

# PIANO STRUTTURALE

## RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

aprile 2024

**Comune di Gaiole in Chianti**



# Piano Strutturale

progetto:

Roberto Vezzosi (capogruppo)

Stefania Rizzotti, Idp studio

Massimiliano Rossi, Davide Giovannuzzi – ProGeo Engineering s.r.l.

Fabio Poggi, Mirko Frasconi, Matteo Frasconi

Monica Coletta

Valentina Vettori

Sindaco e Assessore alla Pianificazione Territoriale: Michele Pescini

Garante dell'informazione e della partecipazione: Alessio Bucciarelli

Responsabile del procedimento: Lisa Franceschini

## Comune di Gaiole in Chianti

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
1.1	RICHIESTA DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO E SCELTA DEL MODELLO IDROLOGICO .....	4
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO .....</b>	<b>7</b>
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE .....	7
2.2	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO.....	9
2.3	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	11
2.4	DEFINIZIONE DELL'AREA DI STUDIO .....	12
<b>3</b>	<b>QUADRO CONOSCITIVO.....</b>	<b>14</b>
3.1	IL PGRA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE.....	14
3.2	LA CARTA DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL COMUNE .....	15
<b>4</b>	<b>RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO, DELLE OPERE IDRAULICHE E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>28</b>
5.1	IL MODELLO IDROLOGICO .....	28
5.2	DEFINIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI.....	29
5.3	STIMA DELLE PIOGGE DI PROGETTO: LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	31
5.4	RAGGUAGLIO DELLE AREE.....	34
5.5	IETOGRAMMA DI PROGETTO.....	38
5.6	MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO SCS-CN .....	40
5.7	DETERMINAZIONE DEL CN <sub>iii</sub> .....	44
5.8	PORTATA DI PROGETTO. TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI.....	45
5.9	IUH - MODELLO SCS.....	47
5.10	IUH - MODELLO KINEMATIC WAVE .....	49
5.11	STIMA DEL LAG-TIME .....	50
5.12	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA .....	51
<b>6</b>	<b>ANALISI IDRAULICA.....</b>	<b>55</b>
6.1	DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	55
6.2	MODELLAZIONI IDRAULICHE MONODIMENSIONALI CON HEC-RAS 6.3.1 .....	55

6.3	MODELLAZIONI IDRAULICHE BIDIMENSIONALI CON HEC-RAS 6.3.1 .....	56
6.4	MODELLI IDRAULICI .....	58
6.5	INPUT IDRAULICI .....	58
<b>7</b>	<b>RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE.....</b>	<b>63</b>
7.1	MODELLO “FOSSO DI LECCHI”.....	63
7.1.1	Inquadramento generale.....	63
7.1.2	Modello implementato su HEC-RAS.....	63
7.1.3	Sintesi dei risultati.....	67
7.2	MODELLO “FOSSO DEL MONTI”.....	67
7.2.1	Inquadramento generale.....	67
7.2.2	Modello implementato su HEC-RAS.....	67
7.2.3	Sintesi dei risultati.....	69
7.3	MODELLO “TS2834” .....	71
7.3.1	Inquadramento generale.....	71
7.3.2	Modello implementato su HEC-RAS.....	72
7.3.3	Sintesi dei risultati.....	73
7.4	MODELLO “GAIOLE ABITATO ULTIMO”.....	76
7.4.1	Inquadramento generale.....	76
7.4.2	Modello implementato su HEC-RAS.....	77
7.4.3	Sintesi dei risultati.....	80
<b>8</b>	<b>MAPPE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ D’ALLUZIONE .....</b>	<b>90</b>
<b>9</b>	<b>MAPPE DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLA MAGNITUDO IDRAULICA.....</b>	<b>91</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....</b>	<b>92</b>

## 1 PREMESSA

Lo studio idrologico ed idraulico è redatto su incarico del comune di Gaiole in Chianti a supporto del Piano Strutturale, secondo quanto previsto dal regolamento d'attuazione di cui all'art. 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, approvato con DPGR del 30 gennaio 2020 n.5/R.

Nello specifico, dal punto di vista idraulico, gli studi sono redati nel rispetto dei disposti della LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvione e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione al D.Lgs. 49/2010. Modifiche alla LR 80/2015 e LR 60/2014", che ha abrogato la precedente LR 21/2012 "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dai corsi d'acqua".

Lo studio idraulico intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dai corsi d'acqua compresi nel reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012 aggiornato con DCRT 55/2023 e con allegato della DGRT 1061/2023.

La probabilità di allagamento analizzata è quella indotta dal superamento della capacità di deflusso dei corsi d'acqua oggetto di modellazione, causa dei fenomeni esondativi. Non sono inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali (argini, ponti...).

Al fine di definire le perimetrazioni delle aree allagabili per eventi con  $Tr \leq 30$  anni (aree a pericolosità per alluvioni frequenti, art. 2 comma 1 lettera a) della LR 41/2018 e ss.mm.ii.) ed eventi con  $30 < Tr \leq 200$  anni (aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, art.2 comma 1 lettera b) della LR 41/2018 e ss.mm.ii.) sono state implementate le modellazioni idrologico-idrauliche monodimensionali e bidimensionali con il codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1.

Per quanto riguarda invece la perimetrazione delle aree a pericolosità d'alluvione per eventi con  $200 < Tr \leq 500$  anni (aree a pericolosità per alluvioni rare) si è mantenuto lo strato informativo del PGRA (P1) AdBDAS, qualora presente, integrato da considerazioni morfologiche.

Il presente studio è stato redatto in accordo con le linee guida dettate dalla Regione Toscana per la redazione degli studi idraulici di supporto agli Strumenti Urbanistici e si articola nelle seguenti fasi:

- **Quadro conoscitivo;**
- **Analisi idrologica** contenente la metodologia adottata per la stima delle portate di progetto per vari tempi di ritorno;
- **Analisi idraulica** contenente la descrizione delle modellazioni svolte (bidimensionale, moto vario...) ed i risultati conseguiti in termini di stima e localizzazione delle volumetrie di esondazione per i vari tempi di ritorno e la relativa perimetrazione delle aree allagate.

Infine, con l'entrata in vigore della L.R. 41/2018 e del Regolamento 5/R e relativo allegato vale quanto riportato nella successiva Tabella 1.1.

Definizione e correlazione delle classi di pericolosità in funzione della frequenza degli eventi alluvionali (reg. attuazione 5/R, disciplina di PGRA e LR 41/2018):

<b>PGRA</b>	<b>LR 41/2018</b>	<b>Reg. attuazione 5/R</b>
pericolosità d'alluvione bassa (P1)	-	aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)
pericolosità d'alluvione media (P2)	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)
pericolosità d'alluvione elevata (P3)	aree a pericolosità per alluvioni frequenti	aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)

**Tabella 1.1** – Definizione delle classi di pericolosità secondo la disciplina del PGRA ciclo 2021-2027 e della LR 41/2018

## 1.1 RICHIESTA DELLE CONDIZIONI AL CONTORNO E SCELTA DEL MODELLO IDROLOGICO

In data 06.02.2024 sono state richieste all'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale le condizioni al contorno ai sensi del comma 6 dell'art. 14 della disciplina del Piano Gestione Rischio Alluvioni, adottato con delibera n. 26 del 20 dicembre 2021 della Conferenza Istituzionale Permanente, per gli studi idraulici del comune di Gaiole in Chianti.

In conseguenza di questa richiesta, i tecnici dell'AdBDAS hanno ritenuto necessario un con gli gli scriventi e con i tecnici del Genio Civile Toscana Sud, che si è tenuto in data 22.02.2024.

In occasione di tale incontro, i tecnici della ProGeo hanno illustrato:

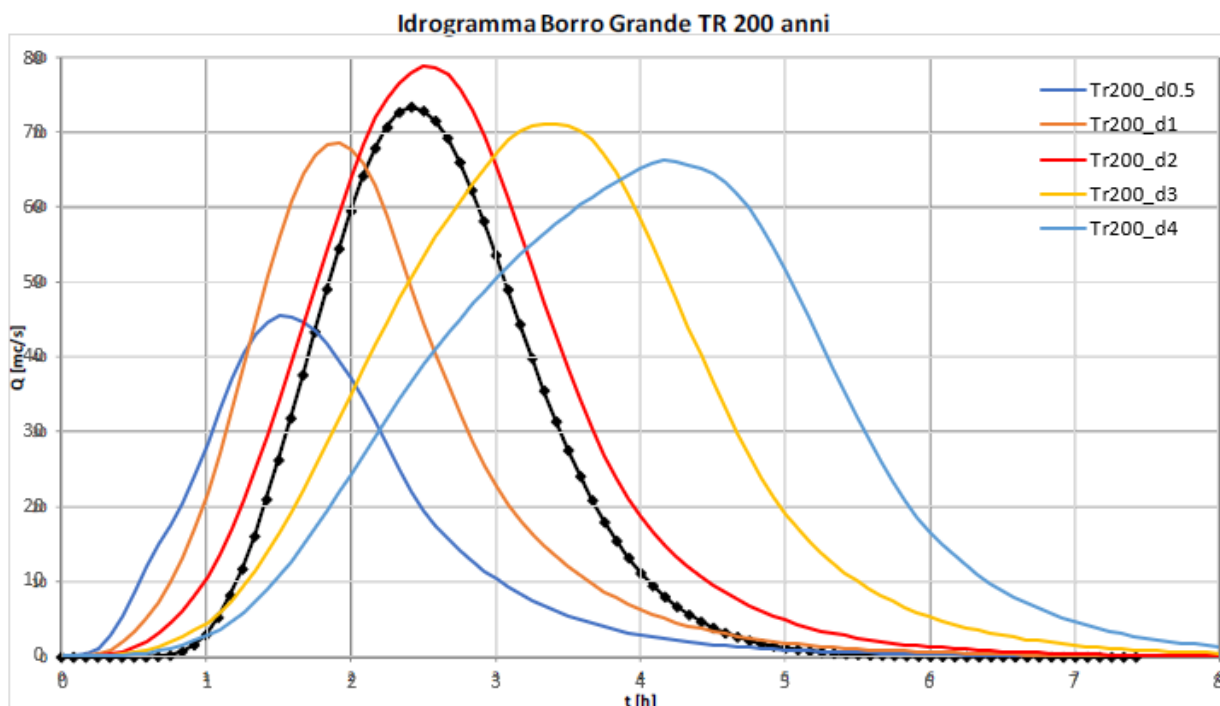
- la **proposta del reticolo oggetto di studio**, definito sulla base del Territorio Urbanizzato (così come definito dal progettista architettonico alla data di oggi), come previsto dal regolamento 5/R/2020, che consiste in: Torrente Massellone (fino a circa 1 km a valle dell'abitato di Gaiole in Chianti), Fosso delle Corti, Fosso censito al reticolo come TS418, Fosso censito al reticolo come TS551, Fosso Grande (da circa il toponimo Mulino di Barbischio fino alla confluenza con il Torrente Massellone), Fosso di Lecchi (da circa 100/150 mt a monte dell'abitato di Lecchi fino a circa 700 mt a valle), Fosso del Monti (da circa 100/150 mt a monte dell'abitato di Monti fino alla confluenza), Fosso censito al reticolo come TS2812 (affluente del T. Arbia);
- L'**approccio idrologico** utilizzato per la definizione degli input idrologici dei corsi d'acqua oggetto di modellazione idraulica; nello specifico:
  - LSPP aggiornate dallo studio di regionalizzazione delle piogge del 2014
  - Ietogramma di pioggia costante per durate di pioggia diverse pari a 1h, 2h, 3h e 4h.

- Uso del metodo SCS-CN per la definizione delle piogge efficaci
- Modello afflussi-deflussi definito sulla base del IUH unitario proposto dal SCS

Il valore del CN adottato per la definizione del modello idrologico è quello definito aggiornando lo studio del 2014 del prof. Castelli “Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC” sulla mappa dell’uso del suolo più aggiornata ad oggi messa a disposizione dal geoscopio della Regione Toscana.

Inoltre, nell’incontro del 22.02.2024, al fine di validare il modello idrologico proposto, è stato confrontato l’esito degli studi idrologici relativi al bacino del Borro Grande, che attraversa l’abitato di Gaiole in Chianti, con quelli ottenuti nello studio idrologico-idraulico a supporto del “Interventi di messa in sicurezza idraulica Borro Grande a difesa dell’abitato” redatto dall’Ing. Gabrielli nel 2010. All’epoca, l’approccio idrologico utilizzato per il dimensionamento di tali interventi fu quello del modello Alto (definizione di  $I_a$  e  $K_s$  per il calcolo della pioggia efficace e IUH di Nash).

Dall’analisi di Figura 1.1, emerge chiaramente la coerenza tra quanto modellato dagli scriventi e l’idrogramma di piena utilizzato nelle modellazioni idrauliche implementate per il dimensionamento delle opere idrauliche che hanno interessato il Borro Grande (in nero), sia in termini di durata di pioggia critica che in termini di picco di piena.



**Figura 1.1** – Esito degli studi idrologici del bacino del Borro Grande. Confronto tra l’idrogramma di piena del Borro Grande (in nero) con quello ottenuto con l’approccio idrologico proposto

Preme comunque rilevare che le nuove modellazioni mostrano un picco di circa il 10% superiore a quelle dello studio idrologico-idraulico a supporto del “Interventi di messa in sicurezza idraulica Borro



Grande a difesa dell'abitato"; ciò è da ricondurre all'aggiornamento delle LSPP del 2014 e all'aggiornamento dell'uso del suolo nella stima delle perdite idrologiche.

Nell'incontro del 22.02.2024, sia i tecnici dell'AdBDAS hanno precisato che il PGRA ascrive l'area dell'abitato di Gaiole tra quelle a pericolosità molto elevata da fenomeni di flash flood. Viene quindi suggerito di tenere in conto di questo fenomeno proponendo di condurre lo studio idrologico dei bacini più piccoli (molti dei quali insistono sull'abitato di Gaiole) analizzando idrogrammi di piena derivanti da ietogrammi di pioggia non solo costanti, ma anche triangolari.

I tecnici del Genio Civile, nel concordare con la proposta di AdBDAS, precisano per i lunghi tombamenti che riguardano l'abitato di Gaiole di condurre l'analisi idraulica nell'ipotesi di un'ostruzione parziale, pari ad almeno il 30%.

In occasione della riunione del 22.02.2024, è stato quindi deciso che:

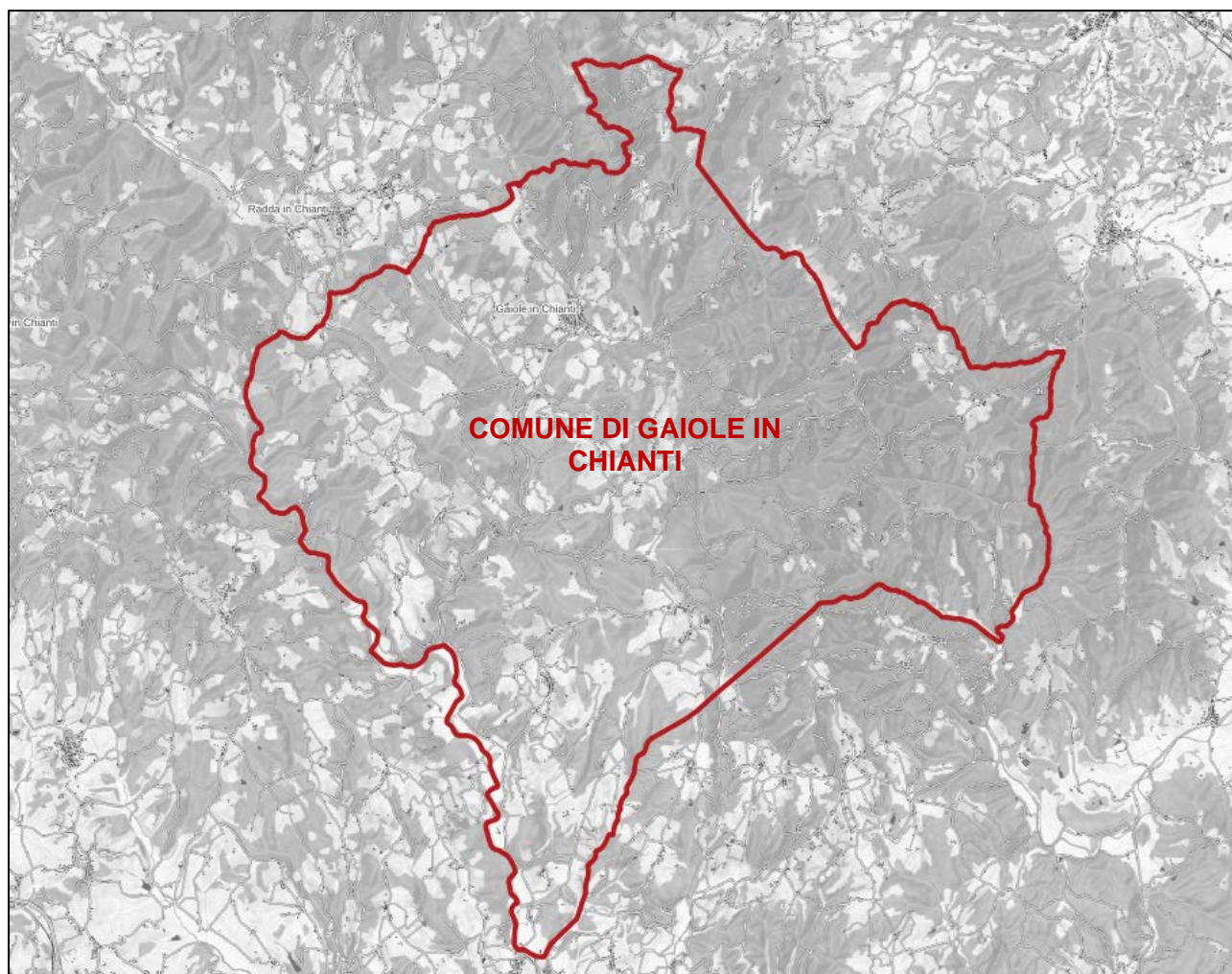
- il modello idrologico proposto dagli scriventi è stato ritenuto adeguato per la definizione degli input idrologici per le aste fluviali oggetto di studio idraulico.
- il reticolo idraulico oggetto di studio viene ritenuto adeguato in termini di estensione delle aste fluviali indagate per la modifica del PGRA dell'AdBDAS.
- quali condizioni al contorno di valle delle aste fluviali indagate, è stato ritenuto adeguato l'utilizzo di condizioni *normal depth*, in relazione all'estensione delle aste indagate.
- la modellazione idrologica dovrà essere condotta limitatamente al caso dei piccoli bacini anche per ietogrammi triangolari
- la modellazione idraulica per i lunghi tombamenti dovrà prevedere un'ostruzione parziale di almeno il 30%.

## 2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

### 2.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Lo studio idrologico – idraulico condotto dagli scriventi riguarda 14 bacini idrografici riconducibili per lo più al T. Massellone, il corso d'acqua principale del comune di Gaiole in Chianti (SI), che si colloca nella parte centrale della Regione Toscana.

Il territorio comunale di Gaiole in Chianti si estende per 130 kmq in un'area prevalentemente collinare che partendo dai Monti del Chianti digrada verso la valle dell'Arbia (Figura 2.1).



**Figura 2.1** – Inquadramento del Comune Gaiole in Chianti su carta 50k della Regione Toscana

Cartograficamente risulta inquadrato come segue:

- Nei fogli della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000: 287060, 287090, 287100, 287110, 287130, 287140, 287150, 297010 e 297020 (Figura 2.2).

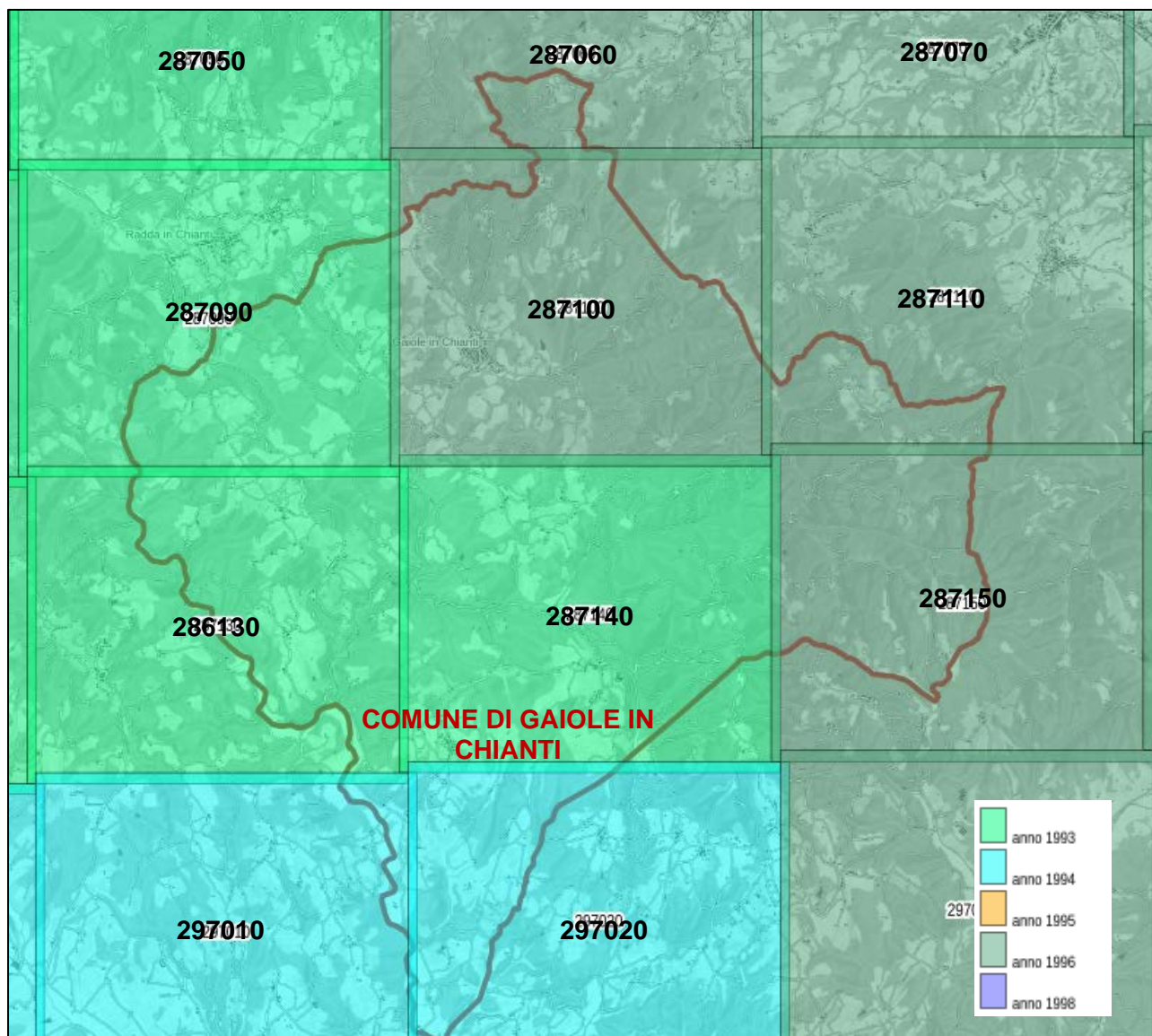
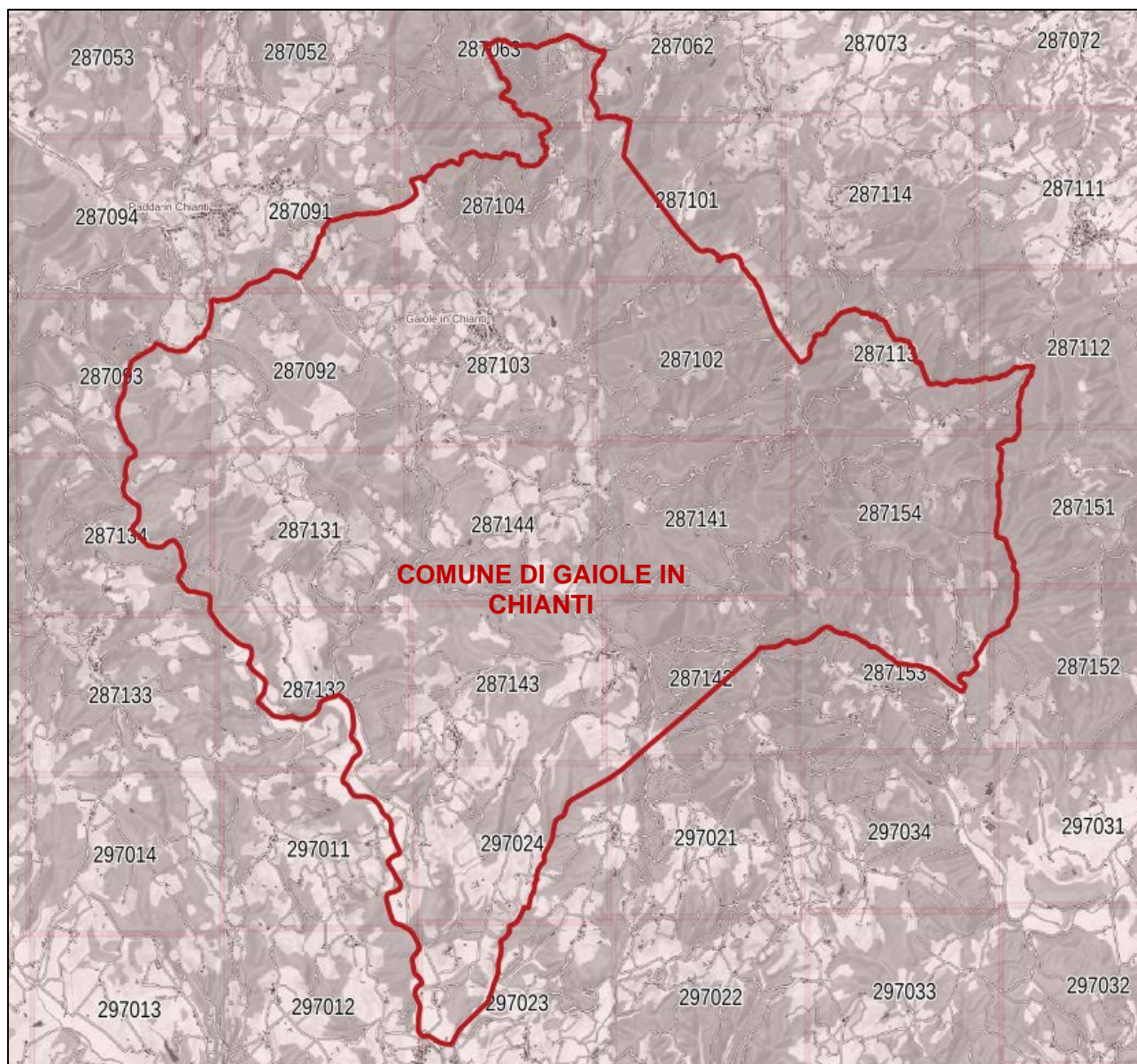


Figura 2.2 – Inquadramento della cartografia 10k della Regione Toscana

- Nei fogli della Cartografia LIDAR non di proprietà della Regione Toscana (solo uso Enti Pubblici): 287063, 287062, 287091, 287104, 287101, 287093, 287092, 287103, 287102, 287113, 287112, 287134, 287131, 287144, 287141, 287154, 287151, 287133, 287132, 287143, 287142, 287153, 287152, 297011, 297024, 297021, 297012, 297023

A tal proposito preme rilevare che il comune di Gaiole in Chianti è esterno ai dati lidar della Regione Toscana (2014), così che ai fini delle modellazioni idrauliche bidimensionali, si è fatto riferimento a quello non di proprietà della Regione Toscana, ma a disposizione degli Enti Pubblici. L'utilizzo di questi dati è ammesso ai fini di questo studio a seguito di apposita richiesta inoltrata dagli uffici del Comune di Gaiole in Chianti alla Regione Toscana.

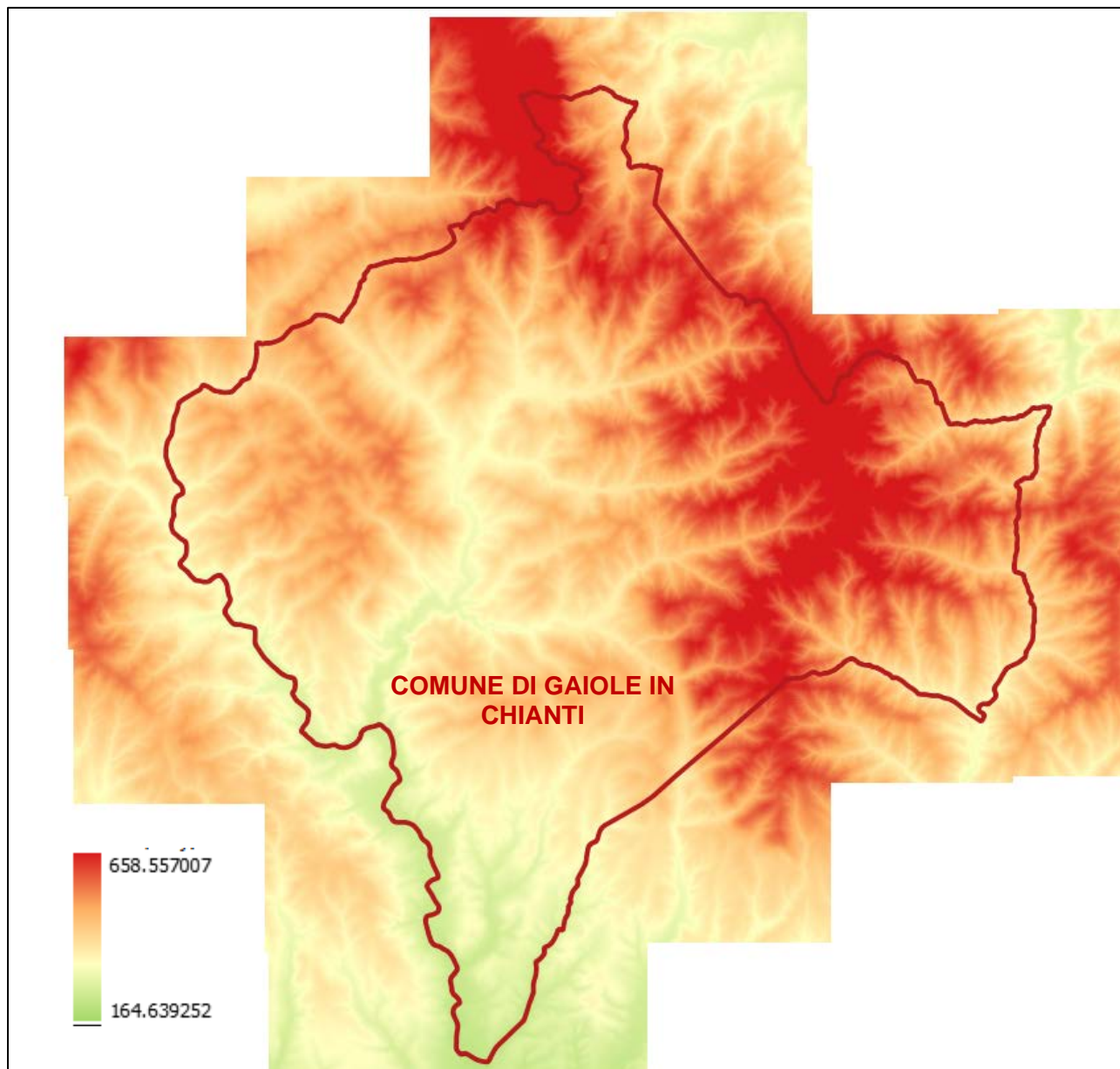


**Figura 2.3** – Inquadramento della cartografia Lidar non di proprietà della Regione Toscana

Il territorio comunale si estende nella parte centrale della Toscana, in Provincia di Siena: confina a Nord con i comuni di Cavriglia, a Est con i comuni di Montevarchi e Bucine, a Sud con il comune di Castelnuovo Berardenga e a Ovest con i comuni di Castelnuovo Berardenga e Radda in Chianti.

## 2.2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il territorio comunale di Gaiole in Chianti è tipicamente collinare: partendo dai Monti del Chianti a Nord-Est si sviluppa fino alla valle dell'Arbia, a monte del Comune di Siena. Il dislivello altimetrico va da un minimo di 215 m s.l.m. nei pressi di Pianella fino ad un massimo di 839 m s.l.m. nei pressi di Montelucio; il capoluogo è posto a quota 356 m.



**Figura 2. 4** – Inquadramento morfologico del Comune di Gaiole in Chianti

L'abitato di Lecchi in Chianti è posto invece a quota altimetrica di 400 m slm, mentre quello di Monti a 380 m slm.

Lo sviluppo orografico del territorio comunale è riportato in Figura 2. 4 e ricostruito dagli scriventi sulla base degli strati informativi messi a disposizione della Regione Toscana (cartografia LIDAR solo per Enti).

Come si vede bene in Figura 2. 4, le aree di vallata sono di minima estensione e riconducibili ai due assi idrografici principali che sono il T. Massellone, che scorre da Nord a Sud-Oves, e il Torrente Arbia, che scorre da Nord-Ovest a Sud.

## 2.3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

In Figura 2. 5 è mostrato l'inquadramento del reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come definito con DCRT 55/2023 e con allegato della DGRT 1061/2023.

I principali assi di drenaggio del Comune di Gaiole in CHIANTI sono il Torrente Massellone, affluente del Torrente Arbia, e il Torrente Arbia.

Il territorio comunale fa parte del territorio di riferimento dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e del Genio Civile Toscana Sud.

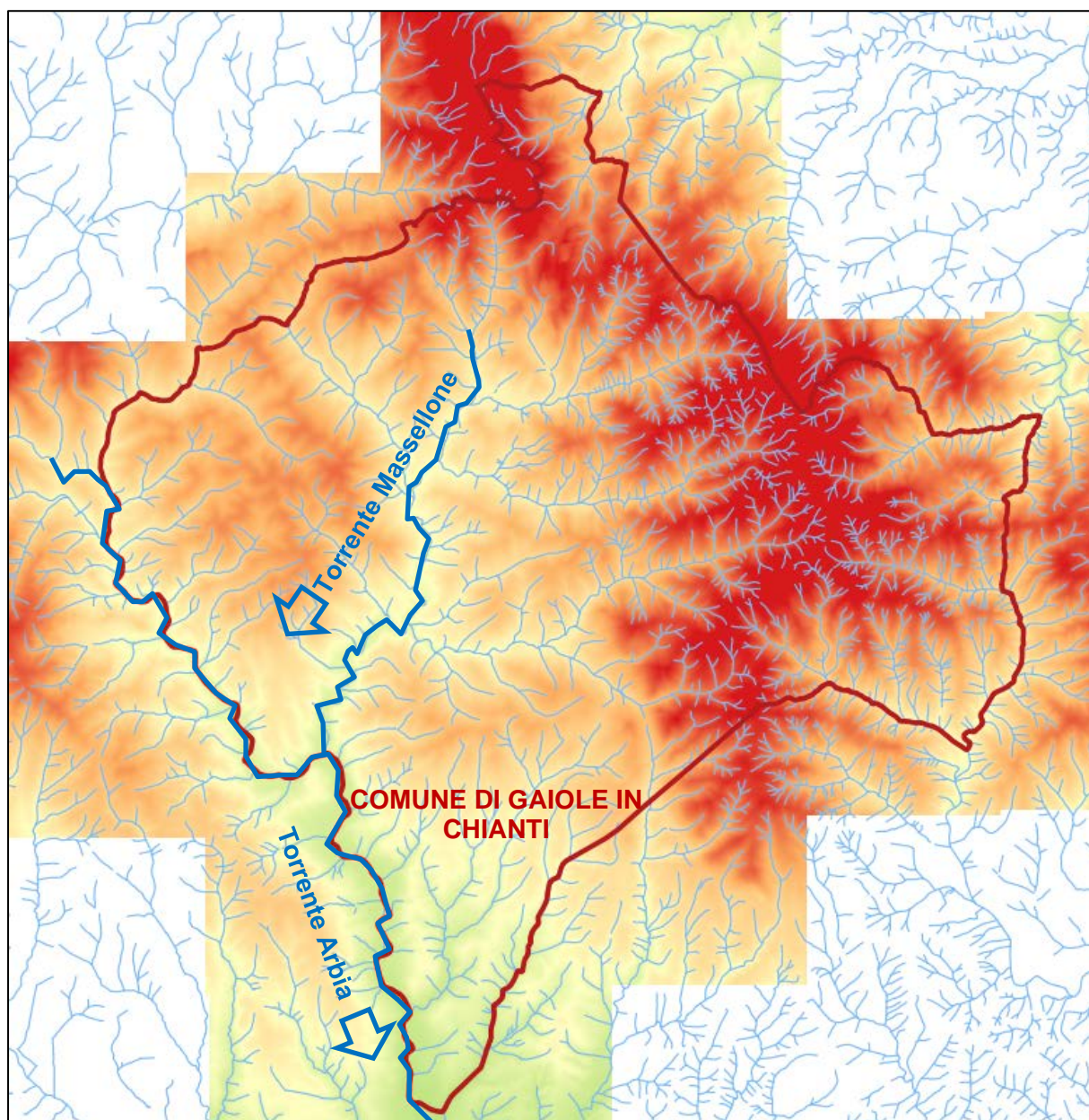


Figura 2. 5 – Inquadramento idrografico del Comune di Gaiole in Chianti

## 2.4 DEFINIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

In Figura 2. 6 è riportato il perimetro dell'area di studio, definita sulla base delle aste fluviali oggetto di analisi idraulica. In accordo con la disciplina del Regolamento 5/R/2020 ai fini della definizione delle mappe di pericolosità e rischio idraulico previste dalla LR 41/2018, il reticolo idrografico oggetto di analisi è quello che risulta interferente con il territorio urbanizzato (in verde di Figura 2. 6).

Nello specifico, le aste fluviali oggetto di studio sono quelle riportate in Tabella 2.1.

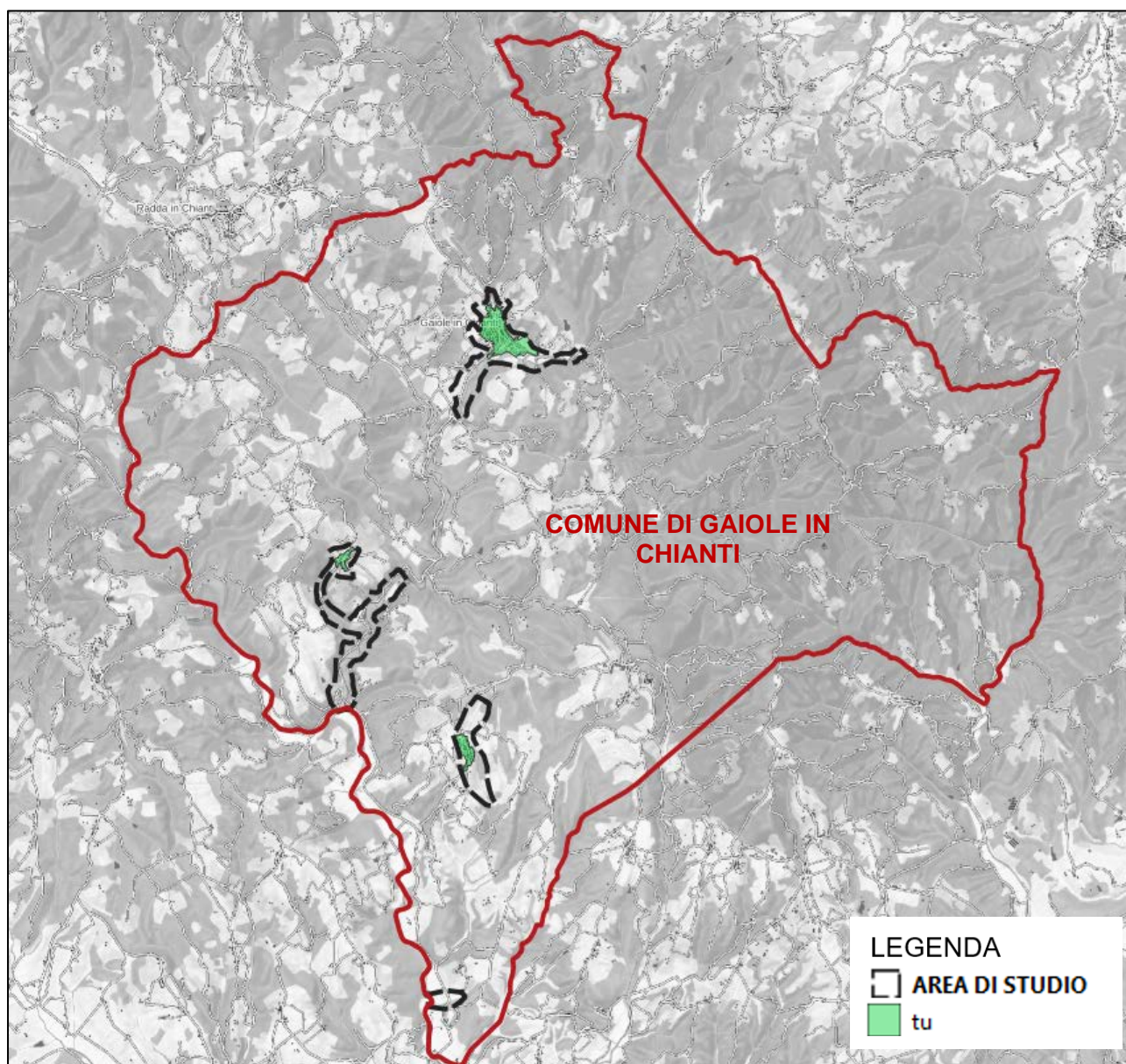


Figura 2. 6 – Definizione dell'area di studio e reticolo idrografico oggetto di analisi idraulica

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 55/2023	Analisi idrologica	Analisi idraulica	Lunghezza tratto con modello idraulico (m)
Torrente Massellone (monte)	X	X	2.600
Fosso delle Corti	X	X	360
Fosso TS418	X	X	410
Fosso TS551	X	X	620
Fosso il Piano	X	X	410
Fosso Grande	X	X	1.800
Fosso di Lecchi	X	X	1.880
Torrente Massellone (valle)	X	X	3.290
Fosso delle Corti	X	X	1.970
Fosso TS2834	X	X	570
<b>TOTALE</b>			<b>13.910</b>

**Tabella 2.1** – Aste oggetto di modellazione idrologica e/o idraulica

In relazione al Torrente Arbia, preme precisare che non sono stati condotti studi idrologico-idraulici di supporto al PS del Comune di Gaiole, in quanto, pur essendo l'asse di drenaggio finale di buona parte del reticolo idrografico presente nel territorio comunale, questo non interferisce né con il territorio urbanizzato né con aree in copianificazione.

Si precisa infine che il fosso TS2834 è stato oggetto di modellazione idraulica in quanto in prima battuta era stata definita un'area in co-pianificazione in destra idraulica, che però è stata stralciata in fase successiva. Si è ritenuto doveroso mantenere comunque l'esito degli studi idraulici sia per completezza di studio sia per fornire il quadro conoscitivo di pericolosità idraulica nell'area nel caso di una futura variante al nuovo strumento urbanistico, che abbia come oggetto tale area di trasformazione.



### 3 QUADRO CONOSCITIVO

#### 3.1 IL PGRA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

In Figura 3. 1 è riportato l'estratto della cartografia di PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Il territorio comunale è caratterizzato da aree P1 – pericolosità d'alluvione bassa in corrispondenza delle aree di fondovalle del T. Massellone e del Borro Grande all'altezza di Gaiole in Chianti. Anche le aree di pertinenza del T. Arbia nel territorio comunale sono caratterizzate da vaste porzioni di P1.

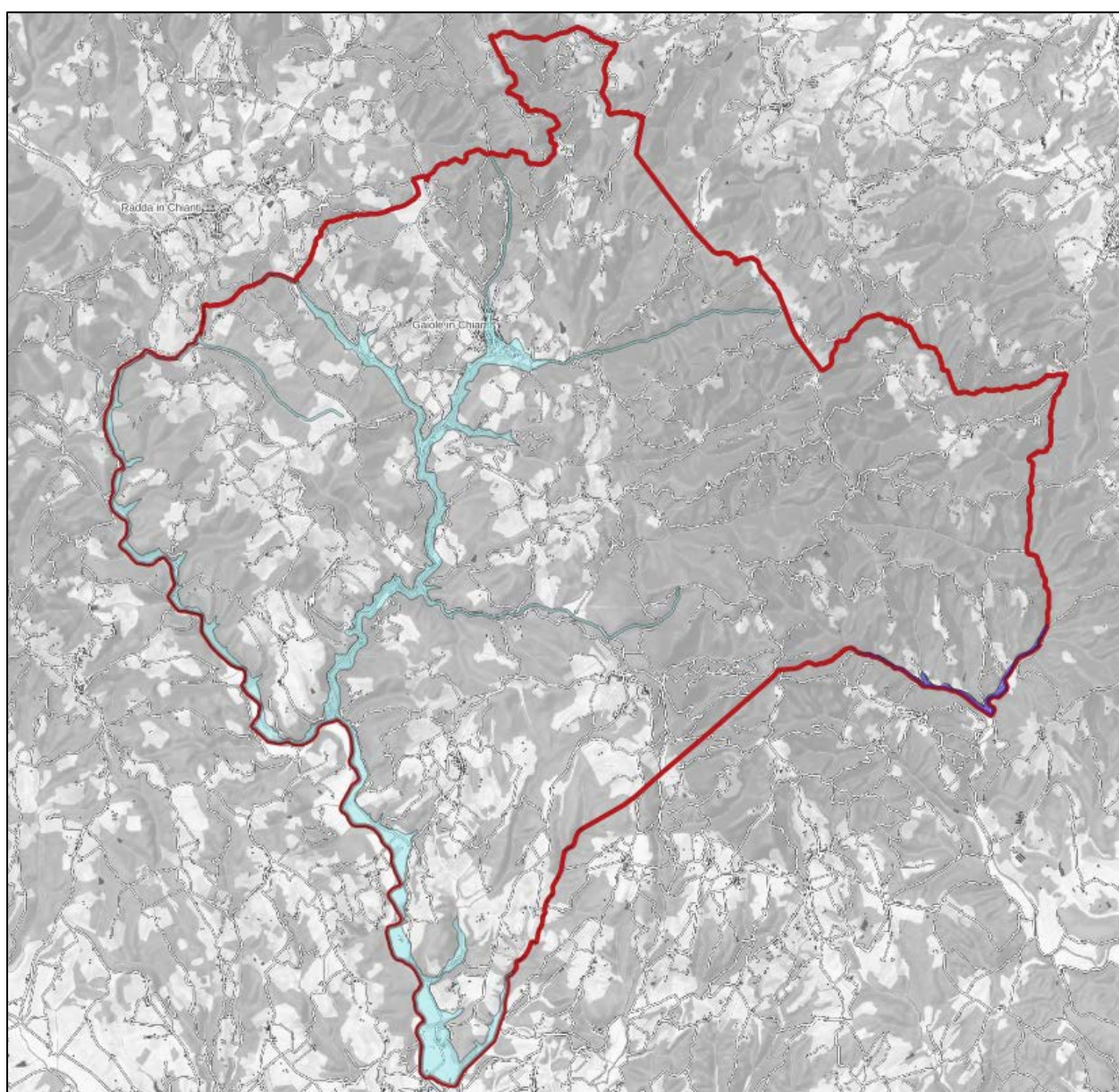


Figura 3. 1 – Estratto del PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Dall'analisi di Figura 3. 1 risulta che il PGRA non ha acquisito ad oggi aree a pericolosità d'alluvione media (P2) o elevata (P3) provenienti da studi idrologico-idraulici che interessano gli abitati di Gaiole in Chianti, Lecchi o Monti.

### 3.2 LA CARTA DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL COMUNE

Con DCC n. 2/2015 sono approvate le “Varianti puntuali al Piano Strutturale e al Regolamento Urbanistico vigenti” e le più aggiornate mappe di pericolosità geologica, sismica e idraulica. Se ne riporta un estratto in Figura 3. 2.

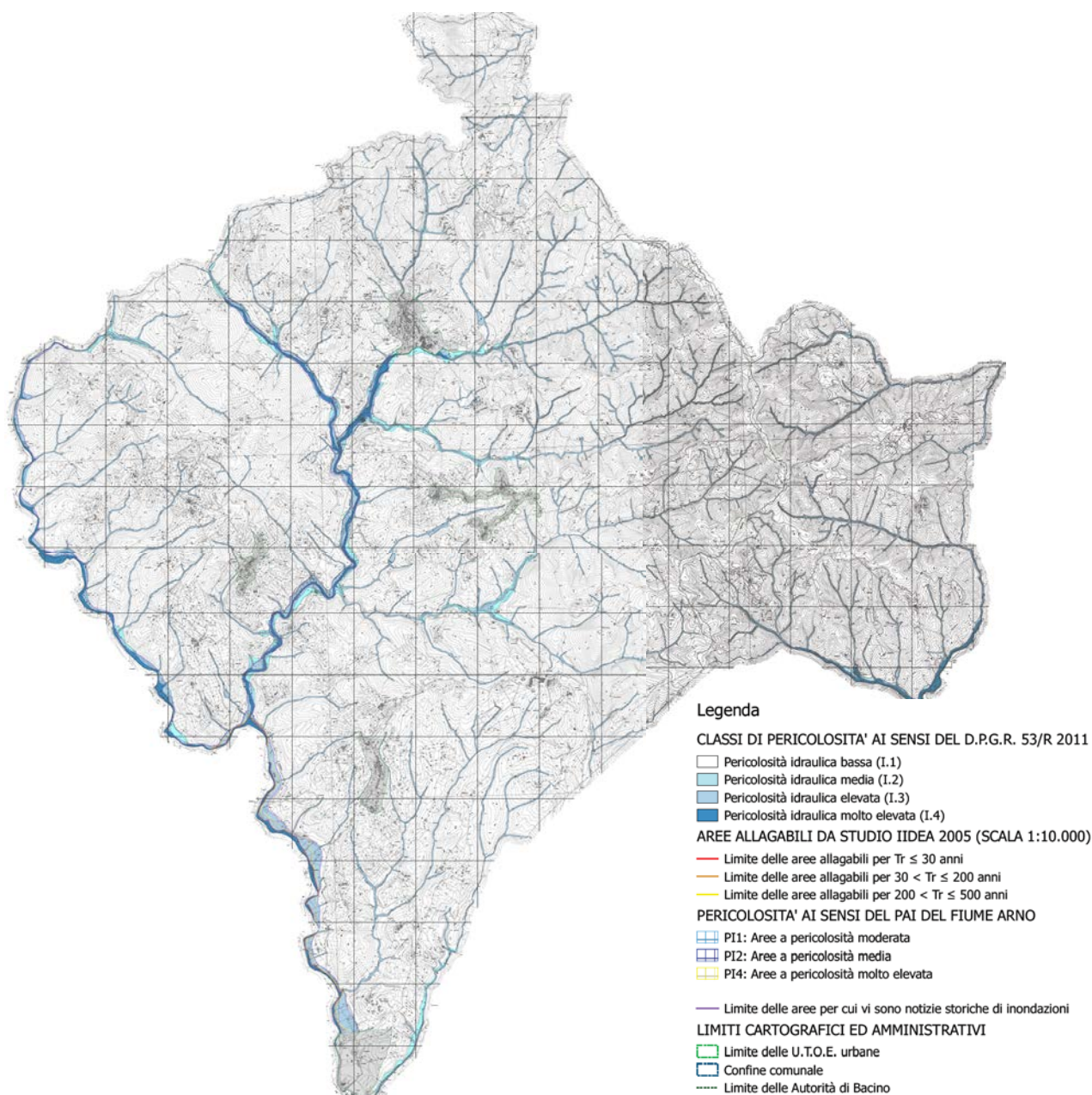
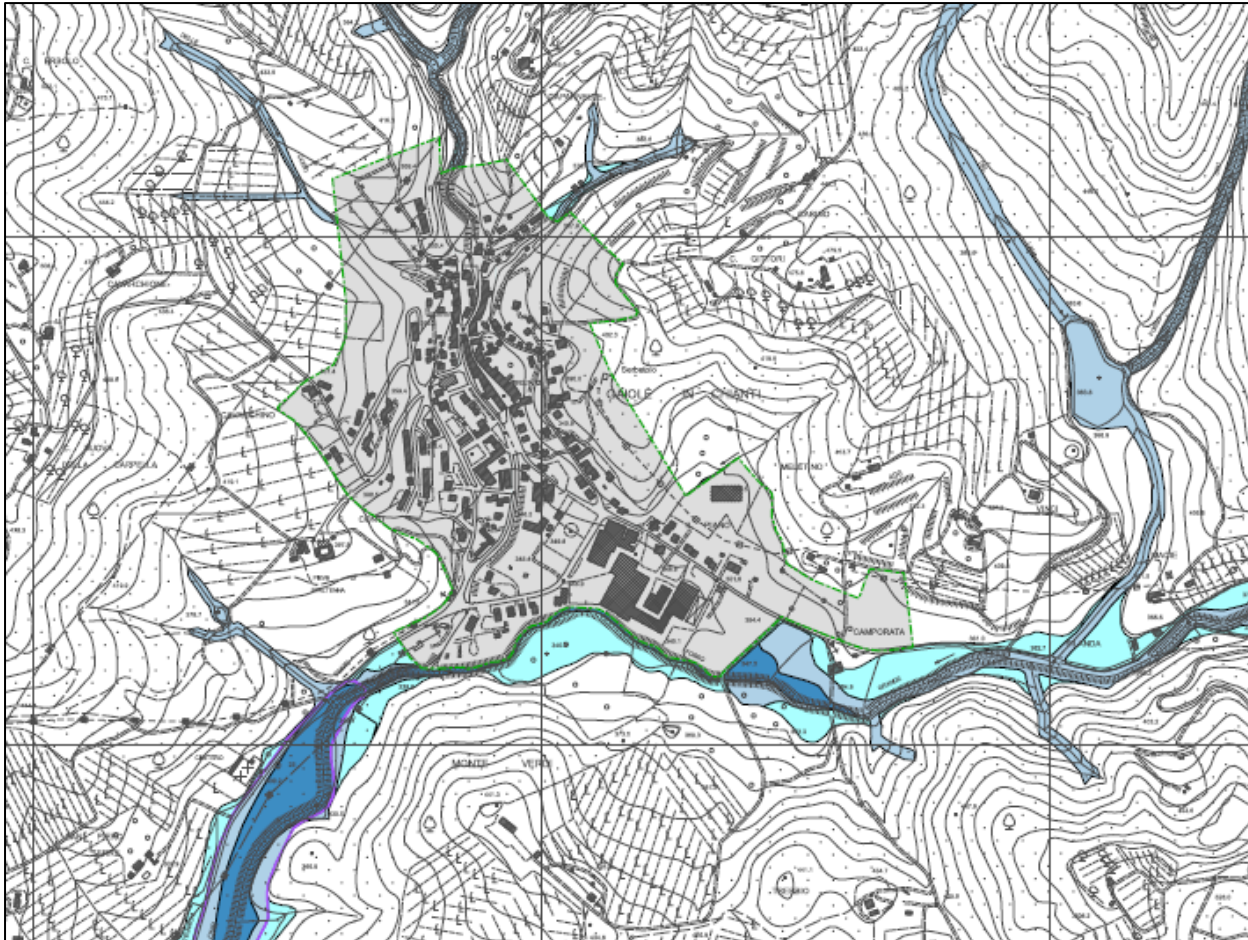


Figura 3. 2 – Carta della pericolosità idraulica del comune di Gaiole in Chianti



**Legenda**

**CLASSI DI PERICOLOSITA' AI SENSI DEL D.P.G.R. 53/R 2011**

- Pericolosità idraulica bassa (I.1)
- Pericolosità idraulica media (I.2)
- Pericolosità idraulica elevata (I.3)
- Pericolosità idraulica molto elevata (I.4)

**AREE ALLAGABILI DA STUDIO IIDEA 2005 (SCALA 1:10.000)**

- Limite delle aree allagabili per  $Tr \leq 30$  anni
- Limite delle aree allagabili per  $30 < Tr \leq 200$  anni
- Limite delle aree allagabili per  $200 < Tr \leq 500$  anni

**PERICOLOSITA' AI SENSI DEL PAI DEL FIUME ARNO**

- P11: Aree a pericolosità moderata
- P12: Aree a pericolosità media
- P14: Aree a pericolosità molto elevata

**LIMITI DELLE AREE PER CUI VI SONO NOTIZIE STORICHE DI INONDAZIONI**

**LIMITI CARTOGRAFICI ED AMMINISTRATIVI**

- Limite delle U.T.O.E. urbane
- Confine comunale
- Limite delle Autorità di Bacino

**Figura 3. 3** – Carta della pericolosità idraulica del comune di Gaiole in Chianti – abitato di Gaiole

In Figura 3. 3 è invece riportato un estratto della Carta di pericolosità idraulica dell'abitato di Gaiole; dalla carta di PS non risulta definita la pericolosità idraulica sul capoluogo, in quanto esterna al limite delle UTOE urbane.

Dalla disamina delle cartografie di PS non risultano acquisiti studi idrologico-idraulici di tipo modellistico nell'area comunale.

## **4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO, DELLE OPERE IDRAULICHE E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO**

Per la caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua indagati (modello idraulico monodimensionale) è stato fatto riferimento:

- ad apposita campagna di rilievo da parte della società scrivente.
- ai rilievi da cartografia LIDAR non di proprietà della Regione Toscana ma ad uso degli Enti pubblici disponibile per il territorio;

Ai fini della modellazione idraulica sono state definite le geometrie delle opere idrauliche esistenti nel territorio comunale:

- infrastrutture attraversanti i corsi d'acqua (ponti) con rilievi in sito;
- rilievo di tombinamenti esistenti;
- rilievo di arginature.

Per la caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente inondabili è stato inoltre fatto riferimento:

- Modello digitale del terreno su base cartografica Lidar della Regione Toscana (lidar non di proprietà della Regione Toscana ma uso disponibile per gli Enti pubblici);
- Rilievi areali a campione (es. zona dell'ex Consorzio agrario) per verificare e validare il modello 2D del lidar impiegato.

Per quanto riguarda le aste oggetto di studio, la geometria d'alveo è stata definita sulla base rilievi condotti dagli scriventi. In generale si è concentrato l'impegno topografico nelle aree urbanizzate (abitato di Gaiole in Chianti, abitato di Lecchi e di Monti), mentre in alcuni casi, al di fuori del territorio urbanizzato, si è utilizzato le sezioni estratte dal lidar (es. per la caratterizzazione del T. Massellone a valle di Gaiole in Chianti e a monte della confluenza con il T. Arbia).

Ad ogni modo, l'adeguatezza delle sezioni d'alveo estratte da Lidar, prima del loro utilizzo, è stata verificata mediante rilievi a campione condotti dagli scriventi.

In particolare, i rilievi condotti dagli scriventi hanno riguardato:

- la geometria delle sezioni d'alveo, degli attraversamenti e dei tombinamenti che interessano l'abitato di Gaiole; nello specifico, del T. Massellone, Fosso delle Corti, Fosso TS418, Fosso TS551, Fosso il Piano e Borro Grande dall'abitato di Gaiole fino alla confluenza;

- la geometria delle sezioni d'alveo, degli attraversamenti e dei tombinamenti che interessano il Fosso di Lecchi a Lecchi;
- la geometria delle sezioni d'alveo, degli attraversamenti e dei tombinamenti che interessano il Fosso delle Corti.
- la geometria delle sezioni d'alveo, degli attraversamenti e dei tombinamenti che interessano il Fosso TS2834.

Si riporta a seguire parte della documentazione fotografica acquisita in corso di rilievo. Il Borro Grande e il T. Massellone a monte della confluenza con il Borro Grande sono stati oggetto di intervento negli anni 2010 – 2015 che consistevano in estrema sintesi in riprofilatura delle sezioni d'alveo, realizzazione di scogliere e adeguamenti degli attraversamenti esistenti. Il risultato di questi lavori è visibile nelle successive Figura 4. 10, Figura 4. 15, Figura 4. 16 e Figura 4. 17.



**Figura 4. 1** – Briglia sul T. Massellone a monte dell'abitato di Gaiole



**Figura 4. 2** – immissione del fosso TS418 nel T. Massellone



**Figura 4. 3** – Vista del T. Massellone nella porzione più a monte dell’abitato di Gaiole



**Figura 4. 4** – immissione del fosso delle Corti nel T. Massellone



**Figura 4. 5** – attraversamento pedonale sul T. Massellone



**Figura 4. 6** – tombinamento di via Roma – collegamento con SP408





**Figura 4. 7** – Vista del T. Massellone nella porzione intermedia dell’abitato di Gaiole (da Via Roma a Piazza Bettino Ricasoli)



**Figura 4. 8** – edificio sopra un attraversamento sul T. Massellone



**Figura 4. 9** – ingresso al tombinamento di Piazza Bettino Ricasolia (piazza col gallo nero)



**Figura 4. 10** – T. Massellone a monte della confluenza con il Borro Grande



**Figura 4. 11** – fosso TS418



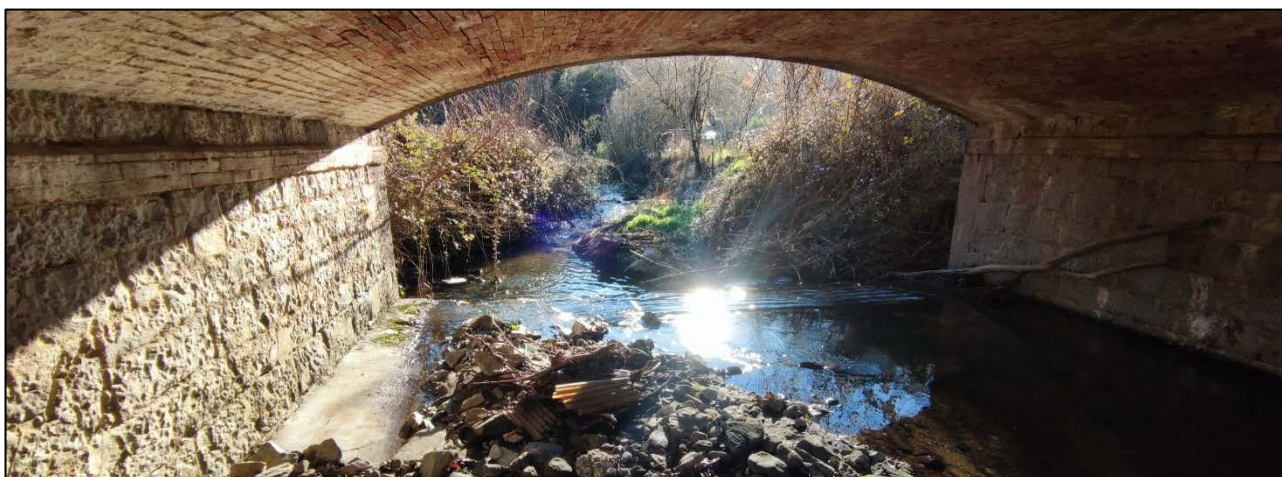
**Figura 4. 12** – fosso delle Corti



**Figura 4. 13** – attraversamento carrabile sul fosso delle Corti



**Figura 4. 14** – sotto-attraersamenti del fosso TS551



**Figura 4. 15** – Primo attraversamento sul Borro Grande



**Figura 4. 16** – Secondo attraversamento sul Borro Grande



**Figura 4. 17** – Terzo attraversamento sul Borro Grande



**Figura 4. 18** – ingresso e uscita del tombinamento del Fosso il Piano



**Figura 4. 19** – a sinistra il Fosso di Lecchi, a destra il Fosso di Monti

## 5 ANALISI IDROLOGICA

La stima degli idrogrammi è stata impostata in funzione dei dati disponibili e dell'accuratezza degli stessi.

La stima delle portate è eseguita con il metodo indiretto, ipotizzando cioè che il tempo di ritorno dei deflussi di piena sia lo stesso degli eventi meteorici utilizzati in ingresso al modello. Quest'ultimi sono stati ricavati dalle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni pluviometriche della Regione Toscana aggiornate ai dati del 2012. Il modello è stato cimentato per vari tempi di ritorno con ietogrammi sintetici di varia durata, ad intensità costante e, nel caso dei piccoli bacini, di forma triangolare.

### 5.1 IL MODELLO IDROLOGICO

Il modello idrologico consente l'individuazione delle distribuzioni di probabilità degli eventi di piena (modello stocastico deterministico), tramite procedure implementate con le seguenti operazioni:

- stima della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (linee segnalatrici di possibilità pluviometrica - LSPP) e operazioni di ragguaglio all'area;
- determinazione dello ietogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima delle perdite e della pioggia effettiva, 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;
- 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 le portate di progetto.

I modelli sono stati simulati per vari tempi di ritorno (30, 200 anni) con ietogrammi sintetici di varia durata a intensità costante. L'input meteorico è rappresentato da uno ietogramma sintetico la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, ricavate con l'adattamento della distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).

Come riportato nel verbale della riunione del 22.02.2024, l'approccio idrologico utilizzato per la definizione degli input idrologici dei corsi d'acqua oggetto di modellazione idraulica; nello specifico:

- LSPP aggiornate dallo studio di regionalizzazione delle piogge del 2014
- ietogramma di pioggia costante per durate di pioggia diverse pari a 1h, 2h, 3h e 4h.

- Uso del metodo SCS-CN per la definizione delle piogge efficaci
- Modello afflussi-deflussi definito sulla base del IUH unitario proposto dal SCS

Per svolgere le analisi idrologiche sul bacino oggetto di studio, si è fatto uso del software HEC-HMS ver. 4.11 che, note le piogge, consente di procedere alla definizione del modello di infiltrazione basato sul noto metodo del CN proposto dal SCS e il modello di formazione dell'onda di piena basato sull'idrogramma unitario istantaneo sempre proposto dal SCS.

## 5.2 DEFINIZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

Per la definizione di bacini oggetto di studio è stato fatto riferimento alla cartografia tecnica regionale e al modello digitale del terreno da Cartografia Lidar Regione Toscana a disposizione per le aree in esame. Nei seguenti paragrafi si mostrano le aste idrauliche oggetto di studio e le suddivisioni in sottobacini determinati dalle sezioni di chiusura dei tratti d'interesse e le loro caratteristiche idrologiche di cui è stata sviluppata apposita modellazione idrologica.

Sulla base dei bacini idrografici così definiti, è stato possibile individuare gli idrogrammi di piena per Tr30 e Tr200 anni e, quindi, le condizioni al contorno di monte secondo le indicazioni fornite dall'AdBDAS e riportate in premessa.

Modello idrologico di riferimento	Codice	<u>Nome DGRT 1061/2023</u>	Area Bacino (Km <sup>2</sup> )
Modello Gaiole	B01	Torrente Massellone (monte)	<b>4.18</b>
	B02	Fosso delle Corti	<b>0.49</b>
	B03	Fosso TS418	<b>0.46</b>
	B04	Fosso TS551	<b>0.33</b>
	B05	Fosso Il Piano	<b>0.31</b>
	B06	Torrente Massellone (interbacino01)	<b>0.25</b>
	B07	Fosso Grande	<b>9.95</b>
	B08	Torrente Massellone (interbacino02)	<b>1.04</b>
	B09	Fosso di Lecchi	<b>0.46</b>
	B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	<b>0.85</b>
	B11	Fosso delle corti	<b>0.81</b>
	B12	Fosso TS2834	<b>0.50</b>
	B13	Massellone valle	<b>62.4</b>
	B14	Massellone valle interbacino	<b>3.60</b>

**Tabella 5.1** – Elenco dei bacini idrografici analizzati e calcolo delle aree



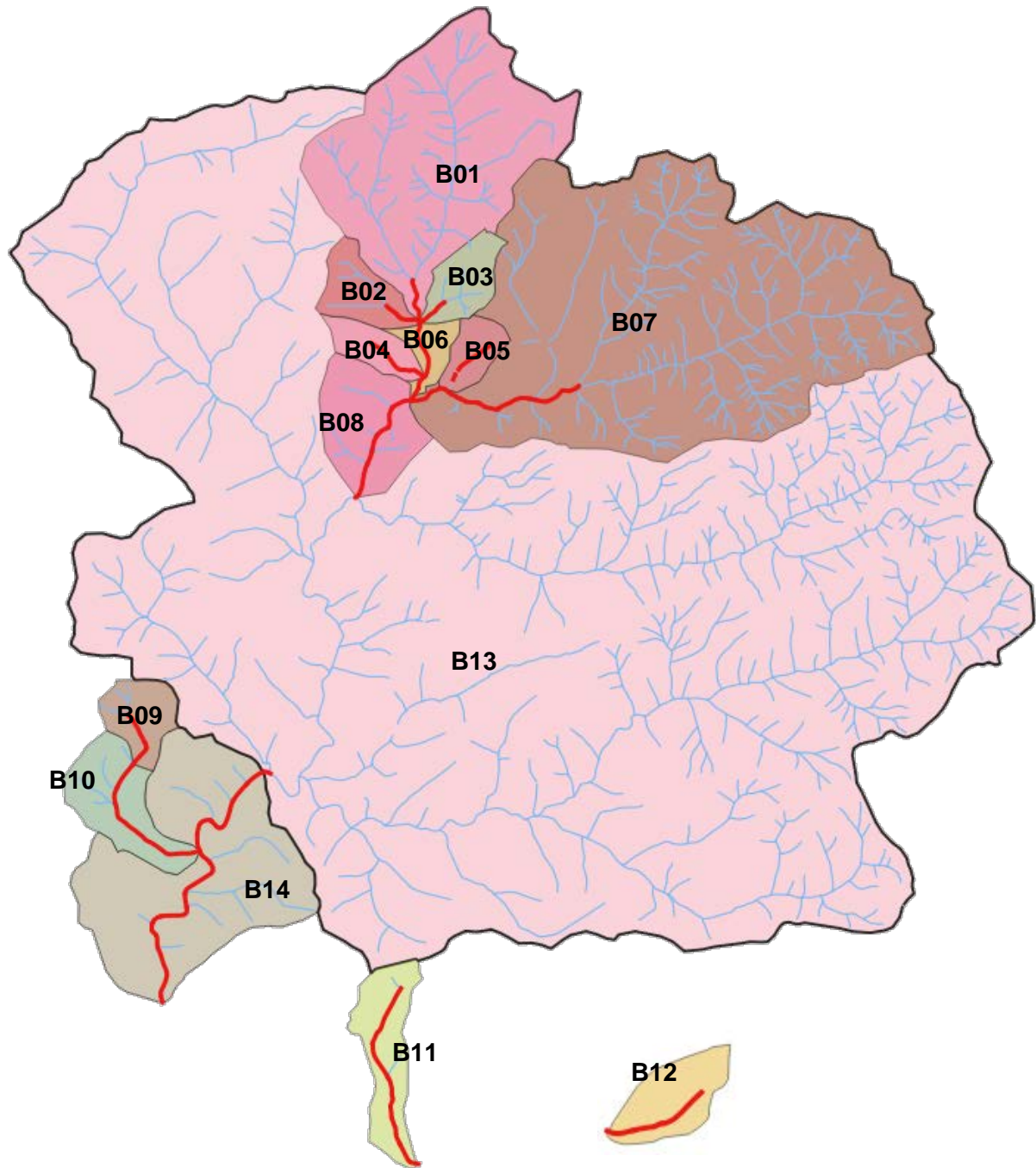


Figura 5. 1 – a sinistra il Fosso di Lecchi, a destra il Fosso di Monti

Per quel che riguarda invece le condizioni al contorno di valle, queste saranno la pendenza dell'asta fluviale nel tratto finale, fatti i salvi i casi di aste confluenti, dove saranno adottati i livelli idrici derivanti da modellazioni idrauliche.

In Tabella 5.1 è infine riportato l'elenco dei bacini oggetto di analisi e il relativo calcolo dell'area.

### 5.3 STIMA DELLE PIOGGE DI PROGETTO: LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Il primo elemento fondamentale nella creazione di un modello idrologico è costituito dalla stima degli afflussi meteorici: lo studio statistico delle piogge intense in un punto della superficie terrestre si sintetizza nella formulazione delle Linee Segnaletrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP), ottenute a partire dall'elaborazione delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di assegnata durata, fornite da registrazioni pluviometriche.

Le LSPP descrivono le proprietà statistiche degli eventi di pioggia intensa a scala puntuale ed esprimono un legame tra altezza di pioggia, durata e frequenza. In particolare, per un prefissato tempo di ritorno, la corrispondente LSPP fornisce la relazione tra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione.

Per la stima delle LSPP per l'area in esame è stato fatto riferimento ai risultati dello studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012", realizzato nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, con l'obiettivo di aggiornare le analisi di frequenza delle precipitazioni estreme sul territorio toscano fino all'anno 2012 compreso.

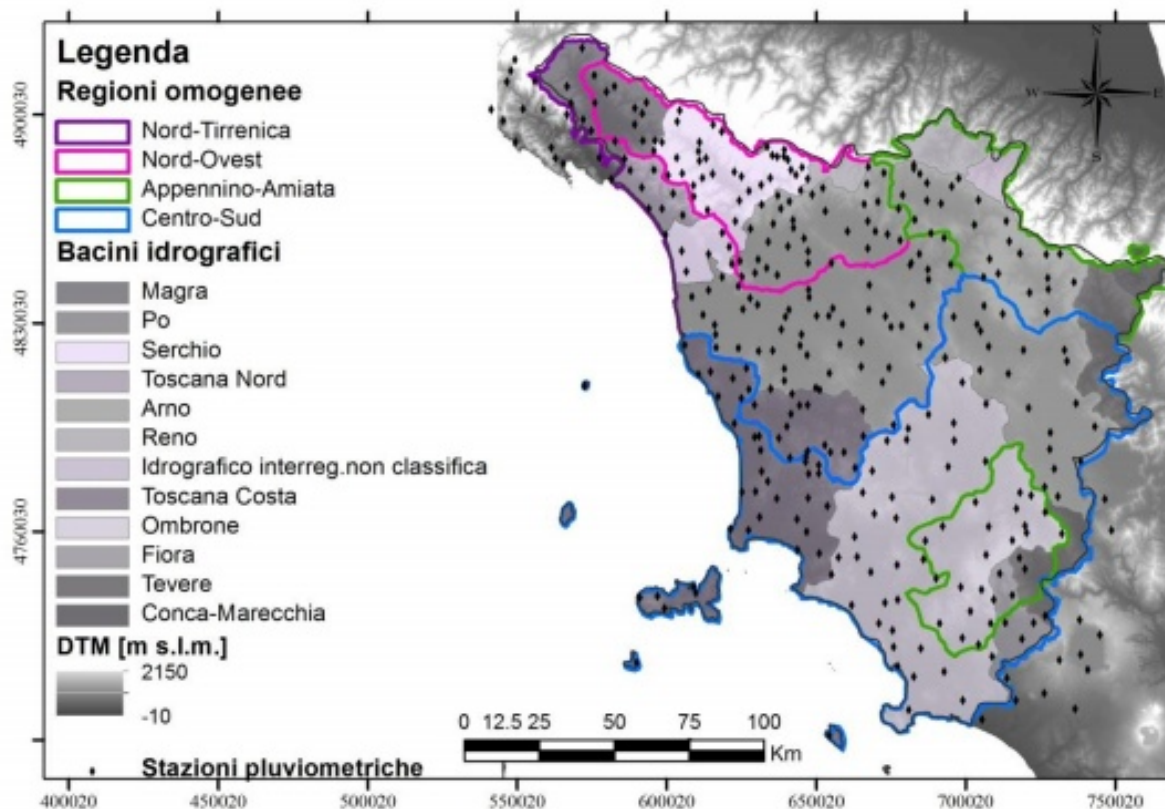
I risultati di tale studio sono consultabili sul sito del Servizio Idrologico Regionale - Centro Funzionale Regionale di Monitoraggio Meteo – Idrologico.

Il primo passo in una procedura di regionalizzazione è l'individuazione di regioni omogenee, all'interno delle quali le grandezze, o meglio le loro distribuzioni di frequenza, hanno alcune caratteristiche comuni.

Nello studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012" per la stima della variabile casuale  $h(t)$ , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata  $t$ , è stato utilizzato un metodo basato sulla legge di distribuzione probabilistica TCEV Two-Component Extreme Value secondo un approccio gerarchico a tre livelli.

Al primo livello di regionalizzazione sono state individuate una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico. Al secondo livello di regionalizzazione sono state individuate delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre al coefficiente di asimmetria teorico, anche il coefficiente di variazione teorico e al terzo livello di regionalizzazione sono state infine individuate delle aree omogenee all'interno delle quali si ricercano delle relazioni tra la pioggia indice  $\mu$  e le caratteristiche geografiche del sito.

L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica e i bacini attigui dei Fiumi Magra e Fiora. Una volta validato il set dei dati (aggiornati all'anno



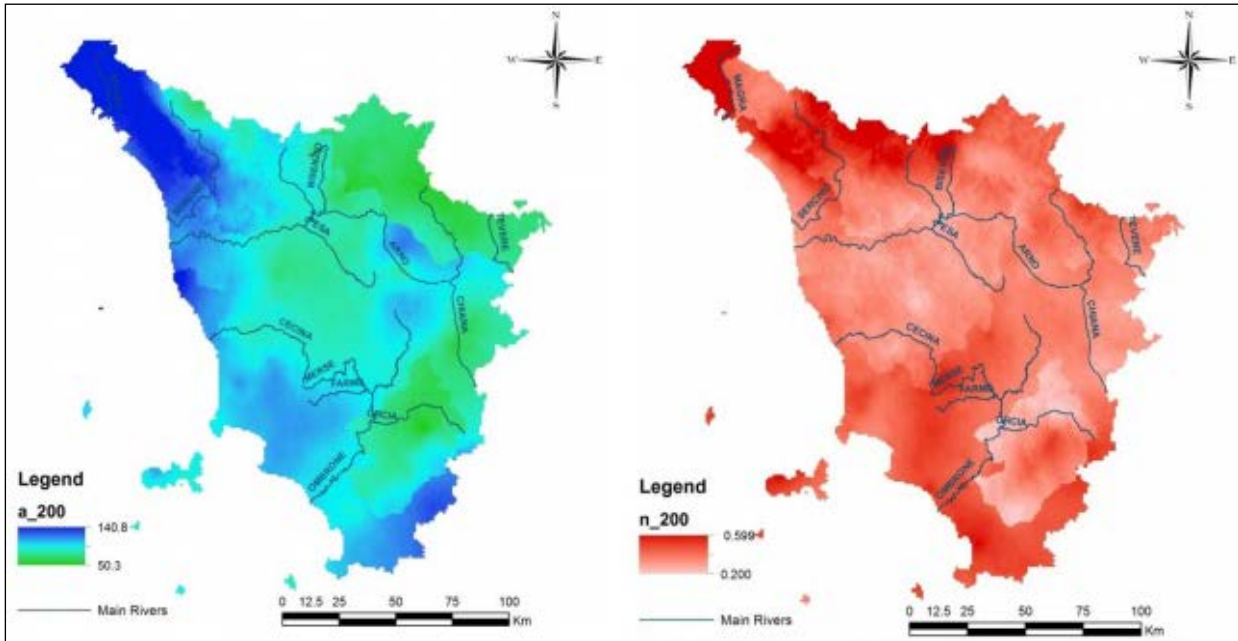
**Figura 5.2** – Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee – Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme LSPP – Aggiornamento 2021

2012) è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima.

Tra le varie ipotesi di suddivisione in regioni omogenee del territorio di studio è stata scelta, dopo opportune verifiche, quella in 4 regioni: NORD-TIRRENICA, NORD-OVEST, APPENNINO-AMIATA, CENTRO-SUD coincidenti con le 4 sub-regioni (Figura 5.2).

Con altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) trascurando le perdite.

Le stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate ed il fattore di crescita adimensionale  $KT$  per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni individuate nello studio in oggetto. Per quanto qui di interesse, nello studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012" la previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.



**Figura 5.3** – Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (sinistra) e "n" (destra) della LSPP per Tr 200 anni. - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

La LSPP può essere comunemente descritta da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a t^n$$

con:

h = altezza di pioggia [mm]

t = durata [ore]

a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

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

Tra i risultati dello studio, disponibili sul sito Servizio Idrologico Regionale - Centro Funzionale Regionale di Monitoraggio Meteo - Idrologico, sono riportati i valori delle coppie di ASCII Grid di a e di n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati (30 e 200 nel caso in esame, Figura 5.3).

Nel presente studio idrologico-idraulico i parametri a e n, così come riportati dallo studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012", ed utilizzati per il calcolo degli afflussi meteorici, sono stati determinati mediante la procedura sintetizzata di seguito e ripetuta per tutti i bacini considerati:

1. sono state scaricate le mappe in formato ASCII Grid dei valori a e n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno disponibili dal sito della Regione Toscana;
2. sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi di interesse e ne è stato creato un file apposito;

3. è stata estratta la parte di raster dei coefficienti  $a$  e  $n$  associata ai bacini oggetto di studio, da cui a questo punto è stato possibile ottenerne i valori medi.
4. Il valore medio dei parametri  $a$  ed  $n$  è stato calcolato come valore mediato sull'area dell'insieme dei bacini che afferiscono ad una stessa macroarea.

Nel caso in esame in sostanza, si è ipotizzato di stimare il valore dei parametri  $a$  e  $n$  delle LSPP di progetto con riferimento al bacino complessivo oggetto di analisi, ritenuto rappresentativo per il territorio comunale di Gaiole in Chianti.

Bacino idrografico	Tr30		Tr200	
	a30 [mm]	n30	a200 [mm]	n200
T. Massellone fino alla confluenza con il T. Arbia LSPP per il territorio comunale di Gaiole in Chianti	56.152	0.241	78.1	0.304

Tabella 5.2 – calcolo delle piogge di progetto

#### 5.4 RAGGUAGLIO DELLE AREE

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, ottenute mediante il metodo precedentemente descritto, hanno validità locale e non possono quindi essere adottate per un intero bacino.

È noto che le piogge di elevata intensità si concentrano in aree piccole e che, a parità di durata e di tempo di ritorno, l'altezza di pioggia decresce con l'area. Su tali basi l'altezza di pioggia media su un bacino si determina moltiplicando l'altezza di pioggia puntuale relativa al bacino stesso per un opportuno coefficiente di riduzione (o coefficiente di ragguaglio all'area) che dipende principalmente dall'area del bacino, dal tempo di ritorno e dalla durata. L'uso di tale coefficiente di riduzione implica che il regime delle precipitazioni sia alquanto uniforme per l'intero bacino. Tale condizione è sicuramente soddisfatta quando le aree considerate non sono troppo grandi e quando lo sviluppo orografico non è molto accentuato (come nel presente studio).

Al fine di tenere conto della variabilità spaziale delle piogge l'input pluviometrico è pertanto stato ragguagliato al bacino per mezzo di un coefficiente  $K_r$  di tipo "globale" secondo la:

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

dove  $\alpha = 1.1$ ,  $\beta = 0.25$  e  $\gamma = 0.01$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] è la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] è l'area del bacino.

Il valore della durata critica e, quindi, del coefficiente di ragguaglio delle piogge è incognito e viene determinato indagandone diversi valori, corrispondenti a 1, 2, 3, 4, 6 e 8 ore.

Codice	Nome DGRT 1061/2023	1	2	3
B01	Torrente Massellone (monte)	0.986	0.989	0.990
B02	Fosso delle Corti	0.998	0.999	0.999
B03	Fosso TS418	0.998	0.999	0.999
B04	Fosso TS551	0.999	0.999	0.999
B05	Fosso Il Piano	0.999	0.999	0.999
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	0.999	0.999	0.999
B07	Fosso Grande	0.968	0.974	0.978
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	0.997	0.997	0.998
B09	Fosso di Lecchi	0.998	0.999	0.999
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	0.997	0.998	0.998
B11	Fosso delle corti	0.997	0.998	0.998
B12	Fosso TS2834	0.998	0.999	0.999
B13	Massellone valle	0.845	0.874	0.891
B14	Massellone valle interbacino	0.988	0.991	0.992

**Tabella 5.3 – Coefficienti di ragguglio areali – KR SINGOLI**

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Area [kmq]	1	2	3	4
B01	Torrente Massellone (monte)	17.011 Kmq  calcolata alla sezione di chiusura a 1.2 km dalla confluenza con B. Grande	0.948	0.958	0.963	0.967
B02	Fosso delle Corti					
B03	Fosso TS418					
B04	Fosso TS551					
B05	Fosso Il Piano					
B06	Torrente Massellone (interbacino01)					
B07	Fosso Grande					
B08	Torrente Massellone (interbacino02)					

**Tabella 5.4 – Coefficienti di ragguglio areali – KR MONTE**

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Area [kmq]	1	4	6	8
B09	Fosso di Lecchi	67.309 Kmq  calcolata alla sezione di chiusura confluenza con il B. Grande	0.837	0.897	0.912	0.923
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)					
B13	Massellone valle					
B14	Massellone valle interbacino					

**Tabella 5.5 – Coefficienti di ragguglio areali – KR VALLE**

Sono stati considerati diversi coefficienti di ragguaglio delle aree per i bacini che interessano il Torrente Massellone ai fini della definizione delle piogge di progetto:

- coefficienti di ragguaglio denominati come *singoli* per tutti i bacini considerati. Questi coefficienti sono calcolati nell'ipotesi di considerare per la stima di  $K_r$  l'area per singolo bacino.
- coefficienti di ragguaglio *di monte*, cioè utilizzati per la stima degli input idrologici di monte con riferimento all'area con sezione di chiusura a circa 1.2 km a valle della confluenza del Borro Grande al T. Massellone (modello abitato di Gaiole).
- coefficienti di ragguaglio *valle*, cioè utilizzati per la stima degli input idrologici di valle con riferimento all'area con sezione di chiusura del T. Massellone alla confluenza sul Torrente Arbia per il calcolo di  $K_r$ .

Nelle tabelle successive da Tabella 5.6 a Tabella 5.8 sono riportati gli spessori di pioggia lordi di progetto.

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Tr 30 anni			Tr 200 anni		
		1	2	3	1	2	3
B01	Torrente Massellone (monte)	55.39	65.63	72.47	77.04	95.35	108.02
B02	Fosso delle Corti	56.06	66.27	73.09	77.97	96.29	108.94
B03	Fosso TS418	56.07	66.28	73.09	77.98	96.30	108.95
B04	Fosso TS551	56.09	66.30	73.12	78.01	96.33	108.98
B05	Fosso Il Piano	56.09	66.31	73.12	78.02	96.34	108.99
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	56.10	66.32	73.13	78.03	96.35	109.00
B07	Fosso Grande	54.38	64.66	71.54	75.64	93.95	106.64
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	55.96	66.17	72.99	77.83	96.15	108.80
B09	Fosso di Lecchi	55.91	66.13	72.95	77.76	96.08	108.73
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	55.91	66.13	72.95	77.76	96.08	108.73
B11	Fosso delle corti	56.00	66.22	73.03	77.89	96.21	108.86
B12	Fosso TS2834	56.06	66.27	73.09	77.97	96.29	108.94
B13	Massellone valle	47.47	58.03	65.18	66.03	84.31	97.16
B14	Massellone valle interbacino	55.50	65.73	72.57	77.19	95.51	108.17

**Tabella 5.6** – Spessori di pioggia stimati con Kr SINGOLI – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Tr 30 anni				Tr 200 anni			
		1	2	3	4	1	2	3	4
B01	Torrente Massellone (monte)	52.66	62.91	70.08	75.54	73.26	91.4	104.46	114.66
B02	Fosso delle Corti								
B03	Fosso TS418								
B04	Fosso TS551								
B05	Fosso Il Piano								
B06	Torrente Massellone (interbacino01)								
B07	Fosso Grande								
B08	Torrente Massellone (interbacino02)								

**Tabella 5.7** – Spessori di pioggia stimati con Kr MONTE – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Tr 30 anni				Tr 200 anni			
		1	4	6	8	1	4	6	8
B09	Fosso di Lecchi	47.00	70.32	78.90	85.55	65.36	106.73	122.86	135.64
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)								
B13	Massellone valle								
B14	Massellone valle interbacino								

**Tabella 5.8** – Spessori di pioggia stimati con Kr VALLE – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni



## 5.5 IETOGRAMMA DI PROGETTO

Le LSPP forniscono, per una prefissata durata della pioggia ed un tempo di ritorno, l'intensità media dell'evento, senza però dare indicazioni sulla distribuzione temporale della precipitazione stessa nell'intervallo di tempo considerato. Tale aspetto risulta essere non secondario, poiché la portata defluente in una data sezione di un corso d'acqua dipende (oltre che dalle caratteristiche del bacino idrografico) dalla distribuzione spaziale e dall'andamento temporale della precipitazione, ed in particolare da:

- intensità massima di pioggia all'interno dell'intervallo di tempo  $t$ ;
- posizione del punto di intensità massima;
- volume di precipitazione caduto precedentemente all'istante di intensità massima.

A parità di tempo di ritorno,  $T_r$ , e di durata di pioggia,  $d$ , possono aversi infinite realizzazioni dello ietogramma a ciascuna delle quali sono associate differenti idrogrammi di piena  $Q(t)$ . La sensibilità della risposta del bacino alla forma dello ietogramma è maggiore in bacini piccoli (generalmente di area inferiore a circa 50 Km<sup>2</sup>) o, in generale, in bacini con ridotta capacità di invaso.

La distribuzione nel tempo dello spessore di pioggia fornito dalla LSPP può essere effettuata utilizzando diversi criteri, tra cui i più comunemente utilizzati sono:

- ietogrammi con intensità costante;
- ietogrammi con sequenza di spessori parziali di pioggia su intervalli costanti disposti in analogia alla LSPP;
- ietogrammi con sequenza di spessori parziali di pioggia su intervalli costanti disposti in analogia alla LSPP capovolta e ribaltata;
- ietogrammi a blocchi alterni (Alternating Block Method), in cui gli spessori di pioggia su intervalli costanti ricavati dalle LSPP sono ordinati con il valore massimo al centro dello ietogramma e i rimanenti valori disposti in maniera alternata a destra e sinistra dello stesso.

La risposta di un generico bacino al variare della distribuzione temporale della pioggia, in termini relativi, è pressoché indipendente dal tempo di ritorno e lo ietogramma uniforme, insieme a quello a blocchi alterni, rappresenta una condizione intermedia di criticità.

Nel caso del presente studio, sono presi in considerazione gli ietogrammi di intensità costante e gli ietogrammi di forma triangolare. Nell'incontro del 22.02.2024 infatti, i tecnici dell'AdBDAS hanno precisato che il PGRA ascrive l'area dell'abitato di Gaiole tra quelle a pericolosità molto elevata da fenomeni di flash flood ed hanno suggerito di condurre lo studio idrologico dei bacini più piccoli (molti dei quali insistono sull'abitato di Gaiole) analizzando idrogrammi di piena derivanti da ietogrammi di pioggia triangolari.

Codice	<u>Nome DGRT 1061/2023</u>	Area Bacino (Km <sup>2</sup> )	Ietogramma triangolare	Durata pioggia
B01	Torrente Massellone (monte)	<b>4.18</b>		
B02	Fosso delle Corti	<b>0.49</b>	X	1 h
B03	Fosso TS418	<b>0.46</b>	X	1 h
B04	Fosso TS551	<b>0.33</b>	X	1 h
B05	Fosso Il Piano	<b>0.31</b>	X	1 h
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	<b>0.25</b>		
B07	Fosso Grande	<b>9.95</b>		
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	<b>1.04</b>		
B09	Fosso di Lecchi	<b>0.46</b>	X	1 h
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	<b>0.85</b>		
B11	Fosso delle corti	<b>0.81</b>	X	1 h
B12	Fosso TS2834	<b>0.50</b>	X	1 h
B13	Massellone valle	<b>62.4</b>		
B14	Massellone valle interbacino	<b>3.60</b>		

**Tabella 5.9** – Aste oggetto di modellazione idrologica e/o idraulica

Nello specifico, in Tabella 5.9 sono riportati quali bacini sono stati analizzati con ietogramma triangolare e per quali durate di pioggia (1h). Per durate di pioggia diverse da quelle esplicitate in Tabella 5.9 è sempre stato fatto riferimento in via esclusiva allo ietogramma costante. In sintesi:

- le analisi con ietogramma triangolare sono condotte in via esclusiva per basse durate (1h) e per piccoli bacini (< 1 kmq); d'altro canto, a bacini piccoli sono associate durate di pioggia critica minore (1h);
- per gli interbacini si è sempre considerato solo il caso dello ietogramma costante.

Le durate di pioggia indagate corrispondono ad una serie di valori che caratterizzano i bacini idrografici e comprendono le durate critiche per le singole aste e per l'intero sistema idraulico.

Nel complesso le durate di pioggia indagate sono:

- 1, 2 e 3 per bacini singoli;
- 1, 2, 3 e 4 per *kr di monte* (Sezione di chiusura del T. Massellone a circa 1.2 km a valle dell'abitato di Gaiole);
- 1, 4, 6 e 8 ore per *kr di valle* (Sezione di chiusura del T. Massellone alla confluenza con il T. Arbia);

La proposta di perimetrazione delle pericolosità è l'involuppo sul territorio dei risultati ottenuti dalle simulazioni con le varie durate sopra citate.

I dati idrologici in termini di spessore di pioggia sono già riassunti nella precedenti tabelle.

## 5.6 MODELLO DI INFILTRAZIONE - METODO SCS-CN

La predisposizione dei suoli a contribuire ai deflussi di piena è determinata fondamentalmente da tre fattori:

- Dalle caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti;
- Dall'uso dei suoli e dalla copertura vegetale;
- Dallo stato di imbibimento dei suoli all'inizio della sollecitazione meteorica.

L'effetto di questi fattori sulla capacità di ritenzione del terreno viene sintetizzata efficientemente nel modello di infiltrazione del terreno messo a punto dal Soil Conservation Service (1972) degli Stati Uniti. Questo metodo viene largamente adottato perché consente, attraverso informazioni quantitative sulla natura del bacino di facile acquisizione, di valutare le grandezze di interesse anche per bacini non strumentati. Secondo il metodo SCS-CN, il volume di deflusso superficiale (altezza di pioggia effettiva),  $E^A$ , per un evento isolato di piena è dato da:

$$E^A = \frac{(R^A - I_a)^2}{R^A - I_a + S}$$

essendo  $R^A$  lo spessore di pioggia precipitato sul bacino,  $S$  lo spessore di massima ritenzione potenziale del terreno e  $I_a = cS$ , lo spessore di assorbimento iniziale, con  $0 \leq c < 1$ . L'assorbimento iniziale  $I_a$  rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto a priori per l'intercettazione della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali e, come si può intuire, risulta difficilmente valutabile. Sulla base di dati sperimentali relativi a numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di  $I_a$  un valore di  $c=0.2$ .

Per un fissato stato iniziale di imbibimento, la massima ritenzione potenziale del bacino è funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, il cui effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale CN,  $0 < CN < 100$ , legato ad  $S$  dalla relazione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

dove  $S$  è espresso in mm. Per determinare il valore del CN è necessario conoscere il tipo e l'uso del suolo, nonché il grado iniziale di imbibimento del terreno che può essere di tre tipi: AMC Tipo I, in caso di bacino asciutto, AMC Tipo II, per condizioni intermedie, e AMC Tipo III, in caso di bacino fortemente imbibito.

Lo stato di imbibimento viene individuato, in modo quali-quantitativo, in funzione dell'indice di pioggia API5 (Antecedent Precipitation Index), ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena. È stato però ben evidenziato che tale criterio non presenta particolare

affidabilità per la realtà italiana (Borselli, 1989; Melone et. al., 2001; Brocca et al., 2008a; 2008b; 2008c). Cautelativamente si fa quindi riferimento alla condizione di Tipo III.

In funzione delle caratteristiche idrologiche, i suoli possono essere suddivisi in quattro classi di permeabilità (A, B, C e D); in Tabella 5.10 sono descritte tali categorie dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988), mentre in Tabella 5.11 sono riportati i valori di CN per condizioni iniziali intermedie, AMC Tipo II, in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo stesso.

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 delle equazioni in gioco che lega i due parametri. Quindi si ha:

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

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

Una volta nota  $\bar{S}$ , è possibile calcolare la pioggia effettiva media areale dell'intero evento ma non fornisce il suo andamento temporale, che può essere ottenuto dalla:

$$e^A(t) = \frac{dE^A}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{(R^A - 0.2S)^2}{R^A + 0.8S} \right)$$

L'eq. (4.4) è valida sotto la condizione  $R^A > I_a$ ; fino a quando non è verificata tale condizione si pone  $e^A(t) = 0$ .

Nella pratica per risolvere l'equazione a partire da uno ietogramma di pioggia discreto  $r_1, r_2, \dots$  si valuta ad ogni passo temporale  $t_m$  ( $t_m = m\Delta t$ ;  $m=1, 2, \dots$ ) il valore del volume incrementale di ruscellamento (o pioggia netta),  $E_m$ , come:

$$E_m = \begin{cases} 0 & \text{se } R_m < 0.2S \\ \frac{(R_m - cS)^2}{R_m} + (1 - c)S & \text{se } R_m > 0.2S \end{cases}$$

dove il valore della pioggia lorda cumulata,  $R_m$ , è dato da:

Gruppo	Descrizione
<b>A</b>	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde
<b>B</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.
<b>C</b>	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.
<b>D</b>	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

**Tabella 5.10** – Descrizione delle categorie dei tipi di suolo in base al metodo del Soil Conservation Service (1986).

$$R_m = \sum_{i=1}^m r_i$$

e per semplicità è stato tralasciato l'apice A per indicare quantità riferite all'area del bacino.

In base al valore di  $E_m$  si ricava quindi  $\Delta E_m = E_m - E_{m-1}$ . Il tasso di ruscellamento  $e_m$  durante l'intervallo m-esimo è:

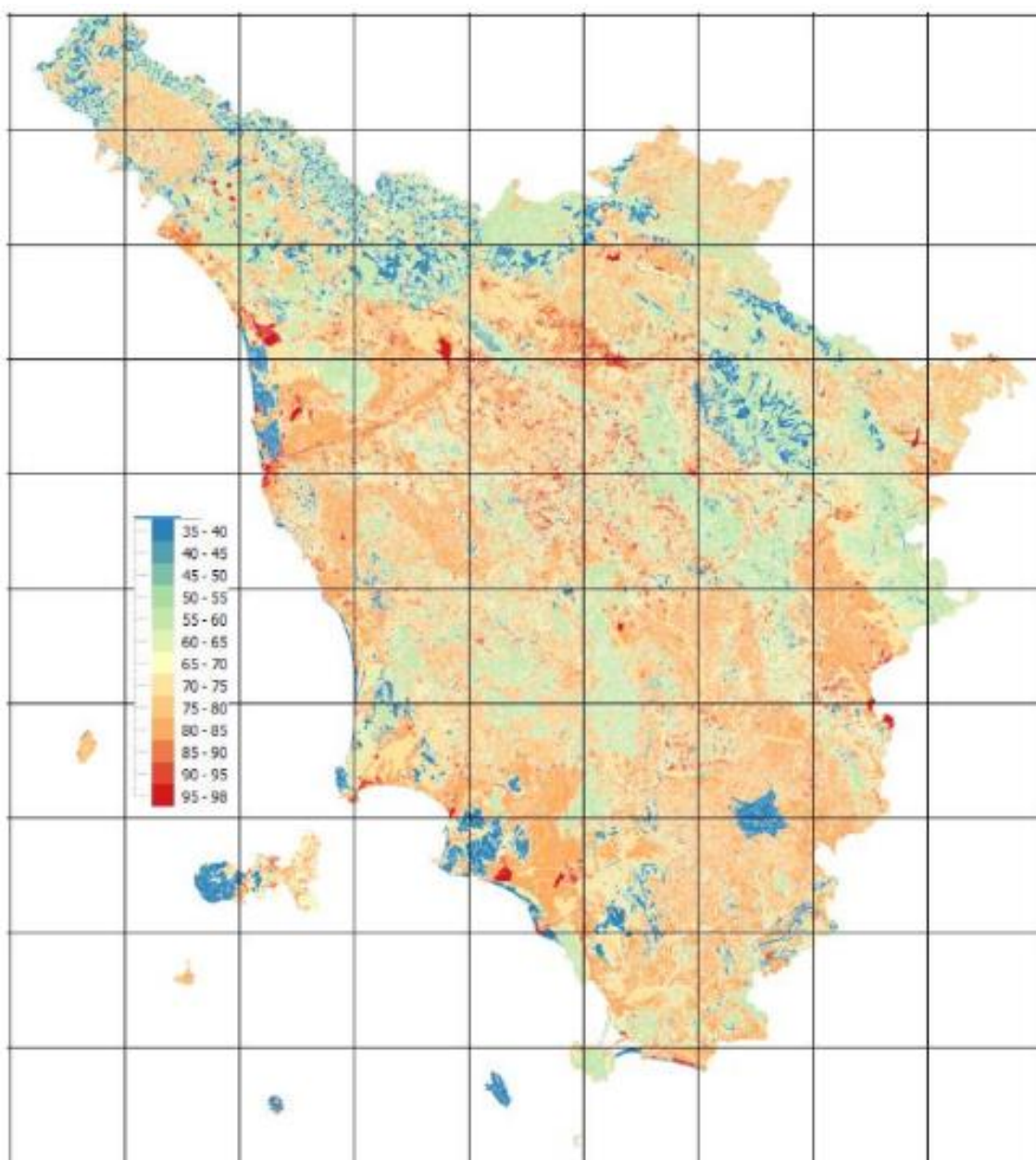
$$e_m = \Delta E_m / \Delta t$$

Tipo di Copertura	Tipo di Suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato</i>				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<i>Terreno da pascolo</i>				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie</i>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terreni boscosi o forestati</i>				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi</i>				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<i>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</i>	89	92	94	95
<i>Distretti industriali (impermeabilità 72%)</i>	81	88	91	93
<i>Aree residenziali (impermeabilità media %)</i>				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
<i>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</i>	98	98	98	98
<i>Strade</i>				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

**Tabella 5.11** – Valori di CN II per condizioni intermedie in funzione del tipo di suolo e del tipo di copertura.

## 5.7 DETERMINAZIONE DEL CN<sub>iii</sub>

L'individuazione del valore CN<sub>iii</sub> (condizione di terreno mediamente imbibito) è condotta coerentemente a quanto riportato nell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, per cui è avvenuto un processo di aggiornamento del modello Idrologico distribuito sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale in uso presso il Centro Funzionale della Regione Toscana per la previsione degli eventi di piena in tempo reale. Tra i parametri sviluppati rientrano i valori di Curve Number a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo. Il risultato che si ottiene, desunto dall'archivio della Regione Toscana, è riportato in Figura 5.4.



**Figura 5.4** – Valori del Curve Number – CN<sub>iii</sub> per la Toscana

La determinazione del valore del CNII (condizione di terreno mediamente imbibito) si è basata sul confronto fra i valori messi a disposizione dalla Regione Toscana (Figura 5.5) e i valori ottenuti incrociando i dati di uso del suolo (Figura 5.6) con le informazioni sulla natura del suolo più recenti (Figura 5.7), scegliendo il valore più cautelativo fra i due.

Procedendo come esposto nel paragrafo precedente è possibile individuare il valore del CN a livello di singolo bacino idrografico. In realtà, il calcolo delle perdite idrologiche è condotto con riferimento al valore del CNIII (condizione di terreno imbibito), ottenuto dal valore del CNII secondo l'espressione che segue:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{[0.4036 + 0.005964 * CN(II)]}$$

A questo punto il valore del Curve Number III è definito e in Tabella 5.12 per i vari bacini oggetto di studio idrologico.

Codice	<u>Nome DGRT 1061/2023</u>	CNIII Regione Toscana	CNIII Aggiornamento	CNIII
B01	Torrente Massellone (monte)	79	83	<b>83</b>
B02	Fosso delle Corti	89	90	<b>90</b>
B03	Fosso TS418	84	87	<b>87</b>
B04	Fosso TS551	91	91	<b>91</b>
B05	Fosso Il Piano	84	89	<b>89</b>
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	90	91	<b>91</b>
B07	Fosso Grande	79	87	<b>87</b>
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	86	88	<b>88</b>
B09	Fosso di Lecchi	87	87	<b>87</b>
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	87	90	<b>90</b>
B11	Fosso delle corti	88	88	<b>88</b>
B12	Fosso TS2834	85	88	<b>88</b>
B13	Massellone valle	81	85	<b>85</b>
B14	Massellone valle interbacino	87	89	<b>89</b>

Tabella 5.12 – Calcolo del CN

## 5.8 PORTATA DI PROGETTO. TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI

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



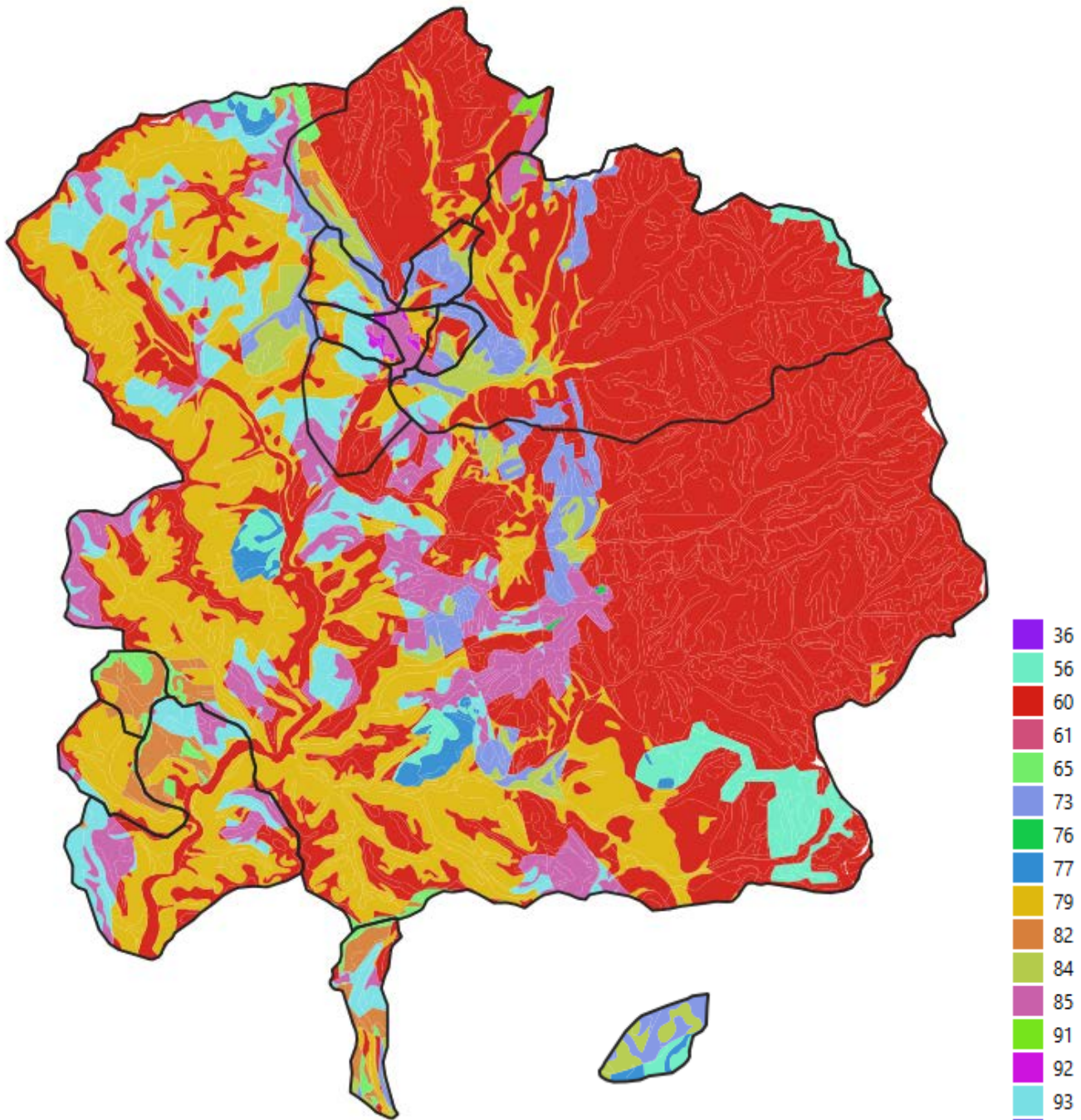


Figura 5.5 – Valori del Curve Number – CNII per la Toscana (studio Castelli)

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:

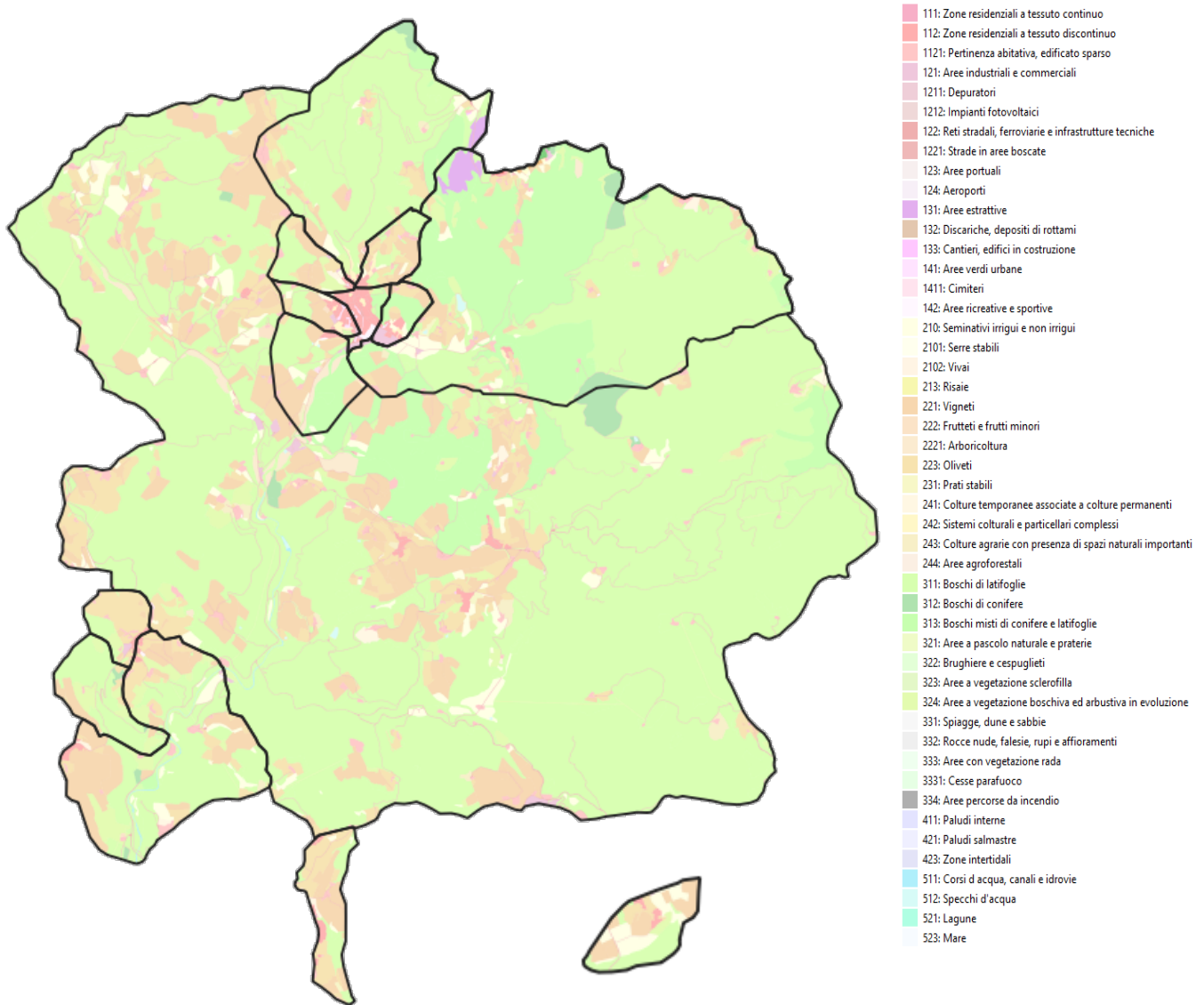


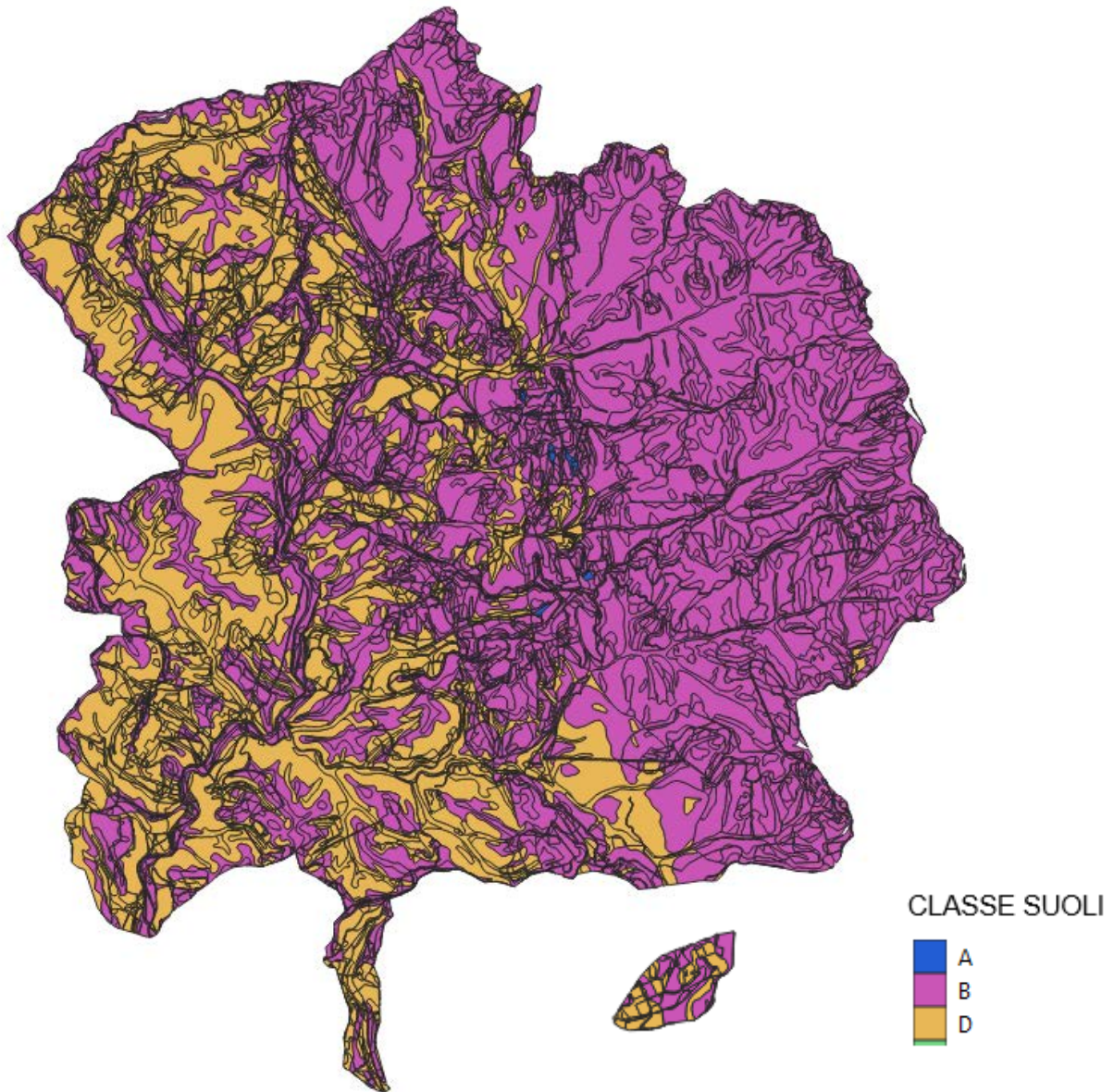
Figura 5.6 – Carta dell'uso del suolo della Regione Toscana – agg. 2019

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

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).

## 5.9 IUH - MODELLO SCS

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui l'idrogramma unitario del



**Figura 5.7** – Classi di permeabilità del suolo

SCS (quello scelto per il presente studio).

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 è adimensionalizzato rispetto al valore della portata di picco e del tempo corrispondente alla durata del ramo ascendente dell'idrogramma stesso.

L'approccio proposto dal SCS può essere impiegato purché si definisca il valore del *lag time* (tempo di ritardo del bacino) e il *peak rate factor* (PRF). Mentre il primo è comunemente definito sulla base

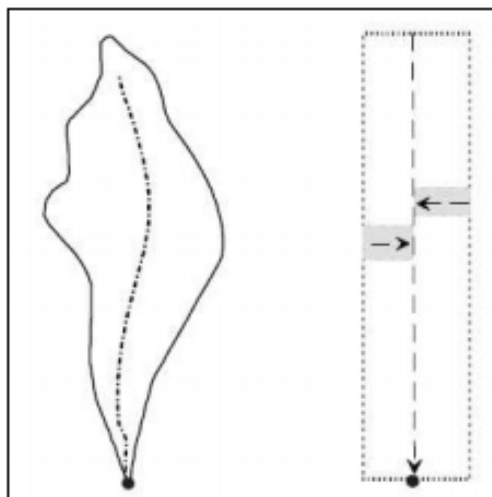
di formule empiriche, il secondo deve essere scelto in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino e caratteristico del metodo impiegato. Il PRF è definito dalla seguente relazione

$$q_p = PRF \frac{AQ}{T_p}$$

intendendo per  $q_p$  la portata di picco in [ft<sup>3</sup>/s], A l'area di drenaggio in [mi<sup>2</sup>] e  $T_p$  il tempo in cui si realizza il picco in [h], Q runoff (in). Il valore di *default* proposto da HEC-HMS è di assumere PRF pari a 484 ed è definito ipotizzando che il volume trasportato dall'idrogramma di piena nel tratto ascendente è il 35% di quello totale. Quindi la scelta del PRF si riflette in un cambiamento percentuale del volume trasportato nel tratto ascendente dell'idrogramma di piena e, quindi, della sua forma. Ai fini del presente studio, si assume il valore del PRF costante e pari a 484 come quello di default.

### 5.10 IUH - MODELLO KINEMATIC WAVE

Il modello Kinematic Wave (onda cinematica) è un modello concettuale fisicamente basato, che rappresenta il bacino idrografico come un canale a pelo libero molto largo, con ingressi nel canale pari alla precipitazione che interessa il bacino stesso. L'idrogramma è calcolato attraverso la risoluzione delle equazioni di moto vario. La schematizzazione del bacino è indicata attraverso un esempio nello schema seguente:



Il modello schematizza quindi il deflusso lungo i versanti (overland flow) e il deflusso nel canale (channel flow). Le equazioni utilizzate sono le equazioni fondamentale del deflusso in canali a pelo libero: l'equazione di conservazione della quantità di moto e l'equazione di continuità. Il deflusso sui versanti e nei canali è schematizzato secondo un modello monodimensionale.

Per i dettagli sul metodo si rimanda al *Technical Reference Manual* di HEC-HMS consultabile online. Questo modello è stato utilizzato per la schematizzazione degli interbacini.

## 5.11 STIMA DEL LAG-TIME

Il *lag time* (o tempo di ritardo) è normalmente stimato per mezzo di relazioni empiriche. Nel caso in esame sono state prese in esame 15 diverse formulazioni da letteratura del Lag Time, ovvero le formule di Kirpich, Kerby-Hataway, Papadakis-Kazan, Horton, Kinematic wave, Watt & Chow, Chow, Melone, Snyder, Carter, Fiorentino, McEnroe & Zhao, SCS, con l'aggiunta di ulteriori 10 formule per il calcolo del tempo di corrivazione: Giandotti, Pasini, Ventura, Pezzoli, Puglisi, Aronica & Paltrinieri, Fattorelli & Marchi, NCRS, Tournon, U.S. Navy & Texas Highway departments. La correlazione tra il Tempo di Corrivazione ( $t_c$ ) e il Lag-Time ( $T_{lag}$ ) è dato da  $T_{lag} = 0.6 \cdot t_c$ .

In generale le formule adottate si basano su dati morfologici come l'area del bacino, la lunghezza dell'asta principale, le quote del bacino idrografico, coefficienti che valutano la permeabilità del suolo e la velocità di ruscellamento dell'acqua.

Avere a disposizione una così ampia serie di dati permette di eliminare i valori estremi dovuti al non adattamento della formula per quel dato bacino (dovuto principalmente alle dimensioni e alla morfologia), dai valori validati ne è stata estratta la media.

Codice	<u>Nome DGRT 1061/2023</u>	Area Bacino (Km <sup>2</sup> )	LAG [min]
B01	Torrente Massellone (monte)	4.18	48
B02	Fosso delle Corti	0.49	36
B03	Fosso TS418	0.46	32
B04	Fosso TS551	0.33	28
B05	Fosso Il Piano	0.31	18
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	0.25	(*)
B07	Fosso Grande	9.95	72
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	1.04	(*)
B09	Fosso di Lecchi	0.46	36
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	0.85	(*)
B11	Fosso delle corti	0.81	40
B12	Fosso TS2834	0.50	34
B13	Massellone valle	62.4	145
B14	Massellone valle interbacino	3.60	(*)

(\*) bacino schematizzato con IUH - kinematic wave e non IUH – SCS pertanto non è necessario definire il valore del LAG time

**Tabella 5.13** – Valore del LAG-time

## 5.12 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDROLOGICA

Il software HEC-HMS ver. 4.11 è il sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Engineering Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America. È stato progettato per simulare i processi di precipitazione e di deflussi di bacini idrografici e ne consente, quindi, la modellazione idrologica.

Per eseguire una simulazione idrologica il software richiede la specificazione di tre insiemi di dati:

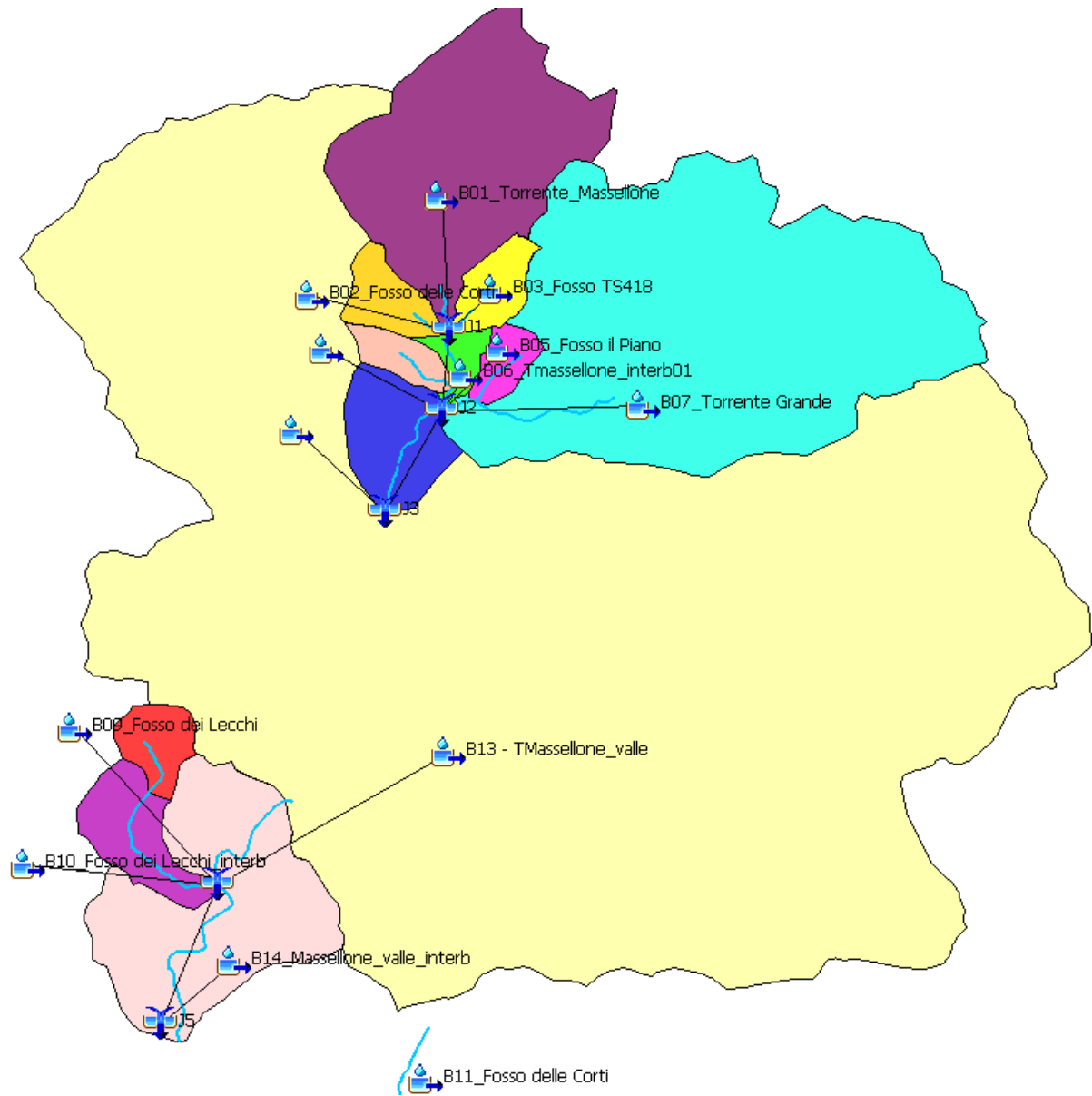
- Basin Model: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico
- Meteorologic Model: dati meteorologici relativi alle precipitazioni e all'evapotraspirazione
- Control Specifications, Time-Series Data: informazioni temporali necessarie per la simulazione

Il componente Basin Model permette di definire i bacini idrografici, le relative caratteristiche, i metodi di calcolo delle perdite di bacino e i metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi.

Il *meteorological model* definisce l'evento pluviometrico di progetto (*rainfall simulation*). L'evento pluviometrico assegnato, è inserito, nel caso in esame, utilizzando il metodo dello *specified hyetograph*, inserendo cioè uno ietogramma di pioggia costante per tutta la durata dell'evento. Per le simulazioni idrologiche si è scelto, quindi, di distribuire i valori dello spessore di pioggia in 15 nel caso dello ietogramma costante, mentre per il caso dello ietogramma triangolare con almeno 7 punti.

Ogni bacino è stato quindi definito a partire delle seguenti caratteristiche: Area del bacino, *Initial and Costant* come *Loss Method*, *User-specified Unit Hydrograph* come *Transformation Method* e definizione della idrogramma unitario come *Paired data*.

È stato implementato un unico modello idrologico due denominato "Gaiole", utile alla definizione degli input idrologici per i modelli che interessano l'asta fluviale del T. Massellone e i suoi affluenti. In relazione alla schematizzazione condotta e riportata in Figura 5.8, si rileva che al primo modello attendono tutti i bacini da B01 a B14. Le durate di pioggia analizzate sono comprese tra 1 h e 8 h con ietogramma costante e nei casi specificati nella precedente Tabella 5.9 con ietogramma triangolare. I bacini B06, B08, B10 e B14 sono schematizzati secondo il modello cinematica wave, mentre tutti gli altri sono stati schematizzati con IUH-SCS per la definizione del modello afflussi-deflussi.



**Figura 5.8 – Modello idrologico denominato Gaiole**

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Q <sub>picco</sub> [m <sup>3</sup> /s] - Tr 30 anni			Q <sub>picco</sub> [m <sup>3</sup> /s] - Tr 200 anni		
		1	2	3	1	2	3
B01	Torrente Massellone (monte)	19.58	20.44	18.44	31.58	36.03	32.25
B02	Fosso delle Corti	4.15	3.50	2.84	6.50	5.56	4.53
B03	Fosso TS418	3.59	3.05	2.50	5.87	5.01	4.09
B04	Fosso TS551	3.32	2.55	1.99	5.12	3.97	3.13
B05	Fosso Il Piano	3.36	2.38	1.83	5.22	3.74	2.91
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	1.68	1.89	1.48	3.55	3.00	2.38
B07	Fosso Grande	40.98	46.07	43.65	68.76	78.42	74.39
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	10.98	7.65	6.01	18.74	12.45	9.51
B09	Fosso di Lecchi	3.34	2.96	2.46	5.47	4.87	4.06
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	9.26	6.81	5.15	15.13	9.50	8.10
B11	Fosso delle corti	5.78	5.25	4.39	9.42	8.58	7.18
B12	Fosso TS2834	3.94	3.39	2.77	6.39	5.49	4.50
B13	Massellone valle	93.31	128.92	146.72	167.25	235.80	269.33
B14	Massellone valle interbacino	21.93	23.72	19.62	46.13	41.03	31.98

**Tabella 5.14** – Portate di picco su spessori di pioggia con Kr Singoli – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni – ietogramma costante

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Q <sub>picco</sub> [m <sup>3</sup> /s] - Tr 30 anni	Q <sub>picco</sub> [m <sup>3</sup> /s] - Tr 200 anni
		1	1
B02	Fosso delle Corti	4.82	7.69
B03	Fosso TS418	4.19	6.96
B04	Fosso TS551	4.07	6.38
B05	Fosso Il Piano	4.36	6.98
B09	Fosso di Lecchi	3.83	6.37
B11	Fosso delle corti	6.57	10.81
B12	Fosso TS2834	4.60	7.53

**Tabella 5.15** – Portate di picco su spessori di pioggia con Kr Singoli – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni – ietogramma triangolare



Codice	Nome DGRT 1061/2023	Tr 30 anni				Tr 200 anni			
		1	2	3	4	1	2	3	4
B01	Torrente Massellone (monte)	17.82	19.07	17.53	15.63	31.85	33.89	30.82	27.43
B02	Fosso delle Corti	3.79	3.27	2.70	2.26	5.99	5.22	4.32	3.66
B03	Fosso TS418	3.24	2.84	2.36	2.00	5.36	4.68	3.89	3.32
B04	Fosso TS551	3.04	2.39	1.90	1.57	4.73	3.74	2.99	2.51
B05	Fosso Il Piano	3.07	2.22	1.75	1.44	4.81	3.51	2.77	2.32
B06	Torrente Massellone (interbacino01)	1.44	1.75	1.40	1.15	3.13	2.81	2.27	1.88
B07	Fosso Grande	38.85	44.19	42.42	38.76	65.51	75.53	72.37	66.13
B08	Torrente Massellone (interbacino02)	9.65	7.12	5.70	4.69	17.23	11.69	9.05	7.50

**Tabella 5.16** – Portate di picco su spessori di pioggia con Kr Monte – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni

Codice	Nome DGRT 1061/2023	Tr 30 anni				Tr 200 anni			
		1	4	6	8	1	4	6	8
B09	Fosso di Lecchi	3.04	1.99	1.43	1.19	5.02	3.30	2.41	2.03
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	8.34	3.99	2.76	2.33	13.94	6.45	4.61	3.82
B13	Massellone valle	91.53	151.22	147.47	135.78	164.40	277.22	267.74	245.94
B14	Massellone valle interbacino	13.88	14.14	11.19	9.15	32.53	24.06	18.64	15.45

**Tabella 5.17** – Portate di picco su spessori di pioggia con Kr Valle – Modello idrologico Gaiole – TR 30 e 200 anni

## 6 ANALISI IDRAULICA

### 6.1 DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Le modellazioni idrauliche sono state condotte per mezzo del codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1, sviluppato dall'US Army Corps of Engineer, per le aste fluviali nei tratti naturali sia nelle modellazioni 1D e 2D.

Le modellazioni idrauliche sono state condotte secondo uno schema monodimensionale in moto vario (*unsteady flow*), simulando il deflusso delle portate di piena all'interno degli alvei fluviali oggetto del presente studio.

Nei casi di superamento del livello dell'acqua dei limiti arginali (laddove presenti) o topografici delle sezioni rilevate e utilizzate per le modellazioni monodimensionali, si sono svolte delle modellazioni bidimensionali sempre con HEC-RAS.

Laddove i fenomeni esondativi hanno interessato aree non confinate, tali da non poter immagazzinare i volumi idrici provenienti dal corso d'acqua, sono state inserite delle *storage area* all'interno delle quali il problema del flusso è schematizzato come bidimensionale, in modo da simulare le dinamiche di allagamento di tali aree.

I dati di input che sono stati richiesti per la simulazione idraulica sono:

- dati geometrici: forma delle sezioni trasversali d'alveo con relativa progressiva, eventuali sistemi di arginatura e manufatti idraulici;
- caratterizzazione idraulica: indici di scabrezza;
- dati di flusso: idrogrammi di piena per tempi di ritorno di 30 e 200 anni e condizioni al contorno.

La perimetrazione delle aree allagate, per le aree ed i modelli sopra descritti, è stata effettuata, dove possibile, sulla base del rilievo LIDAR non di proprietà della Regione Toscana ad uso Enti Pubblici con maglia 1m x 1m.

### 6.2 MODELLAZIONI IDRAULICHE MONODIMENSIONALI CON HEC-RAS 6.3.1

Per ciascun corso d'acqua oggetto di studio è stato sviluppato anzitutto un modello idraulico monodimensionale con il codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1 e per ciascun tempo di ritorno di interesse (30 e 200 anni) è stata effettuata una simulazione in moto vario.

In questa sede, si preferisce omettere l'illustrazione teorica dei principi di base sui quali si fonda la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto permanente e di moto vario, in quanto una esaustiva trattazione degli stessi argomenti è liberamente disponibile in rete all'indirizzo <http://www.hec.usace.army.mil> e si rimanda due pubblicazioni *Hydraulic Reference Manual* e *User's Manual* messe a disposizione direttamente dall'US Army Corps of Engineering.

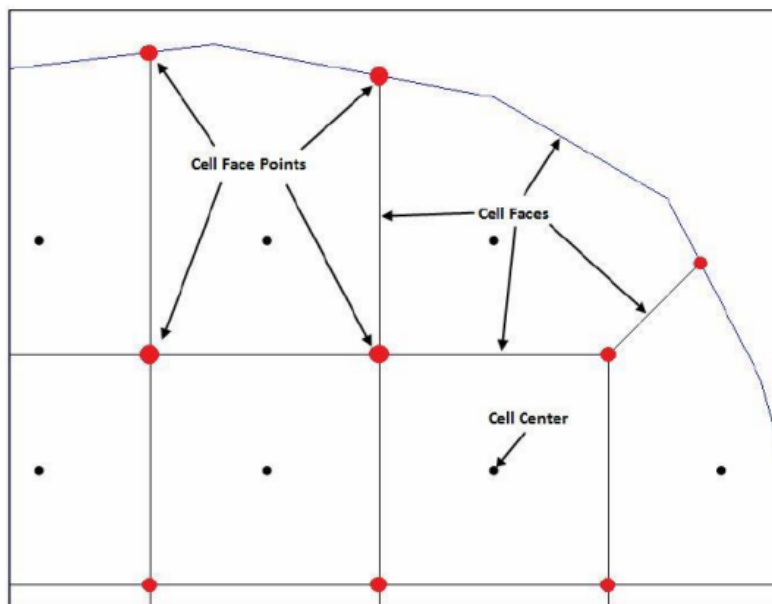
Il codice HEC-RAS, al fine di seguire il calcolo, necessita, oltre della geometria dell'alveo tramite l'inserimento delle sezioni rilevate (*cross section*), di definire il valore del coefficiente di Manning. Per i dettagli relativi a ciascun corso d'acqua si rimanda agli allegati delle sezioni dei modelli, mentre, in generale, si sono assunti valori medi del *Manning*, desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015) definiti in base alle caratteristiche del corso d'acqua nello specifico tratto d'interesse a seguito di appurate indagini su base ortofoto o rilievi in situ. Tale scelta di valori del Manning è risultata coerente con quelli individuati nel vecchio studio idrologico idraulico di supporto agli strumenti di pianificazione del 2015.

Al fine di rendere eseguibili le simulazioni, occorre definire le *boundary conditions* a monte e a valle del tratto studiato nel caso di simulazioni in moto vario. Com'è noto tali condizioni possono essere impostate in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme o scala di deflusso. Nel caso in esame, quali condizioni al contorno di monte sono stati assunti gli idrogrammi di piena; per la condizione di valle, invece, è generalmente adottata la condizione *normal depth*, fatto salvo il caso delle confluenze con il T. Arbia. In questi casi (T. Massellone valle e fosso TS242834) sono stati utilizzati gli andamenti dei tiranti idrici del Torrente Arbia (modello Lecchi - Massellone e modello TS2834 – San Giusto) ricavati dagli allegati Hec Ras del Progetto di *“Analisi della Pericolosità idraulica del T.Arbia, dalla confluenza del T.Massellone a buonconvento e del F.Ombrone nell'intorno della confluenza con il T.Arbia”* redatto dallo studio iDeA di Prato.

### 6.3 MODELLAZIONI IDRAULICHE BIDIMENSIONALI CON HEC-RAS 6.3.1

Il software HEC-RAS ha la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. Nel presente studio, per i tratti in cui fosse necessario l'impiego di modelli 2D per la determinazione delle aree allagate, si è infatti svolto una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema bidimensionale (2D) con l'aggiunta di aree 2D (*2D-flow area*) nel modello. Tale area 2D viene aggiunta nel modello 1D disegnando un poligono connesso al *river* attraverso l'uso di uno sfioratore laterale (*lateral structure*).

Il codice di calcolo consente di risolvere il problema bidimensionale del moto sia risolvendo le equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda (scelte ai fini del presente studio) consentono al codice di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità numerica. L'algoritmo di risoluzione è *"ai volumi finiti"* ed è *"accoppiato"* a quello di risoluzione del problema monodimensionale nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra le



**Figura 6.1** – Esempio di mesh computazionale Hec-Ras

componenti monodimensionali e quelli bidimensionali. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso tra le sezioni del corso d'acqua modellato e la *2D-flow area*.

Il codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1 funziona per celle, che però possono essere sia strutturate che non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8). La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle (Figura 6.1). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 6.1, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la *mesh* si adatta al profilo dell'area.

Si noti inoltre come ogni *cell center*, *cell face* e *cell face point* è identificato da un numero, in modo da facilitare l'operazione di analisi e visualizzazione dei risultati.

Il più grande vantaggio della modellazione bidimensionale in HEC-RAS riguarda comunque la dimensione della mesh computazionale. Ogni cella viene infatti pre-processata in modo da creare una serie di tabelle idrauliche, che mettono in relazione l'elevazione e il volume e, su ogni lato della cella, l'elevazione con il perimetro bagnato, l'area e la scabrezza. Queste curve permettono di utilizzare celle di dimensioni più grandi rispetto ad altri programmi 2D, con evidente diminuzione dei tempi computazionali.

Ad ogni modo, in una simulazione di moto vario bidimensionale, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale  $\Delta T$ , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi. Generalmente questo valore viene valutato

basandosi sul criterio di Courant, esprimibile, nel caso di impiego del set di equazioni *diffusive wave*, nella maniera seguente:

$$C = \frac{V \Delta T}{\Delta X} \leq 2$$

essendo C il numero di Courant, V la velocità massima dell'acqua,  $\Delta T$  il tempo di calcolo e  $\Delta X$  la dimensione media delle celle.

Infine, occorre sottolineare che il software computa la velocità della corrente nei nodi della griglia, mentre il livello idrico è calcolato nel *cell center* della griglia stessa.

Nei modelli oggetto di studio, a seconda dell'area modellata bidimensionale, sono state utilizzate celle di dimensione variabile, dovuto alla possibilità di utilizzare dei rilievi LIDAR o su modelli realizzati su base cartografica.

Quando è richiesta una particolare precisione sulle celle, come ad esempio arginature o manufatti idraulici che costituiscono un impedimento al normale deflusso dell'acqua, per valutare con attenzione questi punti, sono state inserite delle *break lines*, cioè linee di interruzione per le celle esistenti, permettendo così al software di generare celle di dimensioni più piccole e, di conseguenza, più accurate.

## 6.4 MODELLI IDRAULICI

I modelli idraulici impiegati per la definizione delle condizioni di pericolosità idraulica sul territorio del comune di Gaiole in Chianti sono riportati in Tabella 6.1. Si rimanda agli allegati HEC-RAS per le specifiche tecniche.

## 6.5 INPUT IDRAULICI

Al fine di rendere eseguibili le simulazioni, occorre definire gli input idrologici di monte e le condizioni al contorno di valle dei tratti studiati nel caso di simulazioni in moto vario. Com'è noto, tali condizioni possono essere impostate in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme o scala di deflusso.

Di seguito sono riportate delle tabelle riassuntive delle varie *boundary conditions* assunte per i modelli implementati. Si precisa che per i bacini oggetto di sola modellazione idrologica, il relativo input idrologico è stato considerato introducendo delle *lateral inflow hydrograph* o delle *uniform lateral inflow hydrograph* del modello HEC-RAS, a seconda che siano affluenti o interbacini.

Asta idraulica	Modello HEC-RAS 6.3.1	Riferimento aste modello HEC-RAS 6.3.1
Fosso di Lecchi	FOSSO DI LECCHI	Lecchi
Torrente Massellone		Massellone
		Massellone 2
Fosso del Monti	FOSSO DEL MONTI	Fosso del Monti
TS2834 – Fosso San Giusto	TS2834	TS2834
Torrente Massellone	GAIOLE ABITATO ULTIMO	T.MASS_VALLE
		T.MASS_03
		T.MASS_02
		T.MASS_01
		TORRENTE MASSELL
F Grande		
F Grande_VALLE		
Fosso Grande		IIPiano
Fosso il Piano		TS551
TS551 – Fosso Cavarchino		TS418
TS418 – Fosso Capannelle		FOSSO DELLE CORT
Fosso delle Corti		

**Tabella 6.1** – Individuazione del modello idraulico di riferimento per le aste fluviali considerate

**MODELLO “FOSSO DI LECCHI”**

<b>DURATA 1 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B09	Fosso di Lecchi	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	100
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	60
B13	Torrente Massellone valle	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B14	Torrente Massellone valle (interbacino)	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	98
-	Torrente Arbia	-	Stage Hydrograph	1

<b>DURATA 4, 6, 8 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B09	Fosso di Lecchi	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B10	Fosso di Lecchi (interbacino)	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	60
B13	Torrente Massellone valle	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B14	Torrente Massellone valle (interbacino)	Tr200, Tr30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	98
-	Torrente Arbia	-	Stage Hydrograph	1

**MODELLO “FOSSO DEL MONTI”**

<b>DURATA 1 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B11	Fosso del Monti	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	1000
-	Fosso del Monti	-	Normal Depth	200

**Tabella 6.2a** – Individuazione delle condizioni al contorno inserite nel modello HEC-RAS – Parte prima

<b>DURATA 2 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B11	Fosso del Monti	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	1000
-	Fosso del Monti	-	Normal Depth	200

**MODELLO “TS2834”**

<b>DURATA 1 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B12	Fosso TS2834	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	100
-	Torrente Arbia	-	Stage Hydrograph	1

<b>DURATA 2 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B12	Fosso TS2834	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
-	Torrente Arbia	-	Stage Hydrograph	1

**MODELLO “GAIOLE ABITATO ULTIMO”**

<b>DURATA 1 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B01	Torrente Massellone	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	1000
B02	Fosso delle Corti	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	100
B03	Fosso TS418	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	300
B04	Fosso TS551	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	100
B05	Fosso il Piano	Tr200, Tr30 – Kr_singoli triangolare	Flow Hydrograph	100
B06.1	T Massellone_interb01 (70%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	865.63*
B06.2	T Massellone_interb01 (30%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	736.67*
B07	Torrente il Grande	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
B08	T Massellone_interb02	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	709.09*
-	Torrente Massellone	-	Normal depth	500

**Tabella 6.2b** – Individuazione delle condizioni al contorno inserite nel modello HEC-RAS – Parte seconda



<b>DURATA 2 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B01	Torrente Massellone	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	1000
B02	Fosso delle Corti	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
B03	Fosso TS418	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	300
B04	Fosso TS551	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
B05	Fosso il Piano	T Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
B06.1	T Massellone_interb01 (70%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	865.63*
B06.2	T Massellone_interb01 (30%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	736.67*
B07	Torrente il Grande	Tr200, Tr30 – Kr_singoli	Flow Hydrograph	100
B08	T Massellone_interb02	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	709.09*
-	Torrente Massellone	-	Normal depth	500

<b>DURATA 3, 4 h</b>				
<b>Codice</b>	<b>Nome DGRT 1061/2023</b>	<b>IDROGRAMMA</b>	<b>TIPO</b>	<b>SEZ. HEC</b>
B01	Torrente Massellone	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	1000
B02	Fosso delle Corti	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B03	Fosso TS418	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	300
B04	Fosso TS551	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B05	Fosso il Piano	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B06.1	T Massellone_interb01 (70%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	865.63*
B06.2	T Massellone_interb01 (30%)	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	736.67*
B07	Torrente il Grande	Tr200, TR30 – Kr_globale	Flow Hydrograph	100
B08	T Massellone_interb02	Tr200, TR30 – Kr_globale	Uniform Lateral Inflow Hydrograph	709.09*
-	Torrente Massellone	-	Normal depth	500

**Tabella 6.2c** – Individuazione delle condizioni al contorno inserite nel modello HEC-RAS – Parte terza

## 7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE

La descrizione qui riportata delle varie modellazioni idrauliche, è articolata secondo lo schema seguente, rimandando agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio:

- Descrizione generale dell'area e dei tratti del corso d'acqua oggetto di studio;
- Tipo di modellazione effettuata (mono-dimensionale in moto vario oppure mono-dimensionale in moto vario con sfioratori laterali e settori di allagamento bidimensionali con HEC-RAS 6.3.1.).
- Descrizione delle condizioni al contorno imposte e peculiarità del modello.
- Descrizione sintetica dei risultati più significativi.

Nei modelli HEC-RAS sono stati utilizzati gli input idrologici calcolati nei precedenti capitoli.

### 7.1 MODELLO “FOSSO DI LECCHI”

#### 7.1.1 *Inquadramento generale*

Il modello comprende:

- il Fosso di Lecchi, ad Ovest, nel tratto che va da monte dell'abitato di Lecchi in Chianti, fino alla confluenza con il T.Massellone;
- il Torrente Massellone, da valle dell'attraversamento della strada vicinale del Castello di Tornano, fino alla confluenza con il Torrente Arbia a Sud.

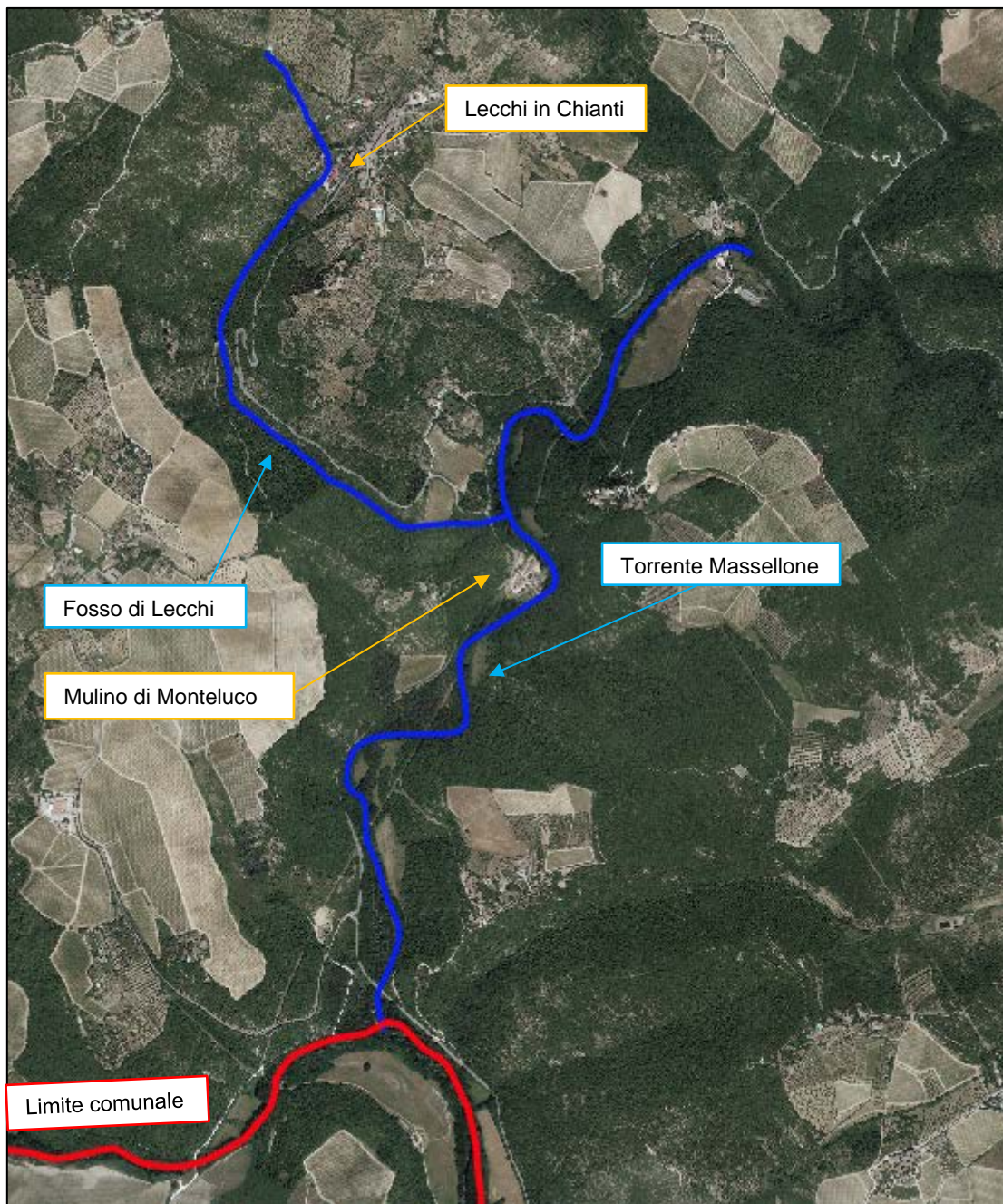
Le aste studiate interessano per la quasi totalità aree boscate o ad uso prevalentemente agricolo, ad eccezione dell'abitato di Lecchi in Chianti, nel tratto iniziale del Fosso di Lecchi. La direttrice principale del corso d'acqua principale, il T. Massellone va da Nord verso Sud.

Il Fosso di Lecchi attraversa marginalmente l'abitato di Lecchi in Chianti, sottoattraversando in due punti la viabilità con altrettanti tratti tombati. Scorre poi in aree boscate, parallelamente alla Strada Provinciale Traversa del Chianti, con un alveo molto inciso. Prima di confluire nel suo recettore naturale, il T.Massellone, sottoattraversa la SP408.

Il Torrente Massellone, invece scorre parallelamente alla Strada Provinciale 408 di Montevarchi in aree boscate fino alla confluenza con il Torrente Arbia subito dopo l'attraversamento della Provinciale. L'unico conglomerato di abitazioni, nei pressi del Mulino di Montelucio, si trova in destra idraulica, subito dopo la confluenza con il suo affluente destro, il Fosso di Lecchi.

#### 7.1.2 *Modello implementato su HEC-RAS*

La modellazione idraulica, finalizzata alla definizione delle condizioni di pericolosità idraulica lungo il corso del Fosso di Lecchi e del Torrente Massellone è realizzata con il software HEC-RAS 6.3.1



**Figura 7.1** – Inquadramento geografico del Modello “Fosso di Lecchi”

in cui l'asta fluviale è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di 69 *cross sections* e di una *flow area 2D*, in corrispondenza dell'abitato di Lecchi in Chianti. Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria le sezioni rilevate sono state considerate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso s'acqua nell'abitato di Lecchi sono state modellate con gli elementi *storage*, collegate tramite delle *lateral structures*.

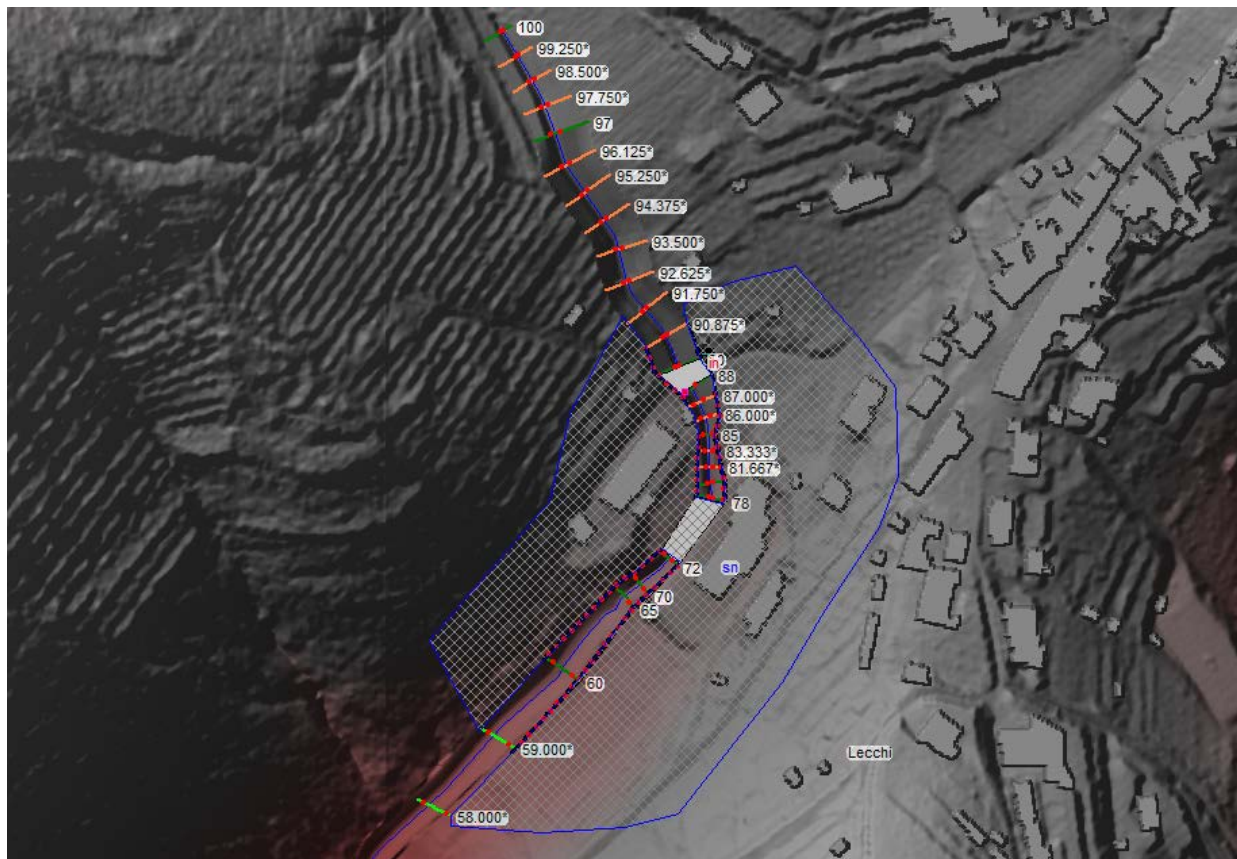


Figura 7.2 - Modello idraulico "Fosso di Lecchi" – Particolare sull'abitato di Lecchi in Chianti.

È stata poi inserita una condizione al contorno, *boundary condition lines*, in ingresso alla *storage area "sn"*, per simulare in maniera più approfondita le uscite dal primo tombamento a monte dell'abitato di Lecchi in Chianti. Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *stage hydrograph* costante nel tempo per simulare l'immissione nel Torrente Arbia. La quota imposta è di 261.45 m s.l.m. per Tr200 e di 260.33 m s.l.m. per Tr30, quote corrispondenti al tirante idraulico del Torrente Arbia nella zona di confluenza con il Torrente Massellone, desunti dagli allegati Hec Ras allegati agli studi in "Analisi della pericolosità idraulica del T.Arbia dalla confluenza del T.Massellone a Buonconvento e del F.Ombrone nell'intorno della confluenza con il T.Arbia"

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015):

- n pari a 0.06 s m<sup>-1/3</sup> per l'alveo principale;
- n pari a 0.10 s m<sup>-1/3</sup> fuori dall'alveo principale nei tratti boscati
- n pari a 0.06 s m<sup>-1/3</sup> fuori dall'alveo principale nei tratti ad uso agricolo

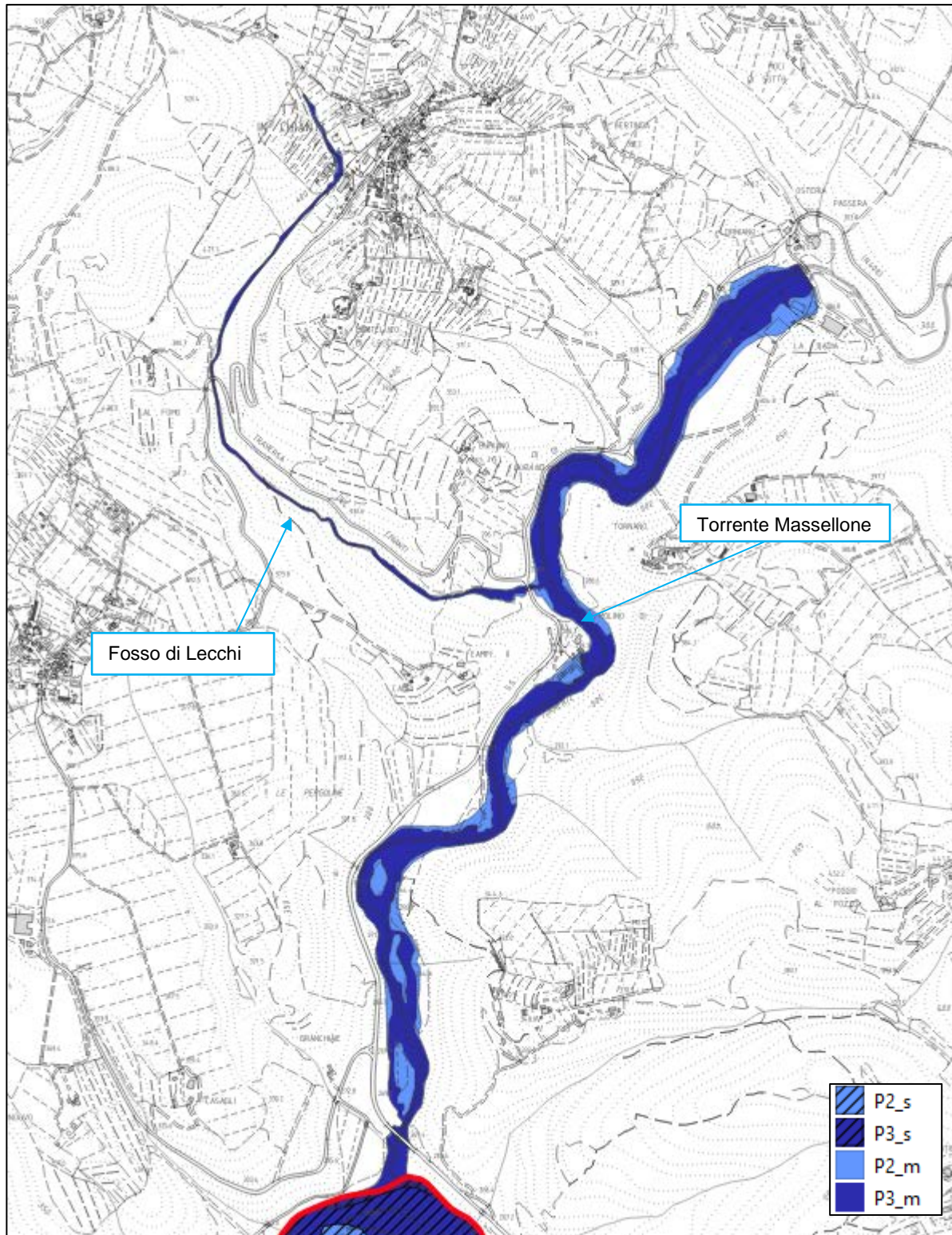


Figura 7.3 - Aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello "Fosso di Lecchi"

### 7.1.3 Sintesi dei risultati

Entrambi i corsi d'acqua studiati non presentano elevate criticità idrauliche lungo i tratti di interesse. Il Fosso di Lecchi, in corrispondenza dei due attraversamenti a monte dell'abitato, presenta esondazioni sia per tempi di ritorno pari a 200 e 30 anni che però vanno ad interessare agricole o boscate, senza interessare le civili abitazioni.

Il Torrente Massellone, invece, scorre liberamente verso valle, all'interno di aree prevalentemente boscate; la sola criticità da evidenziare è quella dovuta agli allagamenti duecentennali in destra idraulica nei pressi del Mulino di Montelucio, mentre i volumi divaganti per Tr30 anni non interessano gli edifici.

## 7.2 MODELLO “FOSSO DEL MONTI”

### 7.2.1 Inquadramento generale

Il modello comprende il Fosso del Monti, nel tratto che costeggia l'abitato di Monti in Chianti.

L'asta studiata nel presente modello, interessa l'abitato di Monti in Chianti, con la direttrice principale del corso d'acqua che va da Nord verso Sud. Il Fosso del Monti scorre ad Est dell'abitato, sottoattraversando in tre punti le strade locali che collegano la viabilità principale con le aree agricole più prossime

### 7.2.2 Modello implementato su HEC-RAS

La modellazione idraulica, finalizzata alla definizione delle condizioni di pericolosità idraulica lungo il corso del Fosso dei Monti è realizzata con il software HEC-RAS 6.3.1 in cui l'asta fluviale è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di 21 cross sections. Vista la conformazione del corso d'acqua, non si è ritenuto necessario implementare la modellazione bidimensionale, valutando la sola modellazione 1D sul *main channel* e sulle aree golenali e di espansione naturale del corso d'acqua.

Sono state inserite, come condizioni di monte, gli idrogrammi di piena, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, mentre come condizione di valle è stata utilizzato una *normal depth*, cioè l'altezza di moto uniforme del tratto terminale del fosso, imponendo come *friction slope* la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello.

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015):

- $n$  pari a 0.04 s m<sup>-1/3</sup> per l'alveo principale;
- $n$  pari a 0.06 s m<sup>-1/3</sup> fuori dall'alveo principale nei tratti ad uso agricolo
- $n$  pari a 0.10 s m<sup>-1/3</sup> fuori dall'alveo principale nei tratti boscati



Figura 7.4 Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr300anni per il modello “Fosso di Lecchi” – particolare nei pressi di Lecchi in Chianti

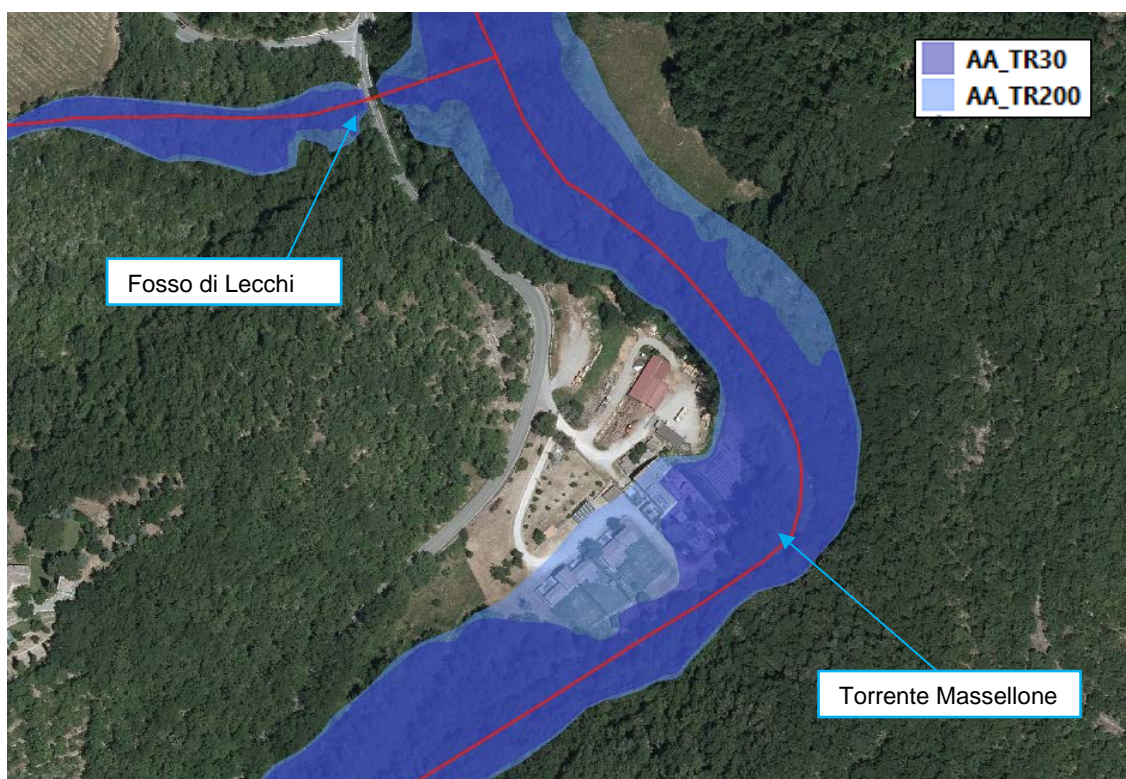
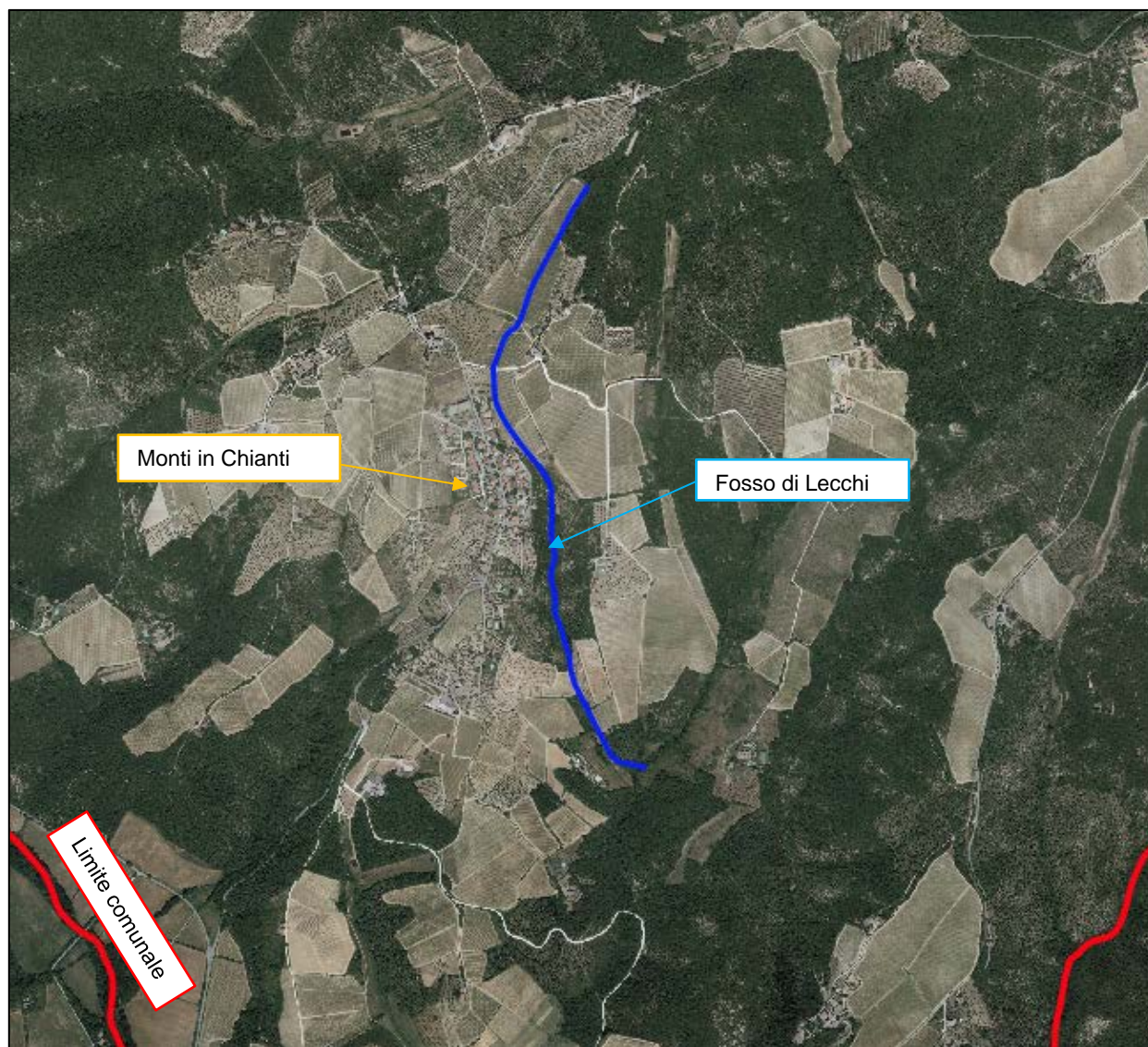


Figura 7.5 Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr300anni per il modello “Fosso di Lecchi” – particolare nei pressi di Mulino di Montelucco



**Figura 7.6** Inquadramento geografico del Modello “Fosso del Monti” (scala 1:20.000)

### 7.2.3 Sintesi dei risultati

Il corso d’acqua in oggetto non presenta criticità idrauliche né per tempi di ritorno pari a 200 anni né pari a 30 anni. Come si può vedere dalle figure seguenti, gli attraversamenti non sono sufficienti a smaltire le portate duecentennali e trentennali, ma i volumi divaganti restano confinati nelle aree più prossime al corso d’acqua, non andando ad interessare aree rilevanti, se non quelle ad esclusivo uso agricolo e la sola viabilità interessata.

Non sono quindi da segnalare particolari criticità per il Fosso dei Monti lungo il tratto studiato, dall’abitato di Monti in Chianti fino alla sua confluenza con il Fosso Poggio, a Sud.



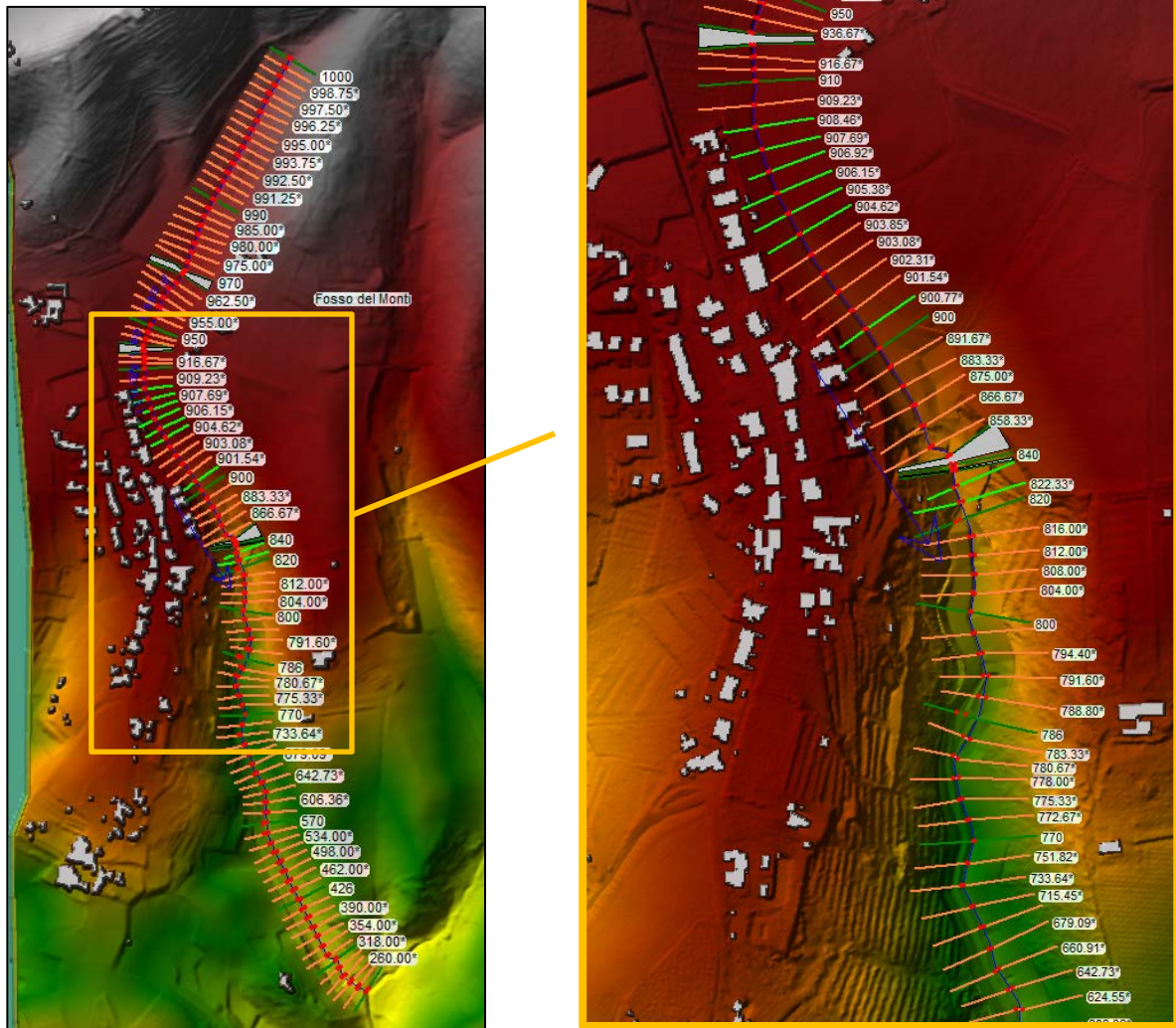


Figura 7.7 Modello idraulico "Fosso del Monti", in destra particolare in prossimità dell'abitato di Monti in Chianti

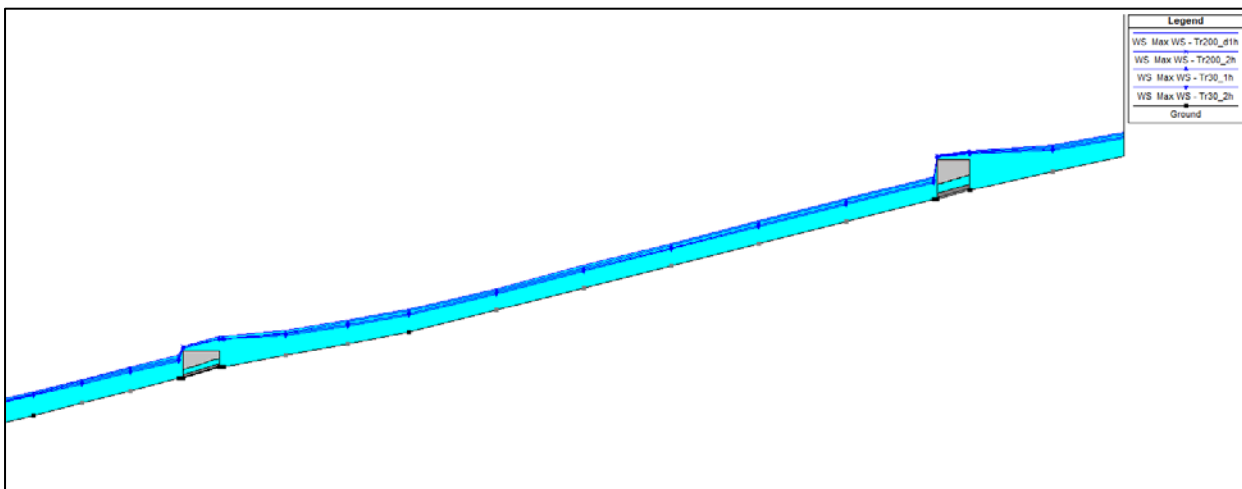
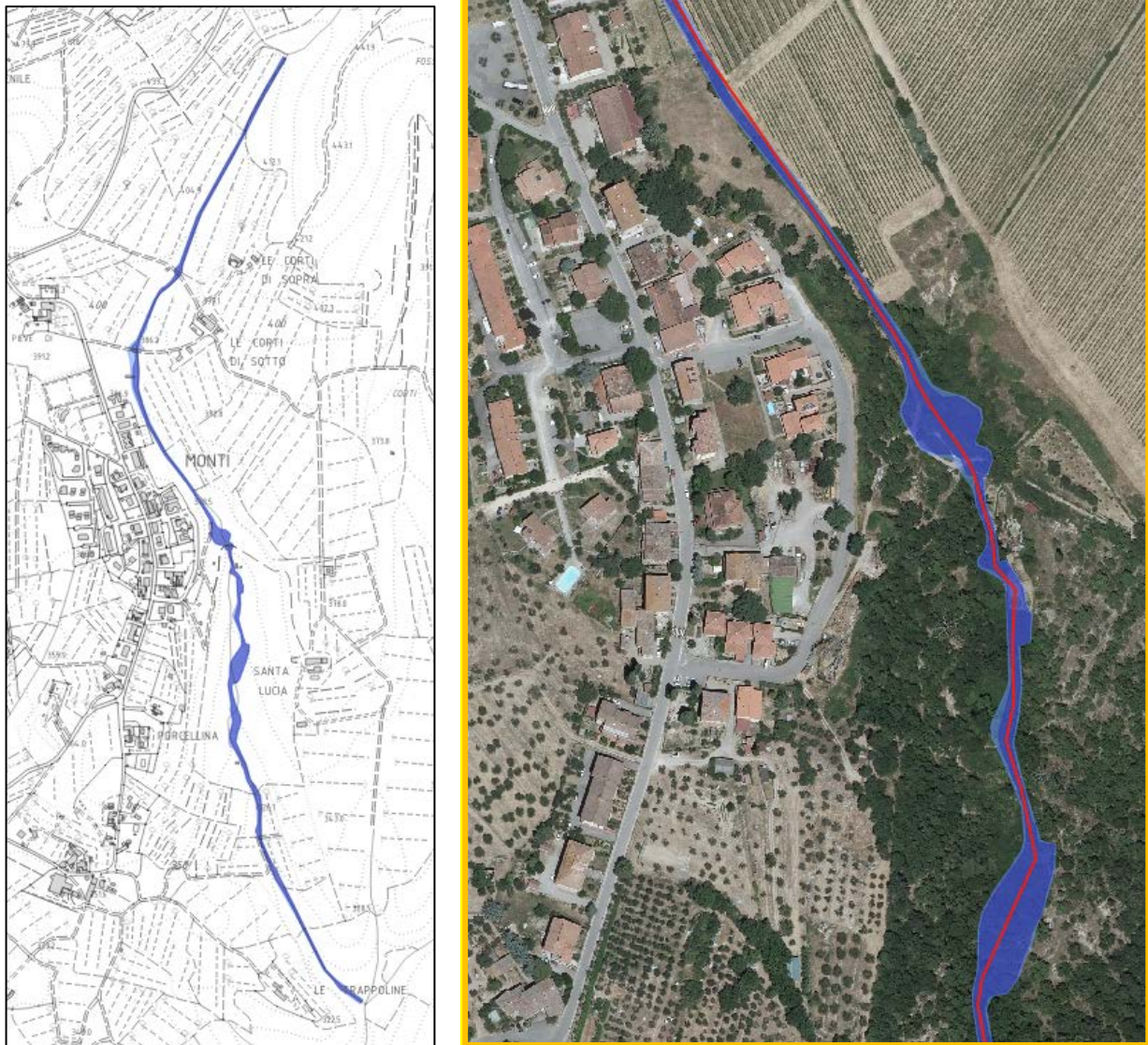


Figura 7.8 Estratto Hec Ras – profili per Tr200anni e Tr30anni



**Figura 7.9** Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello “Fosso di Lecchi” – a destra particolare nei pressi di Monti in Chianti

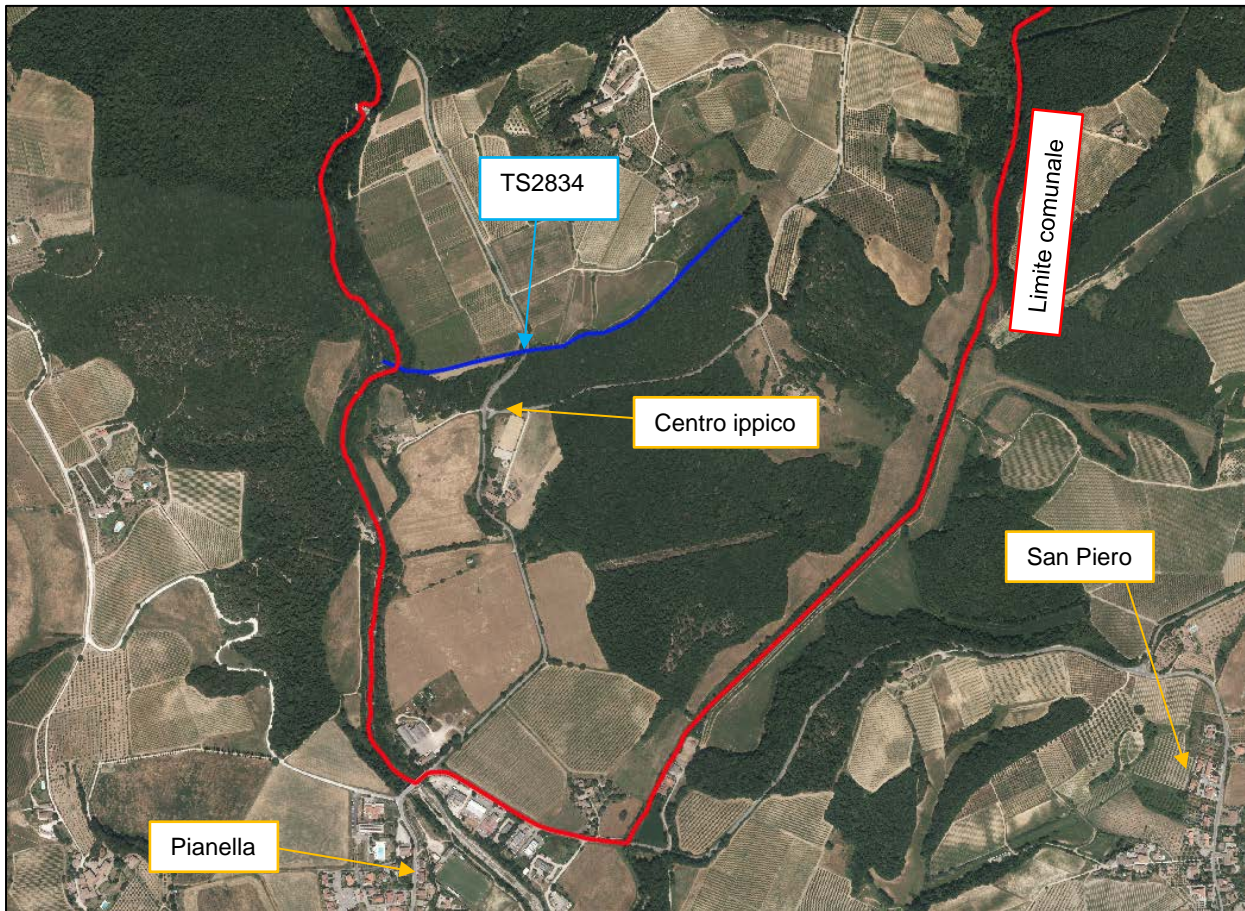
## 7.3 MODELLO “TS2834”

### 7.3.1 Inquadramento generale

Il modello comprende:

- il Fosso TS2834, fino alla confluenza con il T.Arbia.

L’asta studiata nel presente modello, interessa aree a prevalente uso agricolo nei pressi della località San Giusto, nell’area Sud del comune di Gaiole in Chianti, con la direttrice principale del corso d’acqua che va da Est verso Ovest, perpendicolarmente al tracciato della SP408, che sottoattraversa nei pressi del Centro ippico San Giusto.



**Figura 7.10** Inquadramento geografico del Modello “TS2834” (scala 1:10.000)

### 7.3.2 Modello implementato su HEC-RAS

La modellazione idraulica, finalizzata alla definizione delle condizioni di pericolosità idraulica lungo il corso del Fosso denominato TS2834 è realizzata con il software HEC-RAS 6.3.1 in cui l'asta fluviale è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di 16 *cross sections* e di una *flow area 2D*, in destra idraulica del corso d'acqua. Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria le sezioni rilevate sono state considerate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso s'acqua sono state modellate con gli elementi *storage*, collegate tramite delle *lateral structures*.

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *stage hydrograph* costante nel tempo per simulare l'immissione nel Torrente Arbia. La quota imposta è di 227.23 m s.l.m. per Tr200 e di 226.70 m s.l.m. per Tr30, quote corrispondenti al tirante idraulico del Torrente Arbia nella zona di confluenza con il Torrente Massellone, desunti dagli

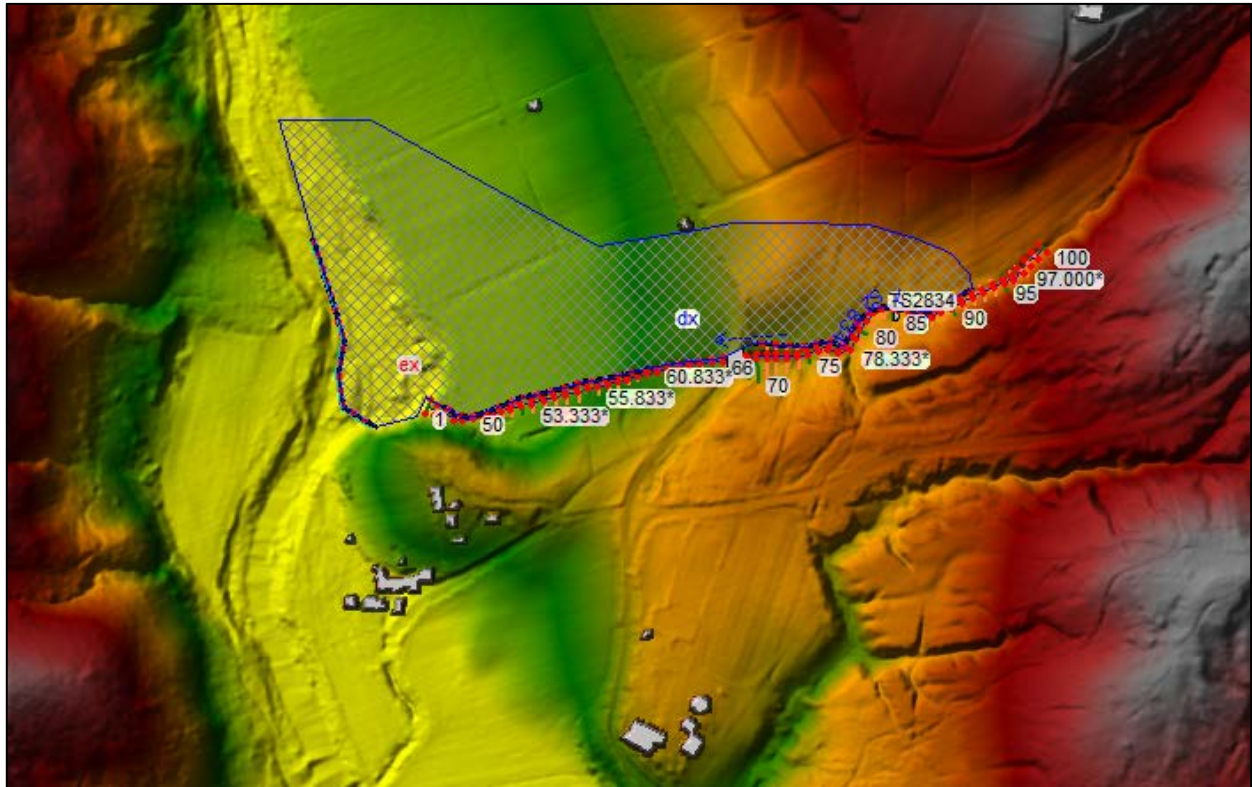


Figura 7.11 Modello idraulico "TS2834"

allegati Hec Ras allegati agli studi "Analisi della pericolosità idraulica del T.Arbia dalla confluenza del T.Massellone a Buonconvento e del F.Ombrone nell'intorno della confluenza con il T.Arbia"

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015):

- n pari a 0.04 s m<sup>-1/3</sup> per l'alveo principale;
- n pari a 0.06 s m<sup>-1/3</sup> fuori dall'alveo principale

### 7.3.3 Sintesi dei risultati

Il corso d'acqua in oggetto non presenta criticità idrauliche né per tempi di ritorno pari a 200 anni né pari a 30 anni. Come si può vedere dalle figure seguenti, l'attraversamento della Strada Provinciale risulta sufficiente a smaltire le portate duecentennali e trentennali, con oltre 1 metro di sicurezza. A valle, i volumi divaganti, dovuti alla non sufficiente sezione idraulica e soprattutto alle portate di piena del T.Arbia interessano aree in destra idraulica del corso d'acqua ad esclusivo uso agricolo.

Non sono quindi da segnalare particolari criticità per il Fosso in oggetto per il tratto studiato, fino alla sua confluenza con Torrente Arbia, ad Ovest.

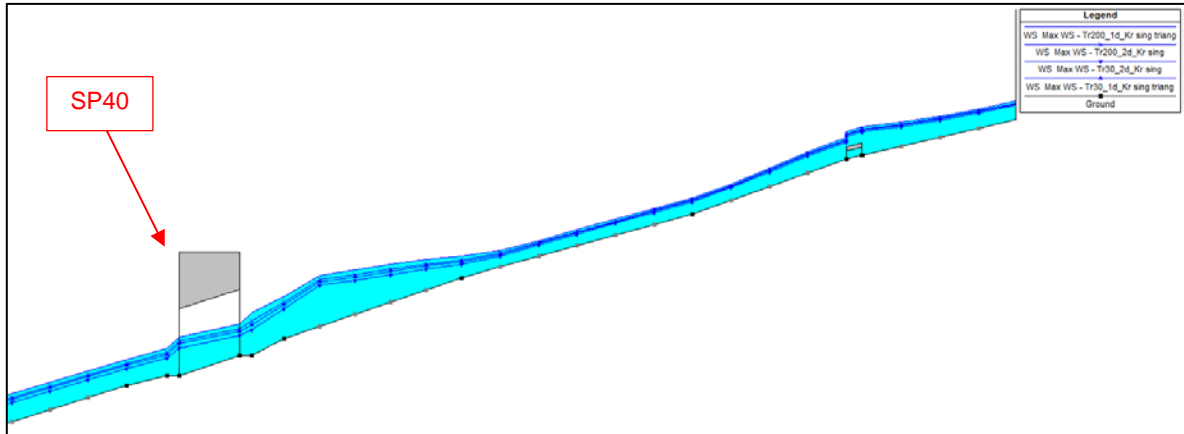


Figura 7.12 Estratto Hec Ras – profili per Tr200anni e Tr30anni

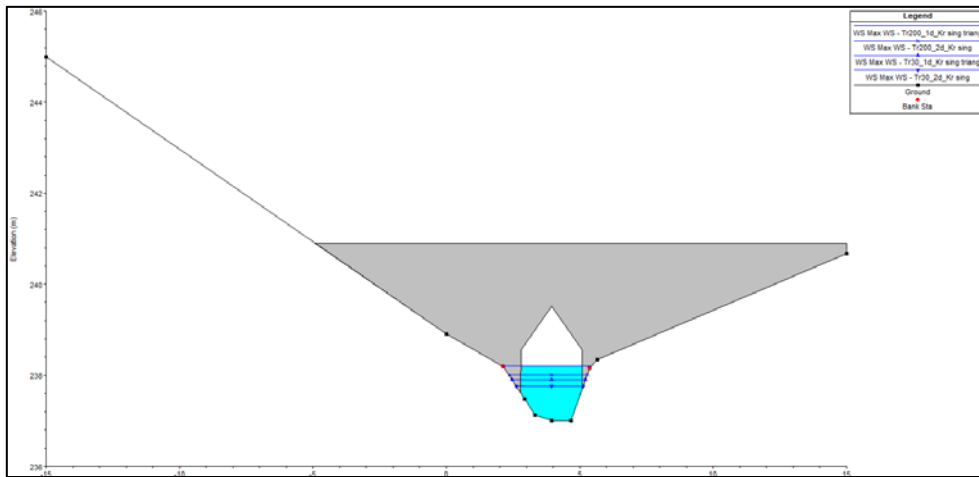
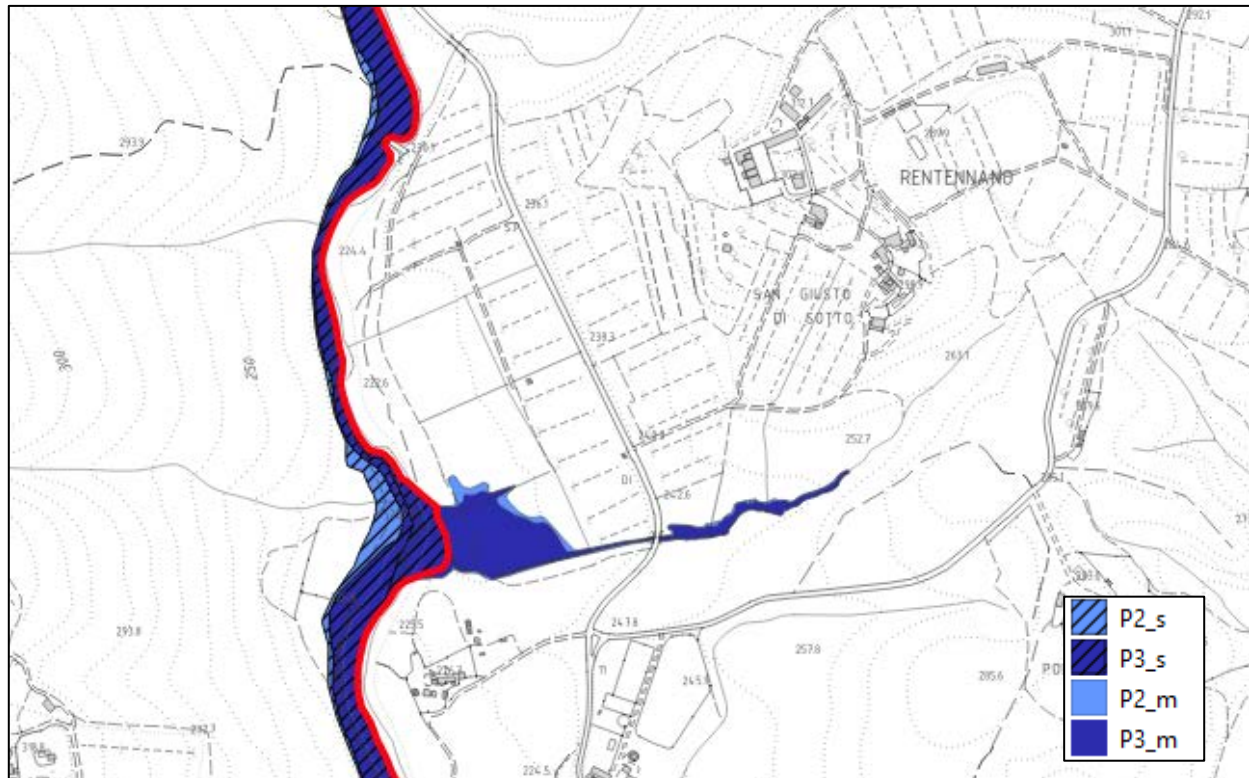


Figura 7.13 Estratto Hec Ras – sez 68 sul ponte della SP408 per Tr200anni e Tr30anni



**Figura 7.14** Aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello "TS2834"



**Figura 7.15** Aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello "TS2834"

## 7.4 MODELLO “GAIOLE ABITATO ULTIMO”

### 7.4.1 Inquadramento generale

Il modello comprende:

- il Torrente Massellone, nel tratto che va da monte dell’abitato di Gaiole in Chianti fino alla confluenza con il Fosso della Nunziatina, nei pressi del toponimo “Il Prato”;
- Il Fosso Grande, per il tratto compreso fra il toponimo “Mulino di Barbischio” fino alla confluenza con il T. Massellone;
- Fosso il Piano, nel tratto posto più a monte del toponimo di “Il Piano” fino alla confluenza con il F. Grande;
- TS551, studiato dal toponimo “Cavarchino” fino alla confluenza con il T. Massellone in destra idraulica,
- Fosso delle Corti, affluente di destra del T. Massellone, posto a nord dell’abitato di Gaiole in Chianti,
- TS418, affluente di sinistra del T. Massellone, posto a nord dell’abitato di Gaiole in Chianti.

Le aste studiate interessano il centro abitato di Gaiole in Chianti, i due corsi d’acqua principali sono il T. Massellone, con direttrice Nord-Sud e il Fosso Grande, con direttrice Est-Ovest.

Il Torrente Massellone, nel tratto modellato, attraversa l’abitato di Gaiole in Chianti, dove presenta sezioni geometricamente definite da sponde verticali per la presenza di muri.

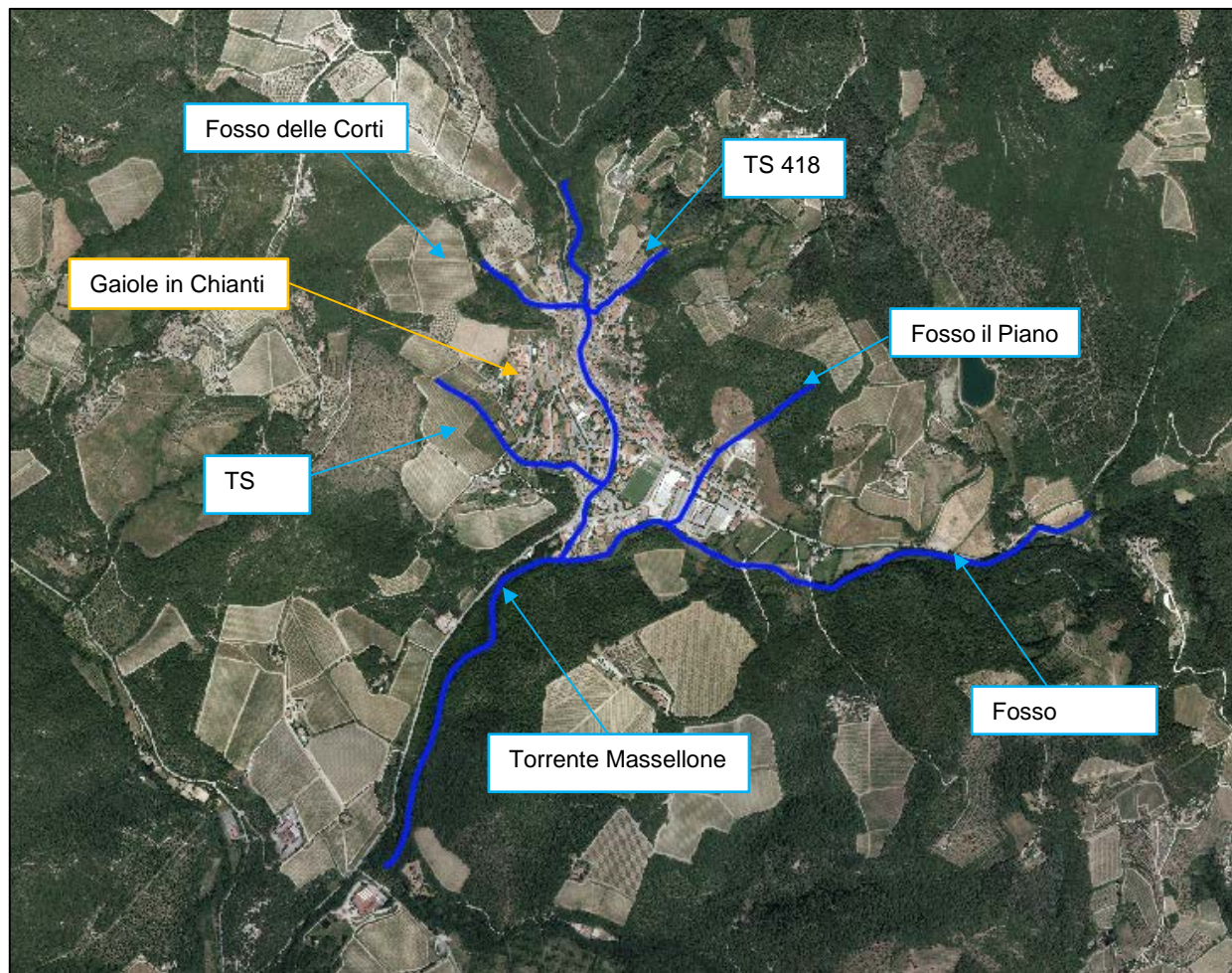
Al di fuori del centro abitato il corso d’acqua scorre in maniera naturale; a monte e a valle dell’abitato, il torrente scorre in zone prevalentemente boscate.

A valle del ponte sul T. Massellone in Via Roma si ha la l’immissione di due affluenti, in destra idraulica si trova il Fosso delle Corti e in sinistra il fosso denominato TS418.

Il Fosso delle Corti nel tratto posto a monte dell’attraversamento posto in via Giacomo Puccini, attraversa zone prevalentemente agricole, a valle di quest’ultimo il corso d’acqua assume una sezione rettangolare definita dalla presenza delle abitazioni poste lungo il fosso.

Il corso d’acqua denominato TS418 si sviluppa per quasi tutta la sua lunghezza in zone prevalentemente agricole, solo nel tratto finale costeggia alcuni edifici residenziali. Poco prima di confluire con il T. Massellone sono presenti due tratti tombati ravvicinati.

Il corso d’acqua denominato TS551 si sviluppa secondo la direttrice Ovest-Est fino a confluire con il T. Massellone in destra idraulica circa 150 metri più a monte dell’attraversamento posto in Via Michelangelo Buonarroti. A valle dell’attraversamento posto lungo la S.C. Via Spaltenna sono presenti due tratti tombati.



**Figura 7.16** Inquadramento geografico del Modello “Gaiole Abitato Ultimo” (scala 1:20.000)

Il Fosso Grande è uno dei principali affluenti del T. Massellone, con il quale confluisce poco più a valle del paese di Gaiole in Chianti. Lungo il suo sviluppo il Fosso Grande attraversa inizialmente zone agricole e nel tratto finale costeggia la zona industriale di Gaiole in Chianti.

Il Fosso il Piano è un affluente posto in destra idraulica del Fosso Grande. Il corso d’acqua per un tratto iniziale scorre a cielo aperto in aree verdi fino a raggiungere la zona industriale del centro abitato, da questo punto in poi scorre per mezzo di un tombamento fino alla sua confluenza con il Fosso Grande.

#### 7.4.2 Modello implementato su HEC-RAS

La modellazione idraulica, finalizzata alla definizione delle condizioni di pericolosità idraulica nel centro abitato di Gaiole in Chianti è realizzata con il software HEC-RAS 6.3.1 in cui le aste fluviali sono modellate come elementi river monodimensionali definiti per mezzo di *cross sections*, *inline structure*, *bridge* e *flow areas 2D* per la parte di modellazione bidimensionale. All’interno di queste



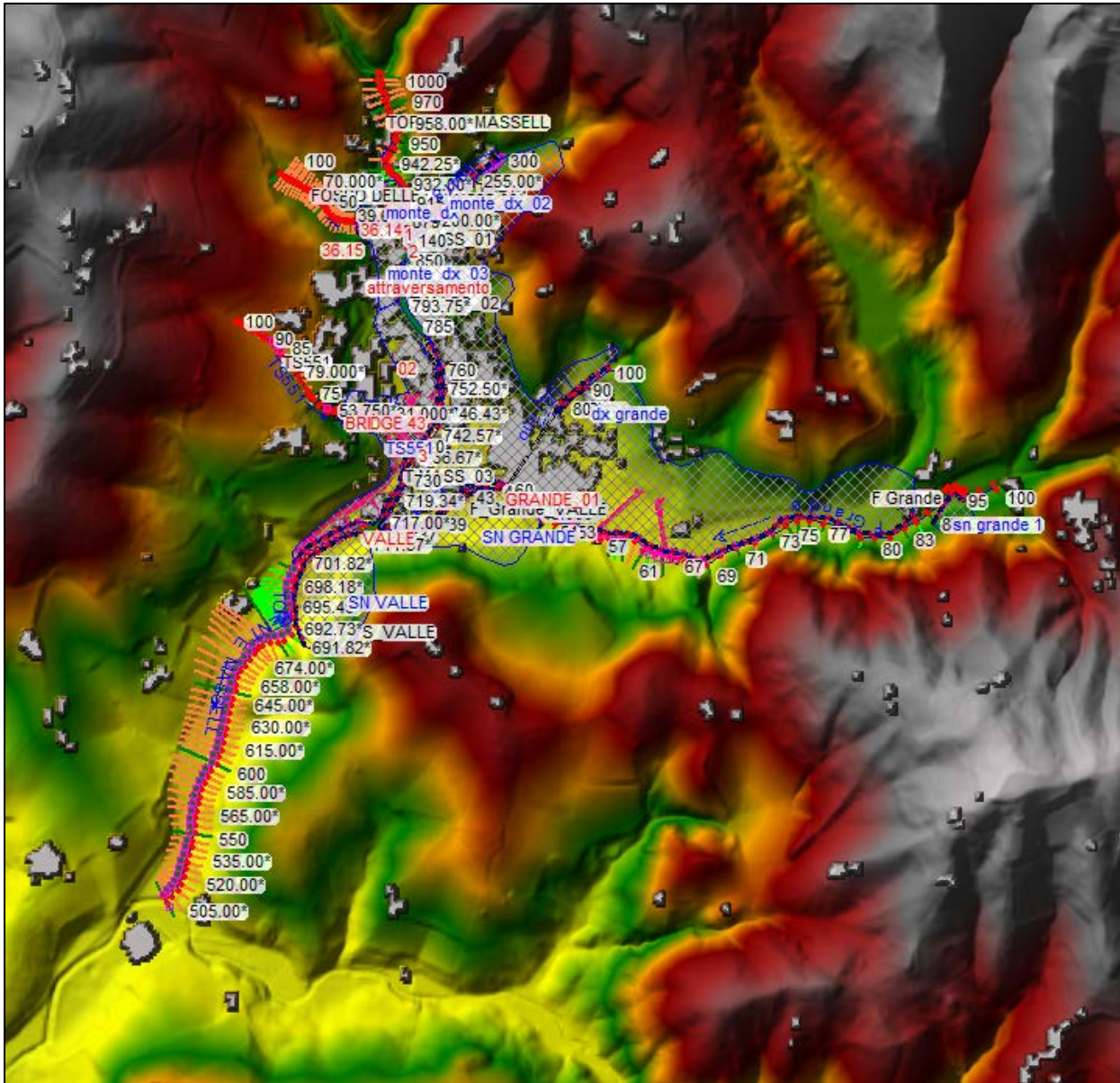


Figura 7.17 Modello idraulico “Gaiole Abitato Ultimo”

sono presenti *2D connection* per simulare la presenza di tratti tombati e permettere il deflusso naturale delle acque derivanti dai fenomeni esondativi modellati.

Nei tratti in cui la modellazione bidimensionale è stata necessaria, le sezioni rilevate sono state impiegate in modo che la modellazione 1D riguardi il solo *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d’acqua sono state modellate con gli elementi *flow area*, collegate all’alveo tramite degli sfioratori chiamati *lateral structures*.

È stato realizzato un unico modello idraulico, nel quale sono stati inseriti, come condizioni di monte, gli idrogrammi di piena, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, mentre come condizione di valle è stata utilizzata l’altezza di moto uniforme, *normal depth*.

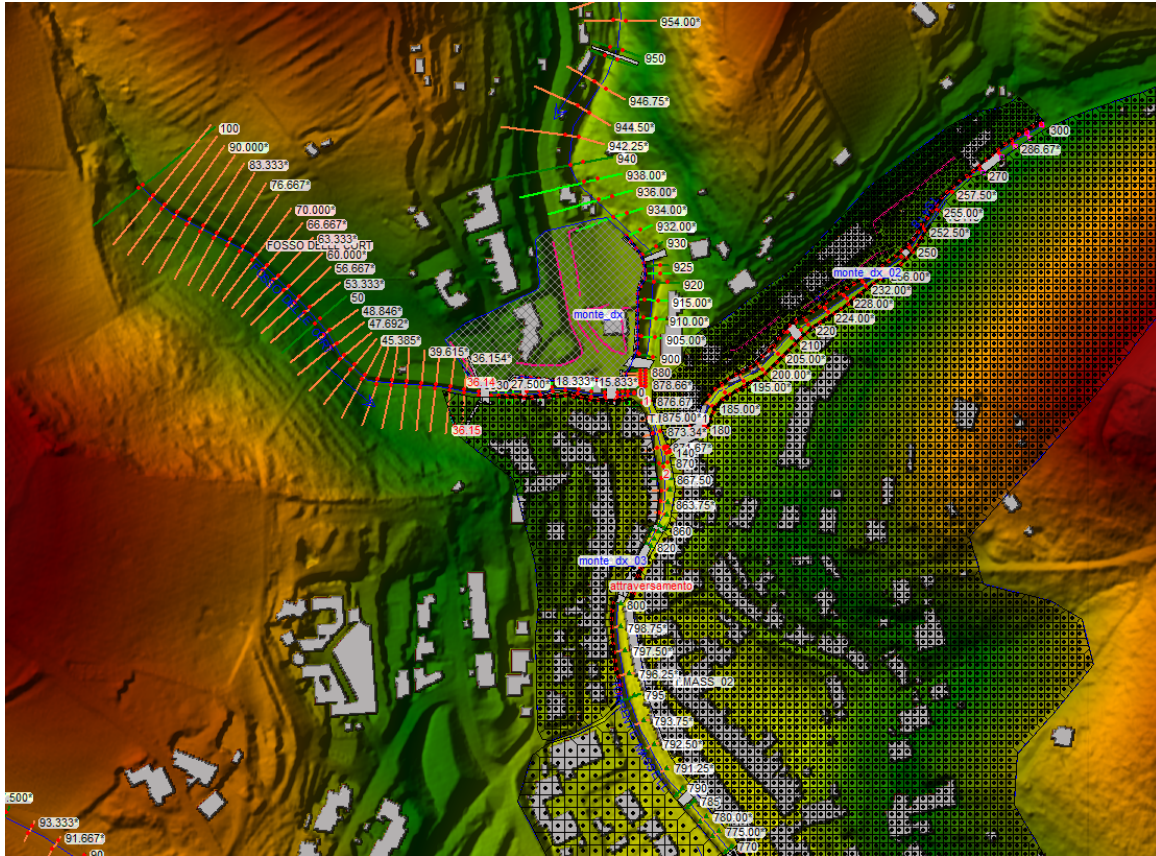


Figura 7.18 Modello idraulico “Gaiole Abitato Ultimo” – particolare zona di monte

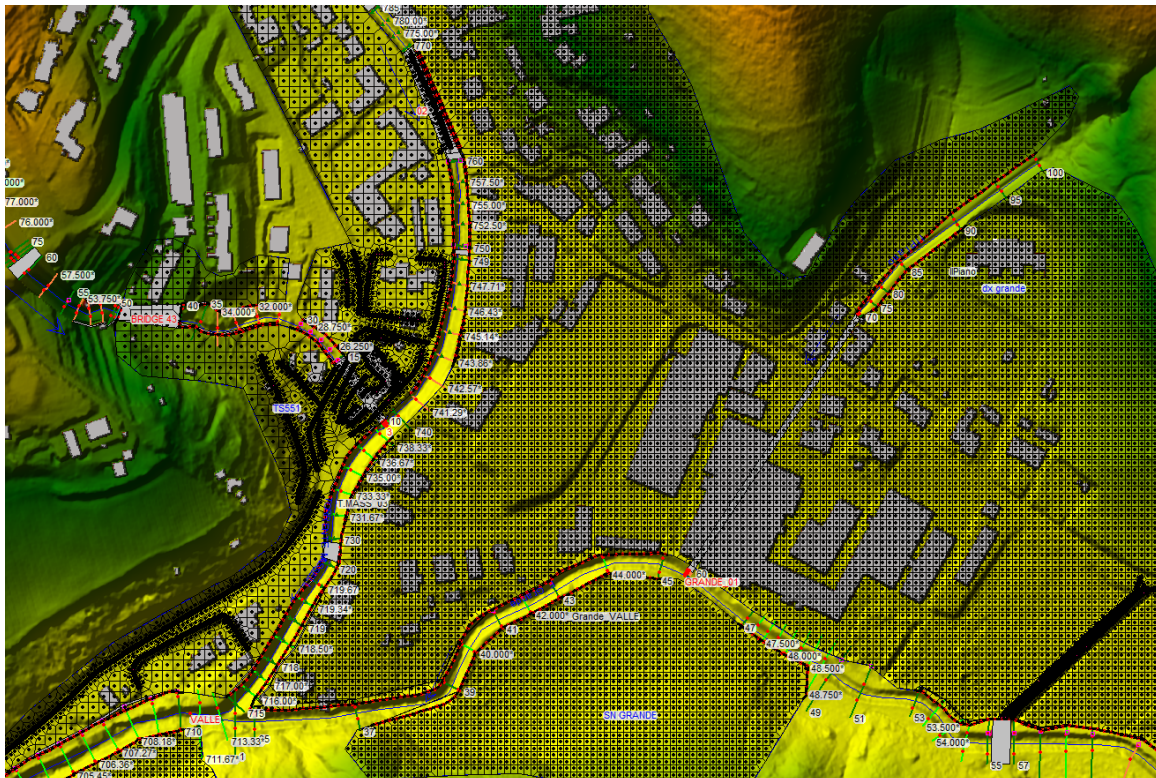


Figura 7.19 Modello idraulico “Gaiole Abitato Ultimo” – particolare zona di valle

Per le scabrezze del corso d'acqua sono stati assunti valori del coefficiente di Manning variabili per rappresentare al meglio lo stato attuale dei singoli tratti studiati, in funzione dei sopralluoghi effettuati e da dati reperibili in letteratura. Per ulteriori dettagli si rimanda agli allegati HEC-RAS.

#### 7.4.3 Sintesi dei risultati

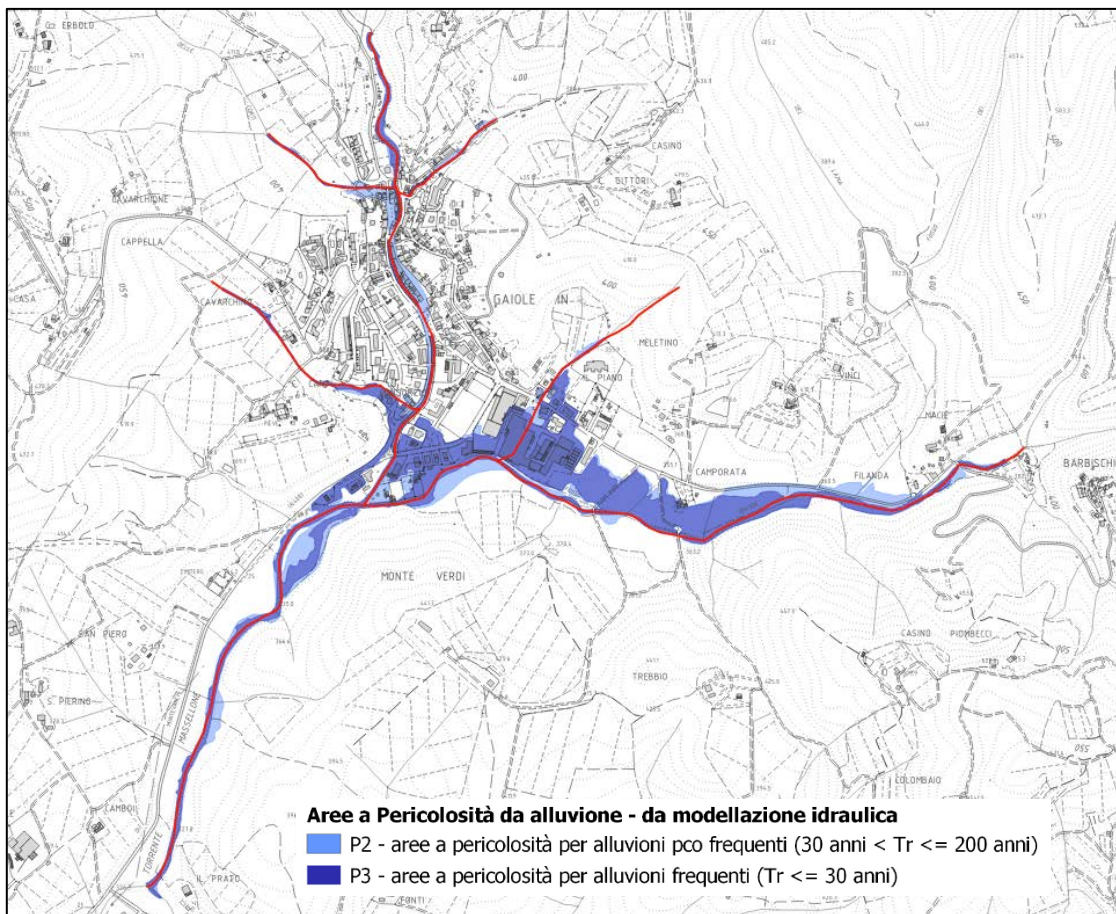
Il T. Massellone presenta delle criticità in zone esterne al centro abitato di Gaiole in Chianti, nello specifico nella parte di monte si hanno delle criticità sia per eventi con tempi di ritorno 30 e 200 anni nelle aree poste a in destra idraulica derivanti da fenomeni di rigurgito dovuti alla presenza di una briglia; nella parte a valle del centro abitato si hanno aree allagate che vanno ad interessare zone prevalentemente verdi/boscate. Nel tratto che attraversa il paese non si hanno particolari criticità, in quanto la sezione idraulica risulta sufficiente al transito dell'onda di piena (vedi Figura 7.21), le uniche criticità che si riscontrano è il rigurgito a monte degli attraversamenti, tale da provocarne il funzionamento in pressione. A tal proposito si ha il funzionamento in pressione o a franco minimo di alcuni attraversamenti e tratti tombati, nello specifico:

- del tratto tombato fra via Roma e la strada SP418, si veda Figura 7.22 dalla quale si vede che la differenza fra il punto più basso dell'intradosso e il pelo libero dell'acqua è di soli 6 cm (sezioni MAS\_102, MAS\_101).
- dell'attraversamento posto in corrispondenza delle sezioni MAS\_99 e MAS\_98, si veda Figura 7.25.
- dell'attraversamento posto in corrispondenza delle sezioni MAS\_92 e MAS\_91 lungo Via Michelangelo Buonarroti, si veda Figura 7.26.

Il corso d'acqua denominato TS418 presenta delle criticità per eventi con tempi di ritorno 200 anni dovuti all'insufficienza idraulica delle sezioni, il fenomeno esondativo interessa un edificio rurale nella parte di monte e zone verdi nel tratto posto più a valle (vedi Figura 7.21).

Il Fosso delle Corti presenta criticità idrauliche per eventi con tempi di ritorno 200 anni, imputabili al rigurgito provocato dai primi due attraversamenti posti lungo il corso d'acqua, si veda Figura 7.23. I volumi di acqua esondati vanno ad interessare modeste aree del centro abitato di Gaiole in Chianti (si vedano Figura 7.21e Figura 7.24).

Nello specifico l'allagamento si propaga verso sud fino al punto in cui riconfluisce con il T. Massellone nei pressi dell'attraversamento posto in via Michelangelo Buonarroti, unendosi con le aree allagate derivanti dal corso d'acqua denominato TS551. La dinamica di alluvione pone in pericolosità idraulica la strada SP408 di Montevarchi e gli edifici ad essa adiacenti, fino all'incrocio con Via Roma; prosegue verso sud interessando gli edifici e via Bettino Ricasoli fino alla piazza Bettino Ricasoli, dalla quale continua verso sud lungo la strada SP408 di Montevarchi.

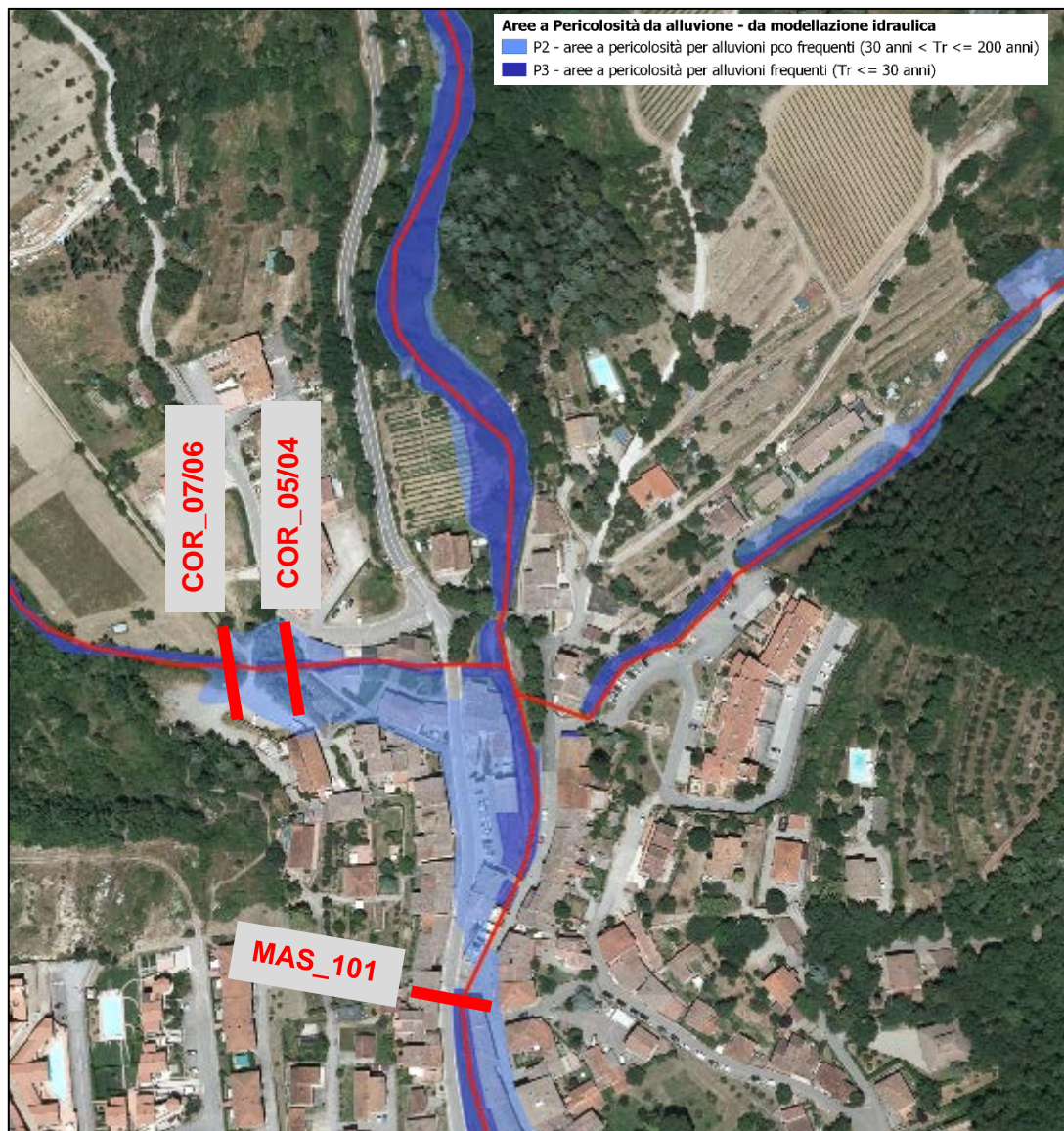


**Figura 7.20** Aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello “Gaiole Abitato Ultimo”

Il corso d’acqua denominato TS551 presenta criticità sia per eventi con tempo di ritorno 30 anni che per eventi con tempo di ritorno 200 anni, imputabili all’effetto di rigurgito provocato dalla presenza di due tratti tombati posti in prossimità della confluenza con il T. Massellone, si vedano Figura 7.27 e Figura 7.28. I fenomeni esondativi vanno ad interessare gli edifici posti in prossimità dei due tratti tombati e la viabilità SP408 di Montevarchi (vedi Figura 7.24).

I volumi esondati rientrano nel T. Massellone solo dopo aver superato la discontinuità del muro posta in destra di quest’ultimo, poco più a monte del ponte posto lungo via Michelangelo Buonarroti.

Nel tratto di monte del Borro Grande le aree allagate vanno ad interessare zone prevalentemente verdi/agricole. Si segnala la principale criticità del territorio, determinata da vaste porzioni di aree allagate conseguenti all’insufficienza idraulica dell’asta fluviale nel tratto compreso dalla Filanda fino al primo attraversamento a monte dell’abitato di Gaiole. In Figura 7.29 sono individuate con frecce celesti i punti di esondazione del corso d’acqua; l’onda di piena si propaga poi fino alla confluenza con il T. Massellone interessando l’area industriale di Gaiole in Chianti.



**Figura 7.21** Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello “Gaiole Abitato Ultimo” – particolare abitato Gaiole in Chianti Nord

Parte dei fenomeni esondativi lungo il Fosso Grande sono imputabili agli effetti di rigurgito provocati dalla presenza del primo attraversamento lungo il corso d’acqua, sia per eventi con tempi di ritorno con tempo di ritorno 30 anni che 200 anni, come si vede in Figura 7.30.

Come risulta evidente, i fenomeni esondativi del Borro Grande sono concentrati nella porzione a monte degli interventi realizzati negli anni 2010-2015 del progetto esecutivo “Intervento di messa in sicurezza idraulica Borro Grande a Difesa dell’Abitato – Stralcio Funzionale Lotto n.53”. Tali interventi hanno infatti il merito di contenere le piene per Tr30 e Tr 200 anni nel tratto oggetto della progettazione, risultando quindi efficaci, come si vede in Figura 7.31.

Risulta tuttavia evidente la necessità di un successivo stralcio di opere che prosegua quelle realizzate e previste nel progetto esecutivo “Intervento di messa in sicurezza idraulica Borro Grande a Difesa

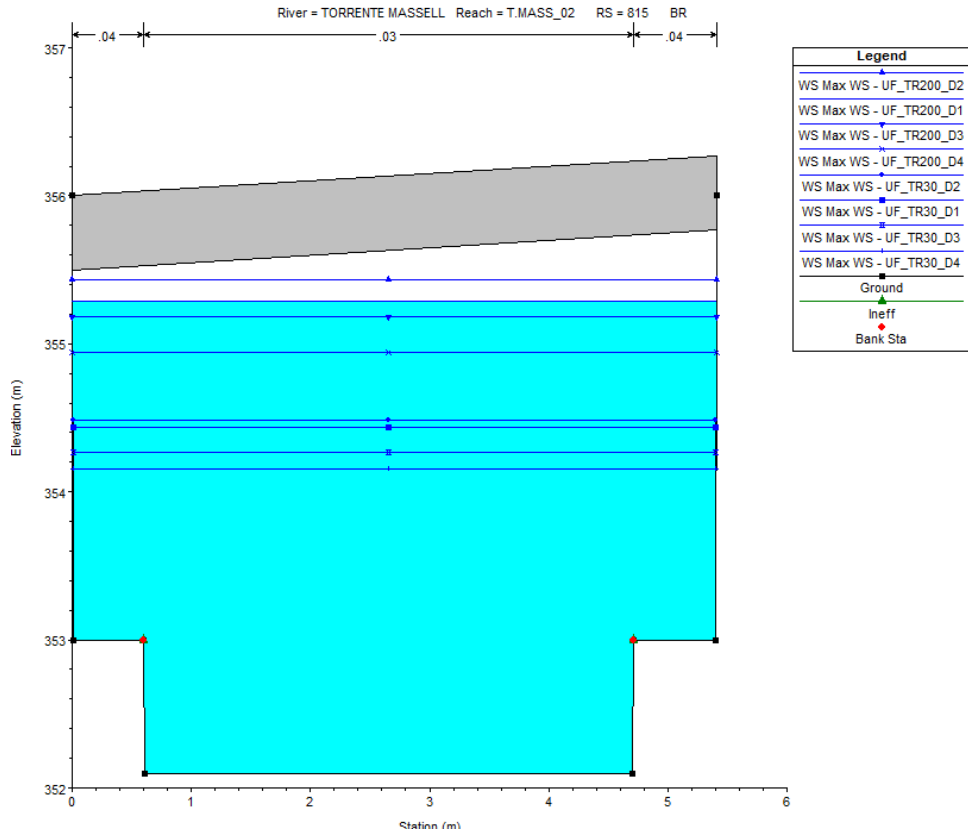


Figura 7.22 Tratto tombato tra via Roma e la strada SP418 sul Torrente Massellone (Sezione MAS\_101)

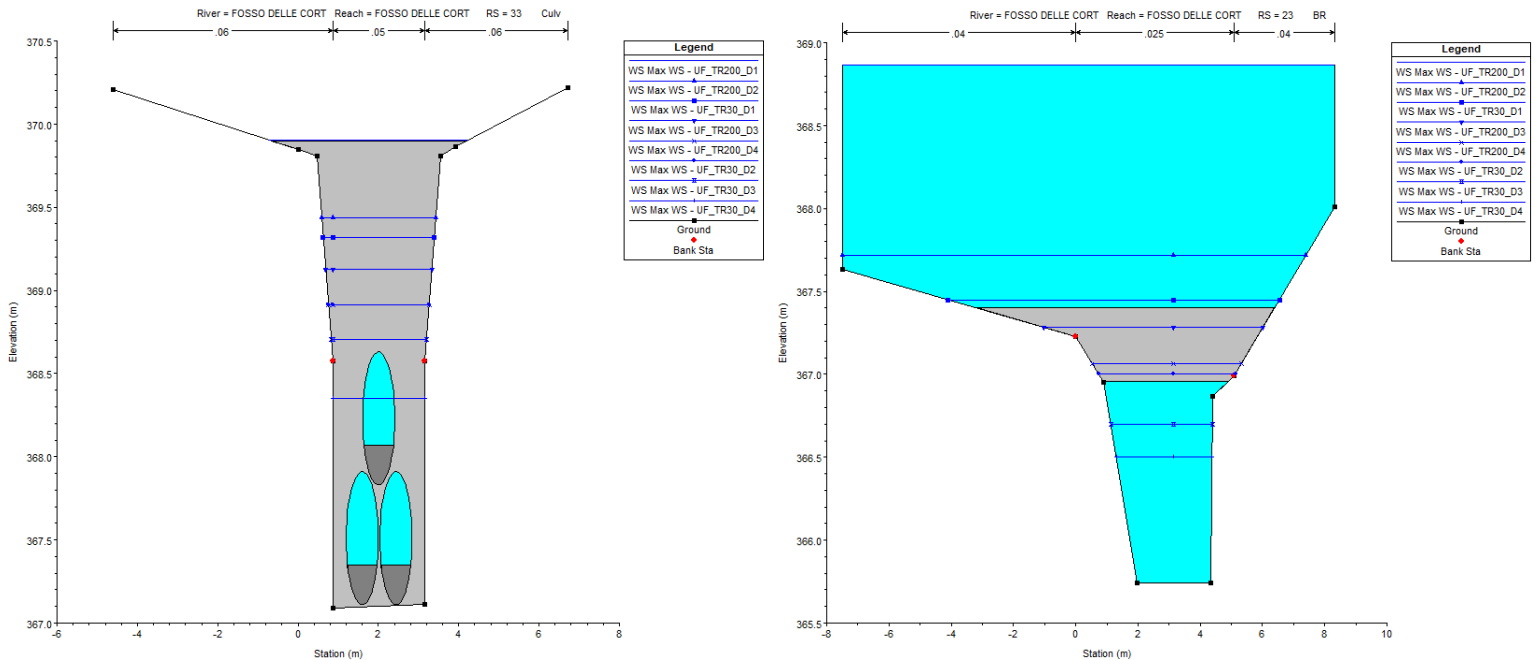


Figura 7.23 Attraversamenti sul Fosso delle Corti, a sinistra il primo attraversamento (COR\_07/COR\_06) a destra il secondo (COR\_05/COR\_04)



Figura 7.24 Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello “Gaiole Abitato Ultimo” – particolare abitato Gaiole in Chianti Sud

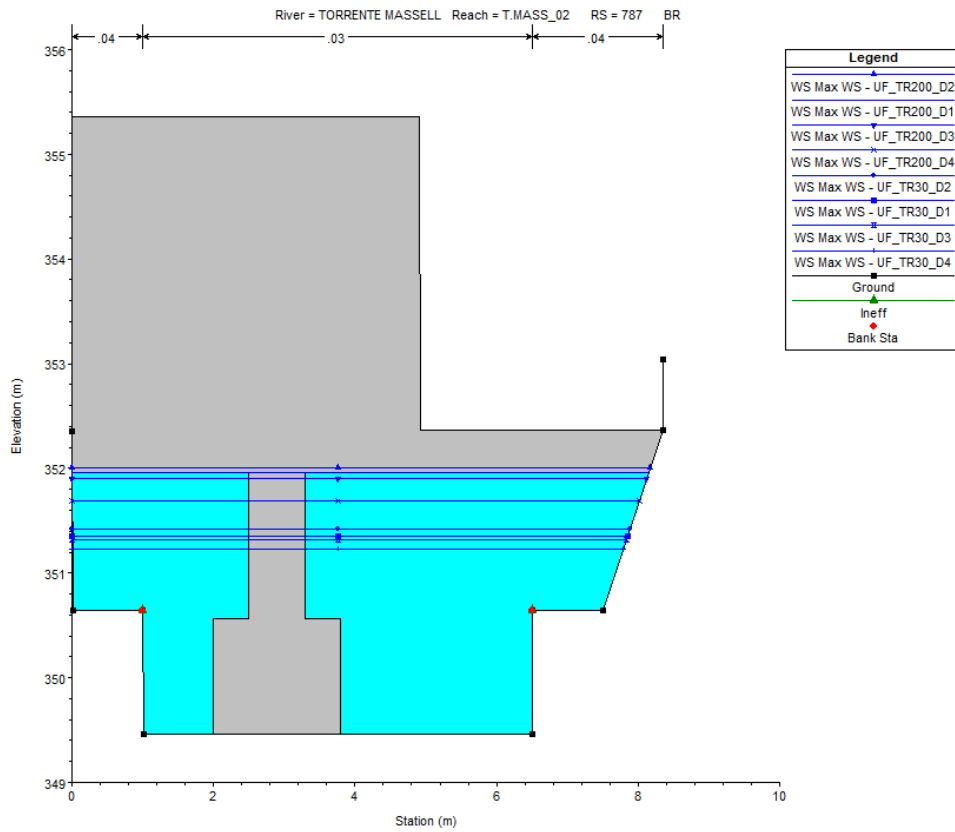


Figura 7.25 Attraversamento sul T. Massellone in corrispondenza delle sezioni MAS\_99 e MAS\_98

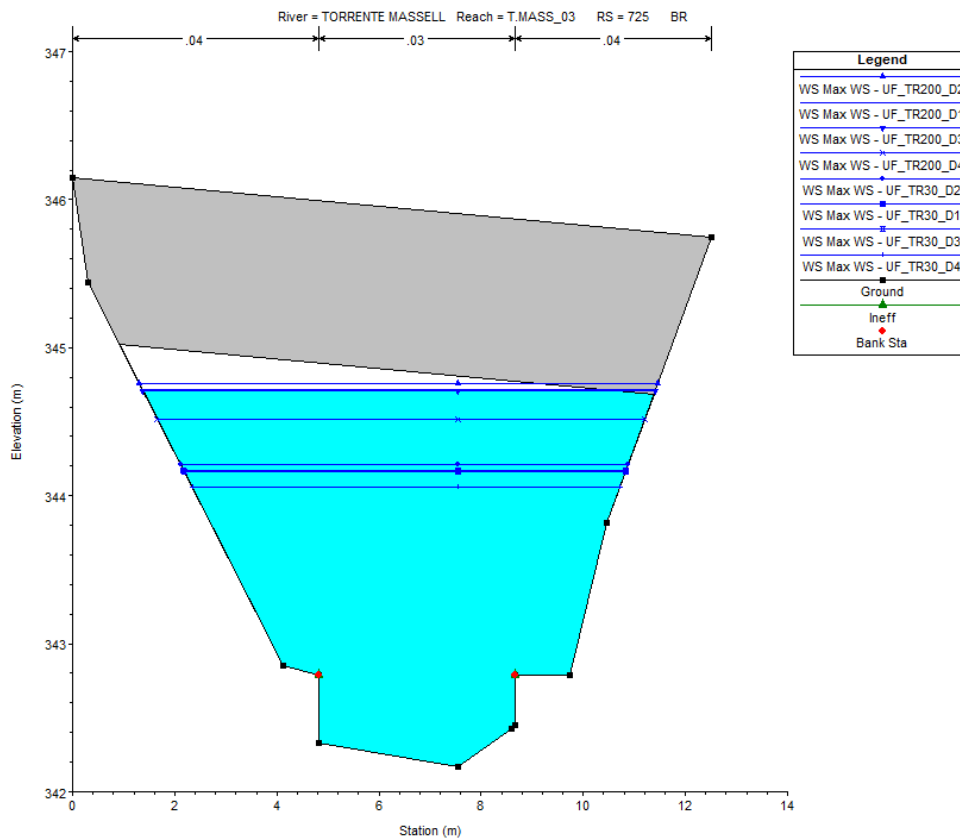


Figura 7.26 Attraversamento sul T. Massellone in corrispondenza delle sezioni MAS\_92 e MAS\_91



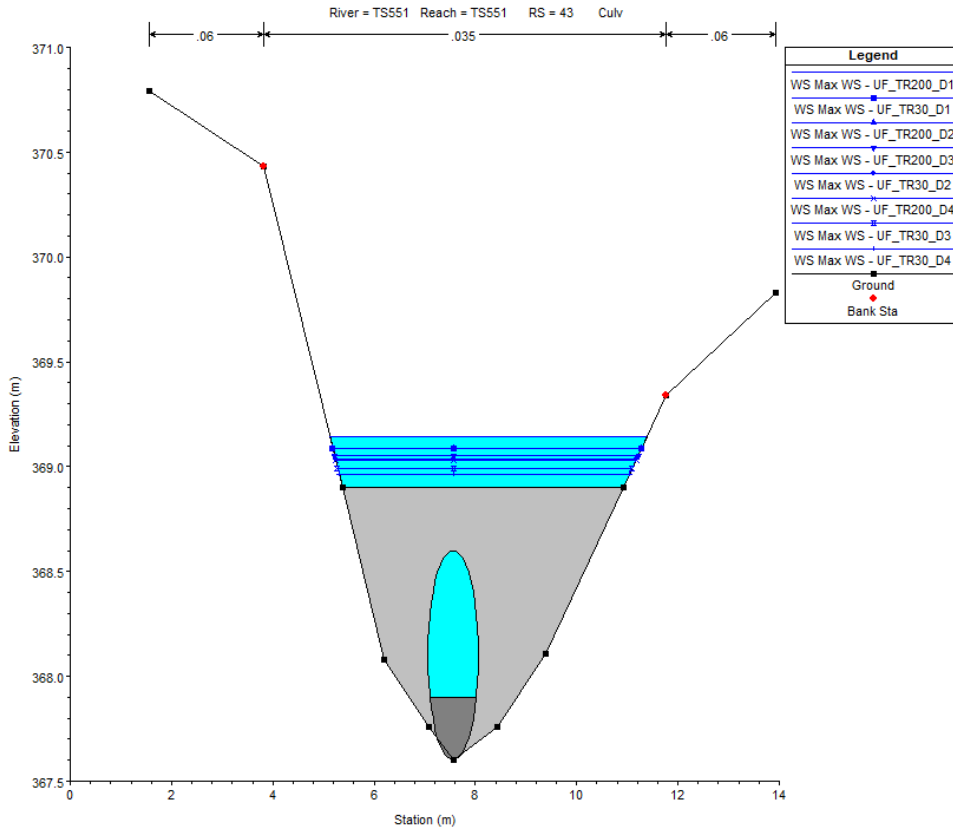


Figura 7.27 Tratto tombato sul corso d'acqua TS551 in corrispondenza della sezione CAV\_07

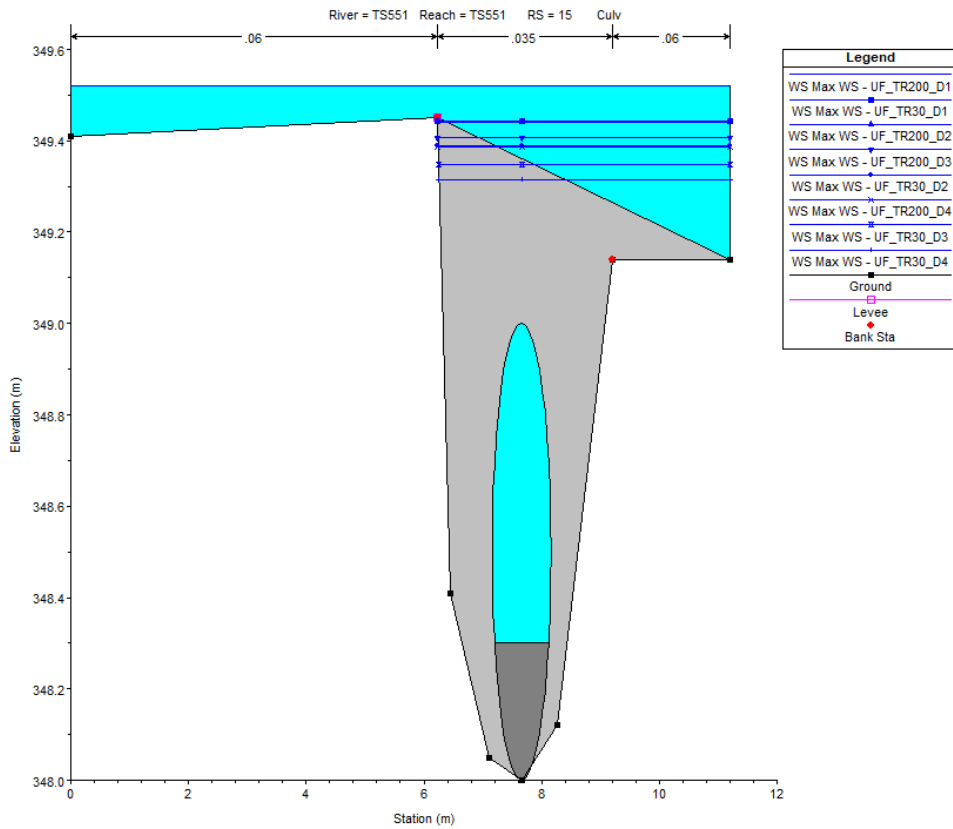


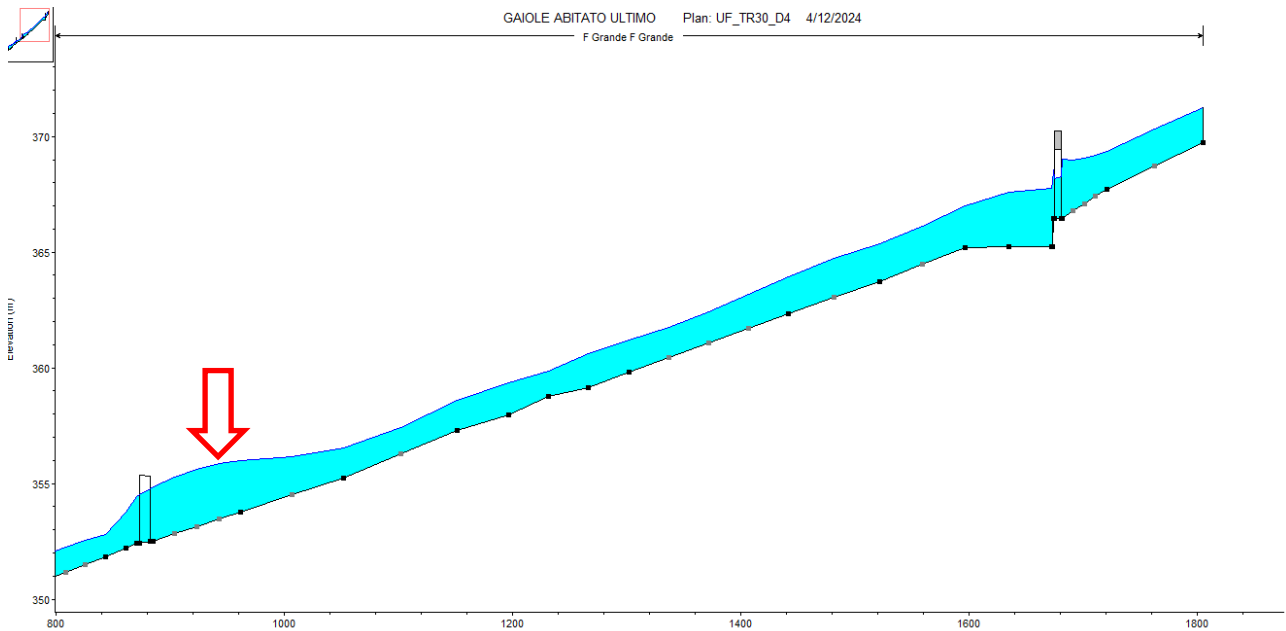
Figura 7.28 Tratto tombato sul corso d'acqua TS551 in corrispondenza della sezione CAV\_03



**Aree a Pericolosità da alluvione - da modellazione idraulica**

- P2 - aree a pericolosità per alluvioni pco frequenti (30 anni < Tr <= 200 anni)
- P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti (Tr <= 30 anni)

**Figura 7.29** Particolare delle aree a pericolosità da alluvione per Tr200anni e Tr30anni per il modello “Gaiole Abitato Ultimo” – particolare abitato Gaiole in Chianti Est



**Figura 7.30** Vista del rigurgito del ponte sulla strada vicinale a monte degli interventi eseguiti nel 2010 sul F. Grande

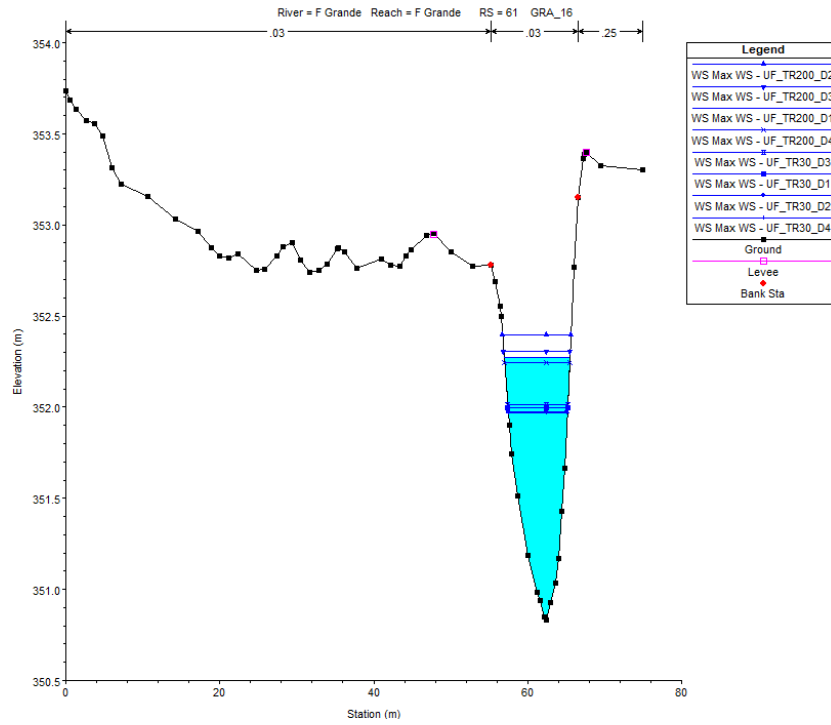


Figura 7.31 Sezione tipo nel tratto di realizzazione degli interventi di messa in sicurezza sul Fosso il Grande, Sezione GRA\_16

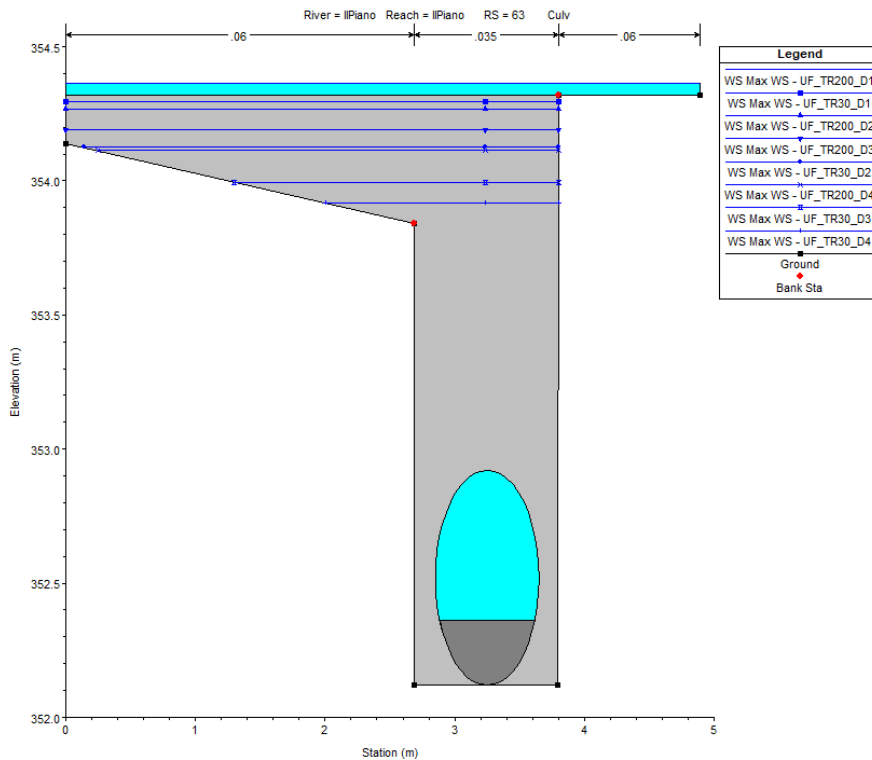


Figura 7.32 Tratto tombato sul Fosso il Piano, Sezione PIA\_03

dell'Abitato – Stralcio Funzionale Lotto n.53” al fine della messa in sicurezza dell'area industriale di Gaiole in Chianti.

Il Fosso Piano presenta criticità sia per eventi con tempo di ritorno 30 anni che 200 anni imputabili alla presenza del tratto tombato, il quale genera effetto di rigurgito, si veda Figura 7.32. I volumi esondati vanno ad unirsi con quelli derivanti dal Fosso Grande, andando ad occupare una vasta area della zona industriale (vedi Figura 7.29).

## 8 MAPPE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ D'ALLUZIONE

Le perimetrazioni delle aree a pericolosità d'alluvione sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni precedentemente descritte, nel seguente modo (art. 2 LR 41/2018):

- Aree a pericolosità d'alluvione frequente (per  $Tr \leq 30$  anni) – P3;
- Aree a pericolosità d'alluvione poco frequente ( $30 < Tr \leq 200$  anni) – P2;
- Aree a pericolosità d'alluvione rara o di estrema intensità ( $200 < Tr \leq 500$  anni) – P1;

Le perimetrazioni delle classi di pericolosità P2 e P3 sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche per le durate critiche individuate e disegnate sul dettaglio della CTR in scala 1:10.000 e in scala 1:5.000. Le mappe di pericolosità, battente, velocità e magnitudo sono state restituite in scala 1:5.000 su Cartografia Tecnica Comunale.

Per la definizione delle aree a pericolosità d'alluvione rara, si è mantenuto in generale la P1 di PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, salvo gli aggiustamenti e le modifiche conseguenti all'esito delle nuove modellazioni. Laddove lo strato informativo del PGRA era assente la pericolosità idraulica P1 è definita su base morfologica.

Per la definizione delle aree allagate derivanti da modellazione idraulica è stato realizzato un inviluppo del perimetro massimo di allagamento con taglio del battente a 3 cm (ad esclusione delle zone di transito). L'inviluppo ha riguardato tutte le durate di pioggia per ogni tempo di ritorno considerato.

## 9 MAPPE DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLA MAGNITUDO IDRAULICA

Al fine di implementare le mappe di pericolosità da alluvione e rischio alluvione, comprensive di battenti e velocità necessari per l'applicazione della L.R. 41/2018, nel rispetto del Regolamento 1/R/2020 della Toscana, sono redatte le carte dei battenti e quella delle velocità della corrente sulla base dei risultati raster messi a disposizione dai software di calcolo HEC-RAS 6.3.1.

Secondo le definizioni dell'Art.2 della L.R. 41/2018 è definito "battente" l'altezza della lama d'acqua in una determinata area associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti.

Si definisce "magnitudo idraulica": la combinazione del battente e della velocità della corrente in una determinata area, associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti:

- **magnitudo idraulica moderata:** valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
- **magnitudo idraulica severa:** valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;
- **magnitudo idraulica molto severa:** battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 1 metro. nei casi in cui la velocità non sia determinata a battente superiore a 0,5 metri;

Le modellazioni bidimensionali eseguite HEC-RAS 6.3.1 hanno permesso di definire la magnitudo idraulica sulla base dei valori dei battenti e delle velocità ricavata dall'esecuzione del codice di calcolo e restituiti in formato raster su cartografia.

I raster dei battenti idraulici e delle velocità relativi alle aree a pericolosità da alluvione poco frequente, sono stati realizzati mediante involucro dei valori massimi per tutte le durate di pioggia considerate.

Il raster della magnitudo idraulica è stato realizzato combinando il raster dei battenti idraulici massimi con il raster della velocità massime.

## 10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per la realizzazione degli studi idraulici finalizzati all'implementazione delle mappe di pericolosità da alluvione e rischio di alluvioni, comprensive di carte dei battenti, velocità e magnitudo idraulica, si sono svolte le seguenti attività:

- attività sul campo, consistenti in sopralluoghi delle aree oggetto dello studio;
- modellazione idrologica, con metodo SCS-CN per il calcolo delle perdite idrologiche e lo IUH-SCS per la modellazione afflussi/deflussi.
- modellazione idraulica 1D e 2D con HEC-RAS 6.3.1;
- redazione degli elaborati grafici delle mappe di pericolosità, battenti, velocità e magnitudo.

La definizione delle aree a pericolosità d'alluvione deriva da valutazioni ed elaborazioni sviluppate tramite modelli informatici basati su dati, conoscenze e parametri vigenti allo stato attuale.

Qualsiasi modifica di tali condizioni, su cui sono state elaborate le valutazioni di carattere idrologico idraulico, pregiudicano la validità di quanto esposto e potrebbero rendere necessaria una rivalutazione del quadro conoscitivo.

Occorre osservare che i risultati del presente studio sono vincolati al mantenimento delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico; eventuali modifiche di tali assetti impongono la necessità di una revisione dei presenti risultati.

Inoltre, si ritiene doveroso osservare che tali risultati dovranno essere aggiornati anche in conseguenza di una possibile futura espansione edilizia, dell'eventuale approvazione di varianti allo Strumento Urbanistico Generale, delle variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali e artificiali interferenti con le aree investigate. Non sono inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali (argini, ponti...).

Arezzo, Aprile 2024

### **I professionisti incaricati**

Geol. Massimiliano Rossi

Geol. Fabio Poggi

Ing. Mirko Frascioni

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Matteo Frascioni

Collaboratori:

Ing. Elisa Baldini