



## **Comune di TAVARNELLE VAL DI PESA**

Piazza Giacomo Matteotti, 39  
50028 Tavarnelle Val di Pesa FI

# **Studio idrologico idraulico di supporto al Piano Operativo**

Tavarnelle Val di Pesa, Febbraio 2018

Responsabile del Servizio

Ing. Simone Dallai

I professionisti incaricati

Geol. Massimiliano Rossi

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Gregorio Bartolucci

Ing. Mirko Frasconi



**ProGeo Associati**

via Don Luigi Sturzo, 43/A Arezzo IT

tel +39 0575 324114 fax +39 0575 406473

e-mail: [progeo@technet.it](mailto:progeo@technet.it) P.IVA 01518320518

## INDICE

1	PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL' AREA .....	5
3	DEFINIZIONE DEL RETICOLO DI STUDIO .....	8
4	RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	11
5	ANALISI IDROLOGICA .....	15
5.1	Il modello AlTo.....	15
5.2	Aggiornamento delle aree dei bacini idrografici.....	19
5.3	Aggiornamento delle LSPP.....	20
5.4	Aggiornamento dei valori di Ia e Ks .....	24
5.5	Parametri in ingresso per AlTo e risultati .....	29
6	ANALISI IDRAULICA .....	33
6.1	Modelli HEC-RAS.....	33
6.1.1	Modello Pesa .....	34
6.1.2	Modello Pesa Affluenti .....	36
6.1.3	Modelli degli affluenti .....	45
6.2	Modello FLO-2D.....	45
6.2.1	Modello Pesa .....	45
6.2.2	Modello Borro Inferno .....	49
7	PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE .....	54
8	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	55

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	2 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente studio idrologico ed idraulico è redatto su incarico del Comune di Tavarnelle Val di Pesa a supporto della redazione del Piano Operativo.

Le indicazioni circa la propensione all'allagabilità del territorio comunale saranno fornite considerando tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni in relazione all'individuazione delle seguenti classi di pericolosità da alluvione, così come indicate nella in relazione a quanto previsto dal DPGR 25.11.2011 n. 53/R "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche" per l'individuazione delle classi di pericolosità idraulica.

Al fine di definire le perimetrazioni delle aree allagabili per eventi con  $Tr \leq 30$  anni ed eventi con  $30 < Tr \leq 200$  anni sono state implementate le modellazioni idrologico-idrauliche monodimensionali e bidimensionali con i codice di calcolo HEC-RAS 4.1.0, HEC-RAS 5.0.3, FLO-2D.

La definizione del perimetro delle aree allagabili per eventi con  $200 < Tr \leq 500$  anni è stata effettuata su criteri morfologici-topografici.

Il presente studio, in accordo con le linee guida dettate dalla Regione Toscana per la redazione degli studi idraulici di supporto agli Strumenti Urbanistici, 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 (monodimensionale, bidimensionale, moto permanente o 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.

Lo studio idraulico finalizzato alla definizione delle condizioni di allagabilità è stato redatto tenendo conto dei corsi d'acqua riportati nel reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 101/2016.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	3 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

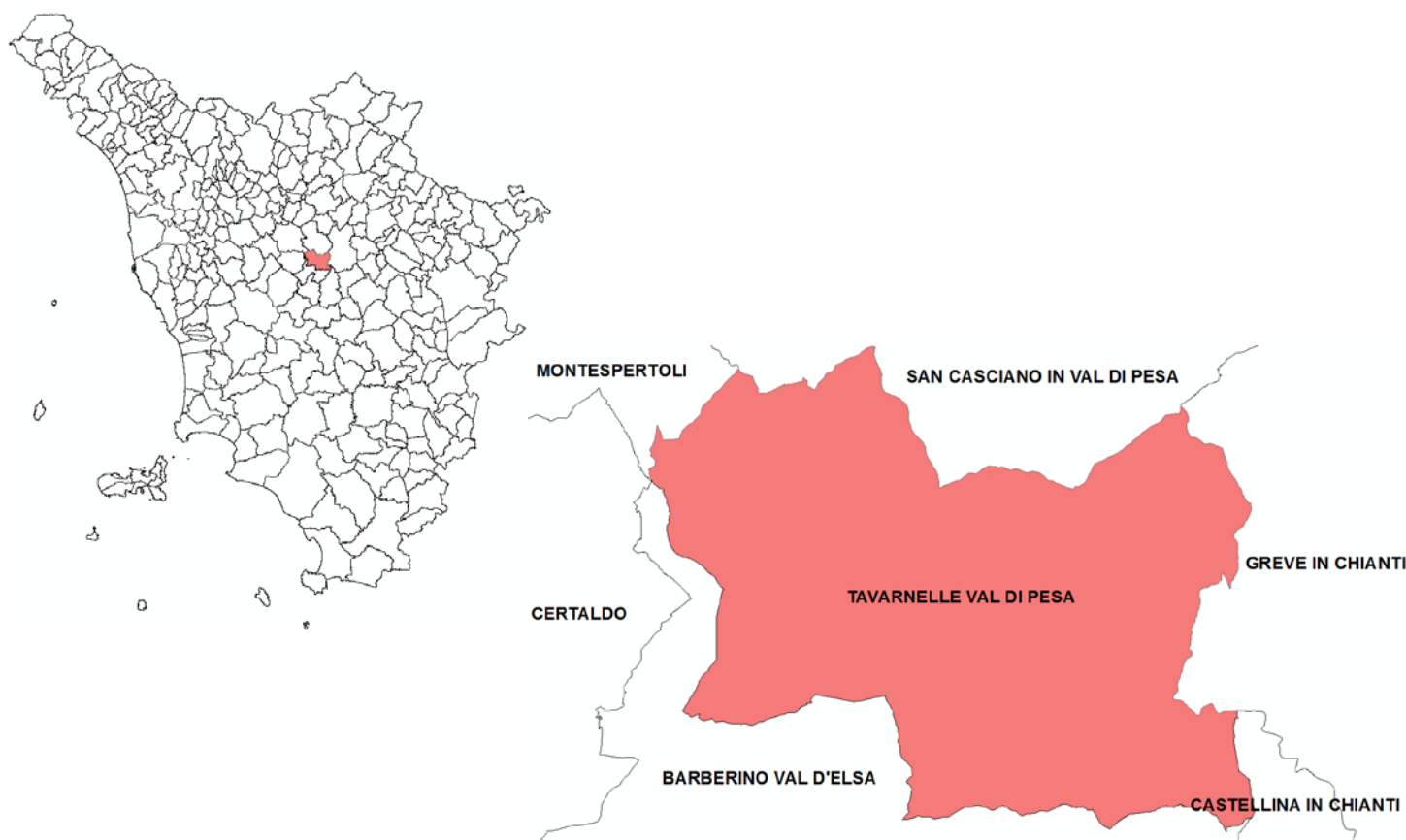
La proposta di modifica della cartografia di piano, e pertanto la proposta delle classi di pericolosità da alluvione, viene redatta per i seguenti corsi d'acqua principali, comprendendo nelle modellazioni idrauliche, come dettagliato nei paragrafi successivi, anche i tratti terminali dei principali affluenti:

- Torrente Pesa;
- Borro di Macereto;
- Borro di Ponetole;
- Rio presso Cimitero;
- Rio Panigliole;
- Borro di San Paolo;
- Rio presso Campo Sportivo;
- Borro delle Grotte;
- Borro Inferno;
- Borro dei Sodi;
- Borro di Poggio Petroio;
- Borro di Fabbrica;
- Rio di Capalle.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	4 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Il territorio comunale di Tavarnelle in Val di Pesa si estende nella parte centrale della Toscana, in Provincia di Firenze, e confina a Nord con il Comune di San Casciano in Val di Pesa (FI), ad Est con quello di Greve in Chianti (FI) e Castellina in Chianti (SI), a Sud con Barberino Val D'Elsa (FI) e ad Ovest con Certaldo (FI) e Montespertoli (FI).

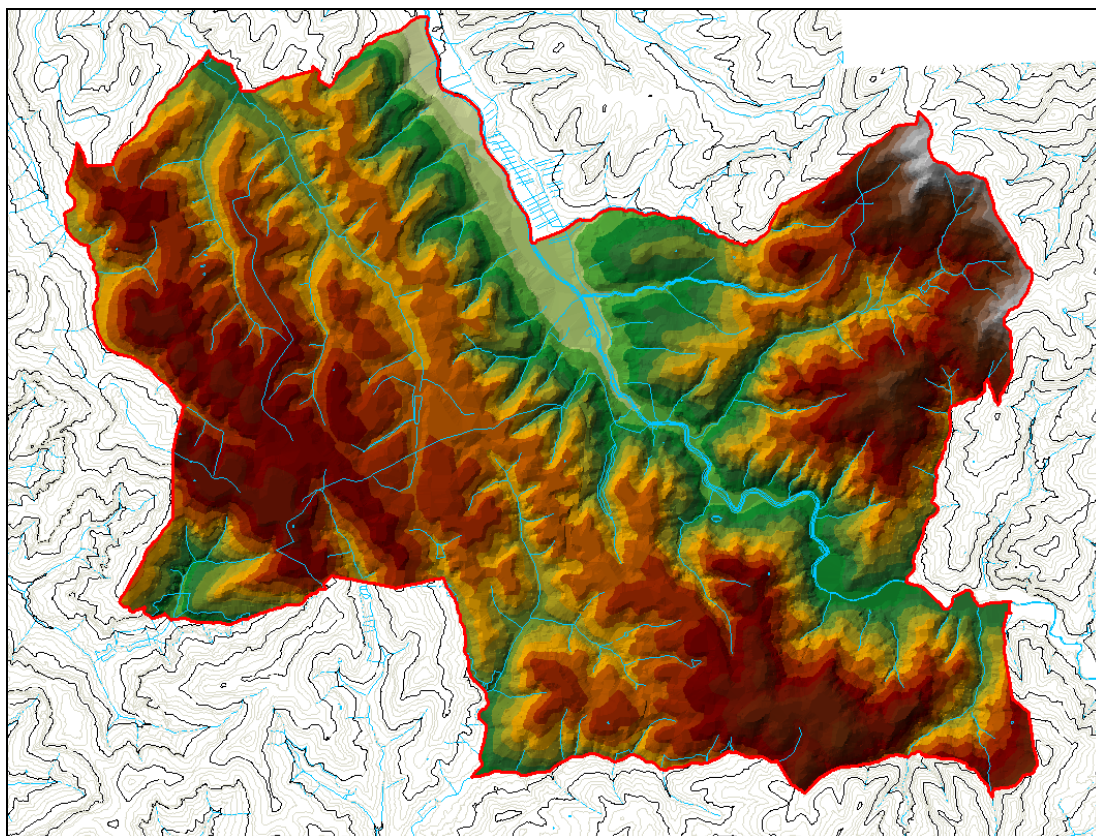


**Figura 1** – Inquadramento geografico del comune di Tavarnelle Val di Pesa.

Situato nella parte meridionale della Provincia, tra la Val di Pesa e la Val d'Elsa, il territorio comunale si estende per una superficie di circa 57 km<sup>2</sup>, con quota media nelle porzioni di fondovalle di 170 m s.l.m. e nelle aree collinari di circa 340 m s.l.m..

Dal punto di vista morfologico il territorio è caratterizzato dalla presenza, nella parte orientale, del Torrente Pesa, che lo attraversa in direzione SudEst - Nord Ovest, e lungo il quale si sviluppano l'abitato della Sambuca e la limitrofa area industriale.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	5 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 2** - Inquadramento geomorfologico del comune di Tavarnelle Val di Pesa.

Il territorio comunale di Tavarnelle Val di Pesa ricade nel Consorzio di Bonifica 3 Medio Valdarno, istituito mediante la Delibera dell'Assemblea Consortile n. 1 del 26/02/2014 in applicazione della Legge Regionale 27.12.2012 n. 79 (Nuova disciplina in materia di consorzi di bonifica - Modifiche alla L.R. 69/2008 e alla L.R. 91/1998. Abrogazione della L.R. n. 34/1994.).

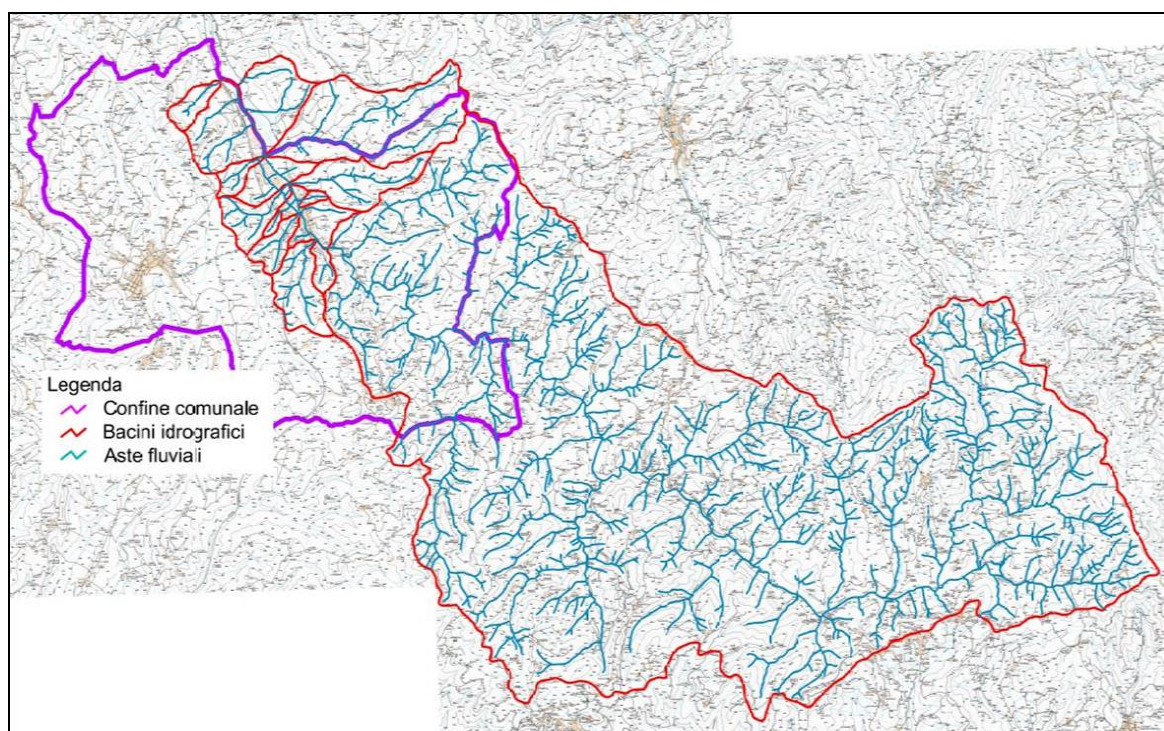
Il territorio risulta inquadrato cartograficamente nei seguenti fogli della Cartografia Tecnica Regionale:

- C.T.R. scala 1:10.000: fogli 275150, 286030;
- C.T.R. scala 1:2.000: fogli 16K03, 16K11, 16K19, 17K58, 17K59.

In relazione alle problematiche idrauliche riscontrate sul territorio comunale di Tavarnelle Val di Pesa, oggetto di analisi idrologico-idraulica è il sistema costituito dal Torrente Pesa, principale asta idraulica presente, e dal reticolo idrografico minore ad esso afferente, con particolare attenzione all'abitato di Sambuca ed all'area industriale ad esso limitrofa.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	6 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		





**Figura 3** – Inquadramento geografico dei bacini idrografici afferenti al Torrente Pesa.

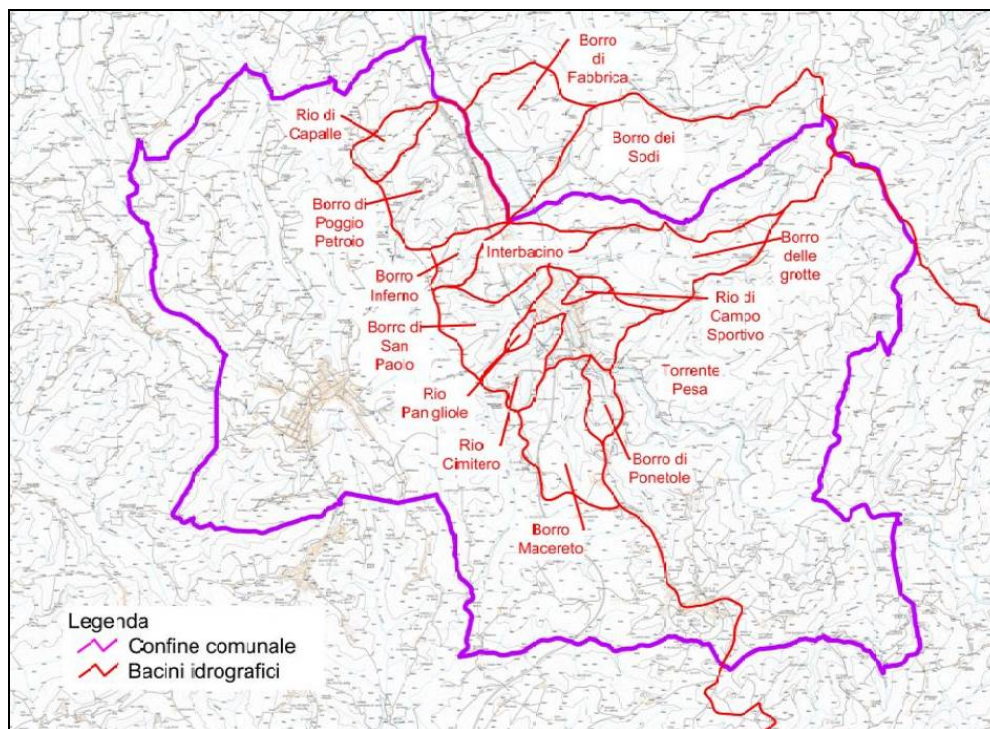
COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	7 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

### 3 DEFINIZIONE DEL RETICOLO DI STUDIO

Oggetto dell'analisi idrologica sono i seguenti i corsi d'acqua elencati in Tabella 1, con i rispettivi bacini idrografici mostrati a seguire in Figura 4:

**Tabella 1** – Riepilogo delle aste idriche oggetto di studio.

n.	Nome corso d'acqua
1	Borro dei Sodi
2	Torrente Pesa
3	Rio di Capalle
4	Borro Inferno
5	Borro delle Grotte
6	Borro di San Paolo
7	Rio presso Campo Sportivo
8	Rio presso Cimitero
9	Borro Macereto
10	Rio Panigliole
11	Borro di Fabbrica
12	Borro di Ponetole
13	Borro di Poggio Petroio
14	Interbacino



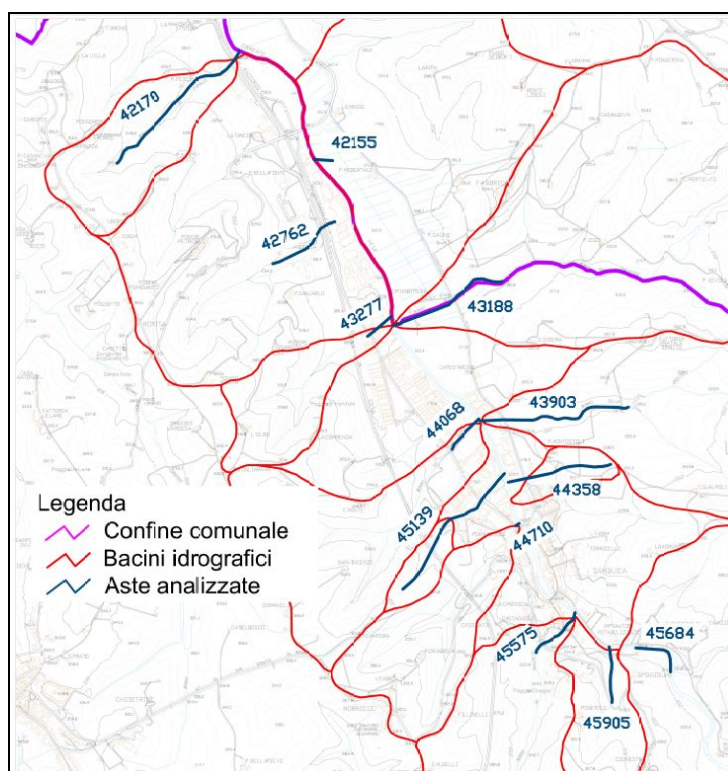
**Figura 4** – Inquadramento di dettaglio dei bacini idrografici analizzati.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	8 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



Al fine dell'individuazione della pericolosità da alluvione sul territorio comunale, i sistemi idraulici oggetto di modellazione constano nell'asta del Torrente Pesa e nei suoi affluenti principali (Borro di Macereto, Borro di San Paolo, Borro delle Grotte, Borro Inferno, Borro dei Sodi); gli affluenti minori, ritenuti comunque significativi, sono stati modellati come contributi idrologici.

Con l'analisi idrologica, eseguita a partire da rilievi topografici di dettaglio, sono stati determinati gli idrogrammi di piena con tempi di ritorno trentennale e duecentennale mediante il modello AlTo, aggiornato nei suoi parametri caratteristici a seguito delle valutazioni geomorfologiche ed idrauliche riportate nei paragrafi a seguire (cfr. Figura 5).



**Figura 5** - Inquadramento di dettaglio delle aste fluviali analizzate, il codice numerico riprende la numerazione del modello AlTo.

Le verifiche idrauliche sono state condotte con più modellazioni in regime di moto vario monodimensionale implementate con il software di calcolo HEC-RAS v.4.1.0. ed HEC-RAS v.5.0.3, ottenute mediante l'inserimento delle sezioni trasversali e dei manufatti di attraversamento, simulate per tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni e durate ritenute significative, con idrogrammi in ingresso con passo di 5 minuti.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	9 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

Le considerazioni sull'officiosità idraulica degli affluenti principali, tale da contenere o meno le portate di piena all'interno delle sezioni, sono state condotte con il sistema "Pesa Affluenti" (cfr. 6.1), in cui sono state modellate delle connessioni di lateral structures a delle storage areas, le quali hanno consentito la valutazione degli effetti del transito dalle soglie sfioranti alle celle di inondazione, descrivendo i fenomeni di esondazione nel territorio circostante il corso d'acqua. Le curve di invaso relative alle celle di accumulo sono state ricavate dai dati LIDAR, avvalendosi delle curve di livello estrapolate ogni 10 cm.

Inoltre, valutata la morfologia del territorio, i risultati della modellazione implementata come appena descritto sono stati sovrapposti ai risultati in termini di aree allagate ottenuti con una seconda modellazione, questa volta bidimensionale, eseguita con il software di calcolo FLO-2D, il quale consente di tenere conto della possibile reimmissione dei volumi esondati dagli affluenti minori nel Torrente Pesa e permette una valutazione delle esondazioni in aree non competenti all'alveo.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	10 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

#### 4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione geometrica dei corsi d'acqua indagati è stato fatto riferimento al rilievo topografico eseguito dalla società Geostadd per conto del Consorzio di Bonifica della Toscana Centrale nel 2007, nell'ambito dello Studio per l'individuazione del rischio idraulico del Torrente Pesa in località Sambuca nel Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI).

L'aggiornamento e l'adeguatezza del rilievo, prima del suo utilizzo, sono stati verificati mediante una campagna di rilievo topografica condotta dal Dott. Riccardo Nespoli utilizzando un GPS a doppia frequenza a precisione centimetrica Geomax, durante la quale sono state controllate circa 10 sezioni idrauliche distribuite lungo i corsi d'acqua oggetto d'indagine, riscontrando una sostanziale correttezza del rilievo effettuato nel 2007.

La stessa correttezza è stata inoltre verificata dal confronto tra le sezioni topografiche e la cartografia LIDAR resa disponibile dalla Regione Toscana per il territorio comunale.

Il Borro Inferno è stato rilevato tramite apposita campagna di misure topografiche per rilevare le sezioni idrauliche e la struttura dei manufatti tramite GPS Geomax a precisione centimetrica.

Le sezioni topografiche acquisite hanno permesso la caratterizzazione geometrica dei seguenti tratti di corsi d'acqua di interesse:

**Tabella 2** – Riepilogo delle aste idriche oggetto di rilievo delle sezioni d'alveo.

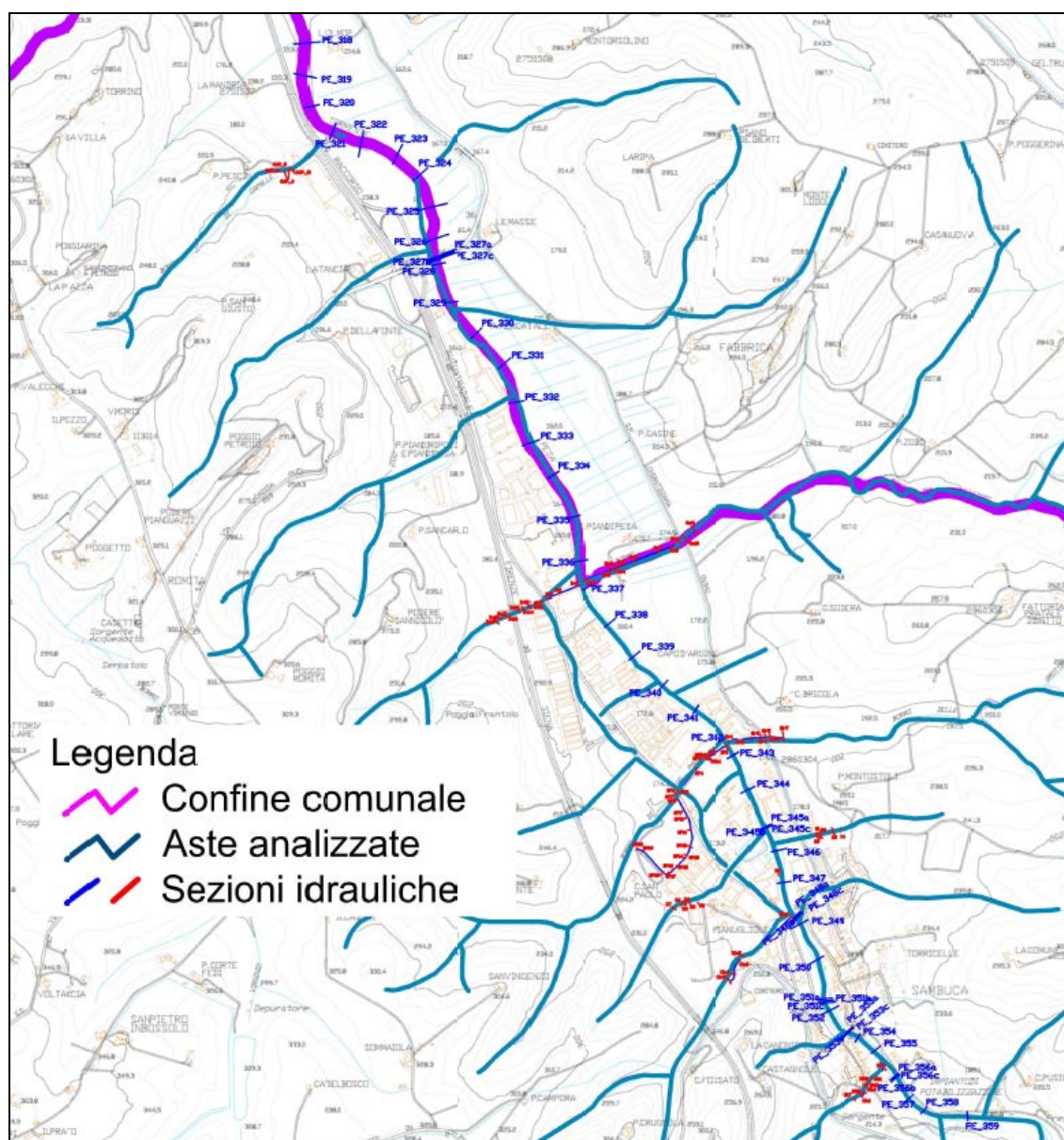
	<b>Nome corso d'acqua</b>	<b>Lunghezza tratto (m)</b>
<b>1</b>	<b>Torrente Pesa</b>	5000
<b>2</b>	<b>Rio di Capalle</b>	200
<b>3</b>	<b>Borro Inferno</b>	450
<b>4</b>	<b>Borro dei Sodi</b>	550
<b>5</b>	<b>Borro di San Paolo</b>	750
<b>6</b>	<b>Borro delle Grotte</b>	320

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	11 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

7	<b>Rio Campo Sportivo</b>	100
8	<b>Rio Panigliole</b>	400
9	<b>Rio Cimitero</b>	330
10	<b>Borro Macereto</b>	180

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	12 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

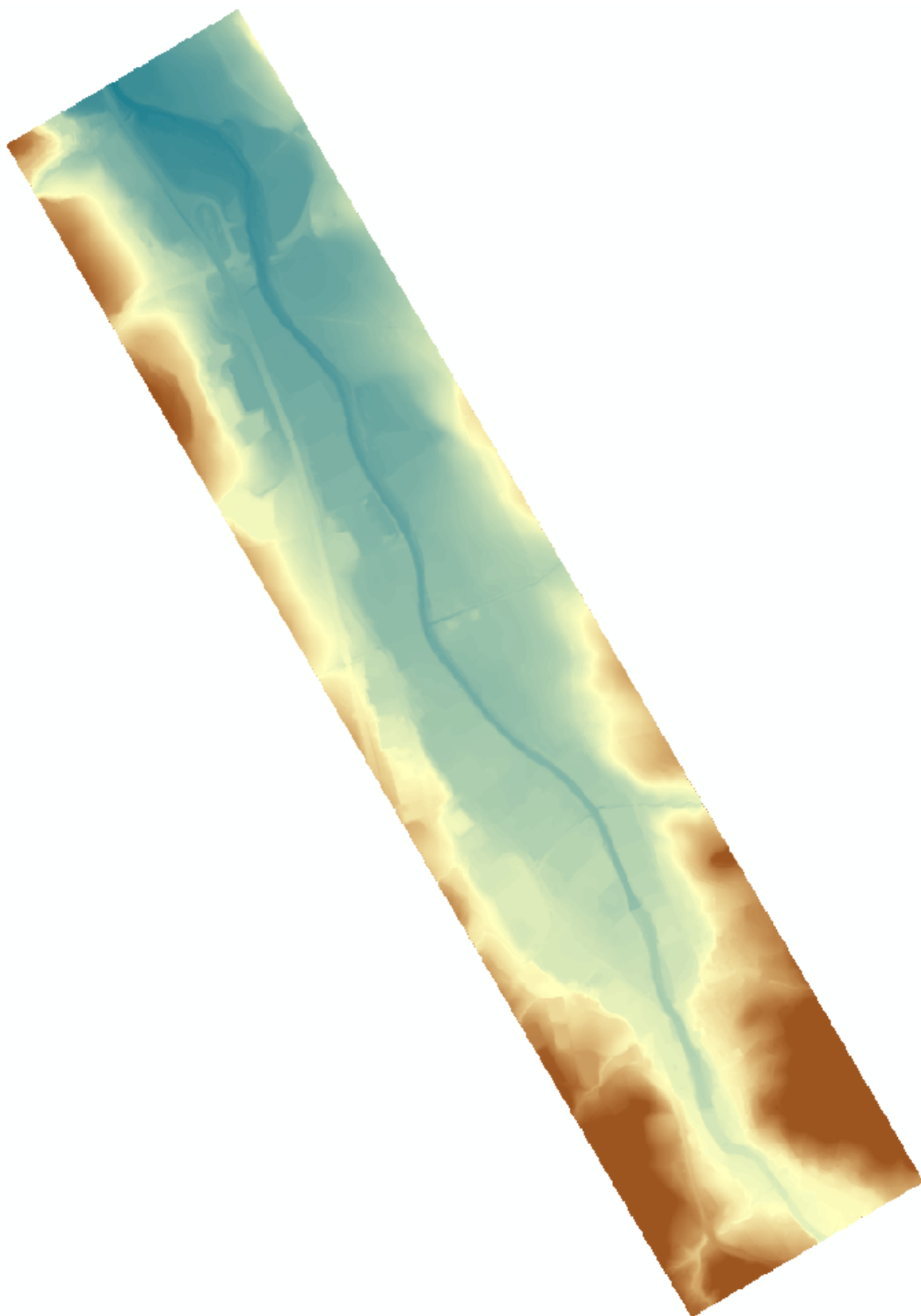




**Figura 6** – Inquadramento delle sezioni d'alveo impiegate nelle modellazioni idrauliche.

La definizione del modello digitale del terreno necessario all'implementazione del modello bidimensionale ed alla perimetrazione delle aree a pericolosità da alluvione, è stata condotta sulla base del rilievo LIDAR realizzato dalla Regione Toscana con maglia 1m x 1m. Per tali operazioni è stato utilizzato il software ESRI ArcMap.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	13 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 7** – Modello digitale del terreno definito su base dati LIDAR.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	14 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 5 ANALISI IDROLOGICA

### 5.1 Il modello AlTo

L'analisi idrologica è stata svolta attraverso il modello di piena a parametri concentrati, denominato AlTo 2000 (*AL-luvioni in TO-scana*), sviluppato per conto della Regione Toscana nel 1997 dal PIN, Centro Studi Ingegneria dell'Università di Firenze nell'ambito di un lavoro più ampio finalizzato allo svolgimento di studi e all'individuazione di procedure per la regionalizzazione delle portate di piena nel territorio toscano.

Il modello AlTo 2000 è basato sull'idrogramma unitario istantaneo di Nash, i cui parametri sono stati stimati attraverso metodi di regionalizzazione, e 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. Il modello è stato simulato per vari tempi di ritorno con ietogrammi sintetici di varia durata a intensità costante.

Tale modello consente l'individuazione delle distribuzioni di probabilità degli eventi di piena (modello stocastico deterministico), tramite procedure implementate nel denominato Sistema Informativo Bacini Toscani, dove possono essere effettuate operazioni quali:

- calcolo delle caratteristiche geomorfologiche e territoriali del bacino considerato;
- calcolo dei parametri della trasformazione afflussi-deflussi;
- valutazione dell'input di precipitazione sul bacino;
- calcolo dell'idrogramma di piena per vari tempi di ritorno.

Il modello, a parametri concentrati, si basa in questo caso sulla trasformazione afflussi-deflussi ottenuta tramite la teoria dell'Idrogramma Istantaneo Unitario (IUH), i cui parametri sono stimati attraverso metodi di regionalizzazione. 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.

Il modello è stato simulato 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

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	15 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, ricavate con l'adattamento della distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).

Il modello è strutturato in modo tale da ricercare, per un dato tempo di ritorno, il valore critico della durata di pioggia che massimizza la portata di piena. I dati idrologici, idrometrici e territoriali raccolti ed elaborati per la messa a punto del modello comprendono gli archivi del Servizio Idrografico e Mareografico, della Regione Toscana e del Genio Civile. Tutti i dati raccolti sono stati archiviati in una base-dati su supporto informatico. In particolare, i dati pluviometrici si riferiscono alle precipitazioni massime annue di breve durata. Le principali elaborazioni relative alla pluviometria hanno riguardato:

- l'analisi per l'applicazione della distribuzione a doppia componente TCEV la stima delle curve di possibilità pluviometrica (annuali e stagionali) sia con distribuzione di Gumbel che mediante la TCEV regionale al primo livello per durate inferiori e superiori all'ora;
- l'analisi della distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni in eventi reali e delle piogge giornaliere.

I dati idrometrici raccolti sono relativi alle portate al colmo, agli idrogrammi di piena in termini di portate per alcuni eventi in cui erano disponibili anche le precipitazioni ad alta risoluzione, agli idrogrammi di piena in termini di livelli idrometrici delle tre piene più significative per le stazioni idrometriche del Servizio Idrografico di Pisa.

Sono state raccolte le portate massime annuali al colmo, registrate nelle 72 stazioni del Servizio Idrografico interne ed esterne alla Regione Toscana, per tutti gli anni disponibili. Il reticolo idrografico costituisce la base informativa della procedura di regionalizzazione che prevede, per ciascun asta del reticolo, la caratterizzazione del bacino a monte e la valutazione della portata al colmo per i diversi tempi di ritorno. A tal fine il reticolo è stato gerarchizzato secondo Strahler e sono stati ricavati i principali parametri geomorfologici. Il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di tipo  $\Gamma(n, k)$  introdotto da Nash (1959) e caratterizzato dal parametro di forma  $n$  e da quello di scala  $k$ .

I parametri di taratura utilizzati per ciascun evento risultano i seguenti:

- $I_a$  volume unitario di perdita iniziale [mm];

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	16 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



- $K_s$  velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h];
- $n$  parametro di forma dell'idrogramma di Nash [-];
- $k$  parametro di scala dell'idrogramma di Nash [h].

Per la regionalizzazione esistono espressioni che legano il tempo di ritardo alle caratteristiche del bacino e del reticolo idrografico, basate sui parametri geomorfici come i noti rapporti di biforcazione  $R_b$ , lunghezza  $R_l$  e area  $R_a$ . Fattore comune di queste espressioni è la presenza di un parametro cinematico da tarare, la cui determinazione è ancora oggi oggetto di approfondimento scientifico. Considerando, nel caso della Toscana, i dati elaborati per i 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, la migliore relazione fra i valori di  $T_l$  derivati dalla taratura del modello sopra descritto ed i parametri geomorfici, si è ottenuta con la formulazione:

$$Tl = 0.42 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}}$$

Nello studio di regionalizzazione, i valori di  $I_a$  e  $K_s$  sono calcolati in funzione della litologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico. In particolare  $I_a$  è correlato alla percentuale di superficie boscata del bacino idrografico secondo la relazione:

$$I_a = 3.3 + 22P_{ab} \quad (P_{ab} = \text{percentuale di superficie boscata del bacino}),$$

mentre  $K_s$  dipende dalle caratteristiche litologiche attraverso specifiche tabelle.

Il modello originario ALTo, riferito ai corsi d'acqua oggetto di studio idraulico, ha fornito i seguenti parametri:

**Tabella 3** -Parametri del modello ALTo riferiti ai corsi d'acqua oggetto di studio idraulico.

CODICE	NOME	AREA (km <sup>2</sup> )	$I_a$ (mm)	$K_s$ (mm/h)	N	K	a1	n1	m1	a	n	m
43188	Borro dei Sodi	6.688	14.300	3.363	2.277	0.399	19.994	0.373	0.16	16.711	0.392	0.196
45684	Torrente Pesa	116.96	17.664	3.014	3.178	1.644	22.276	0.356	0.170	22.364	0.267	0.185
42170	Rio di Capalle	0.88	7.700	0.62	1.504	0.142	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
43277	Borro Inferno	1.232	6.443	0.886	1.94	0.183	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	17 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



CODICE	NOME	AREA (km <sup>2</sup> )	Ia (mm)	Ks (mm/h)	N	K	a1	n1	m1	a	n	m
43903	Borro delle Grotte	2.112	6.967	1.744	1.42	0.346	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
44068	Borro di San Paolo	2.288	6.685	1.073	2.568	0.208	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
44358	Rio Campo Sportivo	0.528	3.300	1.55	3.13	0.169	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
44710	Rio Cimitero	1.232	3.300	1.661	1.945	0.188	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
45575	Borro Macereto	2.08	9.586	4.041	2.268	0.207	19.874	0.384	0.180	20.967	0.262	0.174
45139	Rio Panigliole	0.704	8.800	0.581	3.131	0	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
42155	Borro di Fabbrica	1.232	3.300	0.554	1.375	0.371	19.874	0.384	0.18	20.967	0.262	0.174
45905	Borro di Ponetole	0.352	14.300	4.65	1.375	0.169	19.874	0.384	0.180	20.967	0.262	0.174
42762	Borro di Poggio Petroio	1.584	3.300	1.033	2.583	0.131	19.874	0.384	0.180	20.967	0.262	0.174
	Interbacino											

in cui:

- *Codice* è il codice del corso d'acqua;
- *Nome* è il nome del corso d'acqua (modificato rispetto al modello di ALTO2000);
- *Area* è l'area del bacino;
- *Ia* è il parametro di perdita iniziale;
- *Ks* è il parametro di perdita costante;
- *N* è un parametro del modello geomorfologico;
- *K* è un parametro del modello geomorfologico;
- *a1*, *n1*, *m1* sono parametri della curva di possibilità pluviometrica per durata inferiore a 1 h;
- *a*, *n*, *m* sono parametri della curva di possibilità pluviometrica per durata superiore o uguale a 1 ora;

Il calcolo dei parametri *n* e *k* per l'interbacino del Torrente Pesa è stato condotto calcolando in primo luogo il tempo di ritardo  $Tl=n*k$  per ogni sottobacino in funzioni dei *Tl* dei bacini totali a monte e a valle secondo la seguente formula:

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	18 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

$$TI_{int} = \frac{A_v \cdot T_v - \sum_n A_{mn} \cdot TI_{mn}}{A_v}$$

con:

- $TI_{int}$  pari al tempo di ritardo dell'interbacino
- $TI_v$  pari al tempo di ritardo del bacino sotteso a valle
- $A_v$  pari all'area totale del bacino sotteso a valle
- $A_{mn}$  pari alle aree degli  $n$  bacini sottesi di monte
- $TI_{mn}$  pari ai tempi di ritardo degli  $n$  bacini sottesi di monte

Il parametro  $N$  dell'interbacino è stato assunto pari a quello del bacino complessivo, il parametro  $K$  è stato ricavato dalla formula che definisce il tempo di ritardo ( $TI$ ), per cui l'interbacino ha  $N=3.193$  e  $K=0.288$ .

## 5.2 Aggiornamento delle aree dei bacini idrografici

Al fine di aggiornare il quadro conoscitivo idrologico, il modello AlTo sopra descritto è stato utilizzato integrando in esso i risultati ottenuti dallo studio della cartografia CTR 1:2000 e 1:10000. La geografia dei bacini risultanti dalla perimetrazione delle aree sulla cartografia CTR ha permesso di aggiornare le superfici dei bacini stessi. Di seguito i risultati.

**Tabella 4** – Aree dei bacini idrografici calcolati su base CTR e variazione rispetto allo stesso dato presente nel modello AlTo.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Area del bacino su base CTR (km <sup>2</sup> )	Variazione rispetto alle aree di AlTo
1	43188	Borro dei Sodi	5.93	-11.33%
2	45684	Torrente Pesa	116.78	-0.15%
3	42170	Rio di Capalle	0.56	-36.36%
4	43277	Borro Inferno	0.42	-65.91%
5	43903	Borro delle Grotte	1.98	-6.25%
6	44068	Borro di San Paolo	1.02	-55.42%
7	44358	Rio Campo Sportivo	0.12	-77.27%
8	44710	Rio Cimitero	0.66	-46.43%
9	45575	Borro Macereto	1.59	-23.56%
10	45139	Rio Panigliole	0.11	-84.38%

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	19 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

11	42155	Borro di Fabbrica	1.98	60.71%
12	45905	Borro di Ponetole	0.39	10.80%
13	42762	Borro di Poggio Petroio	2.06	30.05%
14		Interbacino	1.79	

### 5.3 Aggiornamento delle LSPP

Al fine di aggiornare il quadro conoscitivo idrologico, il modello AlTo sopra descritto è stato utilizzato integrando in esso i risultati ottenuti dallo 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 alla pagina <http://www.sir.toscana.it/index.php?IDS=4&IDSS=19>.

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.

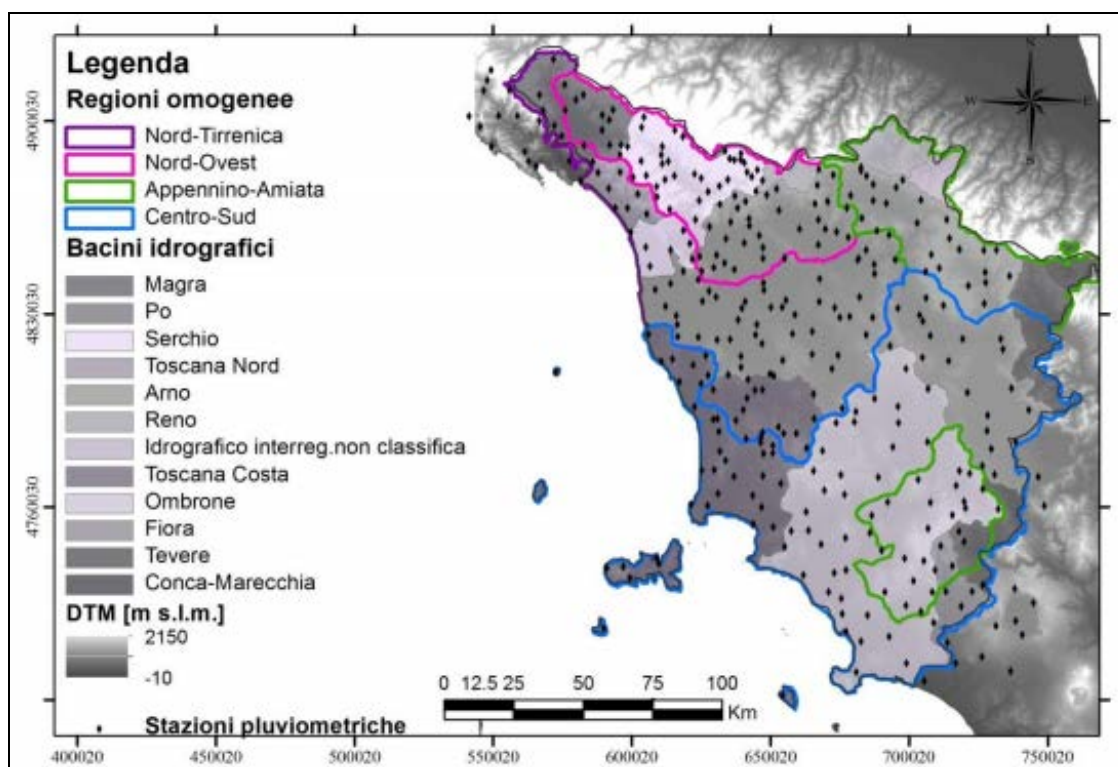
Al primo livello di regionalizzazione sono state individuate una o più zone omogenee all'interno delle quali si può ammettere costante il coefficiente di asimmetria teorico. Al secondo livello di regionalizzazione sono state individuate delle sottozone omogenee nelle quali si può ritenere costante, oltre 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.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	20 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrore 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 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 subregioni.



**Figura 8** - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012".

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.

La 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

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	21 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate ed il fattore di crescita adimensionale  $K_T$  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.

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

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

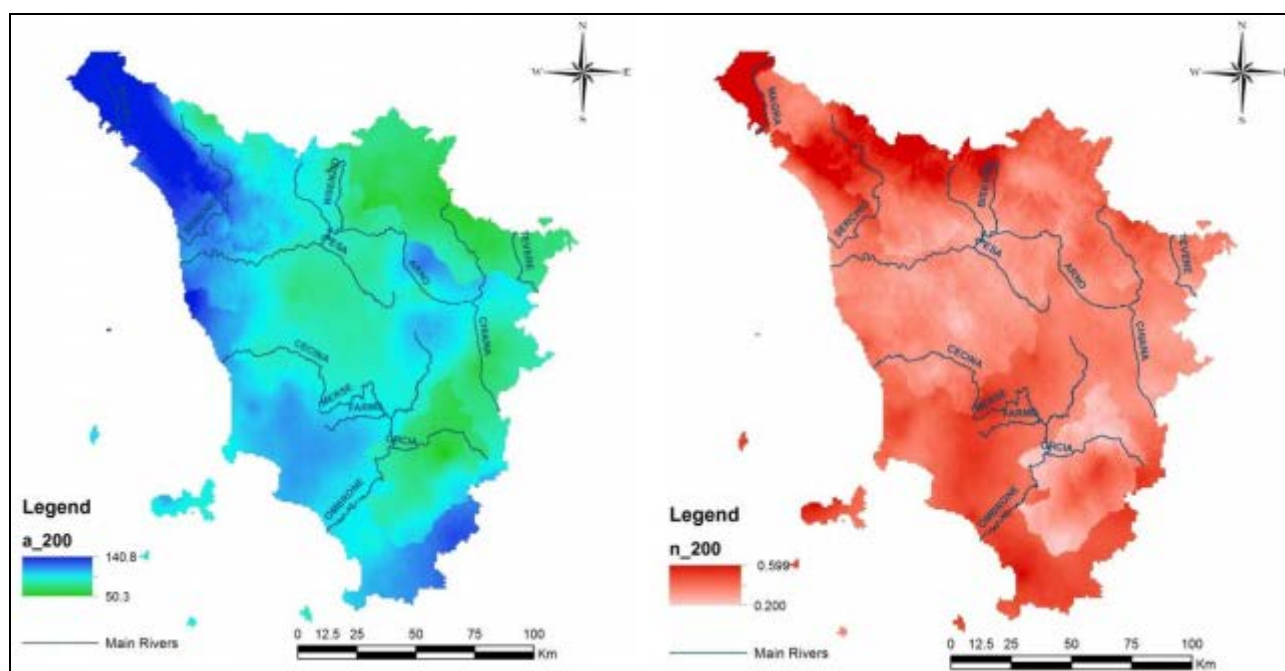
con:

- $h$  = 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 (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni).

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	22 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 9** - 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".

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 l'aggiornamento del modello AITo, sono stati determinati mediante la procedura sintetizzata di seguito:

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 [http://www.sir.toscana.it/supports/download/lsp\\_2012.pdf](http://www.sir.toscana.it/supports/download/lsp_2012.pdf);
2. sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi dei corsi d'acqua oggetto di analisi, sottesi alla sezione di chiusura di interesse, e successivamente per ciascuno è stato creato un file in formato raster;

con un tool di ArcGis (Raster Calculator) è stata estratta la parte di raster dei coefficienti a e n associati a ciascun bacino di studio, da cui a questo punto è stato possibile ottenerne i valori medi.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	23 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

Il procedimento è stato ripetuto variando il tempo di ritorno dell'evento di pioggia, ottenendo i valori riportati nelle tabelle seguenti:

**Tabella 5** – Riepilogo dei valori  $a$  ed  $n$  delle LSPP riferiti ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	TR 30		TR 200	
			$a$	$n$	$a$	$n$
1	43188	Borro dei Sodi	49.119	0.243	68.354	0.269
2	45684	Torrente Pesa	51.862	0.251	72.156	0.292
3	42170	Rio di Capalle	49.379	0.246	68.796	0.272
4	43277	Borro Inferno	49.205	0.248	68.473	0.273
5	43903	Borro delle Grotte	48.880	0.240	68.022	0.266
6	44068	Borro di San Paolo	49.459	0.249	68.828	0.275
7	44358	Rio Campo Sportivo	48.772	0.244	67.872	0.270
8	44710	Rio Cimitero	49.599	0.251	69.022	0.276
9	45575	Borro Macereto	49.683	0.256	69.138	0.282
10	45139	Rio Panigliole	49.142	0.253	68.388	0.279
11	42155	Borro di Fabbrica	48.529	0.234	67.534	0.260
12	45905	Borro di Ponetole	49.361	0.257	68.691	0.283
13	42762	Borro di Poggio Petroio	49.031	0.252	68.232	0.277
14		Interbacino	49.142	0.253	68.338	0.279

#### 5.4 Aggiornamento dei valori di $I_a$ e $K_s$

Per l'aggiornamento del valore di  $I_a$  è stato fatto riferimento all'elaborazione della carta dell'uso suolo aggiornata al 2013 in scala 1:10.000 della Regione Toscana (cfr. Figura 11), disponibile al link <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/usocoperturasuolo.html>, tramite aggregazione di codici a livello gerarchico (100, 200, 300) ottenendo una carta di sintesi di cui all'immagine seguente.

Il parametro  $I_a$  è stato quindi calcolato in funzione della superficie boscata presente nel bacino secondo la relazione  $I_a = 3.3 + 22 P_{sb}$  in accordo con la legenda riportata in Figura 10 relativa alla cartografia dell'Autorità di Bacino del fiume Arno.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	24 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

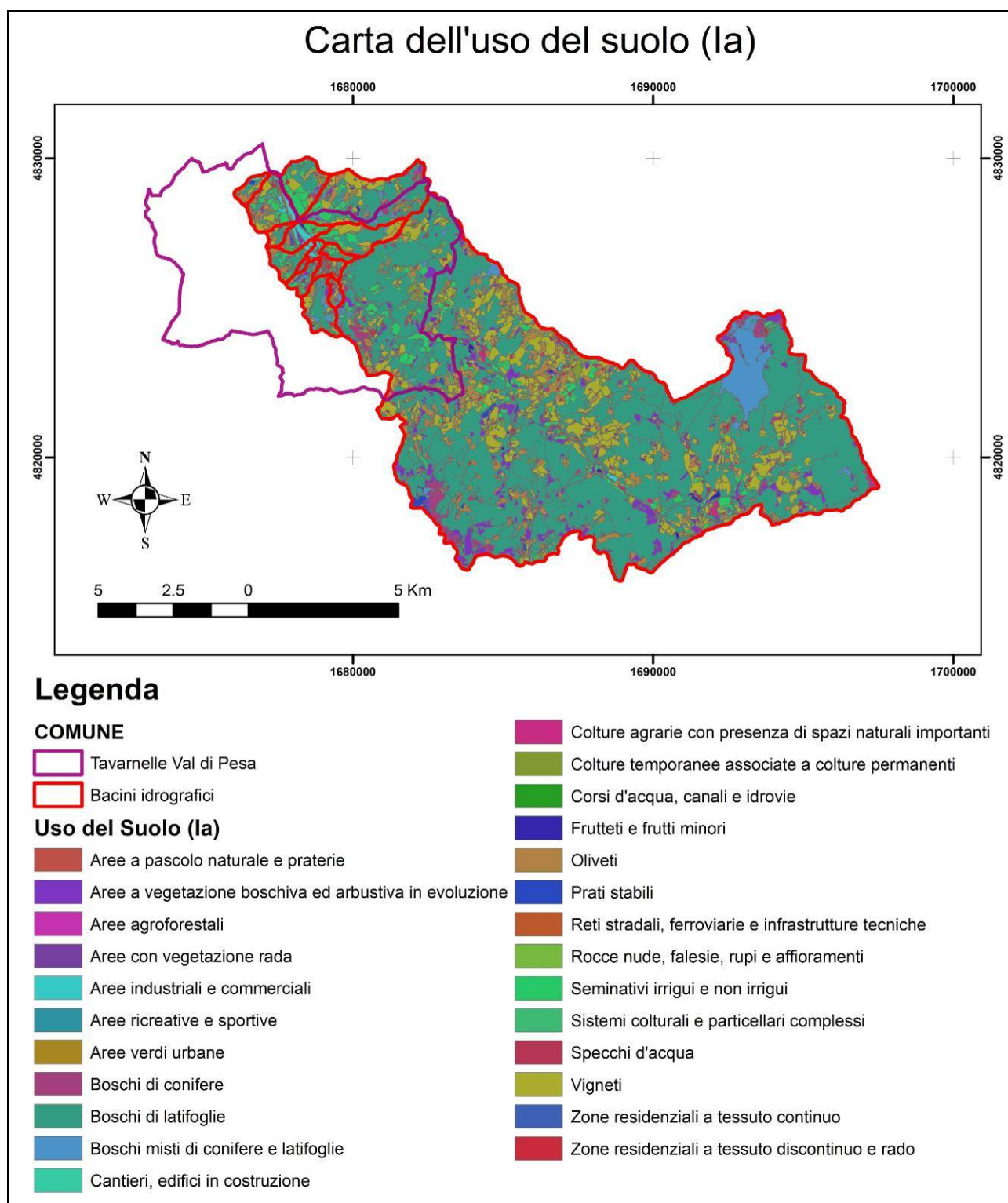
CODICE	DESCRIZIONE	IA
11	Zone urbanizzate	3.3
12	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	3.3
13	Zone estrattive , discariche e cantieri	3.3
14	Zone verdi artificiali non agricole	3.3
21	Seminativi	3.3
22	Colture permanenti	3.3
23	Prati stabili	3.3
24	Zone agricole eterogenee	3.3
31	Zone boscate	25.3
32	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	3.3
33	Zone aperte con vegetazione rada o assente	3.3
51	Acque continentali	3.3

**Figura 10** – Valori del Parametro Ia.

Analogamente per l'aggiornamento del valore di Ks è stato fatto riferimento all'elaborazione del CARG in scala 1:10.000 della Regione Toscana (cfr. Figura 12), disponibile al link <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html>, tramite selezione di opportuni strati di dati, ottenendo una carta di sintesi di cui all'immagine seguente.

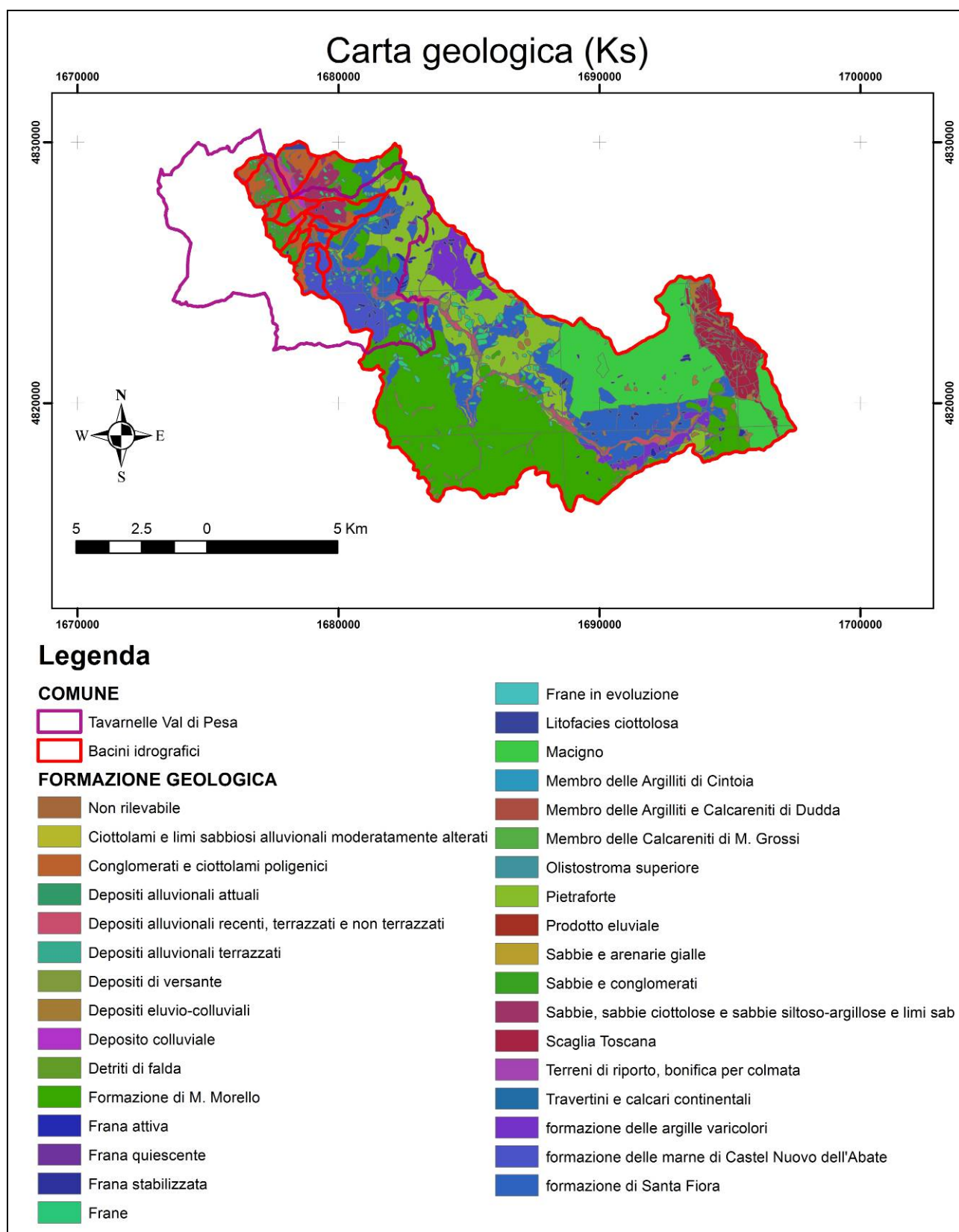
COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	25 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		





**Figura 11** - Carta dell'uso del suolo, da cui è stato ricavato il parametro Ia.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	26 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 12 - Carta geologica, da cui è stato ricavato il parametro Ks.**

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	27 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

Il parametro Ks è stato calcolato a partire dalla geolitologia del bacino secondo la legenda riportata nella tabella seguente, ottenuta da valori di letteratura e studi idraulici simili.

**Tabella 6 – Valori del parametro Ks.**

Nome	Ks (mm/h)	Nome	Ks (mm/h)	Nome	Ks (mm/h)
alluvioni terrazzate	0.05	limi di Latereto e Pian di Tegna	0.77	detrito di falda	2.32
argille a palombini	0.13	Limi di Terranova	0.77	frane e coltri franose	2.32
argilliti di Brolio e argilliti di Cintoia	0.13	litofacies a ghiaia e limi	0.77	Frana stabilizzata	2.32
argilliti grigio brune e calcilutiti	0.13	Limi e sabbie del T. Oreno	0.77	Frane	2.32
Argille del T. Ascione	0.13	litofacies ciottolosa	0.77	Frana stabilizzata	2.32
marne	0.30	arenarie M. Senario	1.55	sabbie	2.32
formazione delle marne di Castel Nuovo dell'Abate	0.30	arenarie e siltiti e flysch	1.55	Sabbie di Levane	2.32
alluvioni recenti e depositi alluvionali	0.36	arenarie torbidity finie e siltiti grigio.....	1.55	Sabbie di Palazzetto	2.32
Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	0.36	pietraforte	1.55	Sabbie e conglomerati	2.32
Depositi alluvionali attuali	0.36	macigno	1.55	Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sab	2.32
Depositi alluvionali in evoluzione	0.36	arenarie tipo macigno (Cervarola etc.)	1.55	diaspri	3.85
Depositi alluvionali terrazzati	0.36	Membro di Camaldoli (Arenarie Falterona)	1.55	alberese M. Morello	4.64
ghiaie e ciottolami	0.36	Membro di Lonnano	1.55	travertino	4.64
Conglomerati e ciottolami poligenici	0.36	Membro di Lonnano (Arenarie Falterona)	1.55	Argille e Calcari di Canetolo	4.64
Ciottolami di Laterina	0.36	Intercal argill-marn-calc-aren (olist sup) Macigno	1.55	Calcari e Breccie di monte Senario	4.64
Ciottolami e sabbie di Caposelvi	0.36	serpentiniti	1.55	Calcari e Breccie di monte Senario, a base calcirudittica	4.64
arenarie ofiolitiche	0.77	olistostroma	1.55	Calcari di Groppo del Vescovo	4.64
argilliti e calcareniti di Dudda e Montegrossi	0.77	depositi antropici terreni di riporto colmate	2.32	Calcari e breccie di M. Senario	4.64
scaglia toscana	0.77	Depositi antropici	2.32	Calcari e breccie di M. Senario, corpi decametrici	4.64
argille varicolori con calcari	0.77	Depositi antropici (compresi i rilevati stradali e discariche)	2.32	Calcari e Breccie di M.Senario	4.64
basalti	0.77	eluvio colluviale	2.32	Calcari e Breccie di M.Senario, corpi decametrici	4.64
gabbri	0.77	Depositi eluvio-colluviali	2.32	maiolica	4.64
brecce intercalate	0.77	Prodotto eluviale	2.32	ruditi	4.64
Sillano	0.77	conoide	2.32	calcari e calcari a calpionelle	7.74
formazione di Santa Fiora	0.77	Depositi di versante	2.32		

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	28 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

Di seguito si riportano i parametri Ia e Ks calcolati con le metodologie esposte.

**Tabella 7** – Valori dei parametri Ia e Ks e variazione rispetto allo stesso dato presente nel modello AlTo.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Ia (mm)	Variazione rispetto ad Ia di AlTo	Ks (mm/h)	Variazione rispetto a Ks di AlTo
1	43188	Borro dei Sodi	14.707	2.85%	2.719	-19.15%
2	45684	Torrente Pesa	17.080	-3.31%	2.290	-24.02%
3	42170	Rio di Capalle	9.017	17.10%	1.182	90.63%
4	43277	Borro Inferno	9.670	50.09%	1.773	100.07%
5	43903	Borro delle Grotte	11.532	65.52%	1.976	13.30%
6	44068	Borro di San Paolo	11.306	69.12%	1.992	85.64%
7	44358	Rio Campo Sportivo	11.077	235.67%	1.026	-33.78%
8	44710	Rio Cimitero	7.835	137.43%	1.641	-1.18%
9	45575	Borro Macereto	15.016	56.65%	0.601	-85.13%
10	45139	Rio Panigliole	22.845	159.60%	1.472	153.28%
11	42155	Borro di Fabbrica	10.444	216.50%	1.026	85.27%
12	45905	Borro di Ponetole	11.663	-18.44%	0.386	-91.70%
13	42762	Borro di Poggio Petroio	6.134	85.87%	1.348	30.51%
14		Interbacino	7.208		1.083	

## 5.5 Parametri in ingresso per AlTo e risultati

Si riportano di seguito i parametri inseriti nel modello AlTo per l'analisi idrologica:

**Tabella 8** – Riepilogo dei parametri utilizzati nel modello AlTo.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Area (km²)	Ia (mm)	Ks (mm/h)	N	K	TR 30		TR 200	
								a	n	a	n
1	43188	Borro dei Sodi	5.93	14.707	2.719	2.277	0.399	49.119	0.243	68.354	0.269
2	45684	Torrente Pesa	116.78	17.080	2.290	3.178	1.644	51.862	0.251	72.156	0.292

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	29 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Area (km <sup>2</sup> )	Ia (mm)	Ks (mm/h)	N	K	TR 30		TR 200	
								a	n	a	n
3	42170	Rio di Capalle	0.56	9.017	1.182	1.504	0.142	49.379	0.246	68.796	0.272
4	43277	Borro Inferno	0.42	9.670	1.773	1.94	0.183	49.205	0.248	68.473	0.273
5	43903	Borro delle Grotte	1.98	11.532	1.976	1.42	0.346	48.880	0.240	68.022	0.266
6	44068	Borro di San Paolo	1.02	11.306	1.992	2.568	0.208	49.459	0.249	68.828	0.275
7	44358	Rio Campo Sportivo	0.12	11.077	1.026	3.13	0.169	48.772	0.244	67.872	0.270
8	44710	Rio Cimitero	0.66	7.835	1.641	1.945	0.188	49.599	0.251	69.022	0.276
9	45575	Borro Macereto	1.59	15.016	0.601	2.268	0.207	49.683	0.256	69.138	0.282
10	45139	Rio Panigliole	0.11	22.845	1.472	3.131	0	49.142	0.253	68.388	0.279
11	42155	Borro di Fabbrica	1.98	10.444	1.026	1.375	0.371	48.529	0.234	67.534	0.260
12	45905	Borro di Ponetole	0.39	11.663	0.386	1.375	0.169	49.361	0.257	68.691	0.283
13	42762	Borro di Poggio Petroio	2.06	6.134	1.348	2.583	0.131	49.031	0.252	68.232	0.277
14		Interbacino	1.79	7.208	1.083	3.193	0.288	49.142	0.253	68.338	0.279

Per il modello sono state indagate, vista l'estensione del tratto di studio e il contributo dei diversi bacini, durate di pioggia pari a 0.5 h, 1 h, 1.5 h, 2 h, 3 h, 3.5 h, 5 h, 5.5 h e 6 h. Il calcolo dell'idrogramma di piena è stato eseguito con ietogramma costante e con Kr fissato, pari al valore originale di AlTo, per evitare il ricalcolo del Kr secondo i nuovi valori della formula binomia delle LSPP aggiornate (il calcolo del Kr in AlTo è eseguito automaticamente secondo una formula che tiene conto dei parametri a, n e m nella formulazione trinomia delle LSPP e ricalcolarlo secondo i valori della formula trinomia porterebbe a valori errati).

Gli idrogrammi di progetto sono stati ricavati per le sezioni di calcolo individuate al precedente paragrafo sia sull'asta principale che sugli affluenti minori per:

- ietogrammi con distribuzione costante;
- tempo di ritorno di 30 e 200 anni.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	30 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



Per i parametri della funzione di calcolo del coefficiente di ragguaglio sono stati assunti i valori di default ( $F_a = 0.036$ ,  $F_b = 0.25$ ,  $F_c = 0.01$ ).

Si riportano di seguito le portate di picco per i tempi di ritorno pari a 200 anni e 30 anni e le per le varie durate indagate.

**Tabella 9** – Valori di portata con tempo di ritorno di 200 anni, riferito per ogni tempo di durata di pioggia.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Q200 (m³/s)								
			0.5	1	1.5	2	3	3.5	5	5.5	6
1	43188	Borro dei Sodi	52.88	60.70	59.74	54.95	44.03	39.43	29.79	27.52	25.61
2	45684	Torrente Pesa	121.15	175.76	212.60	239.69	278.43	291.34	313.69	316.96	318.28
3	42170	Rio di Capalle	15.13	10.53	7.89	6.37	4.70	4.18	3.19	2.96	2.77
4	43277	Borro Inferno	8.824	7.328	5.718	4.626	3.398	3.017	2.286	2.12	1.978
5	43903	Borro delle Grotte	31.21	29.66	25.19	20.95	15.63	13.86	10.46	9.68	9.03
6	44068	Borro di San Paolo	16.53	16.00	13.38	11.09	8.20	7.28	5.51	5.10	4.76
7	44358	Rio Campo Sportivo	2.05	1.96	1.61	1.32	0.98	0.87	0.67	0.62	0.58
8	44710	Rio Cimitero	14.11	11.65	9.09	7.37	5.43	4.83	3.67	3.40	3.18
9	45575	Borro Macereto	26.41	25.75	21.75	18.07	13.54	12.11	9.32	8.69	8.15
10	45139	Rio Panigliole	1.49	1.61	1.44	1.21	0.90	0.80	0.61	0.57	0.53
11	42155	Borro di Fabbrica	31.19	29.66	25.34	21.19	15.92	14.18	10.78	10.01	9.35
12	45905	Borro di Ponetole	9.89	7.30	5.58	4.54	3.39	3.03	2.34	2.18	2.05
13	42762	Borro di Poggio Petroio	48.965	37.223	28.224	22.836	16.854	15.002	11.442	10.633	9.941
14		Interbacino	20.781	22.632	21.38	18.99	14.754	13.2	10.119	9.414	8.811

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	31 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

**Tabella 10** - Valori di portata con tempo di ritorno di 30 anni, riferito per ogni tempo di durata di pioggia.

N.	Codice	Nome Corso d'acqua	Q30 (m³/s)								
			0.5	1	1.5	2	3	3.5	5	5.5	6
1	43188	Borro dei Sodi	33.676	39.240	39.101	36.217	29.163	26.042	19.263	17.657	16.302
2	45684	Torrente Pesa	69.962	104.022	126.041	141.502	163.158	169.887	180.977	182.409	182.713
3	42170	Rio di Capalle	10.728	7.476	5.549	4.435	3.224	2.851	2.137	1.977	1.84
4	43277	Borro Inferno	6.121	5.134	4.000	3.207	2.317	2.044	1.517	1.398	1.297
5	43903	Borro delle Grotte	21.130	20.287	17.347	14.374	10.602	9.343	6.892	6.341	5.877
6	44068	Borro di San Paolo	11.086	10.948	9.226	7.644	5.567	4.902	3.631	3.344	3.099
7	44358	Rio Campo Sportivo	1.396	1.349	1.123	0.923	0.674	0.597	0.448	0.414	0.386
8	44710	Rio Cimitero	9.880	8.198	6.374	5.118	3.709	3.277	2.442	2.255	2.094
9	45575	Borro Macereto	17.388	17.649	15.135	12.622	9.379	8.338	6.344	5.899	5.514
10	45139	Rio Panigliole	0.840	1.014	0.955	0.824	0.617	0.546	0.408	0.377	0.351
11	42155	Borro di Fabbrica	21.431	20.504	17.618	14.692	10.952	9.701	7.265	6.717	6.251
12	45905	Borro di Ponetole	6.909	5.173	3.954	3.195	2.354	2.095	1.598	1.486	1.39
13	42762	Borro di Poggio Petroio	34.80	26.44	19.87	15.92	11.57	10.23	7.68	7.10	6.61
14		Interbacino	14.424	15.698	14.798	13.142	10.146	9.032	6.824	6.321	5.892

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	32 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 6 ANALISI IDRAULICA

### 6.1 Modelli HEC-RAS

Le modellazioni dei fenomeni di allagamento e di transito sono state eseguite per tempi di ritorno pari a 30 anni e 200 anni utilizzando il software di calcolo HEC-RAS v. 4.1.0 e v. 5.0.3.

I dati di input 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 30 e 200 anni e condizioni al contorno.

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, ipotizzando un regolare funzionamento dei sistemi drenanti.

In particolare non sono stati inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali di argini, ritenuti sormontabili e immuni da fenomeni di filtrazione o erosione interna, e di ponti. Inoltre non sono state valutate condizioni di ostruzione dei manufatti idraulici.

Come premesso, l'analisi idraulica è stata condotta per più sistemi idraulici distinti al fine di rispondere ai diversi tematismi morfologici ed idraulici dei corsi d'acqua oggetto di valutazione. In particolare sono stati considerati sei sistemi distinti:

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	33 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

**Tabella 11** – Descrizione dei modelli idraulici

	Nome modello	Corsi d'acqua oggetto di modellazione	Durate analizzate
1	Pesa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Torrente Pesa</li> <li>- Affluenti modellati come contributi idrologici puntuali (Borro di Macereto; Borro di Ponetole; Rio presso Cimitero; Rio Panigliole; Borro di San Paolo; Rio presso Campo Sportivo; Borro delle Grotte; Borro Inferno; Borro dei Sodi; Borro di Poggio Petroio; Borro di Fabbrica; Rio di Capalle.)</li> <li>- Interbacino modellato come contributo idrologico distribuito</li> </ul>	5, 5.5, 6 h
2	Pesa Affluenti	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Torrente Pesa</li> <li>- Borro dei Sodi</li> <li>- Borro delle Grotte</li> <li>- Borro Inferno (considerato come contributo idrologico derivante dal modello singolo n.7 "Borro Inferno")</li> <li>- Borro di Macereto</li> <li>- Borro di San Paolo</li> <li>- Altri affluenti minori modellati come contributi idrologici puntuali (Borro di Ponetole; Rio presso Cimitero; Rio Panigliole; Rio presso Campo Sportivo; Borro di Poggio Petroio; Borro di Fabbrica; Rio di Capalle)</li> <li>- Interbacino modellato come contributo idrologico distribuito</li> </ul>	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h
3	Campo sportivo	Rio presso campo sportivo	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h
4	Capalle	Rio di Capalle	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h
5	Cimitero	Rio presso cimitero	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h
6	Panigliole	Borro di Panigliole	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h
7	Borro Inferno	Borro Inferno	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 3.5, 5 h

### 6.1.1 Modello Pesa

Per valutare le condizioni di allagabilità associate alla sola asta idraulica del Torrente Pesa nell'area di Sambuca, è stato realizzato un modello geometrico del Torrente Pesa, in cui i suoi affluenti sono stati inseriti nelle sezioni di confluenza esclusivamente come contributi idrologici puntuali, o distribuiti nel caso dell'interbacino.

In particolare, le condizioni al contorno adottate nella modellazione sono:

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	34 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

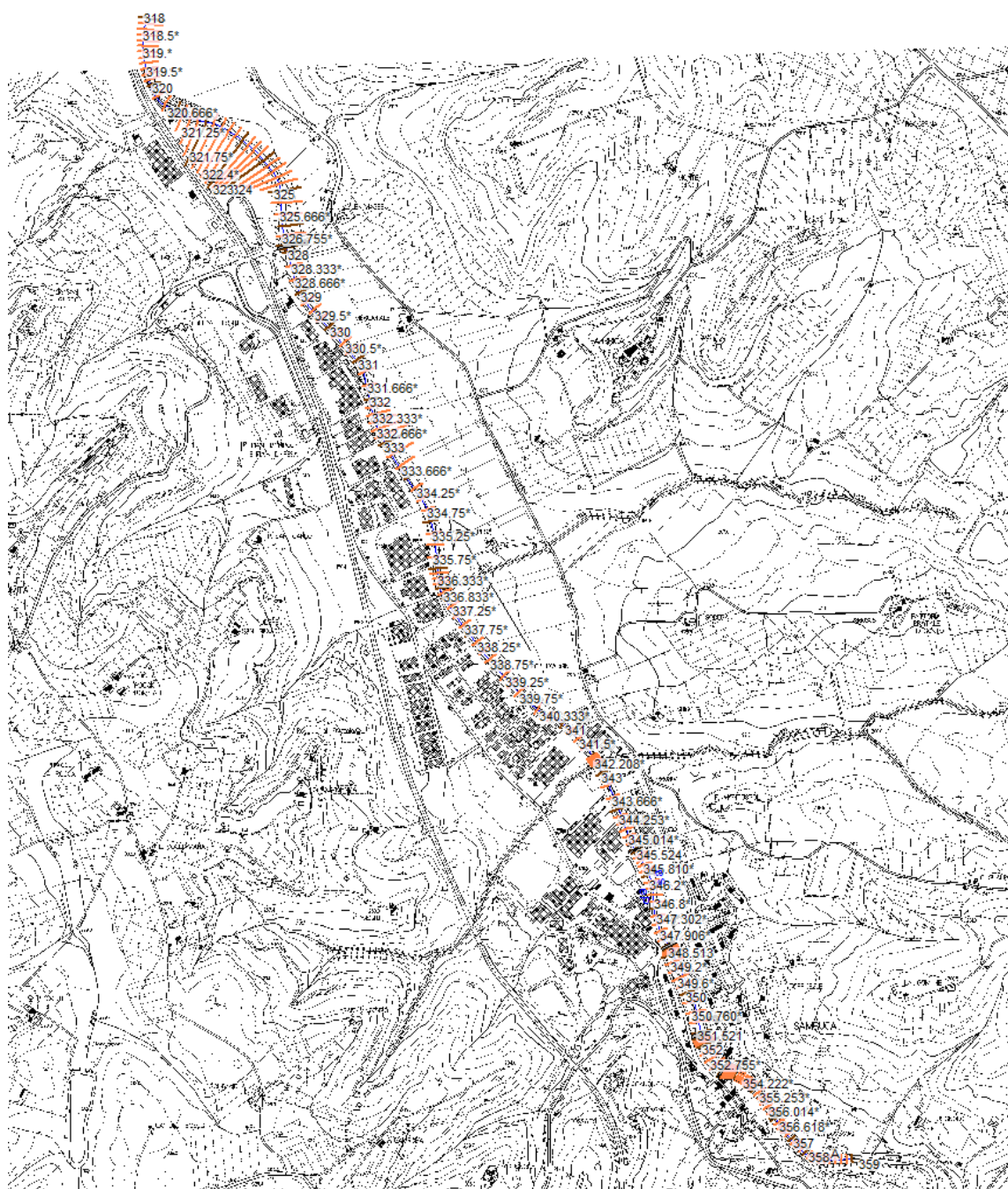
- condizioni di monte: idrogramma di piena del Torrente Pesa inserito come *flow hydrograph*, idrogrammi di piena degli affluenti valutati come contributi idrologici ed inseriti come *lateral inflow hydrograph* e contributo della porzione denominata 'interbacino' inserito come *uniform lateral inflow*;
- condizione di valle: altezza di moto uniforme del tratto terminale del Torrente Pesa, imponendo come *friction slope* la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello (si rimanda ai modelli per le informazioni di dettaglio).

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti i seguenti valori del coefficiente di Manning:

- n pari a  $0.035 \text{ s m}^{-1/3}$  per l'alveo principale;
- n pari a  $0.04 \text{ s m}^{-1/3}$  per le zone golenali.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	35 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		





**Figura 13 – Modello Pesa su base CTR 1:10.000.**

### 6.1.2 Modello Pesa Affluenti

Per valutare le condizioni di allagabilità associate al sistema costituito dall'asta idraulica del Torrente Pesa e dei suoi affluenti, è stato realizzato un modello in cui sia il Torrente Pesa che gli affluenti principali (Borro dei Sodi, Borro delle Grotte, Borro di Macereto, Borro di San Paolo) sono stati modellati geometricamente.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	36 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



Figura 14 – Modello Pesa Affluenti su base ortofotocarta 1:2000.

Il contributo idrologico del Borro Inferno è stato inserito nel presente modello a partire dai risultati ottenuti dall'apposito modello "Borro Inferno".

Inoltre, come premesso, la valutazione sull'efficienza idraulica degli affluenti è stata eseguita dotando ciascun corso d'acqua di *lateral structures* connesse a storage areas, attraverso cui sono

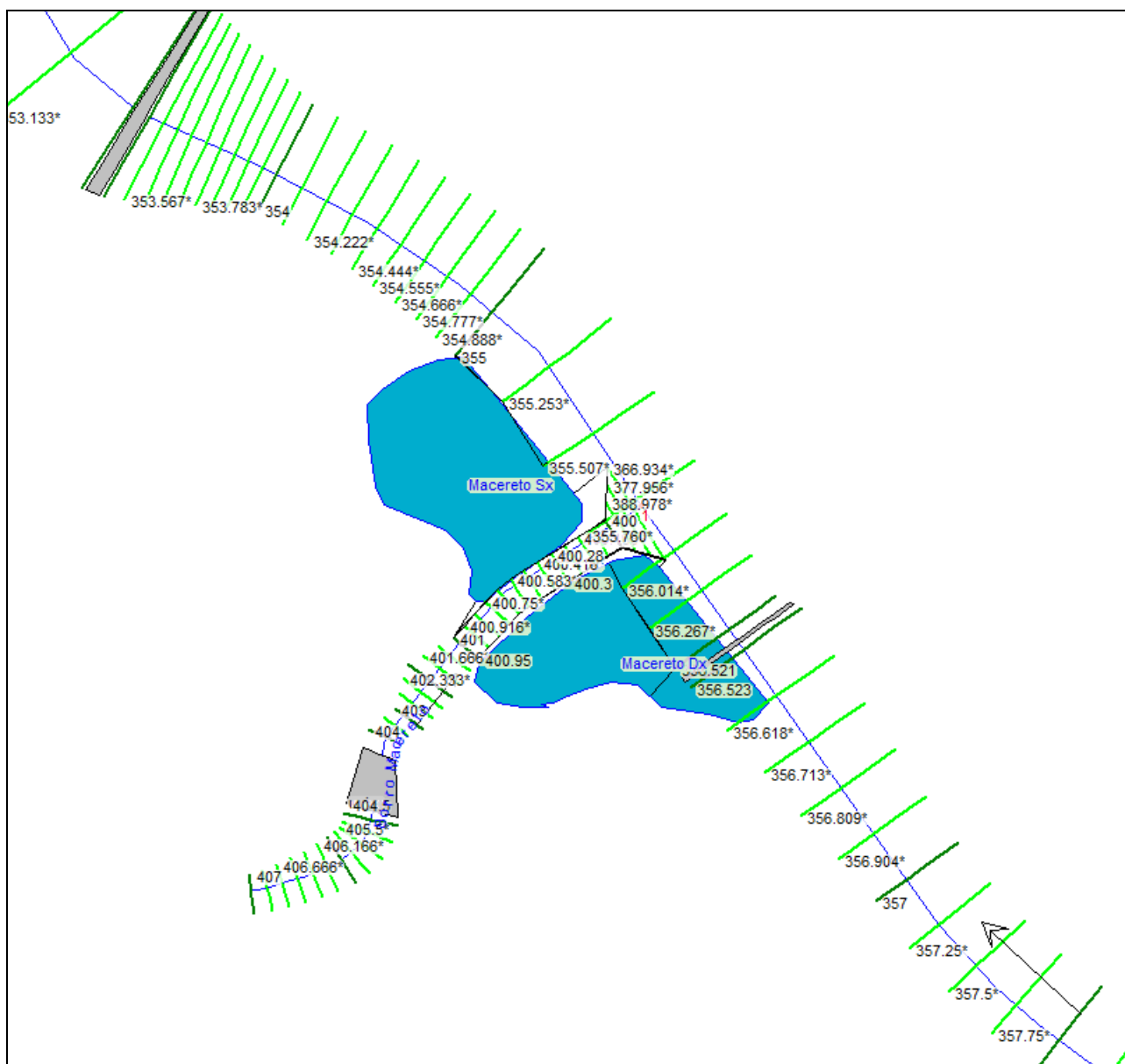
COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	37 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



state valutate le entità delle volumetrie esondate. Le stesse storage areas sono state collegate al Torrente Pesa nei tratti confinanti.

In particolare sono state inserite 10 aree di accumulo denominate:

- Macereto Sx, in sinistra idraulica Borro di Macereto e in sinistra idraulica Torrente Pesa;
- Macereto Dx, in destra idraulica Borro di Macereto e in sinistra idraulica Torrente Pesa;

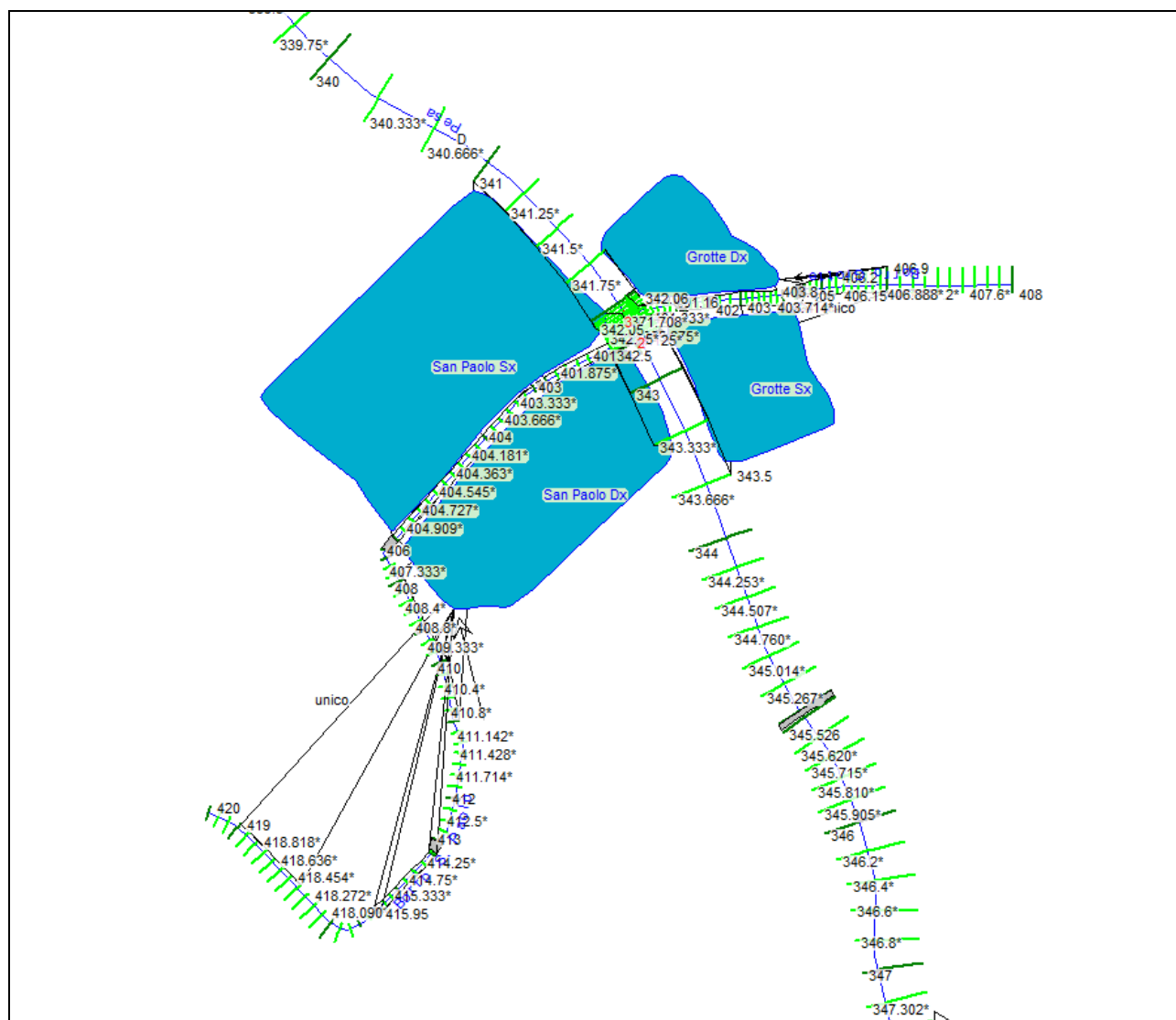


**Figura 15** – planimetria delle Storage Areas riferite al Borro di Macereto

- San Paolo Sx, in sinistra idraulica Borro di San Paolo e in sinistra idraulica Torrente Pesa;

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	38 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

- San Paolo Dx, in destra idraulica Borro di San Paolo e in sinistra idraulica Torrente Pesa;
- Grotte Sx, in sinistra idraulica Borro delle Grotte e in destra idraulica Torrente Pesa;
- Grotte Dx, in destra idraulica Borro delle Grotte e in destra idraulica Torrente Pesa;

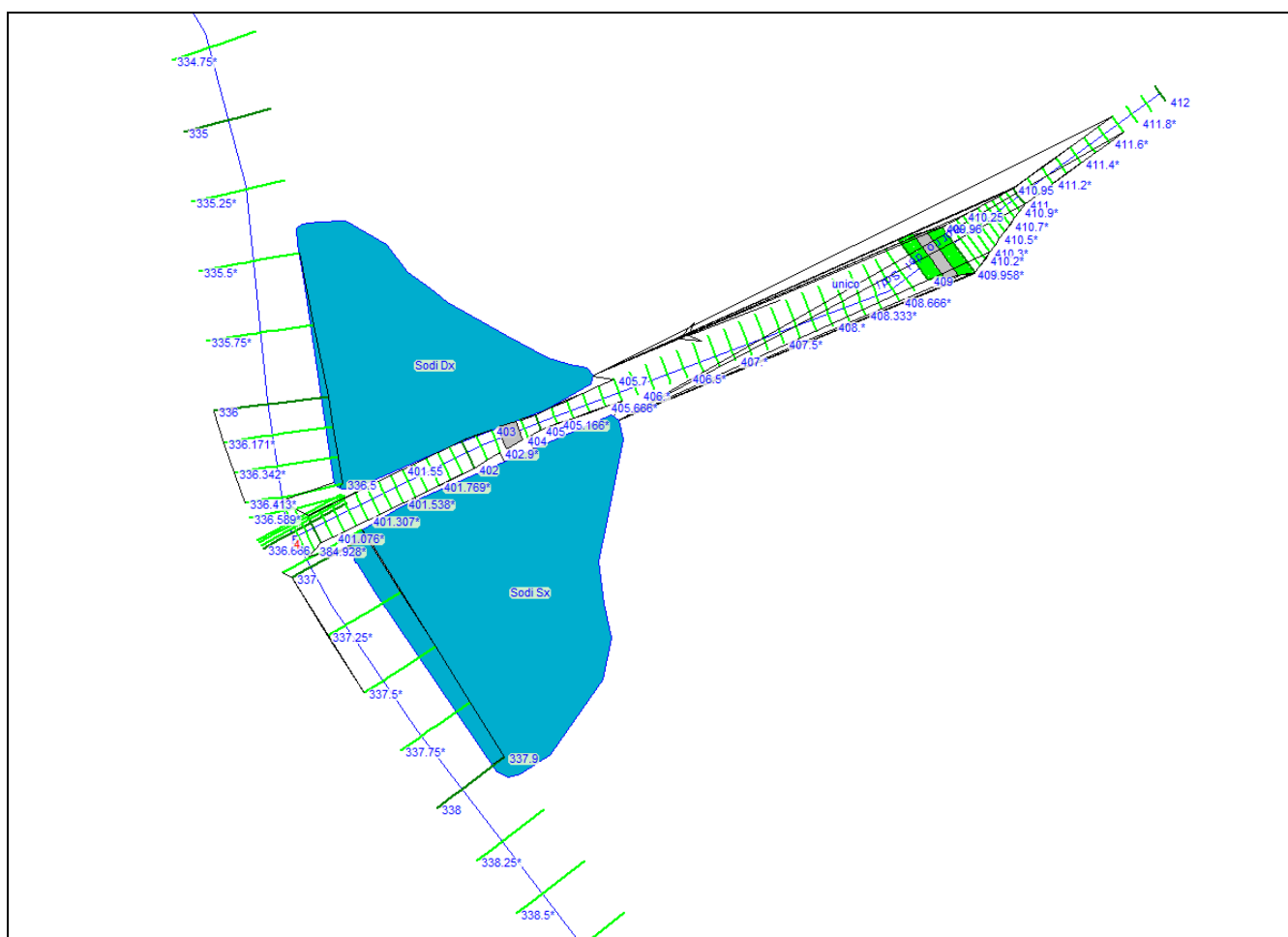


**Figura 16** - planimetria delle Storage Areas riferite al Borro di San Paolo e al Borro delle Grotte

- Sodi Dx, in destra idraulica Borro dei Sodi e in destra idraulica Torrente Pesa, la presente Storage Area non rientra nel territorio comunale di Tavarnelle Val di Pesa, per cui è utilizzata per definire al meglio la caratterizzazione idraulica, ma non sarà utilizzata per definire aree allagate;

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	39 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

- Sodi Sx, in sinistra idraulica Borro dei Sodi e in destra idraulica Torrente Pesa;

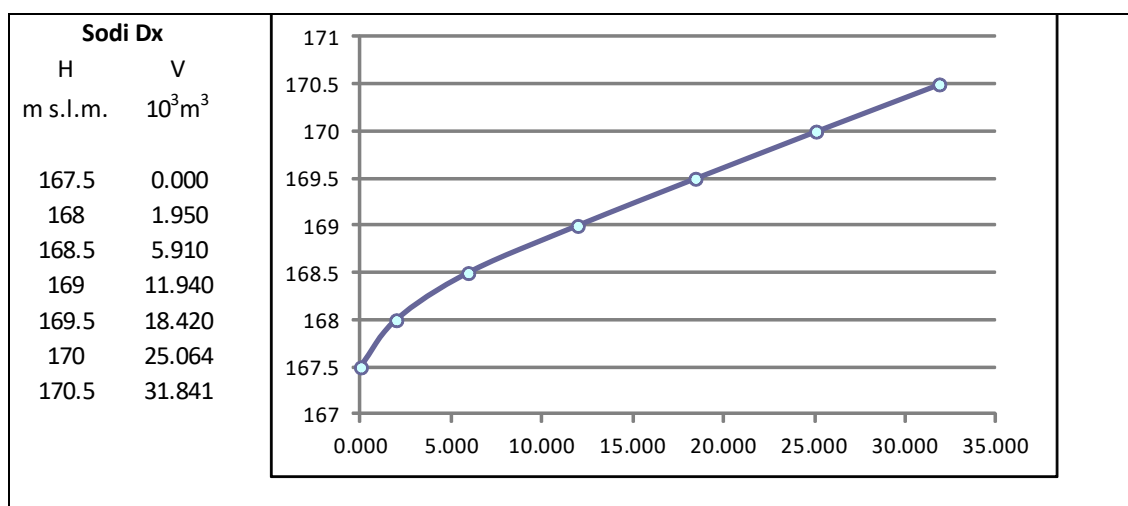


**Figura 17** - planimetria delle Storage Areas riferite al Borro dei Sodi

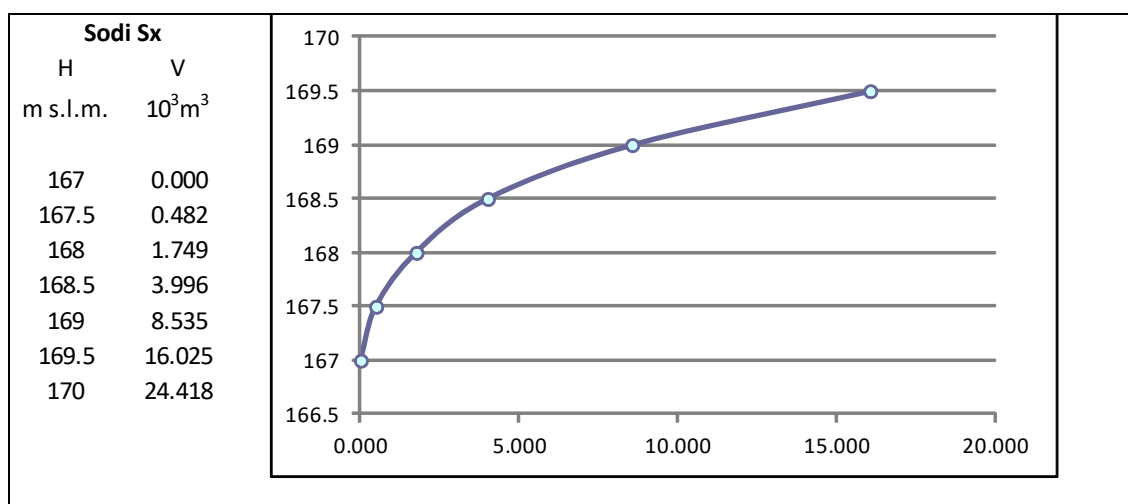
Le curve di invaso relative alle celle di accumulo sono state ricavate dai dati LIDAR, avvalendosi delle curve di livello estrapolate ogni 10 cm.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	40 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



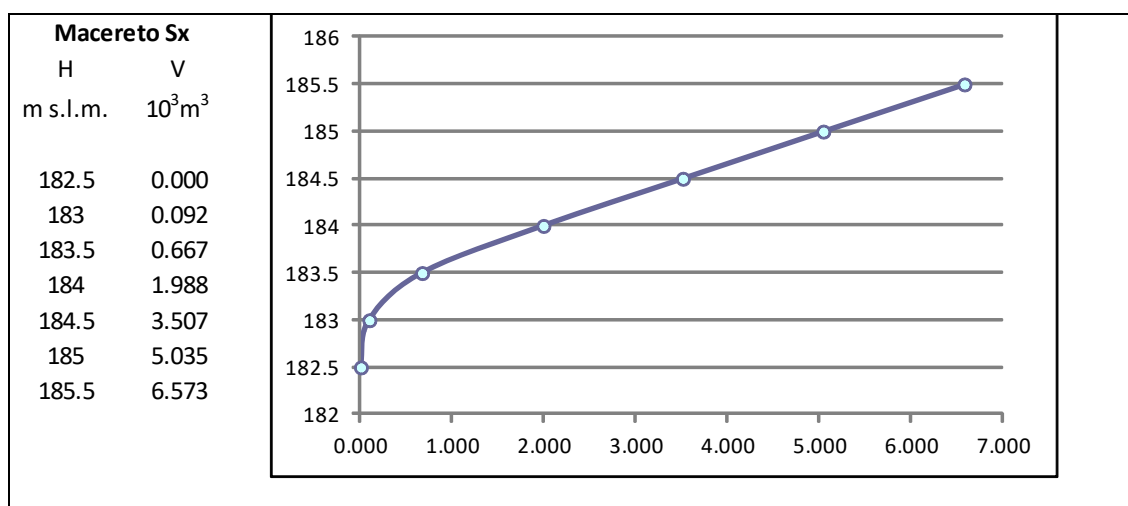


**Figura 18 - Curva di invaso della Storage Area Sodi dx**

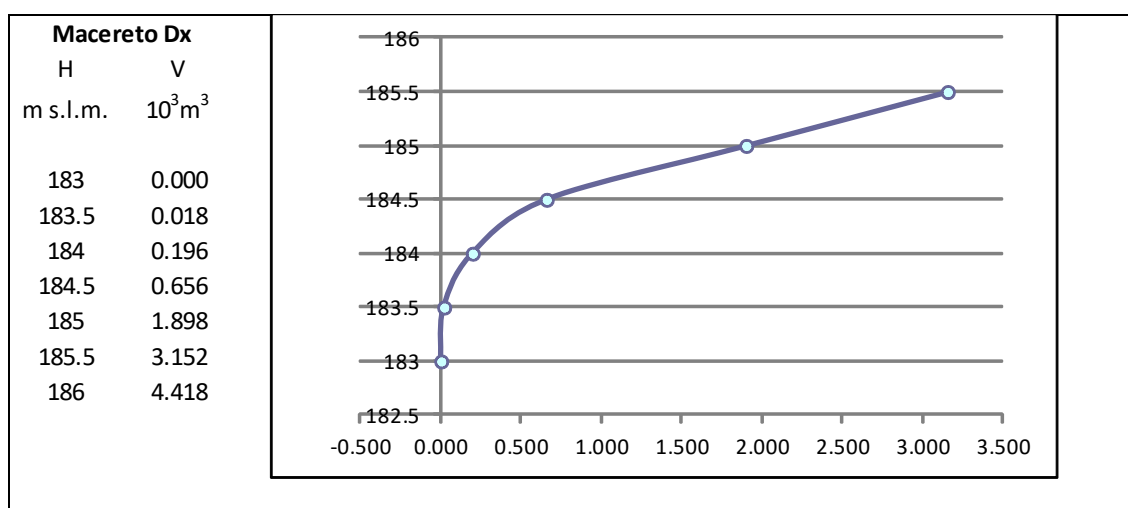


**Figura 19 - Curva di invaso della Storage Area Sodi sx**

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	41 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO\STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

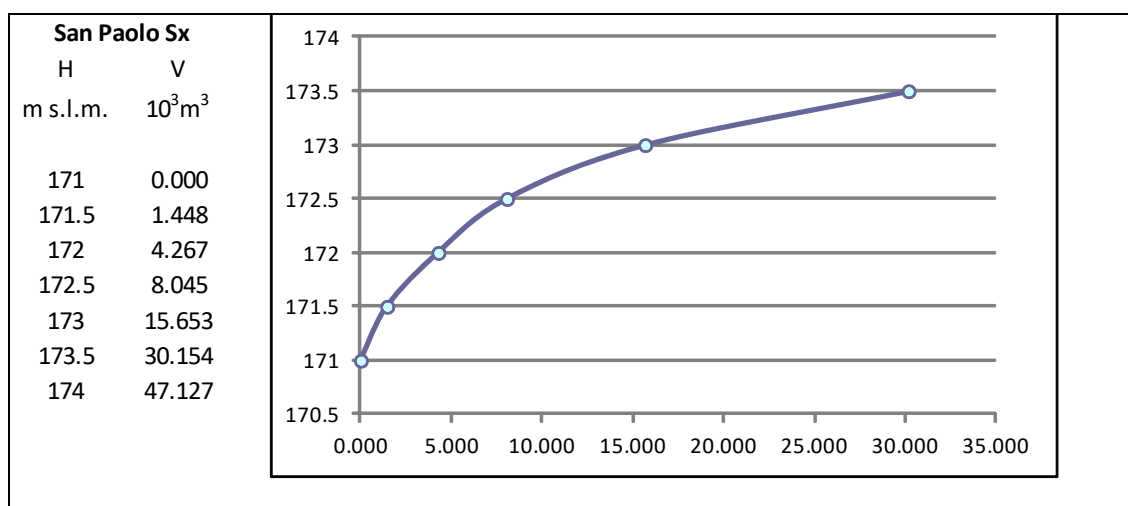


**Figura 20** - Curva di invaso della Storage Area Macereto sx

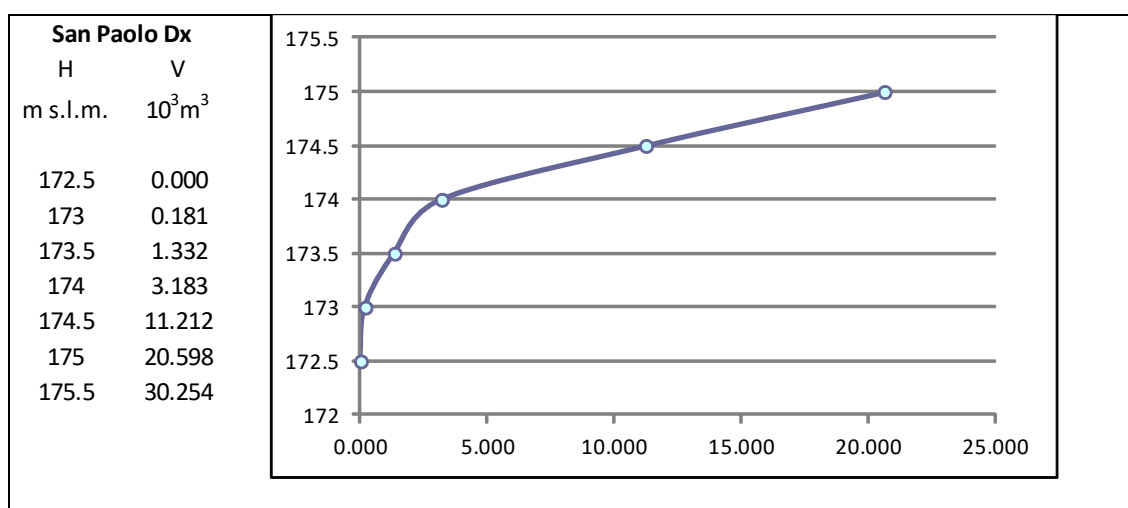


**Figura 21** - Curva di invaso della Storage Area Macereto dx

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	42 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

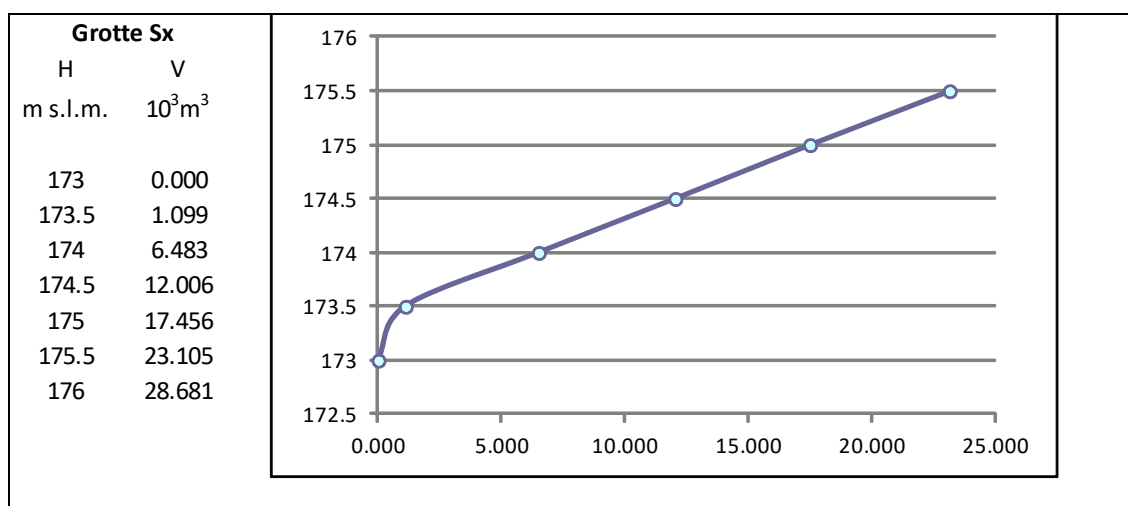


**Figura 22** - Curva di invaso della Storage Area San Paolo sx

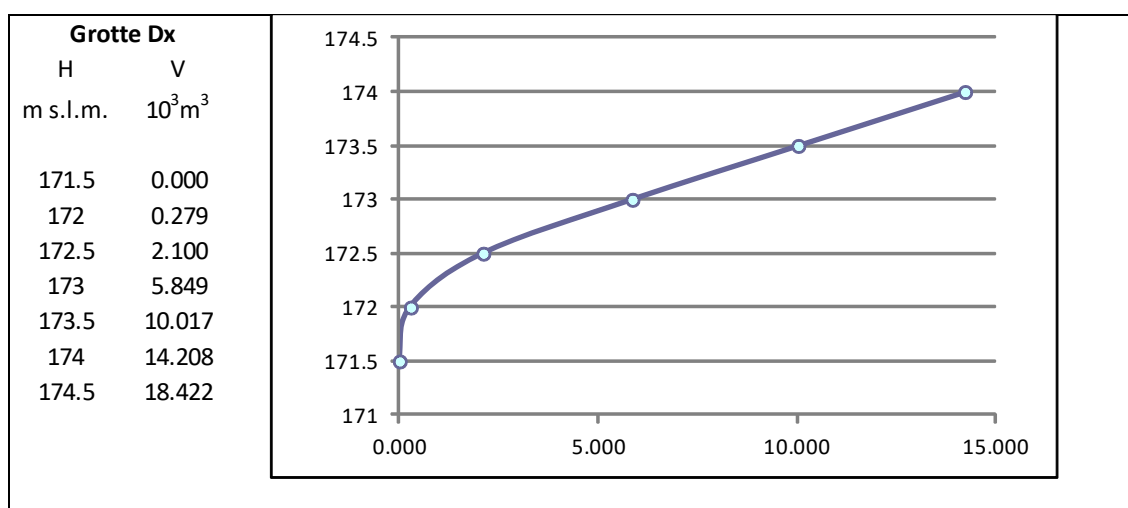


**Figura 23** - Curva di invaso della Storage San Paolo dx

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	43 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 24** - Curva di invaso della Storage Area Grotte sx



**Figura 25** - Curva di invaso della Storage Area Grotte dx

Come condizioni di monte sono stati inseriti gli idrogrammi di piena, così come descritti nei capitoli precedenti (si rimanda ai modelli per le informazioni di dettaglio), mentre come condizione di valle è stata utilizzata l'altezza di moto uniforme, imponendo come *friction slope* la pendenza media dell'alveo nel tratto finale del modello.

Nello specifico, le condizioni di monte sono:

- Idrogrammi calcolati per le aste Borro dei Sodi, Borro delle Grotte, Borro di Macereto, Borro di San Paolo, inseriti come idrogrammi in ingresso nei rispettivi rami del modello idraulico;

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	44 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

- Idrogrammi calcolati per le aste Borro di Ponetole, Rio presso Cimitero, Rio Panigliole, Rio pressi Campo Sportivo, Rio Poggio Petroio, Borro di Fabbrica, Rio di Capalle, valutati come contributo laterale nel Torrente Pesa;
- Idrogramma calcolato per l'asta di interbacino modellato come contributo uniforme laterale.
- Idrogramma calcolato per il Borro Inferno come da risultanza del modello dedicato "Borro Inferno"

Per le scabrezze nel corso d'acqua sono stati assunti valori del coefficiente di Manning:

- $n$  pari a 0.035 - 0.04  $s\ m^{-1/3}$  per l'alveo principale in zone poco antropizzate;
- $n$  pari a 0.04 - 0.045  $s\ m^{-1/3}$  per le zone golenali in zone poco antropizzate;
- $n$  pari a 0.02  $s\ m^{-1/3}$  per l'alveo principale in zone antropizzate;
- $n$  pari a 0.025  $s\ m^{-1/3}$  per le zone golenali in zone antropizzate.

### 6.1.3 Modelli degli affluenti

Come premesso, per quanto riguarda i corsi d'acqua Rio di Capalle, Rio presso Campo Sportivo, Rio Panigliole, Borro Inferno e Rio presso Cimitero, i quali, nell'attraversare l'area urbana ed industriale, scorrono per gran parte tombati con sbocco nei pressi dell'immissione nel Torrente Pesa, sono stati realizzati singoli modelli geometrici, utilizzando come condizione di monte l'idrogramma di piena e come condizione di valle, dove ritenuto necessario, la quota massima raggiunta dal tirante idrico nel Torrente Pesa, o qualora questa sia inferiore alla minima quota di nella sezione di chiusura dell'alveo dell'affluente, è stata utilizzata la *friction slope*.

## 6.2 Modello FLO-2D

### 6.2.1 Modello Pesa

La modellazione bidimensionale implementata per tenere conto della possibile reimmissione dei volumi esondati dagli affluenti minori nel Torrente Pesa e per la perimetrazione delle aree a pericolosità da alluvione lungo gli affluenti principali, è stata effettuata tramite il programma di calcolo FLO-2D versione 2009.06.

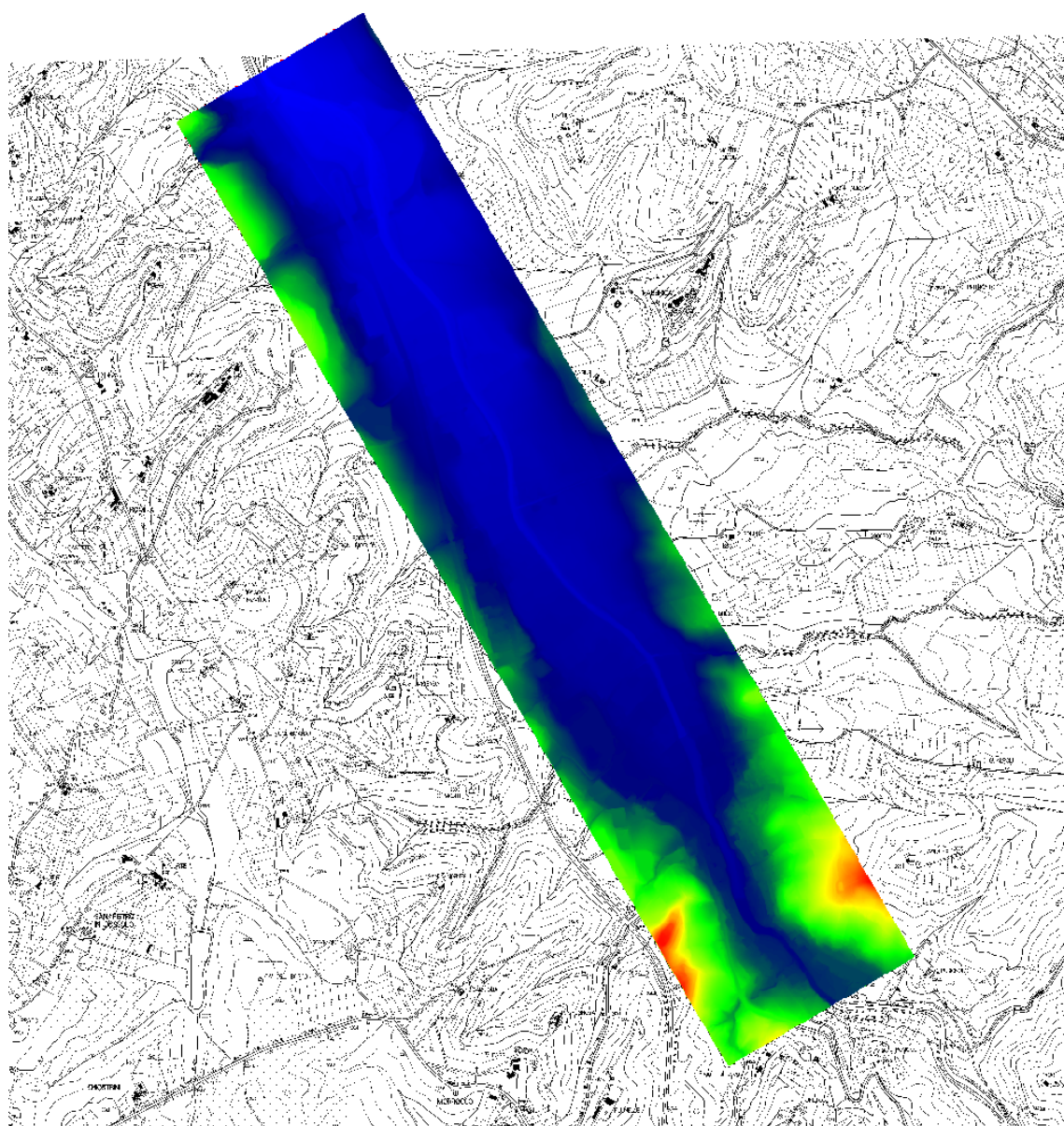
Il software FLO-2D presenta le seguenti caratteristiche principali:

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	45 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

- è un modello fisicamente basato;
- conserva i volumi e ne fornisce un report.

La preparazione dei dati di ingresso per le modellazioni bidimensionali è stata condotta nel modo seguente:

1. Importazione in formato ASCII del GRID a maglia 2 m ricavato dal TIN del terreno, costruito a sua volta a partire dai dati LIDAR forniti dalla Regione Toscana;



**Figura 26** – Modello bidimensionale implementato con il software FLO-2D.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	46 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



2. Scelta della dimensione delle celle costituenti la griglia di calcolo in base al criterio di stabilità  $Q_{\text{picco}} / A_{\text{cella}} < 0.15 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , con  $Q_{\text{picco}}$  portata massima in arrivo ad una cella e  $A_{\text{cella}}$  superficie della singola cella;
3. Perimetrazione dominio di calcolo;
4. Definizione scabrezze in base al tipo di superficie;
5. Interpolazione quote e assegnazione quota alle singole celle;
6. Verifica delle quote assegnate in fase di interpolazione automatica e, dove necessario, locale modifica manuale (ad esempio sottopassi, argini);
7. Inserimento dati di outflow (celle in cui l'acqua esce dal sistema) e di inflow (idrogrammi di piena che invadono la floodplain estratti dagli sfioratori laterali dei modelli HEC-RAS).
8. Inserimento di reduction factors per le celle occupate da edificio esistente.

La modellazione è stata condotta con celle quadrate di lato pari a 15 m (Figura 26); come dati in ingresso sono stati utilizzati gli idrogrammi sfioranti da ciascuna *lateral structure* che determinano la massima esondazione in termini di volumetrie.

Nei tratti del Torrente Pesa a valle dell'immissione degli affluenti, ad una distanza tale da non risentire degli effetti delle confluenze, sono stati inseriti nel modello bidimensionale degli elementi outflow (celle in cui l'acqua esce dal sistema).

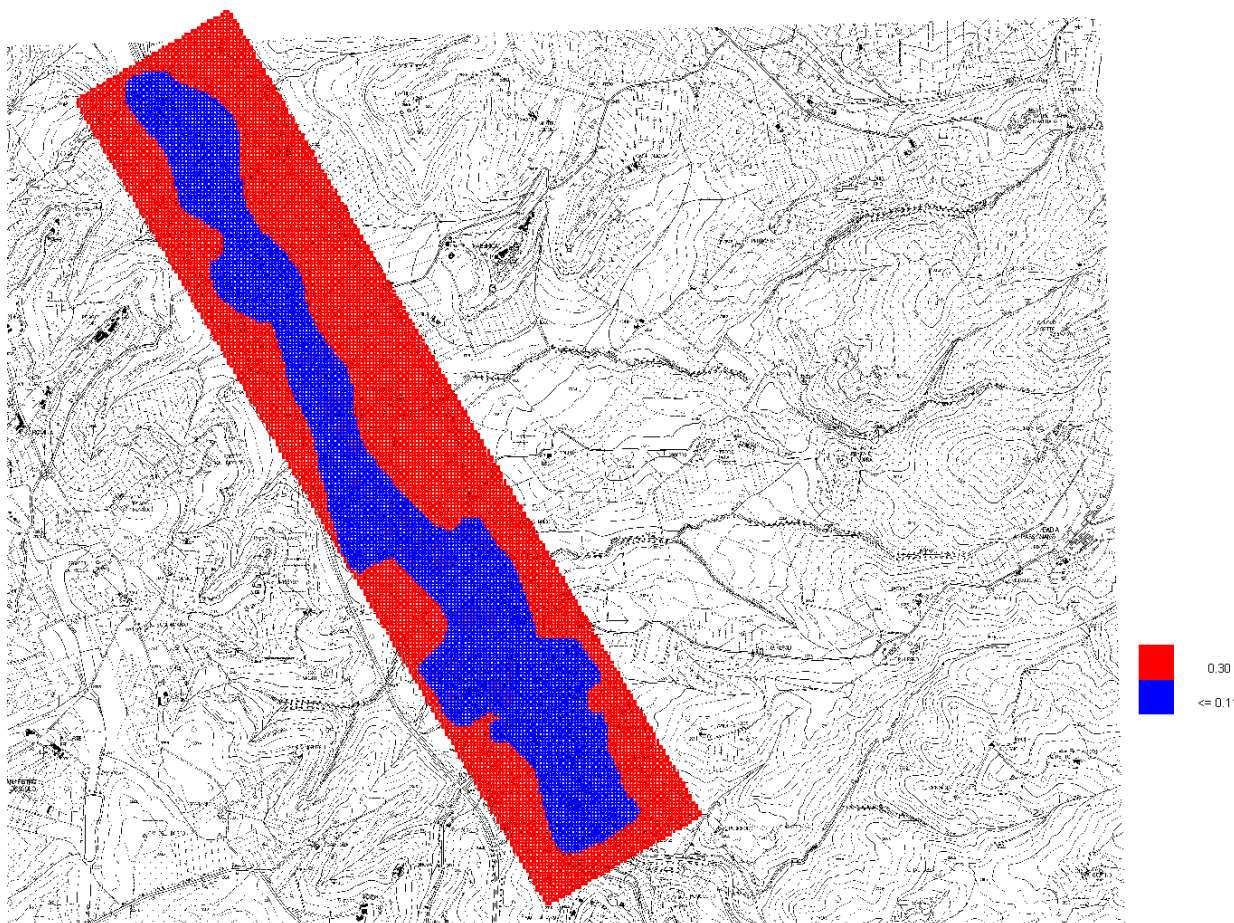
COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	47 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 27** - Modello bidimensionale implementato con il software FLO-2D - Individuazione outflow e reduction factors.

La scabrezza assunta per il territorio aperto è pari a  $n_{\text{Manning}} = 0.3 \text{ s m}^{-1/3}$ , mentre nelle porzioni urbanizzate è stato adottato il valore  $n_{\text{Manning}} = 0.11 \text{ s m}^{-1/3}$  (Figura 28).

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	48 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		



**Figura 28** – Scabrezze adottate nel modello bidimensionale implementato con il software FLO-2D.

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle modellazioni idrauliche monodimensionali e bidimensionali sono emerse alcune criticità nello smaltimento delle portate di piena da parte degli affluenti del Torrente Pesa, i quali sono caratterizzati da sezioni talvolta insufficienti e dalla presenza di alcuni tratti tombati sottodimensionati che nelle aree urbane creano intralcio al normale deflusso delle portate idriche, già per eventi con tempo di ritorno trentennale.

### 6.2.2 Modello Borro Inferno

La modellazione bidimensionale ha riguardato il Borro Inferno tramite apposito modello di allagabilità per Tr 30 e Tr 200 anni

La preparazione dei dati di ingresso per le modellazioni bidimensionali è stata condotta secondo quanto esposto al punto 6.2.1.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	49 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

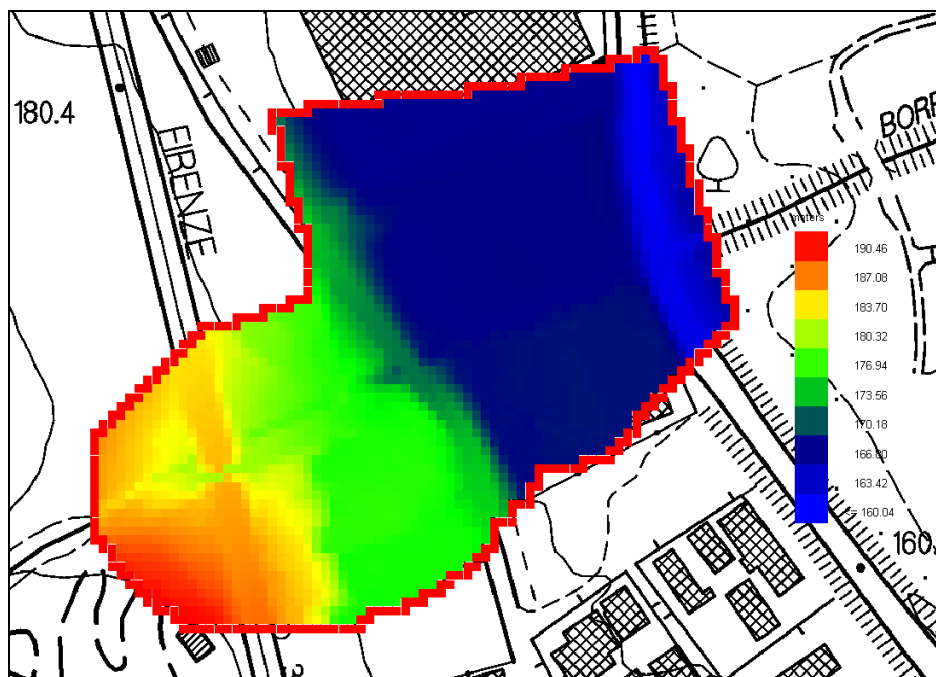


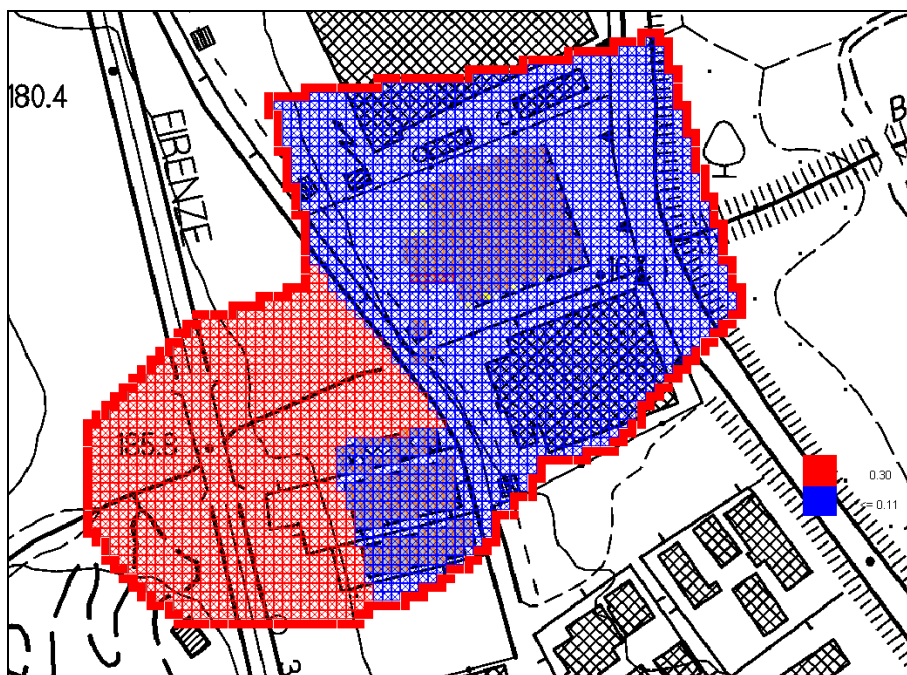
Figura 29 - Dati altimetrici dell'area modellata tramite software FLO-2D



Figura 30 - caratterizzazione geometrica dell'area di studio tramite software FLO-2D

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	50 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

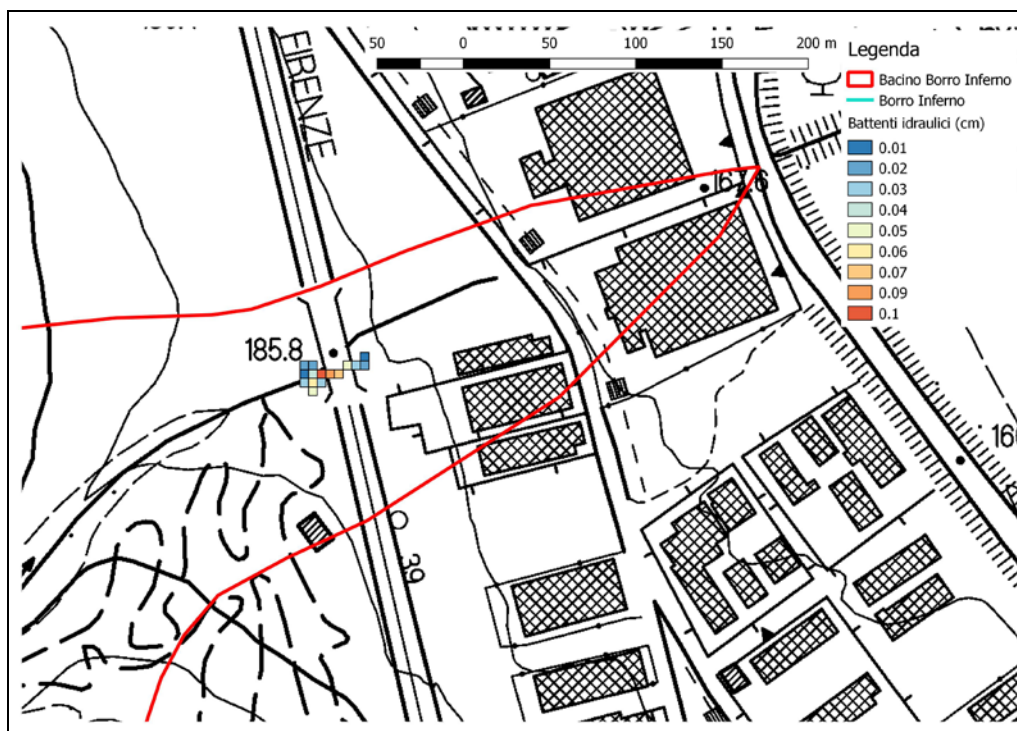




**Figura 31** - caratterizzazione dell'indice di scabrezza di Manning dell'area di studio tramite software FLO-2D

Nella modellazione bidimensionale eseguita per un evento di piena con tempo di ritorno 30 anni, l'immissione dell'idrogramma esondativo derivato dai risultati della modellazione Hec-Ras 5.0.3, inserito immediatamente a monte del sottopasso del Raccordo Autostradale Firenze-Siena, ha dato come risultato un allagamento in destra idrografica tale da occupare il sottopasso carrabile del raccordo per poi reinserirsi nell'alveo del Borro Inferno.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	51 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

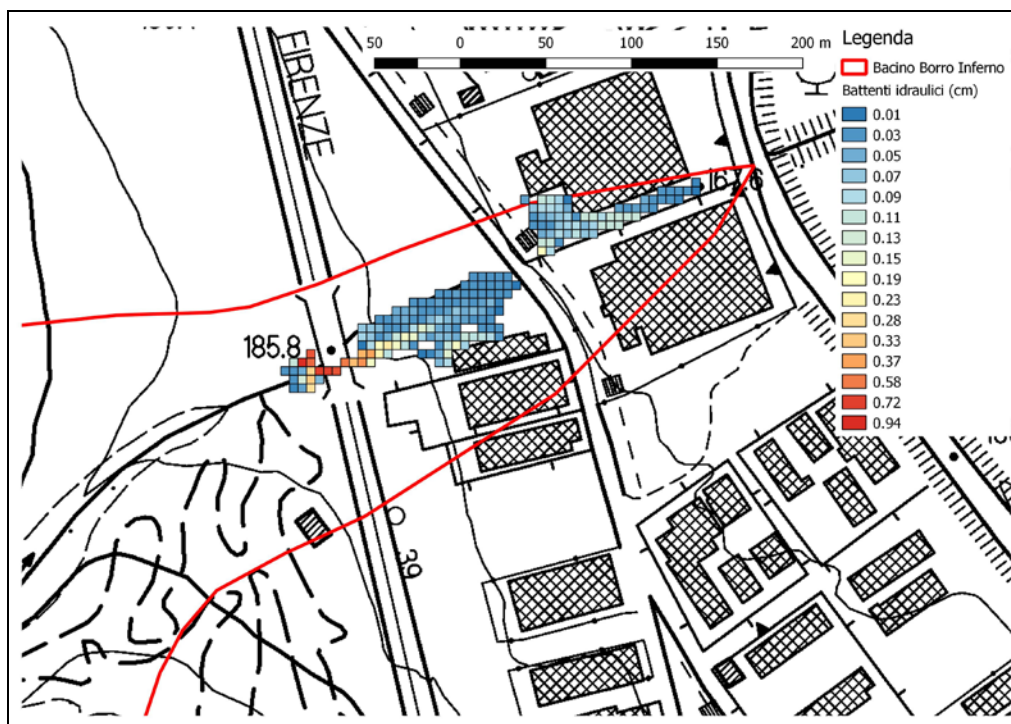


**Figura 32** – Battenti idraulici (in cm) dovuti ad un evento di piena con tempo di ritorno 30 anni

Nella modellazione bidimensionale eseguita per un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni, l'immissione dell'idrogramma esondativo derivato dai risultati della modellazione Hec-Ras 5.0.3, inserito immediatamente a monte del sottopasso del Raccordo Autostradale Firenze-Siena, ha dato come risultato un allagamento in destra idrografica tale da occupare il sottopasso carrabile del raccordo, lambire il fabbricato adiacente, per poi reinserirsi nell'alveo del Borro Inferno senza che sia raggiunta la sottostante via Leonardo da Vinci. Contestualmente, l'immissione dell'idrogramma esondativo derivato dai risultati della modellazione Hec-Ras, inserito immediatamente a valle di via Leonardo da Vinci, ha dato come risultato un allagamento in sinistra idrografica del piazzale dell'adiacente plesso industriale, per poi reinserirsi nel T. Pesa.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	52 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		





**Figura 33** - Battenti idraulici (in cm) dovuti ad un evento di piena con tempo di ritorno 200 anni

Nella caratterizzazione del modello bidimensionale non è stato tenuto conto, in via precauzionale, della presenza di un sistema di smaltimento delle acque meteoriche presente nel piazzale dell'area industriale in sinistra del Borro Inferno a valle di via Leonardo da Vinci.

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	53 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 7 PERIMETRAZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE

Le perimetrazioni delle classi di pericolosità I.4 e I.3 sono state eseguite come inviluppo dei risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche per le durate critiche individuate riportando i tiranti idraulici ottenuti dalle modellazioni sul rilievo LIDAR, disponibile per tutto il corso del Torrente Pesa e per i tratti finali dei suoi affluenti, o sulla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2.000 e 1:10.000, per il territorio limitrofo.

La proposta di perimetrazione della classe I.2 è stata eseguita a partire dallo strato informativo messo a disposizione dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno sulle aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni, su cui sono state apportate modifiche ed integrazioni ove necessario, su criteri morfologico e sulla base dello strato indicato come pianura alluvionale del CARG in scala 1:10.000 della Regione Toscana.

Le risultanze del presente studio idrologico ed idraulico, redatto su incarico del Comune di Tavarnelle Val di Pesa a supporto della redazione del Piano Operativo, vengono fornite le proposte di nuove perimetrazioni delle classi di pericolosità da alluvione, così come indicato nel regolamento d'attuazione dell'art. 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio), approvato con DPGR del 25 ottobre 2011 n.53/R, secondo la seguente corrispondenza:

- *pericolosità da alluvione molto elevata (I.4), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con  $Tr \leq 30$  anni;*
- *pericolosità da alluvione elevata (I.3), corrispondenti ad aree inondabili con  $30 < Tr \leq 200$  anni;*
- *pericolosità da alluvione media (I.2), corrispondenti ad aree inondabili con  $200 < Tr \leq 500$  anni;*

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	54 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		

## 8 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La definizione delle aree allagabili 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 future 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 al regolamento urbanistico, delle variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali e artificiali interferenti con le aree investigate.

Arezzo, Febbraio 2018

Geol Massimiliano Rossi

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Gregorio Bartolucci

Ing. Mirko Frasconi

COMMITTENTE: Comune di Tavarnelle Val di Pesa (FI)	Rev.	Data	Pagina
OGGETTO: Relazione idrologico-idraulica a supporto del Piano Operativo	1	07/02/2018	55 di 55
	R:\Tavarnelle_Val_di_Pesa\PIANO_OPERATIVO \STUDIO_IDRAULICO\05_DOC		
RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA	Relazione idrologico-idraulica.doc		