

COMUNE DI SCANDICCI  
Provincia di Firenze



PROGETTO:

STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO A SUPPORTO  
DELLA REVISIONE QUINQUENNALE DEL REGOLAMENTO URBANISTICO  
E DELLA VARIANTE DI AGGIORNAMENTO DEL PIANO STRUTTURALE  
DEL COMUNE DI SCANDICCI

OGGETTO:

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

ELABORATO: R01	REV: 00	DATA: Maggio 2013	SCALA: -	NUMERO COMMESSA: L670	NOME FILE: R01.pdf
-------------------	------------	----------------------	-------------	--------------------------	-----------------------

 <b>Via Bonifacio Lupi, 1</b> 50129 - FIRENZE Tel. 055 484206 / 055 491896 Email: segreteria.firenze@physis.net	PROGETTISTA: Dott. Ing. David Settesoldi	COLLABORATORI: Ing. Martina Alderighi Geol. Silvia Angelini Geom. Daniele Natali
		COMMITTENTE: Comune di Scandicci Piazzale della Resistenza 50018 Scandicci - Firenze (FI)

02			
01			
00	17/05/13	PRIMA EMISSIONE	
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICHE	

--	--	--	--

**PROVINCIA DI FIRENZE**

**Comune di Scandicci**

**STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO A SUPPORTO DELLA REVISIONE  
QUINQUENNALE DEL REGOLAMENTO URBANISTICO E DELLA  
VARIANTE DI AGGIORNAMENTO DEL PIANO STRUTTURALE DEL  
COMUNE DI SCANDICCI**

RELAZIONE

Physis s.r.l.  
Ingegneria per l'Ambiente

Ing. David Settesoldi

Firenze

maggio 2013

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>IL QUADRO CONOSCITIVO .....</b>	<b>20</b>
2.1	DATI TERRITORIALI .....	20
2.2	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO .....	20
2.3	LE SEZIONI FLUVIALI .....	20
<b>3</b>	<b>L'ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>22</b>
3.1	CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DEL FIUME ARNO.....	22
3.2	CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DEGLI AFFLUENTI .....	26
<b>4</b>	<b>IL MODELLO IDRAULICO .....</b>	<b>38</b>
4.1	IL MODELLO IN MOTO VARIO.....	38
4.2	IL MODELLO DI INONDAZIONE QUASI - BIDIMENSIONALE .....	41
4.3	IL MODELLO DI INONDAZIONE BIDIMENSIONALE.....	43
<b>5</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA.....</b>	<b>50</b>
5.1	IL MODELLO DIGITALE DELLE AREE INONDABILI .....	50
5.2	LE CONDIZIONI AL CONTORNO .....	51
5.3	L'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI SAN COLOMBANO.....	51
<b>6</b>	<b>ANALISI IDRAULICA .....</b>	<b>53</b>
6.1	ANALISI DEI RISULTATI .....	53
<b>7</b>	<b>PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA.....</b>	<b>55</b>
7.1	CONFRONTO CON GLI STUDI PRECEDENTI .....	55

## ELENCO FIGURE

Figura 1-1 . Aree di studio Arno .....	8
Figura 1-2 . Carta degli ambiti fluviali del PS zona Nord.....	9
Figura 1-3 . Legenda carta degli ambiti fluviali del PS .....	9
Figura 1-4 . Carta dei battenti idraulici per il tempo di ritorno di 200 anni .....	10
Figura 1-5 . Legenda della carta dei battenti idraulici.....	10
Figura 1-6 . Carta della pericolosità idraulica ai sensi del PAI .....	11
Figura 1-7 . Legenda della carta della pericolosità idraulica ai sensi del PAI.....	11
Figura 1-8 . Opere di regimazione idraulica e reticolo idrografico.....	12
Figura 1-9 . Legenda opere di regimazione idraulica e reticolo idrografico.....	12
Figura 1-10 . Carta della pericolosità idraulica.....	13
Figura 1-11 . Legenda carta della pericolosità idraulica.....	13
Figura 1-12 . Aree inondate del Piano Rischio Idraulico .....	14
Figura 1-13 . Legenda aree inondate del Piano Rischio Idraulico.....	14
Figura 1-14 . Aree di pertinenza fluviale del Piano Rischio Idraulico .....	15
Figura 1-15 . Legenda aree di pertinenza fluviale del Piano Rischio Idraulico.....	15
Figura 1-16 . Interventi del Piano Stralcio Rischio Idraulico.....	16
Figura 1-17 . Legenda interventi del Piano Stralcio Rischio Idraulico .....	16
Figura 1-18 . Carta dei battenti di esondazione per Tr 30 anni (Studio Università di Pisa) .....	17
Figura 1-19 . Carta dei battenti di esondazione per Tr 100 anni (Studio Università di Pisa) .....	18
Figura 1-20 . Carta dei battenti di esondazione per Tr 200 anni (Studio Università di Pisa) .....	19
Figura 1-21 . Legenda carta dei battenti di esondazione (Studio Università di Pisa) .....	19
Figura 2-1 . Tratti di studio e sezioni fluviali .....	21
Figura 3-1 . Bacini idrografici affluenti.....	23
Figura 3-2 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 529 per la durata di 24 ore .....	24
Figura 3-3 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 512 per la durata di 24 ore .....	24
Figura 3-4 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 529 per la durata di 3 ore .....	25
Figura 3-5 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 512 per la durata di 3 ore .....	25
Figura 3-6 . Regressione area . TI per la zona del capoluogo .....	27
Figura 3-7 . Uso del suolo.....	30
Figura 3-8 . Geolitologia.....	31
Figura 3-9 . Topoietè.....	32
Figura 4-1 . Scala di deflusso a valle del ponte Signa-Lastra a Signa. ....	41
Figura 4-2 . Griglia di calcolo equazione di continuità.....	44
Figura 4-3 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo X.....	47
Figura 4-4 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y.....	48
Figura 5-1 . Schema del sistema oggetto di studio. ....	51
Figura 7-1 . Idrogrammi sul fiume Arno a valle della confluenza della Greve. ....	56
Figura 7-2 . Idrogrammi sul fiume Arno a valle del ponte Signa-Lastra a Signa. ....	56
Figura 7-3 . Idrogramma del torrente Vingone alla confluenza. ....	57

## ELENCO TABELLE

Tabella 3-1 . Calcolo del tempo di ritardo per gli affluenti .....	27
Tabella 3-2 . Valori di $l_a$ per i diversi usi del suolo.....	27
Tabella 3-3 . Valori del $K_s$ per le diverse formazioni.....	28

Tabella 3-4 . Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.....	29
Tabella 3-5 . Parametri del modello ALTO.....	34
Tabella 3-6 . Parametri del modello ALTO alle confluenze.....	34
Tabella 3-7- Parametri nelle sezioni di controllo .....	34
Tabella 3-8- Parametri nelle sezioni di controllo forniti dal modello Alto .....	35
Tabella 3-9 . Risultati del modello ALTO alla confluenza degli affluenti.....	36
Tabella 3-10 . Durate e area per le diverse simulazioni nell'area capoluogo .....	36
Tabella 3-11 . Portate nelle sezioni di controllo .....	37
Tabella 3-12 . Portate nelle sezioni di controllo con parametri RT.....	37

## ELENCO ELABORATI

- Relazioni

R01 - Relazione idrologica e idraulica

- Allegati

A01 - Tabulati delle verifiche idrauliche

A02 - Sezioni fluviali e livelli idrometrici

- Tavole

T01 - Bacini idrografici

T02 - Planimetria sistema idraulico

T03 - Profili longitudinali

T04 - Planimetria battenti idrici e velocità

T05 - Aree inondabili

T06 - Pericolosità idraulica ai sensi del 53/R

T07 - Pericolosità idraulica ai sensi del PAI

## 1 PREMESSA

Il presente studio è relativo alla valutazione della pericolosità idraulica a supporto della revisione quinquennale del regolamento urbanistico e della variante di aggiornamento del piano strutturale del comune di Scandicci.

La variante al vigente Piano Strutturale è stata adottata dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 30 del 23.02.2012. La revisione quinquennale del vigente Regolamento Urbanistico è stata adottata dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 31 del 23.02.2012.

Il Genio Civile di Firenze, nell'ambito della procedura di controllo degli elaborati depositati, ha formulato con nota del 21.12.2012 una serie di osservazioni di carattere idraulico. Il presente studio è finalizzato a rispondere a quanto richiesto al paragrafo 1.4 punto d) della suddetta nota.

Al fine di valutare correttamente le criticità idrauliche il sistema idraulico studiato comprende anche alcuni affluenti del fiume Arno e del torrente Vingone in sponda sinistra di quest'ultimo già oggetto di un precedente studio condotto per il comune di Lastra a Signa.

Le indagini sono state condotte per in riferimento ai seguenti corsi d'acqua:

- Fiume Arno, Torrente Vingone, Borro del Bacino, Borro della Guardiania, Borro di Rimaggio, Fosso Stagno, Fosso Stagnolo, Rigone e l'affluente Dogaia e Dogaione.

Le indagini saranno condotte ai sensi del regolamento 53/R e secondo quanto stabilito all'Allegato 2 del PAI della Autorità di Bacino del fiume Arno.

Le verifiche idrauliche sono state condotte per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni secondo con modellazione monodimensionale in moto vario delle aste fluviali e bidimensionale delle aree di esondazione. Per ciascun tempo di ritorno saranno fornite le aree inondabili, i battenti di esondazione e le velocità di propagazione.

Le aree oggetto di studio sono riportate Figura 1-1.

Nella Figura 1-2 e Figura 1-3 si riporta la carta degli ambiti e delle aree allagate del Piano Strutturale adottato.

Nella Figura 1-4 e Figura 1-5 si riporta la carta dei battenti idraulici per il tempo di ritorno di 200 anni del Piano Strutturale adottato.

Nella Figura 1-6 e Figura 1-7 si riporta la carta della pericolosità idraulica ai sensi del PAI del Piano Strutturale adottato.

Nella Figura 1-8 e Figura 1-9 si riporta la carta delle opere di regimazione e del reticolo idraulico del Piano Strutturale adottato.

Nella Figura 1-10 e Figura 1-11 si riporta la carta della pericolosità idraulica del Piano Strutturale adottato.

Nella Figura 1-12 e Figura 1-13 si riportano le aree inondate del Piano Stralcio Rischio Idraulico. Il comune di Scandicci ricade sia in aree interessate da esondazioni eccezionali che ricorrenti.

Nella Figura 1-14 e Figura 1-15 si riportano le aree di pertinenza fluviale del Piano Stralcio Rischio Idraulico.

Nella Figura 1-16 e Figura 1-17 si riporta la carta degli interventi strutturali del Piano di Assetto Idrogeologico.

Nella Figura 1-18, Figura 1-19, Figura 1-20 e Figura 1-21 si riportano le aree inondabili con i battenti di esondazione per i tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni per l'area del capoluogo ricavate nello studio della Università di Pisa. Pericolosità idraulica di aree poste in Sx del F. Arno nei comuni di Scandicci e Lastra a Signa.

Lo studio prende in esame le esondazioni del fiume Arno, del fiume Greve e del torrente Vingone. Si osserva che non vi sono esondazioni significative per il tempo di ritorno di 30 anni mentre le esondazioni interessano le aree in sinistra e in destra idraulica del torrente Vingone a partire dal tempo di ritorno di 100 anni.

Per quanto riguarda l'idrologia del fiume Arno sono stati utilizzati gli idrogrammi del PAI a monte dell'abitato di Firenze. Per quanto riguarda l'idrologia del fiume Greve e del torrente Vingone è stato utilizzato il programma Idrarno. Preme osservare che per il fiume Greve e per il torrente Vingone è stata assunta la condizione al contorno di valle in Arno relativa al tempo di ritorno di 30 anni per tutti i tempi di ritorno analizzati.

Il calcolo idraulico del fiume Arno è stato realizzato con il software Mike 11 con le sezioni rilevate dal Provveditorato alle Opere Pubbliche nel 2002.

I rilievi per il fiume Greve e per il torrente Vingone sono stati messi a disposizione dal Consorzio di Bonifica dell'Area Fiorentina e dal Consorzio di Bonifica delle Colline del Chianti.

Il calcolo idraulico del fiume Greve e del torrente Vingone è stato condotto con il software Hec-Ras. Per il fiume Greve sono state utilizzate le sezioni fornite dal consorzio di Bonifica Colline del Chianti relative al rilievo del 2008.

La propagazione nelle aree inondabili è stata condotta con il modello FIM2D.

Il presente studio è stato condotto ai sensi del regolamento 53/R della Regione Toscana e in riferimento all'allegato 2 del Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Arno.

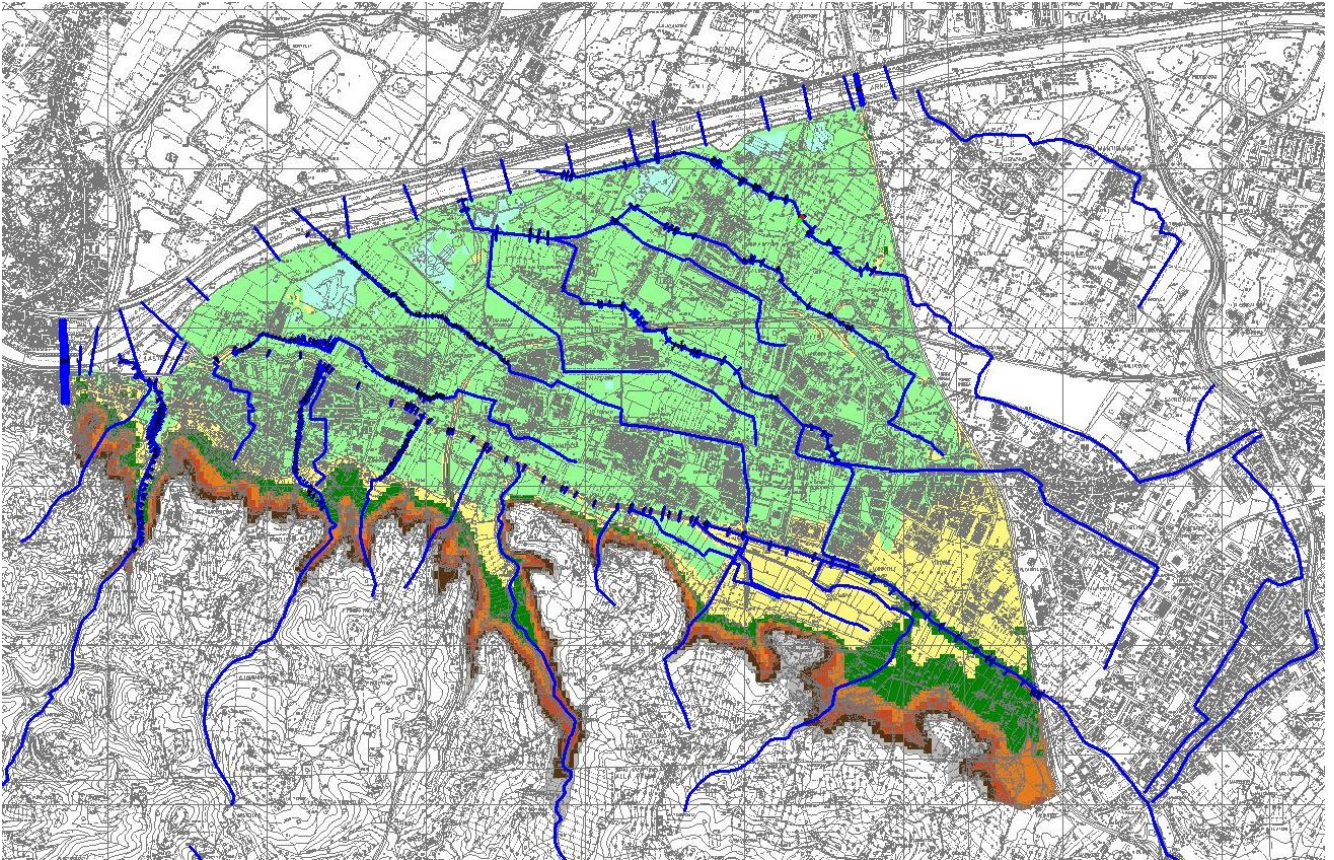
In particolare sono state condotte verifiche idrauliche per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni con modellazione in moto vario dei canali e bidimensionale delle aree di esondazione.

Le attività previste per la redazione dello studio sono le seguenti:

- acquisizione del quadro conoscitivo ;
- analisi idrologica;
- analisi idraulica;
- perimetrazione delle aree inondabili e della pericolosità e valutazione dei battenti;



- definizione e verifica degli interventi di messa in sicurezza.



*Figura 1-1 . Aree di studio Arno*

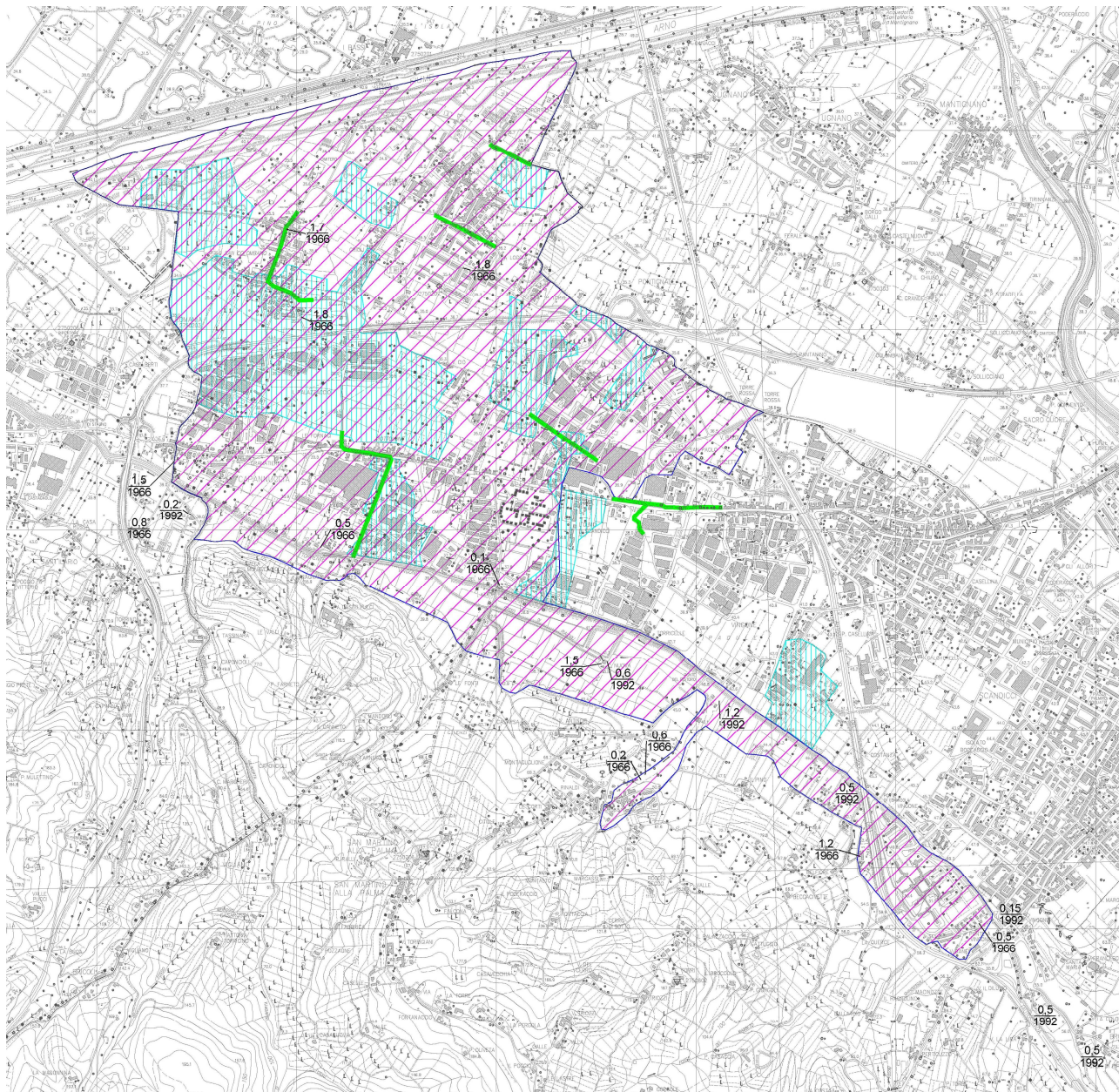


Figura 1-2 . Carta degli ambiti fluviali del PS zona Nord

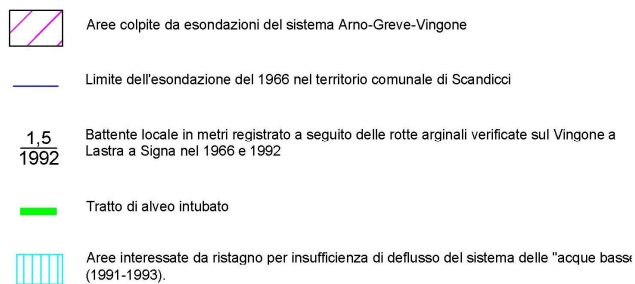


Figura 1-3 . Legenda carta degli ambiti fluviali del PS

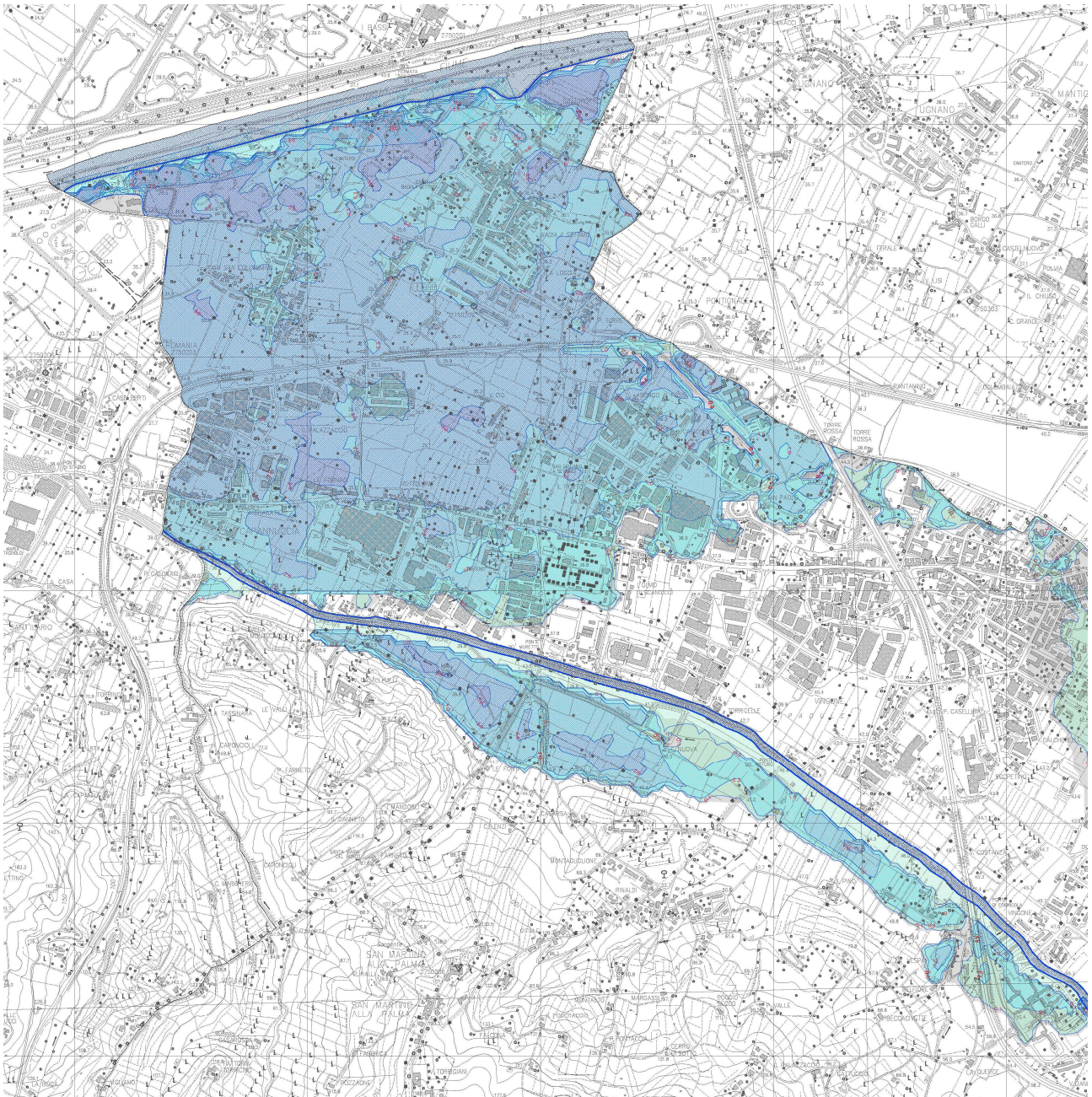


Figura 1-4 . Carta dei battenti idraulici per il tempo di ritorno di 200 anni

ALTEZZA D'ACQUA DI ESONDAZIONE PER TEMPI DI RITORNO DI 200 ANNI

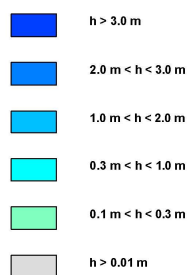


Figura 1-5 . Legenda della carta dei battenti idraulici

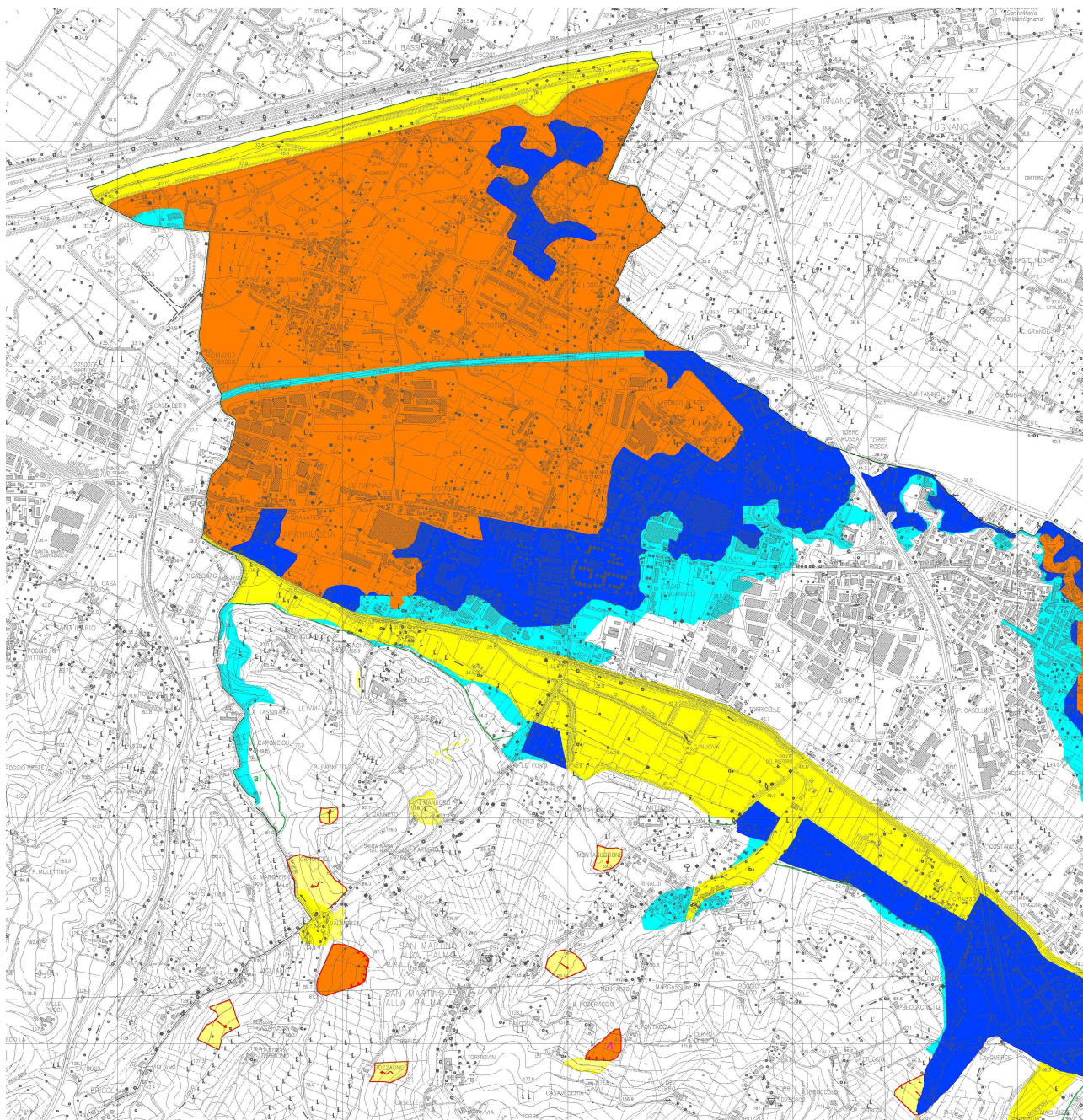


Figura 1-6 . Carta della pericolosità idraulica ai sensi del PAI

CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA





P.I. 4		pericolosità idraulica molto elevata (P.I.4) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR ≤ 30 anni e con battente h ≥ 30 cm
P.I. 3		pericolosità idraulica elevata (P.I.3) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno TR 30 anni con battente h < 30 cm e aree inondabili da un evento con tempo di ritorno 30 < TR ≤ 100 anni e con battente h ≥ 30 cm.
P.I. 2		pericolosità idraulica media (P.I.2) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 30 < TR ≤ 100 anni e con battente h < 30 cm e aree inondabili da eventi con tempo di ritorno 100 < TR ≤ 200 anni.
P.I. 1		classe di pericolosità moderata (P.I.1) comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno < TR ≤ 500 anni

Figura 1-7 . Legenda della carta della pericolosità idraulica ai sensi del PAI

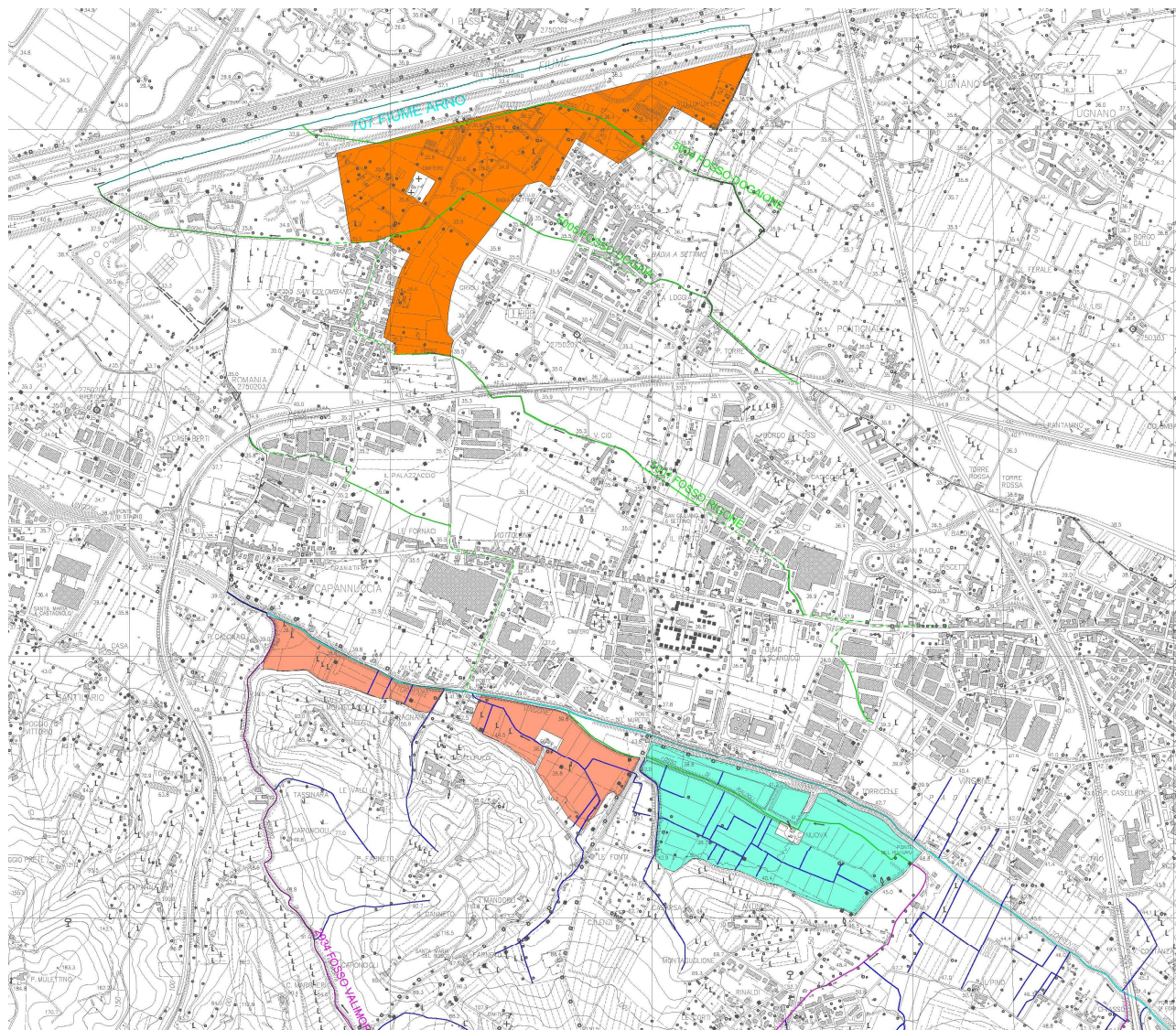


Figura 1-8 . Opere di regimazione idraulica e reticolo idrografico

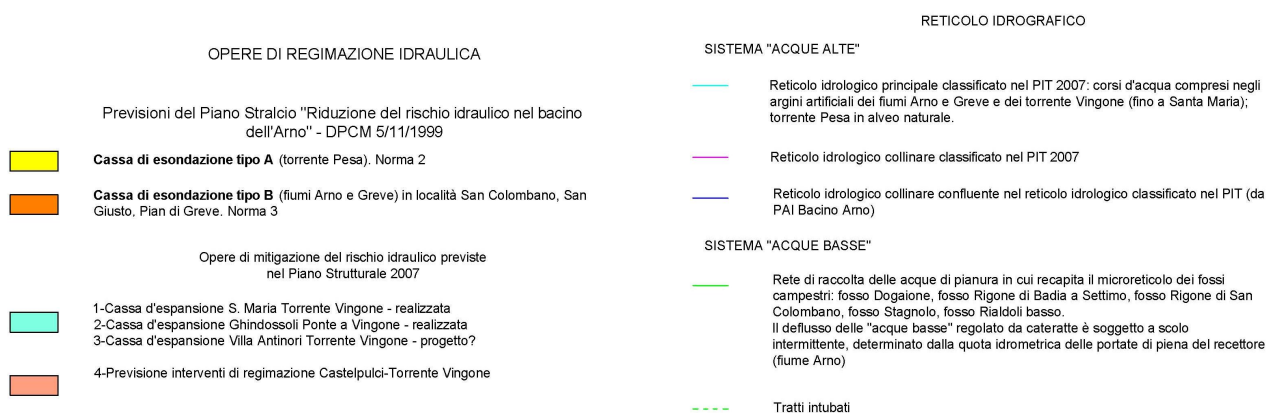


Figura 1-9 . Legenda opere di regimazione idraulica e reticolo idrografico

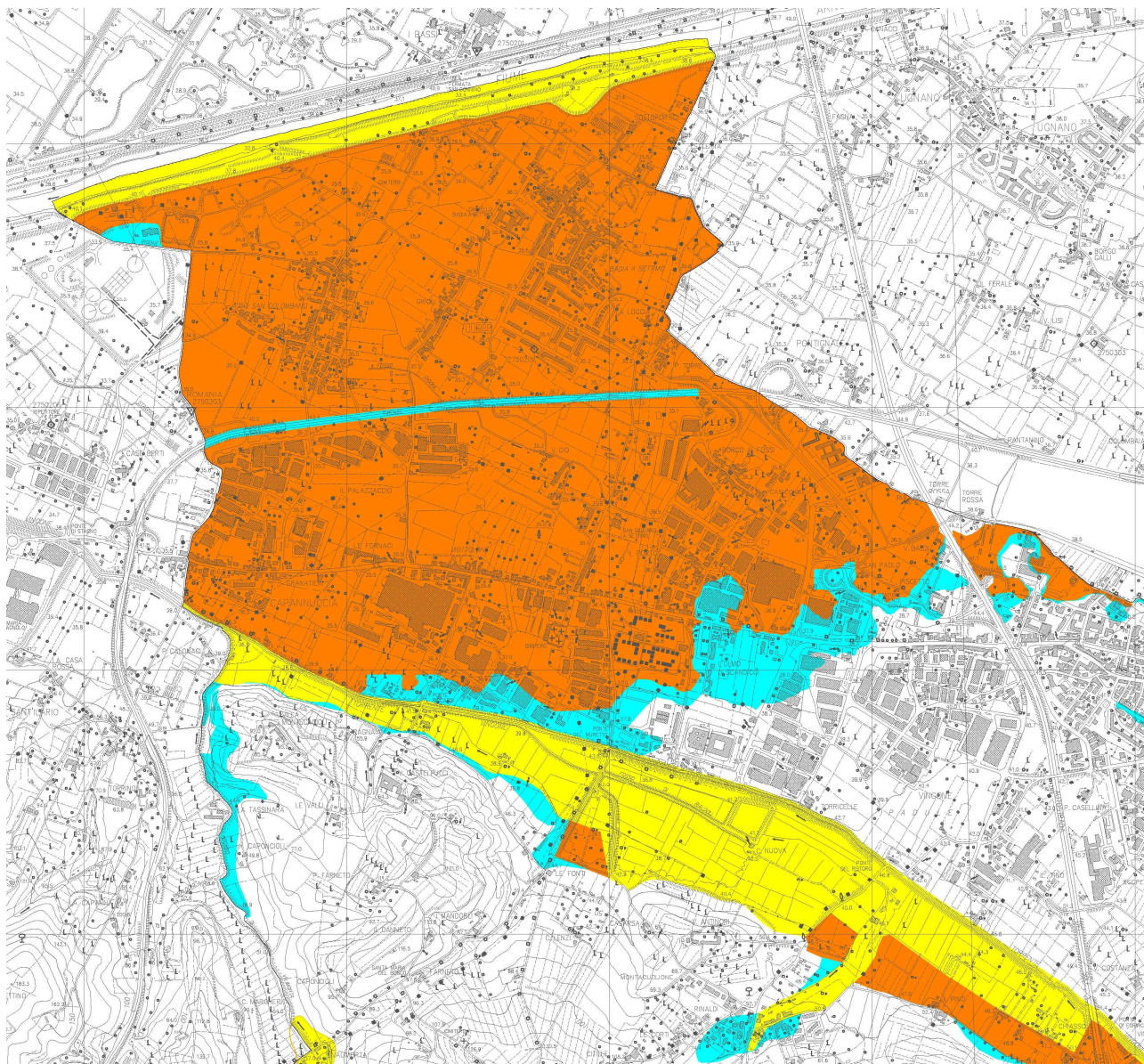


Figura 1-10 . Carta della pericolosità idraulica

CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA

Pericolosità idraulica bassa I1

□ Aree collinari prossime ai corsi d'acqua, esterne alla fascia di 10 m dalle sponde, in situazioni favorevoli di alto morfologico (quote altimetriche superiori a m 2 rispetto al ciglio di sponda) e in assenza di notizie storiche di inondazioni

Pericolosità idraulica media I2

■ Aree di pianura interessate da allagamenti per eventi compresi tra 200<Tr<500 anni  
Aree di fondovalle comprese in UTOE non interessate da previsioni integrative e infrastrutturali non riconducibili agli ambiti di applicazione di atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologico-idraulici ove ricorrono le seguenti condizioni:  
-non vi sono notizie storiche di inondazioni  
-sono in situazione di alto morfologico (quote altimetriche superiori a m2 rispetto al ciglio di sponda o al piede esterno dell'argine)

Pericolosità idraulica elevata I3

■ Aree di pianura interessate da allagamenti per eventi compresi tra 30<Tr<200 anni.  
Aree di fondovalle comprese in UTOE non interessate da previsioni insediative e infrastrutturali non riconducibili agli ambiti di applicazione di atti di pianificazione di bacini e in assenza di studi idrologico idraulici ove ricorre almeno una delle seguenti condizioni  
-vi sono notizie storiche di inondazioni  
-sono in situazione morfologica sfavorevole (quote altimetriche inferiori a m 2 rispetto al ciglio di sponda o al piede esterno dell'argine)

Pericolosità idraulica molto elevata I4

■ Aree di pianura interessate da allagamenti per eventi con Tr minore o uguale a 30 anni  
Aree di fondovalle comprese in UTOE non interessate da previsioni insediative e infrastrutturali non riconducibili agli ambiti di applicazione di atti di pianificazione di bacini e in assenza di studi idrologico idraulici ove ricorrono ambedue le seguenti condizioni:  
-vi sono notizie storiche di inondazioni  
-sono in situazione morfologica sfavorevole (quote altimetriche inferiori a m 2 rispetto al ciglio di sponda o al piede esterno dell'argine)

Figura 1-11 . Legenda carta della pericolosità idraulica

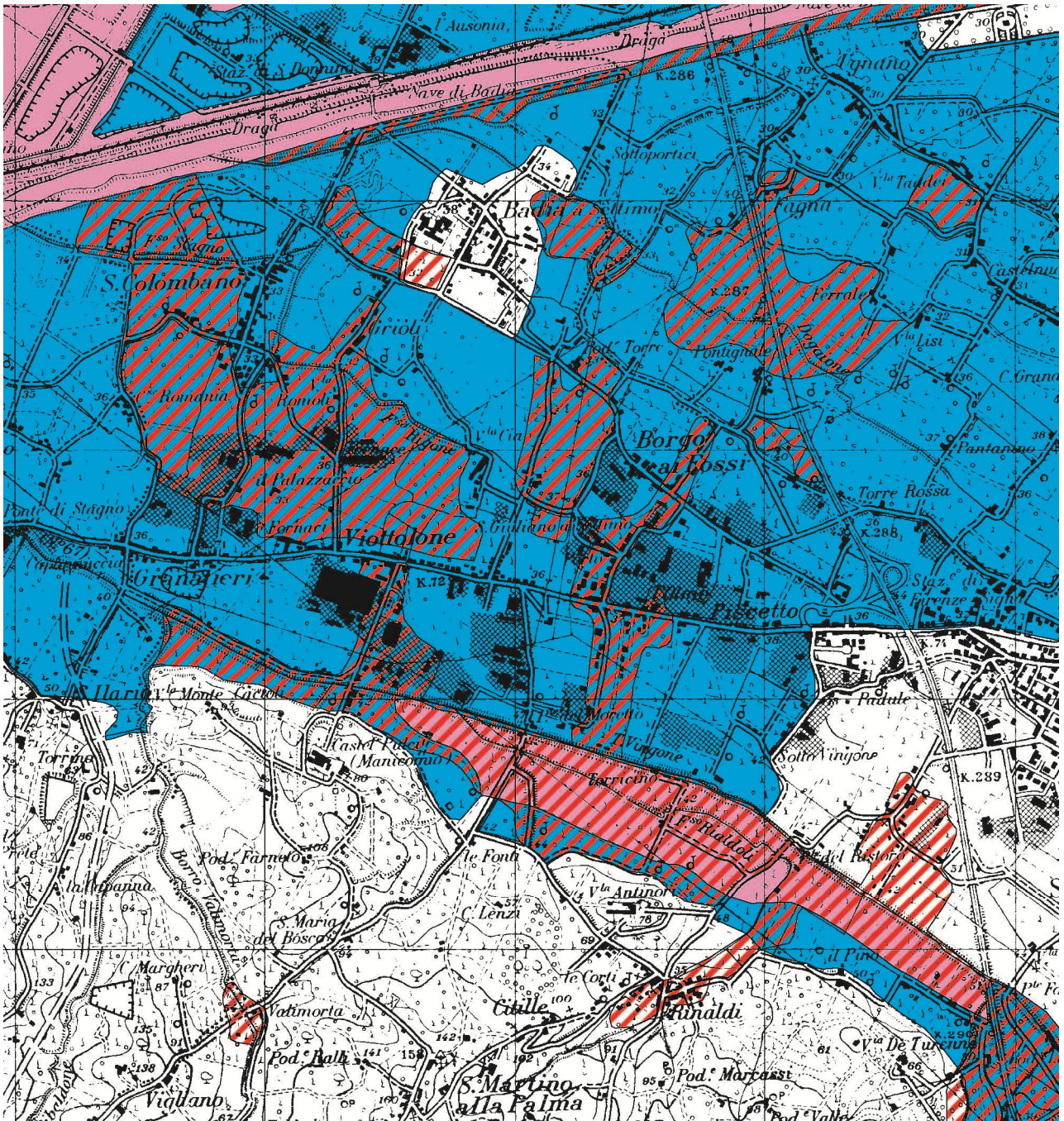


Figura 1-12 . Aree inondate del Piano Rischio Idraulico



Figura 1-13 . Legenda aree inondate del Piano Rischio Idraulico

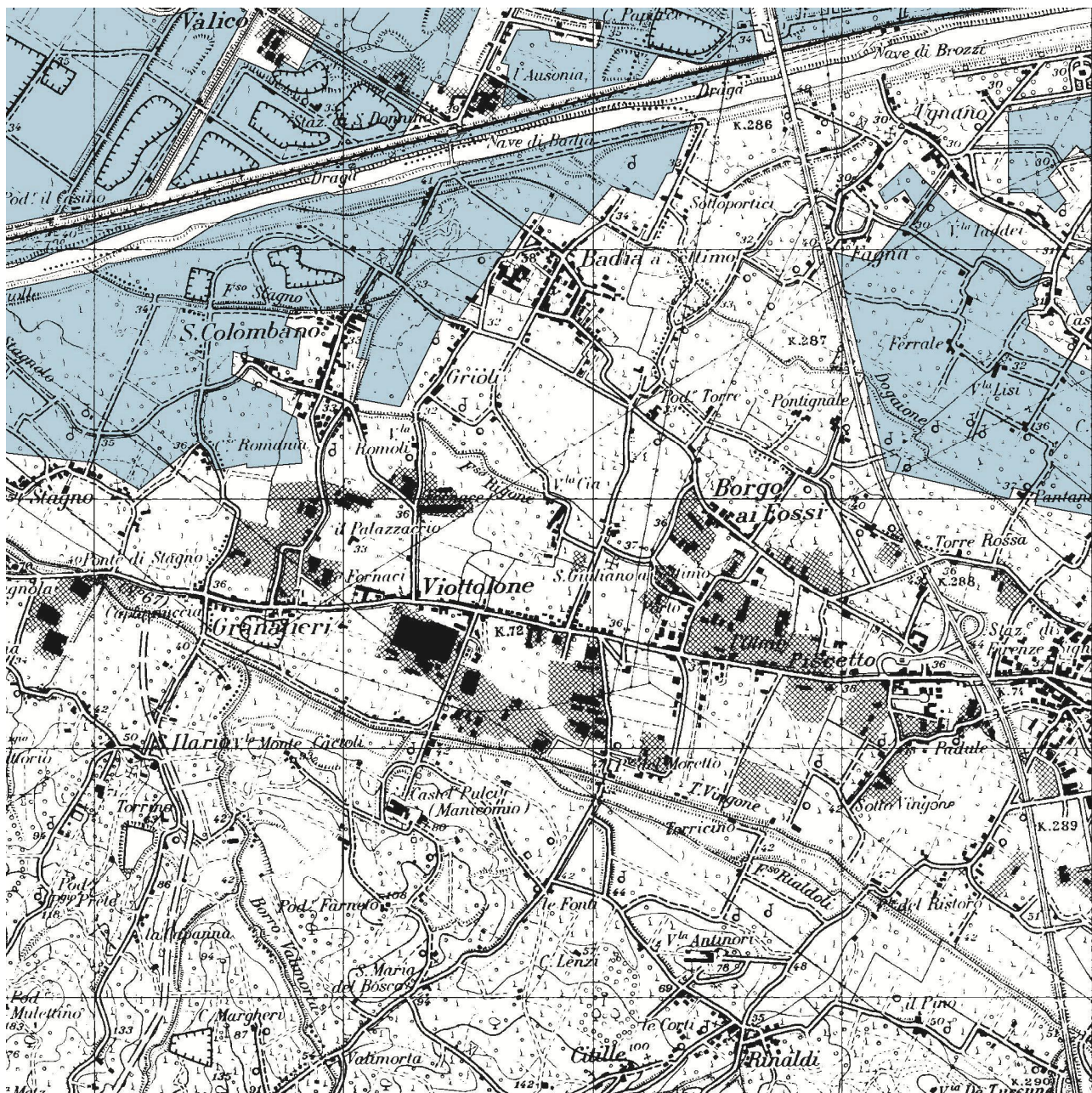


Figura 1-14 . Aree di pertinenza fluviale del Piano Rischio Idraulico

### LEGENDA



Norma n° 5 - Aree di pertinenza fluviale

Figura 1-15 . Legenda aree di pertinenza fluviale del Piano Rischio Idraulico



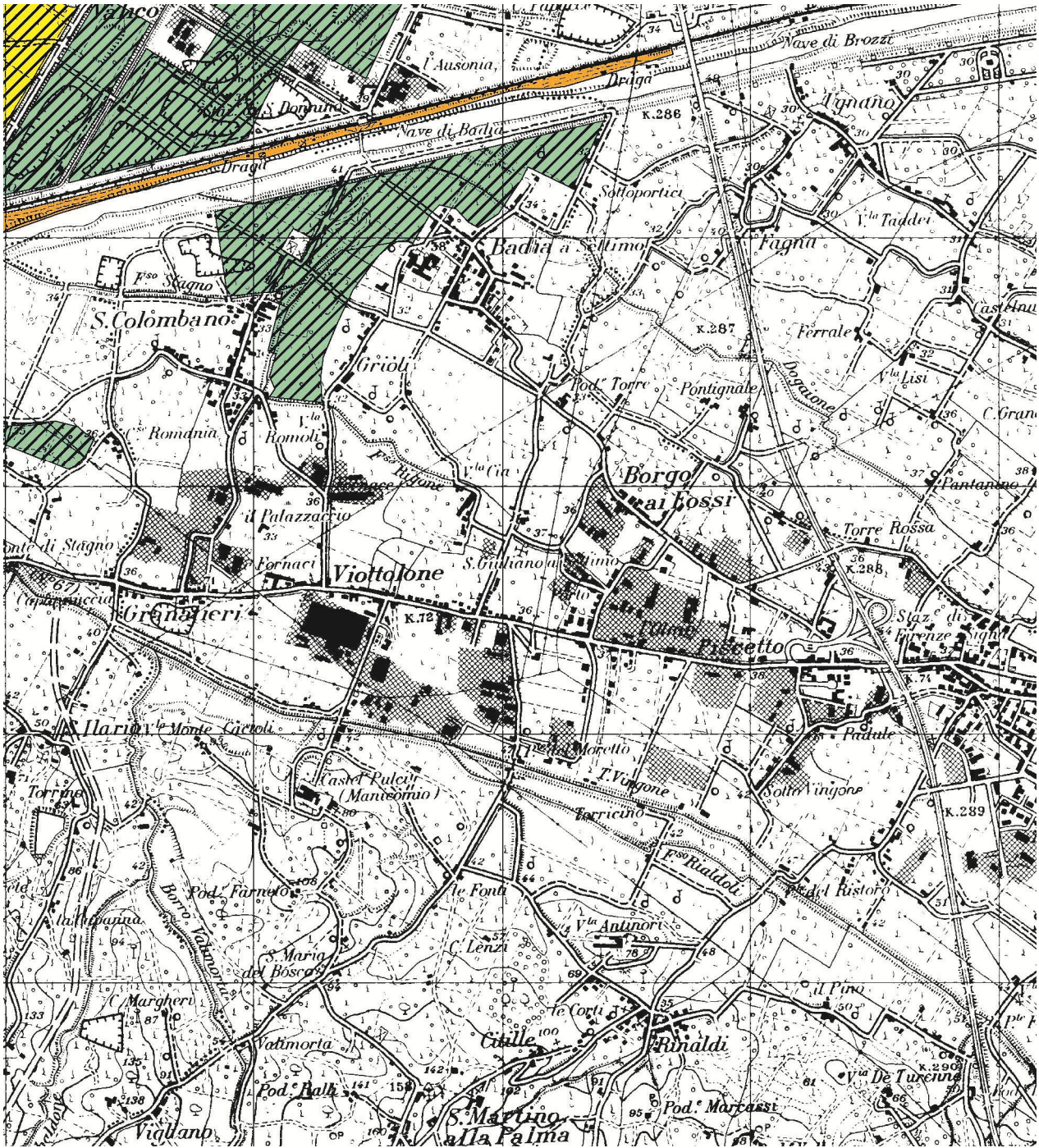


Figura 1-16 . Interventi del Piano Stralcio Rischio Idraulico



Figura 1-17 . Legenda interventi del Piano Stralcio Rischio Idraulico

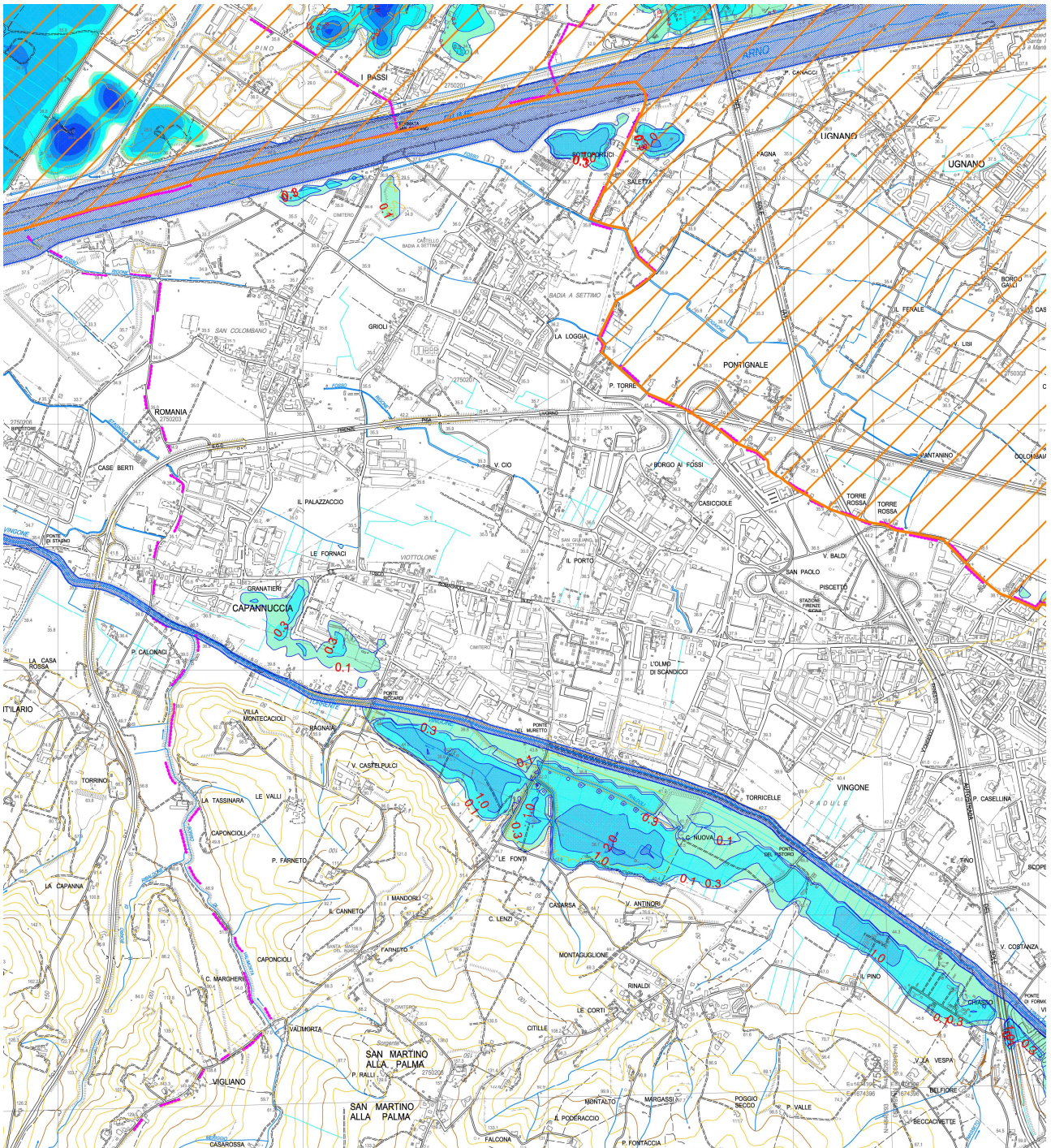


Figura 1-18 . Carta dei battenti di esondazione per Tr 30 anni (Studio Università di Pisa)

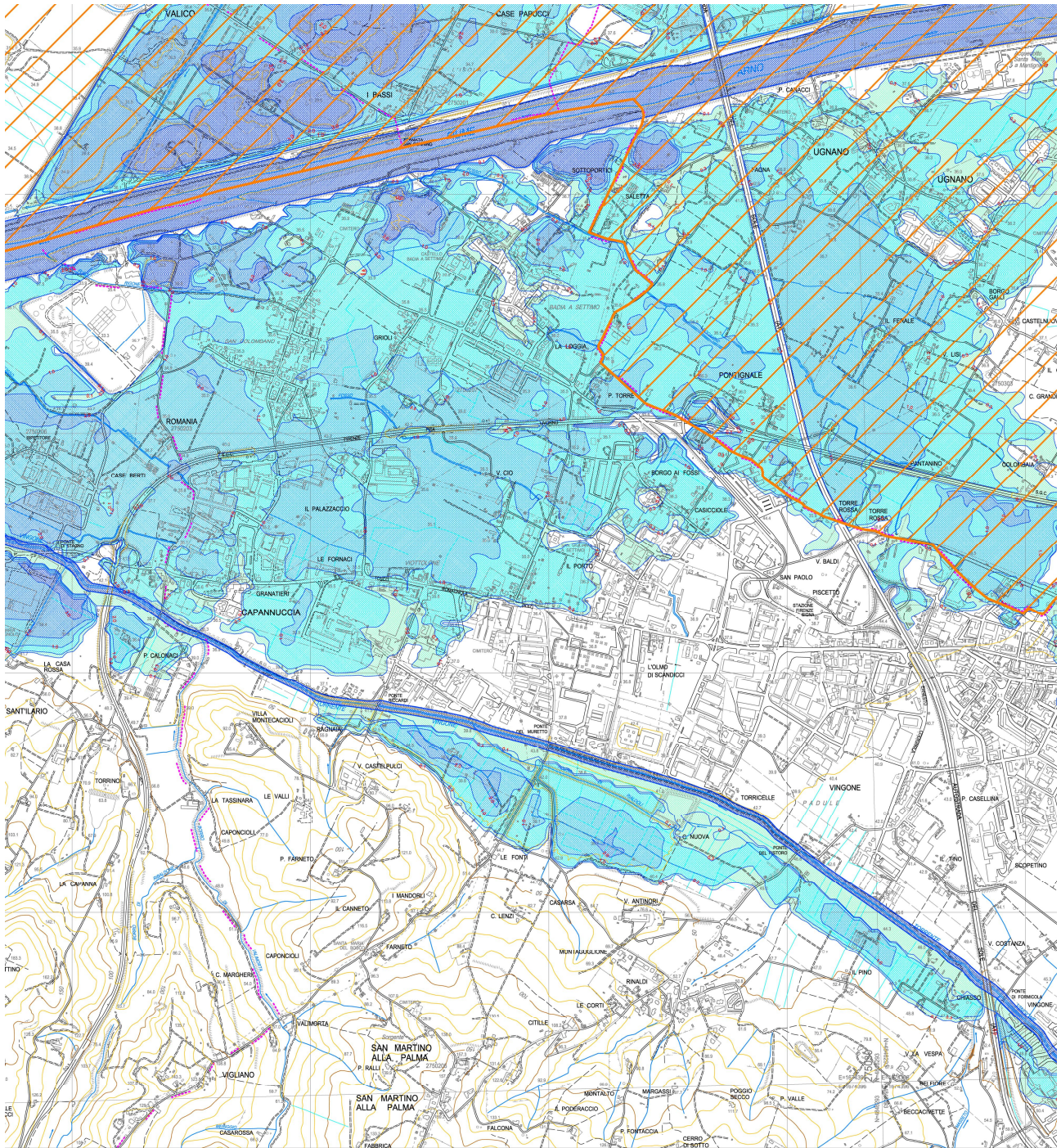


Figura 1-19 . Carta dei battenti di esondazione per Tr 100 anni (Studio Università di Pisa)



## **2 IL QUADRO CONOSCITIVO**

### **2.1 Dati territoriali**

Le basi cartografiche utilizzate sono costituite dalla Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e scala 1:2000. La cartografia 1:10000 è stata utilizzata sia per l'inquadramento a livello di bacino mentre la cartografia CRT 1:2000 per l'inquadramento a livello locale.

### **2.2 Modello digitale del terreno**

La modellazione idraulica bidimensionale è stata condotta sul modello digitale del Terreno Lidar fornito dalla Regione Toscana.

Il passo del modello digitale Lidar è 1x1.

Il modello digitale copre quasi completamente l'area di studio fatta eccezione per alcune parti marginali dove è stato costruito un modello digitale a partire dalla cartografia scala 1:2000.

### **2.3 Le sezioni fluviali**

Le sezioni fluviali sono state ricavate dalle seguenti fonti:

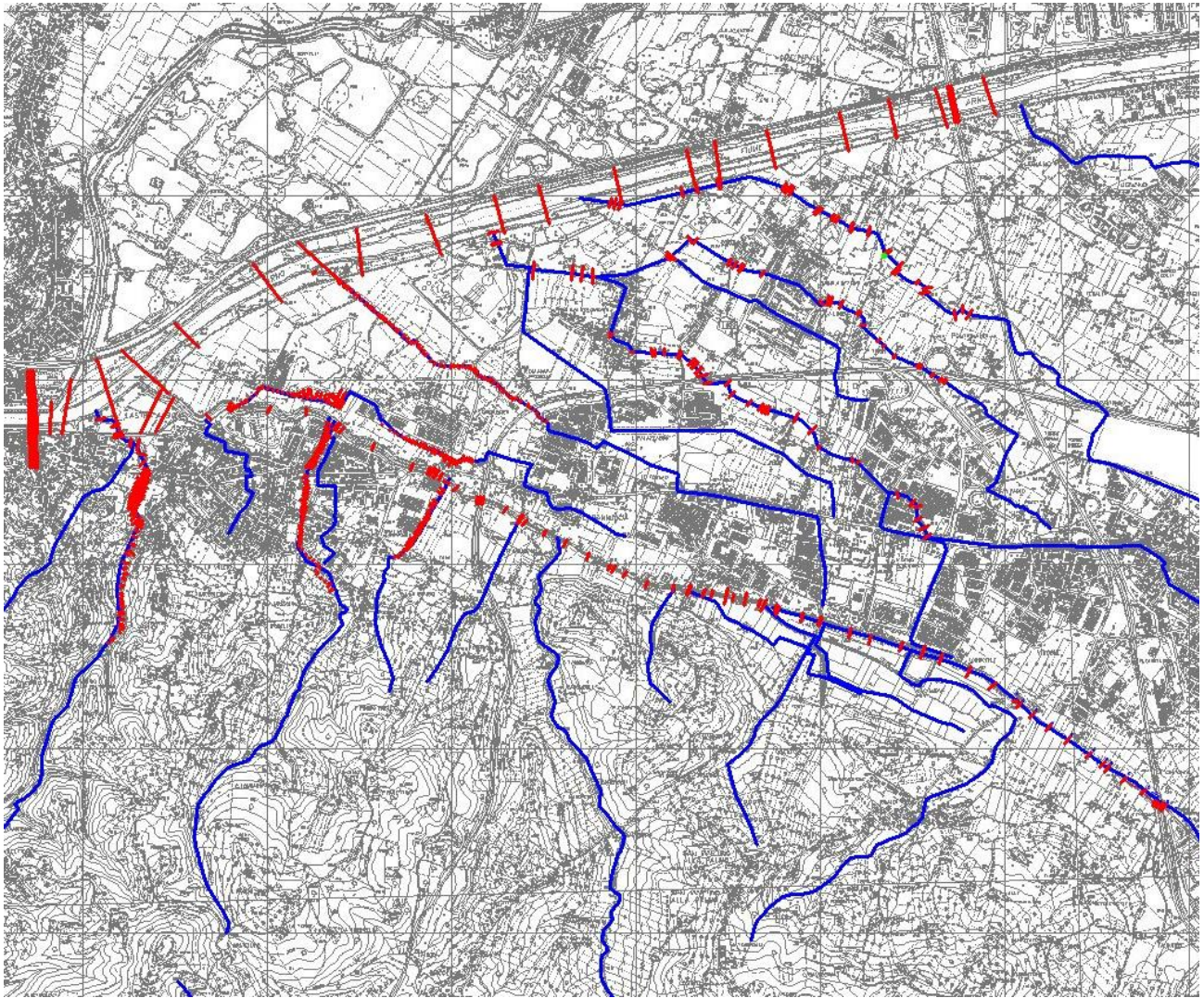
1. Rilievo del Provveditorato alle OO.PP. della Toscana del 2002 per il fiume Arno;
2. Rilievi Consorzio di Bonifica Toscana Centrale per il torrente Vingone (rilievo dal Valimorta all'Arno dello studio Marcucci 2003 e rilievo Provveditorato alle OO.PP. della Toscana integrate con le modifiche relative alla PERIZIA 205/USI % lavori di regimazione del t.Vingone e consolidamento difese arginali dall'abitato di Vingone al ponte di Stagno+;
3. Rilievo condotto per uno studio condotto dagli scriventi a supporto di un Piano Attuativo in località Le Fonti in corrispondenza del Ponte del Muretto per il torrente Vingone;
4. Rilievi forniti dal comune di Scandicci per i fossi Dogaione, Dogaia e Rigone.

Le sezioni dei corsi d'acqua Bacino, Guardiania; Rimaggio, Stagno, Stagnolo sono quelle degli rilevate nell'ambito di analogo studio condotto per il comune di Lastra a Signa.

Nell'ambito degli studi condotti per il comune di Lastra a Signa era stato inoltre condotto un rilievo delle arginature del torrente Vingone dalla confluenza in Arno al ponte del Ristoro. Sulla base di tale rilievo erano state corrette alcune sezioni in corrispondenza dei contenimenti ed era stata adeguata la quota di riferimento del rilievo fornito dal Consorzio di Bonifica della Toscana Centrale per il tratto dal Valimorta alla confluenza in Arno alzando la quota delle sezioni di 72 cm.

Complessivamente sono state utilizzate circa 690 sezioni come riportate nella Figura 2-1

La posizione delle sezioni è riportata nella Tavola T02 e i profili nella tavola T03 e le sezioni fluviali nell'allegato A02.



*Figura 2-1 . Tratti di studio e sezioni fluviali*

### **3 ANALISI IDROLOGICA**

L'analisi idrologica è stata condotta con due diversi approcci per il fiume Arno e per gli affluenti.

Nel primo caso si è fatto riferimento agli studi condotti dalla Autorità di Bacino del fiume Arno a supporto del Piano di Assetto Idrogeologico.

Nel secondo caso è stato utilizzato il modello ALTO messo a punto dalla regione Toscana per la regionalizzazione delle portate di piena.

L'analisi idrologica è finalizzata alla determinazione degli idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

Nella Figura 3-1 e nella Tavola T01 si riportano i bacini degli affluenti.

#### **3.1 Calcolo degli idrogrammi di piena del fiume Arno**

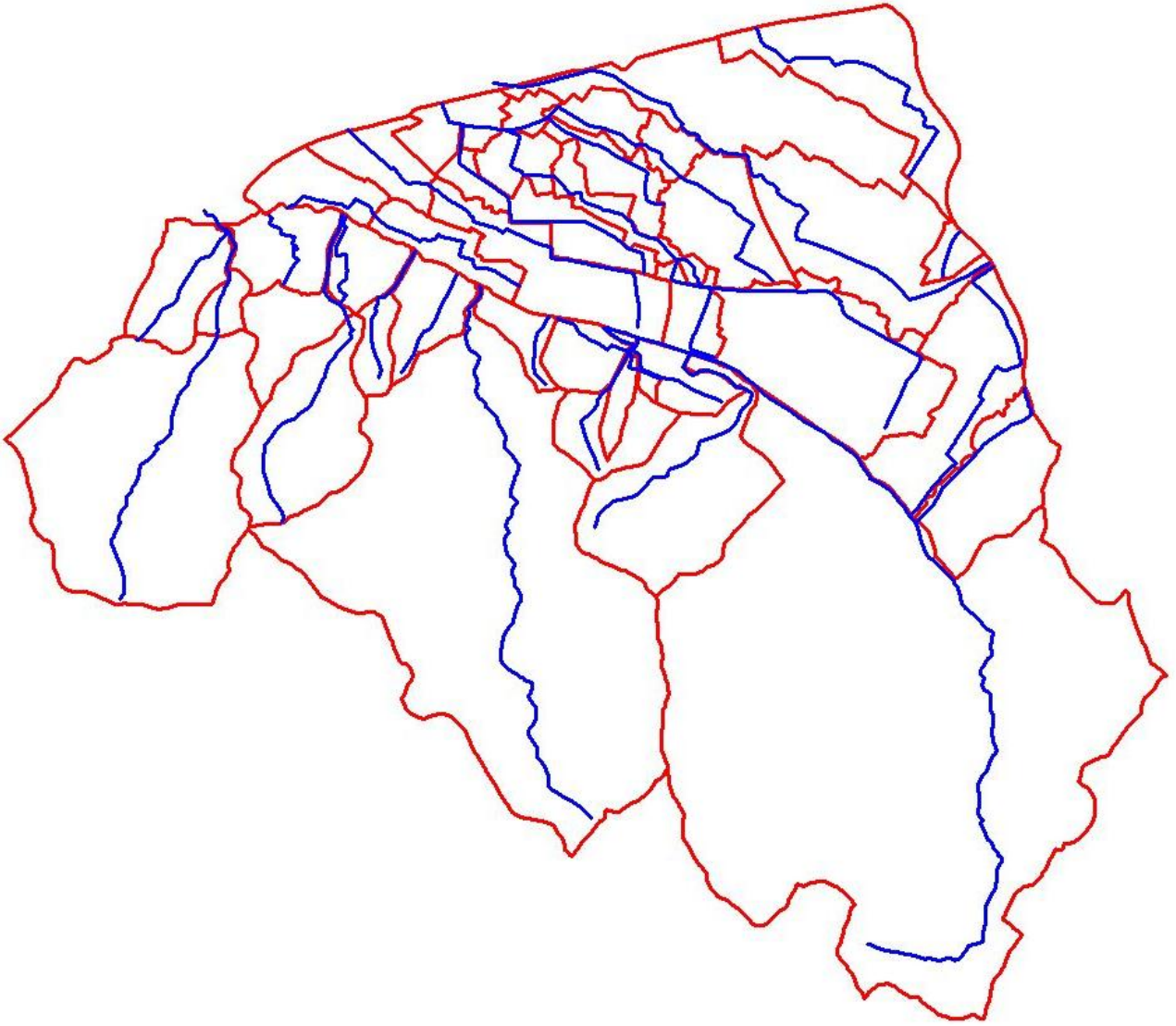
Gli idrogrammi di piena del fiume Arno sono stati calcolati a partire dagli studi condotti dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno a supporto del Piano di Assetto Idrogeologico.

Sono state considerate le durate di 24 ore e di 3 ore. La prima è la portata critica dell'Arno nel tratto di interesse. La seconda è la durata di evento assunta in concomitanza degli eventi critici sugli affluenti.

Sono state calcolati gli idrogrammi per la sezione 529 e per la sezione 512. La sezione 329 si trova immediatamente a monte del ponte della Autostrada A1, la sezione 512 in corrispondenza della confluenza del fiume Bisenzio.

Gli idrogrammi sono riportati nella Figura 3-2, Figura 3-3, Figura 3-4 e Figura 3-5.

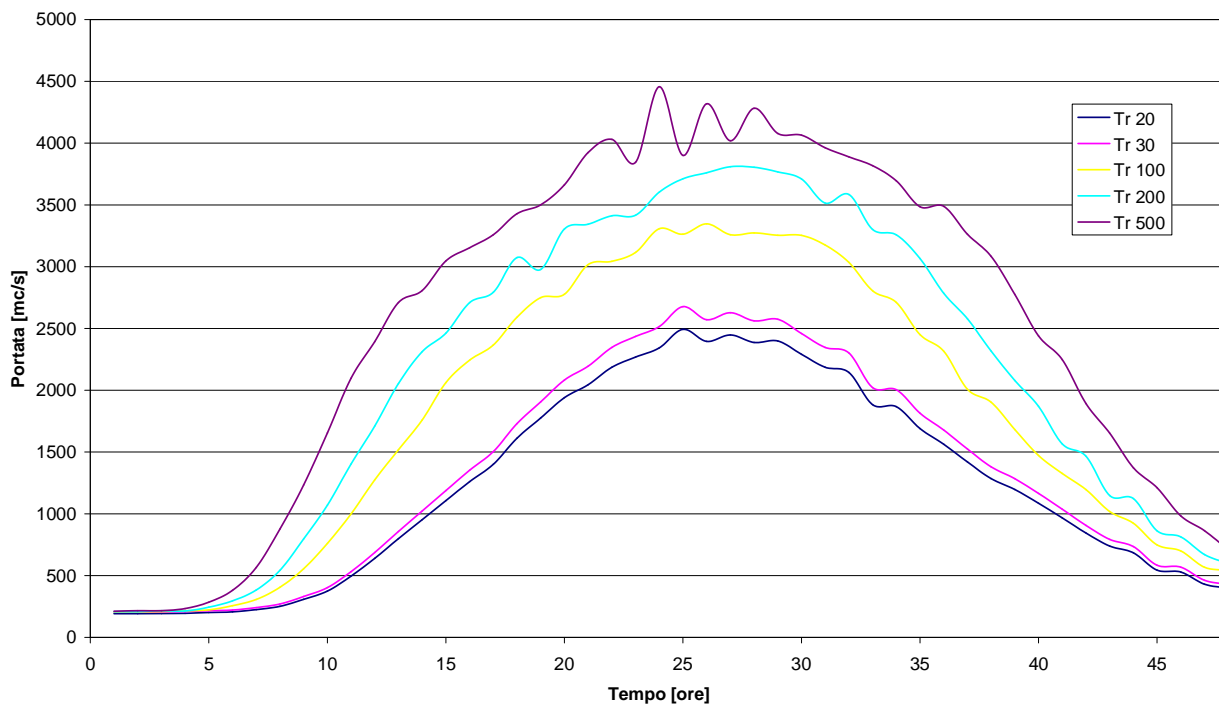
Si osserva che in corrispondenza delle durate maggiori il fiume Bisenzio viene rigurgitato e le portate risultano negative.



*Figura 3-1 . Bacini idrografici affluenti*

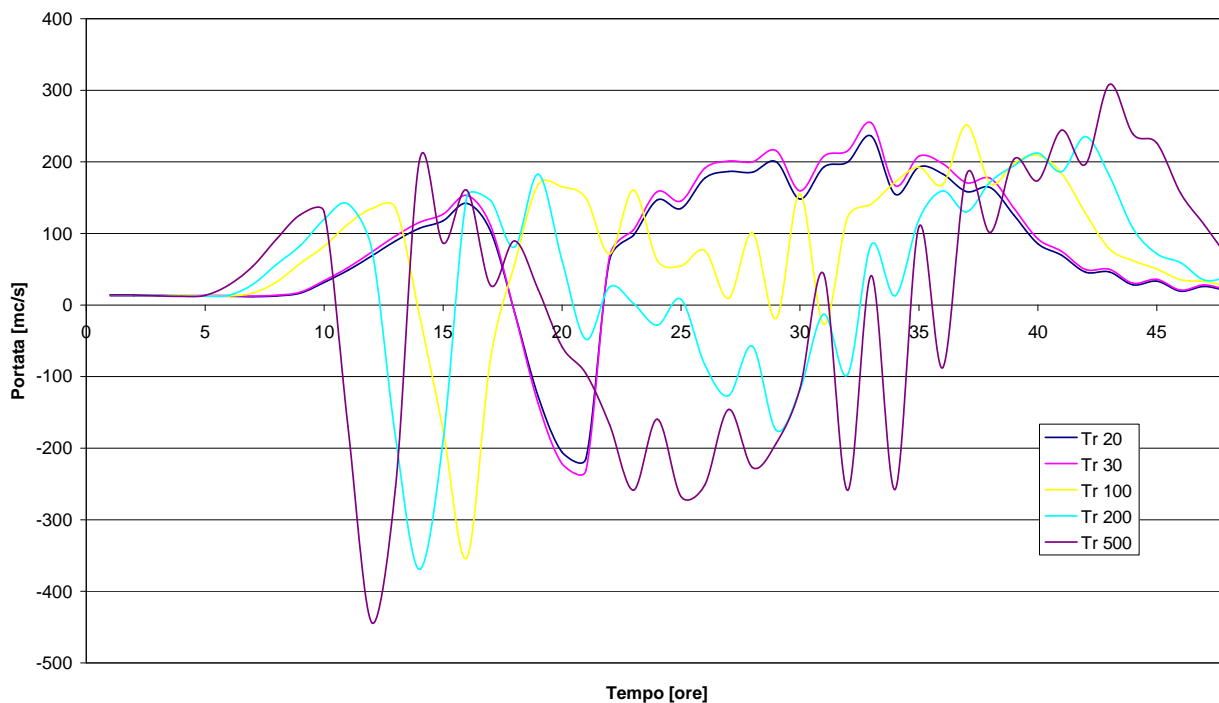


**Idrogrammi di piena fiume Arno sezione 529 durata 24 ore**



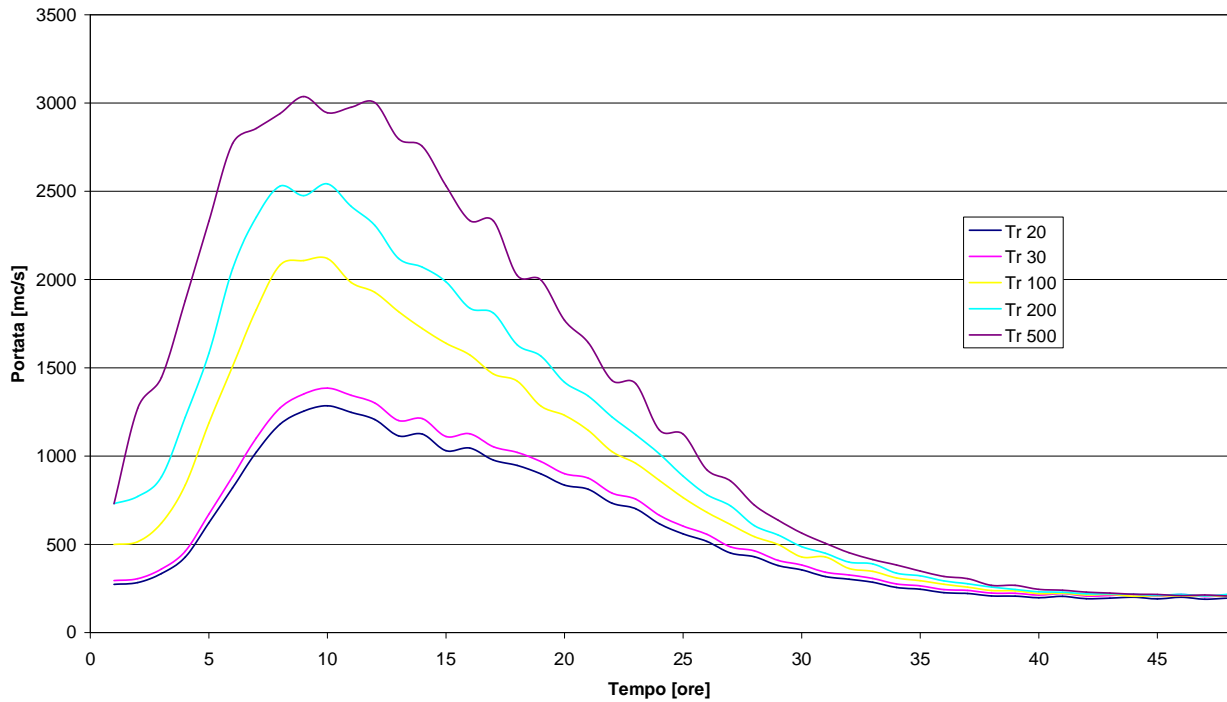
*Figura 3-2 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 529 per la durata di 24 ore*

**Idrogrammi di piena fiume Arno sezione 512 durata 24 ore**



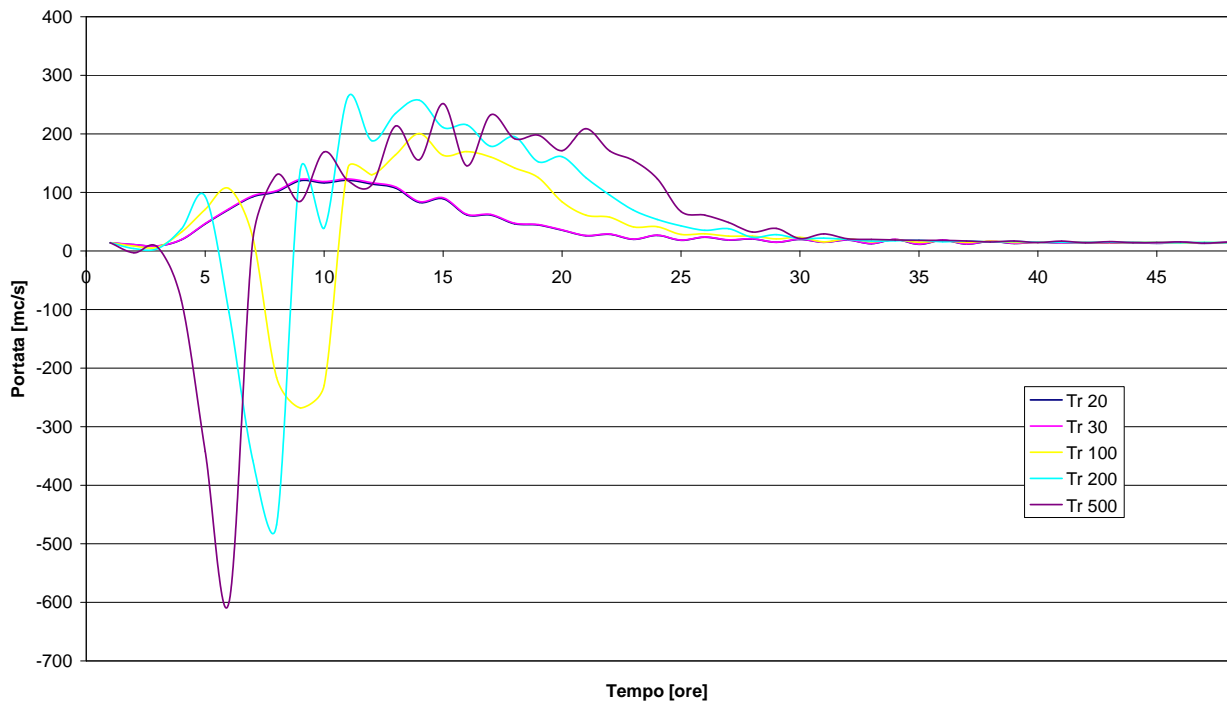
*Figura 3-3 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 512 per la durata di 24 ore*

**Idrogrammi di piena fiume Arno sezione 529 durata 3 ore**



*Figura 3-4 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 529 per la durata di 3 ore*

**Idrogrammi di piena fiume Arno sezione 512 durata 3 ore**



*Figura 3-5 . Idrogrammi fiume Arno alla sezione 512 per la durata di 3 ore*

### 3.2 Calcolo degli idrogrammi di piena degli affluenti

La valutazione delle portate di piena per gli affluenti è stata condotta con il modello Alto.

I parametri del modello sono  $n$  e  $k$  di Nash  $la$  e  $Ks$  e curve di possibilità pluviometrica.

In primo luogo si è proceduto a calcolare dell'area di ogni singolo sottobacino.

Il parametro  $n$  per le sezioni non presenti tra quelle elaborate dal sistema Alto è stato assunto pari alla media pesata sull'area dei valori relativi ai corsi d'acqua della zona.

Il valore di  $k$  è stato calcolato a partire dal tempo di ritardo (si ricorda che nel modello di Nash  $K=TI/n$ ). Il tempo di ritardo è stato calcolato con le seguenti modalità:

- pari a quello fornito dal modello Alto in caso di sezioni già elaborate;
- con una regressione sull'area per le sezioni non elaborate per le acque alte;
- a partire dal tempo di corrivazione valutato come media pesata tra la formula di Giandotti e quella di Ogrosky-Mockus e assumendo che  $TI = 0.6Tc$  per le sezioni relative alle acque basse.

Nella Figura 3-6 si riporta la retta di regressione area - tempo di ritardo rappresentata dalla espressione :

$$TI = 0.314 * A^{0.612}$$

Nella

Tabella 3-1 si riporta il calcolo del tempo di ritardo per le acque basse.

CODICE	DENOMINAZIONE	AREA [kmq]	Hm	Hmin	Hmax	Hm-Hmin	Hmax-Hmin	L [km]	TL Giandotti	TL Ogrosky Mockus	TL [ore]
A00101	Dogaione_monte	1.90	38.69	35.27	45.10	3.42	9.83	3.13	4.14	0.85	2.99
A00102	Dogaione_valle	2.01	35.82	19.73	41.36	16.09	21.63	2.68	1.81	0.53	1.36
A00201	Dogaia_monte	0.94	36.83	34.74	41.33	2.09	6.59	1.57	3.24	0.45	2.26
A00202	Dogaia_media	0.22	35.47	33.75	36.86	1.72	3.11	0.50	1.51	0.16	1.04
A00203	Dogaia_Badia_a_Settimo	0.31	34.84	30.07	36.13	4.77	6.06	0.99	1.27	0.27	0.92
A00204	Collettore_Nord	0.46	35.73	30.80	40.00	4.93	9.20	1.46	1.66	0.37	1.21
A00205	Dogaia_valle	0.14	33.96	30.00	38.08	3.96	8.07	0.44	0.81	0.10	0.56
A00206	Rigone_Monte	2.19	42.16	36.68	50.00	5.48	13.32	3.00	3.34	0.73	2.42
A00207	Rigone_Olmo	0.34	38.45	36.44	42.78	2.01	6.33	1.36	2.31	0.39	1.64
A00208	Rigone_medio	0.37	35.94	31.79	41.87	4.15	10.07	1.82	1.90	0.45	1.39
A00209	Rigone_San_Colombano	0.34	34.61	30.04	39.02	4.57	8.98	0.87	1.27	0.20	0.90
A00210	Collettore_Sud	0.67	35.26	30.07	40.00	5.20	9.93	2.57	2.35	0.68	1.76
A00211	Rigone_valle	0.43	33.08	29.51	40.16	3.56	10.65	0.67	1.44	0.14	0.98
A0031	Stagnolo_monte	1.15	36.36	32.89	42.28	3.47	9.39	2.69	3.35	0.73	2.43
A0032	Stagnolo_valle	0.49	34.33	30.00	41.37	4.33	11.37	0.97	1.53	0.21	1.07
A0042	Rimaggio_valle	0.21	60.05	31.06	120.00	28.98	88.94	1.33	0.53	0.14	0.40
V0031	Acque Basse Rialdoli_monte	0.36	43.62	38.66	76.20	4.96	37.55	1.11	1.37	0.16	0.94
V008	Acque Basse Bacino	0.42	37.44	33.38	50.00	4.06	16.62	1.01	1.53	0.19	1.06
V010	Acque Basse Lastra a Signa	0.62	39.02	31.17	63.88	7.85	32.71	0.93	1.22	0.13	0.84
V0111	Stagno_monte	0.48	35.78	33.20	40.00	2.57	6.80	1.70	2.50	0.49	1.79
V0112	Stagno_valle	0.50	34.90	29.42	40.00	5.48	10.58	0.99	1.38	0.22	0.97

Tabella 3-1 . Calcolo del tempo di ritardo per gli affluenti

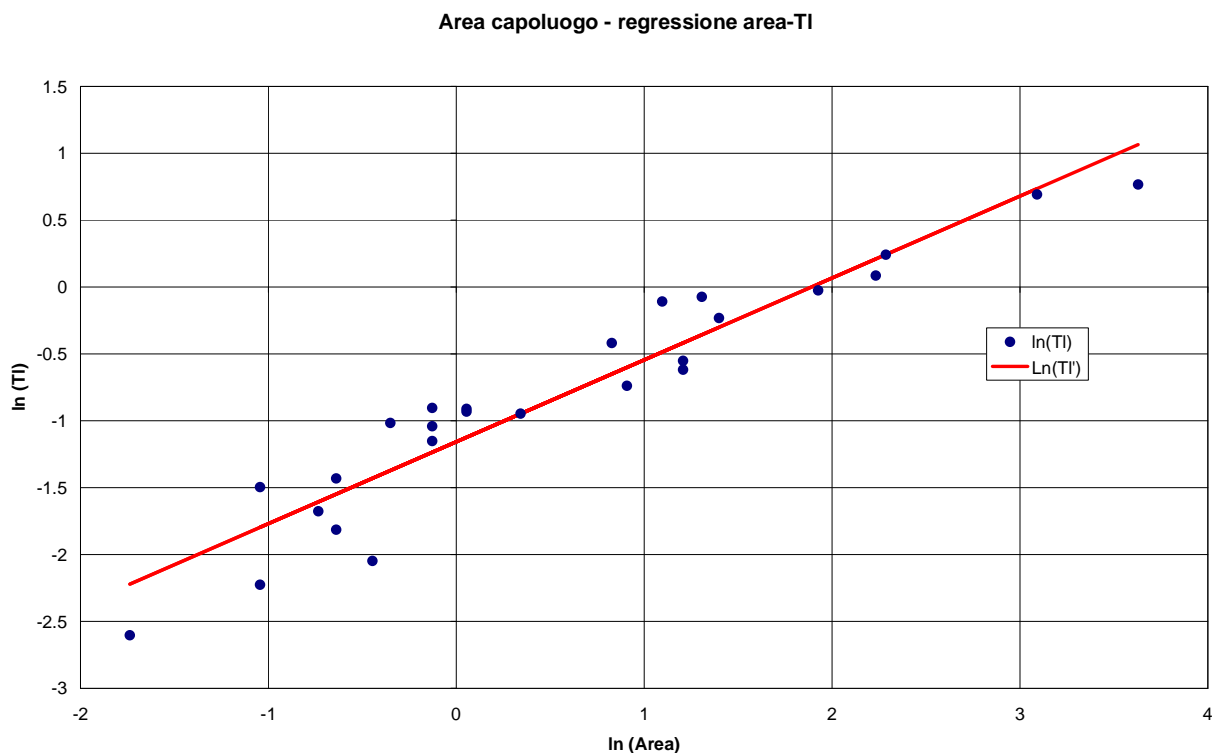


Figura 3-6 . Regressione area . TI per la zona del capoluogo

Il parametro  $la$  e  $Ks$  è stato valutato secondo la metodologia proposta nel modello ALTO.

Il parametro  $la$  è stato calcolato in funzione della superficie boscata presente nel bacino secondo la relazione  $la = 3.3 + 22 P_{sb}$  secondo la legenda riportata nella Tabella 3-2 relativa alla cartografia della Autorità di Bacino del fiume Arno.

Il parametro  $Ks$  è stato calcolato a partire dalla geolitologia del bacino secondo la legenda riportata nella Tabella 3-3 relativa alla cartografia della Autorità di Bacino del fiume Arno.

CODICE	DESCRIZIONE	IA
11	Zone urbanizzate	3.3
12	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	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

Tabella 3-2 . Valori di  $la$  per i diversi usi del suolo

CODICE	DESCRIZIONE	KS [mm/h]
aC	("arenarie di Monte Cervarola"); arenarie turbiditiche quarzoso-feldspatiche a grana fine, in strati sottili; talora lenti di selci (sel) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
alb	("alberese" e "formazione di Lanciata") calcari a grana fine grigio chiari, calcari marnosi scuri e arenarie calcaree gradate Paleocene-Eocene medio	4.65
all	alluvioni recenti e attuali Olocene	0
aS	("arenaria di Monte Senario") arenarie quarzoso-feldspatiche tipo "macigno", ma in generale più grossolane e contenenti ciottoli di quarzo, micascisti, filladi, calcari Paleogene	1.55
at	alluvioni terrazzate; ove distinte at1, at2, at3 Pleist. sup.	0
bn	(brecciole nummulitiche) brecciole poligeniche e calcareniti da torbide Paleogene	4.65
bw	conglomerati e arenarie di materiale ofiolitico alla base di cb.Paleocene-Eocene medio	0.775
cb	argille e marne con calcari, calcari marnosi, arenarie e calcareniti intercalate talora breccie sedimentarie costituite da rocce verdi, diaspri e calcari litografici	1.55
dt	detriti	2.325
fh	("formazione marno-siltose = flysch ad Elmintoidi"):calcari marnosi scuri, marne e arenarie calcaree Cretaceo superiore	4.65
fP1	("argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre") argilliti varicolori,siltiti e marne grigie Oligocene superiore	0
fPaC	intervalli frequenti o potenti di marne siltose e siltiti in aC Aquitaniano-Langhiano superiore	0
fVc	(formazione di Vallina formazione di Sillano) argilloscisti variegati,alcari marnosi verdastri o grigi, calcareniti minute e arenarie calcarifere Cret. sup.-Eocene inf.	4.65
fVR	(formazione di Villa a Radda) argilloscisti talora siltosi,prevalentemente rossi, con pochi strati calcari marnosi verdastri o arenarie calcarifere, intercalati nella parte alta di pf o al tetto di questa Cretaceo sup.-Eocene inf.	0
mg	argille con lenti di gesso e di salgemma Messiniano sup.	0
Nu	calcareniti e calciruditi grigie, gradate Eocene	4.65
ol	a luoghi intercalazioni di materiale ligure in aC (olistostromi) Aquitaniano-Langhiano superiore	1.55
Pag	argille azzurre e cinerine Plioc. inf.-medio	0
pb	("argille a palombini") argilliti e marne fogliettate con intercalazioni di calcari a palombini Cretaceo inf.	0
Pcg	conglomerati e ghiaie prevalentemente argillose, con sabbie e sabbie argillose (al tetto e laterale di Ps) Plioc. inf.-medio	0.775
pf	("pietraforte") arenarie calcaree alternate ad argilliti subordinatamente livelli di marne varieta' ofiolitifera Cretaceo superiore-Eocene inf.	1.55
Ps	sabbie gialle, arenarie Pliocene inf.-medio	1.55
sc	("scaglia toscana") argilliti rosse e varicolori con intercalazioni di calcari silicei grigi, marne rosse e calcareniti; al tetto marne siltose grigie, subordinatamente varicolori; Cretaceo inf. p.p.-Oligocene	0
Vs	("sabbie del Tasso") sabbie con lenti di ciottoli e sabbie argillose Pleist. inf.	2.325
VVB	("formazione di Villa Babbiani") sabbie con tasche e lenti di ciottoli di "macigno" Pleist. inf.	2.325

*Tabella 3-3 . Valori del Ks per le diverse formazioni*

L'uso del suolo e la geolitologia dei bacini sono riportate nella Figura 3-7 e nella Figura 3-8 e nella Tavola T01.

Le curve di possibilità pluviometrica sono state calcolate come media pesata sul bacino a partire dai valori del modello ALTO aggiornati al 2002. Sono state utilizzate le stazioni e i parametri a, n e m riportati nella Tabella 3-4.

CODICE	stazione	x	y	a	n	m	a'	n'	m'
850	S.GIOVANNI VALDARNO	704950	4827320	21.88	0.25	0.19	22.89	0.42	0.14
870	RENACCI (FATTORIA)	703885	4829580	21.33	0.30	0.21	21.37	0.27	0.17
1090	FIRENZE (OSS.XIMENIANO)	681580	4849500	24.83	0.23	0.20	24.71	0.37	0.17
1130	FERRONE	682240	4836080	19.50	0.27	0.22	17.87	0.35	0.21
1200	CALENZANO	673970	4859720	19.62	0.33	0.21	19.99	0.30	0.17
1300	S.ANDREA IN FABBRICA	678625	4828945	20.97	0.26	0.17	19.87	0.38	0.18
1350	EMPOLI (PRUNECCHIO)	660370	4841740	21.69	0.25	0.22	24.30	0.49	0.19
1410	POGGIBONSI (STROZZAVOLPE)	674350	4814900	22.39	0.27	0.20	22.98	0.29	0.18
1430	CERTALDO	665165	4823660	22.22	0.23	0.18	22.34	0.33	0.15
1450	CASTELFIORENTINO	658870	4829665	22.01	0.27	0.23	24.08	0.36	0.19
2634	MADONNA A BROLIO	698880	4810000	25.19	0.28	0.20	26.41	0.33	0.15

*Tabella 3-4 . Parametri delle curve di possibilità pluviometrica*

Nella Figura 3-9 e nella Tabella T01 si riportano i topoi. Lo spettrogramma è stato assunto di intensità costante. La variabilità spazio-temporale della precipitazione è messa in conto attraverso lo stesso coefficiente di riduzione  $K_r$  già adottato nella stima di tipo regionale, basato sulla formula dell'USWB:

$$k_r = 1 - \exp(-t) + \exp(-t - A)$$

Il valore di  $K_r$  dipende da tre fattori:

- l'estensione dell'area investita dalla precipitazione;
- la durata considerata;
- l'altezza di pioggia.

I parametri di default sono i seguenti

-  $\alpha = 0.036 a$ , dove  $a$  è il parametro della CPP;

-  $\beta = 0.25$ ;

-  $\gamma = 0.01$ .

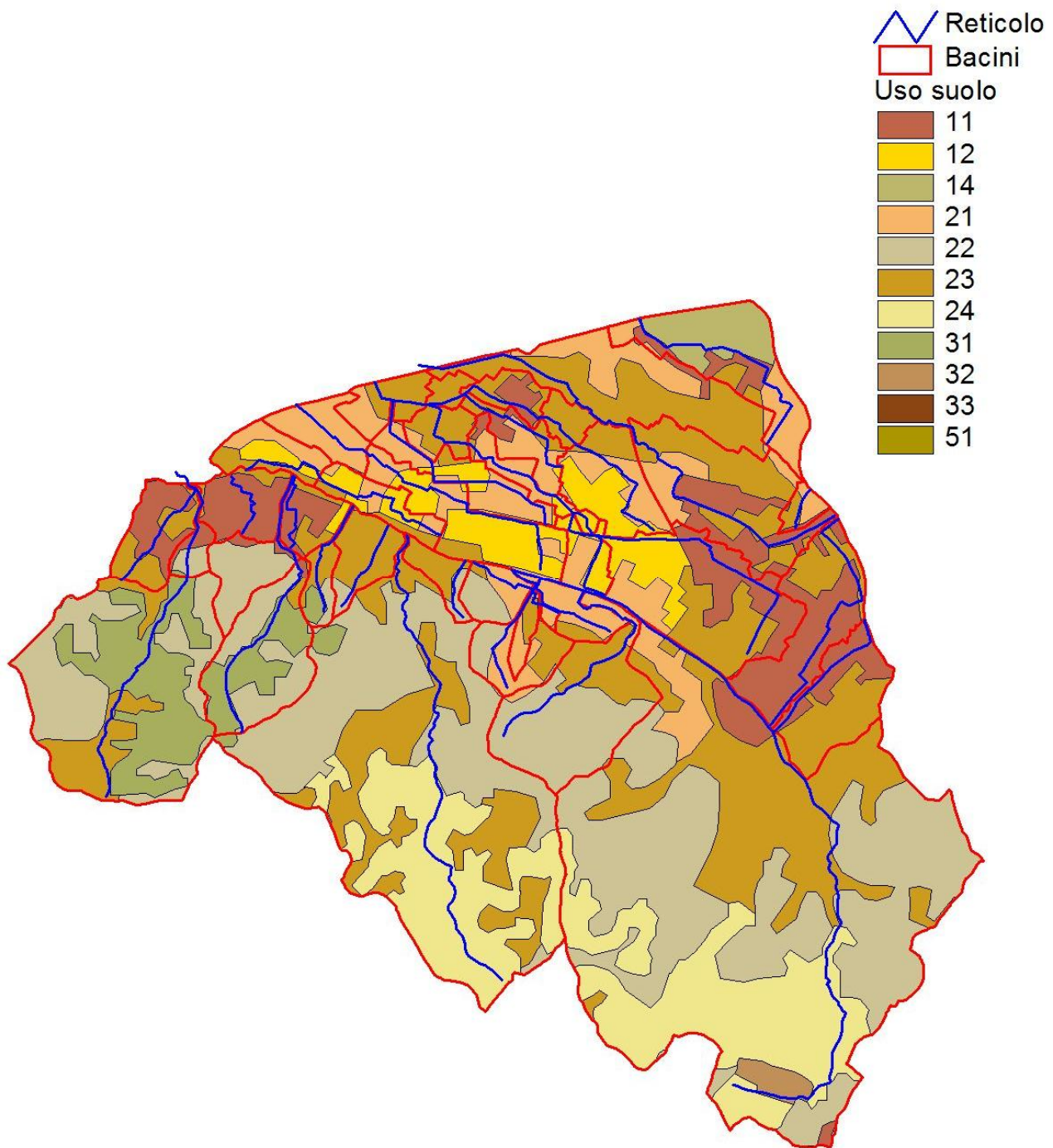


Figura 3-7 . Uso del suolo

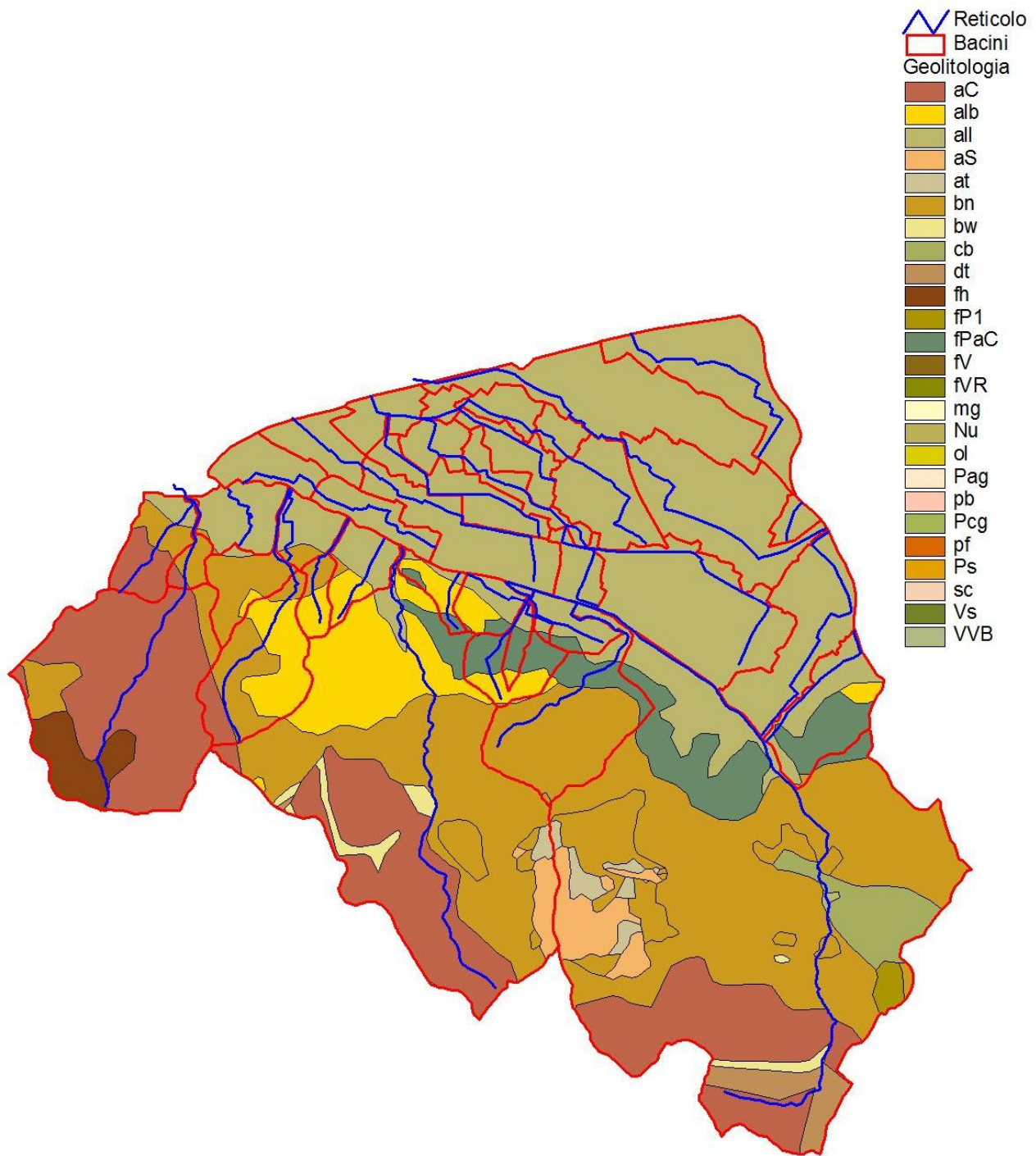


Figura 3-8 . Geolitologia



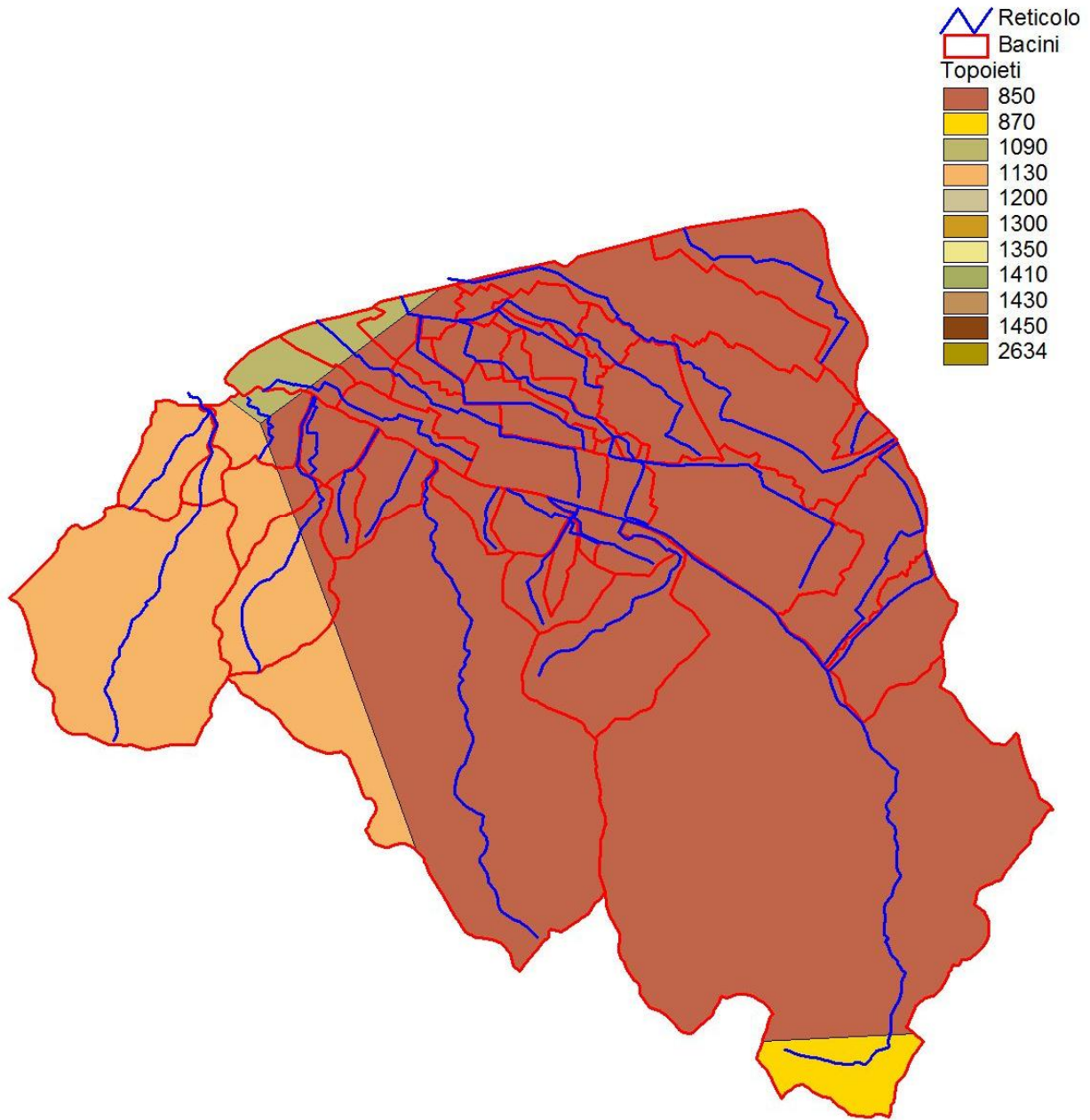


Figura 3-9 . Topoiet

*Nella*

CODICE	DENOMINAZI	AREA	IA	KS	N	K	A1	N1	M1	A	N	M	QB	SEZIONE
100101	Dogaione_monte	1.90	3.30	0.00	2.47	1.21	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	DG1002_B
100102	Dogaione_valle	2.01	3.30	0.00	2.47	0.55	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DG0008__
100201	Dogaia_monte	0.94	3.30	0.00	2.47	0.92	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	DO1013_B
100202	Dogaia_media	0.22	3.30	0.00	2.47	0.42	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0021__
100203	Dogaia_Badia_a_Settimo	0.31	3.30	0.00	2.47	0.37	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0022_D
100204	Collettore_Nord	0.46	3.30	0.00	2.47	0.49	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0027_D
100205	Dogaia_valle	0.14	3.30	0.00	2.47	0.23	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0032_C
100206	Rigone_Monte	2.19	3.30	0.00	2.47	0.98	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	RI0001_B
100207	Rigone_Olmo	0.34	3.30	0.00	2.47	0.66	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0005_C
100208	Rigone_medio	0.37	3.30	0.00	2.47	0.56	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0010__
100209	Rigone_San_Colombano	0.34	3.30	0.00	2.47	0.36	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0022_B
100210	Collettore_Sud	0.67	3.30	0.00	2.47	0.71	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO1034_B
100211	Rigone_valle	0.43	3.30	0.00	2.47	0.40	23.21	0.35	0.17	23.17	0.26	0.20	0.05	DO1034_C
10031	Stagnolo_monte	1.15	3.30	0.00	2.47	0.99	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.20	ST0001_B
10032	Stagnolo_valle	0.49	3.30	0.00	2.47	0.43	21.78	0.33	0.17	21.59	0.29	0.20	0.05	ST0022__
10041	Rimaggio_monte	4.26	3.32	1.43	2.47	0.30	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.10	RM0001_B
10042	Rimaggio_valle	0.21	3.30	1.45	2.47	0.16	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.05	RM0020__
1005	Acque Basse Rimaggio	0.71	3.31	1.26	2.47	0.11	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.05	CS003
3001	Vingone_monte_Ponte_del_Ristoro	15.12	9.00	1.47	2.47	0.61	24.28	0.37	0.17	24.50	0.23	0.20	0.20	S_VIN0052__
30021	Rialdoli_monte	1.94	3.30	1.58	2.47	0.19	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	R_VIN0013__
30022	Rialdoli_valle	0.58	3.30	3.01	2.47	0.10	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	R_VIN0005__
30031	Acque Basse Rialdoli_monte	0.36	3.30	0.31	2.47	0.38	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS009
30032	Acque Basse Rialdoli_valle	0.59	3.30	1.99	2.47	0.10	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS004
3004	Acque Basse Valimorta	0.29	3.30	3.24	2.47	0.07	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS005
3005	Valimorta	9.09	10.89	2.12	2.82	0.45	24.65	0.39	0.17	24.36	0.23	0.20	0.05	C_VIN0016__
3006	Acque Basse Santilaro	0.53	3.30	1.61	2.47	0.09	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS006
3007	Bacino	0.29	3.30	3.29	2.47	0.07	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.50	BA0001_B
3008	Acque Basse Bacino	0.42	3.30	0.30	2.47	0.43	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS007
30091	Guardania_monte	1.44	3.30	2.95	2.47	0.16	24.37	0.47	0.18	22.24	0.24	0.21	0.30	GU0001__
30092	Guardania_valle	0.59	3.30	1.61	2.47	0.10	24.40	0.46	0.18	22.42	0.24	0.21	0.05	GU0004__
3010	Acque Basse Lastra a Signa	0.62	3.30	0.04	2.47	0.34	23.53	0.41	0.18	22.37	0.26	0.21	0.05	CS008
30111	Stagno_monte	0.48	3.30	0.00	2.47	0.73	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	SG0001__
30112	Stagno_valle	0.50	3.30	0.00	2.47	0.39	21.05	0.32	0.17	20.79	0.30	0.20	0.05	SG0025__

Tabella 3-5 si riportano i parametri del modello ALTO per ciascun sottobacino.

CODICE	DENOMINAZI	AREA	IA	KS	N	K	A1	N1	M1	A	N	M	QB	SEZIONE
100101	Dogaione_monte	1.90	3.30	0.00	2.47	1.21	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	DG1002_B
100102	Dogaione_valle	2.01	3.30	0.00	2.47	0.55	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DG0008__
100201	Dogaia_monte	0.94	3.30	0.00	2.47	0.92	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	DO1013_B
100202	Dogaia_media	0.22	3.30	0.00	2.47	0.42	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0021__
100203	Dogaia_Badia_a_Settimo	0.31	3.30	0.00	2.47	0.37	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0022_D
100204	Collettore_Nord	0.46	3.30	0.00	2.47	0.49	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0027_D
100205	Dogaia_valle	0.14	3.30	0.00	2.47	0.23	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO0032_C
100206	Rigone_Monte	2.19	3.30	0.00	2.47	0.98	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	RI0001_B
100207	Rigone_Olmo	0.34	3.30	0.00	2.47	0.66	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0005_C
100208	Rigone_medio	0.37	3.30	0.00	2.47	0.56	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0010__
100209	Rigone_San_Colombano	0.34	3.30	0.00	2.47	0.36	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	RI0022_B
100210	Collettore_Sud	0.67	3.30	0.00	2.47	0.71	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	DO1034_B

100211	Rigone_valle	0.43	3.30	0.00	2.47	0.40	23.21	0.35	0.17	23.17	0.26	0.20	0.05	DO1034_C
10031	Stagnolo monte	1.15	3.30	0.00	2.47	0.99	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.20	ST0001_B
10032	Stagnolo valle	0.49	3.30	0.00	2.47	0.43	21.78	0.33	0.17	21.59	0.29	0.20	0.05	ST0022__
10041	Rimaggio monte	4.26	3.32	1.43	2.47	0.30	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.10	RM0001_B
10042	Rimaggio valle	0.21	3.30	1.45	2.47	0.16	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.05	RM0020__
1005	Acque Basse Rimaggio	0.71	3.31	1.26	2.47	0.11	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.05	CS003
3001	Vingone monte Ponte del Ristoro	15.12	9.00	1.47	2.47	0.61	24.28	0.37	0.17	24.50	0.23	0.20	0.20	S_VIN0052__
30021	Rialdoli monte	1.94	3.30	1.58	2.47	0.19	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	R_VIN0013__
30022	Rialdoli valle	0.58	3.30	3.01	2.47	0.10	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	R_VIN0005__
30031	Acque Basse Rialdoli monte	0.36	3.30	0.31	2.47	0.38	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS009
30032	Acque Basse Rialdoli valle	0.59	3.30	1.99	2.47	0.10	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS004
3004	Acque Basse Valimorta	0.29	3.30	3.24	2.47	0.07	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS005
3005	Valimorta	9.09	10.89	2.12	2.82	0.45	24.65	0.39	0.17	24.36	0.23	0.20	0.05	C_VIN0016__
3006	Acque Basse Santilario	0.53	3.30	1.61	2.47	0.09	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS006
3007	Bacino	0.29	3.30	3.29	2.47	0.07	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.50	BA0001_B
3008	Acque Basse Bacino	0.42	3.30	0.30	2.47	0.43	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	CS007
30091	Guardania monte	1.44	3.30	2.95	2.47	0.16	24.37	0.47	0.18	22.24	0.24	0.21	0.30	GU0001__
30092	Guardania valle	0.59	3.30	1.61	2.47	0.10	24.40	0.46	0.18	22.42	0.24	0.21	0.05	GU0004__
3010	Acque Basse Lastra a Signa	0.62	3.30	0.04	2.47	0.34	23.53	0.41	0.18	22.37	0.26	0.21	0.05	CS008
30111	Stagno monte	0.48	3.30	0.00	2.47	0.73	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.30	SG0001__
30112	Stagno valle	0.50	3.30	0.00	2.47	0.39	21.05	0.32	0.17	20.79	0.30	0.20	0.05	SG0025__

*Tabella 3-5 . Parametri del modello ALTO*

Nella Tabella 3-6 si riportano i parametri per le sezioni alle confluenze di ciascun affluente utilizzati per il calcolo dei tempi critici.

CODICE	DENOMINAZI	AREA	IA	KS	N	K	A1	N1	M1	A	N	M	QB	SEZIONE
1001	Dogaione	3.91	3.30	0.00	2.47	1.34	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.17	1001
1002	Rigone	6.42	3.30	0.00	2.47	1.43	24.60	0.37	0.17	24.72	0.23	0.20	0.17	1002
1003	Stagnolo	1.64	3.30	0.00	2.47	1.10	23.83	0.36	0.17	23.86	0.24	0.20	0.16	1003
1004	Rimaggio	4.47	3.32	1.43	2.74	0.36	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.10	1004
3007	Bacino	0.29	3.30	3.29	2.47	0.07	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.50	3007
3009	Guardania	2.03	3.30	2.56	2.47	0.20	24.38	0.47	0.18	22.29	0.24	0.21	0.23	3009
3011	Stagno	0.98	3.30	0.00	2.47	0.81	22.86	0.34	0.17	22.78	0.27	0.20	0.17	3011
3000	Vingone confluenza	32.84	8.02	1.70	2.24	0.96	24.40	0.38	0.17	24.28	0.23	0.20	0.14	3000

*Tabella 3-6 . Parametri del modello ALTO alle confluenze*

*Nella*

Tabella 3-7 si riportano i valori dei parametri nelle sezioni di controllo ove sono disponibili anche i parametri del modello Alto forniti dalla Regione Toscana riportati nella Tabella 3-8.

CODICE	DENOMINAZIONE	AREA	IA	KS	N	K	A1	N1	M1	A	N	M	QB	SEZIONE
1004	Rimaggio	6.86	12.91	0.98	2.74	0.36	20.35	0.26	0.17	20.65	0.26	0.18	0.05	1004
3002	Rialdoli	2.99	3.30	0.00	2.47	0.36	25.98	0.41	0.17	23.74	0.25	0.21	0.05	3002
3005	Valimorta	9.84	10.38	1.48	2.82	0.45	24.94	0.38	0.17	23.17	0.25	0.20	0.05	3005
3000	Vingone confluenza	37.66	8.47	0.68	2.24	0.96	25.00	0.39	0.17	23.16	0.25	0.21	0.05	3000

*Tabella 3-7- Parametri nelle sezioni di controllo*

CODICE	DENOMINAZIONE	AREA	IA	KS	N	K	A1	N1	M1	A	N	M	QB	SEZIONE
1004	Rimaggio	4.47	3.32	1.43	2.74	0.36	24.30	0.49	0.19	21.69	0.25	0.22	0.10	1004
3002	Rialdoli	2.52	3.30	1.91	2.47	0.36	24.71	0.37	0.17	24.83	0.23	0.20	0.05	3002

3005	Valimorta	9.09	10.89	2.12	2.82	0.45	24.65	0.39	0.17	24.36	0.23	0.20	0.05	3005
3000	Vingone confluenza	32.84	8.02	1.70	2.24	0.96	24.40	0.38	0.17	24.28	0.23	0.20	0.14	3000

*Tabella 3-8- Parametri nelle sezioni di controllo forniti dal modello Alto*

Nella Tabella 3-9 i valori delle portate per i vari tempi di ritorno nelle sezioni alle confluenze.

Codice	nome	Tr [anni]	Durata [h]	Afflusso [mm]	Kr	Afflusso ridotto [mm]	Suolo libero medio [mm]	Infiltrazione [mm]	Deflusso [mm]	Portata al colmo [mc/s]
1001	Dogaione	20	3.169	57.785	0.988	57.113	0.007	0	54.119	11.935
1001	Dogaione	30	3.169	62.539	0.988	61.812	0.006	0	58.818	12.957
1001	Dogaione	100	3.049	78.401	0.988	77.479	0.004	0	74.485	16.522
1001	Dogaione	200	3.049	89.748	0.988	88.692	0.003	0	85.698	18.986
1001	Dogaione	500	3.289	109.024	0.988	107.77	0.003	0	104.776	22.734
1002	Rigone	20	3.392	58.56	0.981	57.471	0.007	0	54.515	18.554
1002	Rigone	30	3.392	63.378	0.981	62.2	0.007	0	59.243	20.143
1002	Rigone	100	3.272	79.493	0.981	78	0.004	0	75.043	25.676
1002	Rigone	200	3.272	90.998	0.981	89.288	0.003	0	86.332	29.502
1002	Rigone	500	3.392	109.692	0.981	107.654	0.003	0	104.697	35.409
1003	Stagnolo	20	2.615	54.474	0.995	54.176	0.006	0	51.127	5.79
1003	Stagnolo	30	2.615	59.003	0.995	58.681	0.005	0	55.632	6.293
1003	Stagnolo	100	3.215	78.46	0.995	78.055	0.004	0	75.007	7.938
1003	Stagnolo	200	3.335	89.313	0.995	88.858	0.004	0	85.809	8.944
1003	Stagnolo	500	3.215	102.819	0.995	102.289	0.003	0	99.24	10.467
1004	Rimaggio	20	0.954	41.079	0.98	40.249	2.74	4.241	36.007	31.522
1004	Rimaggio	30	0.954	44.857	0.98	43.951	2.74	4.241	39.709	34.698
1004	Rimaggio	100	1.074	59.533	0.98	58.358	2.724	4.397	53.962	45.401
1004	Rimaggio	200	1.194	71.368	0.981	69.989	2.709	4.552	65.437	52.778
1004	Rimaggio	500	1.314	88.759	0.981	87.078	2.694	4.707	82.371	63.683
3000	Vingone confluenza	20	2.366	53.613	0.905	48.538	5.517	10.28	38.258	106.456
3000	Vingone confluenza	30	2.246	57.401	0.904	51.89	5.545	10.107	41.783	117.344
3000	Vingone confluenza	100	2.246	72.853	0.904	65.859	5.535	10.107	55.752	155.252
3000	Vingone confluenza	200	2.49	85.329	0.907	77.359	5.465	10.453	66.906	180.242
3000	Vingone confluenza	500	2.846	105.065	0.91	95.616	5.36	10.972	84.644	216.16
3007	Bacino	20	0.297	26.065	0.999	26.026	3.031	4.069	21.957	5.824
3007	Bacino	30	0.297	27.903	0.999	27.861	3.031	4.069	23.792	6.278
3007	Bacino	100	0.297	34.158	0.999	34.107	3.031	4.069	30.037	7.822
3007	Bacino	200	0.297	38.376	0.999	38.319	3.031	4.069	34.25	8.864
3007	Bacino	500	0.297	44.763	0.999	44.696	3.031	4.069	40.626	10.44
3009	Guardania	20	0.773	37.41	0.991	37.056	2.86	4.872	32.184	21.174
3009	Guardania	30	0.773	40.291	0.991	39.91	2.86	4.872	35.038	22.974
3009	Guardania	100	0.773	50.222	0.991	49.747	2.86	4.872	44.875	29.139
3009	Guardania	200	0.77	57.015	0.991	56.475	2.86	4.872	51.603	33.352
3009	Guardania	500	0.653	62.333	0.99	61.725	2.875	4.59	57.135	39.859
3011	Stagno	20	2.452	51.317	0.997	51.138	0.006	0	48.061	4.084
3011	Stagno	30	2.452	54.913	0.997	54.721	0.005	0	51.644	4.382
3011	Stagno	100	2.452	67.142	0.997	66.907	0.004	0	63.83	5.395
3011	Stagno	200	2.33	74.091	0.996	73.829	0.003	0	70.752	6.077
3011	Stagno	500	2.332	86.342	0.996	86.037	0.002	0	82.959	7.111

*Tabella 3-9 . Risultati del modello ALTO alla confluenza degli affluenti*

Le verifiche sono state condotte per tutte le durate critiche riportate nella Tabella 3-9. I valori del Kr sono stati calcolati in funzione delle suddette durate e dell'area dei bacini secondo come riportato in Tabella 3-10.

	Scenario		10000	1001	1002	1003	1004	3007	3009	3011	3000
			Arno	Dogaione	Rigone	Stagnolo	Rimaggio	Bacino	Guardania	Stagno	Vingone
		Durata	24	3.15	3.34	3.00	1.10	0.30	0.75	2.40	2.44
		Area	4250	3.91	6.42	1.64	4.47	0.29	2.03	0.98	32.84
	Arno		SIMI 24h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h	SIMI 3h
100101	Dogaione_monte		4250	3.91	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100102	Dogaione_valle		4250	3.91	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100201	Dogaia_monte		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100202	Dogaia_media		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100203	Dogaia_Badia_a_Settimo		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100204	Collettore_Nord		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100205	Dogaia_valle		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100206	Rigone_Monte		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100207	Rigone_Olmo		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100208	Rigone_medio		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100209	Rigone_San_Colombano		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100210	Collettore_Sud		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
100211	Rigone_valle		4250	4250	6.42	4250	4250	4250	4250	4250	4250
10031	Stagnolo_monte		4250	4250	4250	1.64	4250	4250	4250	4250	4250
10032	Stagnolo_valle		4250	4250	4250	1.64	4250	4250	4250	4250	4250
10041	Rimaggio_monte		4250	4250	4250	4250	4.47	4250	4250	4250	4250
10042	Rimaggio_valle		4250	4250	4250	4250	4.47	4250	4250	4250	4250
1005	Acque Basse Rimaggio		4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250	4250
3001	Vingone_monte Ponte del Ristoro		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30021	Rialdoli_monte		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30022	Rialdoli_valle		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30031	Acque Basse Rialdoli_monte		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30032	Acque Basse Rialdoli_valle		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
3004	Acque Basse Valimorta		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
3005	Valimorta		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
3006	Acque Basse Santilaro		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
3007	Bacino		4250	4250	4250	4250	4250	0.29	32.84	32.84	32.84
3008	Acque Basse Bacino		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30091	Guardania_monte		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	2.03	32.84	32.84
30092	Guardania_valle		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	2.03	32.84	32.84
3010	Acque Basse Lastra a Signa		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	32.84	32.84
30111	Stagno_monte		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	0.98	32.84
30112	Stagno_valle		4250	4250	4250	4250	4250	32.84	32.84	0.98	32.84

*Tabella 3-10 . Durate e area per le diverse simulazioni nell'area capoluogo*

Le portate per le sezioni di controllo sono riportate nella Tabella 3-11. Nella Tabella 3-12 si riportano le portate per le sezioni di controllo con i parametri forniti dalla Regione Toscana.

Codice	nome	Tr [anni]	Durata [h]	Afflusso [mm]	Kr	Afflusso ridotto [mm]	Suolo libero medio [mm]	Infiltrazione [mm]	Deflusso [mm]	Portata al colmo [mc/s]
1004	Rimaggio	20	0.954	41.079	0.98	40.249	2.74	4.241	36.007	31.522
1004	Rimaggio	100	1.074	59.533	0.98	58.358	2.724	4.397	53.962	45.401
1004	Rimaggio	200	1.194	71.368	0.981	69.989	2.709	4.552	65.437	52.778
3000	Vingone confluenza	20	2.366	53.613	0.905	48.538	5.517	10.28	38.258	106.456
3000	Vingone confluenza	100	2.246	72.853	0.904	65.859	5.535	10.107	55.752	155.252
3000	Vingone confluenza	200	2.486	85.329	0.907	77.359	5.465	10.453	66.906	180.242
3002	Rialdoli	20	1.106	42.422	0.99	41.999	2.776	5.013	36.986	18.132
3002	Rialdoli	100	1.106	55.592	0.99	55.039	2.774	5.013	50.026	24.362
3002	Rialdoli	200	1.106	62.458	0.99	61.836	2.774	5.013	56.823	27.603
3005	Valimorta	20	1.64	49.381	0.968	47.791	8.027	12.831	34.96	46.665
3005	Valimorta	100	1.76	67.42	0.968	65.287	7.963	13.057	52.23	66.268
3005	Valimorta	200	1.76	75.904	0.968	73.503	7.956	13.057	60.445	76.063

Tabella 3-11 . Portate nelle sezioni di controllo

Codice	nome	Tr [anni]	Durata [h]	Afflusso [mm]	Kr	Afflusso ridotto [mm]	Suolo libero medio [mm]	Infiltrazione [mm]	Deflusso [mm]	Portata al colmo [mc/s]
1004	Rimaggio	20	1.554	38.323	0.971	37.215	7.733	12.910	24.304	31.033
1004	Rimaggio	100	1.314	48.467	0.970	47.016	7.808	12.701	34.315	44.802
1004	Rimaggio	200	1.314	54.642	0.970	53.006	7.798	12.701	40.305	52.014
3000	Vingone confluenza	20	2.606	54.424	0.891	48.501	4.580	8.683	39.819	123.787
3000	Vingone confluenza	100	2.486	74.807	0.890	66.565	4.597	8.613	57.951	180.059
3000	Vingone confluenza	200	2.486	86.229	0.890	76.728	4.591	8.613	68.115	210.621
3002	Rialdoli	20	1.106	45.323	0.988	44.767	0.001	0.000	41.756	24.207
3002	Rialdoli	100	1.226	62.350	0.988	61.602	0.000	0.000	58.591	32.390
3002	Rialdoli	200	1.226	70.245	0.988	69.402	0.000	0.000	66.391	36.603
3005	Valimorta	20	1.520	47.356	0.963	45.598	7.315	11.238	34.360	50.608
3005	Valimorta	100	1.760	68.195	0.964	65.749	7.210	11.553	54.196	74.053
3005	Valimorta	200	1.760	76.950	0.964	74.190	7.204	11.553	62.637	84.912

Tabella 3-12 . Portate nelle sezioni di controllo con parametri RT

## 4 IL MODELLO IDRAULICO

Il modello idraulico adottato si basa sulle classiche equazioni del moto e di continuità per una corrente unidimensionale, associate a una opportuna equazione per la stima delle dissipazioni energetiche sia a carattere concentrato sia di tipo distribuito. Le equazioni, nella loro formulazione generale di De Saint Venant, esprimono le caratteristiche idrauliche (portata, carico piezometrico, altezza d'acqua, velocità) in funzione del tempo e dello spazio.

In generale, la risoluzione dello schema di moto vario viene ottenuta per via numerica, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante opportuni schemi numerici. La soluzione viene pertanto ottenuta solo nei punti di discretizzazione (e non con continuità su tutto il dominio). Tali punti sono rappresentati dalle sezioni geometriche rilevate (*discretizzazione spaziale*) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (*discretizzazione temporale*).

Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e, per lo schema di moto vario, anche dal passo temporale adottato. Nel presente caso il passo temporale adottato è stato di 10 minuti.

Gli elementi che compongono il modello idraulico sono riportati nella tavola T03.

### 4.1 Il modello in moto vario

In particolare, le equazioni di moto vario sono state applicate per lo studio della propagazione delle onde di piena, ovvero per la stima delle condizioni idrometriche dei presenti corsi d'acqua interessati da onde di piena.

Il modello di moto vario si basa sulle equazioni di continuità e di moto per una corrente liquida incomprimibile e unidirezionale in condizioni non stazionarie; tali equazioni risultano, rispettivamente:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad [4.1]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} + q(x) = 0 \quad [4.2]$$

in cui:

- $A$  = area della sezione liquida [m<sup>2</sup>];
- $Q$  = portata [m<sup>3</sup>/s];
- $q(x)$  = portata laterale (positiva se entrante) [m<sup>2</sup>/s];
- $H$  = carico totale della corrente [m];
- $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];
- $U$  = velocità media della corrente [m/s];
- $J$  = perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;
- $x$  = ascissa corrente lungo l'alveo [m];
- $t$  = tempo [s].

La perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2R} \quad [4.3]$$

ove, oltre ai simboli già noti,  $R$  è il raggio idraulico e  $C$  il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{K_s R^{1/6}}{\sqrt{g}} \quad [4.4]$$

ove  $K_s$  [ $m^{1/3}s^{-1}$ ] è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Nel caso specifico sono stati adottati i seguenti parametri di scabrezza di G.S.

- Arno 26 [ $m^{1/3}s^{-1}$ ] caratteristico di alvei naturale vegetati e con trasporto solido;
- Vingone, Bacino, Guardiania, Stagnolo, Stagno, Rimaggio e Dogaione 30 [ $m^{1/3}s^{-1}$ ] caratteristico di alvei naturali con scarsa o nulla vegetazione e con ridotto trasporto solido;
- Dogaia e Rigone 45 [ $m^{1/3}s^{-1}$ ] data la presenza di estesi tratti artificiali rivestiti in calcestruzzo;

Il coefficiente  $C$  (e i valori  $\alpha$  e  $\beta$  coefficienti di ragguglio dell'energia e della quantità di moto) sono calcolati con il metodo di Engelund (1964) che suddivide la sezione in strisce verticali fornendo le seguenti espressioni:

$$C^2 = \frac{1}{\Omega^2 R} \left( \int cr^2 d\Omega \right)^2$$

$$\beta = \Omega \frac{\int c^2 r d\Omega}{\left( \int cr^2 d\Omega \right)^2}$$

$$\alpha = \Omega^2 \frac{\int c^3 r^{\frac{3}{2}} d\Omega}{\left( \int cr^2 d\Omega \right)^3}$$

dove:

$C$  = coefficiente di Chezy adimensionale;

$\alpha$  = coefficiente di ragguglio dell'energia;

$\beta$  = coefficiente di ragguglio della quantità di moto;

$\Omega$  = area della sezione;

$R$  = raggio idraulico;

$c$  = coefficiente di Chezy adimensionale della singola striscia;

$r$  = raggio idraulico della singola striscia;

$d\Omega$  = area della singola striscia.



Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si sono valutate le perdite di carico effettivo addizionali,  $\Delta H$ , mediante la formula:

$$\Delta H = \xi \Delta \left( \alpha \frac{Q^2}{2gA^2} \right) \quad [4.5]$$

ove  $\alpha$  è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e  $\xi$  può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.9 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento. Tali coefficienti sono stati assunti in generale pari a 0.1 (contrazione) e 0.2 (espansione), in corrispondenza dei ponti sono stati di norma utilizzati i coefficienti 0.3 (contrazione) e 0.5 (espansione).

La risoluzione delle equazioni sopra descritte viene svolta per via numerica, discretizzandole opportunamente alle differenze finite, e associandovi appropriate condizioni al contorno.

Le equazioni ridotte in forma numerica sono in generale risolte in forma implicita approssimando alle differenze finite le derivate e operando una media pesata per gli altri termini. In particolare sono utilizzate le seguenti formulazioni:

$$A = p_s p_t A_i^k + p_s (1 - p_t) A_i^{k+1} + (1 - p_s) p_t A_{i+1}^k + (1 - p_s) (1 - p_t) A_{i+1}^{k+1}$$

$$\frac{\partial A}{\partial s} = p_t \frac{A_{i+1}^k - A_i^k}{\Delta s} + (1 - p_t) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_i^{k+1}}{\Delta s} \quad [4.6]$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} = p_s \frac{A_i^{k+1} - A_i^k}{\Delta t} + (1 - p_s) \frac{A_{i+1}^{k+1} - A_{i+1}^k}{\Delta s}$$

dove  $p_s$  è il peso della media spaziale e  $p_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo e l'indice  $i$  allo spazio). I valori utilizzati in genere per  $p_s$  e  $p_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, in corrispondenza delle sezioni fluviali predefinite, al variare del tempo si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata.

Nell'ipotesi di corrente lenta, le condizioni al contorno da imporre al sistema prima definito possono consistere nella attribuzione di una scala di deflusso nella sezione di chiusura di valle, del tipo:

$$Q = a(h - h_0)^c + q_0 \quad [4.7]$$

dove  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $q_0$  sono i parametri della scala di deflusso, mentre nella sezione di monte si assegna un idrogramma di portata.

Come condizione di valle può essere assunto, inoltre, un livello idrometrico o una portata variabili nel tempo. E' inoltre possibile inserire una portella nella simulazione che impedisce il rigurgito verso monte annullando la portata.

Nelle presenti simulazioni è stata calcolata una scala di deflusso nella sezione di valle. La scala di deflusso a valle è stata calcolata per il fiume Arno in funzione delle simulazioni condotte in moto vario nello studio a supporto del PAI dalla Autorità di Bacino del Fiume Arno (SIMI).

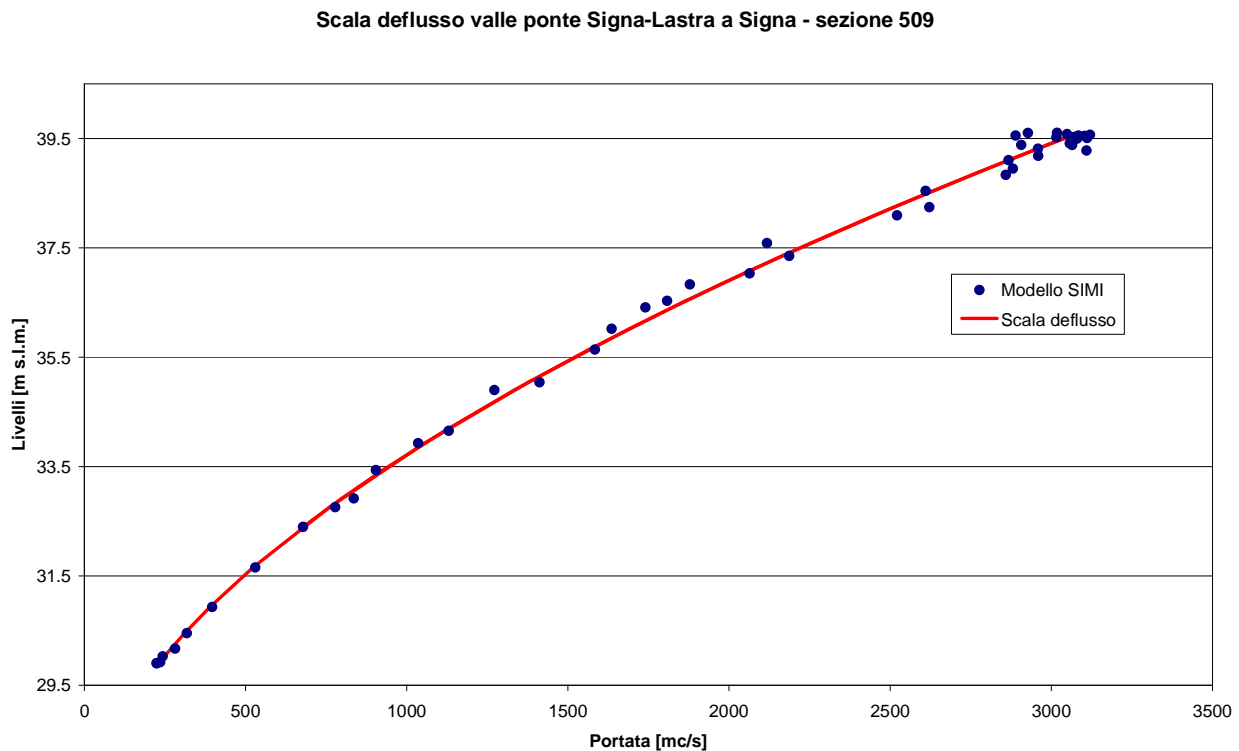


Figura 4-1 . Scala di deflusso a valle del ponte Signa-Lastra a Signa.

Nel caso di condizioni locali di corrente veloce, la profondità viene fissata sul valore critico. In particolare l'equazione di moto a valle della sezione viene sostituita dalla condizione di corrente critica nella sezione in esame.

La simulazione di eventuali fenomeni di esondazione è stata condotta associando al modello idraulico non stazionario appena descritto un modello quasi-bidimensionale o bidimensionale, definiti mediante la rappresentazione delle celle di accumulo+o distribuita delle aree inondabili adiacenti il corso d'acqua.

#### 4.2 Il modello di inondazione quasi - bidimensionale

La modellazione *quasi-bidimensionale tipo Cunge*, integra il modello mono-dimensionale con quello a macro-aree interconnesse.

Nel modello tipo Cunge l'area potenzialmente inondabile viene immaginata composta da aree elementari connesse idraulicamente tra loro e con la pila fluviale da soglie sfioranti. La definizione delle aree elementari che compongono le aree di potenziale inondazione deve avvenire con criteri di massima verosimiglianza del modello alla realtà: pertanto ad ogni struttura di contenimento identificabile sul territorio (quali i rilevati stradali e ferroviari, muri e argini) deve corrispondere il bordo di una o più aree.

La delimitazione e la modellazione di tali aree, dette *aree di laminazione*, per le quali risulta prevalente il fenomeno di invaso rispetto a quello di trasporto, avviene secondo le seguenti fasi:

- *individuazione e acquisizione delle strutture di contenimento*  
le aree elementari di potenziale esondazione sono delimitate da elementi di contorno rappresentati da argini, rilevati stradali e ferroviari, contenimenti naturali. L'individuazione di tali elementi è stata condotta sulla base cartografica della C.T.R. 1:2000 acquisita in forma digitale vettoriale;
- *caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale inondazione*  
in tale fase si è proceduto alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche delle aree elementari sulla base della cartografia con l'obiettivo di ricavare la legge di riempimento quota-volume di inondazione in funzione dei livelli di piena nella forma:

$$V = A(y - y_0)^B \quad [4.8]$$

in cui  $y_0$  è la quota minima del terreno all'interno dell'area.

- *definizione delle connessioni idrauliche*  
sulla base dell'analisi dettagliata delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali ed idrauliche del territorio sono definite le caratteristiche delle connessioni idrauliche tra l'alveo principale e le aree di potenziale esondazione, e tra le aree stesse.

La simulazione del fenomeno esondativo si basa inoltre sulle seguenti ipotesi:

- i volumi idrici di inondazione si generano esclusivamente *per tracimazione* delle sommità arginali del corso d'acqua. Non sono considerati altri fenomeni quali, ad esempio, il collasso delle strutture arginali o fenomeni di rigurgito diversi da quelli già considerati nel presente studio. Anche gli elementi infrastrutturali, delimitanti le aree di potenziale inondazione (i.e. rilevati stradali, ferroviari, etc.), si considerano, al pari degli argini fluviali, tracimabili senza collasso;
- il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area potenzialmente inondabile avviene seguendo la legge di riempimento quota-volume (4.8);
- il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area sia area/area avviene con la legge degli stramazzi in parete grossa, con possibilità di funzionamento bidirezionale, in condizioni di deflusso libero oppure rigurgitato in funzione dei livelli a monte e a valle dello stramazzo. La legge di deflusso adottata è la seguente:

$$Q_{sf} = l(\mu_1 h_2 - \mu_2 h_1) \sqrt{2gh_1} \quad [4.9]$$

dove  $l$  è la lunghezza della soglia,  $\mu_1$  e  $\mu_2$  sono pari rispettivamente a 0.65 e 0.4,  $h_1$  e  $h_2$  sono rispettivamente i livelli del pelo libero a monte e a valle, riferiti alla quota della soglia. Mentre la quota di sfioro delle connessioni alveo/area o area/area è in generale ben definibile come la quota inferiore dell'elemento di contenimento che separa le aree stesse, invece la lunghezza del fronte di sfioro ha un valore dipendente in linea di massima dalla densità spaziale delle sezioni fluviali o dalla lunghezza dei lati delle aree.

Il fenomeno dell'allagamento di ciascuna area avviene in modo sincrono, cioè non viene messo in conto il tempo effettivo connesso alla reale propagazione sul terreno dei volumi esondati.

La propagazione dei livelli idrici nelle celle avviene pertanto attraverso la sola legge di continuità dei volumi. A tale scopo è necessario considerare il volume accumulato nella singola cella e le sue variazioni dovute agli scambi di portata con le celle circostanti.

Ad ogni passo temporale l'equazione di continuità impone il bilancio tra i volumi netti transitati attraverso la cella e la variazione di volume locale, sotto le ipotesi che il volume accumulato in ciascuna cella sia univocamente correlato all'altezza idrica nella cella stessa, e che le portate scambiate siano funzione dei livelli a monte e a valle delle connessioni idrauliche.

In particolare, l'equazione di continuità per la generica area  $k$ -esima risulta la seguente:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(h_k, h_i) \quad [4.10]$$

ove  $A_{ck}$  rappresenta la superficie allagata nell'area  $k$ -esima,  $h_k$  è l'altezza d'acqua relativa,  $Q_{ki}$  è la portata scambiata con l'area  $i$ -esima adiacente in funzione delle relative altezze idriche e la sommatoria è estesa a tutte le aree in comunicazione diretta con l'area  $k$ -esima.

### 4.3 Il modello di inondazione bidimensionale

Le aree di potenziale esondazione possono essere modellate anche come oggetto bidimensionale a patto di fornire un modello digitale del terreno rappresentativo della loro altimetria.

La risoluzione dello schema di inondazione bidimensionale è ottenuta mediante la risoluzione di un sistema alle derivate parziali, di tipo iperbolico, non lineare, costituito dalle equazioni complete di De Saint Venant scritte in forma bidimensionale.

Le equazioni di continuità e del moto nelle due direzioni possono essere scritte come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad [4.8]$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial(uM)}{\partial x} + \frac{\partial(vM)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_x = 0 \quad [4.9]$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(uN)}{\partial x} + \frac{\partial(vN)}{\partial y} + gh \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \tau_y = 0 \quad [4.10]$$

in cui:

- x = coordinata longitudinale;
- y = coordinata trasversale;
- t = coordinata temporale;
- h = altezza d'acqua;
- u = componente di velocità nella direzione x;
- v = componente di velocità nella direzione y;
- M = uh = flusso della corrente in direzione x;
- N = vh = flusso della corrente in direzione y;
- h = altezza d'acqua;
- H = quota della superficie libera;
- $\rho$  = densità dell'acqua;
- $\tau_x$  = sforzo tangenziale al fondo nella direzione x;

$\tau_y$  = sforzo tangenziale al fondo nella direzione y.

In particolare, gli sforzi tangenziali lungo x e y sono stati valutati nel modo seguente:

$$\tau_x = \frac{\rho g n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [4.11a]$$

$$\tau_y = \frac{\rho g n^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad [4.11b]$$

avendo indicato con  $n$  il coefficiente di scabrezza di Manning assunto nel caso specifico pari a 0.01 [m<sup>-1/3</sup>s] (10 [m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>] di G.S.).

La risoluzione delle equazioni sopra scritte viene svolta numericamente mediante uno schema alle differenze finite di tipo implicito accoppiato ad appropriate condizioni al contorno.

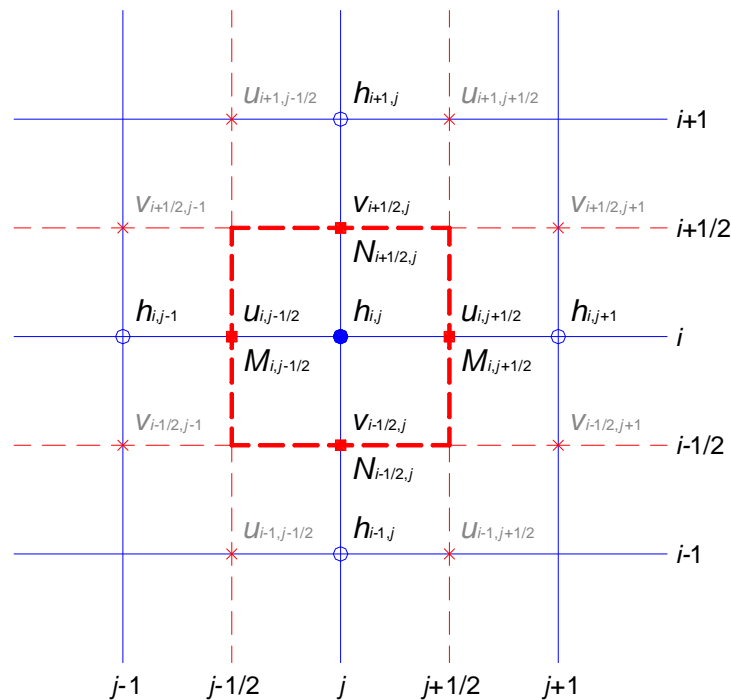


Figura 4-2 . Griglia di calcolo equazione di continuità

In particolare, facendo riferimento allo schema di Figura 4-2, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione di continuità:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{h_{i,j}^{k+1} - h_{i,j}^k}{\Delta t} \\ \frac{\partial M}{\partial x} = p_t \left( \frac{M_{i,j+1/2}^k - M_{i,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{M_{i,j+1/2}^{k+1} - M_{i,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial y} = p_t \left( \frac{N_{i+1/2,j}^k - N_{i-1/2,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{N_{i+1/2,j}^{k+1} - N_{i-1/2,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \end{array} \right. \quad [4.12]$$

in cui:

$$\begin{array}{ll} M_{i,j-1/2}^k = u_{i,j-1/2}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i,j-1}^k]; & N_{i-1/2,j}^k = v_{i-1/2,j}^k [p_s h_{i,j}^k + (1-p_s) h_{i-1,j}^k]; \\ M_{i,j+1/2}^k = u_{i,j+1/2}^k [p_s h_{i,j+1}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; & N_{i+1/2,j}^k = v_{i+1/2,j}^k [p_s h_{i+1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k]; \\ M_{i,j-1/2}^{k+1} = u_{i,j-1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j-1}^{k+1}]; & N_{i-1/2,j}^{k+1} = v_{i-1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i-1,j}^{k+1}]; \\ M_{i,j+1/2}^{k+1} = u_{i,j+1/2}^{k+1} [p_s h_{i,j+1}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}]; & N_{i+1/2,j}^{k+1} = v_{i+1/2,j}^{k+1} [p_s h_{i+1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}]. \end{array} \quad [4.13a,b]$$

Mentre, facendo riferimento allo schema di Figura 4-3, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione x:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial M}{\partial t} &= \frac{M_{i,j}^{k+1} - M_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(uh)_{i,j}^{k+1} - (uh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial (uM)}{\partial x} &= \rho_t \left( \frac{(uM)_{i,j}^k - (uM)_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{(uM)_{i,j}^{k+1} - (uM)_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial (vM)}{\partial y} &= \rho_t \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^k - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta y} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{(vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} - (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial x} &= g \left[ \rho_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k) + (1 - \rho_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i,j-1}^k}{\Delta x} \right) + (1 - \rho_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_x &= gn^2 (\rho_t u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_t) u_{i,j-1/2}^k) \cdot \left[ \rho_t (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1 - \rho_s) h_{i,j}^k) + (1 - \rho_t) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\langle (\rho_t u_{i,j-1/2}^k + (1 - \rho_t) u_{i,j-1/2}^{k+1})^2 + \left\{ \rho_t [\rho_s (v_{i-1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^k) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1 - \rho_t) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^k)] + (1 - \rho_t) [\rho_s (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1 - \rho_t) (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1 - \rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \right] \right\}^{1/2} \rangle
 \end{aligned} \right. \tag{4.14}$$

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uM)_{i,j-1}^k &= [\rho_s u_{i,j-3/2}^k \cdot u_{i,j-3/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k] h_{i,j-1}^k ; \\
 (uM)_{i,j}^k &= [\rho_s u_{i,j-1/2}^k \cdot u_{i,j-1/2}^k + (1 - \rho_s) u_{i,j+1/2}^k \cdot u_{i,j+1/2}^k] h_{i,j}^k ; \\
 (uM)_{i,j-1}^{k+1} &= [\rho_s u_{i,j-3/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-3/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1}] h_{i,j-1}^{k+1} ; \\
 (uM)_{i,j}^{k+1} &= [\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1 - \rho_s) u_{i,j+1/2}^{k+1} \cdot u_{i,j+1/2}^{k+1}] h_{i,j}^{k+1} ;
 \end{aligned} \tag{4.15a}$$

$$\begin{aligned}
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i-1,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i+1,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i+1,j}^k) \right]; \\
 (vM)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i-1,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (vM)_{i+1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i+1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i+1,j-1/2}^{k+1}) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i+1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i+1,j}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}
 \tag{4.15b}$$

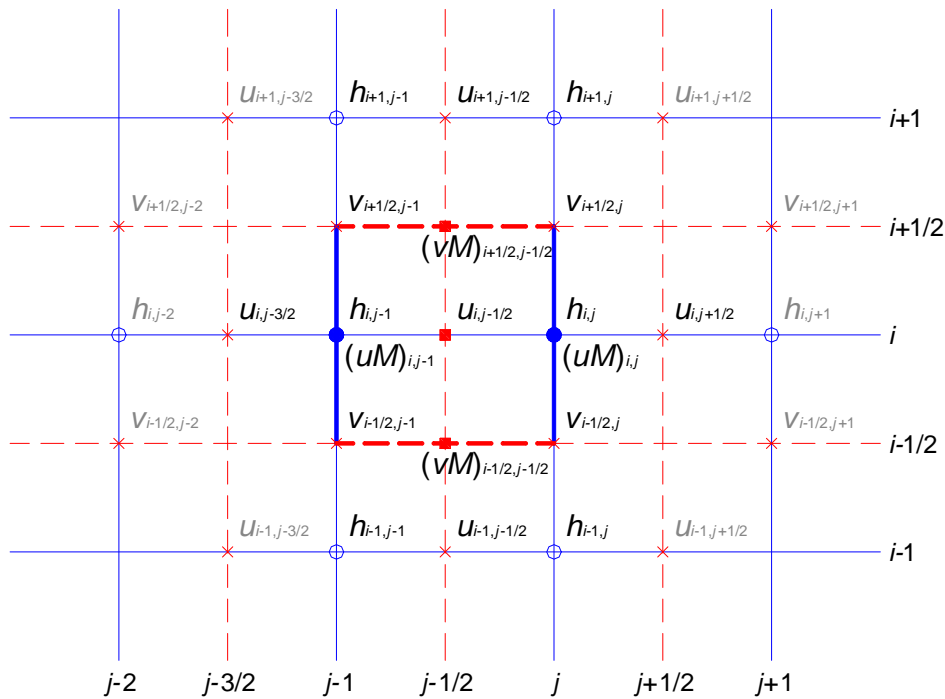


Figura 4-3 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo X

Infine, facendo riferimento allo schema di Figura 4-4, sono state utilizzate le seguenti formulazioni nell'equazione del moto nella direzione y:



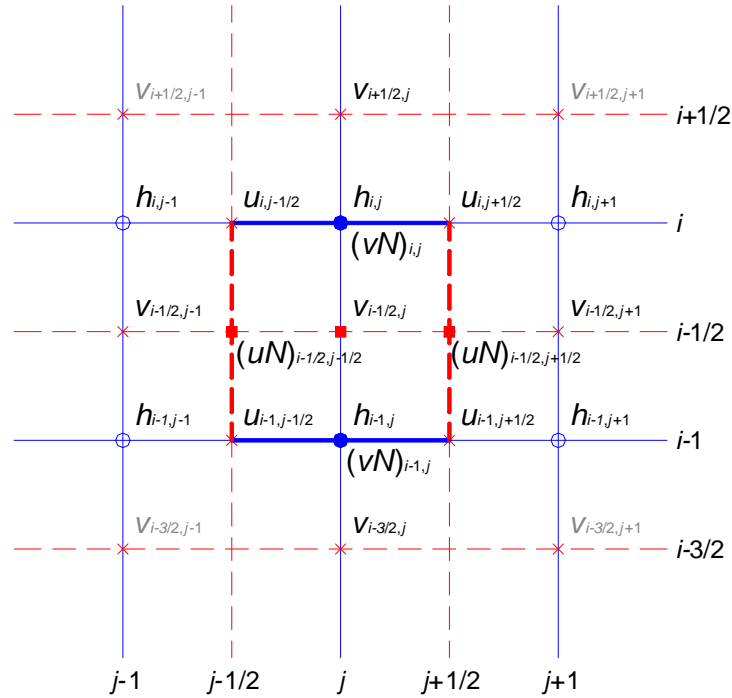


Figura 4-4 . Griglia di calcolo equazione di moto lungo Y

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial N}{\partial t} &= \frac{N_{i,j}^{k+1} - N_{i,j}^k}{\Delta t} = \frac{(vh)_{i,j}^{k+1} - (vh)_{i,j}^k}{\Delta t} \\
 \frac{\partial (uN)}{\partial x} &= p_t \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^k - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k}{\Delta x} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} - (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1}}{\Delta x} \right) \\
 \frac{\partial (vN)}{\partial y} &= p_t \left( \frac{(vN)_{i,j}^k - (vN)_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{(vN)_{i,j}^{k+1} - (vN)_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \\
 gh \frac{\partial H}{\partial y} &= g \left[ p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ p_t \left( \frac{H_{i,j}^k - H_{i-1,j}^k}{\Delta y} \right) + (1-p_t) \left( \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y} \right) \right] \\
 \frac{1}{\rho} \tau_y &= gn^2 (p_t v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^k) \cdot \left[ p_t (p_s h_{i-1,j}^k + (1-p_s) h_{i,j}^k) + (1-p_t) (p_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-p_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]^{-1/3} \cdot \\
 &\quad \cdot \left\langle \left\{ p_t [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^k) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^k)] + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (1-p_t) [p_s (p_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) + (1-p_s) (p_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-p_s) u_{i,j+1/2}^{k+1})] \right\}^2 + \right. \\
 &\quad \left. + (p_t v_{i-1/2,j}^k + (1-p_t) v_{i-1/2,j}^{k+1})^2 \right\rangle^{1/2}
 \end{aligned} \right\} \quad [4.16]$$

in cui:

$$\begin{aligned}
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^k) \right] \cdot \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^k &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^k) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^k + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^k) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^k + (1-\rho_s) h_{i,j}^k) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^k + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^k) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j-1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j-1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j-1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j-1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j-1}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) \right]; \\
 (uN)_{i-1/2,j+1/2}^{k+1} &= \left[ (\rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j+1}^{k+1}) \cdot (\rho_s u_{i-1,j+1/2}^{k+1} + (1-\rho_s) u_{i,j+1/2}^{k+1}) \right] \\
 &\quad \cdot \left[ \rho_s (\rho_s h_{i-1,j}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j}^{k+1}) + (1-\rho_s) (\rho_s h_{i-1,j+1}^{k+1} + (1-\rho_s) h_{i,j+1}^{k+1}) \right].
 \end{aligned}$$

[4.17a]

$$\begin{aligned}
 (vN)_{i,j-1}^k &= \left[ \rho_s v_{i-3/2,j}^k \cdot v_{i-3/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k \right] h_{i,j-1}^k; \\
 (vN)_{i,j}^k &= \left[ \rho_s v_{i-1/2,j}^k \cdot v_{i-1/2,j}^k + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^k \cdot v_{i+1/2,j}^k \right] h_{i,j}^k; \\
 (vN)_{i,j-1}^{k+1} &= \left[ \rho_s v_{i-3/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-3/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j-1}^{k+1}; \\
 (vN)_{i,j}^{k+1} &= \left[ \rho_s v_{i-1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i-1/2,j}^{k+1} + (1-\rho_s) v_{i+1/2,j}^{k+1} \cdot v_{i+1/2,j}^{k+1} \right] h_{i,j}^{k+1};
 \end{aligned}$$

[4.17b]

dove  $\rho_s$  è il peso della media spaziale e  $\rho_t$  il peso della media temporale (l'indice  $k$  è riferito al tempo, mentre gli indici  $i$  e  $j$  sono riferiti rispettivamente alle coordinate lungo  $x$  e  $y$ ). I valori utilizzati per  $\rho_s$  e  $\rho_t$  sono rispettivamente di 0.5 e 0.45 che dalle prove effettuate risultano essere i più affidabili per la risoluzione del sistema.

Il modello fornisce la risoluzione delle equazioni in corrispondenza dei nodi di una griglia spazio-temporale ove, al variare del tempo, si ricavano i valori delle grandezze idrauliche (portata, velocità, carico piezometrico, etc). A ciascun passo il programma bilancia le equazioni di moto e di continuità in modo iterativo fino al raggiungimento di una correzione su portate e livelli inferiore a una soglia prefissata. La propagazione delle esondazioni avviene in condizioni di corrente lenta.

Il modello digitale del terreno, riportato nelle tavole T02 ha una maglia di 25 m.

## 5 SCHEMATIZZAZIONE DELL'AREA

Il sistema idraulico dello stato attuale è stato così schematizzato:

- 19 tronchi;
- 35 immissioni di portata;
- 1 area di esondazione bidimensionale;
- 7 condizioni al contorno di livello;
- 1997 connessioni idrauliche;
- 31 paratoie;
- 4 idrovore.

Nella Figura 5-1 si riporta lo schema del sistema oggetto di studio.

Le sezioni utilizzate per la modellazione idraulica allo stato attuale sono complessivamente in numero pari a 497.

La geometria viene considerata ~~fissa~~ <sup>fissa</sup> nel tempo, prescindendo quindi da evoluzioni del letto sul breve e lungo periodo e ignorando di conseguenza i fenomeni di erosione e deposito di tipo generalizzato e localizzato.

La ubicazione delle sezioni topografiche è riportata nella tavola T02.

I profili longitudinali sono riportati nella tavola T03.

### **5.1 Il modello digitale delle aree inondabili**

Il modello digitale del terreno con passo 25mx25m è stato ricavato per aggregazione del rilievo Lidar 1mx1m.

Nella fase di aggregazione in corrispondenza dei rilevati è stata attribuita alla cella 25mx25m la massima quota del modello 1mx1m, nei restanti casi è stata assegnata la quota media.

Il modello digitale del terreno è collegato alle sezioni fluviali attraverso una serie di soglie sfioranti la cui quota è ricavata dalle sezioni fluviali.

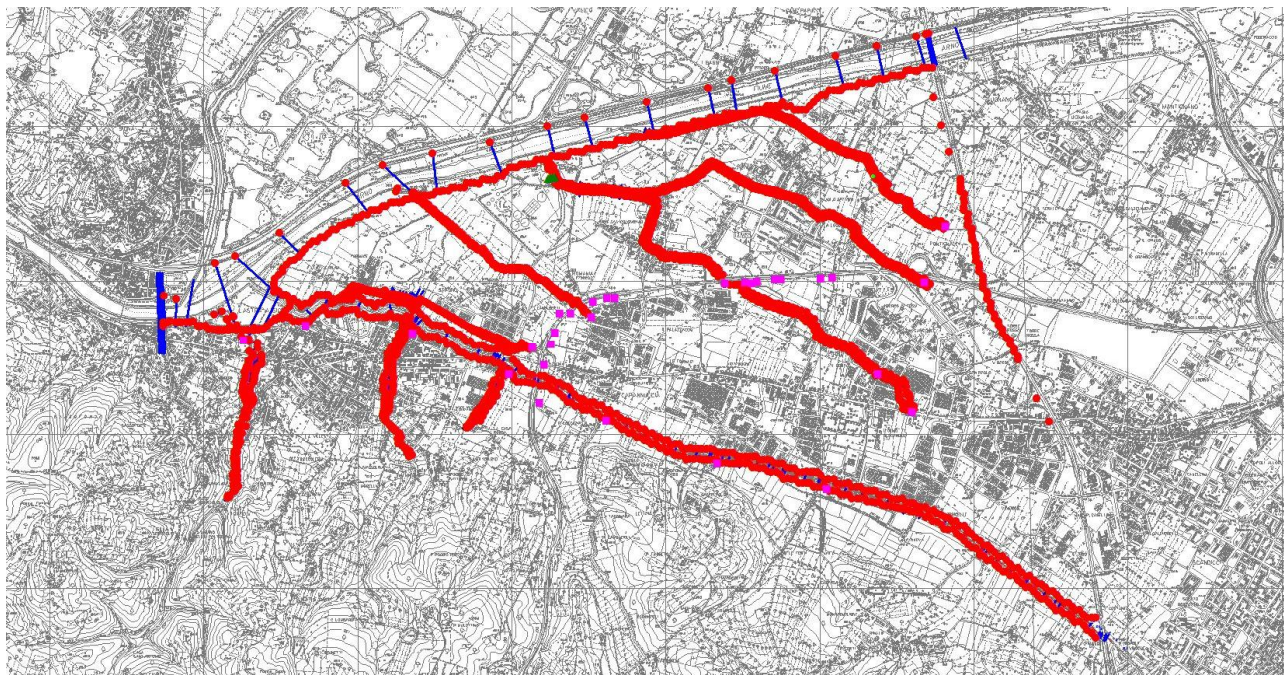


Figura 5-1 . Schema del sistema oggetto di studio.

## 5.2 Le condizioni al contorno

Le condizioni al contorno al sistema oltre alle portate in ingresso e alla scala di deflusso in corrispondenza del ponte di Lastra a Signa sono i livelli nelle aree di potenziale esondazioni limitrofe al modello bidimensionale.

Le aree di potenziale esondazione e i rispettivi livelli sono stati acquisiti dal modello SIMI della Autorità di Bacino del fiume Arno.

Le aree di potenziale esondazione sono le seguenti:

- VM-014
- VM-070
- VM-004
- VM-002
- VM-011
- VM-019
- VM-023

## 5.3 L'impianto di sollevamento di San Colombano

Il fosso Rigone assieme ai collettori fognari Nord e Sud confluiscono all'impianto di depurazione di San Colombano. All'impianto afferiscono inoltre il collettore in riva destra e sinistra del fiume Arno (quest'ultimo in fase di realizzazione) e il collettore proveniente da Lastra a Signa.

Presso l'impianto di depurazione è installato un impianto di sollevamento dotato complessivamente di 9 pompe:

- 3 pompe da 1.1 mc/s;
- 6 pompe da 3.6 mc/s.

Le prime sollevano le acque provenienti dal depuratore, le seconde sollevano le acque in occasione degli eventi meteorici.

Nel presente studio si è previsto che le pompe impegnate al sollevamento delle acque del fosso Rigone e dei collettori nord e sud siano 4 per un totale di 14.4 mc/s.

Il protocollo di funzionamento di caso di piena concordato con il Provveditorato alle Opere Pubbliche della Toscana prevede che il sollevamento si debba interrompere al raggiungimento del livello di 8.0m all'idrometro di ponte a Signa.

Lo zero idrometrico dell'idrometro dei ponte a Signa è di 28.06 m s.l.m. a cui corrisponde una quota a cui si deve interrompere il pompaggio di 36.06 m s.l.m.. Tale quota riportata allo scarico dell'impianto di sollevamento diventa 37.47 m s.l.m.

## 6 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata condotta per i tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

I tabulati delle verifiche idrauliche per ciascun tempo di ritorno sono riportati nell'Allegato A01. Nell'Allegato A02 sono riportate le sezioni fluviali con i livelli idrometrici.

Nella tavola T03 è riportato il profilo longitudinale con i livelli idrometrici.

Per ciascun tempo di ritorno è stata prodotta una mappa dei battenti e delle velocità nelle aree inondabili riportata nella tavola T04.

Nelle tavole T05, T06 e T07 si riportano le planimetrie delle aree inondate, della pericolosità idraulica ai sensi del 53/R e del PAI.

### 6.1 *Analisi dei risultati*

Il fiume Arno esonda in sponda destra in corrispondenza dei Renai già per il tempo di ritorno di 20 anni in corrispondenza delle sezioni 516, 517 e 518.

Il torrente Vingone esonda anch'esso a partire dal tempo di ritorno di 30 anni a valle del Ponte del Ristoro. A monte del ponte del Muretto si registra lo sfioro in sinistra in corrispondenza della cassa di Villa Antinori. Tra il Ponte del Muretto e il Ponte Riccardi non si registrano criticità. Nel tratto tra il ponte Riccardi e il ponte di Granatieri si registrano alcune criticità in sponda sinistra a partire dal tempo di ritorno di 30 anni (in modo particolare immediatamente a monte del ponte). Tra il ponte di Granatieri e il ponte della Tosco-Romagnola si registrano delle esondazioni in sinistra a partire dal tempo di ritorno di 100 anni. A valle del ponte della statale tosco Romagnola si entra nel tratto di rigurgito del fiume Arno. Le esondazioni diventano diffuse a partire dal tempo di ritorno di 100 anni anche se con modesti battenti sugli argini.

Il fosso del Bacino presenta un tombamento fortemente insufficiente su via Antonio Gramsci (diametro 800mm) che risulta sormontato già per il tempo di ritorno di 20 anni. Nel tratto a valle, che ricade nel rigurgito del torrente Vingone, si registrano esondazioni già per il tempo di ritorno di 30 anni sia in destra che in sinistra idraulica data la quota insufficiente delle arginature.

Il fosso della Guardiania presenta una forte insufficienza nel tratto iniziale dove è presente un tombamento di circa 300 m di lunghezza che presenta una sezione iniziale di forma rettangolare (1.8m x 1.6m) e una sezione terminale di forma circolare (1.5m di diametro). Il tombamento risulta insufficiente già per il tempo di ritorno di 30 anni. A valle risulta particolarmente critico il ponte di via Antonio Gramsci che provoca estese azioni a monte. Tra la via Antonio Gramsci e la Tosco-Romagnola la criticità è relativa alle quote degli argini che non sono in grado di contenere il rigurgito del torrente Vingone a partire dal tempo di ritorno di 30 anni in modo particolare sulla sponda sinistra. A valle della Via Tosco-Romagnola non vi sono particolari criticità.

Il Borro di Rimaggio presenta varie criticità. A monte il tombamento in corrispondenza della via Vecchia Pisana si presenta critico a partire dal tempo di ritorno di 100 anni. Procedendo verso valle sono presenti altri due attraversamenti per l'accesso ad abitazioni private anch'essi fortemente insufficienti. Il ponte per via Santa Lucia risulta sormontato a partire dal tempo di

ritorno di 100 anni. Il ponticello a monte dell'incrocio tra via Vecchia Pisana e via di Santa Lucia risulta sormontato già per 30 anni. Il ponte all'incrocio tra via Vecchia Pisana e via di Santa Lucia risulta sormontato a partire dal tempo di ritorno di 30 anni anche a causa dell'insufficienza del ponte ad arco posto a valle che restringe fortemente la sezione utile. Il tratto tra il suddetto ponte e la Via di Sotto presenta alcune criticità a partire dal tempo di ritorno di 30 anni per insufficienza delle quote delle sommità arginali a seguito del rigurgito del fiume Arno.

Il fosso Stagno, in quanto acqua bassa, risulta completamente rigurgitato dal torrente Vingone. In condizioni non rigurgitate il fosso Stagno inizia a esondare a partire dai tempi di ritorno di 30 anni.

Il fosso Stagnolo, come il fosso Stagno risulta completamente rigurgitato dal fiume Arno. In condizioni non rigurgitate riesce a contenere la portata con tempo di ritorno di 20 anni a meno di alcune criticità locali.

Il fosso Rigone, il fosso Dogaia e il fosso Dogaione diventano critici nel tratto terminale già a partire dal tempo di ritorno di 30 anni. Per tempi di ritorno superiori sono rigurgitati dalle esondazioni del fiume Arno.

## 7 PERIMETRAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Le aree inondabili sono state tracciate a partire dalle mappe dei battenti.

Le aree inondabili sono state tracciate per i tempi di ritorno di 30, 100, 200, 500 anni (Tavola T05).

A partire dalla mappa delle aree allagabili è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dal Regolamento 53/R (14 eventi con tempo di ritorno inferiore a 30 anni, 13 eventi con tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni, e 12 eventi con tempo di ritorno compreso tra 200 e 500 anni) (Tavola T06).

Analogamente è stata ricavata la carta della pericolosità idraulica come definita dalla Autorità di Bacino Toscana Costa secondo il seguente criterio (Tavola T07):

PIME -  $Tr < 30$  anni;

PIE .  $30 \text{ anni} < Tr < 200$ .

Nelle aree ricadenti nel comune di Lastra a Signa ove non è stato condotto il presente studio sono state riportate le perimetrazioni del PAI vigente.

### 7.1 Confronto con gli studi precedenti

Per l'area del capoluogo il confronto è stato condotto con lo studio della Università di Pisa sulla pericolosità idraulica di aree poste in Sx del F.Arno nei comuni di Scandicci e Lastra a Signa.

In primo luogo sono stati confrontati i risultati del modello di simulazione dell'Arno. Nella Figura 7-1 si riporta a titolo di esempio l'idrogramma in ingresso a valle della confluenza del torrente Greve, si osserva che gli idrogrammi sono di fatto coincidenti.

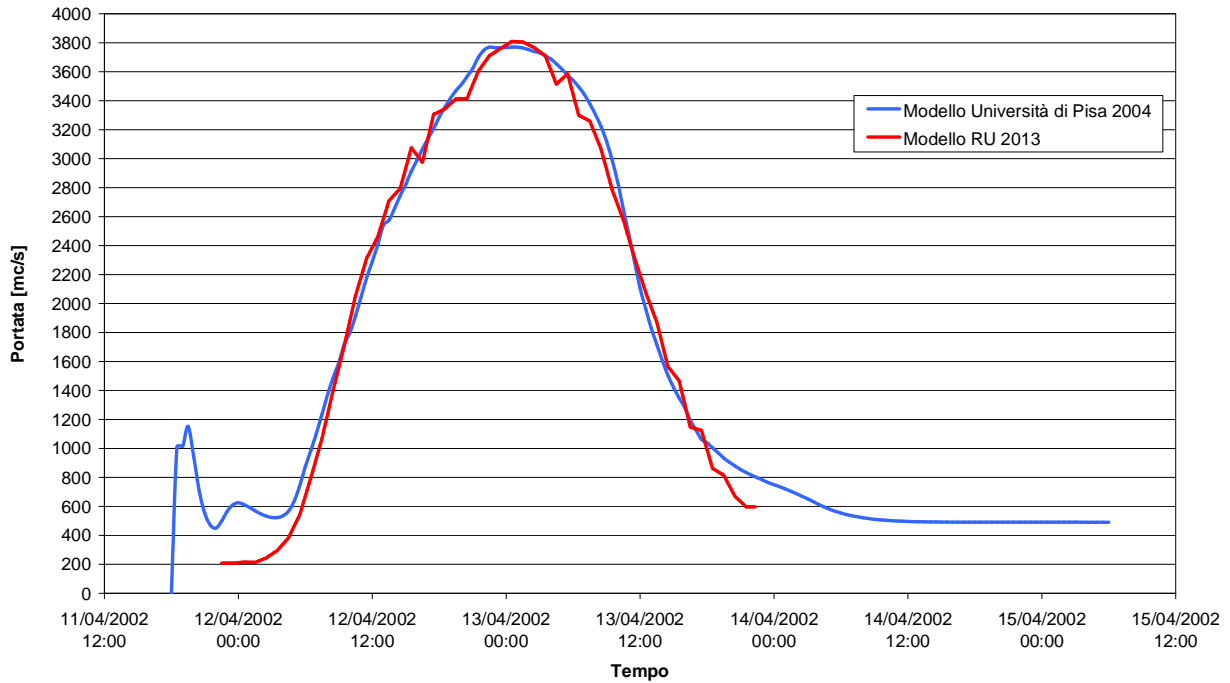
Nella Figura 7-2 si riporta il confronto tra le portate a valle del ponte tra Signa e Lastra a Signa. Si osserva che gli idrogrammi di fatto coincidono.

Si osserva che il modello della Università di Pisa prevedeva verifiche separate per i corsi d'acqua Arno, Vingone e Greve pertanto senza tener conto di eventuali fenomeni di rigurgito dall'Arno verso i due affluenti. Nel caso specifico è stato verificato che il fiume Vingone e i suoi affluenti non sono in grado di contenere il rigurgito del fiume Arno come è possibile osservare nella Figura 7-3 dove la portata del torrente Vingone risulta negativa pari a circa 120 mc/s.

Si osserva inoltre che gli affluenti del fiume Arno quali Vingone e Greve sono stati verificati assumendo come condizione di valle sempre quella relativa a un tempo di ritorno di 30 anni mentre nel presente studio si è assunto un uguale tempo di ritorno.

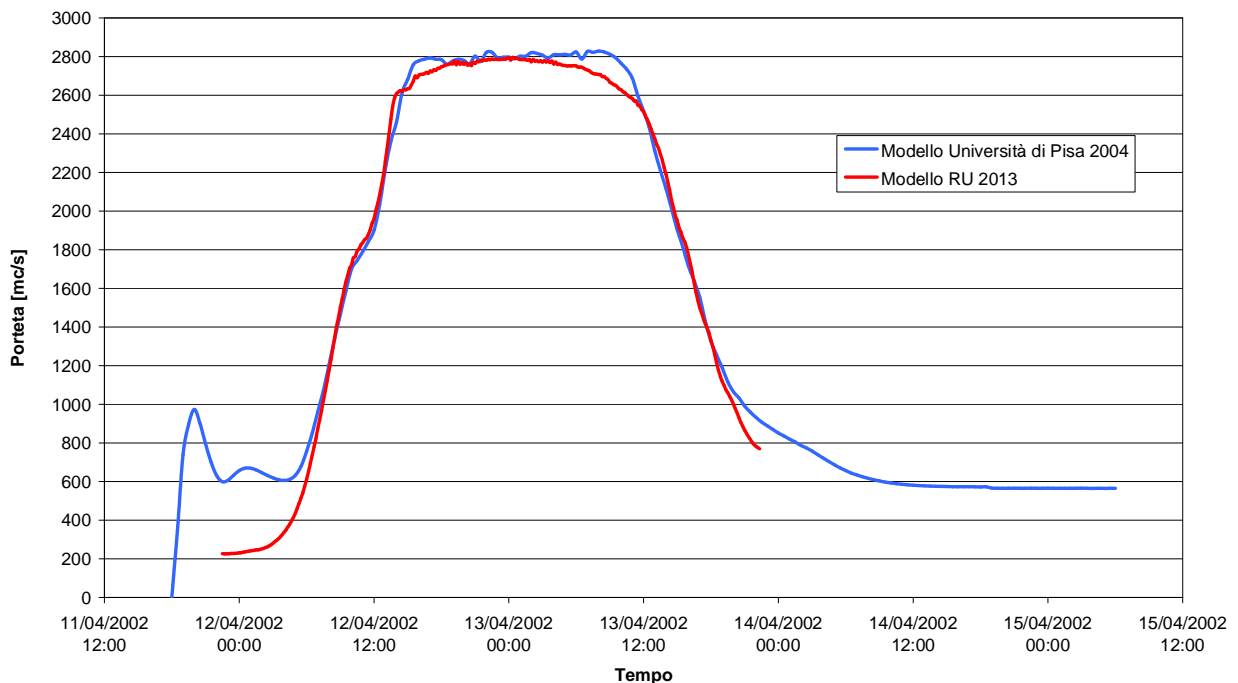


**Idrogramma fiume Arno Tr200 durata 24 ore- valle confluenza Greve - sezione 529**



*Figura 7-1 . Idrogrammi sul fiume Arno a valle della confluenza della Greve.*

**Idrogramma fiume Arno Tr200 durata 24 ore- valle ponte Signa - sezione 507**



*Figura 7-2 . Idrogrammi sul fiume Arno a valle del ponte Signa-Lastra a Signa.*

Idrogramma torrente Vingone Tr 200 durata 24 ore - alla confluenza

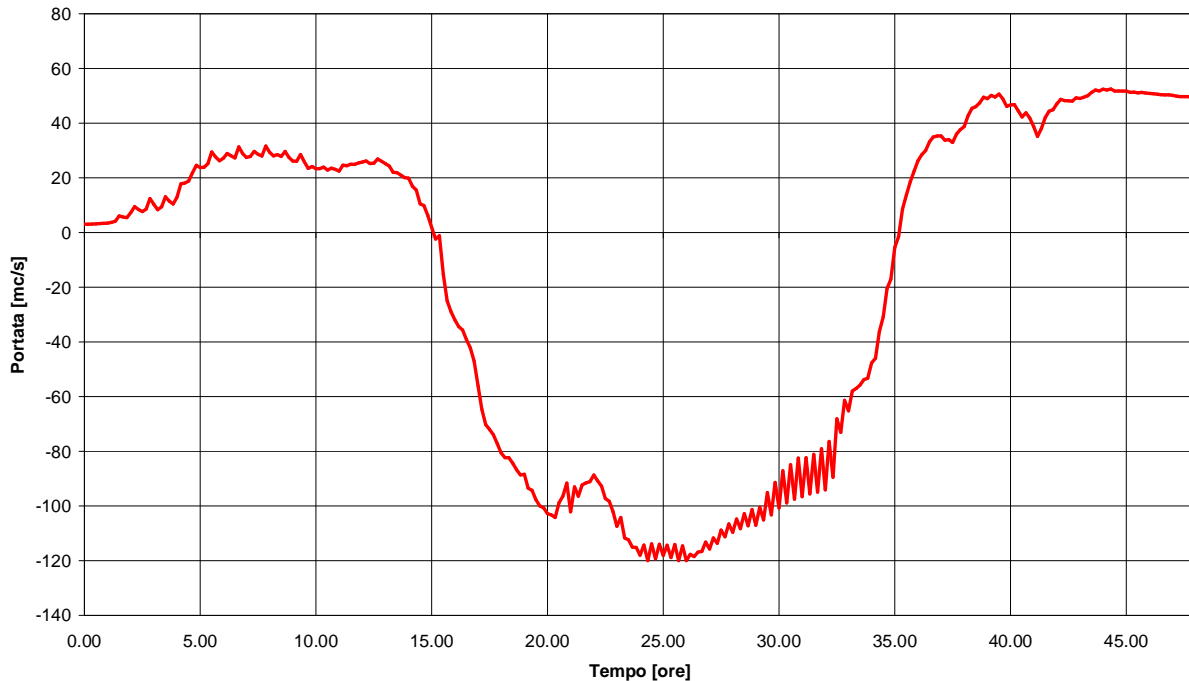


Figura 7-3 . Idrogramma del torrente Vingone alla confluenza.

Dal confronto tra le Figura 1-18, Figura 1-19 e Figura 1-20 e le Tavole T05 si osserva quanto segue:

- per il tempo di ritorno di 30 anni nello studio attuale vi sono maggiori aree inondate sia in destra che in sinistra idraulica del torrente Vingone dovute alle esondazioni degli affluenti non modellati nello studio della Università di Pisa;
- per il tempo di ritorno di 100 anni le esondazioni risultano simili, il livello medio in destra Vingone risulta di circa 36.20 m s.l.m. contro un livello di 36.01 m s.l.m. dello studio della Università di Pisa e un livello di 35.73 m s.l.m. del SIMI;
- per il tempo di ritorno di 200 anni le esondazioni hanno estensione confrontabile mentre si registra un diminuzione dei livelli, il livello in destra Vingone risulta di circa 37.40 m s.l.m. contro un livello di 37.43 m s.l.m. dello studio della Università di Pisa e un livello di 37.57 m s.l.m. del SIMI;
- per il tempo di ritorno di 500 anni le esondazioni hanno sempre estensione confrontabile ma permane un minore livello, il livello in destra Vingone risulta di circa 39.40 m s.l.m. contro un livello di 38.34 m s.l.m. dello studio della Università di Pisa e un livello di 39.99 m s.l.m. del SIMI.