modulo RAS Mapper del software HEC-RAS.

Giova comunque precisare che la procedura adottata ha assunto alcune irrinunciabili ipotesi di lavoro circa la non trattazione di fenomeni collaterali che possono aver luogo contestualmente agli eventi di piena, ma aventi carattere di ulteriore eccezionalità rispetto al mero evento idrologico estremo.

In sostanza si assumono ipotesi di regolare operatività e comportamento della rete drenante, forzate dall'imponderabilità spaziale e temporale dei casi di anomalo funzionamento delle difese o delle altre infrastrutture idrauliche coinvolte, o addirittura di totale perdita di funzionalità (distruzione) delle stesse. Eventi, questi, che peraltro, non essendo in generale obbligatoriamente causati dal mero accadimento dell'evento meteorologico estremo, se considerati avvenire contestualmente ad esso determinerebbero una sicura diminuzione della probabilità congiunta dell'evento combinato<sup>3</sup> portando a risultati, in termini di allagabilità e di tiranti idraulici, corrispondenti in realtà ad eventi più rari di quelli di riferimento imposti dalla normativa. In ragione delle suddette considerazioni si assume dunque che:

- a) le strutture idrauliche di contenimento (argini, muri di sponda, ecc.) siano considerate tracimabili ma senza collasso della struttura. Analogamente non si considerano fenomeni di collasso dovuti a processi di mobilità dell'alveo o a moti di filtrazione;
- b) per altre strutture di contenimento non idrauliche (rilevati stradali e ferroviari), non è previsto il collasso anche in caso di tracimazione, valutandone nel contempo il grado di permeabilità macroscopico dovuto agli attraversamenti;
- c) si esclude la possibilità di ostruzione delle opere d'arte interferenti per trasporto in flottazione;
- d) non si considera l'influenza di allagamenti o ristagni dal reticolo scolante minore o da altri sistemi di drenaggio.

---

<sup>3</sup> Ad esempio: piena e collasso arginale; piena e occlusione della luce di un ponte; piena e frana che limita una sezione di deflusso; ecc.

## 2 Quadro normativo di riferimento

L'attività conoscitiva, di verifica e prescrittiva, sviluppata nel seguente lavoro è stata uniformata al quadro normativo di riferimento vigente a livello nazionale e regionale ed in particolare alle seguenti norme:

- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale di cui alla Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs. 152/2006 e D.Lgs. 49/2010, approvato con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016;
- D.P.C.M. 05.11.1999 Piano Stralcio relativo alla Riduzione del Rischio Idraulico del Bacino del fiume Arno. (GU n. 226 del 22/12/1999);
- L.R. 41 del 24/07/2018 "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".
- Piano strutturale Comunale approvato con D.C.C. n. 114 del 24/11/2005.

### 2.1 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.)

In Figura 2-1 è riportato un estratto delle aree a pericolosità idraulica da cui si può desumere che l'intervento ricade in aree a pericolosità da alluvione media (P 2).



Figura 2-1: mappa delle aree con pericolosità da alluvione con l'indicazione dell'area di intervento (cerchio rosso).

Di seguito si riporta l'art. 9 della disciplina di piano:

## **Art. 1 Natura e finalità del Piano di gestione del rischio di alluvioni delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone**

(...omissis...)

4. In coerenza con le finalità generali della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo n. 49/2010, il PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone persegue i seguenti obiettivi generali che sono stati definiti alla scala del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale:

### 1. Obiettivi per la salute umana

a) riduzione del rischio per la vita delle persone e la salute umana;

b) mitigazione dei danni ai sistemi che assicurano la sussistenza e l'operatività delle strutture strategiche.

### 2. Obiettivi per l'ambiente

a) riduzione del rischio per le aree protette derivante dagli effetti negativi dovuti a possibile inquinamento in caso di eventi alluvionali;

b) mitigazione degli effetti negativi per lo stato ambientale dei corpi idrici dovuti a possibile inquinamento in caso di eventi alluvionali, con riguardo al raggiungimento degli obiettivi ambientali di cui alla direttiva 2000/60/CE.

### 3. Obiettivi per il patrimonio culturale

a) Riduzione del rischio per il patrimonio culturale, costituito dai beni culturali, storici ed architettonici esistenti;

b) mitigazione dei possibili danni dovuti ad eventi alluvionali sul sistema del paesaggio.

### 4. Obiettivi per le attività economiche

a) mitigazione dei danni alla rete infrastrutturale primaria;

b) mitigazione dei danni al sistema economico e produttivo pubblico e privato;

c) mitigazione dei danni alle proprietà immobiliari;

d) mitigazione dei danni ai sistemi che consentono il mantenimento delle attività economiche.

## **Art. 9 Aree a pericolosità da alluvione media (P 2) – Norme**

1. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio idraulico, con riferimento agli obiettivi di cui all'art. 1 comma 4, fatto salvo quanto previsto ai commi seguenti del presente articolo e al successivo art. 10.

2. Nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone:

a) misure di protezione previste dal PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone e misure previste dal PGA;

b) interventi di sistemazione idraulica e geomorfologica, ad eccezione delle manutenzioni ordinarie, straordinarie e dei ripristini;

c) interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;

d) *nuovi interventi relativi alle opere pubbliche o di interesse pubblico riferite ai servizi essenziali e alla rete infrastrutturale primaria; [...]*

Dato che, come dettagliato nei successivi paragrafi, l'area di interesse non risulta allagabile per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni e sono inoltre previsti (vedasi §1) accorgimenti per la gestione del rischio residuo, l'intervento proposto risulta conforme alla disciplina di piano.

## 2.2 Piano di Bacino del Fiume Arno - Stralcio Rischio Idraulico

Come si evince da Figura 2-2 l'intervento (indicato con un cerchio verde) ricade nelle perimetrazioni relative alle aree interessate da inondazioni eccezionali e in aree interessate da inondazioni durante gli eventi alluvionali negli anni 1991-1992-1993.

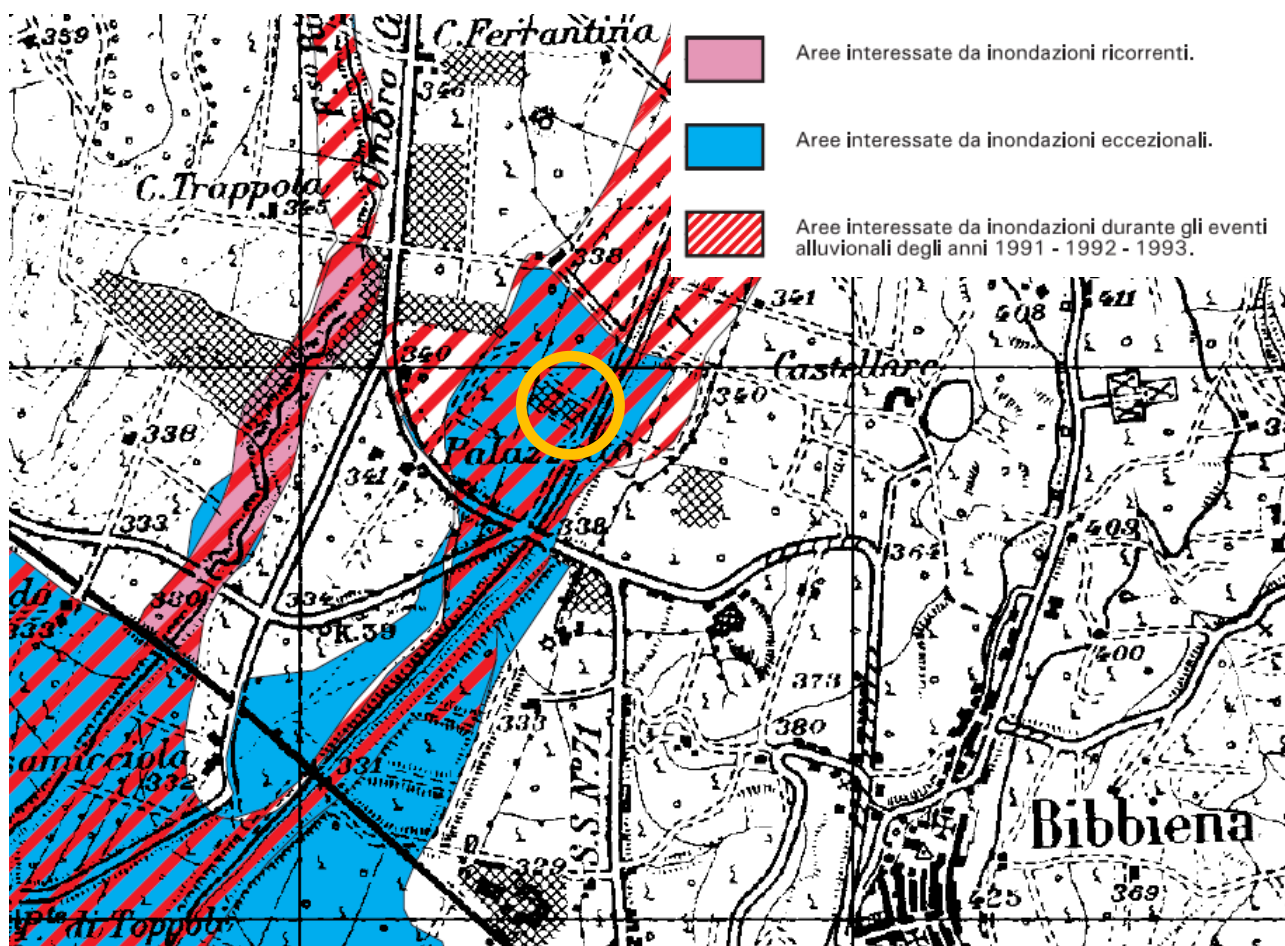


Figura 2-2: Piano di Bacino del fiume Arno – Piano Stralcio Rischio idraulico. Carta guida delle aree allagate redatte sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966 - 1999). Estratto stralcio 72 con l'indicazione dell'area di intervento (cerchio giallo).

Di seguito si riportano un estratto della Normativa di Piano di interesse (Norma 6)

### **Norma 6 – Carta guida delle aree allagate.**

*La «Carta guida delle aree allagate», elaborata sulla base degli eventi alluvionali significativi, posteriori e comprendenti quello del novembre 1966 rappresenta una carta che fornisce indicazioni di pericolosità.*

*(...omissis...) le opere che comportano trasformazioni edilizie e urbanistiche, ricadenti nelle aree rappresentate nella «Carta guida delle aree allagate», potranno essere realizzate a condizione che venga documentato dal proponente ed accertato dall'Autorità amministrativa competente al rilascio dell'autorizzazione il non incremento del rischio idraulico da esse determinabile o che siano individuati gli interventi necessari alla mitigazione di tale rischio, da realizzarsi contestualmente all'esecuzione delle opere richieste.*

Come già anticipato e dettagliatamente descritto nei paragrafi seguenti l'area di interesse non risulta soggetta a fenomeni di allagamento per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni e pertanto l'intervento risulta conforme alla predetta normativa.

### **2.3 L.R. 41 del 24.07.2018. 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).**

Di seguito si riportano un estratto degli articoli di interesse della L.R. 41 del 2018.

#### **Art. 7 Gestione del rischio di alluvioni negli strumenti di pianificazione territoriale o urbanistica comunale.**

*1. Al fine di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale nonché per le attività economiche, i comuni disciplinano i diversi usi e le trasformazioni del territorio nel rispetto della gestione del rischio di alluvioni di cui al d.lgs. 49/2010.*

*2. La gestione del rischio di alluvioni negli strumenti di pianificazione territoriale o urbanistica comunale è perseguita con riferimento allo scenario per alluvioni poco frequenti.*

*3. Nel rispetto delle disposizioni della l.r. 65/2014, ai fini del raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2, i comuni, nei piani operativi o nelle relative varianti o nelle varianti ai regolamenti urbanistici, individuano nelle zone soggette ad alluvioni frequenti o poco frequenti, le opere di cui all'articolo 8, necessarie per l'attuazione delle trasformazioni urbanistico - edilizie nel rispetto della presente legge.*

*4. I comuni individuano le opere di cui all'articolo 8 secondo criteri di appropriatezza in relazione alla tipologia di intervento da realizzare nell'ambito della gestione del rischio di alluvioni, unitamente ai costi ed ai benefici di natura economica ed ambientale in coerenza con il d.lgs. 49/2010.*

#### **Art. 8 Opere per la gestione del rischio di alluvioni**

*1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:*

- a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;*
- b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopra elevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;*
- c) opere di sopra elevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;*
- d) interventi di difesa locale.*

*... omissis...*

Come già anticipato e come sarà descritto dettagliatamente nei paragrafi seguenti, l'area di intervento non risulta interessata da allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti (cioè eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni) e pertanto non sono necessarie le opere di gestione del rischio alluvioni di cui all'art. 8. Tuttavia, a scopo precauzionale, saranno adottati gli accorgimenti per la gestione del rischio residuo descritti al §1.

## 2.4 Piano Strutturale Comunale (D.C.C. n. 114 del 24/11/2005).

In Figura 2-3 è riportato un estratto della Carta delle aree allagabili del Piano strutturale di Bibbiena con l'indicazione dell'area di intervento (cerchio rosso). Il predetto elaborato riporta per l'area di interesse le stesse perimetrazioni del Piano Stralcio Rischio Idraulico di cui al §2.2, a cui si rinvia per maggiori dettagli.

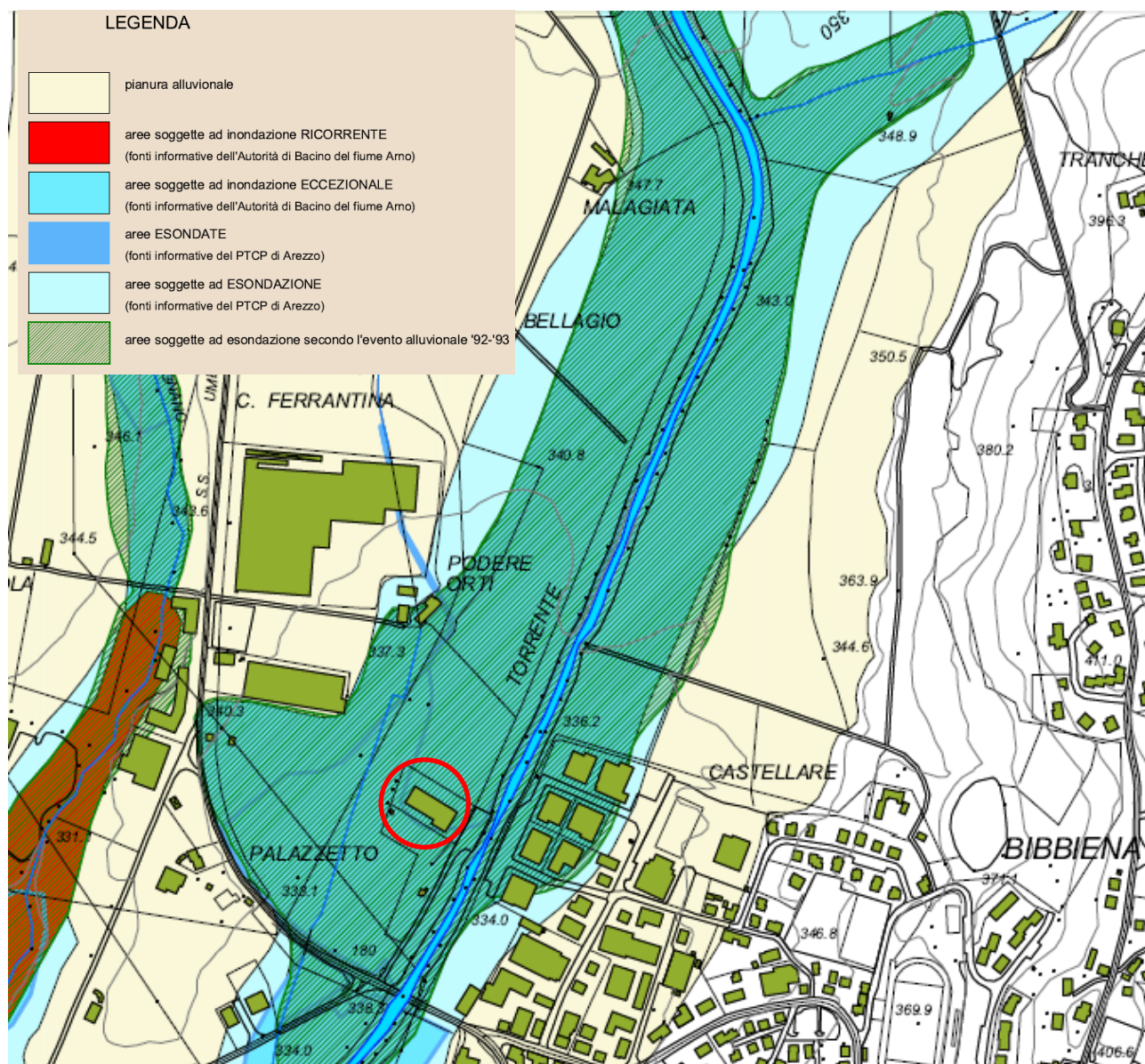


Figura 2-3: estratto Tav. B.2.8 Carta delle aree allagate del piano strutturale del Comune di Bibbiena, con l'indicazione dell'area di intervento (cerchio rosso).

### 3 Analisi idrologica

#### 3.1 Considerazioni generali circa la stima degli idrogrammi di piena

Per individuare la pericolosità idraulica è stato necessario preliminarmente valutare gli idrogrammi di piena di riferimento per il torrente Archiano e il fosso Sorrassa ("analisi idrologica").

Come meglio specificato nei paragrafi seguenti, gli idrogrammi stimati con riferimento ai tempi di ritorno 30 e 200 anni sono stati utilizzati come input idrologico nel successivo modello di simulazione numerica delle correnti di piena.

La stima degli idrogrammi di progetto associati ai diversi tempi di ritorno per i bacini idrografici in esame, che risultano essere non strumentati, è stata eseguita mediante una modellistica idrologica afflussi-deflussi di tipo semidistribuito e considerando valida l'ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno sia determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento. In particolare, la trasformazione afflussi-deflussi, a meno del deflusso di base ritenuto trascurabile, viene descritta da un approccio idrologico costituito da tre componenti in serie: un modello di infiltrazione basato sul metodo SCS-CN, due modelli di formazione della piena basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH) adimensionale e sul metodo cinematico ed, infine, i modelli di Muskingum-Cunge (Cunge, 1969) e del Lag per il trasferimento dell'onda di piena lungo i corsi d'acqua.

I passi per determinare l'idrogramma di piena di progetto per ogni assegnato tempo di ritorno sono:

- stima delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP);
- ragguglio all'area delle LSPP;
- determinazione dello ietogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima della pioggia effettiva;
- stima della portata di progetto.

Di seguito verranno analizzati i seguenti elementi:

- a) **Definizione degli afflussi meteorici:** determinazione della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (LSPP) e operazione di ragguglio all'area;
- b) **Determinazione dello ietogramma di progetto:** scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;



- c) **Stima delle perdite idrologiche:** determinazione della quantità di precipitazione trattenuta dal terreno (perdite), con la conseguente determinazione della pioggia effettiva (o pioggia netta) che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- d) **Trasformazione afflussi-deflussi:** schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare gli idrogrammi di piena.
- e) **Propagazione delle onde di piena:** modellazione del fenomeno di trasferimento dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.

### 3.2 Definizione degli afflussi meteorici

La forzante data dall'evento meteorico è schematizzata attraverso uno ietogramma sintetico ad intensità costante nel tempo e nello spazio, la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento delle serie storiche reali alla distribuzione TCEV ("Two Components Extreme Value").

Dette curve sono espresse, per ciascun tempo di ritorno, nella classica equazione di forma monomia nella quale l'altezza di pioggia totale  $h$  [mm] è espressa in funzione della durata  $d$  [ore] dell'evento:

$$h = a \cdot d^n$$

dove i parametri  $a$  e  $n$  sono desunti dallo studio promosso dalla Regione Toscana con DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, con il quale si è provveduto ad aggiornare l'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze). I dati pluviometrici sono liberamente consultabili nel sito della Regione Toscana nella sezione dedicata alla Difesa del Suolo (Figura 3-1). Ad oggi le nuove LSPP sono state ricavate per durate di precipitazione  $d \geq 1$  ora ma, secondo le indicazioni fornite dagli estensori dello studio, sono estrapolabili con buona attendibilità fino a  $d \geq 0.5$  ore.



## Regione Toscana

Home

Regione

Cittadini

Imprese

Enti e associazioni

Uffici

ServiziOnline

Sei in: Regione Toscana | Cittadini | Ambiente | Difesa del suolo

## Cittadini | Ambiente

Alimentazione

Ambiente

- Acqua
- Acque minerali e termali
- Boschi
- Caccia e pesca
- Difesa del suolo
- Energia
- Inquinamento
- Mare e balneazione
- Parchi e aree protette
- Rifiuti
- Stato dell'ambiente

Bandi

Cultura

Diritti e cittadinanza

Educazione, istruzione e ricerca

Formazione

Lavoro

## Difesa del suolo

## Nuovi dati sulla regionalizzazione delle precipitazioni

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 si è proceduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso (Referente: Prof. Enrica Caporali- dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Università degli Studi di Firenze).

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. 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.

Consulta la [relazione finale dell'attività](#) e la [presentazione](#)

Scarica i [parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica  \$a\$  ed  \$n\$](#)  da utilizzarsi previa consultazione della [Guida all'uso](#).

Per elaborazioni a scala di bacino/stazione pluviometrica/comune/aree di allerta è possibile consultare l'applicativo disponibile al seguente [indirizzo](#)

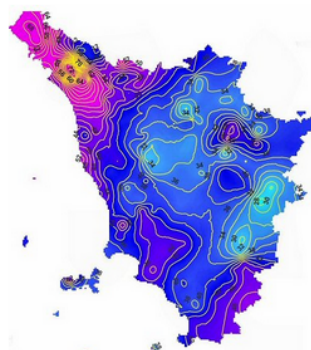


Figura 3-1: Sezione del sito della Regione Toscana dedicato ai nuovi dati di regionalizzazione delle precipitazioni.

Dal sito della Regione Toscana è possibile scaricare l'andamento spaziale dei parametri  $a$  e  $n$  con griglia di 1 km x 1 km per ciascuno dei tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni, desunto a partire dall'analisi TCEV delle altezze di pioggia osservate. I risultati resi disponibili in formato ASCII Grid. La Figura 3-2 mostra, a titolo di esempio, le griglie dei parametri  $a$  e  $n$  per il tempo di ritorno di 200 anni nell'intera regione.

I valori delle altezze di pioggia così calcolati sono validi, a rigore, solo per precipitazioni estreme puntuali, essendo stati calibrati a partire dai dati puntuali di pioggia (le LSPP sono tarate sulla base dei massimi annui misurati puntualmente in una determinata stazione pluviometrica).

All'aumentare dell'area interessata dalla precipitazione la probabilità di ottenere un'intensità media dell'evento estremo pari a quella puntuale diminuisce sensibilmente, soprattutto per eventi brevi che sono tendenzialmente più localizzati. È pertanto risultato opportuno introdurre un coefficiente riduttivo da applicare alle altezze di pioggia che prende il nome di coefficiente di ragguaglio areale. Pertanto, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, alla precipitazione lorda è

stato applicato un coefficiente di ragguglio areale dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, secondo la seguente formulazione:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove  $t$  è la durata dell'evento,  $A$  è l'area del bacino sotteso e  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

Per la Regione Toscana, nell'ambito del predetto studio di regionalizzazione, sono stati definiti i seguenti valori:  $\alpha = 0.036 \cdot a$  dove  $a$  è il parametro della curva di possibilità climatica,  $\beta = 0.25$ ,  $\gamma = 0.01$ .

Occorre tuttavia precisare che il parametro  $\alpha$  della formula sopra riportata dipende dal coefficiente  $a'$  della curva di possibilità pluviometrica a tre parametri. Poiché le curve delle nuove LSPP sono rappresentate con la formula a due parametri nella formulazione  $h(t) = a t^n$ , al fine di determinare il corrispettivo valore di  $a'$  da utilizzare nella stima del coefficiente di ragguglio, si è operato come segue:

- dalle nuove LSPP sono stati calcolati per "Tr" pari a 200 e 30 anni e per e per varie durate di pioggia "t" l'altezza di pioggia "h";
- dalla formula a 3 parametri  $h = a' \cdot t^{n'} \cdot Tr^{m'}$  in campo logaritmico si ottiene  $\log(h) = \log(a') + n' \cdot \log(t) + m' \cdot \log(Tr)$ ;
- tramite regressione lineare, sulle altezze di pioggia  $h$ , funzione delle durate e del tempo di ritorno, si ottengono i parametri  $a'$ ,  $m'$  ed  $n'$  della formula a 3 parametri.

Nella Tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di ragguglio areale ottenuto applicando la procedura appena descritta.

Tabella 3-1: variazione del coefficiente di ragguglio areale al variare della durata di pioggia.

Durata (ore)	$K_r$	Durata (ore)	$K_r$
1	0.805	6	0.886
2	0.837	7	0.892
3	0.855	8	0.898
4	0.868	10	0.907
5	0.878	12	0.914

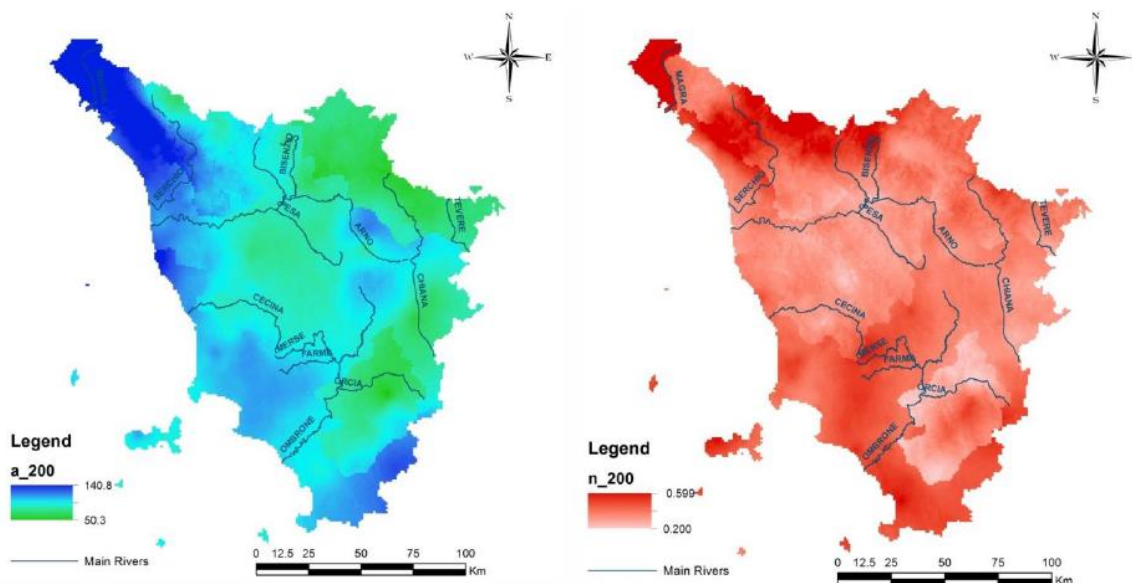


Figura 3-2: Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (a sinistra) e "n" (a destra) della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica LSPP per il Tempo di ritorno 200 anni.

Per poter stimare gli afflussi meteorici sono stati innanzi tutto individuati i bacini idrografici (in particolare i sottobacini e gli interbacini del modello idrologico semidistribuito che sarà descritto in seguito) separati dalle linee di spartiacque desunte dal modello digitale del terreno e dalla Carta Tecnica Regionale.

Successivamente, l'analisi dei dati pluviometrici regionali precedentemente descritti ha portato gli scriventi ad individuare, per i tempi di ritorno investigati (30 e 200 anni), i valori dei parametri  $a$  e  $n$  delle LSPP.

Nella tabella seguente si riportano i parametri delle curve di possibilità pluviometrica caratteristici del macro-bacino di interesse.

Tabella 3-2: parametri delle curve di possibilità pluviometrica impiegate nel modello idrologico

Zona omogenea	TR 30 anni ( $d > 0.5$ ore)		TR 200 anni ( $d > 0.5$ ore)	
	$a$	$n$	$a$	$n$
Archiano - Sorrasa	44.8123	0.333	56.331	0.364

### 3.3 Determinazione dello ietogramma di progetto

La determinazione dello ietogramma di progetto per un prefissato tempo di ritorno richiede l'individuazione della durata dello ietogramma (durata critica) nonché della distribuzione temporale degli spessori di pioggia stimati dalla corrispondente linea segnalatrice di possibilità pluviometrica areale.

La durata della pioggia viene determinata assumendo che la portata al colmo con assegnato tempo di ritorno sia la maggiore tra le portate al colmo determinate da tutti gli

eventi di pioggia a intensità costante ricavati dalla linea di possibilità pluviometrica areale. E' possibile determinare la durata critica utilizzando diverse metodologie in funzione della modellistica afflussi-deflussi impiegata. In particolare, nel caso dei metodi empirici tradizionali che si basano sul metodo razionale tale durata è data dal tempo di corrivazione del bacino, mentre nel caso di uso di modelli idrologici in grado di descrivere la trasformazione afflussi-deflussi, essa può essere stimata mediante un insieme di simulazioni. Nel presente studio è stato seguito il secondo approccio, utilizzando il primo, per una prima stima attorno alla quale determinare il corretto valore di durata critica.

In particolare, sulla base del concetto di evento critico, la determinazione della durata critica mediante simulazione idrologica consiste nell'effettuare un insieme di simulazioni con un modello afflussi-deflussi avente come dati di ingresso una serie di ietogrammi di pioggia di durata crescente, ottenuti distribuendo in modo uniforme nel tempo lo spessore di pioggia ricavato dalla LSPP areale relativa ad un determinato tempo di ritorno. All'aumentare della durata dell'evento, si ottengono idrogrammi di piena il cui picco assume valori crescenti fino ad un valore massimo, per poi decrescere. La durata dell'evento che corrisponde all'idrogramma con il massimo valore della portata di picco viene assunta come durata critica.

A titolo di esempio, vengono di seguito riportati i risultati delle simulazioni effettuate per un generico bacino idrografico, considerando, a parità di tempo di ritorno, ietogrammi di pioggia uniforme di differenti durate. Come si può vedere dalla Figura 3-3, la durata che massimizza la portata al colmo è quella pari a 1 ora che pertanto è rappresenterebbe la durata critica del bacino.

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi (Maione, 1977). Per effettuare tale stima, è stato applicato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (1972).

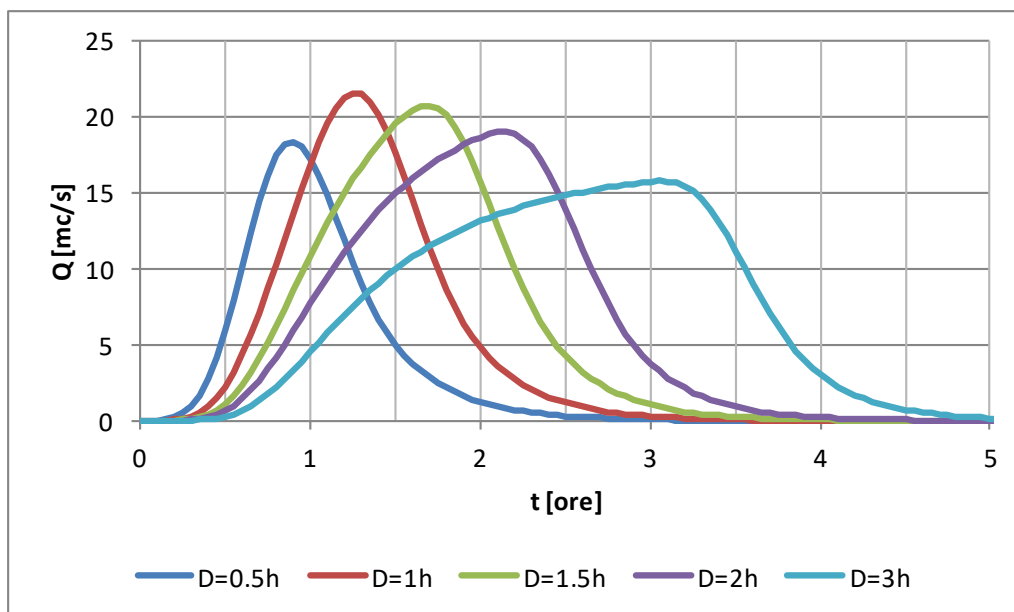


Figura 3-3: Simulazioni con ietogramma costante e diverse durate per la scelta della durata critica di un generico bacino idrografico

### 3.4 Stima delle perdite idrologiche mediante il metodo del Curve Number

La stima delle perdite idrologiche è stata effettuata con il metodo del Curve Number del SCS (*Soil Conservation Service*).

Questo metodo considera il deflusso superficiale come differenza fra le precipitazioni e le perdite, dove in queste ultime si inglobano, oltre alle perdite per infiltrazione, anche quelle per intercettazione da parte delle piante, quelle per accumulo sulle depressioni superficiali e quelle per l'imbibizione iniziale del terreno. L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume defluito ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, in ogni istante, uguale al rapporto fra il volume infiltrato ed il volume massimo teorico delle perdite:

$$\frac{P_e}{P - I} = \frac{F_a}{S}$$

dove  $P_e$  è la precipitazione efficace per il deflusso,  $P$  la precipitazione lorda,  $I_a$  le perdite iniziali,  $F_a$  il volume specifico infiltrato ed  $S$  il volume specifico di saturazione del terreno. L'equazione di continuità si può riscrivere per questo modello come segue:

$$P = P_e + I_a + F_a$$

nella quale le perdite iniziali (o *Initial Abstraction*) è possibile stimarle in funzione del volume specifico di saturazione tramite la relazione:

$$I_a = \beta \cdot S$$

dove si pone normalmente  $\beta = 0.2$ . Dalla combinazione delle due equazioni di continuità precedentemente scritte si ottiene l'espressione della precipitazione efficace:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

nella quale il volume specifico di saturazione  $S$  dipende dalla natura geologica del terreno e dall'uso del suolo, caratteristiche esprimibili in funzione del coefficiente Curve Number  $CN$  secondo la relazione:

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

Il coefficiente  $CN$  può assumere valori compresi tra 0 (suolo completamente permeabile) e 100 (suolo completamente impermeabile) ed è stimabile tramite delle tabelle elaborate dalla US Soil Conservation Service a partire dalle caratteristiche geologiche, di uso del suolo e del livello di umidità antecedente l'inizio delle precipitazioni. Quest'ultimo fattore è schematizzabile in tre condizioni: terreno ben asciutto ( $CN I$ ), terreno mediamente umido ( $CN II$ ) e terreno molto umido ( $CN III$ ).

Nel caso in esame, in via cautelativa e per non discostarsi eccessivamente dai risultati di studi pregressi validati, sono state assunte condizioni iniziali di suolo fortemente imbibito ( $CN III$ ).

### **3.4.1 Caratterizzazione del parametro di assorbimento $CN$ per i bacini idrografici in esame**

La determinazione del parametro di assorbimento  $CN$  (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972) è stata raggiunta attraverso l'analisi degli aspetti litologici, pedologici e vegetazionali e di uso del suolo del bacino.

Per la determinazione del  $CN$  si è proceduto alla parametrizzazione dei caratteri sopra indicati e alla loro identificazione in classi determinate secondo il citato metodo del Soil Conservation Service (1972). Adottando una metodologia analoga a quella svolta nei due seguenti lavori:

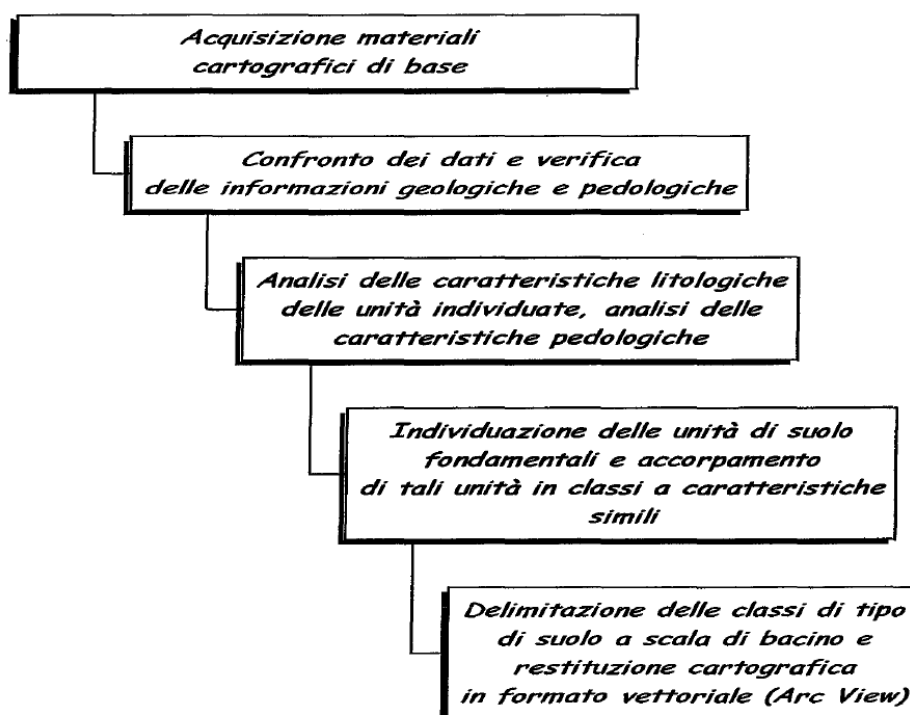
- *"Caratterizzazione del parametro di assorbimento  $CN$  per tutto il bacino dell'Amo alla discretizzazione di 200 m. x 200"* - Dott. Geol. M. Brugioni 2002 su incarico Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento del Politecnico di Milano.
- *"Caratterizzazione del parametro  $CN$  per il bacino dell'Ambra sino alla sezione di chiusura"* - Provincia di Arezzo 2008 - Dott. Geol. A. Pedone e Dott. Geol. M. Falsini.

A tal proposito si precisa che per la determinazione del  $CN$  non si è utilizzato lo shape file predisposto per l'intero territorio regionale dal Dipartimento di Ingegneria Civile e

Ambientale dell'Università degli studi di Firenze (DICEA, referente Prof. Fabio Castelli), liberamente consultabile all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il-territorio-toscano>, stanti alcuni valori di CN troppo bassi (quindi non cautelativi) che lo stesso fornisce relativamente alla parte nord del bacino del torrente Archiano rispetto a quanto indicato nel citato studio pregresso <sup>4</sup>.

#### **3.4.1.1 Determinazione dei tipi idrologici di suolo**

Alla determinazione dei tipi idrologici di suolo per il bacino si è arrivati mediante successive analisi basate sulla cartografia tematica e sulla bibliografia esistente, oltre che con sopralluoghi mirati in aree particolari. Schematicamente, le fasi di studio affrontate possono essere così rappresentate:



La determinazione delle unità idrologiche di suolo è stata portata a compimento analizzando le proprietà litologico - composizionali delle formazioni affioranti nell'area e riprodotte nella carta geologica.

Le categorie di suolo considerate e introdotte all'interno del processo di analisi tematica sono state individuate in base alle caratteristiche intrinseche dei terreni, cioè quelle che influiscono direttamente sul processo di formazione ed evoluzione dei suoli naturali, quali permeabilità, granulometria e tessitura.

<sup>4</sup> Studio idrologico idraulico redatto per conto del Comune di Bibbiena di supporto alla "Proposta di modifica delle mappe di pericolosità idraulica del PGRA". Ing. Remo Chiarini e Ing. Marco Benini – giugno 2015.



Seguendo la simbologia adottata per le unità formazionali nella Carta Geologica d'Italia, le seguenti tabelle mostrano il risultato finale del procedimento svolto.

Tabella 3-3: tipologie idrologiche di suoli (Soil Conservation Service)

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, oltre che ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso medio-alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma pure suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 3-4: classificazione dei tipi idrologici di suolo per le unità affioranti nel bacino dell'Amo. (da Caratterizzazione del parametro di assorbimento CN per tutto il bacino dell'Amo alla discretizzazione di 200 m x 200 m. Brugioni 2002).

TIPO IDROLOGICO DI SUOLO (S.C.S/C.N.)	Simbolo Carta Geologica d'Italia	codice
A	all, dis, f, dt, s, d2, d1, cd, mo, e	17, 105, 32, 29, 78, 75, 74, 92, 44, 107
B	s, Qf12, fA-C, sB, VVB, Vcg, Vs, Vag, Qcal, cM, ct/mg, co, b, p, tv2, r, fA-Cv, Pca3, McR, MIm, at, Pcg, Pcg1, ctM, cg, cg/mg, Pcg3, Mcg, Pbm, Pc, Ps, Pls, Ps3', aM, aG, AP, MaP, tv2, tv1, Msg, mg, cc	78, 70, 114, 116, 117, 118, 119, 125, 112, 12, 53, 91, 77, 106, 108, 110, 115, 129, 145, 147, 20, 131, 137, 84, 11, 124, 130, 143, 133, 134, 121, 132, 128, 61, 72, 179, 149, 106, 109, 150, 43, 14
C	Pag, Pla Mag, pf, fM, fl, fh, Mcb2, Mlcg, Mcb1, brA, scSL, aC, Mlar, pmg, bnS, bn, cC, d, asP, fVR, alb, fVc, mac, bs, Nu, di, mNu, cbh, scd, cP, cs2, cs1, ra, cA, cm, br1, cR, cb, mdi, cs2M, fIC, Vag, Pags, arg, se, Mcg2, b, fPaC, scm, msc, mNu, mbr, mcs2, mmp, mcs1, mbrS, gr, aS, bD, mar, vrb, vr, k, sMM, cs1M, mR	122, 136, 144, 94, 166, 16, 80, 151, 148, 152, 81, 83, 60, 141, 48, 154, 155, 157, 158, 162, 165, 18, 164, 41, 24, 22, 30, 98, 161, 173, 50, 5, 8, 1, 3, 2, 73, 13, 19, 100, 175, 111, 120, 135, 123, 126, 139, 21, 170, 172, 51, 98, 99, 26, 31, 28, 23, 34, 153, 168, 57, 95, 37, 176, 177, 39
D	Mg, agQ, fT, qz, ang, vra, fB, fP2, fP3, mp, Mlag2, Mlag, ol, Pm, mM, mcm, pb, sc, fP1, svL, pfw, a, S, G, D, bD, bw, T, g,d	142, 104, 174, 71, 86, 56, 82, 66, 169, 6, 140, 146, 68, 138, 178, 38, 156, 52, 65, 79, 159, 160, 58, 36, 59, 168, 163, 127

### 3.4.1.2 Determinazione delle classi di uso del suolo

Per le classi di uso del suolo l'elaborazione svolta è partita dall'analisi della carta dell'uso del suolo della Regione Toscana (CORINE, 1993). La carta CORINE è in formato digitale ad una risoluzione di circa 266 m x 266 m, è ricavata da immagini da satellite LandSAT.

Le classi definite da CORINE sono state quindi riclassificate ed accorpate secondo le classi SCS-CN. Le classi di uso del suolo sono quindi state accorpate nelle seguenti classi-tipo:

Tabella 3-5: classi di uso del suolo (Soil Conservation Service).

Classe di uso del suolo	Descrizione
U	Aree urbanizzate con tessuto continuo, con superfici occupate generalmente superiori al 70%
U1	Aree urbanizzate discontinue con percentuale di superfici occupate generalmente inferiori al 70%
B	Boschi e vegetazione arborea
CA	Vegetazione arbustiva, macchia boschiva, cespugliati
C	Vegetazione erbacea, prato-pascolo
CS	Colture speciali, oliveti, vigneti
S	Seminativi
NV	Aree non vegetate
P	Aree umide

La rielaborazione completa delle classi di uso del suolo da Corine alle classi SCS-CN sopra riportate, consentono di normalizzare la distribuzione delle superfici vegetazionali secondo nove classi.

### 3.4.2 Determinazione del Parametro CN

In base alle informazioni sul tipo idrologico di suolo e sull'uso del suolo si è quindi proceduto a stabilire i criteri di corrispondenza con la classificazione del metodo SCS-CN al fine di ottenere il parametro CN-II (condizioni iniziali di terreno mediamente umido) per ogni cella considerata.

Tabella 3-6: valori del Curve Number CN II in funzione della classe idrologica di suolo e dell'uso del suolo (Soil Conservation Service)

		Tipo di suolo idrologico			
		A	B	C	D
Classi di uso del suolo	U	98	98	98	98
	U1	77	85	90	92
	B	58	67	80	85
	CA	57	66	74	79
	C	69	80	87	93
	CS	62	71	78	81
	S	55	69	78	83
	NV	68	79	86	89

Nel caso in cui nel bacino siano presenti differenti tipi di terreno o questo sia utilizzato in differenti modi, si ricorre ad un valore medio di CN. Come suggerito da Mancini e Rosso (1989), si utilizza il valore medio a scala di bacino del parametro S, mediante un'integrazione spaziale dei valori puntuali, anziché un'integrazione dei valori di CN a causa della non linearità dell'equazione che lega i due parametri.

Quindi si ha:

$$\bar{S} = \frac{S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots + S_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (3.6)$$

dove  $S_i$  rappresenta il valore di S per l'area omogenea  $A_i$

L'andamento spaziale del parametro *CN-II* nell'area di interesse è rappresentato graficamente in Figura 3-10.

### 3.5 La trasformazione afflussi – deflussi

#### 3.5.1 Il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH)

Nel vasto panorama dei modelli di formazione dei deflussi, che si propongono di rappresentare matematicamente i processi idrologici che si manifestano in un bacino idrografico descrivendone il comportamento con un operatore che lega la funzione di distribuzione temporale delle piogge effettive (ingresso al sistema) ed il corrispondente idrogramma dei deflussi diretti (risposta del sistema), è stata scelta la metodologia basata sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH). Il metodo si basa sulle ipotesi di linearità e stazionarietà del bacino ed effettua la combinazione tra pioggia in ingresso e IUH per il calcolo della portata diretta. In altre parole, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$  variabile nel tempo, ma supposta costante su tutti i punti del bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t - \tau)d\tau$$

dove  $p(t)=A i(t)$  è la portata di afflusso meteorico al generico tempo  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo).

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui il metodo dell'invaso lineare, il metodo di Nash, il metodo geomorfologico oppure facendo ricorso all'idrogramma unitario del SCS.

##### 3.5.1.1 L'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (IUH-SCS)

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità. Questo IUH presenta il 37.5% del suo volume prima dell'istante di picco; inoltre, i valori della portata di picco e dell'istante  $T_p$  sono stati ricavati adottando un modello semplificato di idrogramma triangolare di base  $2.67 T_p$  (Figura 3-4).

Per la definizione dell'idrogramma unitario adimensionale del SCS è necessario specificare il tempo di ritardo  $T_l$  del bacino idrografico, che può essere valutato separatamente mediante relazioni empiriche valide per l'area in esame oppure, in assenza di esse, a partire dal tempo di corrivazione secondo la relazione:

$$T_l = \frac{3}{5} T_c$$

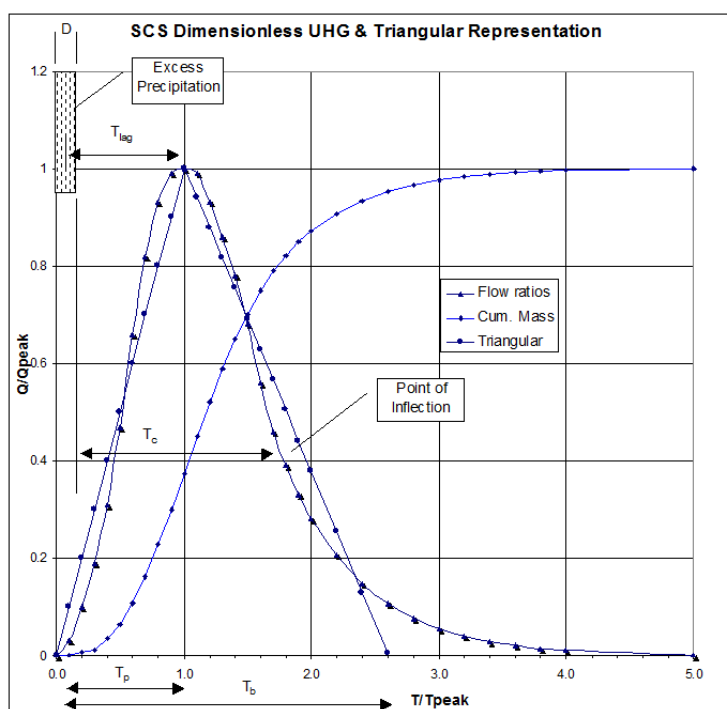


Figura 3-4: IUH-SCS

### 3.5.2 Il Metodo Cinematico (Kinematic Wave)

Il metodo cinematico utilizza l'equazione di continuità e l'approssimazione cinematica delle equazioni complete di De Saint Venant per trasformare la precipitazione efficace in deflusso superficiale. Il bacino viene rappresentato tramite un modello concettuale in cui possono essere definiti due piani rettangolari, percorsi dal deflusso superficiale (*overland flow planes*) e canali che raccolgono il deflusso proveniente dai piani rettangolari (Figura 3-5).

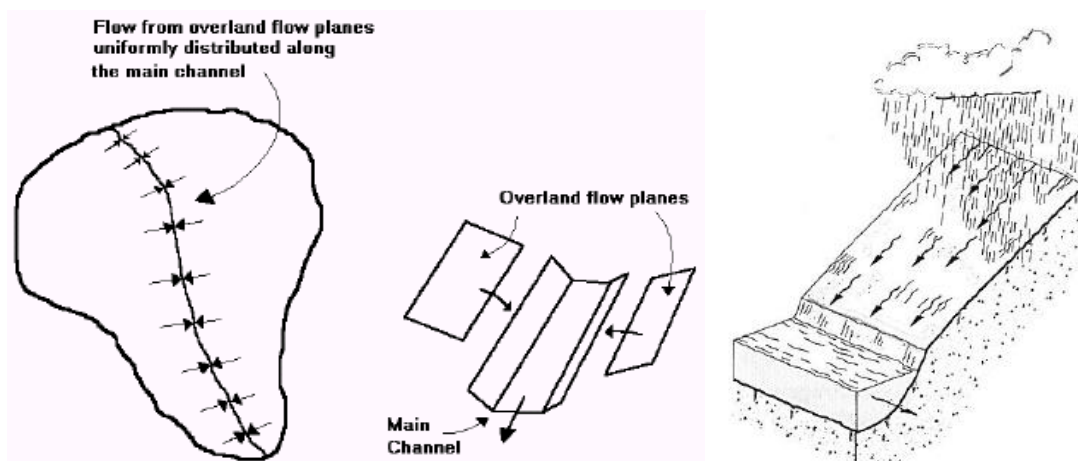


Figura 3-5: schematizzazione cinematica di un interbacino in canali e aree di drenaggio

L'equazione che modella il fenomeno di trasferimento della massa liquida sia sui versanti che nell'alveo del corso d'acqua è l'equazione dell'onda cinematica:

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

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

Il coefficiente di scabrezza di Manning relativo al moto sui versanti è maggiore rispetto quello utilizzato negli alvei naturali e può essere ricavato da specifiche tabelle disponibili in letteratura.

### 3.5.3 La propagazione delle onde di piena

Una onda di piena che percorre un corso d'acqua viene laminata per effetto degli attriti e dei fenomeni di invaso nell'alveo e nelle zone golenali.

Il tempo di percorrenza e le caratteristiche di laminazione della portata al colmo variano a seconda del tipo di corso d'acqua considerato. In particolare, il processo di propagazione dipende dalla pendenza, dalla lunghezza del tratto, dalla scabrezza e dall'altezza d'acqua. In generale lo studio della propagazione dei deflussi può essere effettuato mediante:

- **modelli idraulici**, basati sulle equazioni di De Saint Venant, in forma completa o semplificata.
- **modelli idrologici**, basati sull'equazione di continuità e su relazioni tra portata e volumi liquidi invasati in un dato tratto di un corso d'acqua.

### 3.5.3.1 Il Metodo di Muskingum

Nel presente metodo l'invaso in un tratto di corso d'acqua viene considerato come somma di un termine di immagazzinamento prismatico e di un termine di immagazzinamento a cuneo. Durante la fase di crescita della portata defluente l'invaso a cuneo è positivo e viene aggiunto all'invaso prismatico, mentre durante la fase calante dell'onda di piena l'invaso a cuneo è negativo e viene sottratto dall'invaso prismatico.

Nel metodo di Muskingum si pone:

$$V = K[XQ_i + (1 - X)Q_u]$$

dove  $Q_i$  rappresenta la portata in ingresso,  $Q_u$  la portata in uscita,  $K$  il tempo che impiega l'acqua a propagarsi nel tratto di corso d'acqua in esame (cioè tra la sezione di monte e quella di valle) ed  $X$  è un fattore peso, variabile tra 0 e 0.5. Generalmente i valori di  $X$  sono prossimi a 0 per canali con ampie aree golenali, prossimi a 0.5, invece, per canali a forte pendenza. Valori tipici di  $X$  sono compresi tra 0.2 e 0.3.

### 3.5.3.2 Il Metodo di Muskingum-Cunge

Il metodo di Muskingum-Cunge è basato sull'equazione di continuità e sull'approssimazione parabolica delle equazioni complete di De Saint Venant. Cunge (1969) dimostrò che quando  $K$  e  $\Delta t$  sono assunti come costanti, rappresentano un'approssimazione dell'equazione dell'onda cinematica, ed in particolare dell'equazione di diffusione del momento. Definita  $c$  la celerità di traslazione dell'onda corrispondente a  $Q$  e  $B$  ( $c = \frac{dQ}{dA} = \frac{dx}{dt}$ ) dove  $B$  è la larghezza dell'alveo in superficie ed  $A$  l'area liquida, i coefficienti del metodo di Muskingum vengono calcolati in base alle caratteristiche del corso d'acqua mediante le relazioni:

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

in cui  $\Delta x$  è l'intervallo di discretizzazione spaziale,  $\Delta t$  il passo temporale di calcolo e  $S_0$  la pendenza di fondo. Questa metodologia è stata utilizzata nel caso del fosso Sorrasa.

### 3.5.3.3 Il metodo del lag

Nel caso del torrente Archiano, invece, nota la lunghezza del tratto di interesse e nota la "celerità idraulica" ricavata dallo shape file predisposto per l'intero territorio regionale dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli studi di Firenze (DICEA, referente Prof. Fabio Castelli), liberamente consultabile all'indirizzo <http://www.regione.toscana.it/-/implementazione-di-modello-idrologico-distribuito-per-il->

[territorio-toscano](#), è stato stimato e quindi adottato nel trasferimento dell'onda di piena il tempo di percorrenza del tratto.

### **3.6 Stima della portata di progetto, analisi preliminari e scelta del modello idrologico**

La scelta del tipo di schematizzazione per rappresentare la risposta di un bacino idrografico sollecitato da un evento meteorico è condizionata sia dall'obiettivo dell'analisi che si vuole effettuare sia dalla disponibilità dei dati. Le metodologie comunemente utilizzate per rappresentare la trasformazione afflussi-deflussi possono essere distinte in relazioni matematiche e modelli matematici. Le relazioni matematiche, nelle quali il tempo non compare come variabile, sono comunemente usate quando non è necessario descrivere l'andamento temporale delle grandezze. I modelli matematici, viceversa, si usano quando le quantità in gioco sono funzioni del tempo e non è possibile trascurare l'influenza esercitata sui valori di una grandezza da quelli che la stessa ha assunto in precedenza.

#### **3.6.1 Relazioni matematiche**

Le relazioni matematiche forniscono solo alcune caratteristiche dell'idrogramma di progetto quali l'istante della portata al colmo, la portata al colmo o la durata. I vari metodi utilizzati nella pratica idrologica per la schematizzazione della trasformazione afflussi-deflussi si basano su alcune ipotesi semplificative che sono quelle su cui si fonda il metodo razionale e, in particolare, sono:

- per un fissato tempo di ritorno il massimo della portata al colmo di piena è prodotto dall'evento di pioggia, uniforme nello spazio e nel tempo, ricavato dalla corrispondente curva di possibilità pluviometrica ed avente una durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- il picco dell'idrogramma di piena si osserva all'istante in cui cessa la pioggia;
- il picco di piena ha il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione della piena nel bacino ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avviene senza la formazione di significativi invasi.

Tra le varie relazioni matematiche, si ricorda quella di Ghirardelli che assume l'idrogramma di piena di forma triangolare, con tempo di risalita e di discesa pari al tempo di corrivazione. Il valore della portata al colmo è quindi dato da:

$$Q_c = \frac{1}{3.6} \frac{EA}{T_c}$$

dove  $E$  è la pioggia areale netta, denominata anche eccesso di pioggia, espressa in mm;  
 $T_c$  è il tempo di corrivazione, espresso in ore; e  $A$  è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>.

Nel caso di bacini idrografici strumentati, se si dispone delle osservazione relative ad alcuni idrogrammi di piena salienti, il calcolo del tempo di corrivazione,  $T_c$ , può essere effettuato mediante lo ietogramma di pioggia effettiva e l'idrogramma di deflusso diretto. In particolare, i metodi di stima più ricorrenti per  $T_c$  sono (Singh, 1988):

- il tempo che intercorre tra il centroide della pioggia effettiva e il punto di inflessione del ramo decrescente dell'idrogramma di portata diretta;
- il tempo tra la fine della pioggia effettiva e il punto di inflessione del ramo decrescente dell'idrogramma di portata diretta.

Per bacini idrografici non strumentati, invece, la stima del tempo di corrivazione dipende da relazioni empiriche che esprimono il legame tra  $T_c$  ed alcune grandezze caratteristiche del bacino di facile determinazione. Tra le relazioni empiriche maggiormente utilizzate, ricordiamo la formula di Giandotti (1934), ricavata attraverso dati relativi a diversi bacini italiani (Dora Baltea, Trebbia, Taro, Panaro, Reno Tevere, Arno, Po), che stima  $T_c$  in ore come:

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{0.8H^{0.5}}$$

con  $A$  area del bacino in km<sup>2</sup>,  $L$  lunghezza dell'asta fluviale principale in km e  $H$  altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura espressa in metri. L'altezza media del bacino può essere stimata mediante un modello digitale del terreno.

Altre formule disponibili per la stima del tempo di corrivazione e ottenute su bacini aventi diverse caratteristiche fisiografiche sono quelle di Kirpich, Viparelli, Pezzoli, Aronica e Paltrinieri, Watt & Chow, Chow, NCRS-Lag method, Tournon, Puglisi e Zanframundo, Fattorelli e Marchi:

- **Kirpich**, analizzando sei piccoli bacini americani di area compresa tra 0.0051 e 0.433 Km<sup>2</sup>, ha ricavato la seguente relazione, successivamente corretta da Rowe e Thomas:



$$t_c = 0.000325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore, e  $L$  è la lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque, espressa in metri e  $i_a$  è la sua pendenza.

- **Viparelli** calcola il tempo di corrivazione  $t_c$  come il rapporto tra la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo che deve seguire la particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura e stabilire una velocità media di trasferimento  $V$  della particella nel suddetto percorso:

$$t_c = \frac{L}{V}$$

e suggerisce di utilizzare valori della velocità  $V$  caratteristica per correnti di piena variabili tra 1 e 1.3 m/s, specie per corsi d'acqua pedemontani.

- **Pezzoli** propone invece la seguente espressione del tempo di corrivazione, dedotta da misure su piccoli bacini piemontesi:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in Km e  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

- Una formula analoga è quella di **Watt e Chow**, ottenuta utilizzando dati relativi a 44 bacini canadesi di area compresa tra 0.01 e 5840 Km<sup>2</sup> e caratterizzati da valori della pendenza  $i_a$  variabili tra 0.00121 e 0.0978:

$$t_L = a \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^b$$

in cui  $t_L$  (tempo di ritardo o Lag) è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in m, e le costanti  $a$  e  $b$  assumono rispettivamente il valore 0.000326 e 0.79.

- **Chow** ha proposto anche la stessa formula con i coefficienti  $a=0.00116$  e  $b=0.64$ , studiando venti piccoli bacini americani di superficie variabile tra 0.0051 e 18.5 Km<sup>2</sup>.
- la formula del **NCRS – Lag method** propone, per bacini con superficie compresa tra 0.004 e 8.1 km<sup>2</sup>:

$$t_c = \frac{l^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{0.6 \cdot 1900 \sqrt{i_v}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $l$  è la lunghezza idraulica del bacino espressa in piedi,  $S$  è la ritenzione potenziale espressa in mm e  $i_v$  è la pendenza media dei versanti espressa in percentuale.

- la formula di **Tournon** propone, per bacini con superficie compresa tra 30 e 170 km<sup>2</sup>:

$$T_c = 0.369 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \left( \frac{A \sqrt{i_a}}{L^2 \sqrt{i_v}} \right)^{0.72}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale in km,  $A$  è la superficie del bacino espressa in km<sup>2</sup>,  $i_a$  è la pendenza media (m/m) dell'asta principale e  $i_v$  è la pendenza media (m/m) dei versanti.

- **Puglisi e Zanframundo** hanno proposto, per bacini con superficie compresa tra 43 e 94 km<sup>2</sup>:

$$t_c = C_p \frac{L^{2/3}}{d^{1/3}}$$

in cui  $t_c$  è espresso in ore,  $d$  è il dislivello dell'asta principale valutato come differenza tra l'altitudine massima del bacino e la quota della sezione di chiusura, espresso in m,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in km, mentre  $C_p$  è una costante numerica pari a 6. **Fattorelli e Marchi**, per bacini con superficie compresa tra 7 e 200 km<sup>2</sup>, hanno applicato la formula pervenendo ad un valore di  $C_p$  pari a 5.13.

### 3.6.2 Modelli matematici

La modellistica idrologica si prefigge di creare modelli matematici di tipo afflussi-deflussi, capaci di riprodurre l'andamento della portata in una o più sezioni del reticolo idrografico di un bacino, in funzione della distribuzione sia spaziale che temporale delle piogge. In letteratura sono descritti differenti tipi di modelli idrologici, che possono essere classificati in funzione della complessità della trattazione del problema (Maione, 1977). Tra questi, i più appropriati per gli scopi del presente studio sono i cosiddetti modelli di piena di tipo concettuale che utilizzano rappresentazioni semplificate dei processi fisici in gioco, che vengono comunque esplicitamente presi in considerazione. Inoltre, tali modelli incorporano parametri che sono fisicamente basati riducendo così l'arbitrarietà in fase di calibrazione del modello stesso. In particolare, essi rappresentano con semplicità le perdite, mentre cercano di descrivere in modo più dettagliato la trasformazione della pioggia netta in portata diretta.

Quest'ultima viene assunta pari alla portata totale, poiché in eventi salienti di piena il deflusso di base è tipicamente trascurabile.

Possono essere sviluppati modelli aventi diversi gradi di complessità, da particolarmente semplici a molto dettagliati; tuttavia, per scopi di tipo ingegneristico, è consigliabile l'uso di modelli che rispondano ad alcune particolari esigenze, quali:

- la dipendenza da un numero limitato di parametri, che ne consenta il controllo in fase di calibrazione;
- la semplicità di schematizzazione dei processi fisici, che permetta un'agevole implementazione;
- la sensibilità sufficientemente limitata alla variabilità dei parametri stessi.

I **modelli semi-distribuiti** consentono di soddisfare l'esigenza di impiegare un numero limitato di parametri che ne permetta il controllo in fase di calibrazione e nello stesso tempo utilizzano l'informazione geomorfologica distribuita, la variabilità spaziale delle piogge e delle caratteristiche del suolo, che costituiscono gli aspetti fondamentali nell'analisi della risposta idrologica a scala di bacino. I modelli semi-distribuiti si possono, quindi, considerare come una valida alternativa sia ai modelli a parametri concentrati che incorporano un numero ridotto di parametri a scapito della descrizione dei processi fisici, sia ai modelli distribuiti che, pur effettuando una schematizzazione dettagliata dei fenomeni, restano vincolati a troppi parametri. La scelta è stata quindi dettata dalla necessità di utilizzare un numero limitato di parametri, da stimare attraverso pochi eventi di piena deducibili da bacini "simili" appartenenti alla stessa area geografica, e che sia in grado di fornire gli idrogrammi di piena in qualsiasi sezione del tratto fluviale investigato.

Nel presente studio è stato allestito un modello idrologico di tipo concettuale e semidistribuito, implementati mediante il software americano HEC-HMS ver. 4.2.1, che coprono una superficie complessiva pari a circa 70 km<sup>2</sup>:

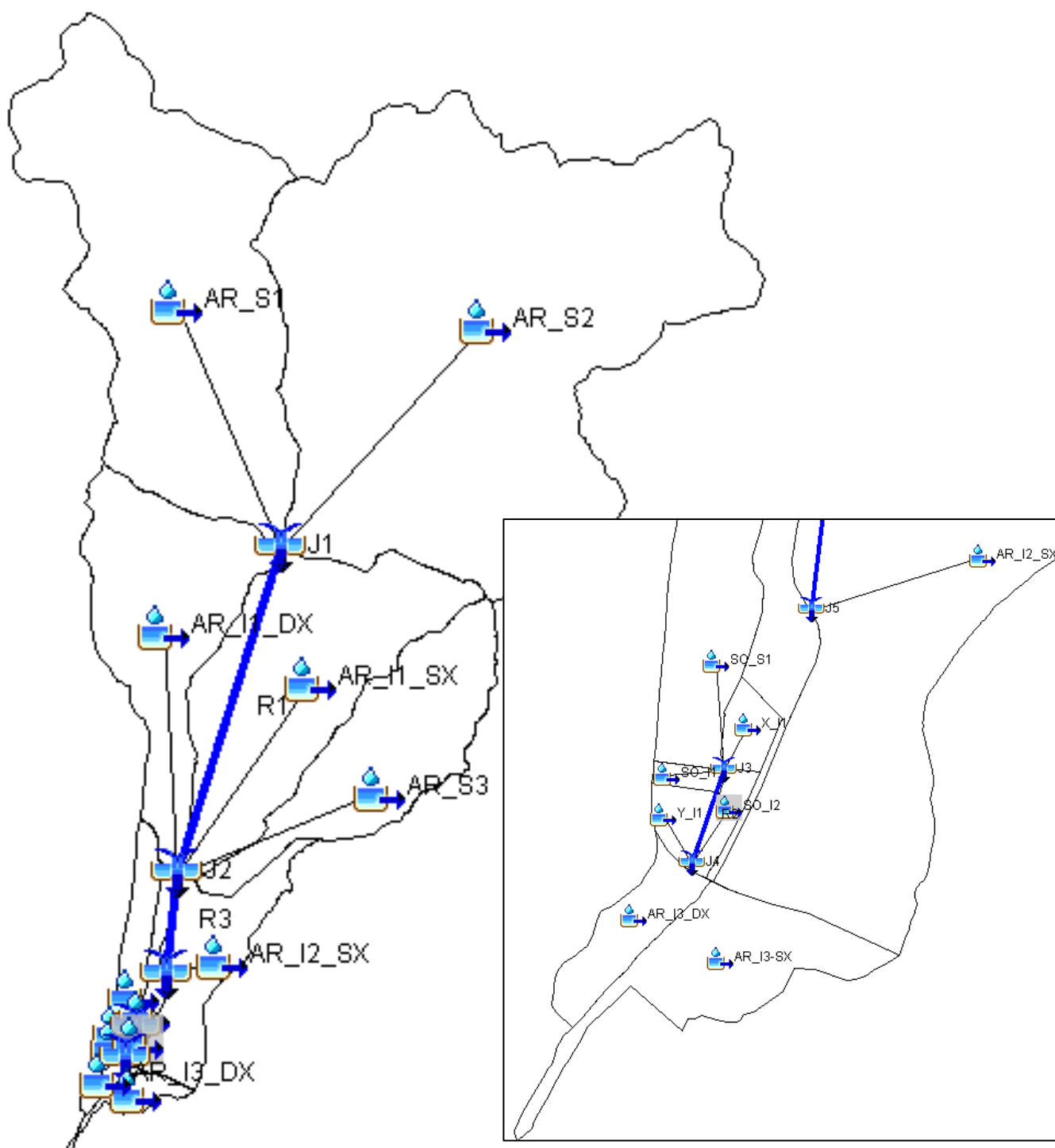


Figura 3-6: Modello idrologico semidistribuito, implementato mediante il software HEC-HMS.

La Figura 3-7 illustra in maniera schematica e concettuale gli elementi del modello e le loro connessioni per il  $j$ -esimo segmento fluviale.

Il modello idrologico scelto è in sintesi un **modello di simulazione dell'evento critico** avente le seguenti caratteristiche:

- dati di pioggia da LSPP Regione Toscana (agg. dati 2012);

- durata critica assunta in prima istanza pari al tempo di corrivazione e infine determinata con procedimento iterativo in modo da massimizzare il valore della portata al colmo;
- riduzione del tasso di pioggia in base alla superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio secondo la formulazione nello studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana;
- ietogramma costante;
- stima dell'infiltrazione mediante metodo SCS-CN (adottando il CN-III);
- trasformazione afflussi deflussi basata sull'IUH del SCS per i sottobacini (con tempo di ritardo valutato a partire dal tempo di corrivazione) e sul metodo dell'onda cinematica per gli interbacini.
- trasferimento dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico principale basato sul metodo di Muskingum-Cunge e sul metodo del Lag.

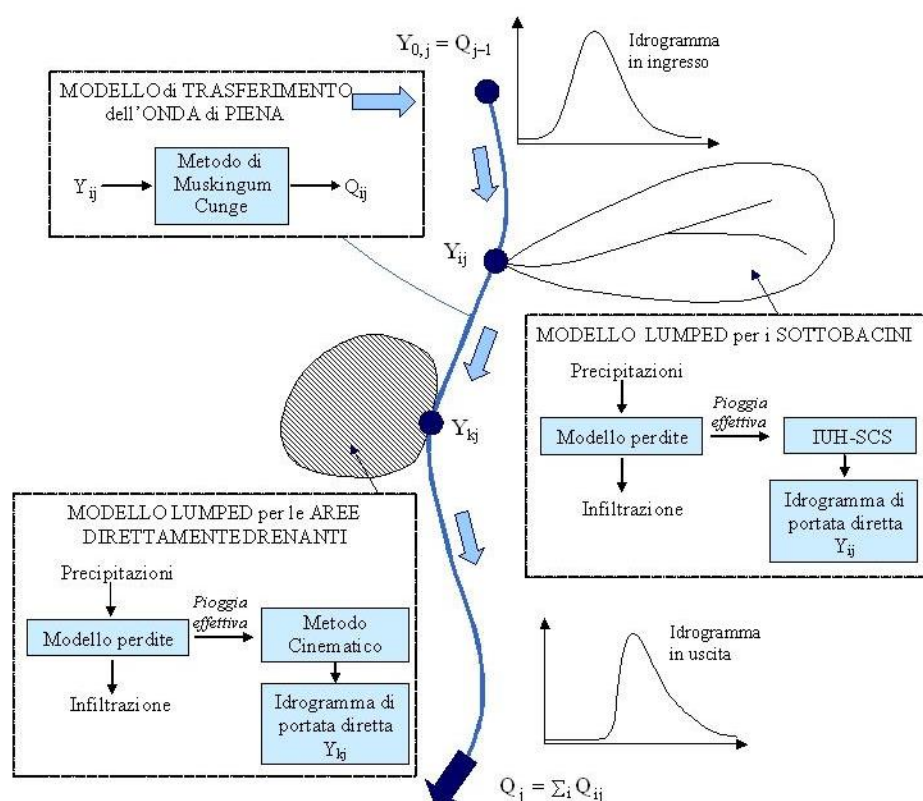


Figura 3-7: Diagramma schematico degli elementi del modello idrologico e delle loro connessioni.

Le caratteristiche morfometriche e di permeabilità dei singoli sottobacini e interbacini necessarie per le analisi idrologiche sono rappresentate in Figura 3-8, Figura 3-9 e Figura 3-10.

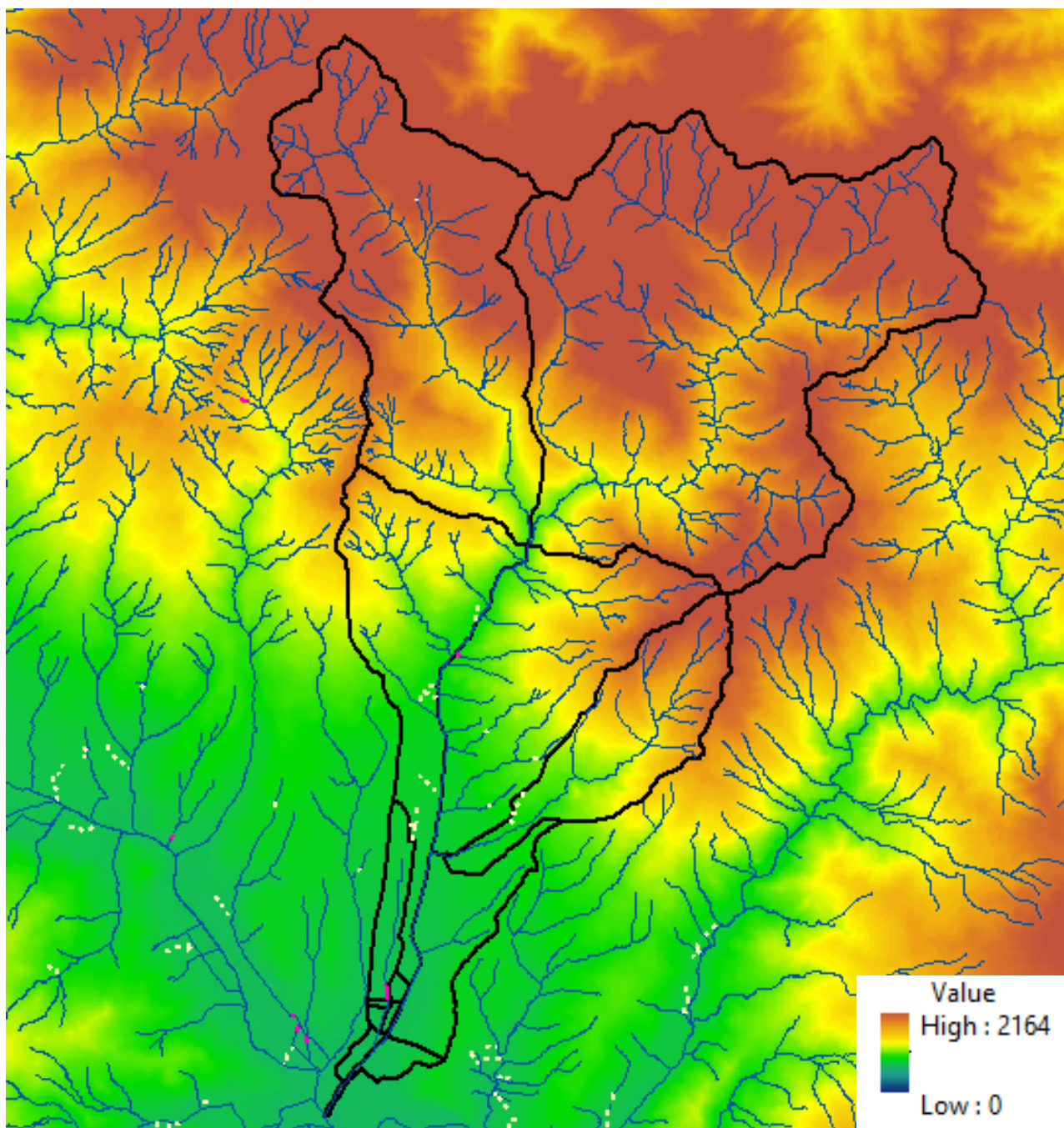


Figura 3-8: Morfologia dell'area di indagine e suddivisione in sottobacini/interbacini.

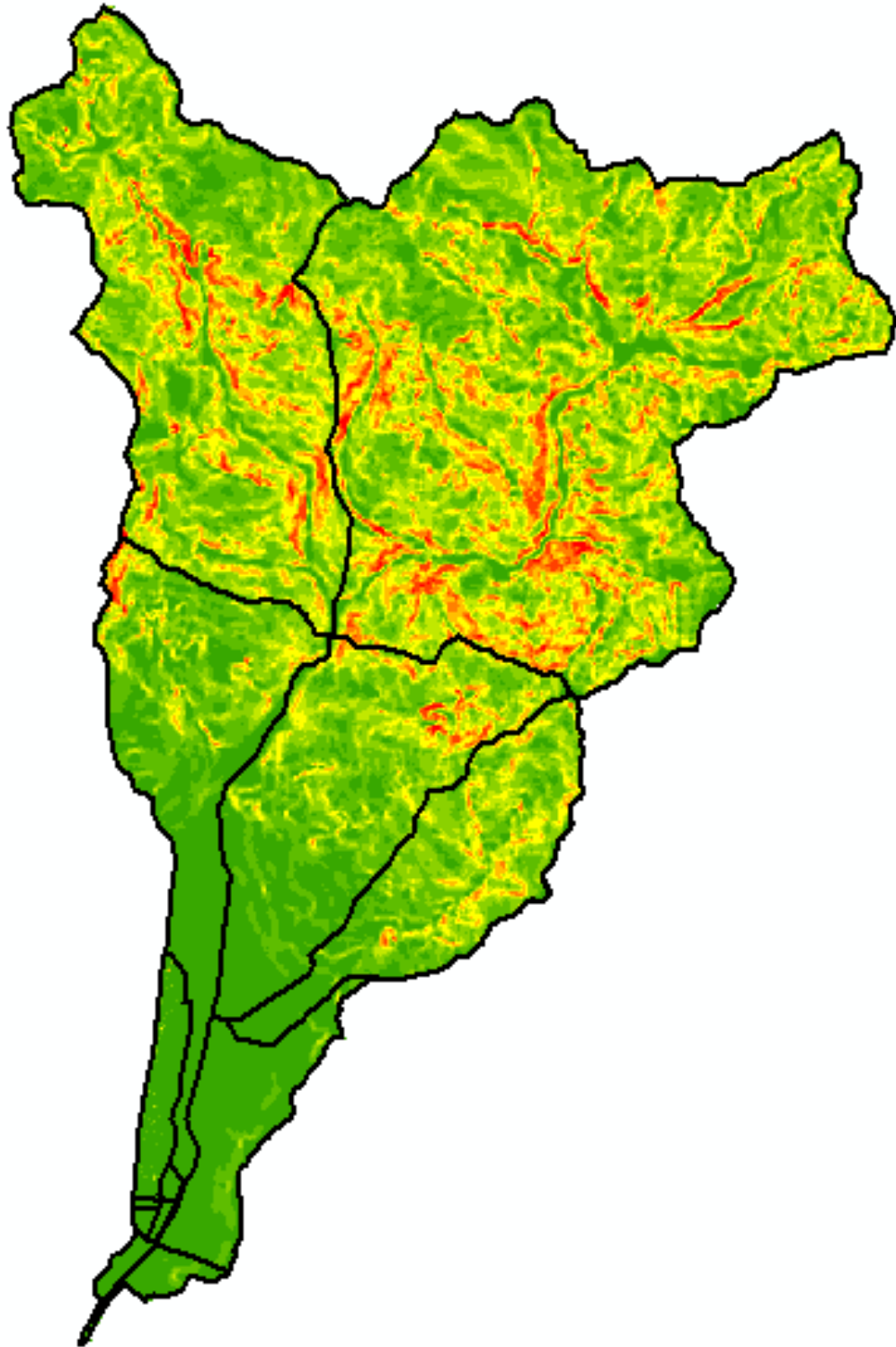


Figura 3-9: Mappa delle pendenze dell'area di indagine e suddivisione in sottobacini/interbacini.

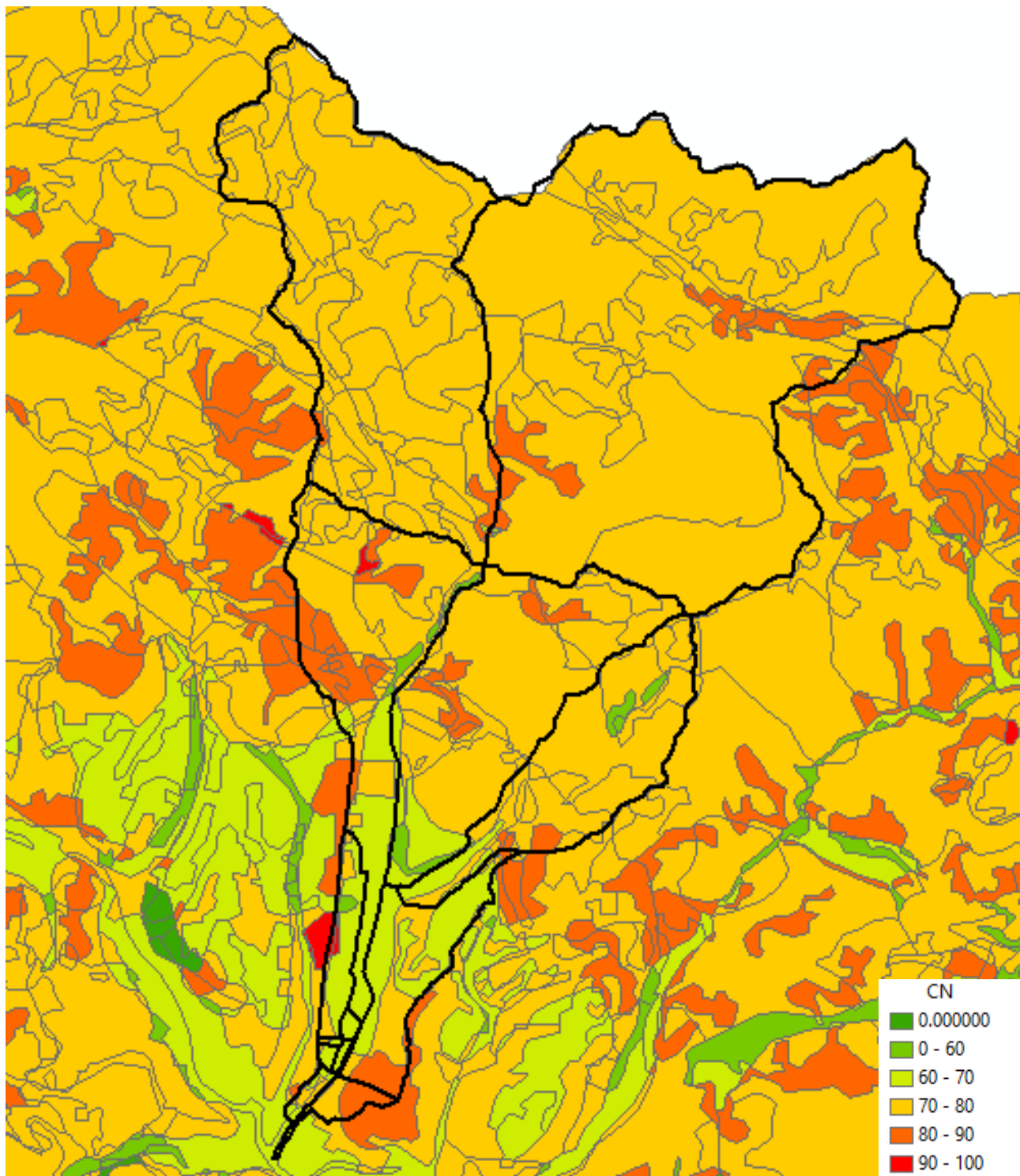


Figura 3-10: Andamento spaziale del parametro *CN-II* nell'area di interesse: la gradazione cromatica da verde a rosso indica aree rispettivamente da molto permeabili a sostanzialmente impermeabili. Le linee nere la suddivisione in sottobacini/interbacini.

### 3.7 Parametri idrologici dei modelli Hec-Hms

Nel paragrafo seguente si riporta il dettaglio dei parametri stimati per ciascun sottobacino ed interbacino analizzato.



In particolare, per ciascun elemento si riportano i valori di area del bacino  $S$  e Curve Number, CN (CN-III). Inoltre, per ciascun sottobacino è indicato il valore del tempo di ritardo  $Tr$  (il cosiddetto "Lag") calcolato a partire dal tempo di corrivazione  $t_c$ , a sua volta stimato con le formulazioni di letteratura descritte al § 3.6.1 applicabili all'elemento in esame.

Per ciascun interbacino, invece, sono riportati i valori dei parametri caratteristici per l'applicazione del modello Kinematic Wave (onda cinematografica) accoppiato al modello di propagazione di Muskingum-Cunge: la superficie ideale rettangolare inclinata è definita dai parametri lunghezza, pendenza e scabrezza; il deflusso nel canale (channel flow) da lunghezza, pendenza del corso d'acqua, scabrezza di Manning ( $n$ ), larghezza al fondo e pendenza delle sponde della sezione trasversale.

Infine, per gli elementi "reach" adottati per la propagazione dell'onda di piena lungo il reticolo idrografico principale mediante il metodo di Muskingum-Cunge, si riportano i seguenti parametri: lunghezza, pendenza del corso d'acqua, scabrezza di Manning ( $n$ ), larghezza al fondo e pendenza delle sponde della sezione trasversale.

### 3.7.1 Modello idrologico

Elemento	Area (km <sup>2</sup> )	CNIII
AR_S2	29.38	87.07
AR_S1	15.42	86.98
AR_I1_SX	8.28	86.99
AR_I1_DX	6.84	86.72
AR_S3	5.38	86.41
AR_I2_SX	2.7	83.55
SO_S1	0.955	81.14
X_I1	0.07	78.96
SO_I1	0.03	81.47
Y_I1	0.07	79.73
SO_I2	0.06	78.96
AR_I3-SX	0.46	89.54
AR_I3_DX	0.19	83.52

Sottobacino	LAG (min)
AR_S2	101
AR_S1	65
AR_S3	46
SO_S1	54

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Manning's n	Area (%)
AR_I1_SX(Plane 1)	1150	0.26	0.1	100
AR_I1_DX(Plane 1)	582	0.20	0.1	100
AR_I2_SX(Plane 1)	627	0.08	0.1	100
X_I1(Plane 1)	64.1	0.04	0.1	45
X_I1(Plane 2)	50	0.04	0.1	55
SO_I1(Plane 1)	155	0.04	0.1	100
Y_I1(Plane 1)	86.39	0.05	0.1	100
SO_I2(Plane 1)	49.73	0.04	0.1	100
AR_I3-SX(Plane 1)	305	0.07	0.1	100
AR_I3_DX(Plane 1)	108	0.02	0.1	100

Interbacino	Length (m)	Slope (m/m)	Shape	Manning's n	Width (m)	Side Slope (xH:1V)
AR_I1_SX	4962.08	0.0234	Trapezoid	0.035	9.0	2.53
AR_I1_DX	7706.62	0.0197	Trapezoid	0.035	9.0	2.53
AR_I2_SX	2746.19	0.0129	Trapezoid	0.035	9.0	2.53
X_I1	344.74	0.0177	Trapezoid	0.030	0.5	1.00
SO_I1	102	0.0184	Trapezoid	0.030	1.0	1.00
Y_I1	319.66	0.0114	Trapezoid	0.030	0.3	1.00
SO_I2	439.93	0.0089	Trapezoid	0.030	1.0	1.00
AR_I3-SX	1453.62	0.0086	Trapezoid	0.035	16.0	1.28
AR_I3_DX	925.4	0.0086	Trapezoid	0.035	16.0	1.28

Reach	Length (m)	Slope (m/m)	Manning's n	Shape	Width (m)	Side Slope (xH:1V)
R2	433.93	0.0089	0.03	Trapezoid	1.0	1.0

Reach	Tlag
R1	26
R3	9

## 4 Risultati dell'analisi idrologica

La procedura descritta ha permesso di ricavare, per ogni corso d'acqua analizzato, nelle sezioni di chiusura di interesse ed al variare del tempo di ritorno, le portate di progetto, con evidenziazione delle portate di picco corrispondenti alla durata critica (vedi tabelle seguenti).

N°	Nome	Sez chiusura	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR200											
				0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	10h	12h	
1	Archiano	AR_S2	29.4	38.6	66.2	99.4	111.9	113.7	111.0	106.3	101.2	96.1	87.1	79.7	
2	Archiano	AR_S1	15.4	30.7	51.4	69.3	71.0	67.7	63.3	59.0	55.2	51.8	46.4	42.2	
3	Archiano	J1	44.8	63.7	108.4	159.3	177.9	179.0	173.1	164.7	156.1	147.7	133.4	121.8	
4	Archiano	R1	44.8	63.7	108.3	159.2	177.8	179.0	173.1	164.7	156.1	147.7	133.4	121.8	
5	Archiano	AR_I1_SX	8.3	19.0	42.9	52.0	45.0	39.8	35.9	32.8	30.4	28.3	25.2	22.8	
6	Archiano	AR_I1_DX	6.8	17.1	36.7	42.4	37.0	32.7	29.5	27.0	25.0	23.3	20.8	18.8	
7	Archiano	AR_S3	5.4	14.1	22.8	27.7	26.7	24.6	22.5	20.8	19.4	18.1	16.2	14.7	
8	Archiano	J2	65.3	75.4	125.0	186.1	230.4	247.8	246.2	237.1	225.9	214.3	194.0	177.3	
9	Archiano	R3	65.3	75.4	125.0	186.1	230.4	247.8	246.2	237.1	225.9	214.3	194.0	177.3	
10	Archiano	AR_I2_SX	2.7	3.7	10.0	14.8	13.3	12.0	11.0	10.1	9.4	8.8	7.9	7.2	
11	Archiano	J5	68.0	76.7	126.7	191.8	240.1	257.7	255.9	246.3	234.7	222.7	201.6	184.3	
12	Sorrassa	SO_S1	1.0	1.3	2.5	3.6	3.8	3.7	3.5	3.3	3.1	2.9	2.7	2.4	
13	Sorrassa	X_I1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
14	Sorrassa	SO_I1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
15	Sorrassa	J3	1.1	1.3	2.5	3.6	4.0	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	2.9	2.7	
16	Sorrassa	R2	1.1	1.3	2.5	3.6	4.0	4.0	3.8	3.6	3.4	3.2	2.9	2.7	
17	Sorrassa	Y_I1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	
18	Sorrassa	SO_I2	0.1	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
19	Sorrassa	J4	1.2	1.3	2.5	3.9	4.5	4.5	4.3	4.1	3.8	3.6	3.3	3.0	
20	Archiano	AR_I3-SX	0.5	2.2	3.7	3.2	2.7	2.3	2.1	1.9	1.8	1.9	1.4	1.3	
21	Archiano	AR_I3_DX	0.2	0.5	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	

Figura 4-1: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 200 anni ricavate dall'analisi idrologica

Nome	Sez chiusura	S (kmq)	Q picco (mc/s) - TR30											
			0.5h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	10h	12h	
Archiano	AR_S2	29.4	24.7	43.1	65.9	75.3	77.4	76.0	73.3	70.1	66.8	60.7	55.6	
Archiano	AR_S1	15.4	19.7	33.6	46.5	48.5	46.7	44.0	41.2	38.6	36.4	32.6	29.6	
Archiano	J1	44.8	40.8	70.6	105.7	119.9	122.0	118.9	114.0	108.5	103.0	93.2	85.2	
Archiano	R1	44.8	40.8	70.6	105.6	119.8	122.0	118.9	113.9	108.5	103.0	93.2	85.2	
Archiano	AR_I1_SX	8.3	9.1	22.5	34.6	31.2	27.9	25.2	23.1	21.4	20.0	17.8	16.1	
Archiano	AR_I1_DX	6.8	8.4	19.7	28.3	25.5	22.8	20.7	19.0	17.6	16.4	14.6	13.2	
Archiano	AR_S3	5.4	8.9	14.9	18.7	18.3	17.0	15.7	14.6	13.6	12.7	11.4	10.3	
Archiano	J2	65.3	50.7	84.4	126.9	154.7	167.5	168.1	163.3	156.4	149.1	135.3	123.9	
Archiano	R3	65.3	50.7	84.4	126.9	154.7	167.5	168.1	163.3	156.4	149.1	135.3	123.9	
Archiano	AR_I2_SX	2.7	1.5	4.6	9.1	8.9	8.1	7.5	6.9	6.5	6.1	5.4	5.0	
Archiano	J5	68.0	51.9	86.0	129.6	160.8	174.1	174.6	169.6	162.5	154.8	140.6	128.7	
Sorrassa	SO_S1	1.0	0.7	1.4	2.2	2.4	2.4	2.3	2.2	2.1	2.0	1.8	1.7	
Sorrassa	X_I1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
Sorrassa	SO_I1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Sorrassa	J3	1.1	0.7	1.5	2.3	2.5	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.8	
Sorrassa	R2	1.1	0.7	1.5	2.3	2.5	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.0	1.8	
Sorrassa	Y_I1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	
Sorrassa	SO_I2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Sorrassa	J4	1.2	0.7	1.5	2.3	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.2	2.0	
Archiano	AR_I3-SX	0.5	1.2	2.3	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	0.9	
Archiano	AR_I3_DX	0.2	0.2	0.6	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	

Figura 4-2: portate di picco di progetto per tempo di ritorno TR = 30 anni ricavate dall'analisi idrologica

Pertanto sono stati analizzati sia gli eventi la cui durata di pioggia determinano le portate di picco, sia eventi meteorici aventi durata di pioggia maggiore di quella critica che potrebbero invece determinare volumi di esondazione maggiori rispetto a quelli relativi alla durata critica (anche se con picchi di piena inferiori).

In particolare, sono stati pertanto simulati i seguenti scenari:

- evento meteorico duecentennale di durata pari a: 4, 5, 6, 8, 12 ore;
- evento meteorico trentennale di durata pari a: 4, 5, 6, 8, 12 ore;

Nella tabella seguente sono stati messi a confronto i valori delle portate al colmo di piena alla sezione iniziale del tratto oggetto di analisi stimati nel presente studio con quelli desunti dal già citato Studio idrologico idraulico redatto per conto del Comune di Bibbiena di supporto alla "Proposta di modifica delle mappe di pericolosità idraulica del PGRA".

Tabella 4-1: Confronto tra le portate al colmo di piena stimate nel presente studio e quelle desunte da studi pregressi validati

	Q <sub>30</sub> (mc/s)	Q <sub>200</sub> (mc/s)
Studio Pregresso (a supporto del PGRA)	146.1	240.6
<b>Studio attuale</b>	<b>174.6</b>	<b>257.7</b>

Come si desume dalle tabelle precedenti, le portate al colmo di piena stimate nel presente studio idrologico-idraulico risultano leggermente superiori (seppur confrontabili) rispetto a quelle risultanti dagli studi pregressi.

## 5 Analisi idraulica

### 5.1 Il modello numerico di simulazione idraulica

Come già anticipato, il presente studio idrologico - idraulico persegue l'obiettivo di individuare allo stato attuale i potenziali fronti di esondazione che potrebbero interessare l'intervento.

Le modalità di allagamento delle aree golenali di un corso d'acqua possono risultare molto differenti da caso a caso. Un allagamento può, infatti, verificarsi per libera espansione nelle golene non protette da difese spondali o per tracimazione degli argini o dei muri di sponda. Il volume esondato può, a sua volta, accumularsi in una determinata area oppure può trasferirsi più a valle, allagando, magari, un territorio non interessato da un fronte di esondazione diretto.

Per descrivere compiutamente il fenomeno di propagazione delle onde di piena sono stati allestiti dei modelli matematici accoppiati 1D per gli alvei incisi e puramente 2D per le aree golenali extra-alveo implementati mediante il software Hec-Ras<sup>5</sup> (rel.5.0.7).

### 5.2 Principi teorici della modellazione numerica

Rimandando all'indirizzo internet <http://www.hec.usace.army.mil> per l'esauriva trattazione dei principi teorici sui quali si basa la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto (in particolare alle pubblicazioni "*Hydraulic Reference Manual*", "*User's Manual*" e "*Two-Dimensional Modeling User's Manual*"), si riportano di seguito alcuni brevi cenni di come viene effettuata la modellazione numerica 2D dal software Hec-Ras v.5.

Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente in base al tipo di problema da analizzare: le equazioni 2D in forma completa (Full Momentum) sono tuttavia applicabili a alla più ampia gamma di applicazioni e sono state adottate nel presente studio.

Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. Tale algoritmo di soluzione, oltre a consentire passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti, presenta miglioramenti in termini di stabilità e

---

<sup>5</sup> Hydrologic Engineering Center – River Analysis System – US Army Corps of Engineers, Davis CA.

robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.

Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere variabili e presentare forme triangolari, quadrate, rettangolari, pentagonali, esagonali, ettagonali oppure ottagonali.

Ogni cella e ogni faccia della cella, per tutta la maglia di calcolo, è pre-processata al fine di calcolare le tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM di base, che mantiene la propria risoluzione spaziale generalmente, come in questo caso, superiore a quella della mesh (Figura 5-1).

Nella Figura 5-1 è illustrato uno schema della maglia di calcolo sovrapposta ad un DTM avente maggior risoluzione spaziale della mesh. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. Il centro delle celle di calcolo è rappresentato dai nodi neri e sono i punti in cui vengono calcolati per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume viene calcolata nella fase di pre-processing per ogni cella sulla base del DTM sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra celle contigue in base ai dati morfologici sottostanti. Pertanto, un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione della mesh viene comunque rappresentato tramite le curve altezza/volume oltreché dalle proprietà idrauliche delle facce. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso si concentra inizialmente nelle zone più depresse.

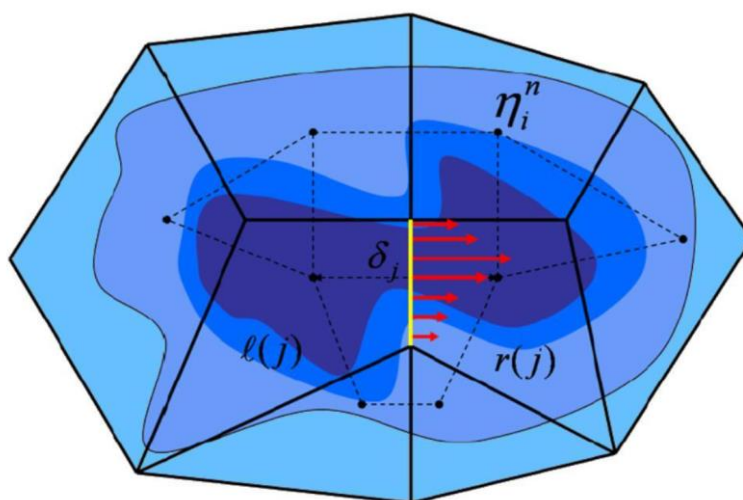


Figura 5-1: schema concettuale dell'algoritmo a volumi finiti adottato dal software Hec-Ras v.5.

Nell'ambiente RAS Mapper, il software Hec-Ras consente di effettuare la perimetrazione delle aree allagabili, la mappatura delle varie grandezze idrauliche (tra cui velocità, sforzi tangenziali, ecc...) l'animazione della propagazione della piena nel tempo. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM e ne mantiene la risoluzione: ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli morfologici del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.

### 5.2.1 Assegnazione dei parametri di scabrezza

Per quanto riguarda le scabrezze medie attribuibili ai singoli corsi d'acqua analizzati si rimanda ai successivi paragrafi relativi. In particolare il coefficiente  $n$  di Manning rappresentativi della regolarità dei corsi d'acqua e della presenza di vegetazione, è stato assunto coerentemente ai normali valori proposti in letteratura<sup>6</sup>:

- $0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari"*.
- $0.030 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia"*.
- $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  corrisponde a :*"Canali in abbandono con grande vegetazione"*.

Per quanto riguarda le scabrezza extra-alveo si è fatto riferimento ai valori di letteratura associati ai codici di uso del suolo del Land Corine Cover (vedere C.J. van Der Sande et al, A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment", International Journal of applied earth observation and geoinformation, 2003, Lopes et al Flooding assessment under sea level rise scenarios: Ria de Aveiro case, Journal of coastal research, 2013).

Table 1: valori di scabrezza per le aree extra-alveo.

USO DEL SUOLO	Codice CORINE	Manning n
Tessuto Urbano continuo	111	0.14
Tessuto Urbano discontinuo	112	0.09
Aree industriali o commerciali	121	0.14
Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	122	0.07
Aree portuali	123	0.07
Aeroporti	124	0.06
Aree estrattive	131	0.12
Discariche	132	0.04
Cantieri	133	0.06
Aree verdi urbane	141	0.02
Aree ricreative e sportive	142	0.04
Seminativi in aree non irrigue	211	0.08

<sup>6</sup> Manuale di Ingegneria Civile - Volume I .Ed.Zanichelli/Esac.

USO DEL SUOLO	Codice CORINE	Manning n
Seminativi in aree irrigue	212	0.08
Risaie	213	0.04
Vigneti	221	0.12
Frutteti e frutti minori	222	0.12
Oliveti	223	0.12
Prati Stabili	231	0.1
Colture temporanee associate a colture permanenti	241	0.08
Sistemi colturali e particellari complessi	242	0.1
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	243	0.09
Boschi di latifoglie	311	0.1
Boschi di conifere	312	0.1
Boschi misti	313	0.13
Aree a pascolo naturale e praterie	321	0.11
Brughiere e cespuglieti	322	0.06
Aree a vegetazione sclerofilla	323	0.1
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	324	0.1
Spiagge, dune e sabbie	331	0.07
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	332	0.07
Aree con vegetazione rada	333	0.09
Aree percorse da incendi	334	0.07
Paludi interne	411	0.1
Saline	422	0.04
Corsi d'acqua, canali e idrovie	511	0.03
Bacini d'acqua	521	0.03

### 5.2.2 Condizioni al contorno

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una data sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa, a monte o a valle a seconda del regime di corrente.

Il programma provvede automaticamente al riconoscimento per tratti del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e, se in un tratto la corrente ad esempio è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte; viceversa, se la corrente del tratto è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri ed è in grado di processare situazioni in cui i due regimi si susseguono in qualsiasi ordine.

Per effettuare la simulazione è quindi necessario imporre delle condizioni al contorno a monte e a valle dei tratti in esame. Com'è noto questa condizione può essere imposta in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme, scala di deflusso.



A questo proposito va tuttavia osservato che il metodo d'integrazione numerica adottato dal software ("Standard step method") è intrinsecamente autoregolante, ovvero, dopo pochi step spaziali (sezioni), l'altezza della corrente risulta invariante rispetto alla condizione al contorno adottata. Per questo motivo, eventuali imprecisioni nella valutazione delle altezze di controllo diventano inessenziali se si dispone di un numero di sezioni in eccesso rispetto a quelle strettamente occorrenti per l'estensione del tratto da indagare.

L'ipotesi di fondo circa la natura della forzante meteorica è che il Bacino del fiume Arno e il bacino del torrente Archiano siano simultaneamente interessati da eventi di pioggia caratterizzati dallo stesso tempo di ritorno (isofrequenti) e dalla stessa durata (isocroni), estesi a tutto il bacino sotteso, uniformi nel tempo e nello spazio.

Pertanto, per ciascun evento di meteorico di riferimento, sono stati utilizzati i relativi idrogrammi di piena per la condizione al contorno di monte mentre per la condizione al contorno di valle sono utilizzati i corrispondenti limnogrammi in Arno.

I limnogrammi alla sez 1440, prossima alla confluenza in Arno dell'Archiano, derivano dal modello SIMI (SIT - Modellazione Idraulica) sviluppato in occasione della redazione del PAI (Piano di Bacino del Fiume Arno, stralcio "Assetto Idrogeologico") e furono forniti dall'Autorità di Bacino del fiume Arno in occasione di precedenti studi.

Poichè la sez. n. 1440, che si trova circa 150 m a valle del punto in cui si immette il torrente Archiano i livelli del pelo libero in Arno alla confluenza sono stati così ricavati sulla base dei limnogrammi alla sez. 1440 interpolando rispetto alla locale pendenza del fiume Arno.

È tuttavia opportuno osservare che l'area di interesse dista circa 1,7 Km dalla immissione del torrente Archiano in Arno e pertanto la relativa allagabilità non è influenzata dai livelli del pelo libero dell'Arno.

### **5.3 Allestimento del modello geometrico**

Per meglio approssimare il fenomeno reale di propagazione della piena in alveo e nelle aree golenali è stato allestito (mediante il software Hec-Ras) un modello matematico del reticolo idrografico di interesse (torrente Archiano, fosso Sorrassa e fosso minore a monte della SR 71) nonché delle aree golenali di interesse.

I dati topografici utilizzati nel presente lavoro sono di due tipi: rilievo strumentale delle sezioni trasversali e modello Digitale del Terreno (DTM) derivato da rilievo realizzato con

laser      altimetro      aviotrasportato      liberamente      consultabile      all'indirizzo  
<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/cartoteca.html>.

In particolare le sezioni trasversali dei predetti corsi d'acqua derivanti da rilevamenti topografici di dettaglio a terra sono state desunte da:

- studio idrologico idraulico redatto per conto del Comune di Bibbiena di supporto alla "Proposta di modifica delle mappe di pericolosità idraulica del PGRA" per quanto riguarda il torrente Archiano;
- rilievo topografico effettuato dalla Chiarini Associati nel marzo 2020 per quanto riguarda il fosso Sorrassa e il fosso minore a monte della SR 71.

In definitiva, per l'allestimento del modello geometrico sono state schematizzate le seguenti aste:

- **torrente Archiano**: dalla sez. 101, posta in località Malagiata alla confluenza in Arno per una lunghezza complessiva di circa 2,6 Km;
- **fosso Sorrassa**: dalla sez 100 in località la ferrantina alla confluenza con il torrente Archiano, per una lunghezza complessiva di circa 1.4 Km;
- **fosso minore a monte della SR 71**: dalla sez. 100 a monte della SR 71 alla confluenza con il fosso Sorrassa, per una lunghezza complessiva di circa 200 m.

### 5.3.1 Scabrezze

- **torrente Archiano**: coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$
- **fosso Sorrassa**: coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.027 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .
- **fosso minore**: coefficiente di scabrezza di Manning  $n$  in alveo pari a  $0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  ed extra alveo pari a  $0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .

## 5.4 Schema planimetrico con individuazione dei fronti di esondazione diretta

Nelle immagini seguenti si riporta la schematizzazione planimetrica con l'individuazione dei fronti di esondazione

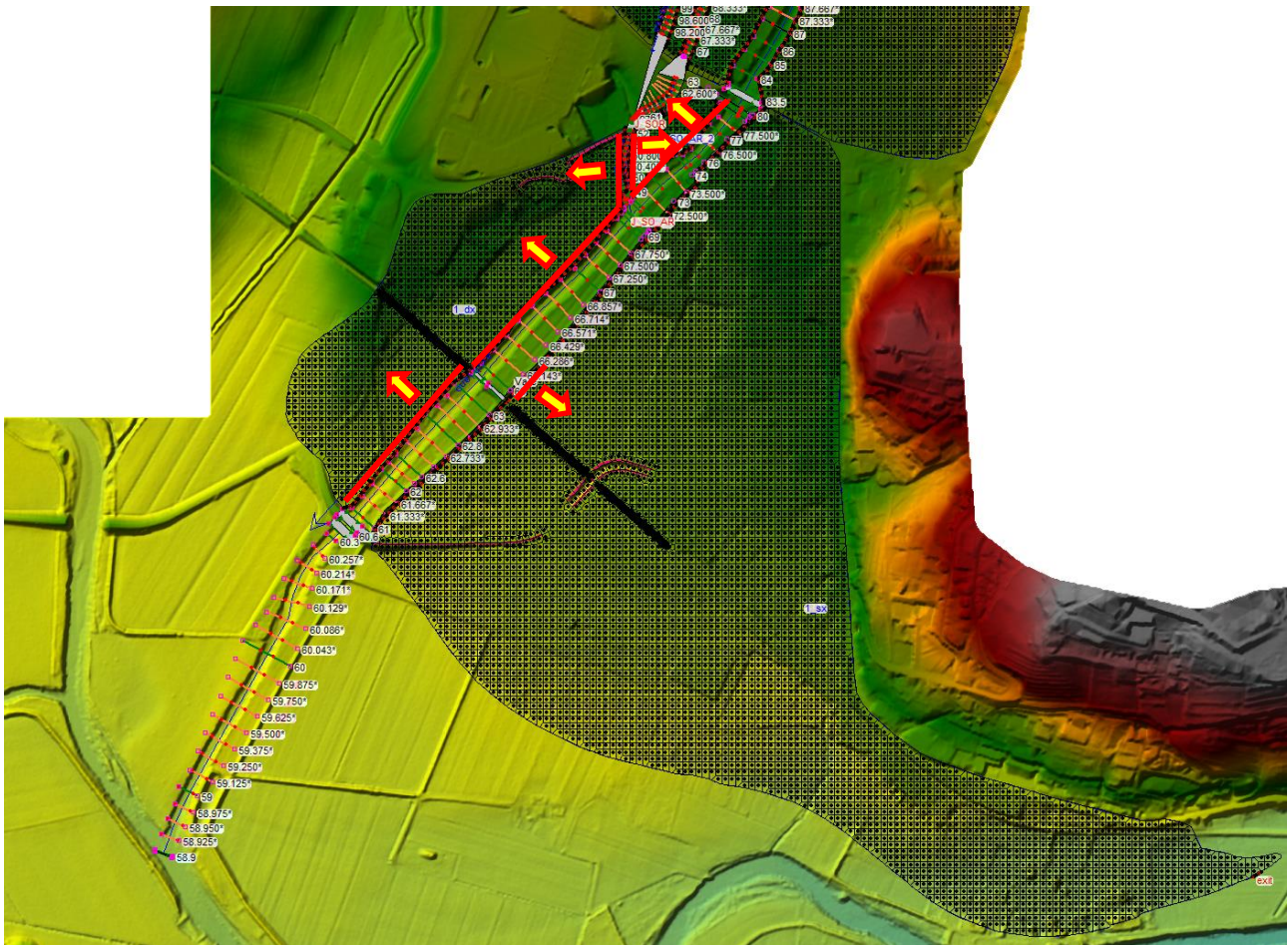


Figura 5-2: reticolo idrografico oggetto di analisi a sud della SR71

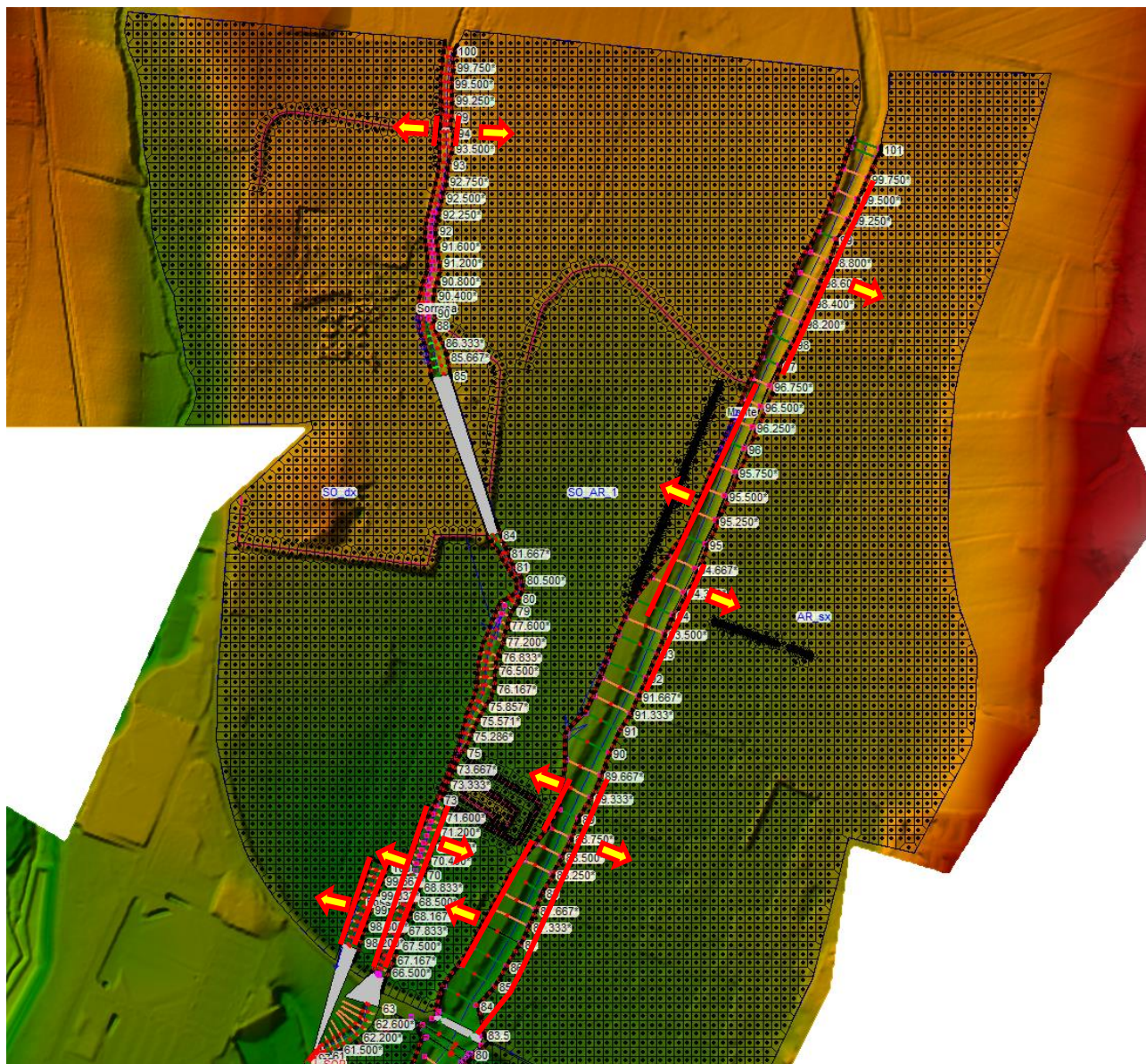


Figura 5-3: reticolo idrografico oggetto di analisi a nord della SR71

## 6 Risultati della modellazione idraulica

Le simulazione numerica delle correnti di piena condotte per eventi meteorici duecentennali e trentennali, implementati con il programma Hec-Ras, hanno consentito di individuare, per i corsi d'acqua oggetto di studio, i tratti dove si verificano le esondazioni, gli idrogrammi corrispondenti ai volumi esondati da ciascun fronte di esondazione e la relativa propagazione extra-alveo di detti volumi idrici.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla Appendici 1 contenenti gli outputs delle simulazioni numeriche 1D+2D effettuate in regime di moto vario.

Le figure seguenti mostrano i risultati delle analisi idrauliche effettuate in termini di massimi battenti calcolati in occasione di una piena con TR = 200 anni per durata di pioggia par a 4 ore.

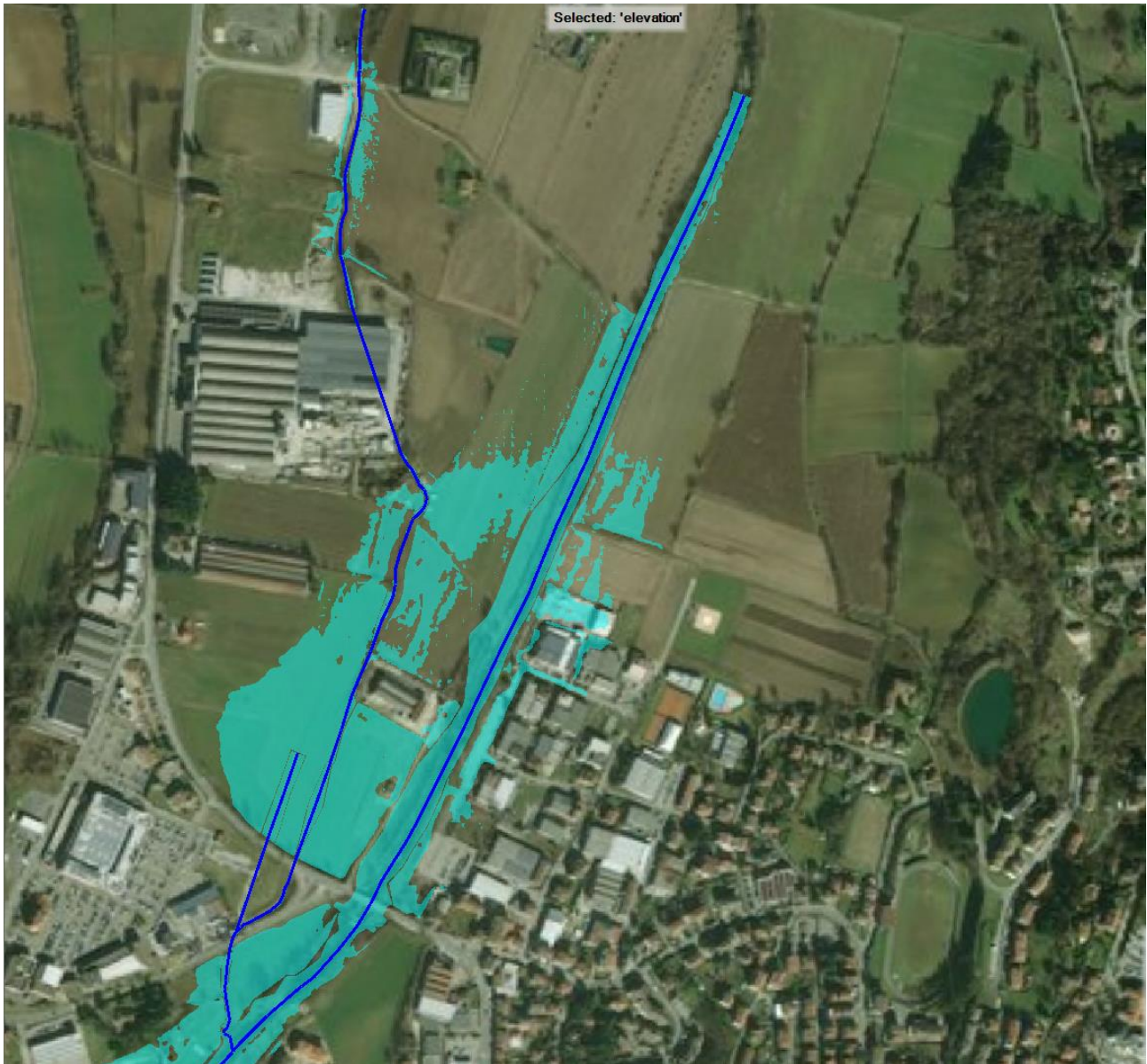


Figura 6-1: sovrapposizione delle aree allagabili per evento meteorico duecentennale di durata di pioggia pari a 4 ore alla foto aerea.

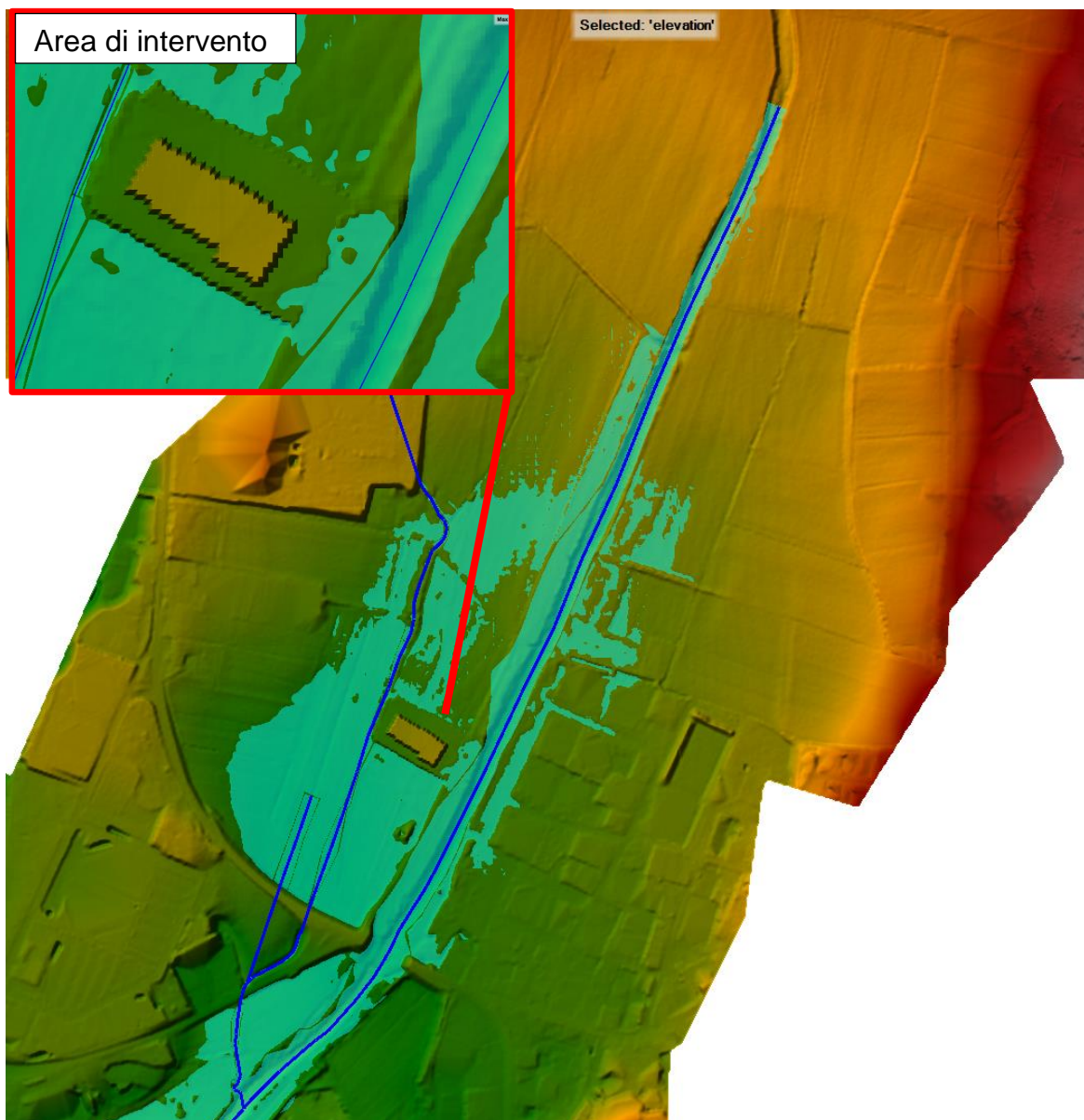


Figura 6-2: sovrapposizione delle aree allagabili per evento meteorico duecentennale di durata di pioggia pari a 4 ore al modello digitale del terreno.

Come mostrato nelle precedenti Figura 6-1 e Figura 6-2 la situazione di “alto” morfologia dell’area dell’intervento fa sì che essa non risulti interessata da eventuali fronti di esondazione, dato che questi si propagherebbero in direzione del fosso Sorrasa seguendo la morfologia degradante del piano campagna in direzione di detto corso d’acqua.

**Da tutti gli scenari duecentennali analizzati (vedasi Appendice 1) emerge che l’area in cui è previsto l’intervento non è interessata da allagamenti per TR = 200 anni.**

A maggior ragione l’area non risulta interessata neanche da allagamenti per TR= 30 anni come mostrato nella successiva Figura 6-3.

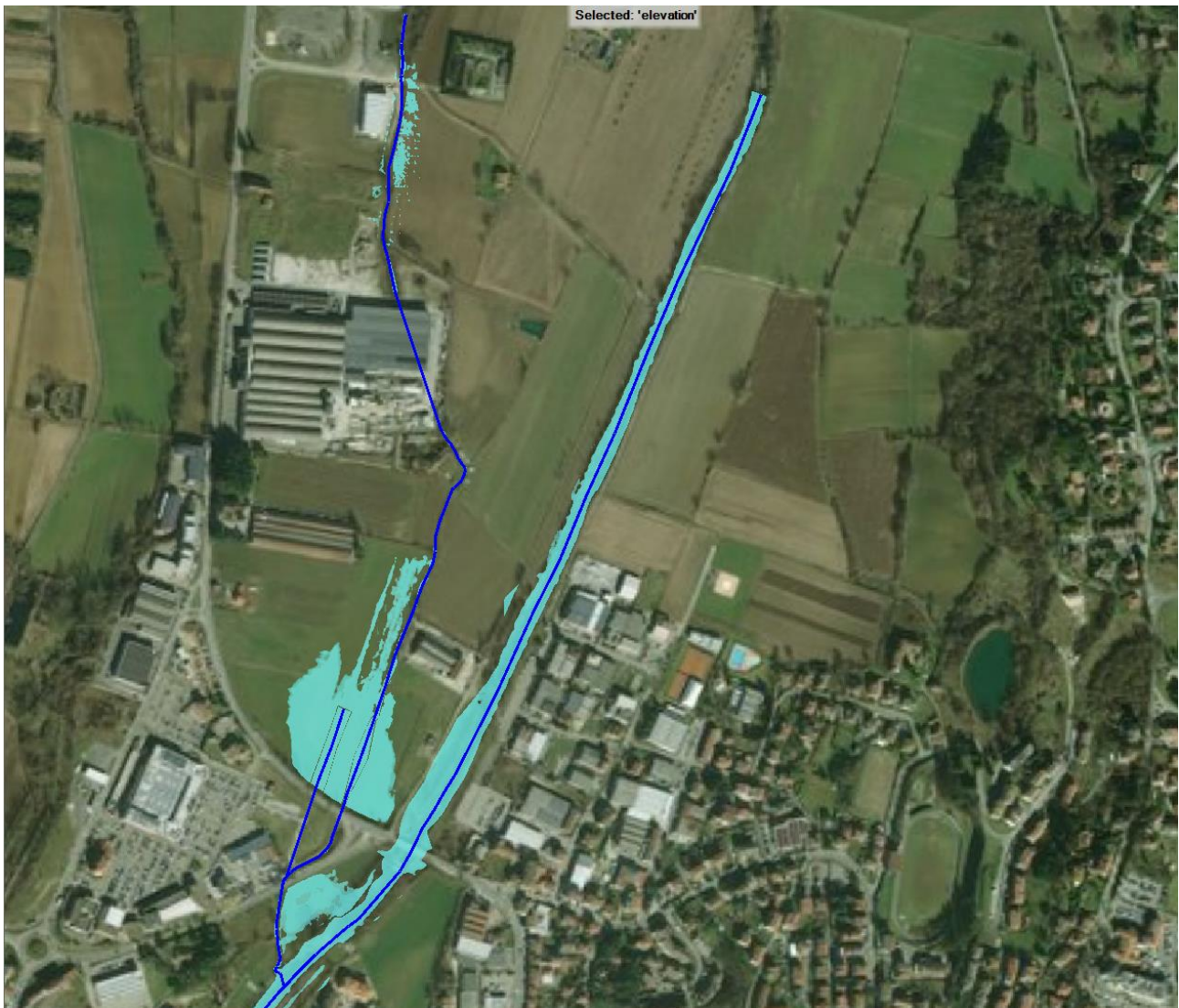


Figura 6-3: sovrapposizione dell'inviluppo delle aree allagabili per evento meteorico trentennale alla foto aerea.



## **7 Condizioni di fattibilità dell'intervento alla luce del rischio idraulico presente, opere per la gestione del rischio alluvioni e considerazioni circa il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree**

Sulla base dei risultati esposti nel presente studio idrologico-idraulico di dettaglio, l'area di interesse non risulta allagabile per TR = 200 anni.

Pertanto, l'intervento di trasformazione proposto risulta fattibile senza che siano necessarie opere di mitigazione del rischio idraulico.

Inoltre, non risultando allagabile l'area di intervento, le opere di progetto non potranno in alcun caso determinare incrementi di rischio idraulico in altre aree.

In ogni caso, come già anticipato al § 1, seguendo "*il principio di precauzione*" saranno adottati i seguenti accorgimenti finalizzati alla gestione del rischio residuo:

- rialzamento del piano di calpestio quota di 337.50 m s.l.m.;
- installazione di porte anti-allagamento a tenuta stagna sugli accessi ai fabbricati;
- installazione di dispositivi antiriflusso sugli scarichi.

## 8 Pericolosità idraulica nell'ambito territoriale analizzato ricavata dal presente studio idrologico-idraulico di dettaglio

Sulla base dei risultati esposti nel presente studio idrologico-idraulico di dettaglio, l'area in cui sarà realizzato l'intervento non risulta allagabile per TR = 200 anni.

Per quanto concerne l'ambito territoriale limitrofo, la Figura 6-1 e la Figura 6-2 mostrano che la perimetrazione delle aree allagabili duecentennali risulta piuttosto simile a quella desumibile dal vigente quadro conoscitivo di P.G.R.A. riportato in Figura 2-1 mentre come già mostrato in Figura 6-3, nel presente studio si individua anche la perimetrazione delle aree allagabili trentennali.

Tali aree trentennali differiscono invece in modo sensibile dalle corrispondenti aree P3 di P.G.R.A., principalmente a causa dei fronti di esondazione che si originano dal fosso Sorrassa.

In Figura 8-1 si riporta il confronto, da cui emerge come le differenze siano principalmente ascrivibili al maggior livello di dettaglio morfologico e di modellazione numerica 2D applicato alle presenti analisi e alla perimetrazione delle aree allagabili dovute al fosso Sorrassa.

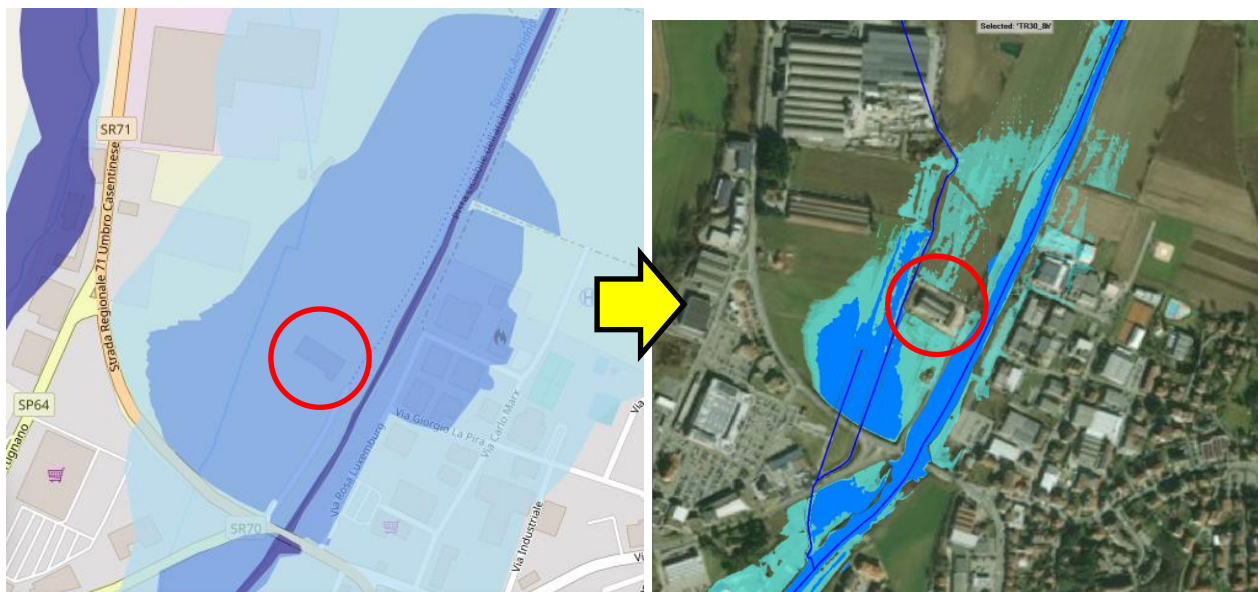


Figura 8-1: confronto delle aree con pericolosità da alluvione: vigente vs determinata con il presente studio di dettaglio.

L'amministrazione comunale, che nel frattempo sta procedendo a redigere i propri nuovi strumenti urbanistici, potrà valutare l'opportunità o meno di procedere con l'aggiornamento del proprio quadro conoscitivo sulla base del presente studio.

## 9 Considerazioni conclusive

La presente relazione ha descritto le analisi di carattere idrologico-idraulico svolte per conto dei Sig. Gionata Fornaini a supporto della realizzazione di un complesso sportivo polivalente con bar, ristorante, foresteria, ubicato lungo la strada vicinale dell'Archiano nel comune di Bibbiena (AR).

Dal punto di vista idraulico, l'area di intervento è posta in destra idrografica del torrente Archiano ed in sinistra idrografica del fosso Sorrassa, entrambi ricompresi nel reticolo idrografico regionale di cui alla L.R. 27 dicembre 2012, n. 79 ed individuati rispettivamente con i codici AV5449, AV5448. I predetti corsi d'acqua determinano le condizioni di pericolosità nell'area.

Il presente studio, sulla base di analisi idrologiche e idrauliche di dettaglio, ha determinato le condizioni di pericolosità idraulica dell'area.

**I risultati conseguiti indicano che l'area in cui è prevista la realizzazione dell'intervento non è interessata da allagamenti per TR = 200 anni.**

**La non allagabilità dell'area consente di asserire che l'intervento di nuova edificazione risulta fattibile senza che siano necessarie opere di mitigazione del rischio idraulico.**

È però opportuno precisare che i risultati ottenuti con le presenti analisi idrologiche ed idrauliche sono naturalmente basati sulle conoscenze del sistema idrografico, nonché sull'ipotesi fondamentale che le sezioni idrauliche del corso d'acqua oggetto di verifica siano mantenute in futuro almeno nelle medesime condizioni di officiosità idraulica.

Infatti, i risultati esposti nel presente studio sono vincolati alla sussistenza delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico idraulicamente rilevante: eventuali future modifiche di tali assetti, ovvero la modifica del quadro conoscitivo indotto da futuri eventi meteorologici estremi, nonché variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo imporranno adeguate revisioni dei risultati qui esposti.

Il tecnico incaricato

Ing. Luigi Bigazzi