

**Comune di Montalcino**

# **PIANO STRUTTURALE**

## **RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA**

*Agosto 2025*

# Piano Strutturale

progetto:

Roberto Vezzosi (capogruppo)

Stefania Rizzotti, Idp studio

Massimiliano Rossi, Fabio Poggi, Davide Giovannuzzi, Mirko Frascioni, Matteo Frascioni ProGeo Engineering srl

Renzo Falaschi, Fausto Capacci

Monica Coletta, Studio Tecnico Agostoli di Coletta, Frassinetti, Sarrica

Stefano Campana

Valentina Vettori

Martina Romeo, Massimo Tofanelli

Maria Rita Cecchini (VAS)

Sindaco e Assessore all'Urbanistica: Silvio Franceschelli

Garante dell'informazione e della partecipazione: Alessandro Caferri

Responsabile del procedimento: Paolo Giannelli

## Comune di Montalcino



**INDICE**

INDICE.....	1
1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2 STUDI IDRAULICI ESISTENTI SUL TERRITORIO COMUNALE.....	6
3 CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO .....	7
3.1 Inquadramento Generale.....	7
3.2 Inquadramento geomorfologico.....	8
3.3 Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio.....	9
3.4 Individuazione dei Bacini Idrografici.....	11
4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO .....	13
5 ANALISI IDROLOGICA .....	17
5.1 Impostazione del metodo di analisi .....	18
5.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....	18
5.2.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica puntuali.....	18
5.2.2 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica areali.....	25
5.3 Pioggia effettiva.....	32
5.3.1 Modello di infiltrazione - Metodo SCS-CN.....	32
5.3.2 Determinazione del CN III.....	36
5.4 Portate di progetto. Trasformazione afflussi/deflussi .....	39
5.4.1 Modello SCS Idrogramma Unitario .....	40
5.4.2 Modello Kinematic Wave .....	40
5.4.3 Stima del <i>lag time</i> .....	42
5.4.4 Risultati della modellazione idrologica .....	62
5.4.5 Confronto dei risultati con studi pregressi.....	75
6 ANALISI IDRAULICA.....	77
6.1 Descrizione della modellazione idraulica .....	77
6.2 Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 5.0.7.....	77
6.3 Modellazioni idrauliche bidimensionali - HEC-RAS 5.0.7 .....	79
6.4 Strategia di modellazione – scelta degli scenari di progetto.....	81
7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE .....	84

7.1	Modello "Montisi" .....	85
7.2	Modello "ASSO monte" .....	92
7.3	Modello "ASSO" .....	100
7.4	Modello "Orcia_Intermedio" .....	111
7.5	Modello "Sant'Angelo Scalo (Cinigiano)" .....	119
8	MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ D'ALLUVIONE .....	139
9	MAPPA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLA MAGNITUDO IDRAULICA.....	140
10	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	141

## 1 PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente studio idrologico ed idraulico è redatto su incarico del Comune di Montalcino a supporto del Piano Strutturale secondo quanto previsto dall'Allegato A alla DGRT n. 31 del 20.01.2020 "Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche" e della LR 41/2018 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni)."

Il lavoro intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dai corsi d'acqua compresi nel reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012 aggiornato con DCRT 24/2025.

Ai sensi della LR41/2018 e dall'Allegato A alla DGRT n. 31 saranno definite le condizioni di pericolosità idraulica all'interno del territorio urbanizzato tramite la seguente classificazione:

- P<sub>3</sub> - aree a pericolosità per alluvioni frequenti (art. 2, comma 1, lettera d) della LR 41/2018), corrispondenti ad eventi di piena con  $Tr \leq 30$  anni;
- P<sub>2</sub> - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (art. 2, comma 1, lettera e) della LR 41/2018), corrispondenti ad eventi di piena con  $30 < Tr \leq 200$  anni;
- P<sub>1</sub> - aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (punto c.2) delle "Direttive tecniche per lo svolgimento delle indagini geologiche, idrauliche e sismiche". corrispondenti ad eventi di piena con tempi superiori a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale (art. 6 comma 1 lettera a) della Disciplina del PGRA;

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 codici di calcolo HEC-HMS ed HEC-RAS 5.0.7.

Le perimetrazioni delle aree allagate corrispondenti ad eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 200 anni sono invece definite sulla base della perimetrazione P<sub>1</sub> di PGRA ciclo 2021-2027 dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'appennino Settentrionale (AdBDAS).

Al di fuori delle aree urbanizzate, in presenza di aree non riconducibili alle mappe di pericolosità da alluvione ed in assenza di studi idrologici idraulici, ai sensi delle direttive tecniche dell'Allegato A alla DGRT n. 31 del 20.01.2020, sono definiti:

- gli ambiti territoriali di fondovalle, posti in situazione morfologicamente sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.
- le aree presidiate da sistemi arginali come definite dall'articolo 2, comma 1, lettera s) della LR 41/2018.

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

Con l'entrata in vigore della L.R. 41/2018 e DGRT n. 31 del 20.01.2020, vale quanto segue:

Definizione e correlazione delle classi di pericolosità in funzione della frequenza degli eventi alluvionali (Allegato A della DGRT n. 31 del 20.01.2020, disciplina di PGRA e LR 41/2018):		
PGRA	LR 41/2018	Allegato A della DGRT n. 31 del 20.01.2020
aree a pericolosità d'alluvione bassa (P1)	-	aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)
aree a pericolosità d'alluvione media (P2)	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti	aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)
aree a pericolosità d'alluvione elevata (P3)	aree a pericolosità per alluvioni frequenti	aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)

Tabella 1-1 – Corsi d'acqua oggetto di modellazione idrologico-idraulica

Il presente studio, è stato quindi redatto 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:

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

Preme fin da subito precisare che per quanto riguarda l'area di Sant'Angelo Scalo lo studio idraulico di supporto al Piano Strutturale del Comune di Montalcino ha acquisito la recente modifica al PGRA in aggiornamento a seguito di uno studio redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi, salvo qualche modifica minimale della perimetrazione della pericolosità idraulica a seguito dei recenti lavori relativi sul nuovo attraversamento di T. Spagnolo sulla SP117. (studio dell'ing. Lombardi, 2019).

In data 12 marzo 2020 la società scrivente ha richiesto all'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale le condizioni al contorno per l'esecuzione di questo studio idrologico-idraulico nel rispetto della Disciplina di PGRA. L'AdBDAS ha risposto con propria nota (prot. di partenza n. 2764/2020 del 09.04.2020) come segue: *"...omissis...In particolare, per quanto attiene al reticolo secondario, le condizioni al contorno di monte sono costituite dagli idrogrammi di input al modello idraulico delle aste da studiare e quelle di valle sono rappresentate dai livelli idrici dei corsi d'acqua principali a cui affluisce il reticolo secondario. Pertanto, dopo aver individuato i corsi d'acqua oggetto di studio, dovranno essere seguite le modalità indicate nell'allegato 3 della disciplina di piano del PGRA per il calcolo degli idrogrammi di piena qualora il quadro conoscitivo attuale relativo agli aspetti idrologici non fosse già stato aggiornato secondo tali disposizioni. Le condizioni al contorno di valle dipenderanno dal corso d'acqua ricettore e dall'estensione dello studio sul reticolo secondario. Dovranno, inoltre, essere tenuti in considerazione i criteri di confronto con studi esistenti e di coerenza alla scala di sottobacino, come stabilito nel corso della riunione tecnica di coordinamento del 1 ottobre 2019."*

## 2 STUDI IDRAULICI ESISTENTI SUL TERRITORIO COMUNALE

La redazione degli studi idraulici del comune di Montalcino è stata condotta a tenendo in considerazione gli studi idrologici idraulici del vigente piano strutturale e di aggiornamento del PGRA.

In particolare, lo studio idraulico è stato condotto, analizzando le aste fluviali di cui al reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012 e ss.mm.ii. che risulta interferente con il Territorio Urbanizzato, (art. 4 della LR 65/2014) nel rispetto di quanto riportato della DCRT n.24/2025; tali corsi d'acqua sono riportati nella tabella seguente (Tabella 2-1).

Preso atto del recente aggiornamento del PGRA dell'area di Sant'Angelo Scalo (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS), i modelli idraulici indicati con (\*) sono stati redatti al solo fine di definire i valori dei battenti e delle velocità idraulica, per il calcolo della magnitudo. Tale operazione è stata condotta aggiornando la geometria d'alveo sul T. Spagnola a seguito della realizzazione dei lavori del nuovo attraversamento sulla SP117.

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 24/2025	Studi idraulici pregressi	Nuovo Modello idrologico	Nuovo Modello idraulico
TS17711		X	X
Torrente Asso monte		X	X
Fosso Mobbiano		X	
Torrente Asso		X	X
Asso Interbacino		X	
Fosso Riguzzo		X	X
Orcia Intermedio		X	X
Orcia (zona Sant'Angelo Scalo)	X		(*)
Orcia Interbacino		X	
TS35134		X	X
TS78736		X	X
Torrente Spagnola	X		(*)

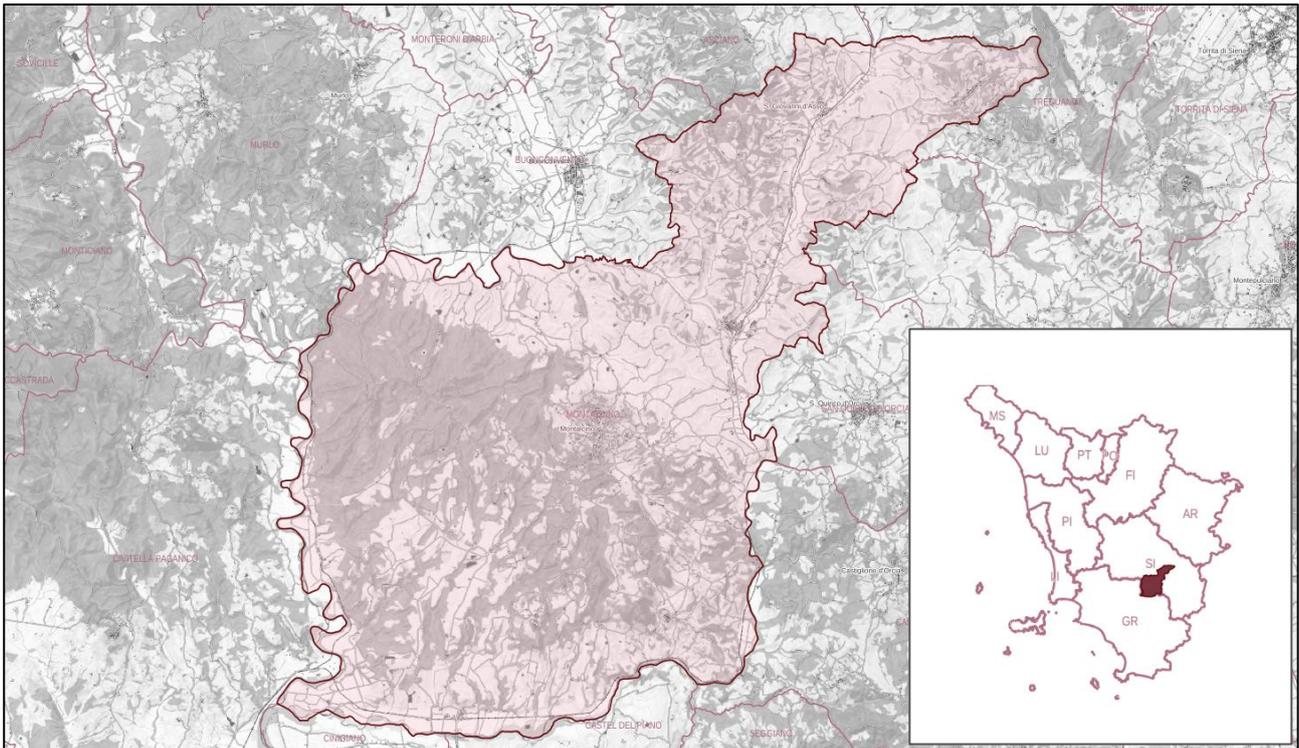
**Tabella 2-1** – Corsi d'acqua oggetto di modellazione idrologico-idraulica

(\*) modelli idraulici redatti al solo fine di definire i valori dei battenti e delle velocità idraulica, per il calcolo della magnitudo.

### 3 CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

#### 3.1 Inquadramento Generale

Lo studio in oggetto riguarda aste fluviali, ubicate nel comune di Montalcino (SI), nella parte Sud-Ovest della Regione Toscana al confine con la provincia di Grosseto (Figura 3-1).



**Figura 3-1** - Individuazione del Comune di Montalcino (cartografia 50k della Regione Toscana).

Il territorio comunale di Montalcino si estende nella parte centrale nel sud della Toscana, in Provincia di Siena, confina a Nord con i comuni di Buonconvento (Si), Asciano (Si), Trequanda (Si), ad Est quelli di Pienza (Si), S. Quirico d'Orcia (Si), Castiglione d'Orcia (Si), a sud con quelli di Castel del Piano (Gr) e Cinigiano (Gr), ad ovest con quelli di Civitella Paganico (Gr), Murlo (Si).

Il territorio comunale risulta inquadrato come segue:

- Nei fogli della Cartografia Tecnica Regionale Toscana scala 1:10.000 308030, 308040, 309010, 308050, 308060, 308070, 308080, 308090, 308100, 308110, 308120, 308130, 308140, 308150, 320010, 320020, 320030.
- Nei fogli della Cartografia LIDAR della Regione Toscana: 09l03, 09l04, 09l05, 09l11, 09l12, 09l13, 09l14, 09l15, 09l16, 09l22, 06l23, 09l24, 09m01, 09m02, 09m03, 09m04, 09m05, 09m09, 09m10,

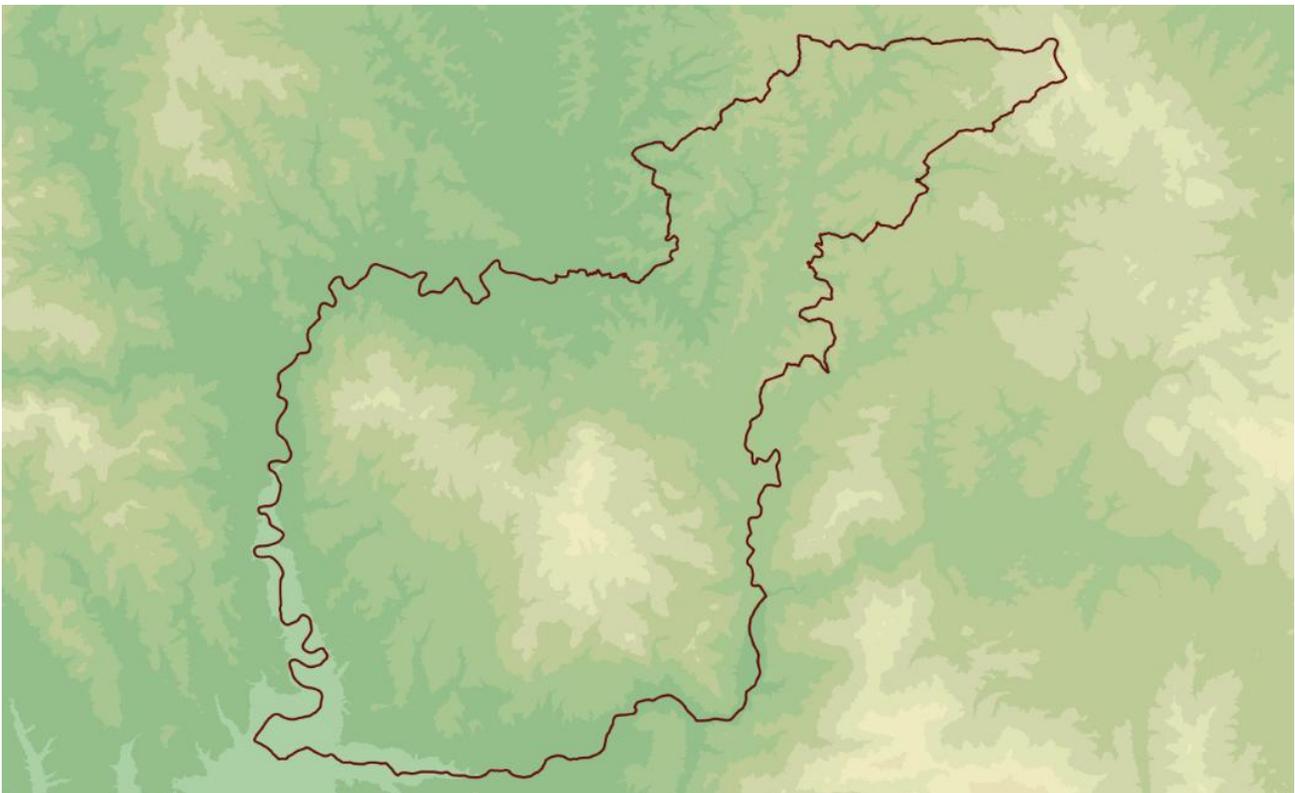


09m11, 09m17, 10l04, 10l12, 10l19, 10l20, 10l27, 10l28, 10l36, 10l37, 10l44, 10l45, 10l52, 10l53, 10l60, 10l61, 10m37, 10m38, 10m45, 10m46, 10m53, 10m54, 10m58, 10m59, 10m60, 10m61, 10m62, 11l30, 11l32, 11l37, 11l38, 11l39, 11l40, 11l44, 11l45, 11l46, 11l47, 11l48, 11l52, 11l53, 11l60, 11m33, 11m34.

### 3.2 Inquadramento geomorfologico

Il territorio di Montalcino è collocato ad una quota compresa tra i 71 m s.l.m. e i 656 m s.l.m., il centro abitato si trova ad un'altitudine di 567 m s.l.m.

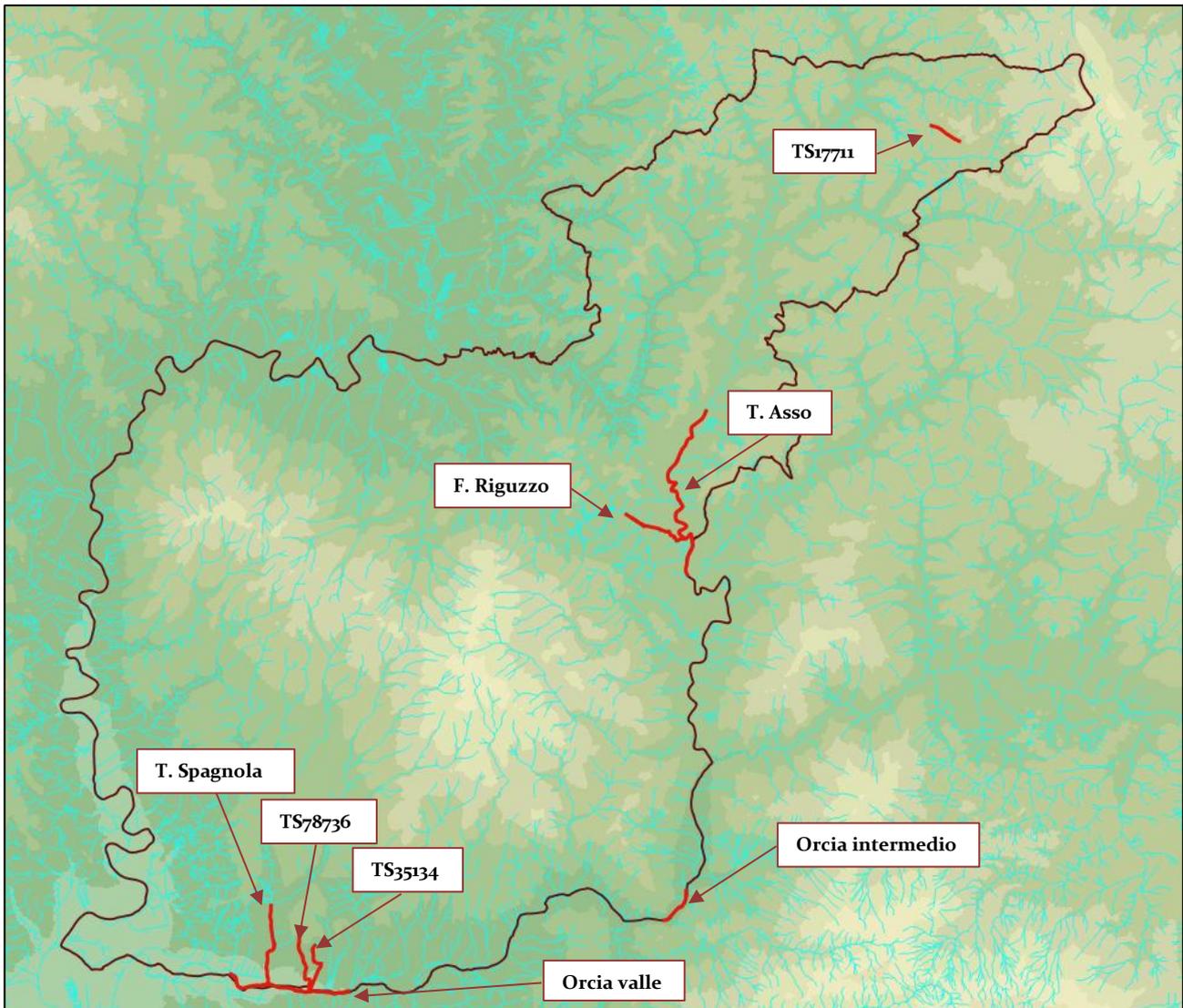
Morfologicamente il territorio è posto sui rilievi collinari che separano la Val d'Orcia dalla valle dell'Ombrone.



**Figura 3-2** – Vista morfologica dell'area del Comune di Montalcino (Dati: DTM morfologico 10 m Regione Toscana), in rosso scuro il confine comunale

### 3.3 Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio

Nella figura seguente è mostrato l'inquadramento del reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012 così come definito dalla DCRT 24/2025 (Figura 3-3).



**Figura 3-3** – inquadramento idrografico del Comune di Montalcino di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 24/2025, in rosso le aste idriche oggetto di studio, in celeste quelle di tutto il reticolo, in bordeaux il confine comunale.

Il comune di Montalcino ricade nel perimetro di competenza dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale e del Genio Civile Toscana Sud.

Nella figura precedente sono mostrate le aste idriche oggetto di modellazione idraulica, ovvero i corsi d'acqua da cui, tramite apposita modellazione mono e bidimensionale, saranno elaborate le mappe delle aree allagate. Le aste principali sono il fiume Orcia, che scorre lungo il confine Sud-Est del comune di Montalcino, e il torrente Asso, che scorre da Nord a Nord-Est. I principali affluenti sono il Torrente Spagnola, per il F. Orcia e il Fosso Riguzzo, per il T. Asso.

I nomi dei corsi d'acqua si rifanno all'elenco della precedente Tabella 2-1 – Corsi d'acqua oggetto di modellazione idrologico-idraulica.

<b>Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 24/2025</b>	<b>Lunghezza tratto con modello idraulico (m)</b>
TS17711	1841
Torrente Asso (monte)	3300
Torrente Asso	5914
Fosso Riguzzo	1847
Orcia Intermedio	1042
Orcia Valle	3548
TS35134	1140
TS78736	1444
Torrente Spagnola	1183

**Tabella 3-1** - Elenco delle aste fluviali oggetto di studio idraulico con relativa lunghezza dell'asta fluviale

### 3.4 Individuazione dei Bacini Idrografici

Per la definizione dei bacini oggetto di studio è stato fatto riferimento alla cartografia tecnica regionale e al modello digitale del terreno da Cartografia Lidar Regione Toscana a disposizione per l'area in esame. La figura seguente mostra inoltre la suddivisione in sottobacini determinata dalle sezioni di chiusura dei tratti d'interesse e in Tabella 3-2 sono sintetizzate le caratteristiche di tali bacini di cui è stata sviluppata apposita modellazione idrologica.



**Figura 3-4** - Definizione dei bacini idrografici, in rosso le aste modellate idraulicamente e in bordeaux il confine comunale

Codice	Bacino idrografico	Area (km <sup>2</sup> )
B01	Orcia Interbacino	2.57
B02	Spagnola	28.08
B03	TS78736	0.63
B04	TS35134	0.49
B05	Orcia	800.73
B06	Orcia Intermedio	585.68
B07	Asso Interbacino	2.43
B08	Riguzzo	6.64
B09	Asso	127.79
B10	TS17711	0.49
	<b>TOTALE</b>	<b>832.50</b>

**Tabella 3-2 - Caratteristiche dei bacini di studio.**

Per una più estesa visione dei bacini idrografici sono redatte a supporto di questo studio idrologico-idraulico le seguenti cartografie tematiche:

- IDR\_01a\_Carta dei bacini (bacini B07, B08, B09 e B10);
- IDR\_01b\_Carta dei bacini (bacini B01, B02, B03 e B04);
- IDR\_01c\_Carta dei bacini (bacini B06);
- IDR\_01d\_Carta dei bacini (bacini B11 e B12);

Sulla base dei bacini idrografici così definiti, è stato possibile individuare gli idrogrammi di piena per Tr30 e Tr200 anni e, quindi, le condizioni al contorno di monte dei tratti oggetto di studio. Per quel che riguarda invece le condizioni al contorno di valle, queste saranno la pendenza dell'asta fluviale nel tratto finale e i tiranti idrici in quota assoluta derivanti dagli studi idraulici eseguiti sul fiume Orcia e sul torrente Asso.

Si ricorda infine che i bacini B01, B02 e B05, riferiti al Torrente Spagnola ed al Fiume Orcia, fanno riferimento agli studi idrologici idraulici svolti in località S. Angelo Scalo nel Comune di Montalcino che hanno ottenuto esito positivo con conseguente recente modifica del P.G.R.A, svolto dall'ing. Stefano Rossi (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS).

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

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

- ai rilievi topografici disponibili per gli studi idrologico-idraulici esistenti;
- ai rilievi da cartografia LIDAR disponibile per il territorio;
- ad apposita campagna di rilievo da parte della società ProGeo Engineering Srl.

Per la caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente inondabili (modello idraulico bidimensionale) è stato fatto riferimento:

- Modello digitale del terreno su base cartografica Lidar della Regione Toscana;
- Modello digitale del terreno su base Carta Tecnica Regionale 1:2000;
- Ad apposita campagna di rilievo da parte della società ProGeo Engineering Srl.

L'adeguatezza dei rilievi, prima del loro utilizzo, è stata verificata mediante un controllo da Lidar delle sezioni topografiche rilevate. L'aggiornamento di alcune sezioni idrauliche è stato effettuato facendo riferimento alle sezioni estratte da Lidar o con apposite campagne di rilevamento.

Fosso TS17711 – definizione della geometria d'alveo	
MON 19, 18, 17, 16, 15, 14, 13, 12, 11, 10, 09, 08,	Rilievo dell'alveo ProGeo Engineering Srl
MON 07, 06, 05, 04, 03, 01, 01	Sezione ricostruita su base CTR

Torrente Asso– definizione della geometria d'alveo	
Modello di monte ASS 103, ..., 95 ASS 95, ..., 70	Sezioni estratte da Lidar
Modello di Valle ASS 69, ..., 18 ASS 17, ..., 01	
ponte ASS96/95 ponte ASS56/55 ponte ASS51/50  ponte ASS22/23 guado ASS07/06	Rilievo dell'attraversamento con SP14 ProGeo Engineering Srl Rilievo dell'attraversamento con SP137 ProGeo Engineering Srl Rilievo dell'attraversamento con impianto industriale ProGeo Engineering Srl Rilievo dell'attraversamento con SS2 ProGeo Engineering Srl Rilievo del guado ProGeo Engineering Srl

<b>Riguzzo – definizione della geometria d'alveo</b>	
RIG 28, 27, 26, 25,...01	Sezioni estratte da Lidar
ponte RIG 22/23	Rilievo attraversamento su SP14 ProGeo Engineering Srl
ponte RIG 13/12	Rilievo attraversamento su V. Francigena ProGeo Engineering Srl
ponte RIG 07/06 ponte RIG 04/05	Rilievo attraversamento ferrovia ProGeo Engineering Srl Rilievo attraversamento su strada locale ProGeo Engineering Srl

<b>Fiume Orcia – definizione della geometria d'alveo</b>	
Modello intermedio ORI 18, 17, 16, 15, 14, 11,10, 09, 08, 07, 06, 05, 04, 03, 02, 01	Sezioni estratte da Lidar
ponte su SP55	Rilievo ProGeo Engineering Srl
passerella a valle di SP55	Rilievo ProGeo Engineering Srl
Modello di valle ORV 44,...,01	Sezioni estratte da Lidar
ponte su SP14	Rilievo ProGeo Engineering Srl

<b>Torrente Spagnola – definizione della geometria d'alveo</b>	
SPA 16, 15, 14, SPA 12, ...,01	Sezioni estratte da Lidar
SPA 13,12,11	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, compreso Ponte su SP117
SPA 06/05	Rilievo attraversamento ferroviario ProGeo Engineering Srl

<b>Fosso TS78736 – definizione della geometria d'alveo</b>	
SAS 24, 23, 22	Sezioni estratte da Lidar
SAS 21 e 20	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl
SAS 19, ..., 01	Sezioni estratte da Lidar
SAS 19/18	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamento campestre
SAS 15/14	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, tombinamento di ampia lunghezza prima di strada provinciale SP44
SAS 03/02	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamento campestre

<b>Fosso TS35134 – definizione della geometria d'alveo</b>	
SAC 16, 15, 14, SAC 12, ...,01	Sezioni estratte da Lidar
SAC 26, 25, 24	Sezioni estratte da Lidar – fondo alveo adeguato su base di rilievi ProGeo Engineering Srl
SAC 26/25	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attravesamento strada provinciale SP14
SAC 24/23	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamento campestre
SAC 22/21	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamento campestre
SAC 17/16	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamento su linea ferroviaria
SAC 15/14 SAC 13/12 SAC 08/07 SAC 03/02	Sezioni rilevate da ProGeo Engineering Srl, attraversamenti campestre

Per la redazione dello studio idraulico a supporto del Piano Strutturale di Montalcino è stato diffusamente impiegato il Lidar quale base topografica per la definizione delle geometrie d'alveo, risultando necessaria soprattutto per il caso delle aste fluviali più estese e complesse da rilevare come il Torrente Asso e il Fiume Orcia.

Per quanto riguarda invece i piccoli corsi d'acqua (TS17711, TS35134, TS,78736), si è reso necessario adeguare in alcuni casi il fondo alveo risultante dal Lidar sulla base dei rilievi topografici condotti, soprattutto in prossimità dei tanti attraversamenti agricoli nell'area di Sant'Angelo Scalo.

Tutte le geometrie delle strutture presenti in alveo sono state rilevate con GPS in loco, al fine di definirne la geometria e il posizionamento rispetto ai corsi d'acqua esaminati.

## 5 ANALISI IDROLOGICA

Lo scopo dell'analisi idrologica è la determinazione degli idrogrammi di piena di assegnato tempo di ritorno da impiegare come dati di ingresso per la successiva analisi idraulica delle aste fluviali oggetto di studio.

In particolare, verranno valutate le condizioni di funzionamento idraulico per portate di progetto caratterizzate da tempi di ritorno pari a 30 e 200 anni (in accordo con quanto previsto dalla LR 41/2018 e dall'Allegato A alla DGRT n. 31/2020) per verificare il grado di pericolosità idraulica a cui sono soggette le aree urbane limitrofe ai corsi d'acqua in seguito a fenomeni di tracimazione delle sommità spondali.

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

- stima della relazione tra altezze e durata di pioggia di assegnato tempo di ritorno per i bacini idrografici in esame (linee segnalatrici di possibilità pluviometrica - LSPP) e operazioni di ragguglio all'area;
- determinazione dello idrogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima delle perdite e della pioggia effettiva, che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare le portate di progetto.

Per svolgere le analisi idrologiche su tutti i bacini oggetti dello studio, si è fatto uso del software HEC-HMS ver. 4.11 che, note le piogge, consente di procedere dalla definizione del modello di infiltrazione basato sul metodo SCS-CN (Soil Conservation Service, 1986) e del modello di formazione dell'onda di piena basato sull'idrogramma unitario istantaneo IUH-SCS, che è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di piccole e grandi dimensioni.

Per i bacini intermedi (interbacini) si è utilizzato invece il Kinematic Wave che meglio approssima la condizione d'immissione di pioggia efficace ai lati di un canale.

## 5.1 Impostazione del metodo di analisi

Il reticolo idrografico è costituito da due corsi d'acqua principali, il Fiume Orcia e il Torrente Asso, ai quali sono collegati una serie di aste fluviali minori. Per avere un'adeguata conoscenza delle probabilità di allagamento, **l'analisi idrologica è sviluppata considerando più durate di pioggia** e coefficienti di ragguglio areali singoli e globali.

L'analisi dei sistemi singoli prende in considerazione il reticolo che presenta basse durate critiche ed interessa aree urbanizzate, il coefficiente di ragguglio areale è considerato solo per il relativo singolo bacino idrografico. Lo scopo di tale analisi è massimizzare gli effetti di un evento di piena di un piccolo corso d'acqua all'interno di un ambiente urbano.

Inoltre, per quanto riguarda i piccoli bacini, in accordo con le richieste di integrazioni emarginate dal Genio Civile Toscana Sud, gli input idrologici sono stati stimati cautelativamente nell'ipotesi di ietogramma triangolare e coefficiente di ragguglio areale unitario.

L'analisi dei sistemi globali prende in considerazione il F. Orcia e il T. Asso e i relativi affluenti che non interessano aree urbanizzate, le caratteristiche idrologiche sono: alte durate di pioggia e coefficienti di ragguglio areale considerato per la macroarea afferente. Lo scopo di tale analisi è massimizzare gli effetti di un evento di piena per il F. Orcia e il T. Asso. A tal fine si sono definite due macroaree:

- Orcia Intermedio, comprende il singolo bacino Bo6;
- Asso, comprende i bacini da Bo7 a Bo9.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica sono analizzate per ognuna delle tre macroaree, ed assegnati i relativi valori ai sottobacini compresi nelle relative macroaree.

## 5.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica

### 5.2.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica puntuali

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

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

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

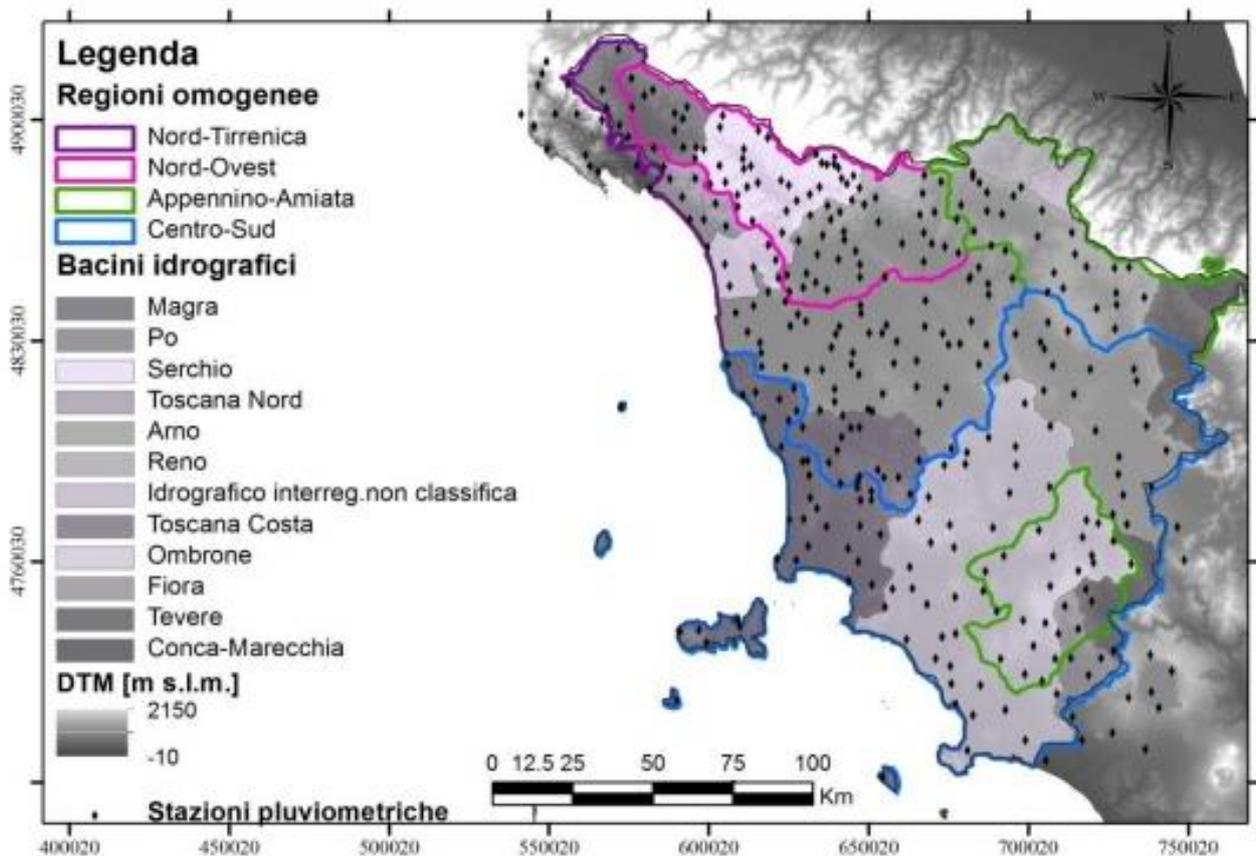
I risultati di tale studio sono consultabili sul sito del Servizio Idrologico Regionale - Centro Funzionale Regionale di Monitoraggio Meteo - Idrologico alla pagina <http://www.sir.toscana.it/index.php?IDS=4&IDSS=19>.

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.

L'area di studio indagata comprende i bacini idrografici dei corsi d'acqua principali della Regione Toscana, come l'Arno, il Serchio e l'Ombrone Grossetano, bacini più piccoli di fiumi della costa tirrenica e i bacini attigui dei Fiumi Magra e Fiora. Una volta validato il set dei dati (aggiornati all'anno 2012) è stata ottenuta la consistenza definitiva delle serie temporali di valori annui di pioggia massima.



**Figura 5-1** - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

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

Figura 5-1).

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

Le stime delle altezze di pioggia per le diverse durate caratteristiche (1, 3, 6, 12 e 24 ore) e i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni), sono state ottenute come prodotto dei valori della pioggia indice  $\mu$  per le diverse durate ed il fattore di crescita adimensionale  $K_T$  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:

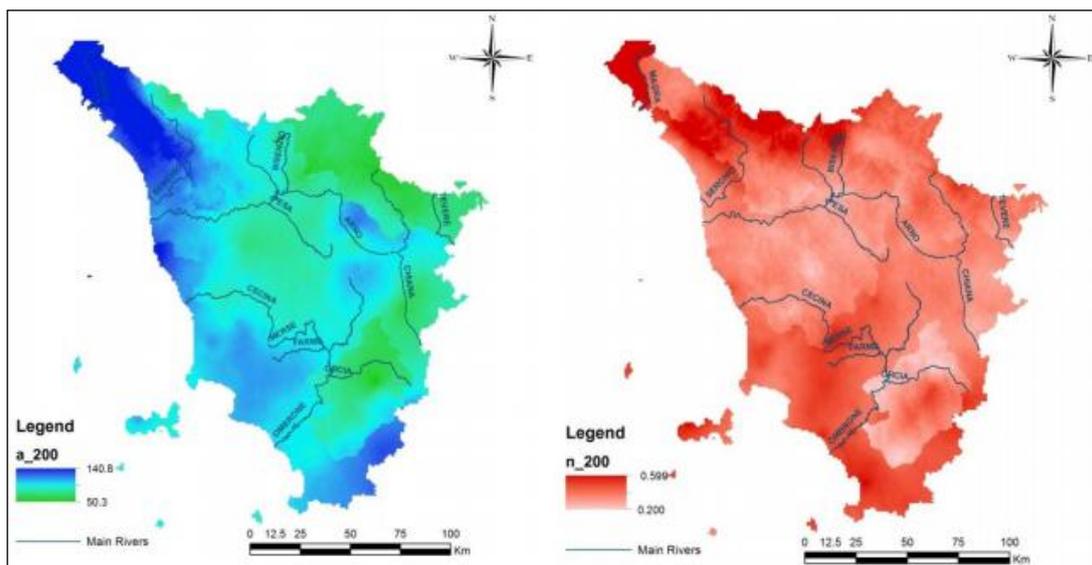
$h$  = altezza di pioggia [mm]

$t$  = 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 (30 e 200 nel caso in esame, Figura 5-2).



**Figura 5-2** - 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 il calcolo degli afflussi meteorici, sono stati determinati mediante la procedura sintetizzata di seguito e ripetuta per tutti i bacini considerati:

- 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);
- sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi di interesse e ne è stato creato un file .shp apposito (si vedano IDR\_01a, IDR\_01b, IDR\_01c, IDR\_01d);
- è stata estratta la parte di raster dei coefficienti a e n associata ai bacini oggetto di studio, da cui a questo punto è stato possibile ottenerne i valori medi.

Il valore medio dei parametri a ed n è stato calcolato come valore mediato sull'area dell'insieme dei bacini che afferiscono ad una stessa macroarea.

Il risultato di queste operazioni è riportato in Tabella 5-1 e Tabella 5-2.

Macroarea				ID	Bacino idrografico	Area (km <sup>2</sup> )	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200
Asso monte	Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	2.57	-	-	-	-
				B02	Spagnola (*)	27.94	51.33	0.225	65.53	0.257
				B03	TS78736	0.63	52.19	0.221	65.61	0.252
				B04	TS35134	0.49	52.20	0.221	65.62	0.253
				B05	Orcia (*)	801.34	48.07	0.244	60.54	0.277
				B06	Orcia Intermedio	585.68	47.80	0.230	60.19	0.262
	B07	Asso Interbacino		2.42	-	-	-	-		
	B08	Riguzzo		6.64	50.61	0.198	63.62	0.230		
	B09	Asso		127.79	48.64	0.212	61.35	0.244		
	B10	TS17711		0.49	47.86	0.213	60.17	0.245		
	B11	Asso (monte)		56.47	49.22	0.214	62.24	0.247		
	B12	Fosso Mobbiano		6.86	51.23	0.204	64.39	0.235		

(\*) Valori non calcolati e ricavati dallo "Studio idrologico-idraulico del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo" che ha recentemente modificato il PGRA

**Tabella 5-1** - Calcolo delle LSPP per singoli bacini – riferiti al bacino singolo

Macroarea				ID	Bacino idrografico	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200	
Asso monte	Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	48.15	0.243	60.59	0.275	
				B02	Spagnola					
				B03	TS78736					
				B04	TS35134					
				B05	Orcia					
				B06	Orcia Intermedio	47.80	0.230	60.19	0.262	
	Asso	Orcia Intermedio		Orcia Valle	B07	Asso Interbacino	48.73	0.211	61.46	0.244
					B08	Riguzzo				
					B09	Asso				
					B10	TS17711				
					B11	Asso (monte)	49.44	0.213	62.48	0.246
					B12	Fosso Mobbiano				

Tabella 5-2 - Calcolo delle LSPP per singoli bacini – riferiti al sistema globale

Da un confronto dei dati tra Tabella 5-1 e Tabella 5-2 non risulta una differenza significativa in termini di a e n tra il caso per sistemi singoli (valori di a e n mediati sull'area del singolo bacino) e il caso di sistemi globali (a e n mediati sull'area complessiva del sistema); entrambi gli approcci sono quindi da ritenersi legittimi. Si precisa:

- per il caso del fosso denominato TS17711, dato che è stato singolarmente, si è utilizzato i valori di a e n per singolo bacino;
- per il caso dei fossi denominati TS78736, Ts35134, del Fosso Spagnolo e del Fiume Orcia (all'altezza di Sant'Angelo Scalo – Orcia) si è fatto sempre riferimento ai valori di a e n per singolo bacino nel coerentemente con quanto fatto nello studio idrologico-idraulico redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi con il quale è stato recentemente modificato il PGRA per l'area di Sant'Angelo Scalo (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS);
- per il caso del Fiume Orcia nel tratto intermedio(all'altezza di Monte Amiata, dato che è stato studiato singolarmente, si è utilizzato i valori di a e n per singolo bacino;
- per il caso del T. Asso nel tratto di monte (San Giovanni d'Asso), si è fatto riferimento al caso dei valori di a e n per sistema globale, dato che a modellazione idraulica ha riguardato il solo T. Asso,

mentre il Fosso Mobbiano, suo affluente, è stato studiato idrologicamente al solo scopo di definirne l'apporto idrologico nell'area oggetto di studio idraulico;

- per il caso del T. Asso all'altezza di Torrenieri si è fatto riferimento ai valori di a e n per singolo bacino per le brevi durate di pioggia (1h, 2h e 3h), mentre per lunghe durate di pioggia (oltre le 6 ore) si è fatto riferimento a quelli globali. Tale scelta è stata condotta nell'ottica di massimizzare anche gli idrogrammi di piena per il Torrente Riguzzo che è un bacino con durate critiche ampiamente inferiori (2.0h) rispetto al suo emissario, il T. Asso (durata critica a Torrenieri di 9h).

In linea generale, nel caso dei bacini più piccoli si è sempre scelto l'utilizzo dei valori di a e n per singolo bacino.

Il risultato di queste scelte è riportato in Tabella 5-3.

Macroarea				ID	Bacino idrografico	Area (km2)	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200		
Asso monte	Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	2.57	48.15	0.243	60.59	0.275		
				B02	Spagnola (*)	27.94	51.33	0.225	65.53	0.257		
				B03	TS78736	0.63	52.19	0.221	65.61	0.252		
				B04	TS35134	0.49	52.20	0.221	65.62	0.253		
				B05	Orcia (*)	801.34	48.07	0.244	60.54	0.277		
				B06	Orcia Intermedio	585.68	47.80	0.230	60.19	0.262		
	Asso monte	Asso		Orcia Intermedio	Orcia Valle	B07	Asso Interbacino	2.42	48.73	0.211	61.46	0.244
						B08	Riguzzo	6.64	50.61	0.198	63.62	0.230
						B09	Asso	127.79	48.73	0.211	61.46	0.244
						B10	TS17711	0.49	47.86	0.213	60.17	0.245
						B11	Asso (monte)	56.47	49.44	0.213	62.48	0.246
						B12	Fosso Mobbiano	6.86	49.44	0.213	62.48	0.246

(\*) Valori non calcolati e ricavati dallo "Studio idrologico-idraulico del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo" che ha recentemente modificato il PGRA

**Tabella 5-3** - Calcolo delle LSPP per singoli bacini – parametri a e n utilizzati per la stima degli input idrologici

Preme infine precisare che per quanto riguarda il T. Spagnola e il Fiume Orcia i parametri a e n utilizzati per la stima degli idrogrammi di piena utilizzati sono quelli riportati nella relazione

idrologico-idraulica dello studio redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi con il quale è stato recentemente modificato il PGRA (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS).

Ad ogni buon conto, al fine di verificare la bontà dei risultati ottenuti si è comunque ricalcolato i parametri a e n con i metodi impiegati per questo studio idrologico-idraulico ottenendo il risultato di Tabella 5-4, dalla quale ne risulta una sostanziale corrispondenza. Per coerenza con la recente modifica del PGRA si è scelto di utilizzare quelli del già citato studio dell'ing. Stefano Rossi.

Studio idrologico-idraulico di recente modifica del PGRA nell'area di Sant'Angelo Scalo						
ID	Bacino idrografico	Area (km2)	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200
B02	Spagnola	27.94	51.33	0.225	65.53	0.257
B05	Orcia	801.34	48.07	0.244	60.54	0.277

Rivalutazione dei parametri a e n a supporto di questo studio						
ID	Bacino idrografico	Area (km2)	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200
B02	Spagnola	27.94	51.20	0.226	64.37	0.257
B05	Orcia	801.34	48.02	0.244	60.45	0.276

Tabella 5-4 – verifica dei valori a e n dello studio Rossi del 2015

### 5.2.2 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica areali

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

È noto che le piogge di elevata intensità si concentrano in aree piccole e che, a parità di durata e di tempo di ritorno, l'altezza di pioggia decresce con l'area. Su tali basi l'altezza di pioggia media su un bacino si determina moltiplicando l'altezza di pioggia puntuale relativa al bacino stesso per un opportuno coefficiente di riduzione (o coefficiente di ragguglio all'area) che dipende principalmente dall'area del bacino, dal tempo di ritorno e dalla durata. L'uso di tale coefficiente di riduzione implica

che il regime delle precipitazioni sia alquanto uniforme per l'intero bacino. Tale condizione è sicuramente soddisfatta quando le aree considerate non sono troppo grandi e quando lo sviluppo orografico non è molto accentuato (come nel presente studio).

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

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

dove  $\alpha = 0.036a$ ,  $\beta = 0.25$  e  $\gamma = 0.01$  sono i parametri della formula,  $t$  [h] è la durata della precipitazione e  $A$  [km<sup>2</sup>] è l'area del bacino.

Il valore della durata critica e, quindi, del coefficiente di ragguaglio delle piogge è incognito e viene determinato indagandone diversi valori, corrispondenti a 0.5, 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12, 15 e 18 ore.

Come richiesto dal Genio Civile Toscana Sud, **per i piccoli bacini (area < 1.0 kmq) il coefficiente di ragguaglio areale (singolo) è cautelativamente assunto unitario.**

Anche per il caso del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia all'altezza di Sant'Angelo Scalo, si è scelto di adottare il coefficiente di ragguaglio areale come unitario, coerentemente con quanto fatto dallo studio idrologico-idraulico redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi con il quale è stato recentemente modificato il PGRA (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS). A pag. 23 della relazione idrologico idraulica è scritto "*... si sottolinea che nel Basin Model non è stato considerato nessun tipo di ragguaglio areale ....*"

In Tabella 5-5 e Tabella 5-6 sono riportati i valori calcolati del  $K_r$  su scala di sistema singolo ( $K_r$  relativo al solo bacino idrografico) e sistema globale ( $K_r$  relativo alle macroaree) e nella Tabella 5-7, Tabella 5-8, Tabella 5-9, Tabella 5-10 il relativo valore dello spessore di pioggia per le varie durate indagate.

Kr – sistema globale																
Macroarea				ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h
Asso monte	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	0.603	0.667	0.729	0.765	0.789	0.821	0.832	0.851	0.871	0.885	0.896	
			B02	Spagnola (*)												
			B03	TS78736												
			B04	TS35134												
			B05	Orcia												
			B06	Orcia Intermedio	0.605	0.668	0.730	0.766	0.789	0.822	0.833	0.852	0.871	0.885	0.896	
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	0.704	0.752	0.798	0.825	0.843	0.867	0.875	0.889	0.904	0.914	0.923		
		B08	Riguzzo													
		B09	Asso													
		B10	TS17711													
		B11	Asso (monte)	0.814	0.843	0.873	0.889	0.900	0.916	0.921	0.930	0.939	0.946	0.951		
		B12	Fosso Mobbiano													

**Tabella 5-5 - Coefficiente di ragguglio areale globale**

Kr – sistema singoli																	
Macroarea				ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h	
Asso monte	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
			B02	Spagnola	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
			B03	TS78736	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
			B04	TS35134	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
			B05	Orcia	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
			B06	Orcia Intermedio	0.605	0.668	0.730	0.766	0.790	0.822	0.833	0.852	0.871	0.886	0.897		
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	0.989	0.990	0.992	0.994	0.994	0.995	0.998	0.996	0.997	0.997	0.998			
		B08	Riguzzo	0.970	0.975	0.979	0.983	0.985	0.986	0.989	0.990	0.992	0.993	0.993			
		B09	Asso	0.714	0.760	0.805	0.830	0.848	0.871	0.879	0.893	0.907	0.917	0.925			
		B10	TS17711	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000			
		B11	Asso (monte)	0.829	0.856	0.883	0.899	0.909	0.923	0.928	0.936	0.944	0.950	0.955			
		B12	Fosso Mobbiano	0.974	0.978	0.982	0.984	0.986	0.988	0.989	0.990	0.991	0.992	0.993			

**Tabella 5-6 - Coefficiente di ragguglio areale singolo**

TR30 - Altezza di pioggia netta [mm] – sistema globale															
Macroarea			ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h
Asso monte	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	24.54	32.12	41.61	48.15	53.28	61.22	64.47	70.06	76.89	82.52	87.35
			B02	Spagnola											
			B03	TS78736											
			B04	TS35134											
			B05	Orcia											
			B06	Orcia Intermedio	24.62	31.93	40.98	47.16	51.98	59.41	62.44	67.62	73.93	79.11	83.54
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	29.64	36.64	45.06	50.71	55.07	61.71	64.40	68.98	74.52	79.04	82.89	
		B08	Riguzzo												
		B09	Asso												
		B10	TS17711												
		B11	Asso (monte)												34.72
		B12	Fosso Mobbiano												

**Tabella 5-7** - Altezza di pioggia netta per evento con Tr 30 anni, sistema globale

TR30 - Altezza di pioggia netta [mm] – sistema singolo															
Macroarea			ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h
Asso monte	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	24.62	31.93	40.98	47.16	51.98	59.41	62.44	67.62	73.93	79.11	83.54
			B02	Spagnola	43.78	51.20	59.89	65.64	70.05	76.78	79.50	84.15	89.80	94.45	98.42
			B03	TS78736	44.77	52.19	60.85	66.56	70.93	77.59	80.28	84.87	90.45	95.03	98.94
			B04	TS35134	44.78	52.20	60.85	66.56	70.93	77.59	80.28	84.87	90.45	95.02	98.93
			B05	Orcia	40.53	48.02	56.90	62.83	67.42	74.45	77.31	82.21	88.21	93.16	97.41
			B06	Orcia Intermedio	24.62	31.93	40.98	47.16	51.98	59.41	62.44	67.62	73.93	79.11	83.54
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	42.22	48.74	56.26	61.19	64.95	70.63	73.05	76.80	81.51	85.35	88.62	
		B08	Riguzzo	42.98	49.53	57.07	62.00	65.74	71.40	73.68	77.54	82.20	86.00	89.24	
		B09	Asso	29.97	36.96	45.36	51.00	55.35	61.98	64.67	69.23	74.77	79.29	83.13	
		B10	TS17711	41.27	47.86	55.51	60.55	64.39	70.22	72.58	76.59	81.45	85.43	88.83	
		B11	Asso (monte)	35.17	42.15	50.43	55.94	60.18	66.64	69.29	73.71	79.10	83.51	87.27	
		B12	Fosso Mobbiano	43.30	50.09	57.95	63.10	67.02	72.95	75.34	79.41	84.32	88.33	91.74	

**Tabella 5-8** - Altezza di pioggia netta per evento con Tr 30 anni, sistema singolo

TR200-Altezza di pioggia netta [mm] – sistema globale																
Macroarea				ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h
Asso	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	30.21	40.43	53.54	62.76	70.08	81.58	86.34	94.57	104.75	113.23	120.55	
			B02	Spagnola												
			B03	TS78736												
			B04	TS35134												
			B05	Orcia												
			B06	Orcia Intermedio	30.33	40.21	52.76	61.51	68.43	79.23	83.68	91.35	100.80	108.65	115.40	
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	36.55	46.21	58.12	66.28	72.64	82.49	86.52	93.42	101.88	108.85	114.82		
		B08	Riguzzo													
		B09	Asso													
		B10	TS17711													
		B11	Asso (monte)	42.89	52.72	64.70	72.84	79.17	88.95	92.94	99.79	108.17	115.09	121.03		
		B12	Fosso Mobbiano													

**Tabella 5-9 - Altezza di pioggia netta per evento con Tr 200 anni, sistema globale**

TR200-Altezza di pioggia netta [mm] – sistema singolo																
Macroarea				ID	Bacino idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	7h	9h	12h	15h	18h
Asso	Asso	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	53.97	64.77	77.72	86.47	93.26	103.74	108.25	115.40	124.45	131.96	138.42	
			B02	Spagnola	53.84	64.37	76.95	85.42	91.99	102.12	106.25	113.37	122.09	129.31	135.53	
			B03	TS78736	55.07	65.61	78.18	86.62	93.15	103.20	107.30	114.34	122.97	130.10	136.24	
			B04	TS35134	55.07	65.62	78.18	86.62	93.15	103.20	107.30	114.34	122.96	130.09	136.23	
			B05	Orcia	49.90	60.45	73.22	81.91	88.69	99.21	103.53	110.99	120.18	127.83	134.44	
			B06	Orcia Intermedio	30.33	40.21	52.76	61.51	68.43	79.23	83.68	91.35	100.80	108.65	115.40	
	Orcia Intermedio	B07	Asso Interbacino	51.93	61.27	72.29	79.63	85.29	93.94	97.64	103.47	110.81	116.85	122.03		
		B08	Riguzzo	52.86	62.26	73.32	80.68	86.33	94.97	98.47	104.46	111.75	117.74	122.87		
		B09	Asso	36.96	46.62	58.53	66.68	73.04	82.88	86.90	93.81	102.26	109.23	115.21		
		B10	TS17711	50.75	60.17	71.33	78.79	84.56	93.40	97.01	103.18	110.73	116.96	122.32		
		B11	Asso (monte)	43.48	53.30	65.25	73.37	79.68	89.42	93.40	100.23	108.58	115.49	121.41		
		B12	Fosso Mobbiano	53.28	62.97	74.43	82.06	87.94	96.95	100.60	106.85	114.48	120.76	126.13		

**Tabella 5-10 - Altezza di pioggia netta per evento con Tr 200 anni, sistema singolo**

#### 4.1.3 Durata critica di pioggia

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

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

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

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

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

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

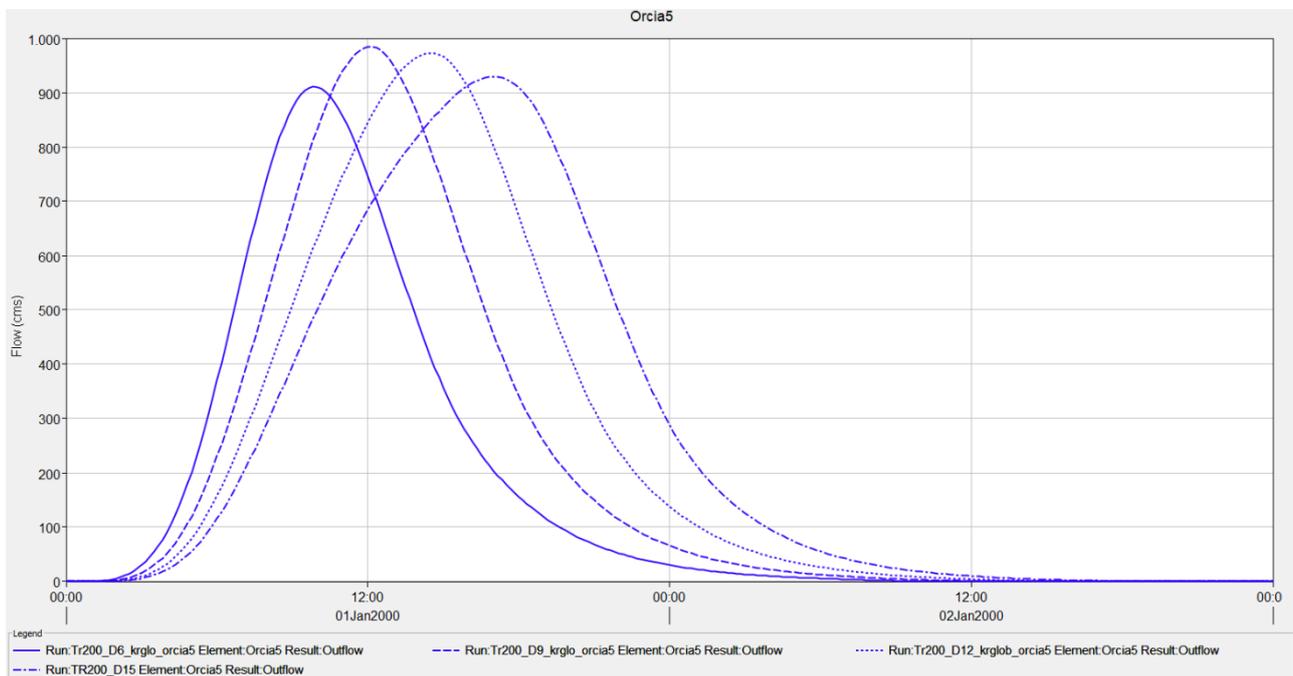
Per il presente studio, è stato pertanto utilizzato per la trasformazione afflussi deflussi lo ietogramma con intensità costante in via generale, caratterizzato da una durata  $t$  ed una intensità costante  $i(t)$

ricavata dalla LSPP con ragguaglio all'area. Ad ogni buono, in accordo con le richieste formulate dal Genio Civile Toscana Sud, **per i piccoli bacini (dimensioni del bacino con Area < 1 kmq) si è utilizzato lo ietogramma triangolare.**

La durata di pioggia critica viene determinata assumendo che la portata al colmo (riferita alla sezione di chiusura di ogni sistema di bacini del modello idraulico) con assegnato tempo di ritorno  $d$ , sia la maggiore tra le portate al colmo determinate da tutti gli eventi di pioggia a intensità costante ricavati dalla linea di possibilità pluviometrica areale. È possibile determinare la durata critica utilizzando diverse metodologie in funzione della modellistica afflussi-deflussi impiegata. In particolare, nel caso in esame, la durata critica è determinata inserendo nel software HEC-HMS differenti "Precipitation Gages" uniformi in funzione delle diverse durate tra 0.5 e 18 ore, distribuendo gli spessori d'acqua stimati in intervalli compresi tra 5 e 30 minuti.

A titolo di esempio si riporta nella figura successiva il risultato di questa procedura per il Fiume Orcia nella zona di Monte Amiata, Siena, corrispondente al bacino Bo6.

Graficamente si vede che la durata critica corrisponde a 9 ore, poiché per tale valore si ottiene il picco delle portate. Questa procedura è ripetuta per tutti i corsi d'acqua e i relativi modelli idrologici, ottenendo quindi gli idrogrammi utili alle modellazioni idrauliche con software HEC-RAS.



**Figura 5-3** – Idrogrammi di piena relativi al Fiume Orcia (Bo6 Orcia Intermedio) per durate di pioggia di 6, 9, 12 e 15 ore (Tr 200 anni)

### 5.3 Pioggia effettiva

Nota la pioggia areale, per la determinazione del deflusso diretto è necessario valutare la pioggia effettiva e, quindi, la quantità di pioggia che viene assorbita dal suolo e quella intercettata dalla vegetazione, mentre la quantità di pioggia persa per evapotraspirazione è trascurabile per eventi meteorici particolarmente intensi. Per effettuare tale stima, è stato applicato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service. È stato inoltre considerato nullo l'effetto di "ritenzione superficiale" e che tutta l'acqua che potenzialmente potrebbe sostare al di fuori del corso d'acqua, partecipi effettivamente al deflusso all'interno dello stesso.

#### 5.3.1 Modello di infiltrazione - Metodo SCS-CN

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

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

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

$$E^A = \frac{(R^A - I_a)^2}{R^A - I_a + S} \quad (4.1)$$

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

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

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (4.2)$$

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

Lo stato di imbibimento viene individuato, in modo quali-quantitativo, in funzione dell'indice di pioggia API<sub>5</sub> (Antecedent Precipitation Index), ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena. È stato però ben evidenziato che tale criterio non presenta particolare affidabilità per la realtà italiana (Borselli, 1989; Melone et. al., 2001; Brocca et al., 2008a; 2008b; 2008c). Cautelativamente si fa quindi riferimento alla condizione di Tipo III.

In funzione delle caratteristiche idrologiche, i suoli possono essere suddivisi in quattro classi di permeabilità (A, B, C e D); in Tabella 5-11 sono descritte tali categorie dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988), mentre in Tabella 5-12 sono riportati i valori di CN per condizioni iniziali intermedie, AMC Tipo II, in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo stesso.

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

**Tabella 5-11** - Descrizione delle categorie dei tipi di suolo in base al metodo del Soil Conservation Service (1986).

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

**Tabella 5-12** - Valori di CN II per condizioni intermedie in funzione del tipo di suolo e del tipo di copertura.

Nel caso in cui nel bacino siano presenti differenti tipi di terreno o questo sia utilizzato in differenti modi, si ricorre ad un valore medio di CN. Come suggerito da Mancini e Rosso (1989), si utilizza il valore medio a scala di bacino del parametro S, mediante un'integrazione spaziale dei valori puntuali, anziché un'integrazione dei valori di CN a causa della non linearità dell'eq. (4.2) che lega i due parametri. Quindi si ha:

$$\bar{S} = \frac{S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots + S_i A_i}{A_1 + A_2 + \dots + A_i} \quad (4.3)$$

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

Una volta nota  $\bar{S}$ , l'eq. (4.3) permette di calcolare la pioggia effettiva media areale dell'intero evento ma non fornisce il suo andamento temporale, che può essere ottenuto dalla:

$$e^A(t) = \frac{dE^A}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{(R^A - 0.2S)^2}{R^A + 0.8S} \right) \quad (4.4)$$

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

Nella pratica per risolvere la (4.4) a partire da uno ietogramma di pioggia discreto  $r_1, r_2, \dots$  si valuta ad ogni passo temporale  $t_m$  ( $t_m = m\Delta t$ ;  $m=1, 2, \dots$ ) il valore del volume incrementale di ruscellamento (o pioggia netta),  $E_m$ , come:

$$E_m = \begin{cases} 0 & \text{se } R_m < 0.2S \\ \frac{(R_m - cS)^2}{R_m} + (1 - c)S & \text{se } R_m > 0.2S \end{cases} \quad (4.5)$$

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

$$R_m = \sum_{i=1}^m r_i \quad (4.6)$$

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

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

$$e_m = \Delta E_m / \Delta t \quad (4.7)$$

### 5.3.2 Determinazione del CN III

L'individuazione del valore CNII (condizione di terreno mediamente imbibito) si è basata sull'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, per cui è avvenuto un processo di aggiornamento del modello Idrologico distribuito sviluppato dal Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale in uso presso il Centro Funzionale della Regione Toscana per la previsione degli eventi di piena in tempo reale. Tra i parametri sviluppati rientrano i valori di Curve Number a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo.

Il risultato che si ottiene, desunto dall'archivio della Regione Toscana, è riportato nella Figura 5-4.

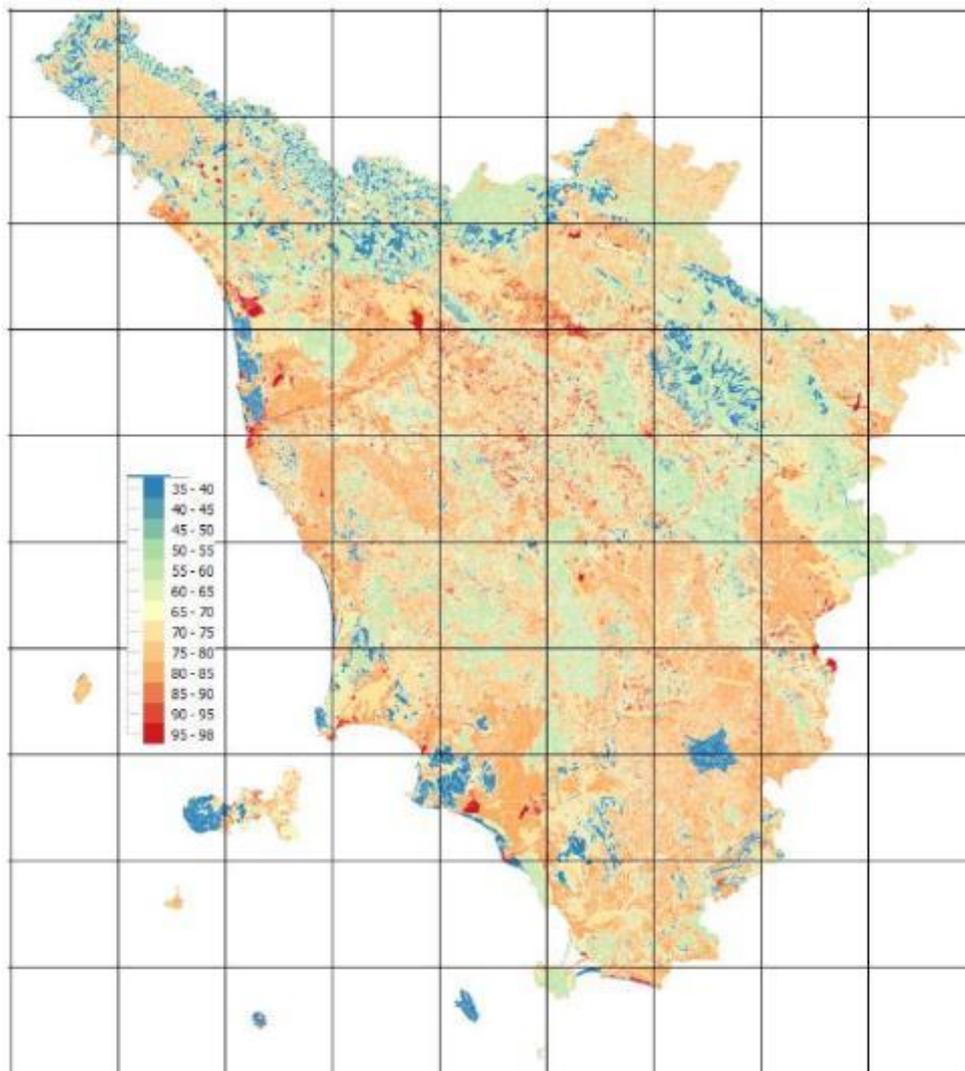


Figura 5-4 – Valori di Curve Number – CNII per la Toscana

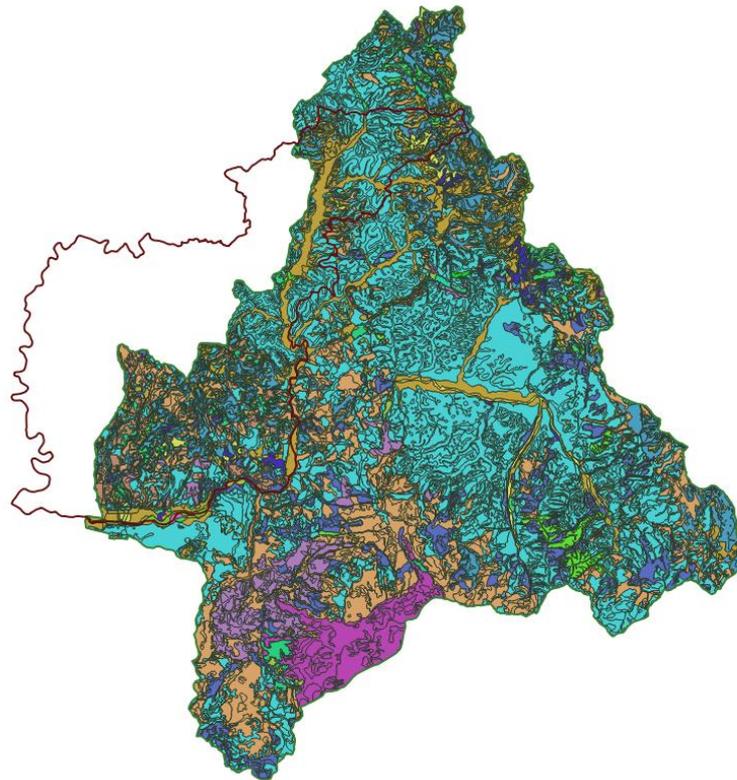
La determinazione del valore del CNII (condizione di terreno mediamente imbibito) si è basata sul confronto fra i valori messi a disposizione dalla Regione Toscana e i valori ottenuti incrociando i dati di uso del suolo con le informazioni sulla natura del suolo più recenti, scegliendo il valore più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

Procedendo come esposto nel paragrafo precedente è possibile individuare il valore del CN a livello di singolo bacino idrografico. In realtà, l'applicazione della precedente formula 4.3 è stata riferita al valore del CNIII (condizione di terreno imbibito), ottenuto dal valore del CNII secondo l'espressione che segue:

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

**LEGENDA CNII**

- 35
- 36
- 43
- 46
- 49
- 56
- 60
- 61
- 65
- 69
- 73
- 76
- 77
- 79
- 82
- 84
- 85
- 88
- 91
- 92
- 93



**Figura 5-5** – Valori di Curve Number – CNII messi a disposizione dalla Regione Toscana

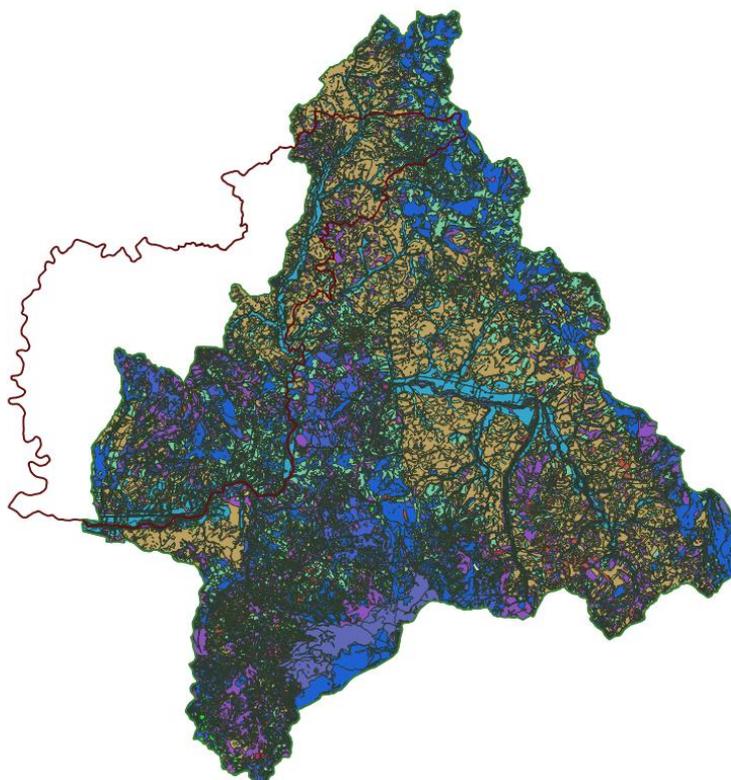
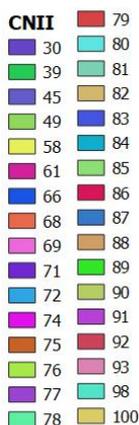


Figura 5-6 – Valori di Curve Number – CNII aggiornati con i dati di uso e copertura del suolo più recenti per i bacini considerati

A questo punto il valore del Curve Number III è definito e riportato in Tabella 5-14 per i vari bacini. Per quanto riguarda il caso Torrente Spagnola e del Fiume Orcia nell’area di Sant’Angelo Scalo, i valori del CNIII sono stati ricalcolati e confrontati con quelli dello studio del 2015 dell’ing. Stefano Rossi

Ad ogni buon conto, al fine di verificare la bontà dei risultati ottenuti si è comunque ricalcolato i parametri a e n con i metodi impiegati per questo studio idrologico-idraulico ottenendo il risultato di Tabella 5-13, dalla quale ne risulta una sostanziale corrispondenza. I valori utilizzati nel presente studio sono quelli ricalcolati dagli scriventi (vedi Tabella 5-14).

ID	Bacino idrografico	Area (km2)	CNIII Studio Rossi	CNIII ricalcolato
B02	Spagnola	27.94	84	85
B05	Orcia	801.34	89	89

Tabella 5-13 – verifica dei valori del CNIII dello studio Rossi del 2015

Macroarea				ID	Bacino idrografico	CNIII Regione Toscana	CNIII Aggiornato	CNIII	
Asso monte	Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	83	84	84	
				B02	Spagnola (*)	-	85	85	
				B03	TS78736	87	86	87	
				B04	TS35134	85	87	87	
				B05	Orcia (*)	-	89	89	
				B06	Orcia Intermedio	88	88	88	
	Asso	Orcia Intermedio		Orcia Valle	B07	Asso Interbacino	90	90	90
					B08	Riguzzo	90	90	90
					B09	Asso	85	87	87
					B10	TS17711	81	89	89
					B11	Asso (monte)	87	87	87
					B12	Fosso Mobbiano	88	89	89

Tabella 5-14 - Risultati del valore del CN

#### 5.4 Portate di progetto. Trasformazione afflussi/deflussi

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

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

dove  $p(t)=A i(t)$  è la portata di afflusso meteorico al generico tempo  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende il nome di IUH, è definita come l'idrogramma dei deflussi generato da un'ipotetica pioggia efficace di

altezza unitaria ed intensità costante, distribuita uniformemente sul bacino, e caduta in un intervallo di tempo unitario (immissione di tipo impulsivo).

#### 5.4.1 Modello SCS Idrogramma Unitario

La funzione  $h(t)$  può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui l'idrogramma unitario del SCS (quello scelto per il presente studio).

L'idrogramma SCS è un idrogramma adimensionale definito dal SCS in base all'analisi di idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura di numerosi bacini idrografici strumentati, di dimensioni grandi e piccole. Esso ha un vasto campo di applicazioni pratiche nel campo delle trasformazioni afflussi deflussi per la sua semplicità d'uso e per la sua generalità. Questo IUH è adimensionalizzato rispetto al valore della portata di picco e del tempo corrispondente alla durata del ramo ascendente dell'idrogramma stesso.

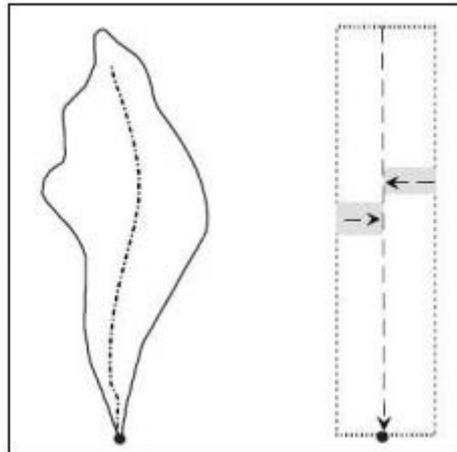
L'approccio proposto dal SCS può essere impiegato purché si definisca il valore del *lag time* (tempo di ritardo del bacino) e il *peak rate factor* (PRF). Mentre il primo è comunemente definito sulla base di formule empiriche, il secondo deve essere scelto in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino e caratteristico del metodo impiegato. Il PRF è definito dalla seguente relazione

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

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

#### 5.4.2 Modello Kinematic Wave

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



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

Per i dettagli sul metodo si rimanda al *Technical Reference Manual* di HEC-HMS consultabile online.

Codice				B01						
Bacino idrografico				Orcia Interbacino						
Subbasin	Loss 1	Loss 2	Channel	Basin Name: Orcia Valle	Element Name: Interbacino Orcia	Collector	Subcollector	Plane 1	Plane 2	Options
Basin Name: Orcia Valle Element Name: Interbacino Orcia Route Upstream: No Routing Method: Kinematic Wave *Length (M) 2232,38 *Slope (M/M) 0,00636 Subreaches: 5 Shape: Trapezoid *Manning's n: 0,04 *Bottom Width (M) 10,93 *Side Slope (xH:1V) 6,94				*Length (M) 2648,483 *Slope (M/M) 0,01559 *Roughness: 0,06 *Area (%) 35 Routing Steps: 5		Basin Name: Orcia Valle Element Name: Interbacino Orcia *Length (M) 3132,323 *Slope (M/M) 0,0258 *Roughness: 0,06 *Area (%) 65 Routing Steps: 5				

Tabella 5-15 – Parametri Hec-Hms Kinematic Wave Bacino B01 – Orcia Interbacino

Codice				B07									
Bacino idrografico				Asso Interbacino									
Subbasin	Loss 1	Loss 2	Channel	Collector	Subcollector	Plane 1	Plane 2	Options	Collector	Subcollector	Plane 1	Plane 2	Options
Basin Name: ASSO Element Name: Interbacino Asso Route Upstream: No Routing Method: Kinematic Wave *Length (M) 1354,404 *Slope (M/M) 0,000812 Subreaches: 5 Shape: Trapezoid *Manning's n: 0,04 *Bottom Width (M) 4,43 *Side Slope (xH:1V) 3,265				Basin Name: ASSO Element Name: Interbacino Asso *Length (M) 2540,76 *Slope (M/M) 0,0355 *Roughness: 0,06 *Area (%) 65 Routing Steps: 5		Basin Name: ASSO Element Name: Interbacino Asso *Length (M) 2670,288 *Slope (M/M) 0,04127 *Roughness: 0,06 *Area (%) 35 Routing Steps: 5							

Tabella 5-16 – Parametri Hec-Hms Kinematic Wave Bacino B07 – Asso Interbacino

### 5.4.3 Stima del *lag time*

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

Per il caso dei piccoli bacini (area <1.0 kmq) per la definizione del tempo di ritardo si è tenuto in considerazione anche la formula di Kirpich.

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

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

Macroarea				ID	Bacino idrografico	LAG Time media di varie formule [min]	LAG Time Kirpich [min]	LAG Time [min]
Asso monte	Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B01	Orcia Interbacino	(*)	-	(*)
				B02	Spagnola (**)	72	-	72
				B03	TS78736	22	16	16
				B04	TS35134	17	14	14
				B05	Orcia	443	-	443
				B06	Orcia Intermedio	352	-	352
	B07	Asso Interbacino		(*)	-	(*)		
	B08	Riguzzo		75	-	75		
	B09	Asso		283	-	283		
	B10	TS17711		16	15	16		
	B11	Asso (monte)		188	-	188		
	B12	Fosso Mobbiano		80	-	80		

(\*) calcolo del LAG time non eseguito in quanto gli input idrologici degli interbacini sono stati calcolati col metodo kinemtaic wave

(\*\*)LAG time assunto come nello “Studio idrologico-idraulico del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo” che ha recentemente modificato il PGRA

**Tabella 5-17** - Risultati del valore del LAG time

Come riportato in Tabella 5-17, per quanto riguarda il caso Torrente Spagnola e il Fiume Orcia nell’area di Sant’Angelo Scalo, i valori del LAG time sono stati ricalcolati e confrontati con quelli dello studio del 2015 dell’ing. Stefano Rossi. Dall’analisi di Tabella 5-18, emerge la corrispondenza del valore del LAG time ricalcolati dagli scriventi e quelli dello studio prima richiamato; per il caso del T. Spagnola si è deciso di mantenere il valore di 72 min, mentre per il F. Orcia si è preferito utilizzare il valore ricalcolato di 443 min.

ID	Bacino idrografico	Area (km2)	LAG time [min] Studio Rossi	LAG time [min] ricalcolato
B02	Spagnola	27.94	72	86
B05	Orcia	801.34	463	443

**Tabella 5-18** – verifica dei valori del LAG time dello studio Rossi del 2015

CODICE		B02													
Bacino Idrografico		Spagnola													
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km2)	Lasta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	108	180		28.08	12	267.05									
Pezzoli	113	188		28.08	12		0.04								
Aronica Paltrinieri	110	184		28.08	12	267.05		0.25	0.96						
U.S. Navy e Texas Highway departments	109	182		28.08	12										
Kirpich	54	149		28.08	12		0.04			534.1					
Kerby Hathaway	82	229		28.08	12		0.04				0.3				
Papadakis-Kazan	80	221		28.08	12		0.04				0.3	60			
Watt-Chow	112	186		28.08	12		0.04				0.3			0.00033	0.79
Chow	77	128		28.08	12		0.04				0.3			0.00116	0.64
Fiorentino	80	133		28.08	12		0.04								
McEnroe Zao	69	114		28.08	12		0.04								
SCS	37	61		28.08	12		0.04								
Kirpich (2)	89	148		28.08	12		0.04			534.1					
Kirpich (3)	97	162		28.08	12		0.04			534.1					

Tabella 5-19 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B02

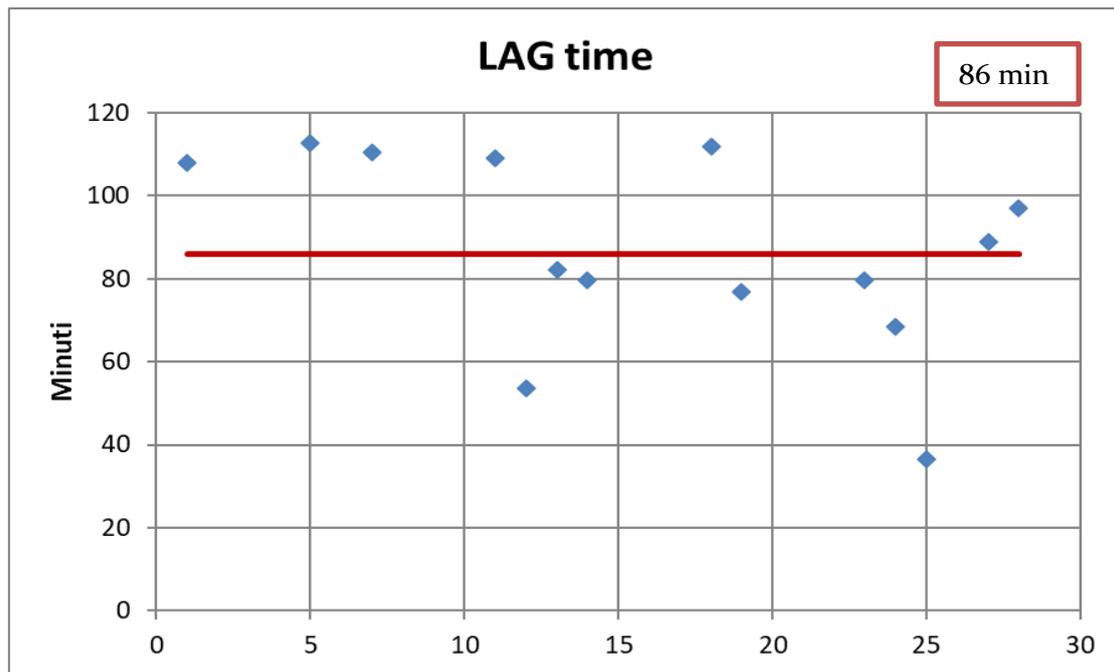


Grafico 5-1 - valori di Lag Time bacino Bo2 e valore medio

CODICE		B03											
Bacino Idrografico		TS78736											
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	A bacino (km <sup>2</sup> )	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b
Giandotti	33	55	0.628	1.809	65.55								
Pasini	15	25	0.628	1.809		0.07							
Ventura	13	22	0.628			0.07							
Pezzoli	13	22		1.809		0.07							
Aronica Paltrinieri	33	56	0.628	1.809	65.55		0.25	0.96					
Tournon	19	32	0.628	1.809		0.07							
U.S. Navy e Texas Highway departements	12	21		1.809									
Kirpich	17	29		1.809		0.07			131.1				
Papadakis-Kazan	44	74		1.809		0.07				0.3	60		
Watt-Chow	21	34		1.809		0.07						0.00033	0.79
Chow	20	33		1.809		0.07						0.00116	0.64
Carter	41	68		1.809		0.07							
Fiorentino	20	33		1.809		0.07							
McEnroe Zao	17	29		1.809		0.07							
Pasini (2)	19	31	0.628	1.809		0.07							
Kirpich (2)	17	29		1.809		0.07			131.1				
Kirpich (3)	19	31		1.809		0.07			131.1				

DATI DI INPUT

Tabella 5-20 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B03

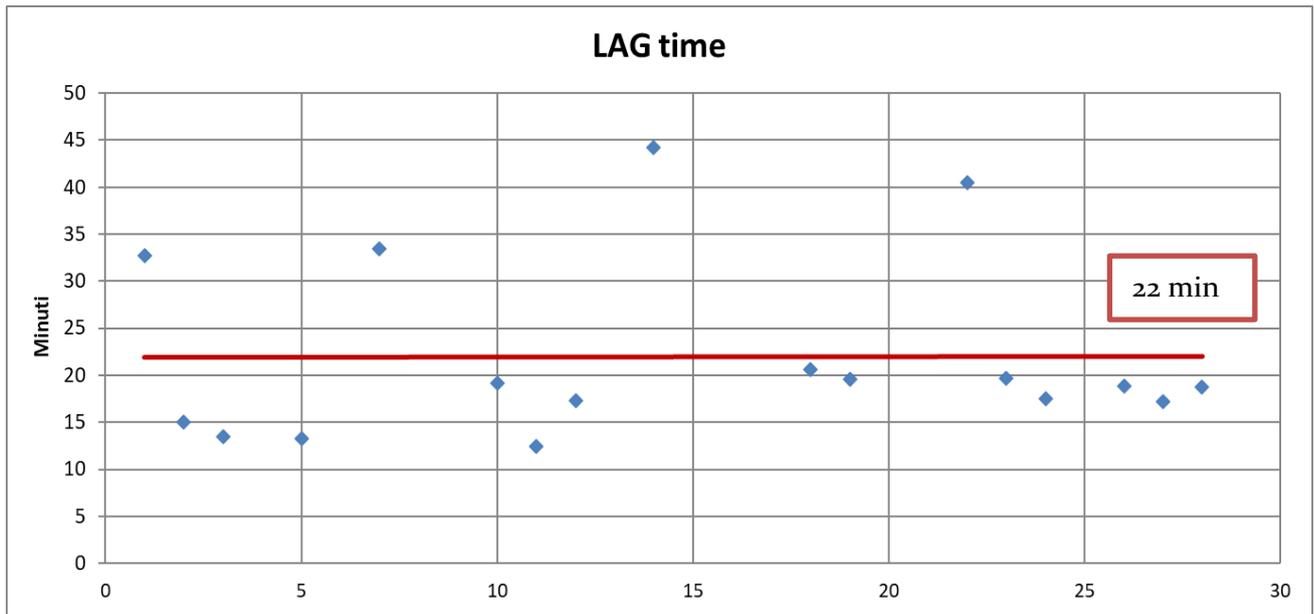


Grafico 5-2 - valori di Lag Time bacino Bo3 e valore medio

CODICE	B04										
Bacino Idrografico	TS35134										
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km2)	L asta (km)	i media (m/m)	Dislivello (m)	Velocità rif. acqua (m/s)	Cost. a	Cost. b	
Pasini	15	26		0.487	1.598	0.05					
Ventura	14	23		0.487		0.05					
Pezzoli	14	23			1.598	0.05					
Tournon	14	23		0.487	1.598	0.05					
U.S. Navy e Texas Highway departements	13	22			1.598			1.23			
Kirpich	18	23			1.598	0.05	86.8				
Watt-Chow	21	35			1.598	0.05			0.00033	0.79	
Chow	20	33			1.598	0.05			0.00116	0.64	
Fiorentino	20	33			1.598	0.05					
McEnroe Zao	18	29			1.598	0.05					
Pasini (2)	19	32		0.487	1.598	0.05					
Kirpich (2)	17	29			1.598	0.05	86.8				
Kirpich (3)	19	32			1.598	0.05	86.8				

Tabella 5-21 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino Bo4

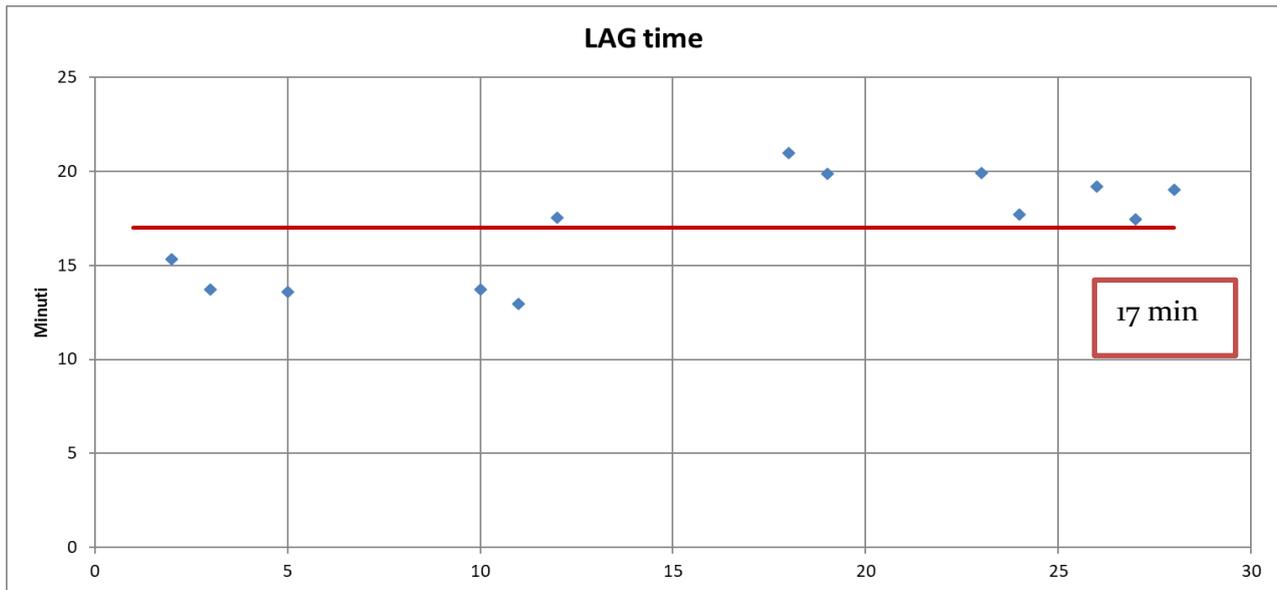


Grafico 5-3 - valori di Lag Time bacino Bo4 e valore medio

CODICE		B05													
Bacino Idrografico		Orcia													
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km <sup>2</sup> )	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	390	349		800.73	56.61	523.35									
Ventura	953	1588		800.73			0.02								
Pezzoli	824	1374			56.61		0.02								
Puglisi	314	523			56.61					1046.7					
Aronica Paltrinieri	399	665		800.73	56.61	523.35		0.25	0.96						
Fattorelli Marchi	268	447			56.61										
Kirpich	414	690			56.61		0.02			1046.7					
Kerby Hathaway	347	579			56.61		0.02				0.3				
Papadakis-Kazan	378	630			56.61		0.02				0.3	60			
Watt-Chow	538	897			56.61		0.02							0.00033	0.79
Chow	275	458			56.61		0.02							0.00116	0.64
Melone	270	451			56.61										
Carter	726	1210			56.61		0.02								
Fiorentino	293	488			56.61		0.02								
McEnroe Zao	245	408			56.61		0.02								
Kirpich (3)	449	748			56.61		0.02			1046.7					

Tabella 5-22 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B05

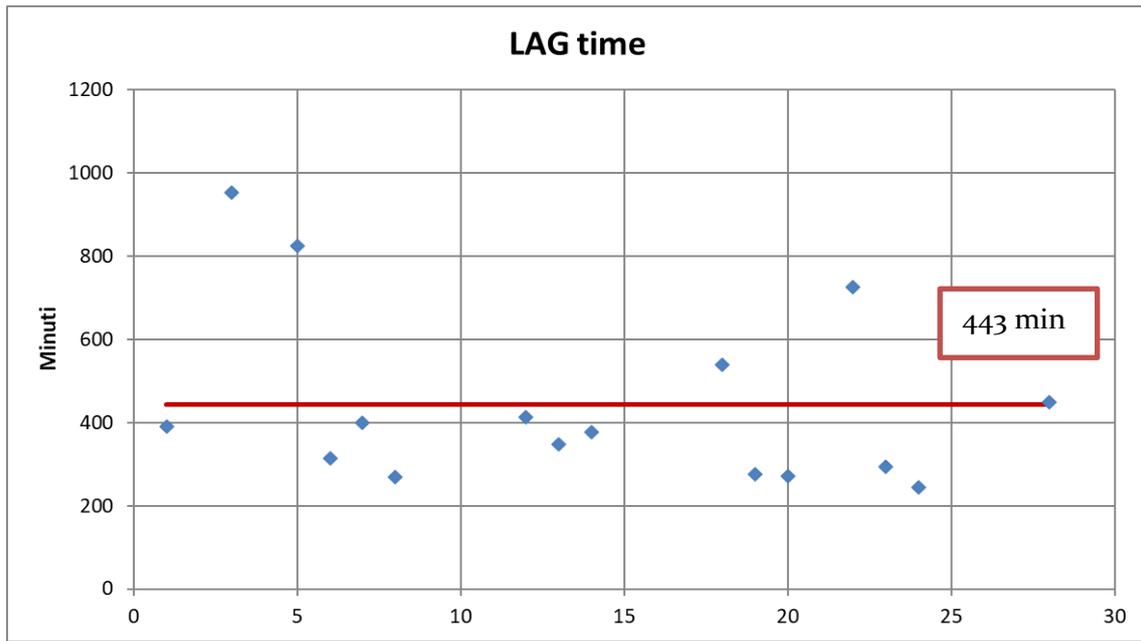


Grafico 5-4 - valori di Lag Time bacino Bo5 e valore medio

CODICE		B06													
Bacino Idrografico		Orcia Intermedio													
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km <sup>2</sup> )	L asta (km)	Diff me dia H (m)	i medi a (m/m)	Tipo di copertur a	Permeabilit à	Dislivell o (m)	Scabrezza	i pioggi a (mm/h)	Cost. a	Cost . b	
Giandotti	331	551			585.68	44.26	493.25								
Pezzoli	587	978				44.26		0.02							
Puglisi	272	453				44.26					986.5				
Aronica Paltrinieri	339	565			585.68	44.26	493.25		0.25	0.96					
Fattorelli Marchi	232	387				44.26					986.5				
U.S. Navy e Texas Highway departements	596	994				44.26									
Kirpich	319	531				44.26		0.02			986.5				
Kerby Hathaway	296	494			585.68	44.26		0.02				0.3			
Papadakis-Kazan	315	526			585.68	44.26		0.02				0.3	60		
Watt-Chow	411	686			585.68	44.26		0.02						0.00033	0.79
Chow	221	369			585.68	44.26		0.02						0.00116	0.64
Melone	249	416			585.68	44.26									
Carter	560	933			585.68	44.26		0.02							
Fiorentino	235	391			585.68	44.26		0.02							
Kirpich (2)	317	528			585.68	44.26		0.02			986.5				
Kirpich (3)	346	576			585.68	44.26		0.02			986.5				

Tabella 5-23 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino Bo6

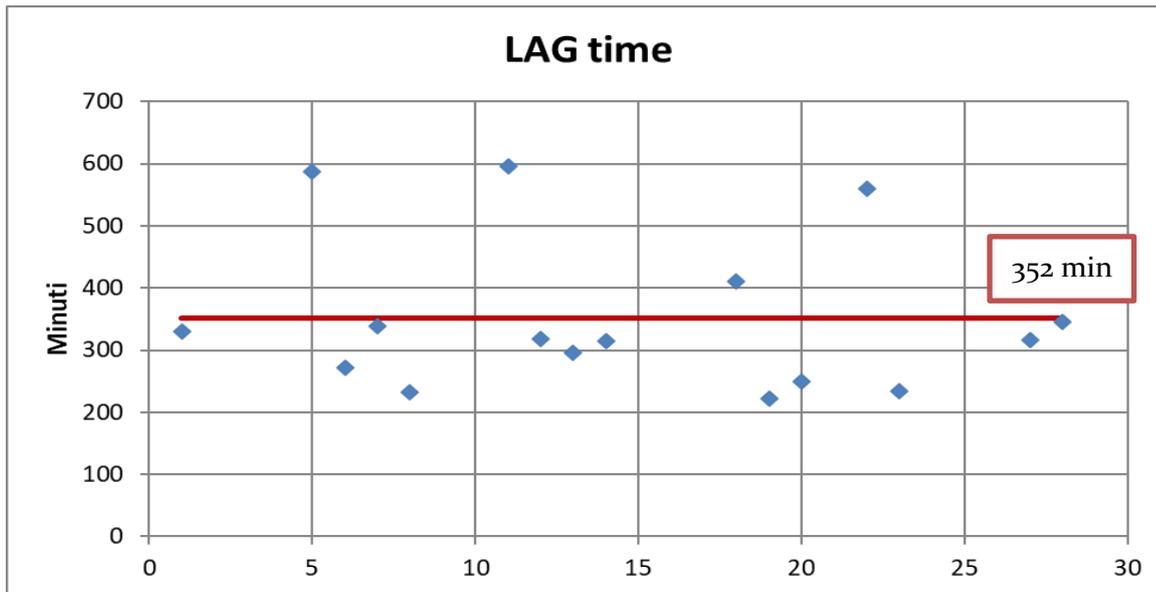


Grafico 5-5 - valori di Lag Time bacino Bo6 e valore medio

CODICE		B08												
Bacino Idrografico		Riguzzo												
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	A bacino (km <sup>2</sup> )	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	81	135	6.64	5.34	103.9									
Pasini	65	108	6.64	5.34		0.04								
Ventura	60	100	6.64			0.04								
Pezzoli	54	89		5.34		0.04								
Puglisi	111	186		5.34					207.8					
Aronica Paltrinieri	83	138	6.64	5.34	103.9		0.25	0.96						
Fattorelli Marchi	95	159		5.34					207.8					
Tournon	111	184	6.64	5.34		0.04								
U.S. Navy e Texas Highway departements	52	87		5.34										
Kirpich	50	84		5.34		0.04			207.8					
Kerby - Hathaway	97	161		5.34		0.04				0.3				
Papadakis-Kazan	92	154		5.34		0.04				0.3	60			
Watt-Chow	62	103		5.34		0.04				0.3		0.00033	0.79	
Chow	48	80		5.34		0.04				0.3		0.00116	0.64	
Melone	124	207		5.34										
Carter	113	188		5.34		0.04								
Fiorentino	49	82		5.34		0.04								
McEnroe Zao	43	71		5.34		0.04								
Pasini (2)	81	135	6.64	5.34		0.04								
Kirpich (2)	50	84		5.34		0.04			207.8					
Kirpich (3)	55	91		5.34		0.04			207.8					

**Tabella 5-24** – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino Bo8

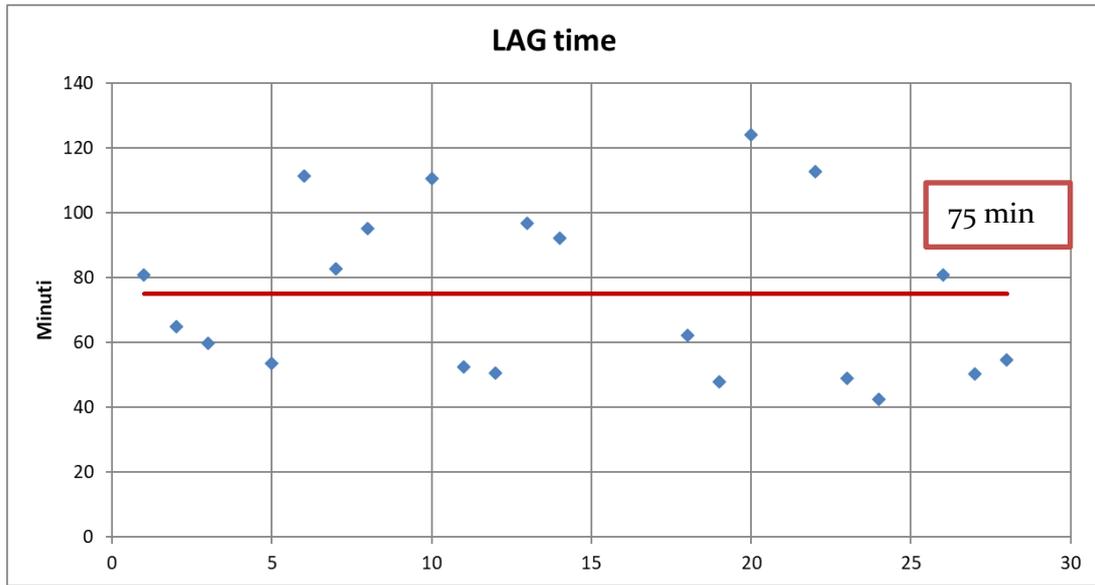


Grafico 5-6 - valori di Lag Time bacino Bo8 e valore medio

CODICE	B09												
Bacino Idrografico	Asso												
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km2)	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Dislivello (m)	Scabrezza a	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	325	542		127.79	29.24	151.95							
Puglisi	305	508		127.79	29.24			303.9					
Fattorelli Marchi	261	435		127.79	29.24			303.9					
Kirpich	311	518			29.24		0.01	303.9					
Papadakis-Kazan	325	541			29.24		0.01		0.3	60			
Chow	3216	361			29.24		0.01					0.00116	0.64
Melone	218	363			29.24								
Kirpich (2)	309	515			29.24		0.01	303.9					

Tabella 5-25 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino Bog

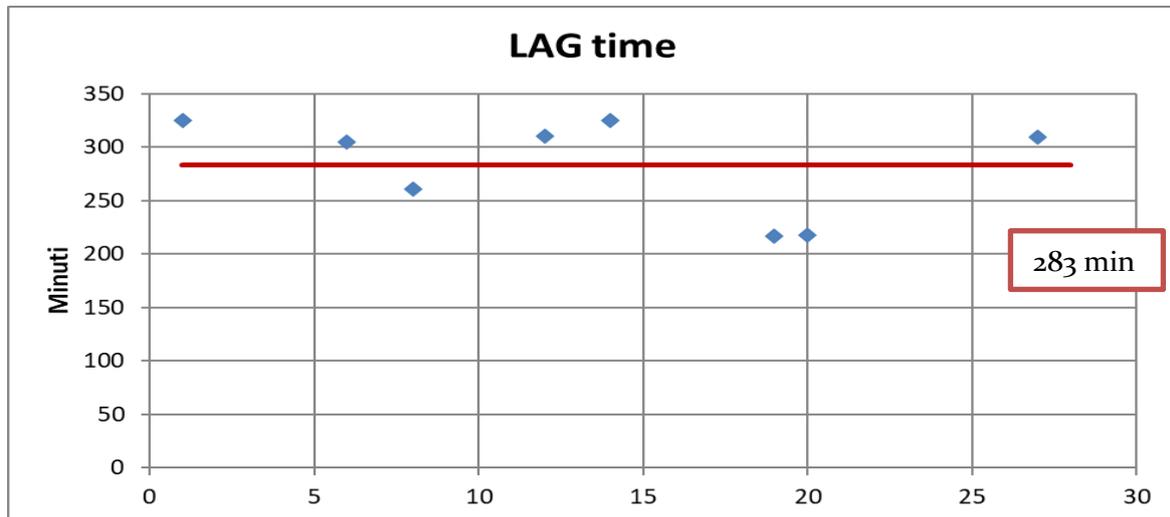


Grafico 5-7 – valori di Lag Time bacino Bog e valore medio

CODICE		B10												
Bacino Idrografico		TS17711												
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	A bacino (km <sup>2</sup> )	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	29	49	0.49	0.84	38.5									
Pasini	10	16	0.49	0.84		0.09								
Ventura	11	18	0.49			0.09								
Aronica Paltrinieri	30	50	0.49	0.84	38.5		0.25	0.96						
Tournon	14	23	0.49	0.84		0.09								
Kirpich	9	14		0.84		0.09			77					
Kerby Hathaway	33	56		0.84		0.09				0.3				
Papadakis-Kazan	28	47		0.84		0.09				0.3	60			
Watt-Chow	10	17		0.84		0.09						0.00033	0.79	
Chow	11	18		0.84		0.09						0.00116	0.64	
Carter	22	37		0.84		0.09								
Fiorentino	11	18		0.84		0.09								
McEnroe Zao	10	16		0.84		0.09								
Pasini (2)	12	20		0.84		0.09								
Kirpich (2)	9	14		0.84		0.09			77					
Kirpich (3)	9	16		0.84		0.09			77					

DATI DI INPUT

**Tabella 5-26** – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B10

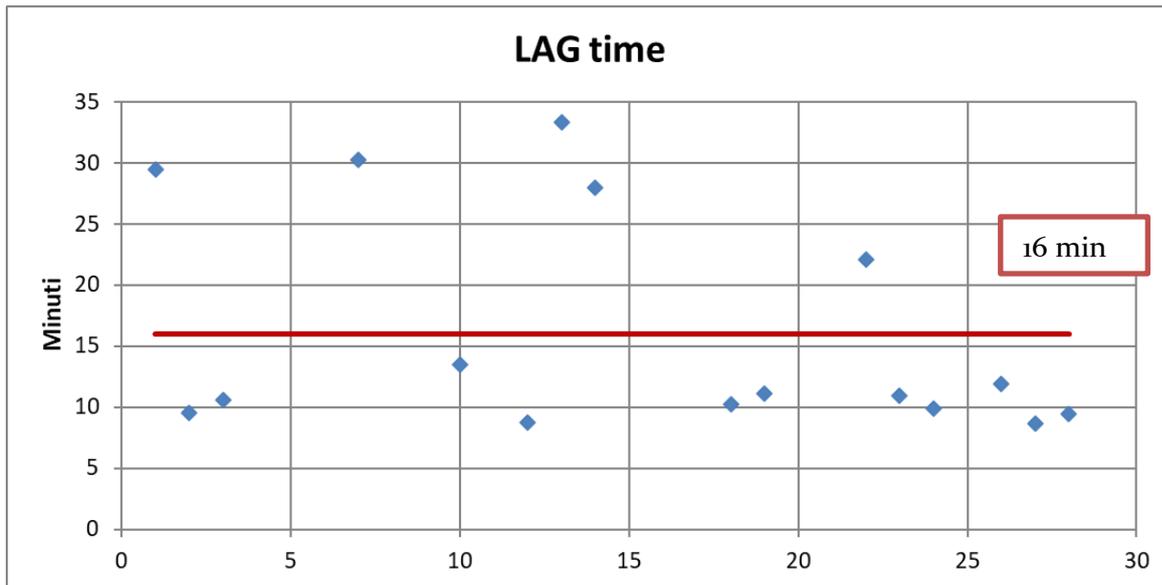
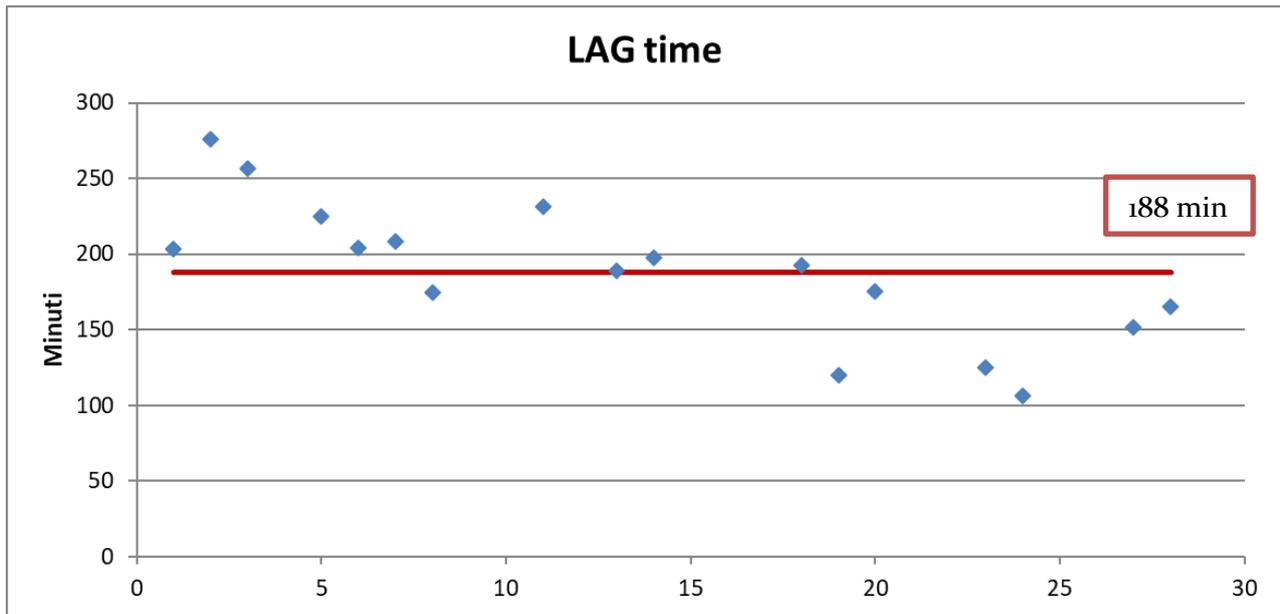


Grafico 5-8 - valori di Lag Time bacino B10 e valore medio

CODICE		B11													
Bacino Idrografico		Asso (monte)													
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	DATI DI INPUT	A bacino (km <sup>2</sup> )	Lasta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b	
Giandotti	204	339			56.47	15.2	136.4								
Pasini	276	460			56.47	15.2		0.017							
Ventura	257	428			56.47			0.017							
Pezzoli	225	374				15.2		0.017							
Puglisi	204	341				15.2					272.8				
Aronica Paltrinieri	208	347			56.47	15.2	136.4		0.25	0.96					
Fattorelli Marchi	175	291				15.2					272.8				
U.S. Navy e Texas Highway departements	232	386				15.2		0.017							
Kerby Hathaway	189	315				15.2		0.017				0.3			
Papadakis-Kazan	198	329				15.2		0.017				0.3	60		
Watt-Chow	193	321				15.2		0.017				0.3		0.00033	0.79
Chow	120	199				15.2		0.017				0.3		0.00116	0.64
Melone	175	292				15.2		0.017							
Fiorentino	125	208				15.2		0.017							
McEnroe Zao	107	178				15.2		0.017							
Kirpich (2)	151	252				15.2		0.017			272.8				
Kirpich (3)	165	275			15.2		0.017			272.8					

**Tabella 5-27** – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B11



**Grafico 5-9** – valori di Lag Time bacino B11 e valore medio

CODICE		B12											
Bacino Idrografico		Fosso Mobbiano											
Formule utilizzate	Lag time (min)	Tc (min)	A bacino (km2)	L asta (km)	Diff media H (m)	i media (m/m)	Tipo di copertura	Permeabilità	Dislivello (m)	Scabrezza	i pioggia (mm/h)	Cost. a	Cost. b
Giandotti	104	173	6.86	4.16	52.4								
Pasini	75	125	6.86	4.16		0.025							
Ventura	76	126	6.86			0.025							
Pezzoli	52	86		4.16		0.025							
Puglisi	113	198		4.16					104.8				
Aronica Paltrinieri	107	178	6.86	4.16	52.4		0.25	0.96					
Fattorelli Marchi	101	169		4.16									
NCRS – Lag Method	132	219		4.16									
Tournon	87	146	6.86	4.16		0.025							
U.S. Navy e Texas Highway	52	87		4.16									

departement s													
Kirpich	49	82		4.16		0.025			104.8				
Kerby - Hathaway	95	159		4.16		0.025			0.3				
Papadakis- Kazan	93	155		4.16		0.025			0.3	60			
Watt-Chow	61	101		4.16		0.025					0.0003 3	0.79	
Chow	47	78		4.16		0.025					0.0011 6	0.64	
Melone	114	190		4.16									
Carter	126	210		4.16		0.025							
Fiorentino	48	80		4.16		0.025							
McEnroe Zao	42	70		4.16	0.025								
Pasini (2)	94	156	6.86	4.16	0.025								
Kirpich (2)	49	82	6.86	4.16	0.025			104.8					
Kirpich (3)	53	89	6.86	4.16	0.025			104.8					

Tabella 5-28 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B12

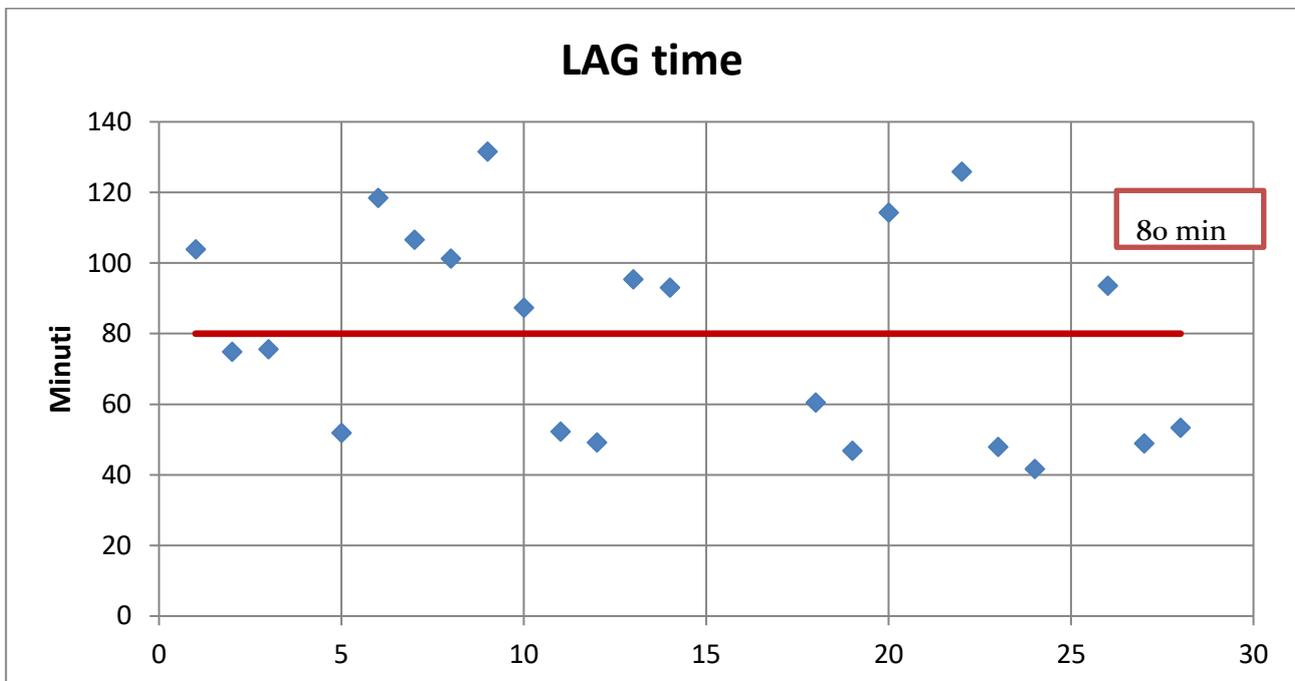


Grafico 5-10 – valori di Lag Time bacino B12 e valore medio

#### 5.4.4 Risultati della modellazione idrologica

Il software HEC-HMS ver. 4.7 è il sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Engineering Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America. È stato progettato per simulare i processi di precipitazione e di deflussi di bacini idrografici e ne consente, quindi, la modellazione idrologica.

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

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

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

Il *meteorological model* definisce l'evento pluviometrico di progetto (*rainfall simulation*). L'evento pluviometrico assegnato, è inserito, nel caso in esame, utilizzando il metodo dello *specified hyetograph*, inserendo cioè uno ietogramma di pioggia costante per tutta la durata dell'evento. Per le simulazioni idrologiche si è scelto, quindi, di distribuire i valori dello spessore di pioggia in 30 minuti, ipotizzando, come già detto, lo ietogramma costante.

Nel caso dei bacini singoli, le modellazioni idrologiche sono svolte utilizzando un unico elemento *basin*, mentre nel caso dei sistemi i bacini sono normalmente connessi tramite un elemento *junction*. Ogni bacino è stato definito a partire delle seguenti caratteristiche: Area del bacino, SCS Curve Number come Loss Method e SCS Unit Hydrograph come Transformation Method.

Si riporta a seguire l'esito delle analisi idrologiche in termini grafici per gli input idrologici oggetto di analisi.

**BACINO B01 – Orcia Interbacino**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: -

Durata critica: -

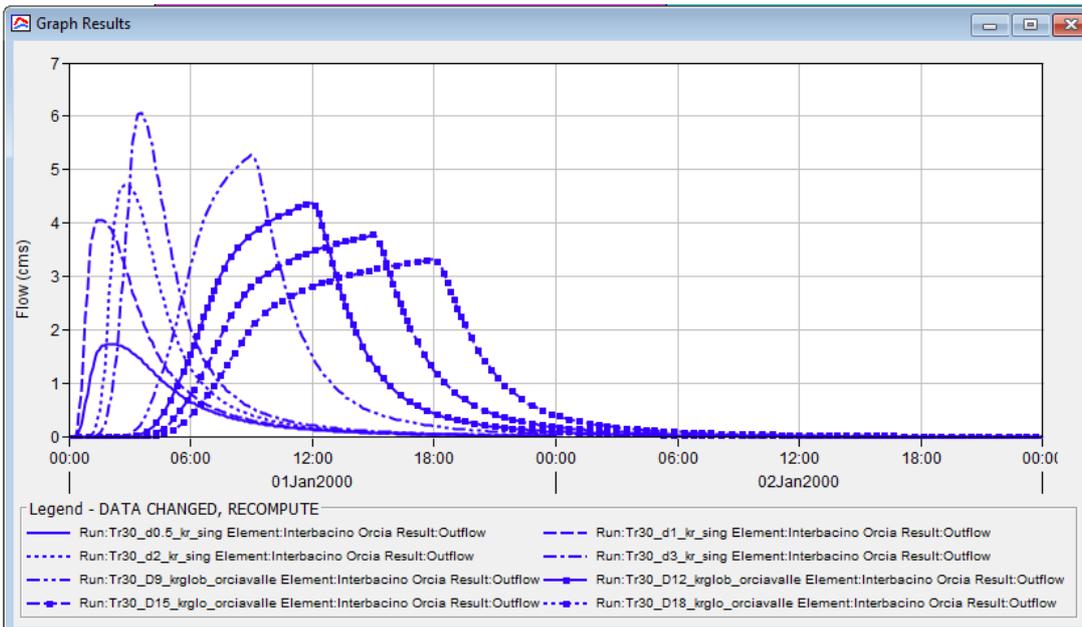
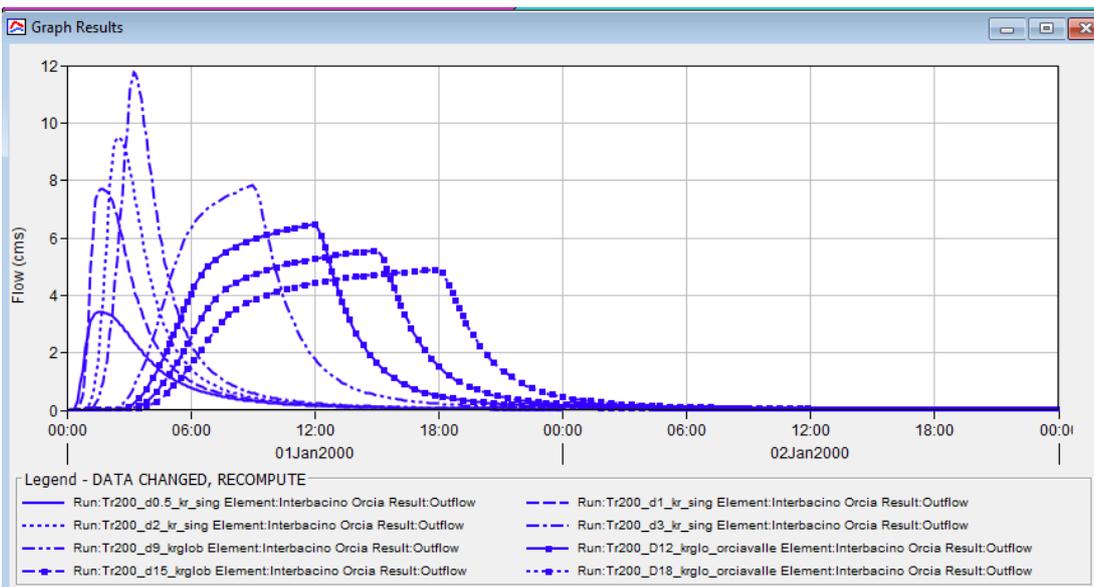
Sistema singolo: 0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h

Durata critica: 3h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 2.39 mc/s

Tr 200 anni: 11.74 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO Bo2 – Fosso Spagnola**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: -

Durata critica: -

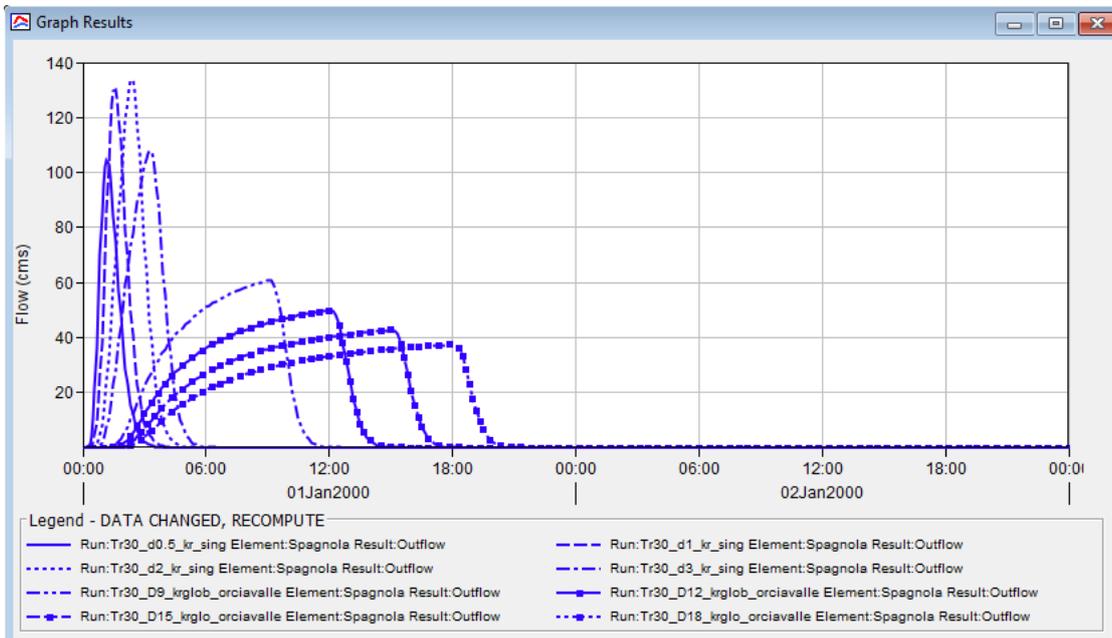
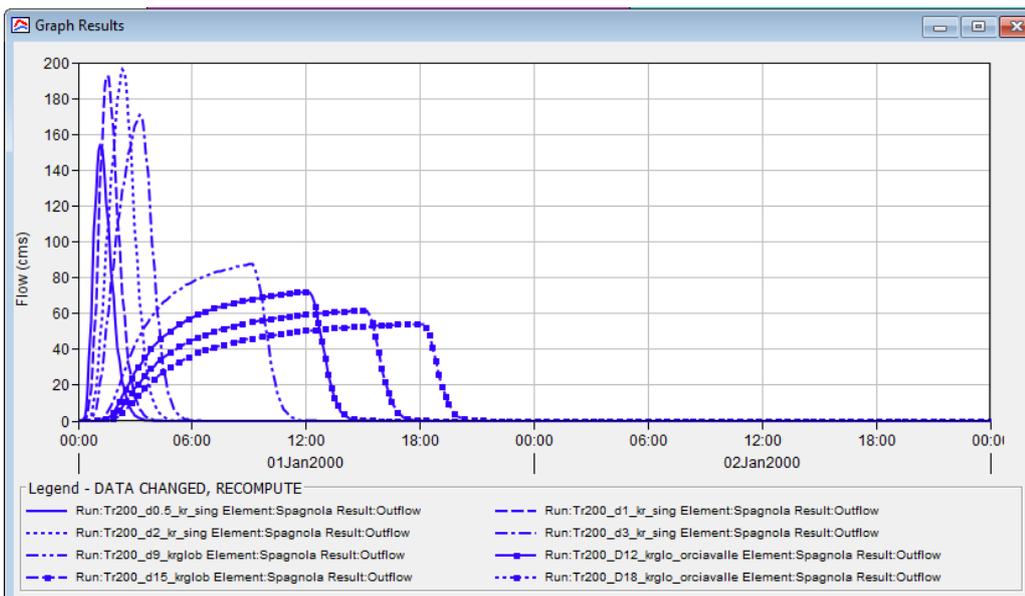
Sistema singolo: 0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h

Durata critica: 2h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

 Tr<sub>30</sub> anni: 133.64 mc/s

 Tr<sub>200</sub> anni: 195.91 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>30</sub> anni**

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>200</sub> anni**


**BACINO Bo3 – Asta TS78736**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: -

Durata critica: -

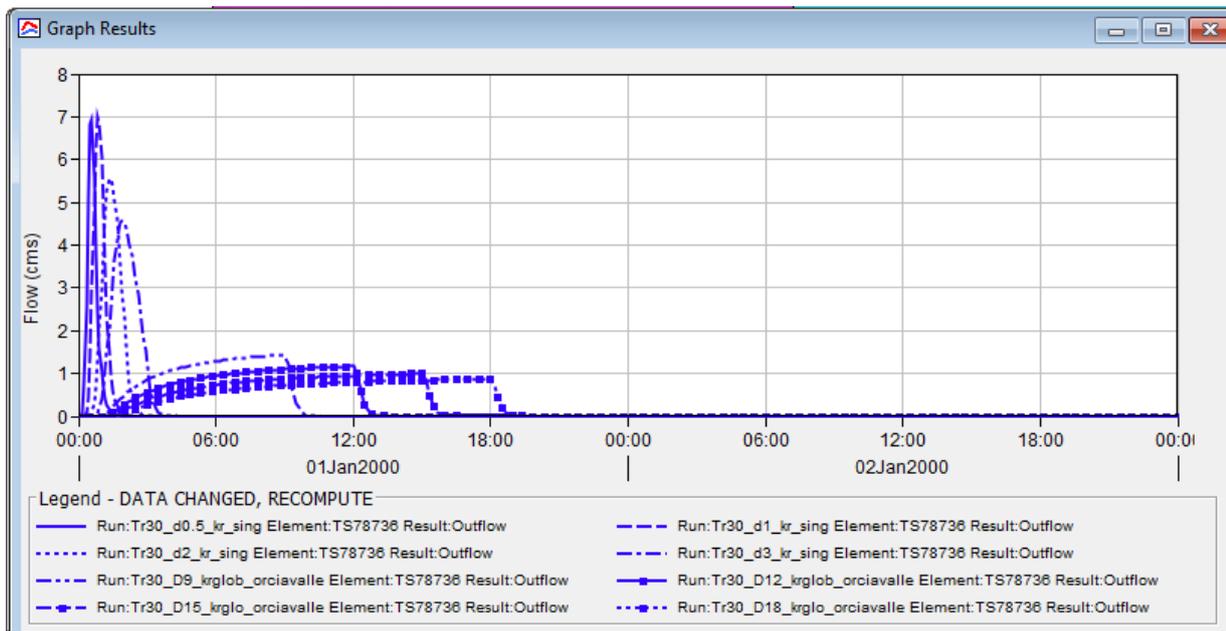
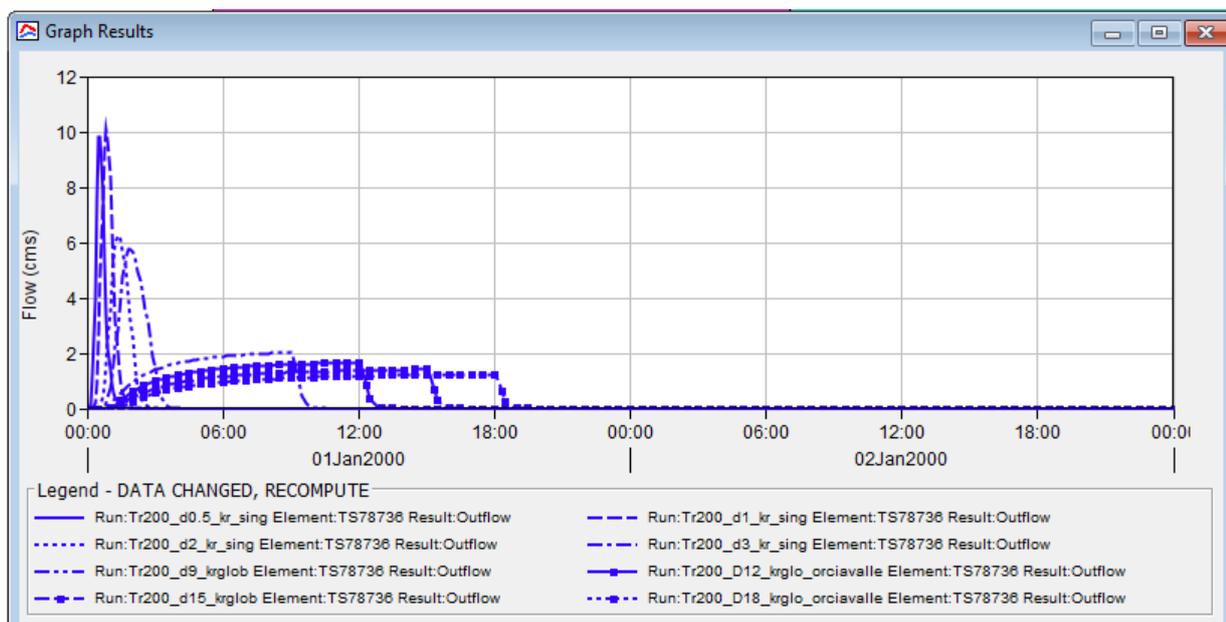
Sistema singolo: 0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h

Durata critica: 1h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 6.98 mc/s

Tr 200 anni: 10.06 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO Bo4 – Asta TS35134**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: -

Durata critica: -

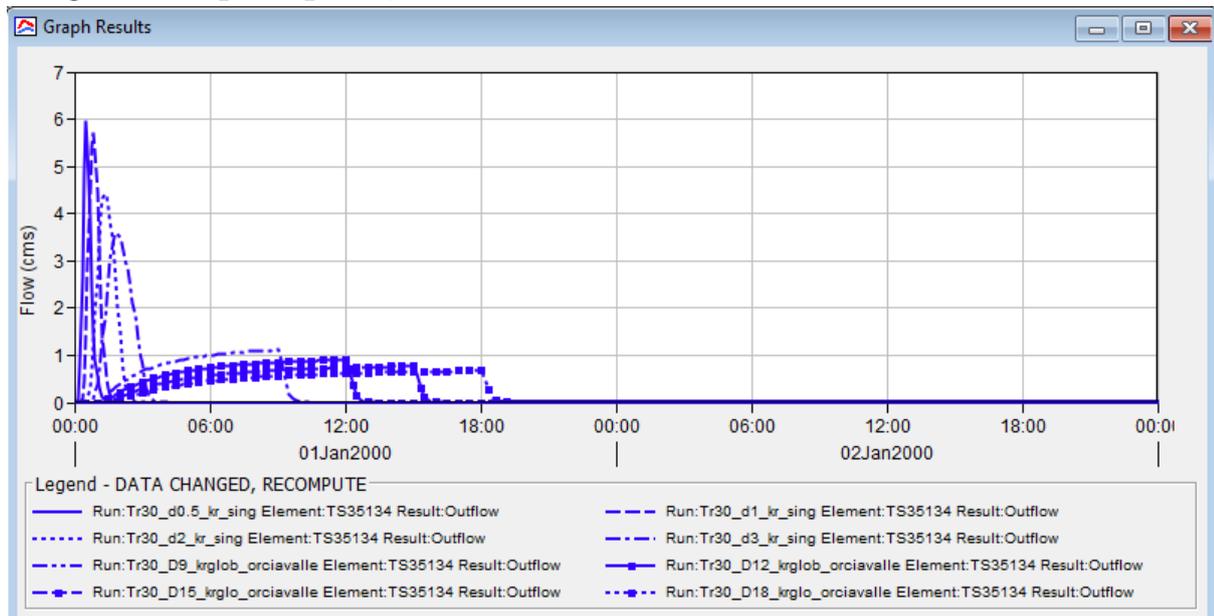
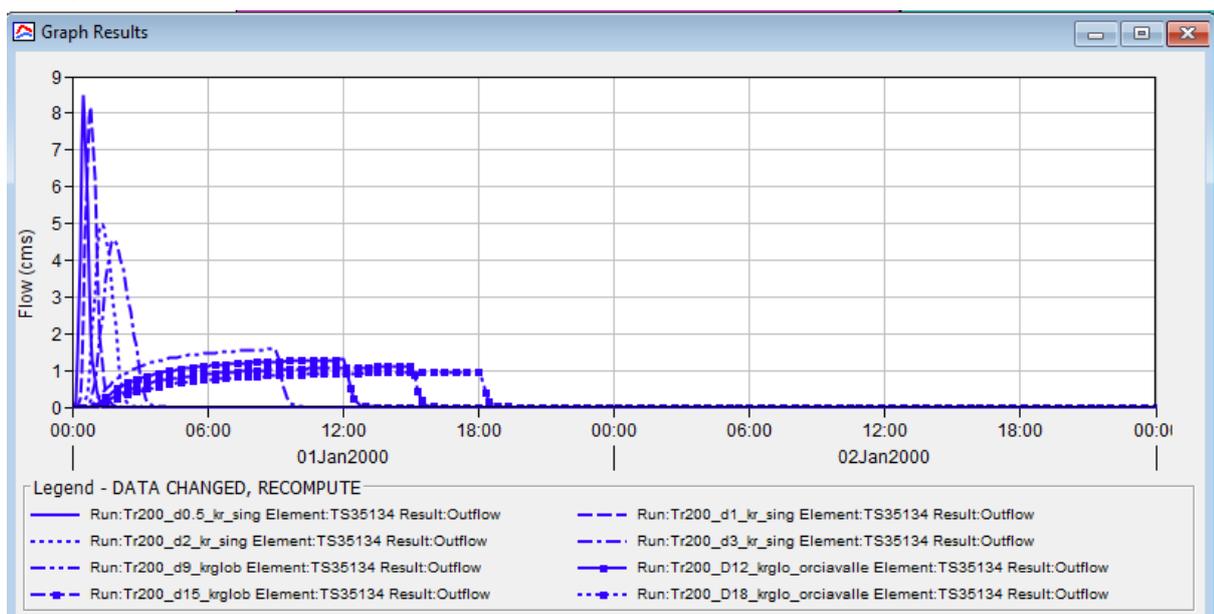
Sistema singolo: 0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h

Durata critica: 0.5h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 5.72mc/s

Tr 200 anni: 8.16 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO B05 – Fiume Orcia (a Sant’Angelo Scalo)**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: -

Durata critica: -

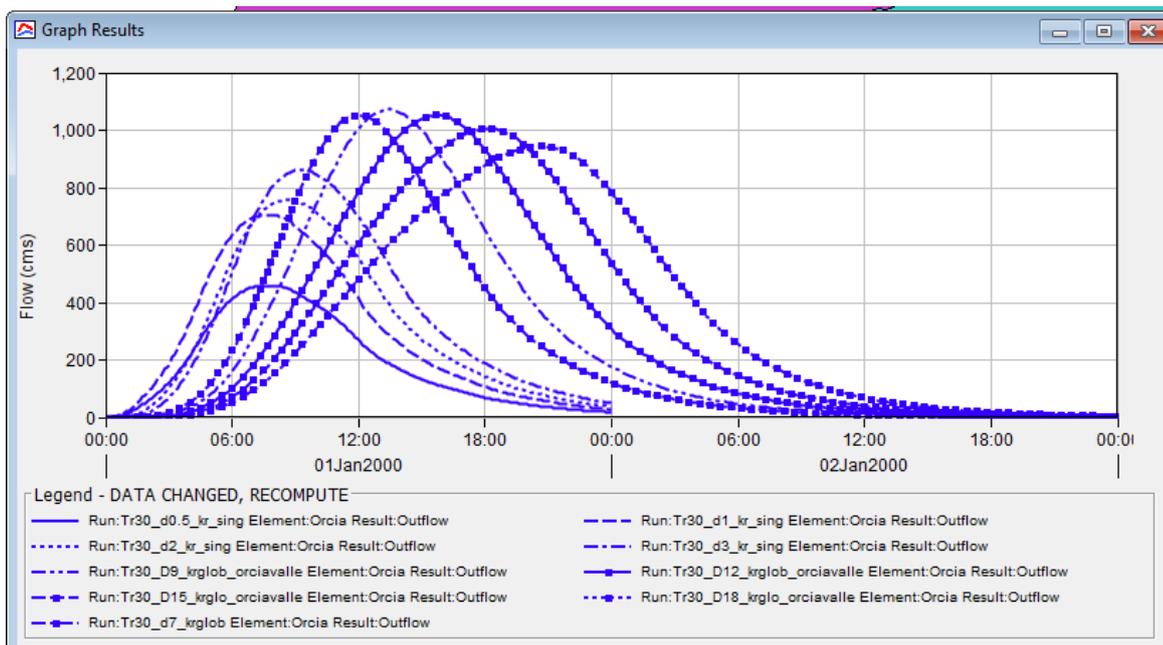
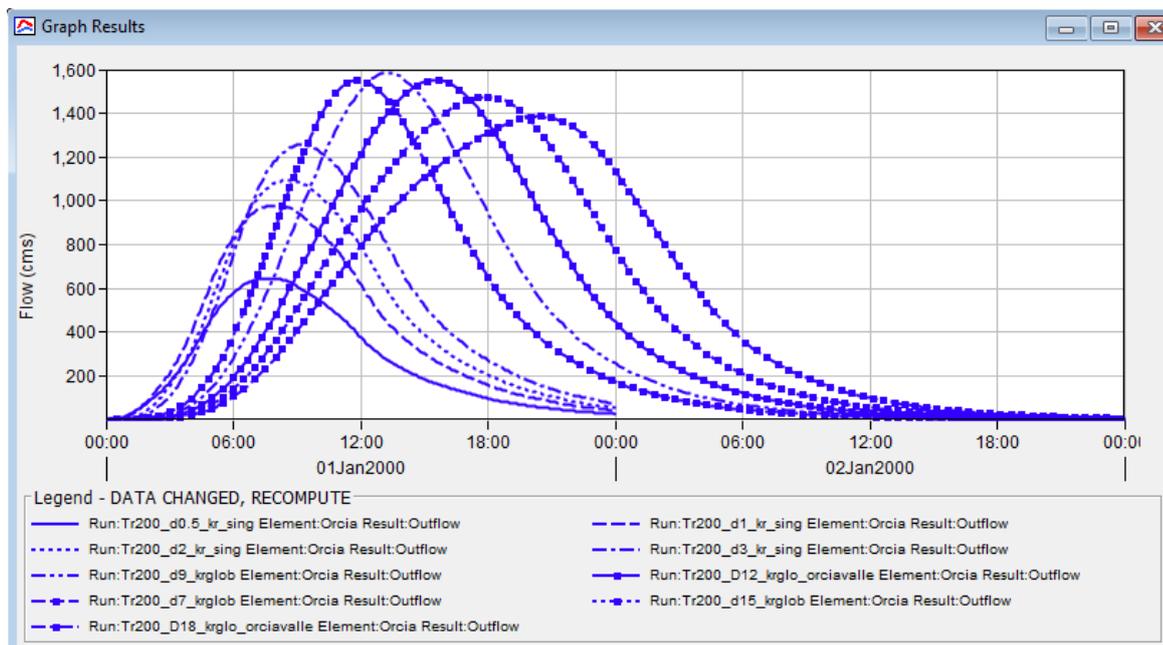
Sistema singolo: 0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h

Durata critica: 9h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

 Tr<sub>30</sub> anni: 1071.92 mc/s

 Tr<sub>200</sub> anni: 1584.13 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>30</sub> anni**

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>200</sub> anni**


**BACINO Bo6 – Fiume Orcia – intermedio (a Monte Amiata)**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

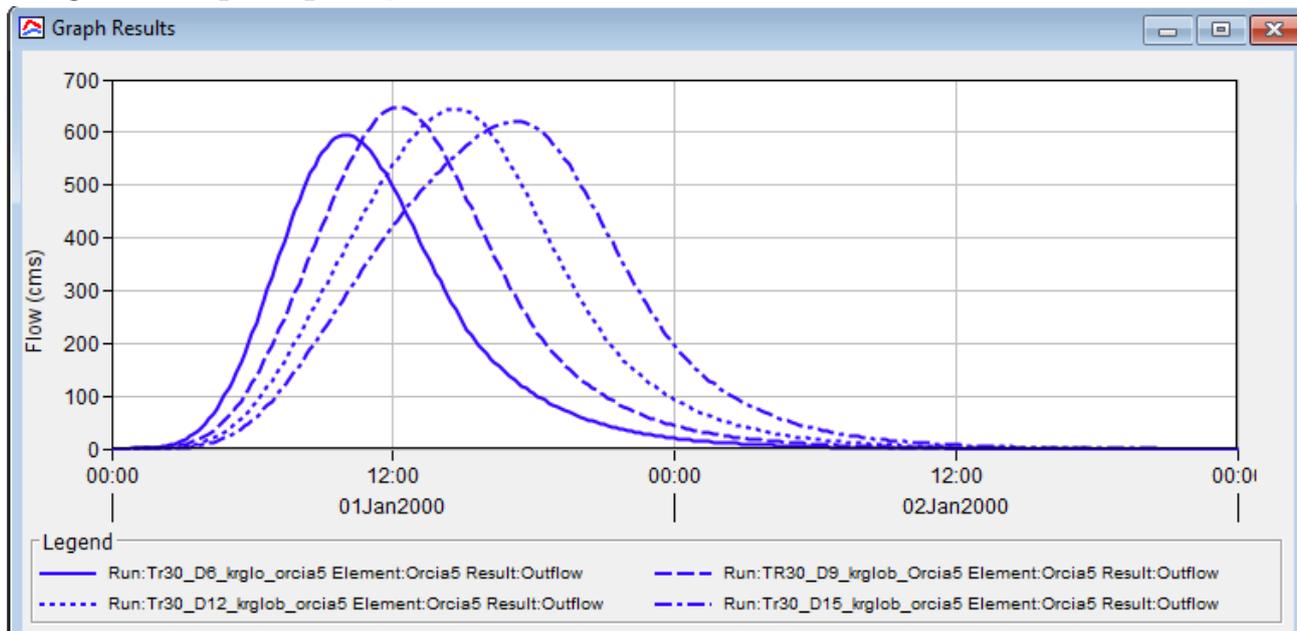
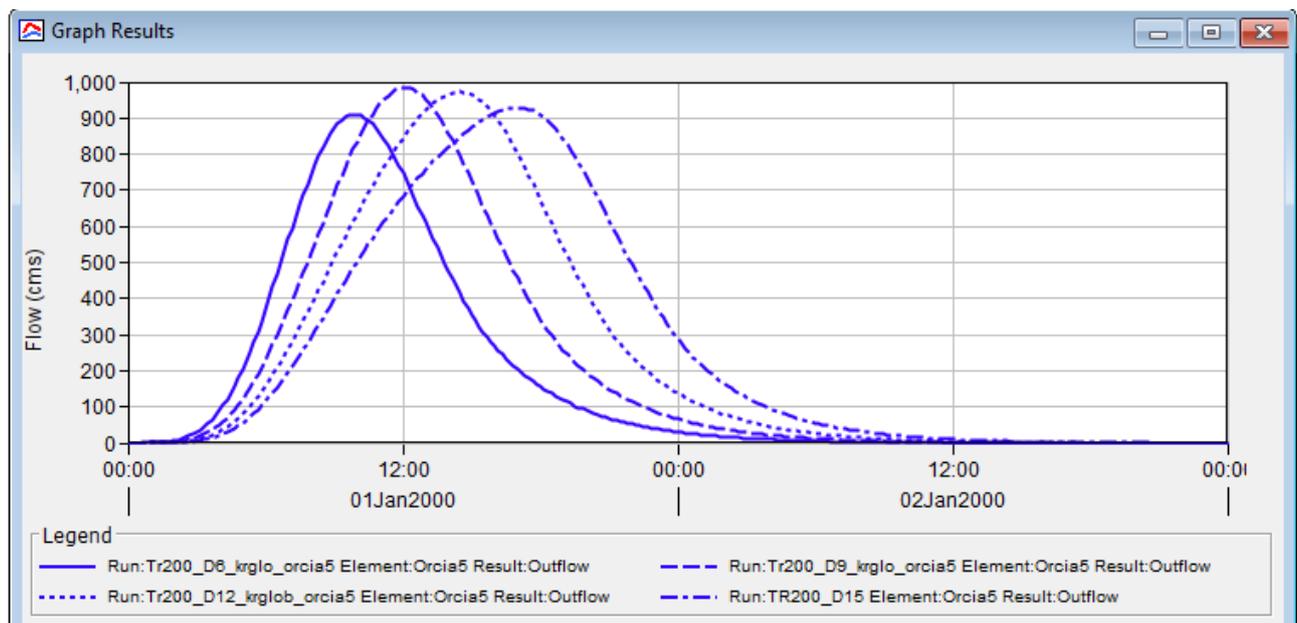
Sistema globale: 6h,9h, 12h, 15h      Durata critica: 9h

Sistema singolo: -      Durata critica: -

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 648.02 mc/s

Tr 200 anni: 984.38 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO Bo7 - T. Asso interbacino (dopo la confluenza col Riguzzo)**
**Durate di pioggia indagate - simulazione con HEC-HMS 4.11**

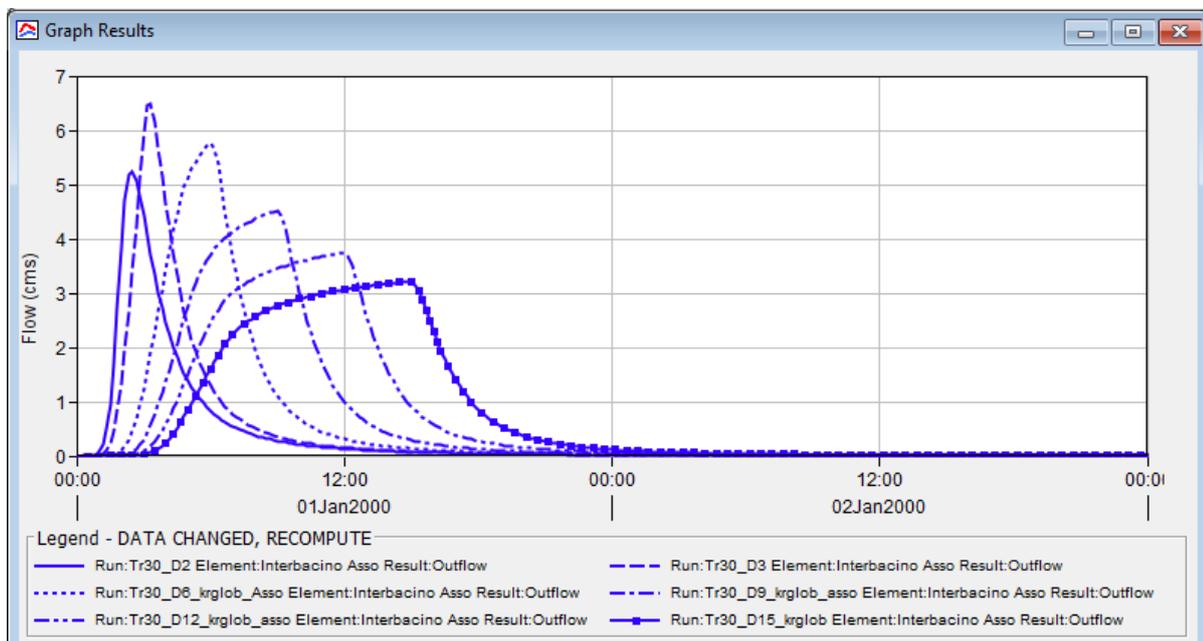
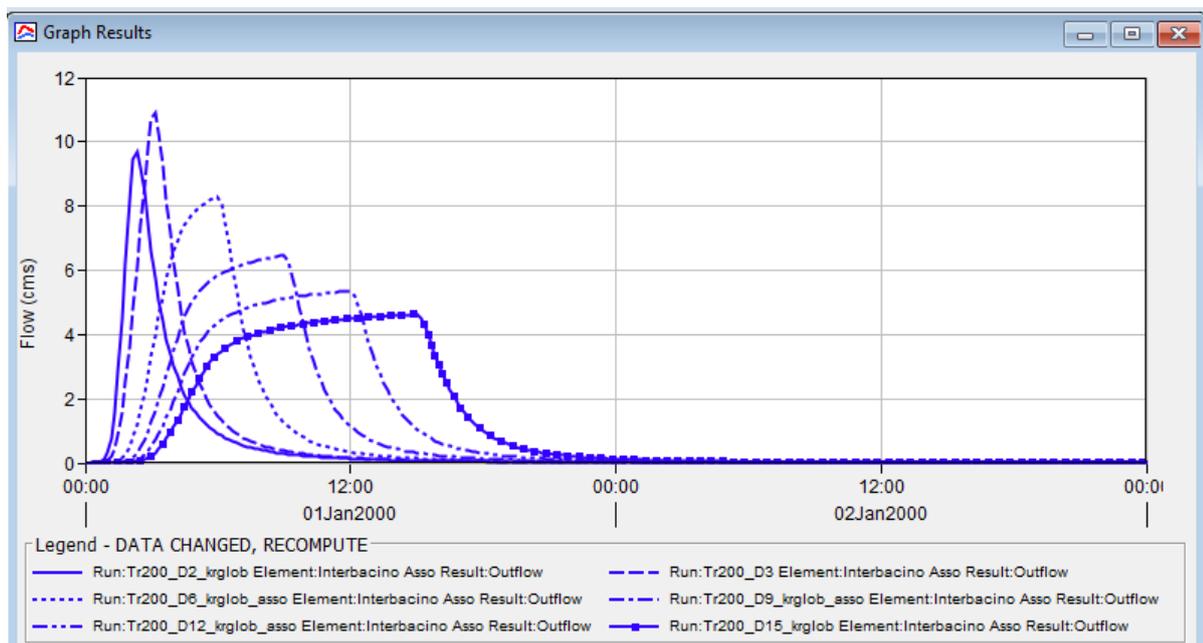
Sistema globale: 2h, 3h, 6h,9h, 12h,15h      Durata critica: 3h

Sistema singolo: -      Durata critica: -

**Portata di piccolo - simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 6.49 mc/s

Tr 200 anni: 10.90 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO Bo8 – Riguzzo**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale: 6h,9h, 12h,15h

Durata critica: 6h

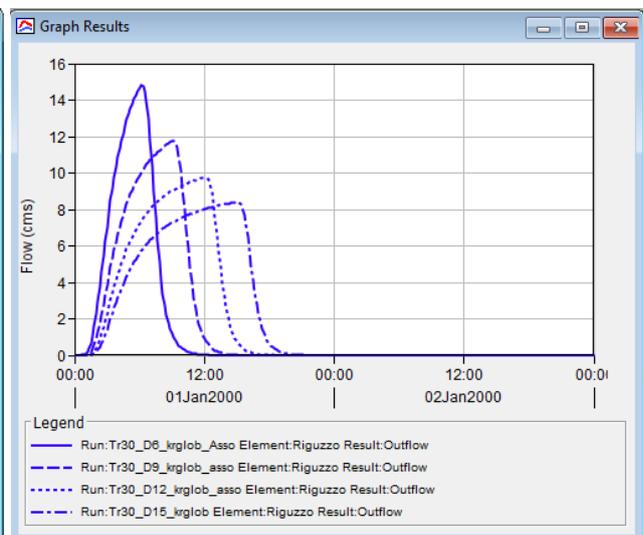
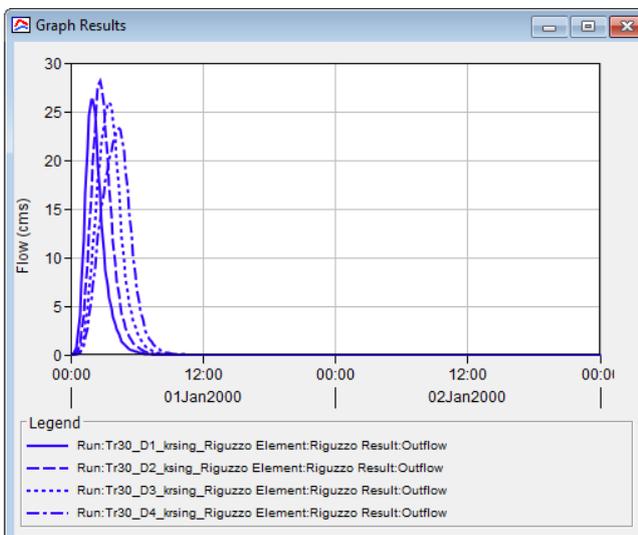
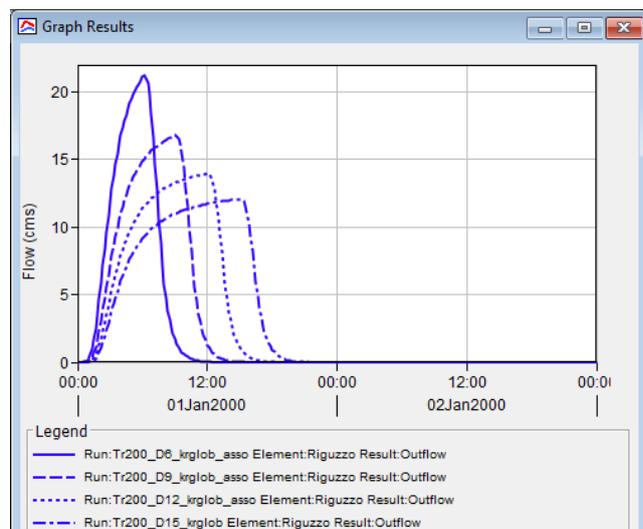
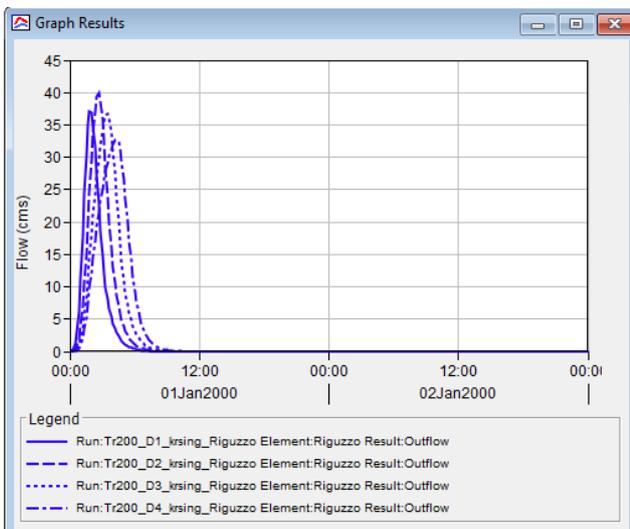
Sistema singolo: 1h, 2h, 3h,4h

Durata critica: 2h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

 Tr<sub>30</sub> anni: 28.20 mc/s

 Tr<sub>200</sub> anni: 39.87 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>30</sub> anni**

**Idrogrammi di piena per Tr<sub>200</sub> anni**


**BACINO Bog – T. Asso (a Torrenieri)**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

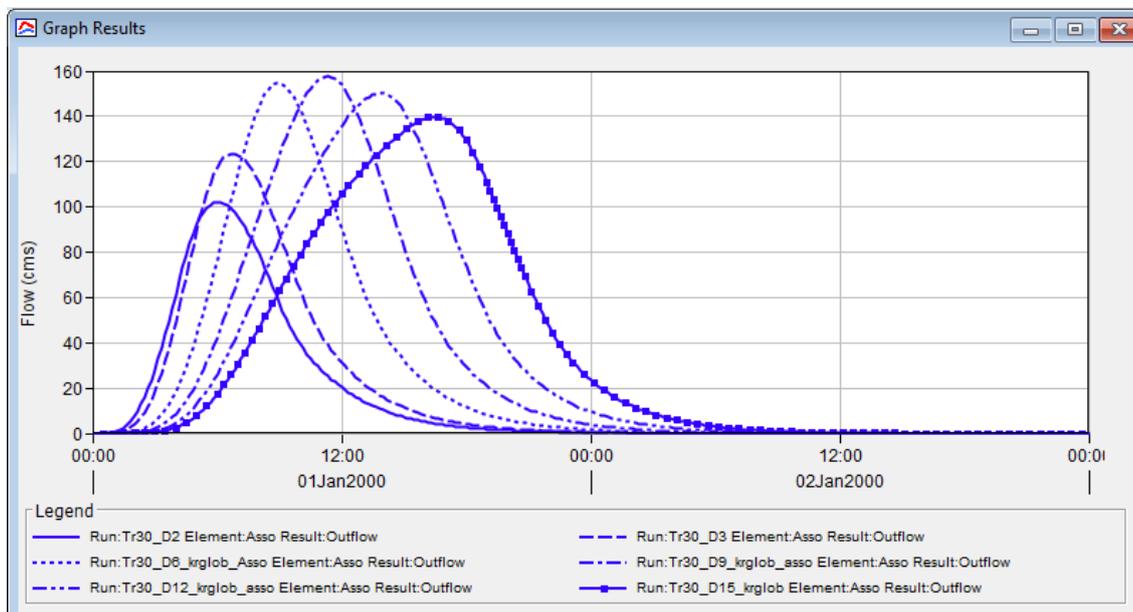
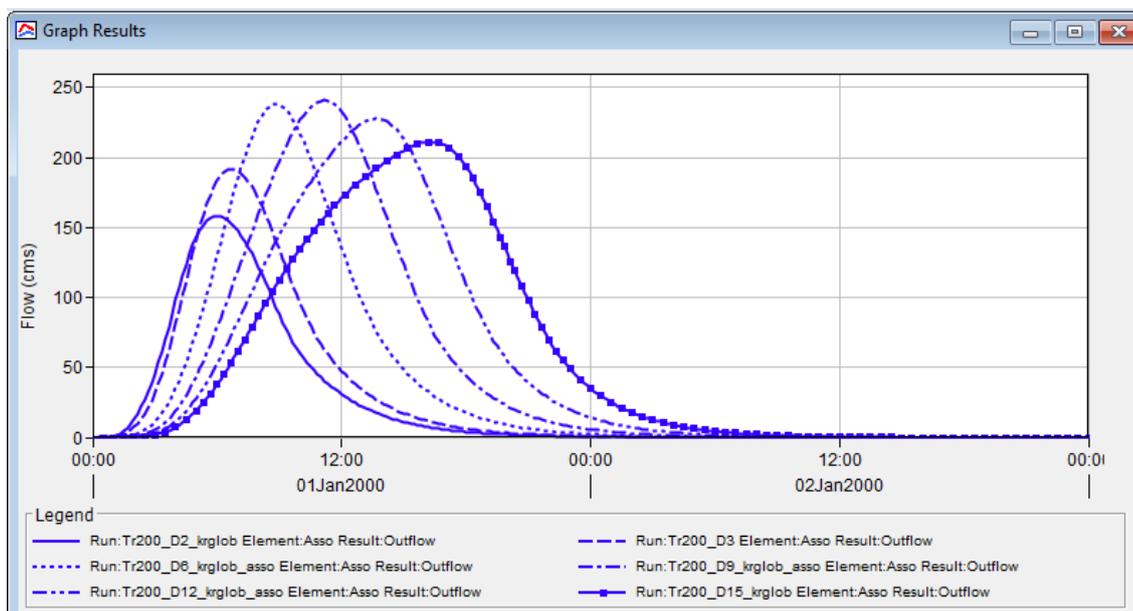
Sistema globale: 2h, 3h, 6h,9h, 12h,15h      Durata critica: 9h

Sistema singolo: -      Durata critica: -

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 157.72 mc/s

Tr 200 anni: 240.85 mc/s

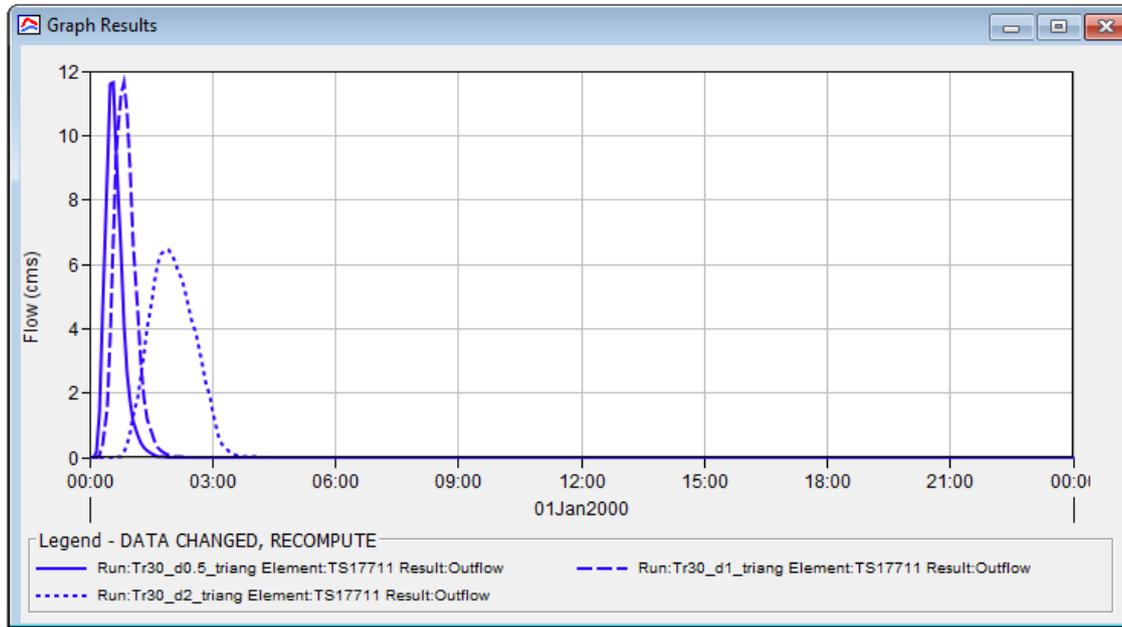
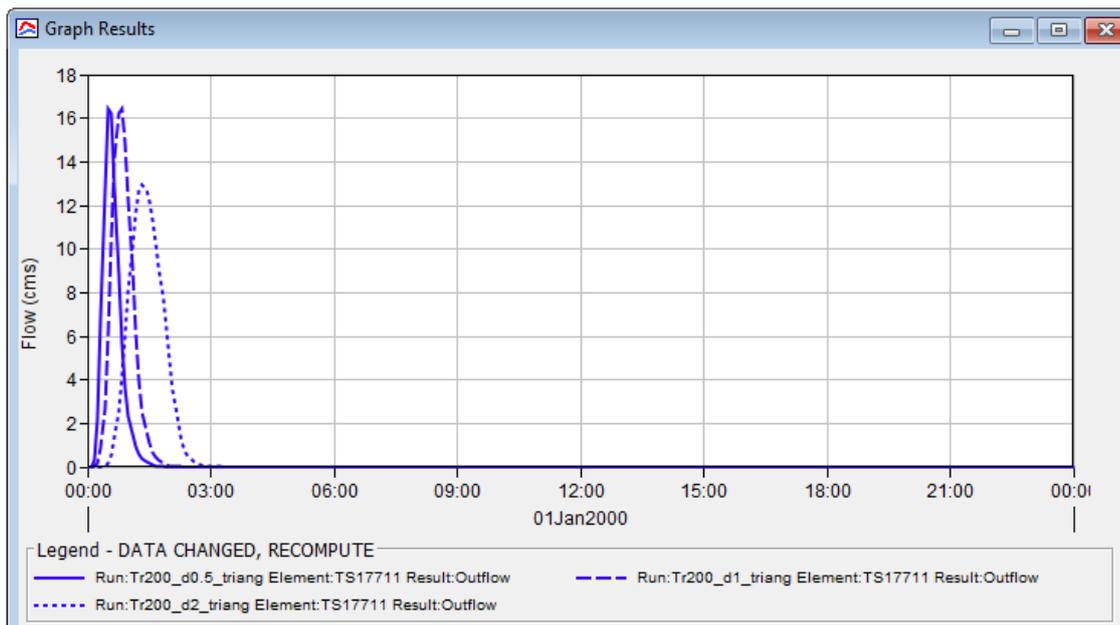
**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO B10 – Asta TS17711**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Sistema globale:	-	Durata critica:	-
Sistema singolo:	0.5h, 1h, 2h	Durata critica:	1h

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni:	11.65 mc/s
Tr 200 anni:	16.41 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO B11 – Asso monte ( a San Giovanni d’Asso)**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

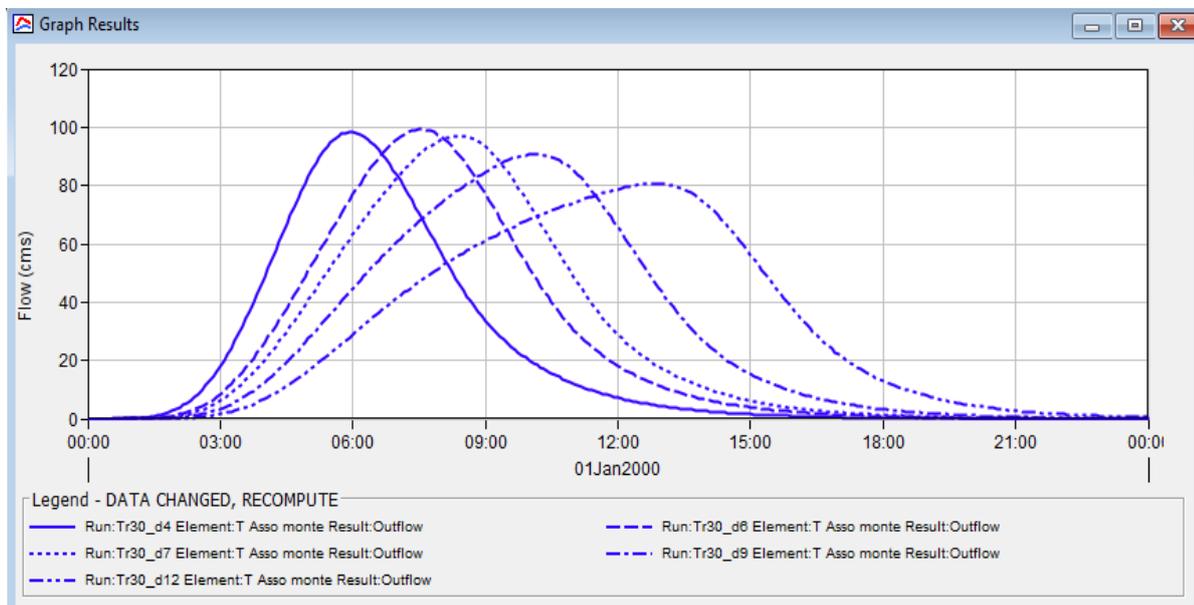
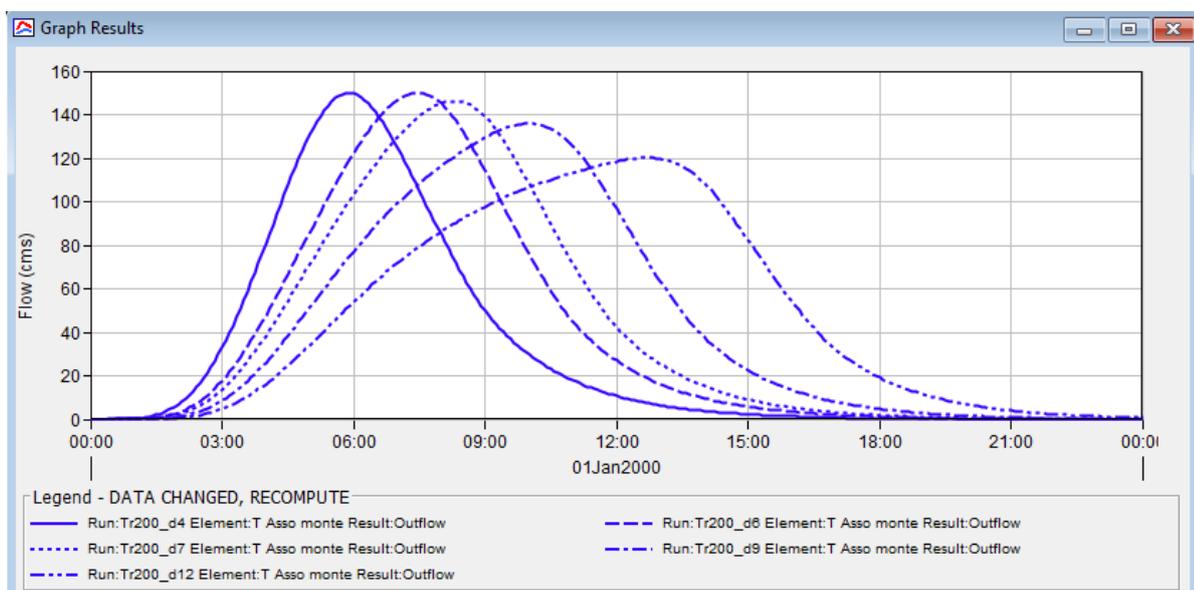
Sistema globale: 4h, 6h, 7h, 9h,12h                      Durata critica: 6h

Sistema singolo: -    Durata critica: -

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 99.26 mc/s

Tr 200 anni: 149.96 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


**BACINO B12 – Fosso Mobbiano**
**Durate di pioggia indagate – simulazione con HEC-HMS 4.11**

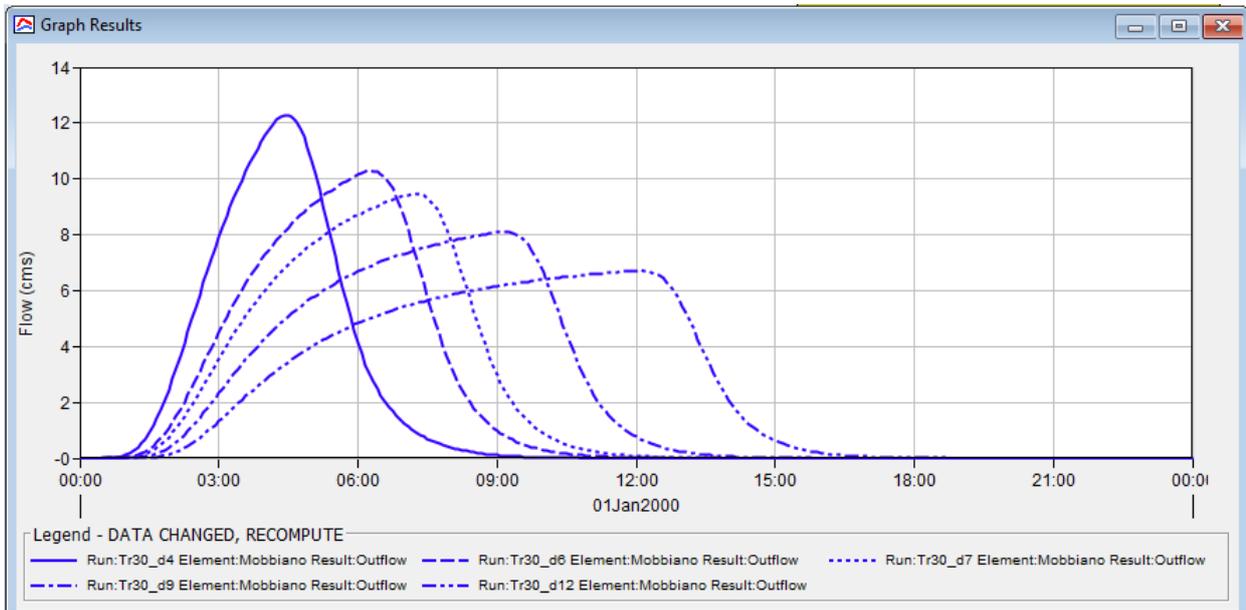
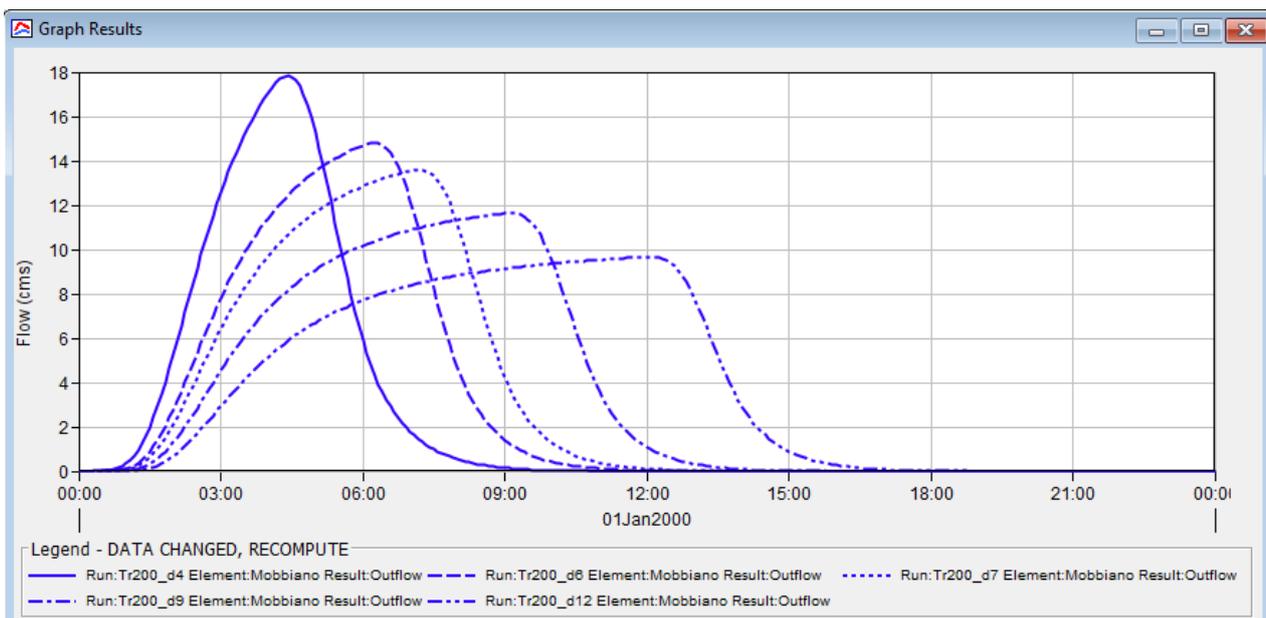
Sistema globale: 4h, 6h, 7h, 9h, 12h      Durata critica: 4h

Sistema singolo: -      Durata critica: -

**Portata di piccolo – simulazione con HEC-HMS 4.11**

Tr30 anni: 12.28 mc/s

Tr 200 anni: 17.81 mc/s

**Idrogrammi di piena per Tr30 anni**

**Idrogrammi di piena per Tr200 anni**


#### 5.4.5 Confronto dei risultati con studi pregressi

Ai fini del presente studio, sono stati acquisiti gli studi pregressi nell'area di Sant'Angelo Scalo redatti recentemente, che sono:

1. lo studio redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi che ha recentemente aggiornato il PGRA (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS);
2. lo studio idrologico-idraulico sul T. Spagnola redatto dall'ing. Lombardi nel 2018 a supporto del progetto denominato "09IR770/G1-04 - RIPRISTINO OFFICIOSITA' IDRAULICA NEI CORSI D'ACQUA DEL BACINO TOSCANA SUD - INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE DELL'ALVEO DEL TORRENTE SPAGNOLA - MONTALCINO (SI) (ex P.129)". Questo ultimo studio si è focalizzato sul dimensionamento del nuovo ponte sulla SP129 e delle opere idrauliche connesse per Tr 200 anni.

Nella successiva Tabella 5-29 è riportato il confronto tra gli studi pregressi e il presente studio.

ID	Bacino idrografico	Qp [mc/s] – Tr 200 anni		
		Studio Rossi 2015 – agg. PGRA 2022	Studio Lombardi 2019	Studio ProGeo
B02	Spagnola	Durata critica = 1h Qp = 190.25 mc/s	Durata critica = 2.5 h Qp = 128.8 mc/s	Durata critica = 2 h Qp = 195.91 mc/s
B05	Orcia	Durata critica = 9h Qp = 1557.49 mc/s	n.d.	Durata critica = 9 h Qp = 1584.13 mc/s

ID	Bacino idrografico	Qp [mc/s] – Tr 30 anni		
		Studio Rossi 2015 – agg. PGRA 2022	Studio Lombardi 2019	Studio ProGeo
B02	Spagnola	Durata critica = 1h Qp = 133.64 mc/s	n.d.	Durata critica = 2 h Qp = 133.64 mc/s
B05	Orcia	Durata critica = 9h Qp = 1061.98 mc/s	n.d.	Durata critica = 9 h Qp = 1071.92 mc/s

**Tabella 5-29** – confronto tra i risultati di questo studio idrologico-idraulico e gli studi pregressi nell'area di Sant'Angelo Scalo

Confronto tra i risultati sul bacino del T. Spagnola redatto nel 2019 e questo studio		
	Studio ing. Lombardi del 2019	Studio ProGeo del 2025
Area bacino	27.53	27.94
a200 [mm/hr]	64.50	64.37
n200 [-]	0.256	0.257
Ia [mm]	5.6	0
CN <sub>3</sub>	90	85
LAG - time [min]	97.2	72
Qp [mc/s] - Tr200 yr	128.8	195.91

**Tabella 5-30** - confronto tra i risultati di questo studio idrologico-idraulico e lo studio Lombardi del 2019

Come si vede da Tabella 5-29, i risultati per il bacino del T. Spagnola e per il bacino del Fiume Orcia ottenuti dalle simulazioni idrologiche condotte dagli scriventi sono del tutto paragonabili a quelle dello studio idrologico-idraulico redatto dall'ing. Rossi con il quale è stato aggiornato recentemente il PGRA dell'AdBDAS con Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022.

Diversamente, si rileva un significativo scostamento della portata di picco stimata dall'ing. Lombardi (2019), pur avendo impiegato la stessa schematizzazione degli scriventi e dell'ing. Rossi nella scelta del modello di calcolo dell'infiltrazione (SCS-CN) e della trasformata afflussi-deflussi (IUH-SCS). In Tabella 5-30 è riportato un confronto di dettaglio tra i parametri di base adottati in tale studio e quello adottato dagli scriventi, dal quale emerge una sostanziale coerenza, fatto salvo:

- la scelta di ipotizzare diversa da zero l'infiltrazione iniziale (parametro Ia);
- un tempo di ritardo più lungo (97.2 min anziché 72 minuti).

Ad ogni buon conto, tenuto in considerazione che lo studio dell'ing. Rossi del 2015 è stato adottato quale riferimento per la più recente modifica del PGRA (Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS), si ritiene che lo studio redatto dagli scriventi sia coerente con il quadro conoscitivo attuale.

## 6 ANALISI IDRAULICA

### 6.1 Descrizione della modellazione idraulica

Le modellazioni idrauliche sono state condotte per mezzo del codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7, sviluppato dall'US Army Corps of Engineer, per le aste fluviali nei tratti naturali sia nelle modellazioni 1D e 2D.

La modellazione è stata eseguita utilizzando le portate di piena ricavate dalle modellazioni idrologiche con HEC-HMS descritta in precedenza.

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

Nei casi di superamento del livello dell'acqua dei limiti arginali (laddove presenti) o topografici delle sezioni rilevate e utilizzate per le modellazioni monodimensionali, si sono svolte delle modellazioni bidimensionali sempre con HEC-RAS. Laddove i fenomeni esondativi hanno interessato aree non confinate, tali da non poter immagazzinare i volumi idrici provenienti dal corso d'acqua, sono state inserite delle *storage area* all'interno delle quali il problema del flusso è schematizzato come bidimensionale, in modo da simulare le dinamiche di allagamento di tali aree.

### 6.2 Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 5.0.7

Per ciascun corso d'acqua oggetto di studio è stato sviluppato anzitutto un modello idraulico monodimensionale con il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7 e per ciascun tempo di ritorno di interesse (30 e 200 anni) è stata effettuata una simulazione in moto vario.

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

Il codice HEC-RAS, al fine di seguire il calcolo, necessita, oltre della geometria dell'alveo tramite l'inserimento delle sezioni rilevate (*cross section*), di definire il valore del coefficiente di Manning.

Tabella 17. Formula di Gaukler-Strickler. Valori del coefficiente k.

Natura delle pareti		k
A. Tubazioni	in ottone liscio	77-111
	in acciaio, saldate	71-100
	in acciaio, chiodate	59-77
	in ghisa, rivestite	71-100
	in ghisa, non rivestite	63-91
	in ferro grezzo	67-83
	in ferro zincato	59-77
	in lucite	100-125
	in vetro	77-111
	in cemento liscio	77-100
	in malta di cemento	67-91
	in calcestruzzo finito	71-91
	in calcestruzzo non finito	63-83
	di fognatura vetrificate	59-91
	B. Canalizzazioni artificiali	in gunite, sezione regolare
in gunite, sezione irregolare		40-56
in calcestruzzo su scavi in roccia		45-59
in pietrisco cementato		33-59
in muratura a secco		29-43
in asfalto		63-77
con fondo ghiaioso e lati in calcestruzzo		40-59
C. Canalizzazioni in materiali naturali	in terra a tracciato regolare	33-63
	in terra sinuosi e lenti senza vegetazione	33-43
	in terra sinuosi e lenti con folta vegetazione	25-33
	in roccia a forma regolare	25-40
	in roccia a forma irregolare	20-29
D. Corsi d'acqua naturali	in terra non curate e con folta vegetazione	8-20
	piccoli corsi di pianura, puliti, dritti e senza ristagni d'acqua	30-40
	piccoli corsi di pianura puliti, sinuosi con stagni e secche	22-30
	tratti lenti con erbacce e stagni profondi	13-20
	tratti molto erbosi, stagni profondi, notevolmente ostacolati da alberi e macchie	7-13
	fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi, lati ripidi	20-33
E. Golene	fiumi di montagna con fondo in ciottoli e grossi massi, lati ripidi	14-25
	con erba	20-40
	aree coltivate	20-50
	con sottobosco	14-29
F. Grandi fiumi (larghezza in superficie maggiore di 30 m)	con molti alberi	8-13
	sezione regolare senza massi o vegetazione	17-40
	sezione irregolare	10-29

Figura 6-1 – definizione del valore del manning (si ricorda che per definizione è l'inverso del coefficiente di Gaukler-Strickler) – estratto di pag. H-28 - *Manuale dell'Ingegnere civile e ambientale* (Hoepli, 2015)

Per i dettagli relativi a ciascun corso d'acqua si rimanda agli allegati delle sezioni dei modelli, mentre, in generale, si sono assunti valori medi del *Manning*, desunti dal Manuale di Hec-Ras e dal *Manuale*

dell'Ingegnere civile e ambientale (Hoepli, 2015) pari a:

- $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco" nel caso di aree golenali in tratti non arginati, quali sono quelli oggetto di studio.
- $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  corrispondente a un valore intermedio per "fiumi di montagna con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi, lati ripidi" e "canali in terra sinuosi e lenti con folta vegetazione".
- $0.045 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  corrispondente a un valore intermedio per "canale artificiale in terra a sezione regolare, arbusti non tagliati e vegetazione arborea".
- $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco/ aree coltivate/con molti alberi per le aree modellate bidimensionalmente.

Si precisa tuttavia che la scelta dei valori del coefficiente di Manning sarà meglio chiarita nei paragrafi a seguire sulla base della documentazione fotografica acquisita.

Al fine di rendere eseguibili le simulazioni, occorre definire le *boundary conditions* a monte e a valle del tratto studiato nel caso di simulazioni in moto vario. Com'è noto tali condizioni possono essere impostate in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme o scala di deflusso. Nel caso in esame, quali condizioni al contorno di monte sono stati assunti gli idrogrammi di piena; per la condizione di valle, invece, è stata assegnata la normal depth calcolata come pendenza media del tratto finale del corso d'acqua oggetto di analisi.

### 6.3 Modellazioni idrauliche bidimensionali - HEC-RAS 5.0.7

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

Il codice di calcolo consente di risolvere il problema bidimensionale del moto sia risolvendo le equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda (scelte ai fini del presente studio) consentono al codice di funzionare più

velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità numerica. L'algoritmo di risoluzione è "*ai volumi finiti*" ed è "accoppiato" a quello di risoluzione del problema monodimensionale nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra le componenti monodimensionali e quelli bidimensionali. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso tra le sezioni del corso d'acqua modellato e la *2D-flow area*.

HEC-RAS 5.0.7 funziona per celle, che però possono essere sia strutturate che non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8). La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle (Figura 6-2). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 6-2, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la mesh si adatta al profilo dell'area.

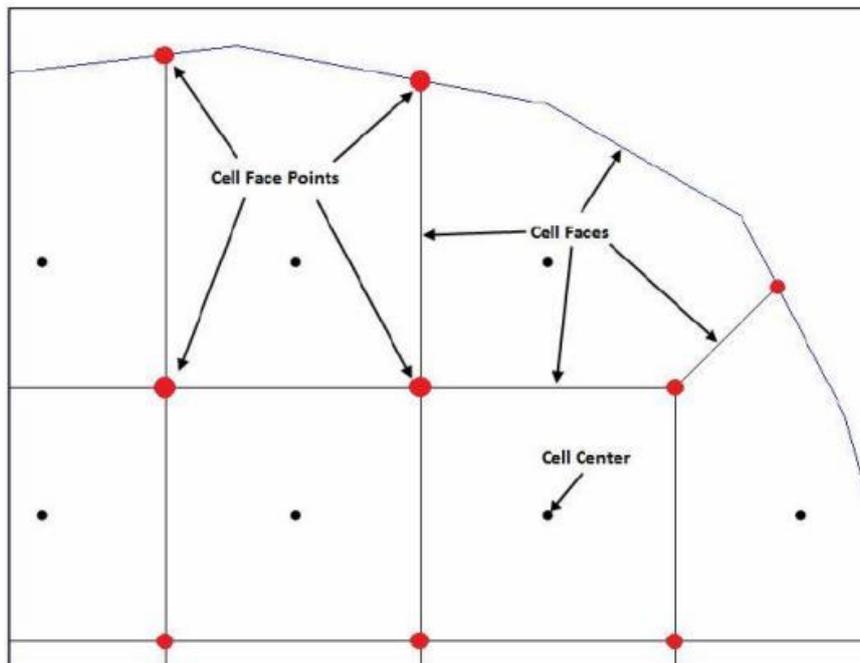


Figura 6-2 - Esempio mesh computazionale HEC-RAS 5.0.7

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

Il più grande vantaggio della modellazione bidimensionale in HEC-RAS riguarda comunque la dimensione della mesh computazionale. Ogni cella viene infatti pre-processata in modo da creare una serie di tabelle idrauliche, che mettono in relazione l'elevazione e il volume e, su ogni lato della cella,

l'elevazione con il perimetro bagnato, l'area e la scabrezza. Queste curve permettono di utilizzare celle di dimensioni più grandi rispetto ad altri programmi 2D, con evidente diminuzione dei tempi computazionali.

Ad ogni modo, in una simulazione di moto vario bidimensionale, il parametro più significativo da considerare è l'intervallo computazionale  $\Delta T$ , che deve essere scelto con accuratezza in modo da non influenzare negativamente l'esito delle analisi. Generalmente questo valore viene valutato basandosi sul criterio di Courant, esprimibile, nel caso di impiego del set di equazioni *diffusive wave*, nella maniera seguente:

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

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

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

#### 6.4 Strategia di modellazione – scelta degli scenari di progetto

Lo studio idrologico riportato nel precedente paragrafo ha permesso di determinare l'idrogramma di piena per diverse durate di pioggia analizzate; ciò con lo scopo di individuare per ciascuno dei bacini oggetto di studio la durata critica (cioè quella corrispondente al picco di portata). Laddove si è resa necessaria la modellazione di un sistema di corsi d'acqua (es. modello Sant'Angelo Scalo, modello T. Asso a Torrenieri, etc.) le simulazioni sono state condotte rispetto a tutte le durate critiche di interesse ed effettuato l'involuppo dei risultati.

I modelli eseguiti con HEC-RAS 5.0.7 sono riportati in Tabella 6-1, dove ognuno dei bacini e degli input idrologici calcolati nel precedente paragrafo sono associati a ciascuno dei modelli idraulici sviluppati e di seguito descritti.

Infine, si riporta la Tabella 6-2 nella quale sono individuate gli input idrologici associati agli scenari di progetto oggetto di simulazione.

Modelli (denominazione)	Aste fluviali oggetto di modellazione	Bacini associati
Montisi	TS17711	B10 – bacino singolo
Asso monte	Asso (monte)	B11 e B12 (Fosso Mobbiano – affluente del T. Asso a valle di San Giovanni d’Asso)
Asso	Asso (all’altezza di Torrenieri), Riguzzo	Bo7 (interbacino), Bo8, Bo9
Orcia intermedio	Fiume Orcia all’altezza di Monte Amiata	Bo6
Sant’Angelo Scalo	Fiume Orcia a Sant’Angelo Scalo, T. Spagnola, TS78736, TS35134	Bo1, Bo2, Bo3, Bo4, Bo5

**Tabella 6-1** – quadro esplicativo delle aste oggetto di modellazione idraulica associate ai modelli idraulici sviluppati con HEC-RAS

Bacino	Ietogramma/note	Durata critica	Modello idraulico associato	Scenari di progetto
Bo1 – Orcia intermedio	Costante/ a e n per singolo bacino	(*)	Sant’Angelo Scalo	0.5h, 1h, 2h, 3h, 9h, 12h, 15h, 18h
Bo2 – Spagnola	Costante/ a e n per singolo bacino	2h		
Bo3 – TS78736	Triangolare con $kr=1$ /a e n per singolo bacino	1h		
Bo4 – TS35134	Triangolare con $kr=1$ /a e n per singolo bacino	0.5h		
Bo5 – Orcia	Costante/ a e n per singolo bacino	9h		
Bo6 – Orcia intermedio	Costante/ a e n per singolo bacino	9h	Orcia intermedio	9h, 12h, 15h
Bo7 – Asso interbacino	Costante/ a e n per bacino globale per lunghe durate e singolo bacino per brevi durate	(*)	Asso	2h, 3h, 9h, 12h, 15h

Bo8 - Riguzzo	Costante/ a e n per bacino globale per lunghe durate e singolo bacino per brevi durate	2h		
Bo9 - Asso	Costante/ a e n per bacino globale per lunghe durate e singolo bacino per brevi durate	9h		
B10 - TS17711	Triangolare con $kr=1$ /a e n per singolo bacino	1h	Montisi	
B11 - Asso (monte)	Costante/ a e n per bacino globale	6h	Asso monte	4h, 6h, 7h, 9h
B12 - Fosso Mobbiano	Costante/ a e n per bacino globale	4h		

(\*) interbacini

**Tabella 6-2** – individuazione degli scenari di progetto

## 7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE

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

- Descrizione generale dell'area e dei tratti del corso d'acqua oggetto di studio;
- Definizione dei coefficienti di scabrezza sulla base della documentazione fotografica
- Tipo di modellazione effettuata (mono-dimensionale in moto vario oppure mono-dimensionale in moto vario con sfioratori laterali e settori di allagamento con HEC-RAS 5.0.7.).
- Descrizione delle condizioni al contorno imposte e peculiarità del modello.
- Descrizione sintetica dei risultati più significativi

Al fine di rendere meglio leggibili i modelli idrauliche e le schematizzazioni assunte sono redatte le seguenti tavole di supporto al presente studio:

- IDR\_o2a\_Schema dei modelli idraulici con input\_Montisi
- IDR\_o2b\_Schema dei modelli idraulici con input\_AsoMonte
- IDR\_o2c\_Schema dei modelli idraulici con input\_Tasso
- IDR\_o2d\_Schema dei modelli idraulici con input\_Orcia intermedio
- IDR\_o2e\_Schema dei modelli idraulici con input\_Cinigiano

Come detto in premessa, le aste oggetto di studio della modellazione idraulica sono state scelte in base all'individuazione del territorio urbanizzato.

I risultati delle modellazioni idrauliche eseguite in termini di pericolosità idraulica, battenti, velocità e magnitudo sono riportati in tavole allegate alla presente relazione in scala 1:5.000. Nella tavola dei battenti sono riportati i sormonti sulla viabilità e sugli attraversamenti dei corsi d'acqua.

## 7.1 Modello "Montisi"

### *Descrizione generale*

Il modello comprende il Torrente TS17711, affluente del Borro di Pergomeno. Il tratto fluviale del TS17711 oggetto della modellazione comprende 19 sezioni tra quelle rilevate dagli scriventi e quelle estratte da Lidar (si veda Figura 7-1 a seguire).

Il corso d'acqua attraversa un'area destinata prevalentemente ad uso agricolo, la sua modellazione è dovuta alla presenza di una zona urbana nel tratto di monte del corso d'acqua.

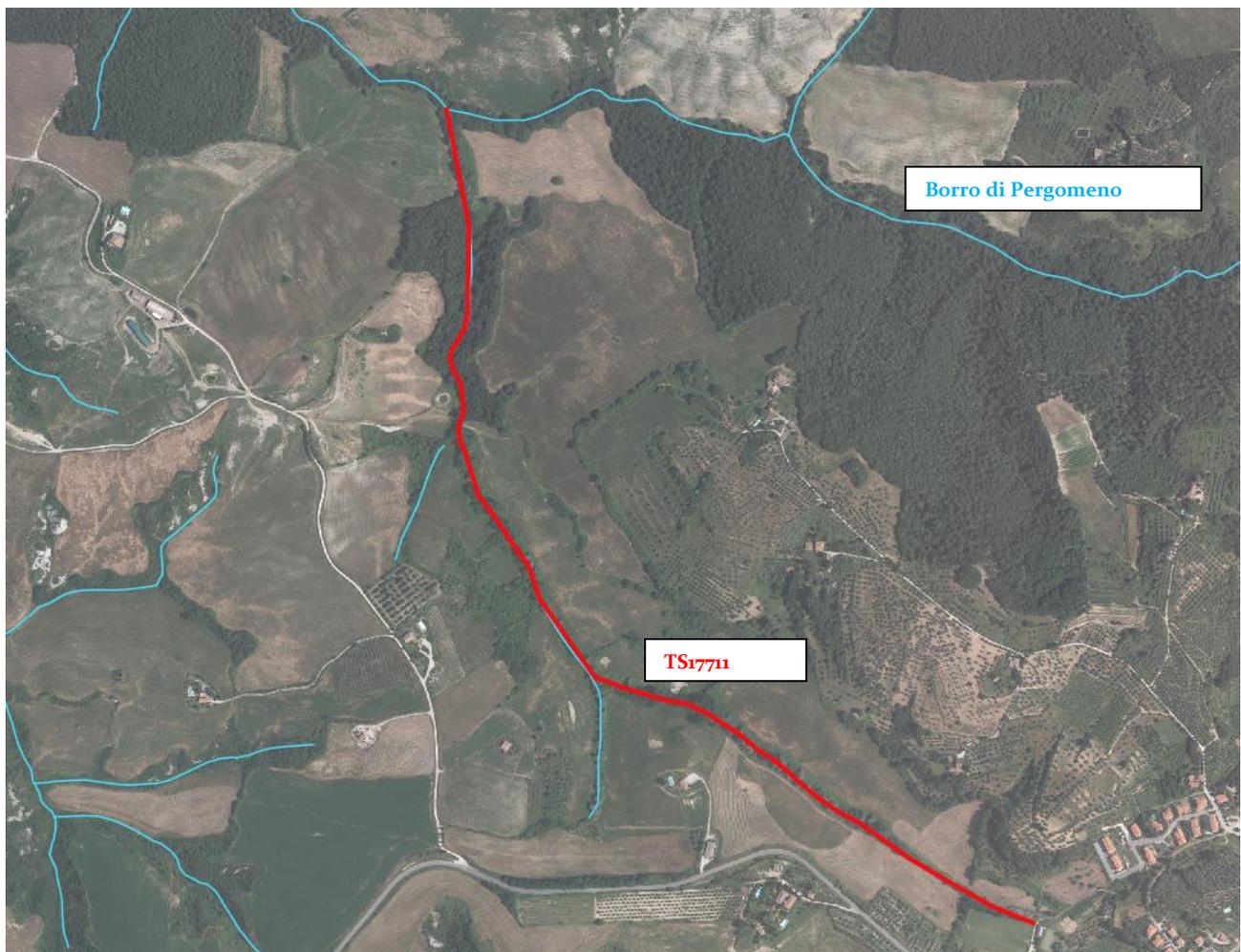


Figura 7-1 - Inquadramento del TS17711

*Scelta del coefficiente di Manning*

Il coefficiente di Manning della modellazione idraulica è individuato attraverso sopralluoghi condotti dagli scriventi al momento del rilievo e della redazione dello studio idrologico-idraulico.

Per il caso in esame sono stati utilizzati i seguenti valori del coefficiente di Manning.

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco/golena con molti alberi	Piccoli corsi d'acqua	Golena con sottobosco/golena con molti alberi
0.08 m <sup>-1/3</sup> /s	0.042 m <sup>-1/3</sup> /s	0.08 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-1** – coefficienti scabrezza assunti per il Torrente TS17711



**Figura 7-2** – a sinistra, il tratto del Torrente TS 17711 nella parte di monte in prossimità dell'abitato; a destra, il Torrente TS 17711 nella parte di valle (nascosto dalla vegetazione)



**Figura 7-3** – a sinistra, il tratto del Torrente TS 17711 nella parte di monte in prossimità dell’abitato – alveo attivo; a destra, il Torrente TS 17711 nella parte di valle (nascosto dalla vegetazione), dal quale risulta un alveo attivo fondamentale pulito e appena inerbito

In generale, come si vede dalle fotografie di Figura 7-2, le aree golenali sono caratterizzate nel tratto più a monte e vicino l’abitato abbastanza pulite e poco vegetate (probabilmente per lo svolgimento della attività agricole), mentre nel tratto più a valle (che è la parte più lunga del corso d’acqua oggetto di modellazione idraulica) è presente una folta e sviluppata vegetazione ripariale. Per tale motivo, si è scelta di considerare per le golene il valore del Manning di  $0.08 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  che nel rispetto della precedente Figura 6-1 è ricondotto al caso di “golena con sottobosco”.

In Figura 7-3 è meglio rappresentato lo stato dell’alveo attivo, che anche nelle aree a più folta vegetazione ripariale risulta comunque assimilabile al caso di piccoli corsi d’acqua con uno sviluppo vegetativo intermedio.

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui l'asta fluviale del TS17711 è modellata come elemento river monodimensionale definito per mezzo di 19 cross sections. Il corso d'acqua è stato modellato in 1D per tutta la sua lunghezza.

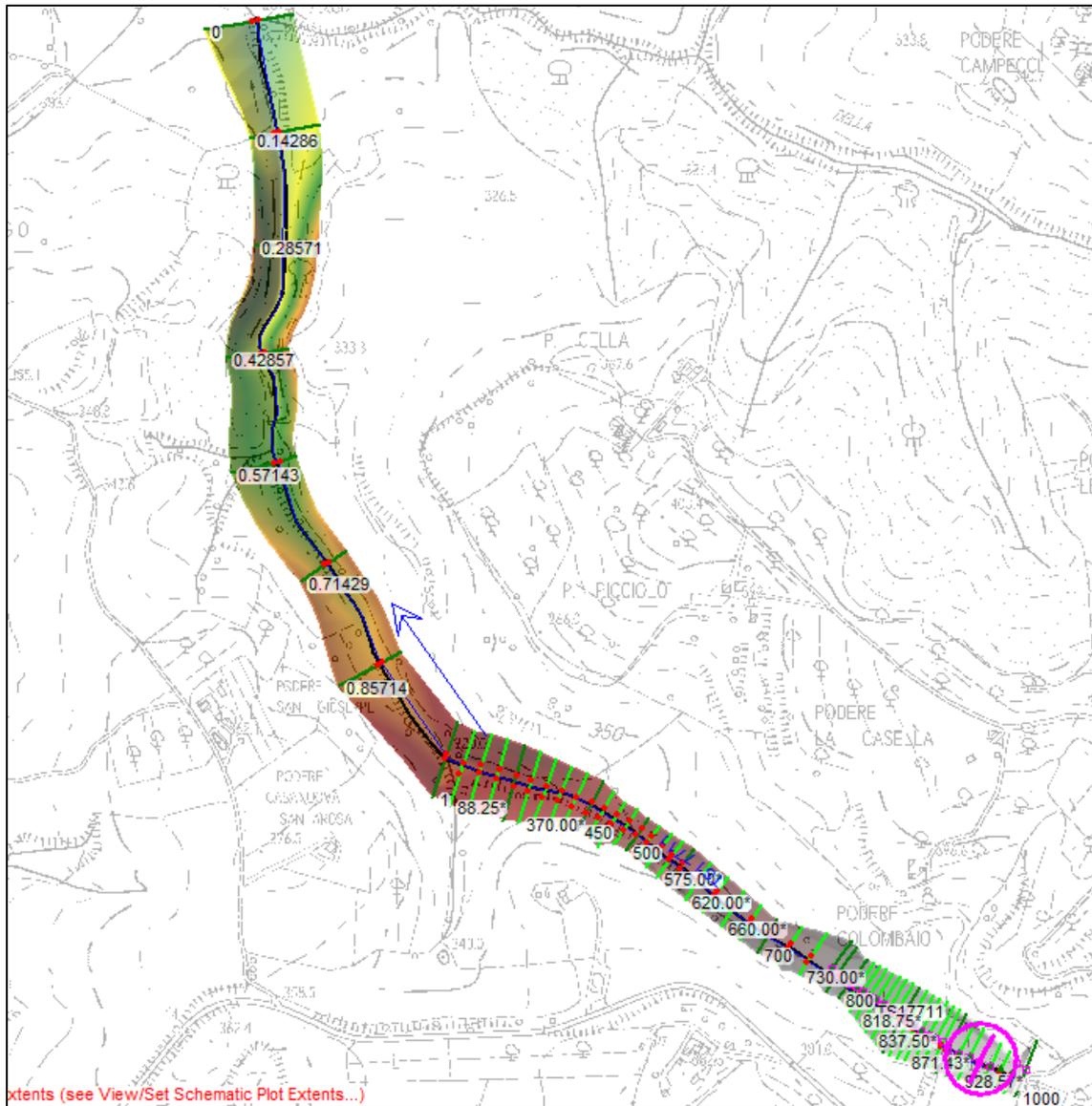


Figura 7-4 - Modello idraulico del TS17711

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *normal depth*. Si rimanda alla tavola *IDR\_02a\_Schema dei modelli idraulici con input\_Montisi* per il dettaglio della modellazione idraulica.

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

1D Unsteady Flow Options

Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0):

Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0):

Water surface calculation tolerance [max=0.06](m):

Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m):

Flow calculation tolerance [optional] (m3/s):

Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m):

Maximum number of iterations (0-40):

Maximum iterations without improvement (0-40):

1D/2D Unsteady Flow Options

Number of warm up time steps (0 - 100,000):

Time step during warm up period (hrs):

Minimum time step for time slicing (hrs):

Maximum number of time slices:

Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0):

Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0):

Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0):

Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0):

DSS Messaging Level (1 to 10, Default = 4)

Geometry Preprocessor Options

Family of Rating Curves for Internal Boundaries

Use existing internal boundary tables when possible.

Recompute at all internal boundaries

1D Numerical Solution

Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)

Finite Difference Matrix Solver

Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)

Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)

Finite Volume (new approach)

Number of cores to use with Pardiso solver:

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Use Coriolis Effects (only when using the momentum equation)

Number of cores to use in 2D computations:

	Parameter	(Default)
1	Theta (0.6-1.0):	1
2	Theta Warmup (0.6-1.0):	1
3	Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003
4	Volume Tolerance (m)	0.003
5	Maximum Iterations	20
6	Equation Set	Diffusion Wave
7	Initial Conditions Time (hrs)	
8	Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1
9	Number of Time Slices (Integer Value)	1
10	Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient	
11	Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>
12	Latitude for Coriolis (-90 to 90)	

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Maximum iterations between 1D and 2D (0=off, 1 to 20):

Water surface tolerance (m):

Flow Tolerance (%):

Minimum flow tolerance (m3/s):

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Fixed Time Step (Basic method)

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Mixed Flow Regime (see menu: "Options/Mixed Flow Options ...")

Exponent for Froude number reduction factor  $m$  ( $m > 0$ ):

Froude number threshold for eliminating acceleration terms:

Figura 7-5 Impostazioni di calcolo modello Hec Ras 5.0.7

Sintesi dei risultati

Come si vede da Figura 7-6, l'area è soggetta ad allagamenti di entità ridotte, specialmente in zone destinate ad uso agricolo; anche nella parte di monte, dove invece sono presenti delle zone con insediamenti urbani non si hanno aree a criticità idraulica. D'altro canto, come si vede dalla morfologia, l'alveo del Fosso d'acqua è inciso e l'assetto a vallecchia dell'area evita l'esonazione del corso d'acqua nelle arre contermini.

L'asta modellata non comprende ponti e/o attraversamenti e le aree a pericolosità idraulica non interessano la viabilità circostante.

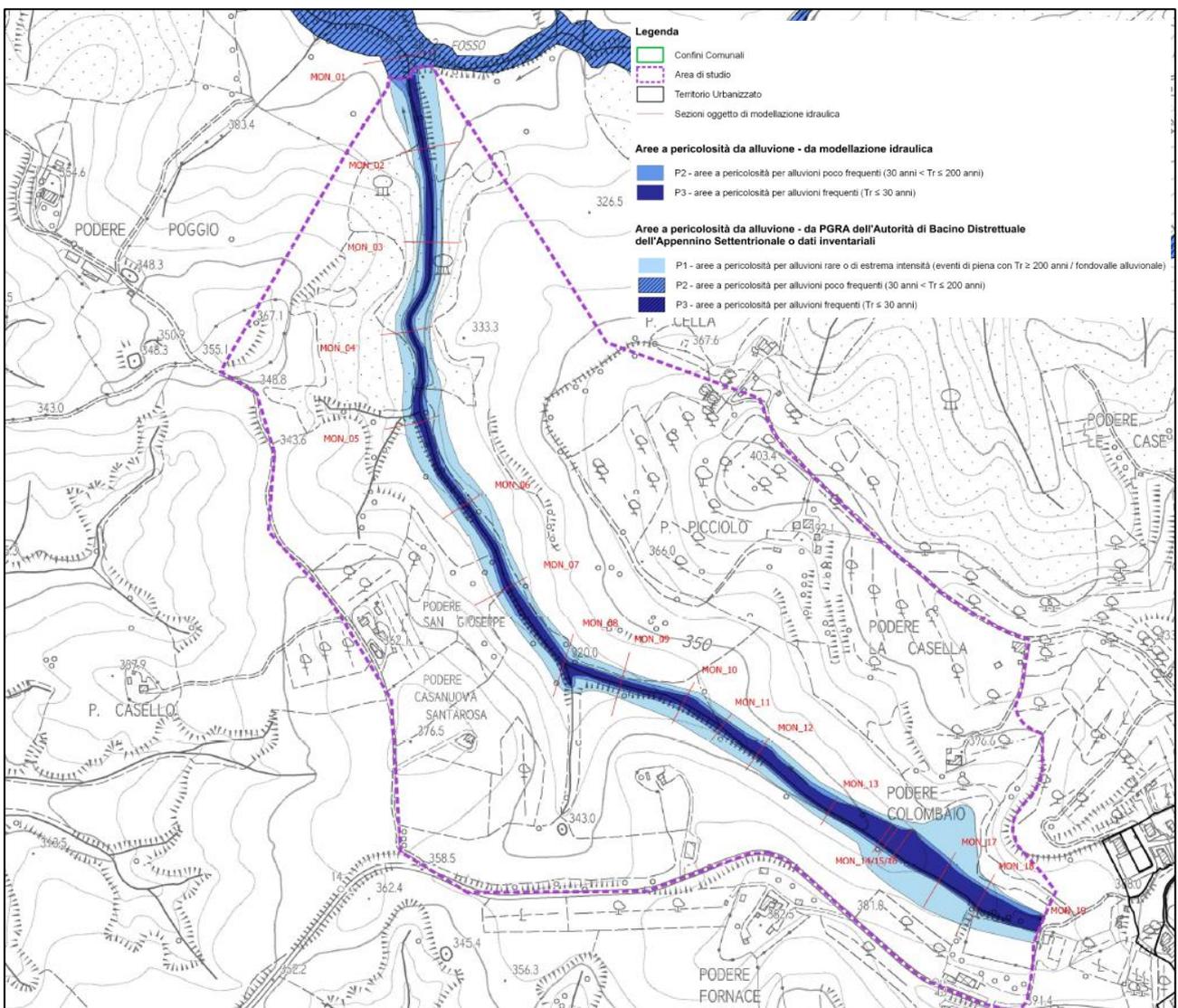


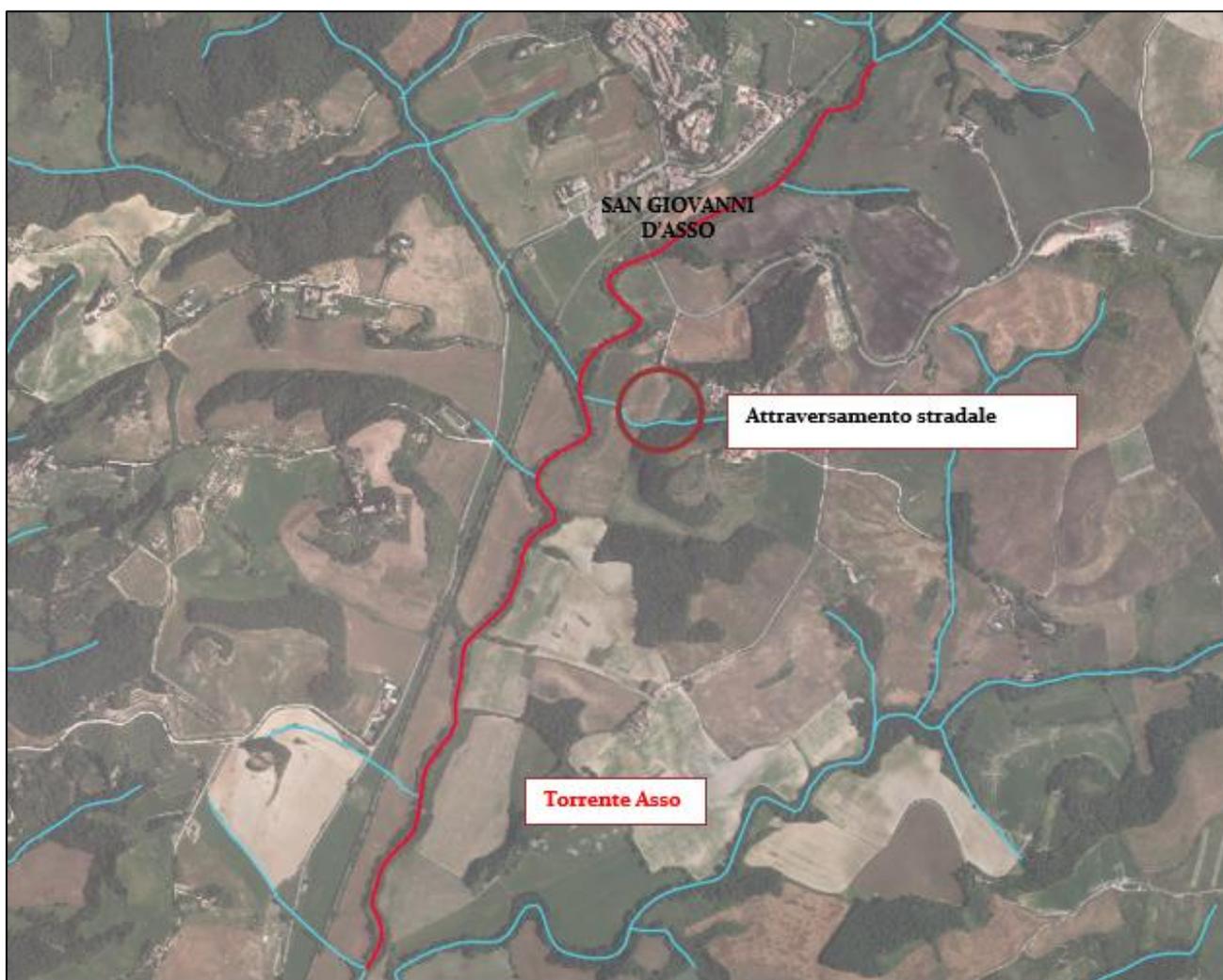
Figura 7-6 – Risultati della modellazione idraulica del T. Montisi

## 7.2 Modello "ASSO monte"

### Descrizione generale

Il modello prende in esame il torrente Asso all'altezza di San Giovanni d'Asso, per un tratto di 3300 metri dalla confluenza col Borro Rigo alla confluenza del Torrente Trove. Il tratto fluviale dell'Asso comprende 36 sezioni estratte dal Lidar della Regione Toscana (si veda Figura 7-7).

Il corso d'acqua nel tratto considerato scorre ai piedi di San Giovanni d'Asso del comune di Montalcino, che quindi ne risulta in destra idraulica. È presente un solo attraversamento stradale in corrispondenza della SP14, di cui, in seguito, se ne riporta documentazione fotografica (vedi Figura 7-8).



**Figura 7-7** – Inquadramento del Torrente Asso all'altezza di San Giovanni d'Asso



Figura 7-8 – Vista del ponte sulla SP14

Scelta del coefficiente di Manning

Il coefficiente di Manning della modellazione idraulica è individuato attraverso sopralluoghi condotti dagli scriventi al momento del rilievo e della redazione dello studio idrologico-idraulico.

Per il caso in esame sono stati utilizzati i seguenti valori del coefficiente di Manning.

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	Fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi	Golena con sottobosco
0.07 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.07 m <sup>-1/3</sup> /s

Tabella 7-2 – coefficienti scabrezza assunti per il Torrente Asso - monte

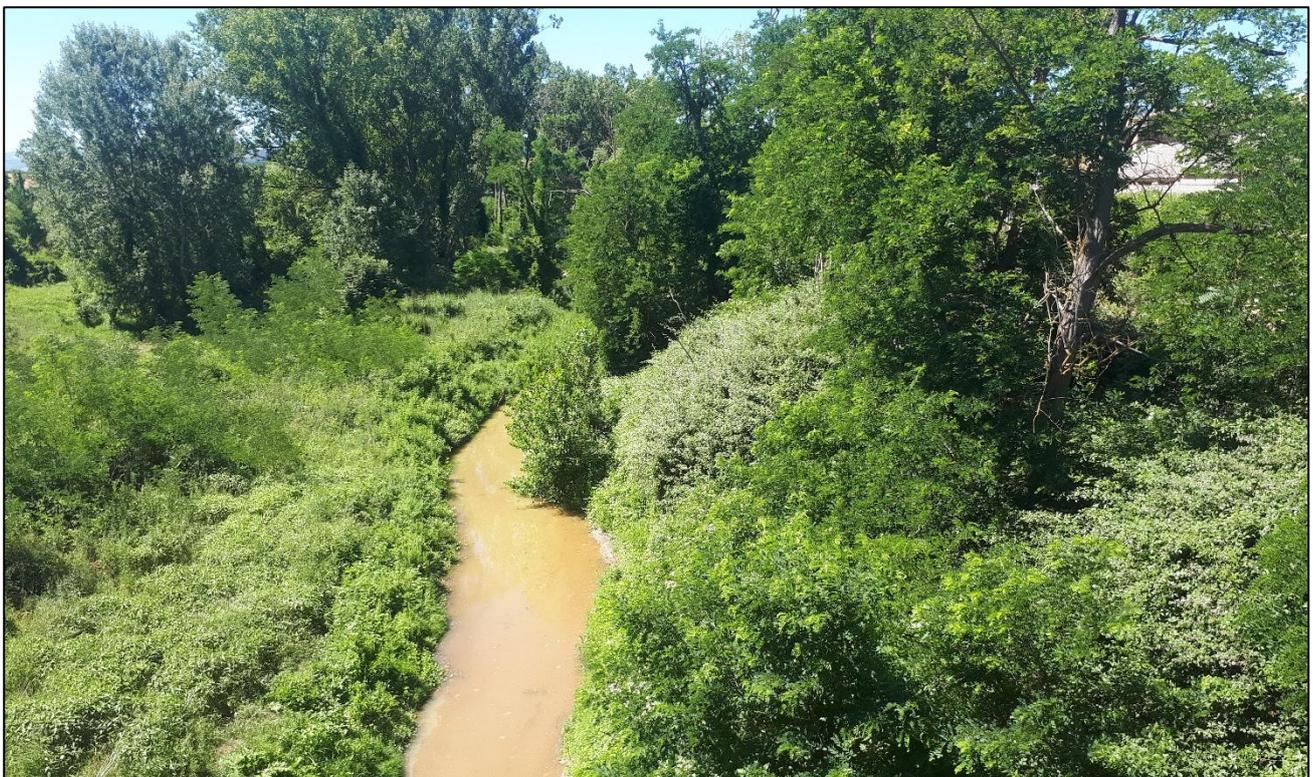


Figura 7-9 – sopra, vista dell'area golenale in prossimità del corso d'acqua; sotto, l'alveo attivo

In generale, come si vede dalle fotografie di Figura 7-9 (sopra), le aree golenali sono caratterizzate da una sviluppata vegetazione ripariale, si è quindi scelto di considerare il valore del Manning di  $0.07 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  che nel rispetto della precedente Figura 6-1 è ricondotto al caso di “golena con sottobosco”.

Sempre nella precedente immagine (sotto) è meglio rappresentato lo stato dell’alveo attivo, che anche nelle aree a più folta vegetazione ripariale risulta comunque assimilabile al caso di fiumi e torrenti con fondo piuttosto scabro.

### Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui l’asta fluviale del TS<sub>17711</sub> è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di 19 *cross sections*. Il corso d’acqua è stato modellato in 1D per tutta la sua lunghezza.

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *normal depth*. Si rimanda alla tavola *IDR\_o2b\_Schema dei modelli idraulici con input\_Tasso monte* per il dettaglio della modellazione idraulica

### Sintesi dei risultati

Nel tratto considerato, il T. Asso è fortemente inciso (vedi Figura 7-27), dal quale si vede che l’abitato di San Giovanni d’Asso è posto ad una quota di circa 14/15 metri rispetto superiore al fondo alveo. Dall’analisi di Figura 7-29 risulta che non sono presenti sia nelle zone con insediamenti urbani che nelle zone di valle a carattere agricolo significative criticità idraulica.

Le esondazioni del T. Asso nella parte di valle interessano solo le porzioni golenali nei punti in cui il corso d’acqua assume carattere meandriforme, naturalmente predisposte all’allagamento in condizione di eventi eccezionali.

L’asta modellata comprende il ponte sulla SP<sub>14</sub> la cui luce risulta sufficiente al transito della piena per Tr 200 anni con ampi franchi di sicurezza (superiori a 1.0 mt – vedi Figura 7-32).

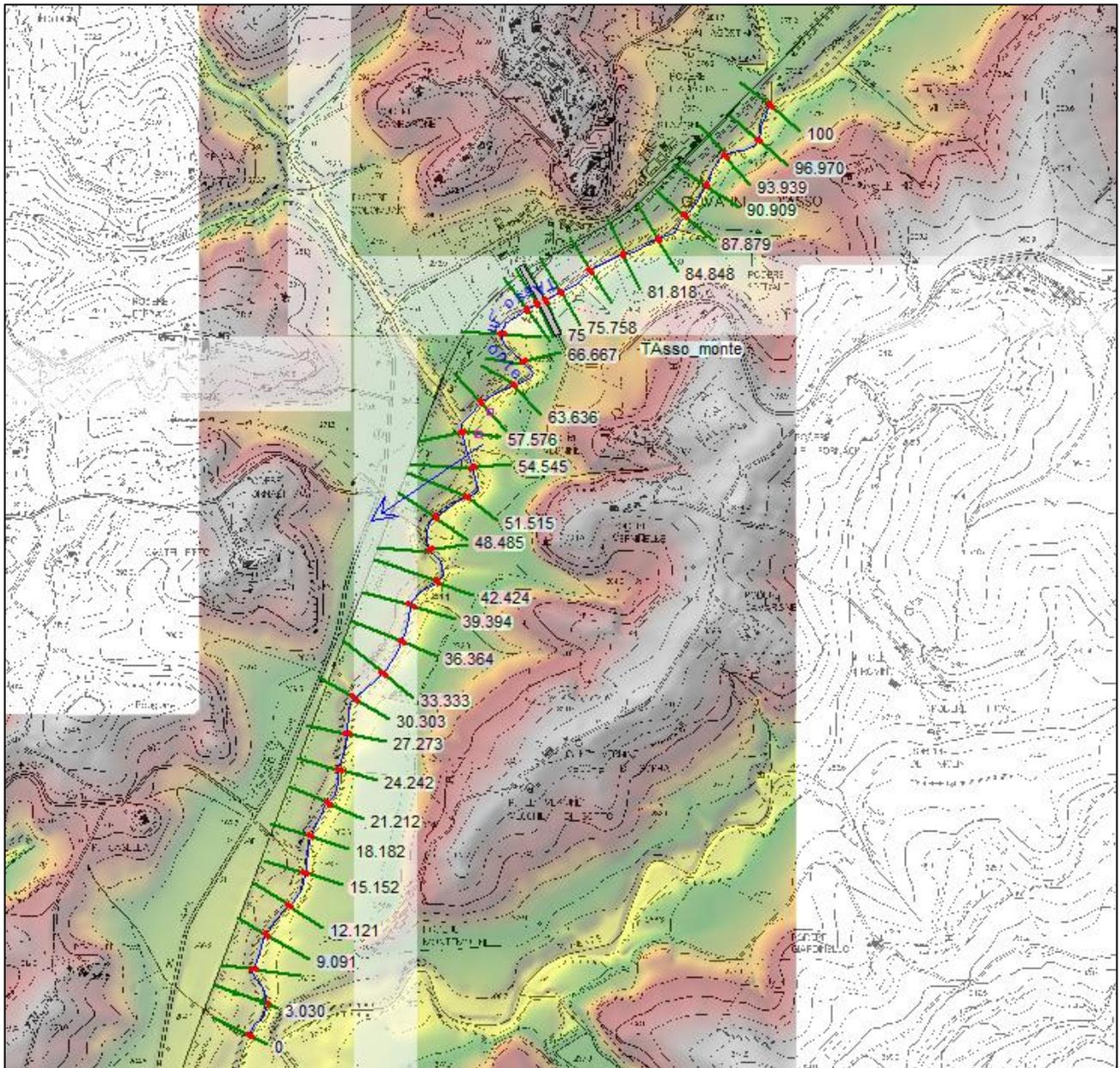


Figura 7-10 - Modello idraulico del Torrente Asso nella parte di monte

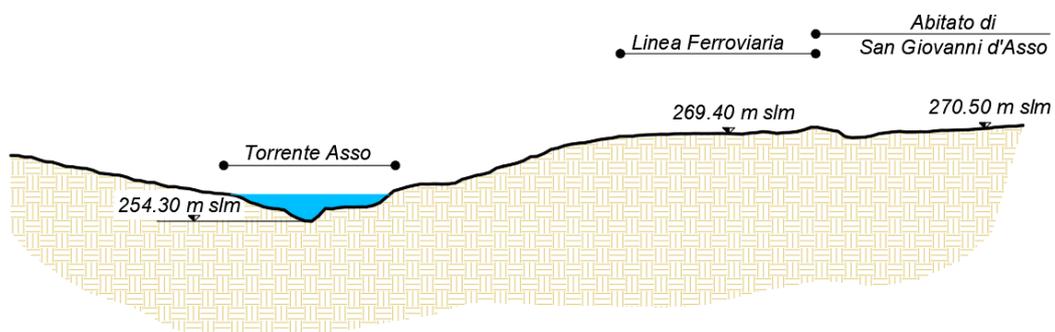


Figura 7-11 - Schema tipologico del T. Asso poco a valle dell'attraversamento sulla SP14

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

1D Unsteady Flow Options

Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0): 1.

Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0): 1.

Water surface calculation tolerance [max=0.06](m): 0.006

Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m): 0.006

Flow calculation tolerance [optional] (m<sup>3</sup>/s):

Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m): 30.

Maximum number of iterations (0-40): 20

Maximum iterations without improvement (0-40):

1D/2D Unsteady Flow Options

Number of warm up time steps (0 - 100,000): 0

Time step during warm up period (hrs): 0

Minimum time step for time slicing (hrs): 0

Maximum number of time slices: 20

Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0): 2.

Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0): 1.

Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0): 1.

Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0): 1.

DSS Messaging Level (1 to 10, Default = 4): 4

Geometry Preprocessor Options

Family of Rating Curves for Internal Boundaries

Use existing internal boundary tables when possible.

Recompute at all internal boundaries

1D Numerical Solution

Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)

Finite Difference Matrix Solver

Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)

Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)

Finite Volume (new approach)

Number of cores to use with Pardiso solver: All Available

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Use Coriolis Effects (only when using the momentum equation)

Number of cores to use in 2D computations: All Available

Parameter	(Default)
1 Theta (0.6-1.0):	1
2 Theta Warmup (0.6-1.0):	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003
5 Maximum Iterations	20
6 Equation Set	Diffusion Wave
7 Initial Conditions Time (hrs)	
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1
10 Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient	
11 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>
12 Latitude for Coriolis (-90 to 90)	

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
Maximum iterations between 1D and 2D (0=off, 1 to 20): <input type="text" value="0"/> Water surface tolerance (m): <input type="text" value="0.003"/> Flow Tolerance (%): <input type="text" value="0.1"/> Minimum flow tolerance (m3/s): <input type="text" value="0.03"/>				

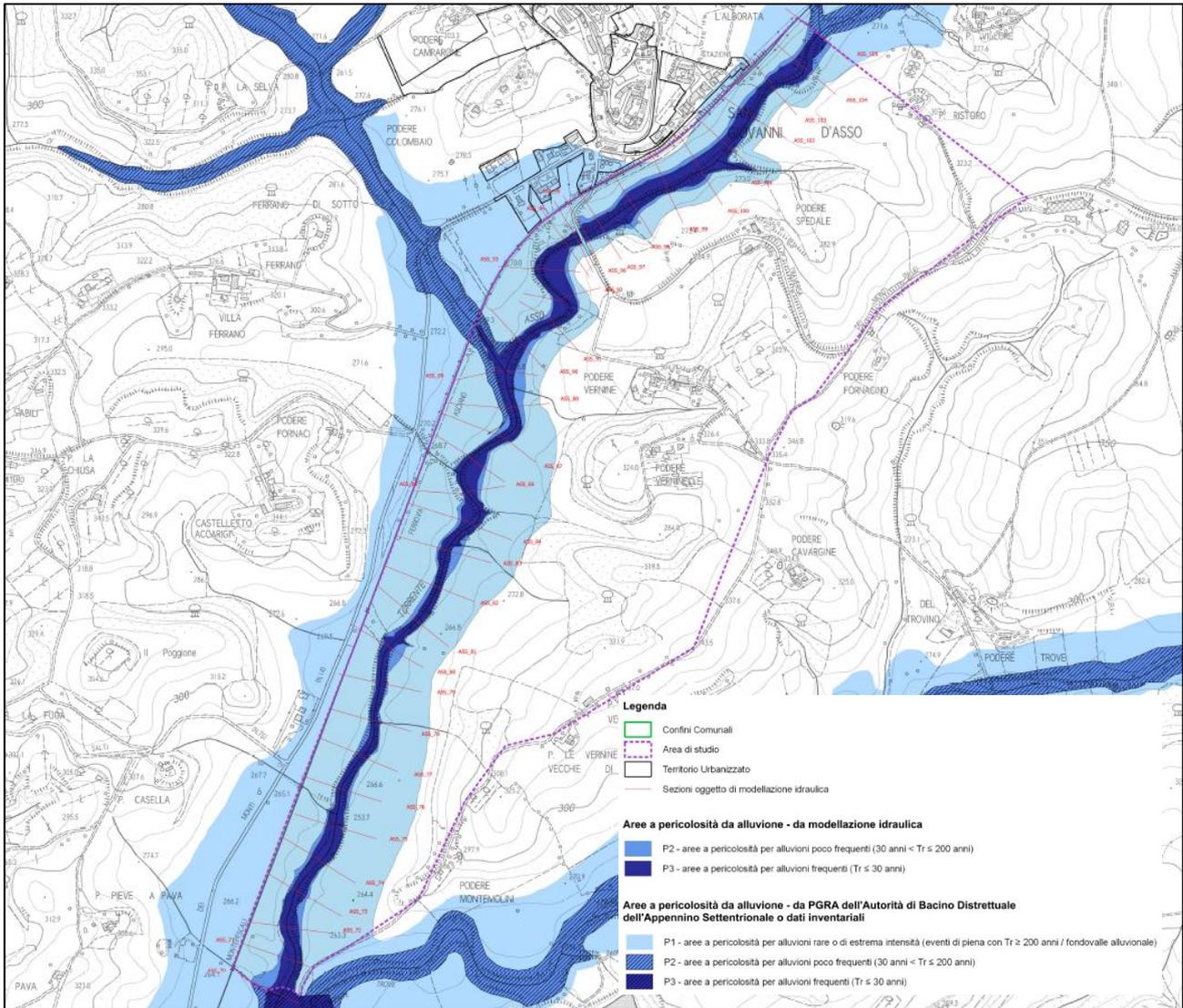
  

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
<input checked="" type="radio"/> Fixed Time Step (Basic method) <input type="text" value="5 Second"/>				

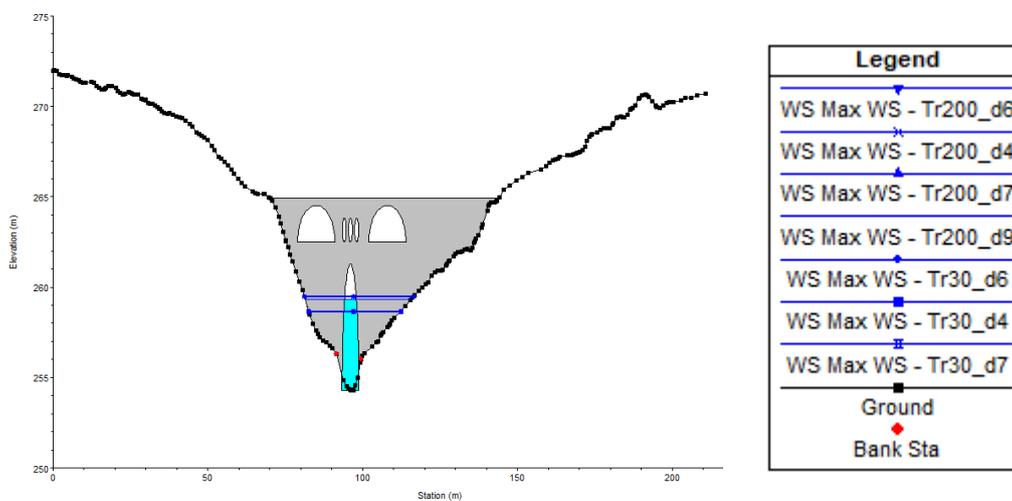
  

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
<input checked="" type="checkbox"/> Mixed Flow Regime (see menu: "Options/Mixed Flow Options ...") Exponent for Froude number reduction factor m (m>0): <input type="text" value="4"/> Froude number threshold for eliminating acceleration terms: <input type="text" value="0.8"/>				

**Figura 7-12** Impostazioni di calcolo modello Hec Ras 5.0.7



**Figura 7-13** – Pericolosità idraulica da modello del Torrente Asso all'altezza di San Giovanni d'Asso



**Figura 7-14** – risultati dell'attraversamento sulla SP14

### 7.3 Modello "ASSO"

#### *Descrizione generale*

Il modello prende in esame il torrente Asso, per un tratto di 5914 metri posto a circa 285 metri dalla confluenza con il Torrente Tuoma, e il fosso Riguzzo, per un tratto di 1847 metri. Il tratto fluviale dell'Asso comprende 5 sezioni rilevate e quello del Riguzzo 4, oltre a molte sezioni estratte direttamente da Lidar (si veda Figura 7-15 a seguire).

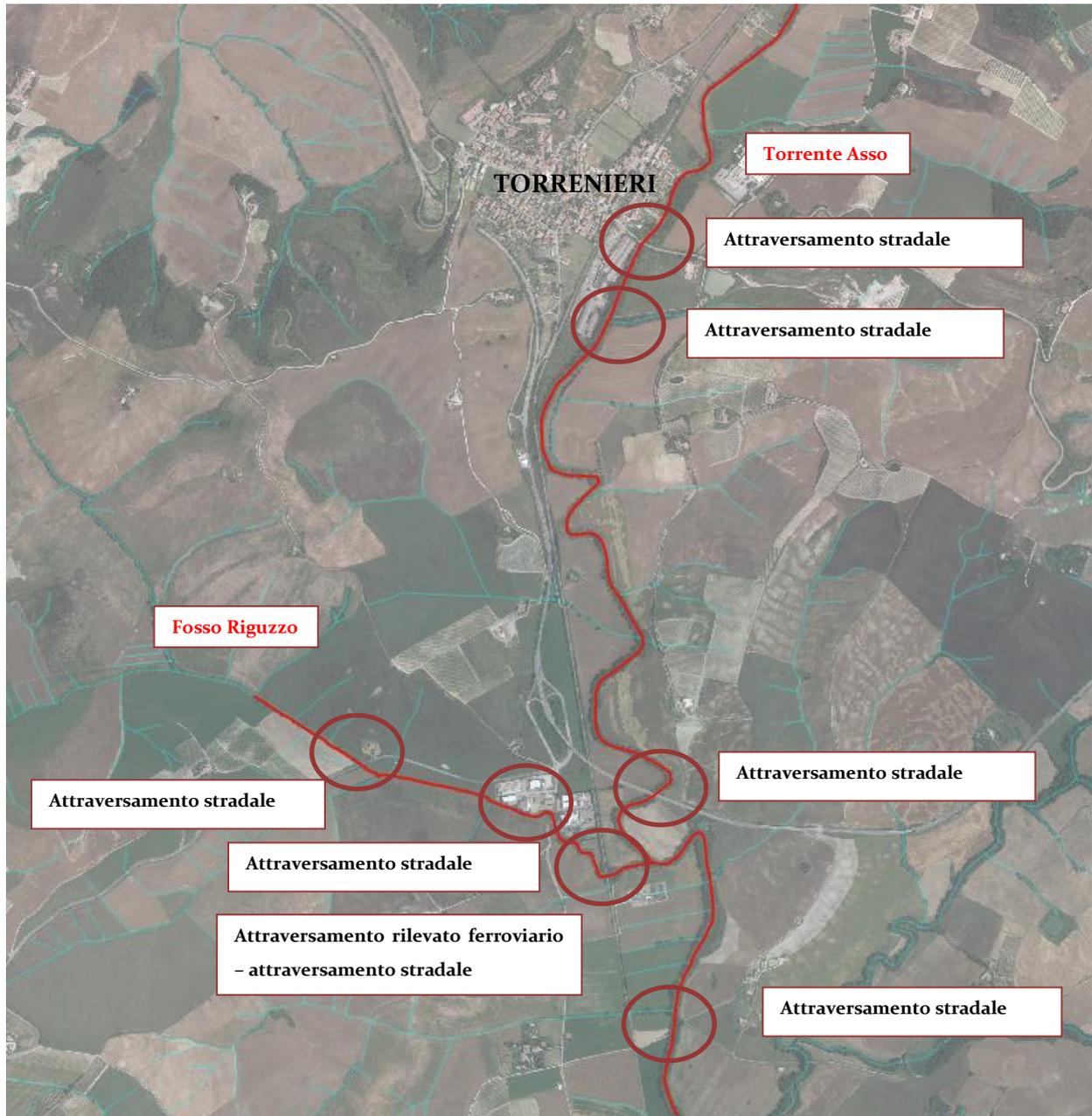


Figura 7-15 - Inquadramento del Torrente Asso e del Fosso Riguzzo



**Figura 7-16** – Attraversamenti sul del Torrente Asso

Il corso d'acqua del T. Asso scorre lungo la frazione Torrenieri del comune di Montalcino, che quindi ne risulta in destra idraulica. Sono presenti 3 attraversamenti stradali, di cui, in seguito, se ne riporta in Figura 7-16 la documentazione fotografica ottenuta durante apposita campagna di rilievo.

Il corso d'acqua del F. Riguzzo in prossimità della confluenza con il T. Asso costeggia in sinistra idraulica una zona adibita ad uso industriale. Sono presenti 4 attraversamenti, di cui 1 ferroviario (Figura 7-17).



Figura 7-17 – Attraversamenti sul del Fosso Riguzzo

Scelta del coefficiente di Manning

Il coefficiente di Manning della modellazione idraulica è individuato attraverso sopralluoghi condotti dagli scriventi al momento del rilievo e della redazione dello studio idrologico-idraulico.

Per il caso in esame sono stati utilizzati i seguenti valori del coefficiente di Manning per i due corsi d’acqua studiati.

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	Fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

Tabella 7-3 – coefficienti scabrezza assunti per il Torrente Asso – all’altezza di Torrenieri

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	Fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-4** – coefficienti scabrezza assunti per il Torrente Riguzzo

In generale, come si vede dalle fotografie di Figura 7-19 e Figura 7-18, le aree golenali del T. Asso e del Fosso Riguzzo sono caratterizzate da una sviluppata vegetazione ripariale; si è quindi scelto di considerare il valore del Manning di 0.06 m<sup>-1/3</sup>/s che nel rispetto della precedente Figura 6-1 è ricondotto al caso di “golena con sottobosco”.

Diversamente, in relazione all'alveo attivo, questo assimilabile al caso di fiumi e torrenti con fondo piuttosto scabro.



**Figura 7-18** –foto del Fosso Riguzzo: a sinistra, una foto scattata da V. Francigena; a destra, una foto scattata dall'attraversamento della SP14



**Figura 7-19** –foto del Torrente Asso: sopra, una foto scattata dal ponte all’ingresso di Torrenieri; sotto, una foto scattata nelle aree più a valle in prossimità della confluenza col Riguzzo

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui le aste fluviali sono modellate come elemento *river* monodimensionale, definito per mezzo di *cross sections* e cinque *2D-flow area*, 3 in destra idraulica per il T. Asso, due di queste collegate una in sinistra ed una in destra anche al F. Riguzzo, le altre 2 in sinistra idraulica per il T. Asso.

Il tratto iniziale del T. Asso e la parte di monte in sinistra idraulica del F. Riguzzo sono stati modellati in 1D, per le restanti parti si è utilizzata la modellazione 1D solo per il *main channel*, mentre le aree golenali e di espansione naturale del corso d'acqua sono state appunto modellate con gli elementi *2D-flow area*.

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *normal depth*. Si rimanda alla tavola *IDR\_02c\_Schema dei modelli idraulici con input\_Tasso* per il dettaglio della modellazione idraulica

Sintesi dei risultati

Le aree contermini ai due corsi d'acqua risultato soggette ad allagamenti sia per il Tr<sub>30</sub> che per il Tr<sub>200</sub>, le zone interessate sono in prevalenza rurali, infatti in prossimità delle zone urbanizzate non si hanno situazioni di elevata criticità.

Il T. Asso presenta degli allagamenti già nel tratto di monte, sia in destra che in sinistra idraulica (Figura 7-22) La località Torrenieri non presenta criticità né per eventi con Tr<sub>30</sub> né per Tr<sub>200</sub>, in quanto quest'ultimo si trova in posizione di alto morfologico rispetto all'Asso; gli allagamenti sono contenuti per la maggior parte nelle aree golenali del corso d'acqua in cui sono presenti esclusivamente aree agricole.

Il primo attraversamento stradale non viene superato ma genera una piccola area di allagamento in destra idraulica, dovuta ad un abbassamento della quota del terreno (Figura 7-23).

Proseguendo verso valle si hanno degli allagamenti in zone rurali adiacenti all'alveo, il ponte sulla strada SR<sub>2</sub> non viene superato, si ha il superamento dell'ultimo attraversamento del T. Asso.

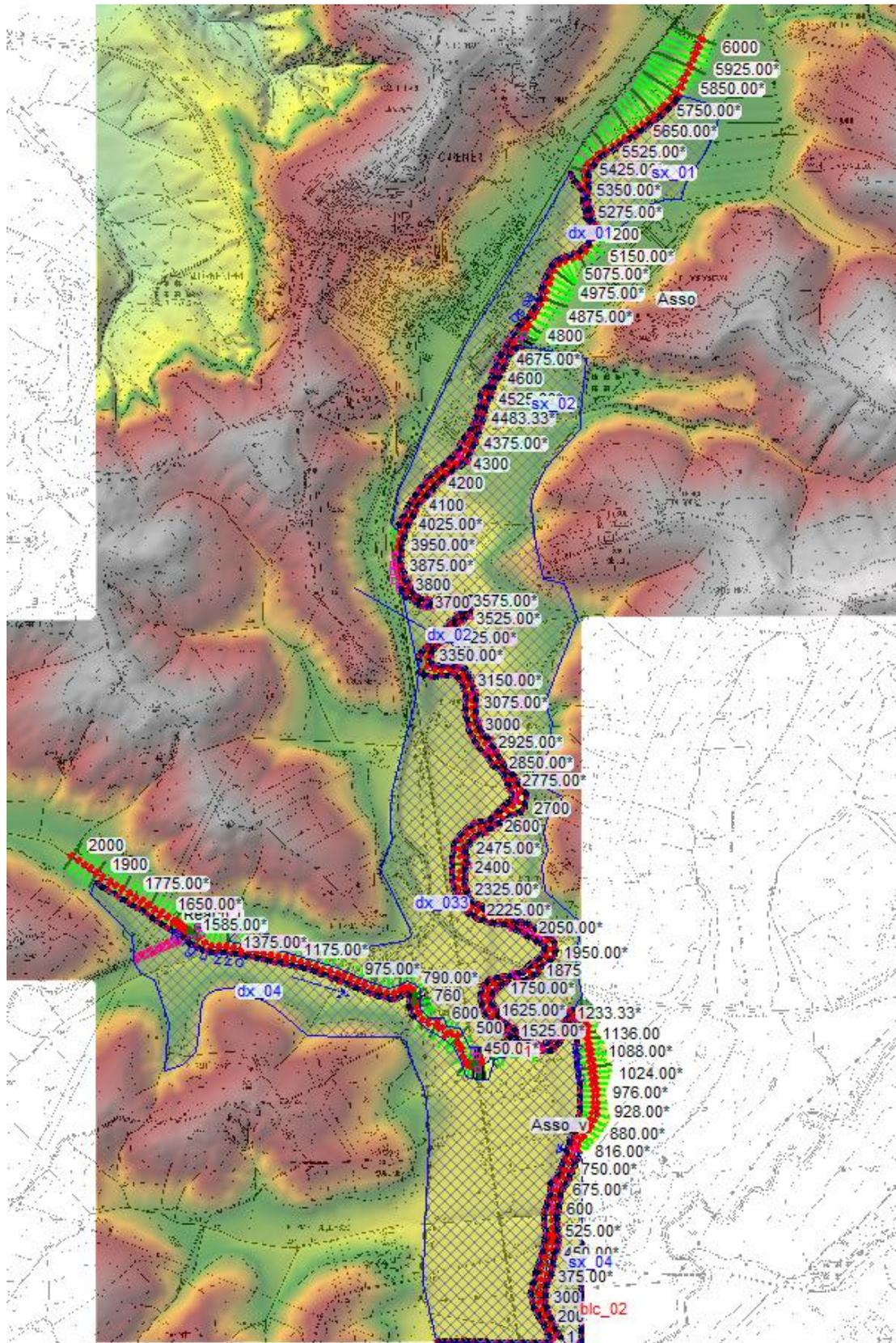


Figura 7-20 – Modello idraulico del T. Asso e del F. Riguzzo

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

**1D Unsteady Flow Options**

Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0): 1.

Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0): 1.

Water surface calculation tolerance [max=0.06](m): 0.006

Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m): 0.006

Flow calculation tolerance [optional] (m3/s):

Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m): 30.

Maximum number of iterations (0-40): 40

Maximum iterations without improvement (0-40): 40

**1D/2D Unsteady Flow Options**

Number of warm up time steps (0 - 100,000): 100

Time step during warm up period (hrs): 1.

Minimum time step for time slicing (hrs): 0

Maximum number of time slices: 20

Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0): 2.

Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0): 1.

Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0): 1.

Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0): 1.

DSS Messaging Level (1 to 10, Default = 4): 4

**Geometry Preprocessor Options**

Family of Rating Curves for Internal Boundaries

- Use existing internal boundary tables when possible.
- Recompute at all internal boundaries

**1D Numerical Solution**

- Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)
  - Finite Difference Matrix Solver
    - Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)
    - Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)
- Finite Volume (new approach)

Number of cores to use with Pardiso solver: All Available

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Use Coriolis Effects (only when using the momentum equation)

Number of cores to use in 2D computations: All Available

Parameter	(Default)	dx_01	dx_02	dx_033	dx_04	sx_01	sx_02	sx_03
1 Theta (0.6-1.0):	1	1	1	1	1	1	1	1
2 Theta Warmup (0.6-1.0):	1	1	1	1	1	1	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
5 Maximum Iterations	20	20	20	20	20	20	20	20
6 Equation Set	nsion Wave	ffusion Wave	ffusion Wave	iffusion Wave	ffusion Wave	ffusion Wave	ffusion Wave	ffusion Wave
7 Initial Conditions Time (hrs)								
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1	1	1	1	1	1	1	1
10 Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient								
11 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>							
12 Latitude for Coriolis (-90 to 90)								

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Maximum iterations between 1D and 2D (0=off, 1 to 20):	0
Water surface tolerance (m):	0.003
Flow Tolerance (%)	0.1
Minimum flow tolerance (m3/s):	0.03

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Fixed Time Step (Basic method)      4 Second

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Mixed Flow Regime (see menu: "Options/Mixed Flow Options ...")

Exponent for Froude number reduction factor $m$ ( $m > 0$ ):	4.
Froude number threshold for eliminating acceleration terms:	0.8

Figura 7-21 Impostazioni di calcolo modello Hec Ras 5.0.7

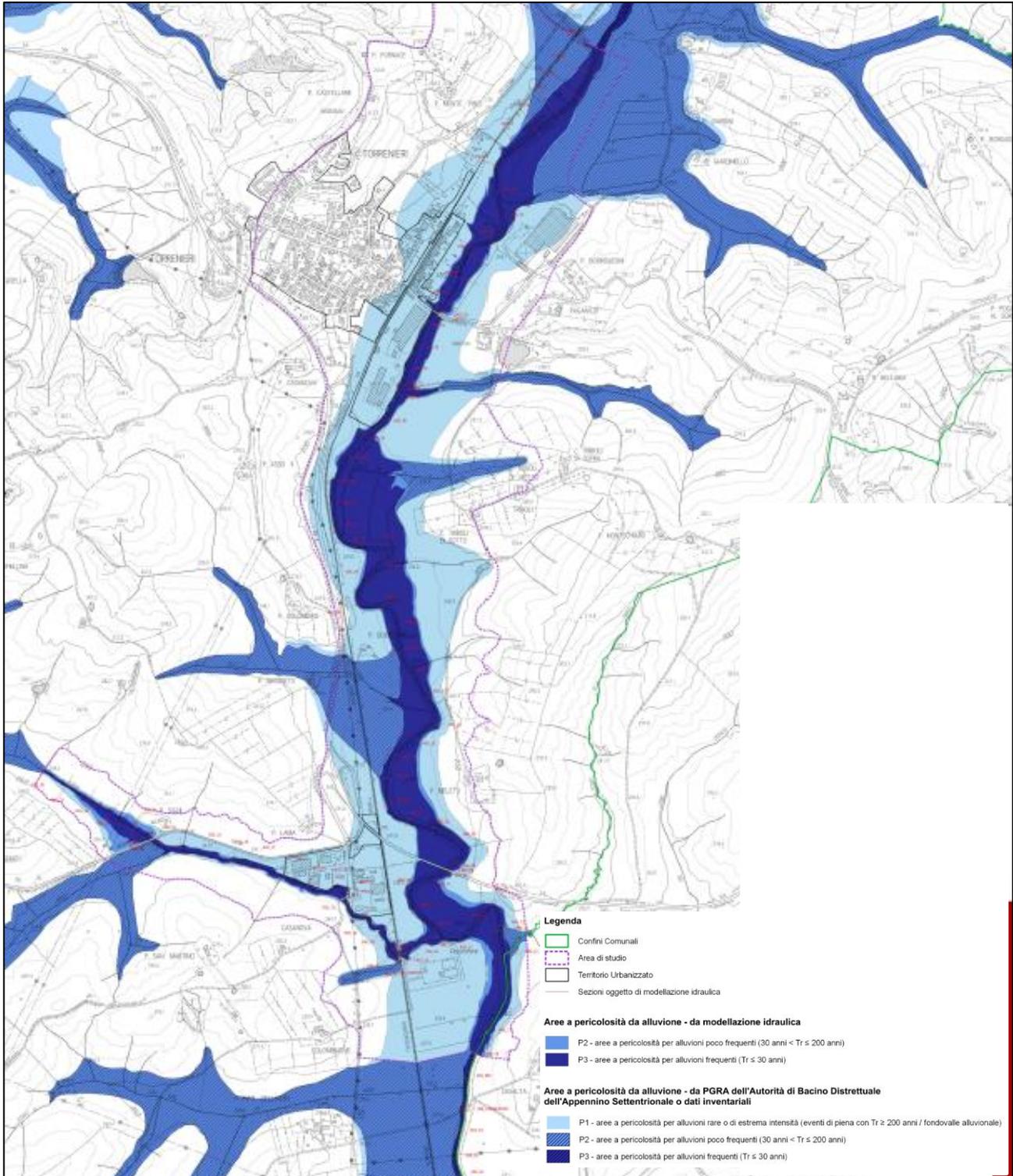


Figura 7-22 - Pericolosità idraulica da modello idraulico del Torrente Asso all'altezza di Torrenieri

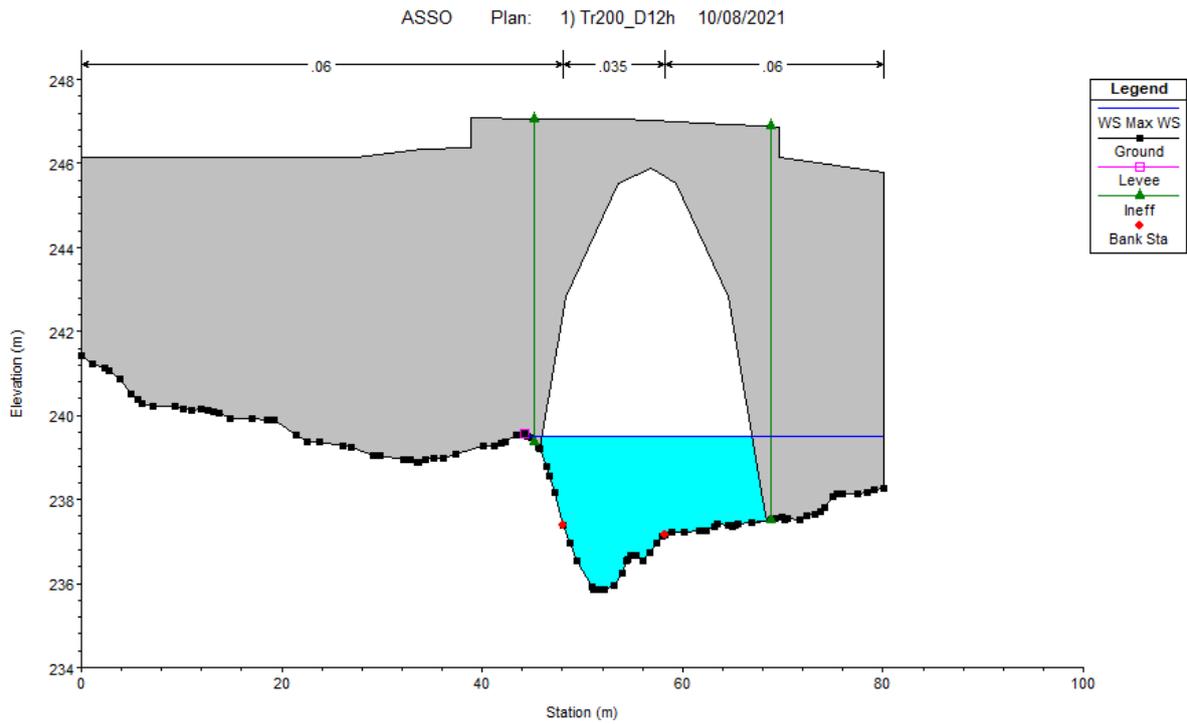


Figura 7-23 – Sezione 4760 del ponte sul T. Asso

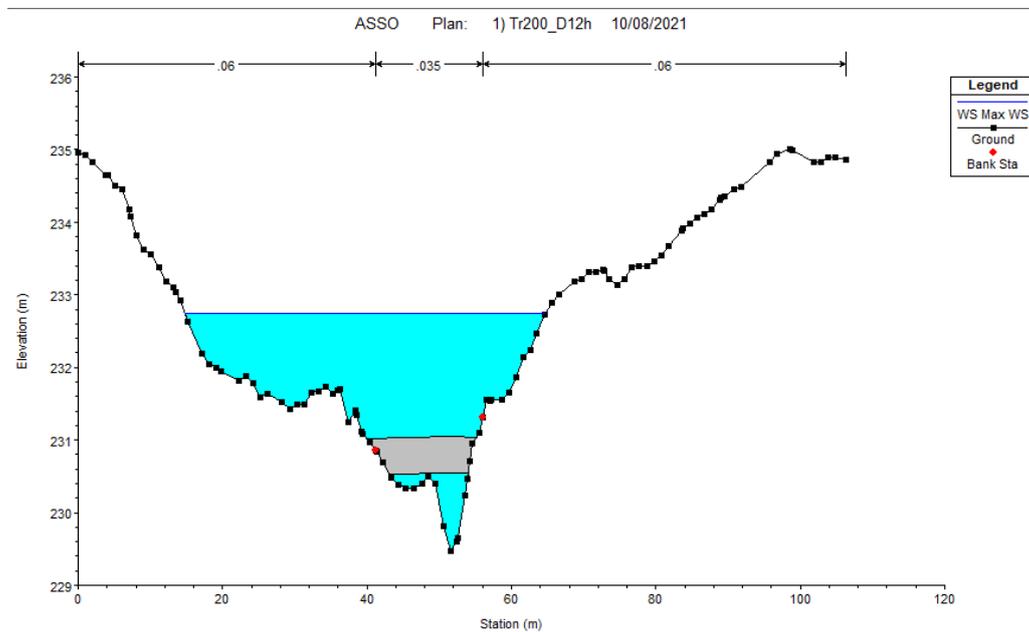


Figura 7-24 – Sezione 338 - Attraversamento sul F. Riguzzo

Il F. Riguzzo presenta degli allagamenti soprattutto in destra idraulica nella zona di monte, dovuti al rigurgito del primo attraversamento, comunque tale ponte non risulta superato. Procedendo verso valle si incontra, in sinistra idraulica, una zona industriale in prossimità della confluenza con il T. Asso, che non presenta particolari criticità.

Nel tratto di valle ci sono 3 attraversamenti, due dei quali non vengono superati. Uno di questi è un attraversamento ferroviario che provoca rigurgito, creando un'area allagata sia in destra che in sinistra idraulica, non generando comunque criticità idrauliche.

L'ultimo invece viene superato, come mostrato in Figura 7-24.

#### 7.4 Modello "Orcia\_Intermedio"

##### Descrizione generale

Il modello comprende un tratto di circa 1042 metri del Fiume Orcia nei pressi della località Monte Amiata, Siena. Il tratto fluviale comprende 2 sezioni rilevate e oltre 16 sezioni estratte da Lidar (si veda Figura 7-25 a seguire).

Il corso d'acqua attraversa un'area scarsamente antropizzata ad uso prevalentemente industriale. Di seguito si riportano delle fotografie dei due ponti sul F. Orcia.

##### Scelta del coefficiente di Manning

Il coefficiente di Manning della modellazione idraulica è individuato attraverso sopralluoghi condotti dagli scriventi al momento del rilievo e della redazione dello studio idrologico-idraulico.

Per il caso in esame sono stati utilizzati i seguenti valori del coefficiente di Manning per il tratto di corso d'acqua oggetto di studio.

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	Grandi fiumi sezione regolare senza massi o vegetazione	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-5** – coefficienti scabrezza assunti per il Fiume Orcia all'altezza di Monte Amiata

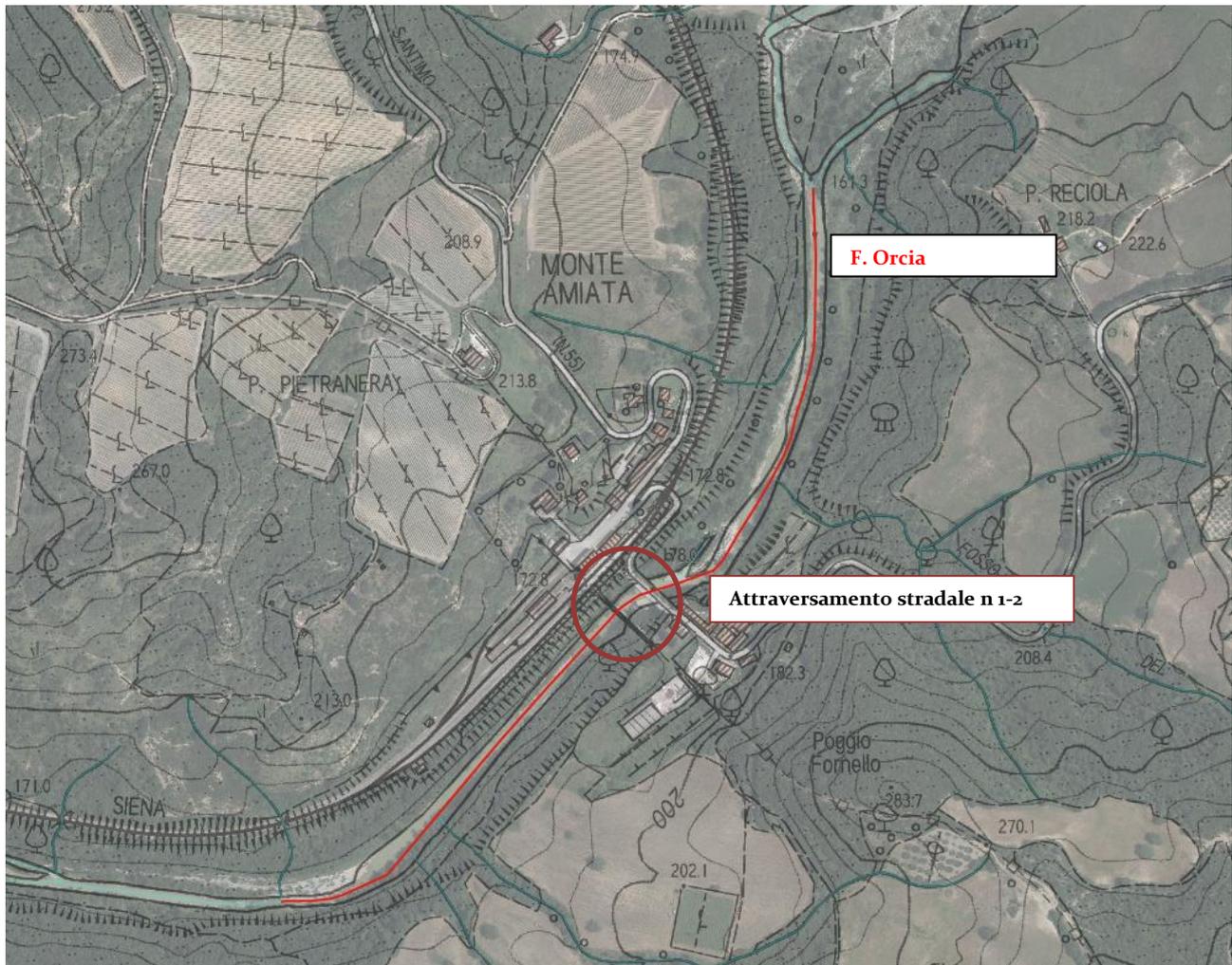


Figura 7-25 - Inquadramento del F. Orcia in località Monte Amiata, Siena.



Figura 7-26 - primo attraversamento del Fiume Orcia all'altezza di Monte Amiata



Figura 7-27 – secondo attraversamento del Fiume Orcia all'altezza di Monte Amiata



Figura 7-28 – vista del fiume Orcia all'altezza di Monte Amiata

In generale, come si vede dalle fotografie di Figura 7-26, Figura 7-27 e Figura 7-28 la sezione del Fiume Orcia all'altezza di Monte Amiata è piuttosto regolare e presenta solo alcune barre fluviali in ghiaia appiattite e poco vegetate. Si ritiene di quindi di poter assumere un valore del coefficiente di Gaukler-Stickler di Figura 6-1 intorno a  $28 \text{ s m}^3$  (a cui corrisponde il valore di  $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ ) che è un valore intermedio per il caso di grandi fiumi a sezione regolare senza massi o vegetazione, ma anche un valore di massimo per grandi fiumi a sezione irregolare, risultando quindi un giusto compromesso per il tratto oggetto di studio.

Per quanto riguarda le aree golenali o di sponda, si è ritenuto corretto e cautelativo mantenere il valore di  $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  assimilabili al caso di golene con sottobosco.

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui l'asta fluviale del TS17711 è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections*. Il corso d'acqua è stato modellato in 1D per tutta la sua lunghezza.

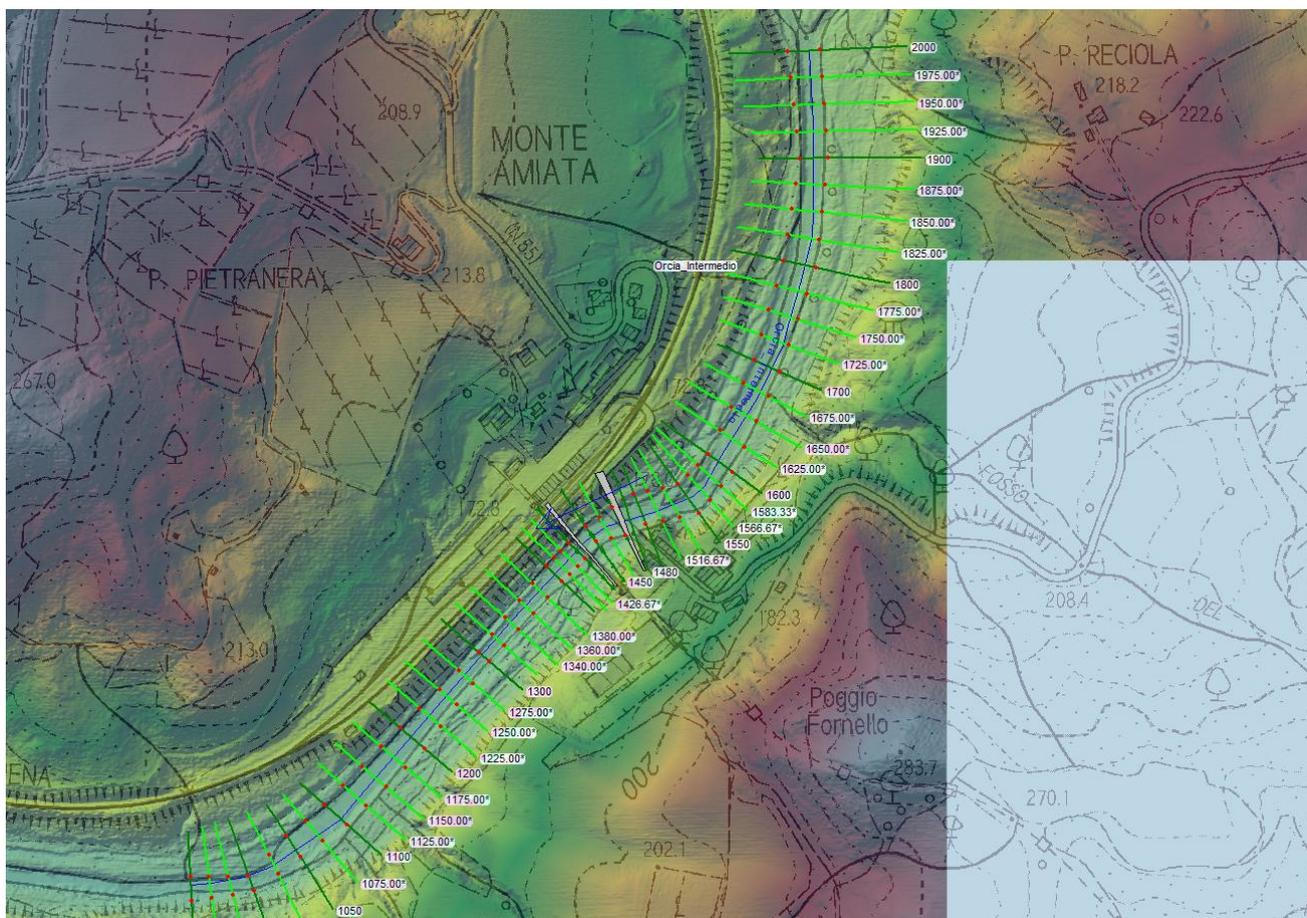


Figura 7-29 - Modello idraulico HEC-RAS 5.0.7

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata una *normal depth*. Si rimanda alla tavola *IDR\_02c\_Schema dei modelli idraulici con input\_Tasso* per il dettaglio della modellazione idraulica.

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
<b>1D Unsteady Flow Options</b> Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0): <input type="text" value="1"/> Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0): <input type="text" value="1"/> Water surface calculation tolerance [max=0.06](m): <input type="text" value="0.006"/> Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m): <input type="text" value="0.006"/> Flow calculation tolerance [optional] (m3/s): <input type="text"/> Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m): <input type="text" value="30"/> Maximum number of iterations (0-40): <input type="text" value="40"/> Maximum iterations without improvement (0-40): <input type="text" value="40"/>		<b>1D/2D Unsteady Flow Options</b> Number of warm up time steps (0 - 100,000): <input type="text" value="100"/> Time step during warm up period (hrs): <input type="text" value="1"/> Minimum time step for time slicing (hrs): <input type="text" value="0"/> Maximum number of time slices: <input type="text" value="20"/> Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0): <input type="text" value="2"/> Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0): <input type="text" value="1"/> Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0): <input type="text" value="1"/> Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0): <input type="text" value="1"/> DSS Messaging Level (1 to 10, Default = 4) <input type="text" value="4"/>		
<b>Geometry Preprocessor Options</b> Family of Rating Curves for Internal Boundaries <input checked="" type="radio"/> Use existing internal boundary tables when possible. <input type="radio"/> Recompute at all internal boundaries		<b>1D Numerical Solution</b> <input checked="" type="radio"/> Finite Difference (classic HEC-RAS methodology) Finite Difference Matrix Solver <input checked="" type="radio"/> Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems) <input type="radio"/> Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems) <input type="radio"/> Finite Volume (new approach) Number of cores to use with Pardiso solver: <input type="text" value="All Available"/>		

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
<input type="checkbox"/> Use Coriolis Effects (only when using the momentum equation) Number of cores to use in 2D computations: <input type="text" value="All Available"/>				
				(Default)
1	Theta (0.6-1.0):			1
2	Theta Warmup (0.6-1.0):			1
3	Water Surface Tolerance [max=0.06](m)			0.003
4	Volume Tolerance (m)			0.003
5	Maximum Iterations			20
6	Equation Set			Diffusion Wave
7	Initial Conditions Time (hrs)			
8	Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)			0.1
9	Number of Time Slices (Integer Value)			1
10	Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient			
11	Boundary Condition Volume Check			<input type="checkbox"/>
12	Latitude for Coriolis (-90 to 90)			

General	2D Flow Options	<b>1D/2D Options</b>	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options
Maximum iterations between 1D and 2D (0=off, 1 to 20):		<input type="text" value="0"/>		
Water surface tolerance (m):		<input type="text" value="0.003"/>		
Flow Tolerance (%):		<input type="text" value="0.1"/>		
Minimum flow tolerance (m3/s):		<input type="text" value="0.03"/>		

General	2D Flow Options	1D/2D Options	<b>Advanced Time Step Control</b>	1D Mixed Flow Options
<input checked="" type="radio"/> Fixed Time Step (Basic method)		<input type="text" value="5"/> Second		

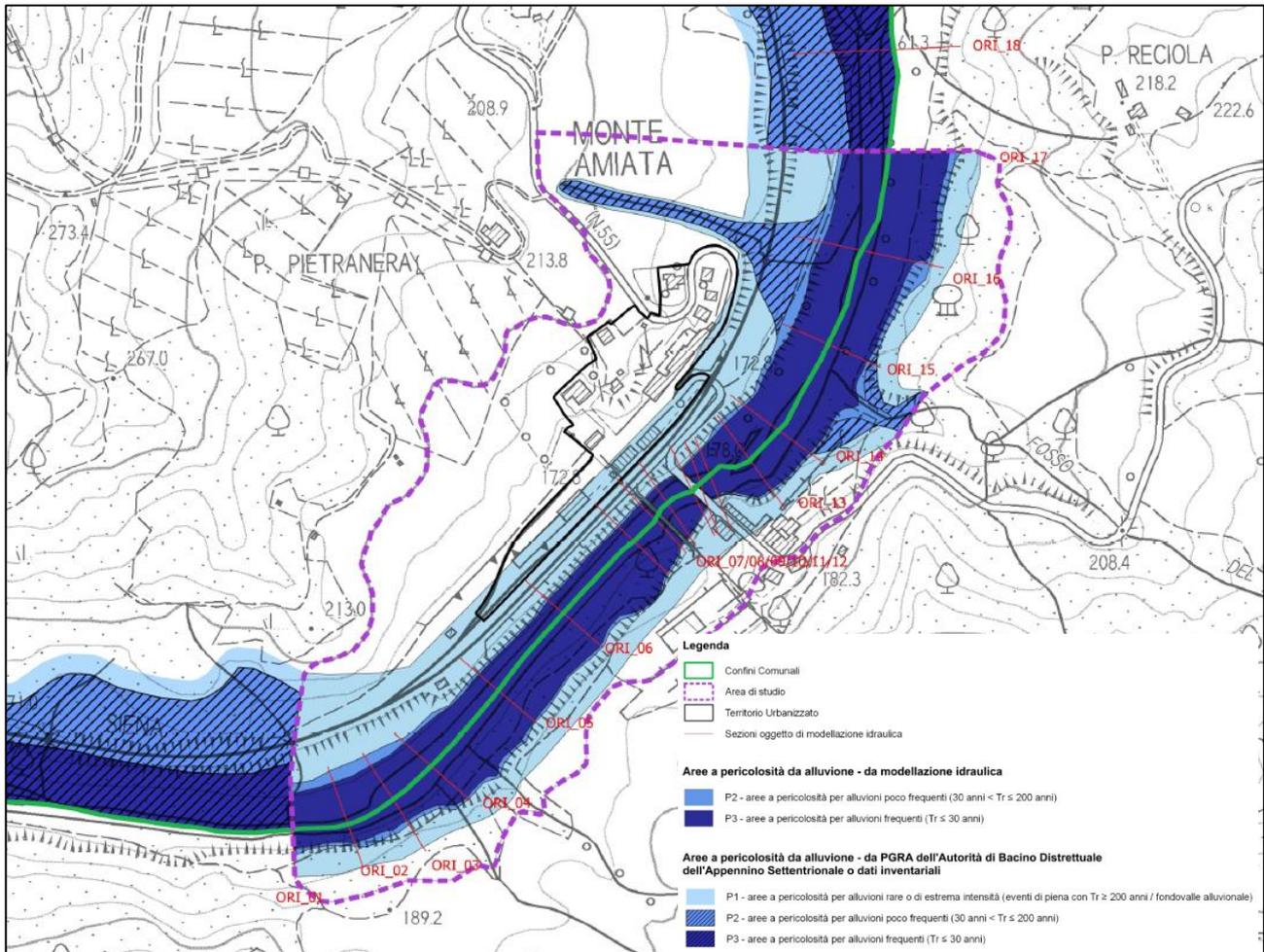
  

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	<b>1D Mixed Flow Options</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Mixed Flow Regime (see menu: "Options/Mixed Flow Options ...")				
Exponent for Froude number reduction factor m (m>0):		<input type="text" value="4."/>		
Froude number threshold for eliminating acceleration terms:		<input type="text" value="0.8"/>		

**Figura 7-30** Impostazioni di calcolo modello Hec Ras 5.0.7

*Sintesi dei risultati*

Nell'area studiata non si hanno fenomeni esondativi, in quanto il corso d'acqua è molto largo ed inciso, in destra idraulica il fiume costeggia la ferrovia. Lungo il corso d'acqua sono presenti due attraversamenti che non vengono superati, come mostrato in Figura 7-32 e Figura 7-33.



**Figura 7-31** - Pericolosità idraulica da modello idraulico del Fiume Orcia – tratto intermedio

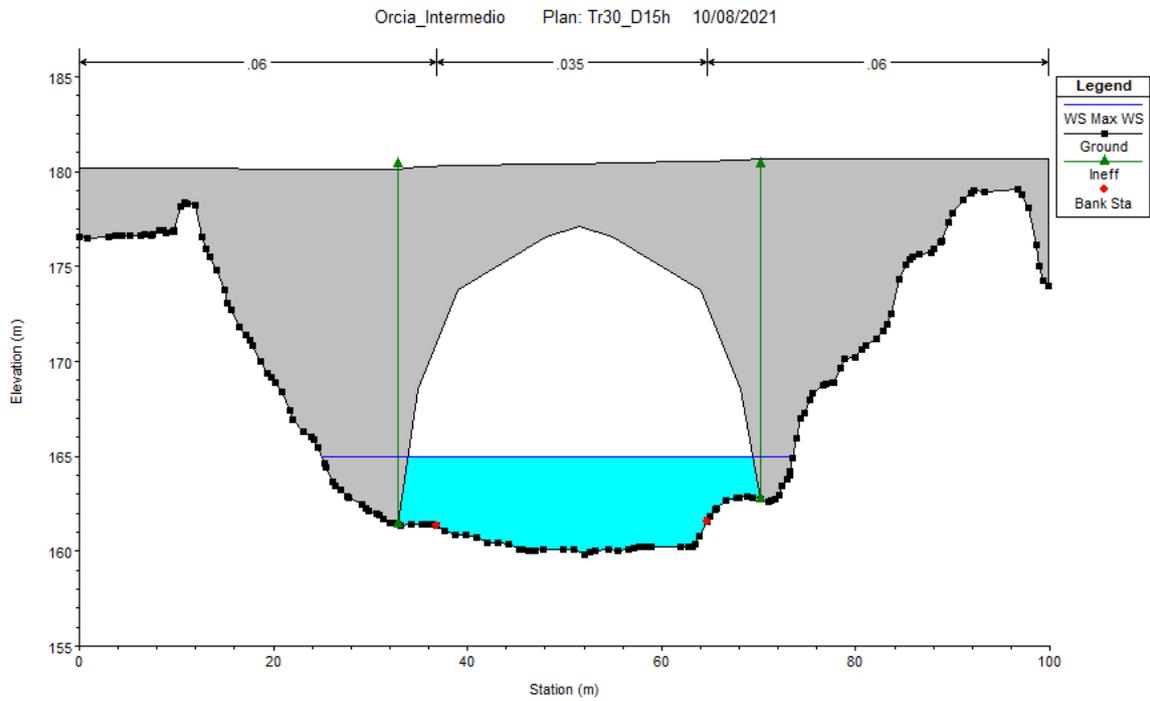


Figura 7-32 - Sezione 1470 - Ponte sul F. Orcia

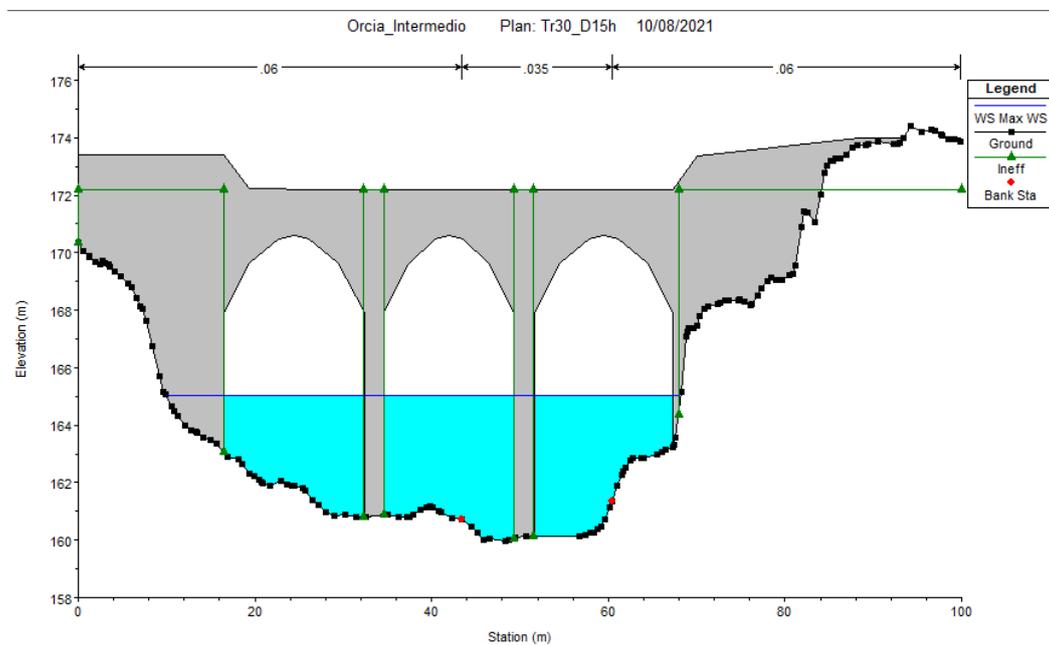


Figura 7-33 - Sezione 1445 - Ponte sul F. Orcia

## 7.5 Modello “Sant’Angelo Scalo (Cinigiano)”

### Descrizione generale

Il modello comprende il tratto del corso d’acqua del Fiume Orcia nella località Sant’Angelo Scalo e del suo affluente Torrente Spagnola, quest’ultimo per una lunghezza di 1135 m (Figura 7-34). Il Fiume Orcia e il Torrente Spagnola attraversano zone scarsamente antropizzate con uso prevalentemente agricolo, lungo il F. Orcia si ha un attraversamento stradale, lungo il T. Spagnola si hanno due attraversamenti, di cui uno ferroviario.



**Figura 7-34** – Inquadramento dei corsi d’acqua presenti nelle aree contermini di Sant’Angelo Scalo/Cinigiano

Nel medesimo modello, come richiesto dal Genio Civile Toscana Sud, sono stati compresi i due corsi d’acqua censiti al reticolo come TS35134 e TS78736, che attraversano la località di Sant’Angelo Scalo per poi confluire nel F. Orcia a monte del ponte sulla strada SP14. Il tratto studiato del fosso TS78736 comprende 4 sezioni rilevate (oltre ad alcune sezioni estratte da lidar) mentre il fosso TS35134 comprende 16 sezioni rilevate (si veda Figura 7-35).

I due corsi d'acqua attraversano nel tratto di monte la località di Sant'Angelo Scalo, in particolare il corso d'acqua TS78736 attraversa la località con un tratto tombato di circa 307 metri fino all'attraversamento del rilevato ferroviario. Nello stesso corso d'acqua è presente un attraversamento stradale. Nella parte a valle costeggia in destra idraulica una cava di sabbia.

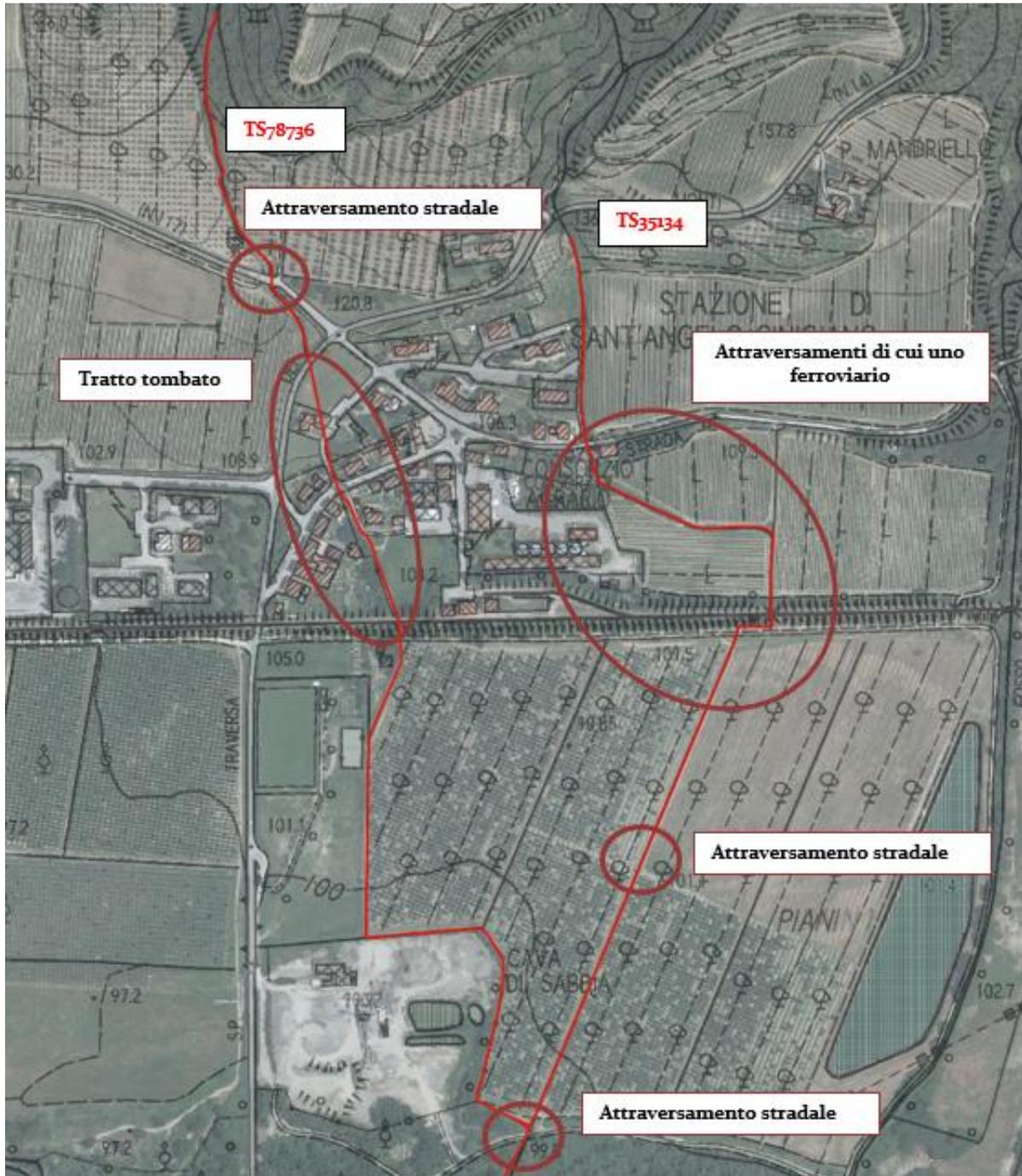


Figura 7-35 – Inquadramento di dettaglio dei corsi d'acqua presenti nelle aree contermini di Sant'Angelo Scalo/Cinigiano



**Figura 7-36** - Attraversamento stradale sul Torrente Spagnola



**Figura 7-37** - Attraversamento ferroviario sul Torrente Spagnola



**Figura 7-38** - Attraversamento sul Fiume Orcia



**Figura 7-39** – Attraversamento e tratto tombato del corso d'acqua TS8736

Per il corso d'acqua TS35134 sono presenti più attraversamenti stradali ed uno ferroviario (foto di alcuni attraversamenti a seguire - Figura 7-40). Nella parte di vale attraversa una zona destinata ad uso agricolo.



**Figura 7-40** – Attraversamento e tratto tombato del corso d’acqua TS3513

Scelta del coefficiente di Manning

Il coefficiente di Manning della modellazione idraulica è individuato attraverso sopralluoghi condotti dagli scriventi al momento del rilievo e della redazione dello studio idrologico-idraulico.

Per il caso in esame sono stati utilizzati i seguenti valori del coefficiente di Manning per i tratti di corso d’acqua oggetto di studio.

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	n.d.	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.045 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-6** – coefficienti scabrezza assunti per il Fiume Orcia-all’altezza di Sant’Angelo Scalo

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
golene con erba/golene con sottobosco	canalizzazioni in materiali naturali sinuosi e lenti	golene con erba/golene con sottobosco
0.05 m <sup>-1/3</sup> /s	0.03 m <sup>-1/3</sup> /s	0.05 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-7** – coefficienti scabrezza assunti per il Torrente Spagnola

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	canalizzazioni in materiali naturali sinuosi e lenti	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-8** – coefficienti scabrezza assunti per il fosso censito come TS78736

Area golenale o di sponda sx	Alveo attivo	Area golenale o di sponda dx
Golena con sottobosco	canalizzazioni in materiali naturali sinuosi e lenti	Golena con sottobosco
0.06 m <sup>-1/3</sup> /s	0.035 m <sup>-1/3</sup> /s	0.06 m <sup>-1/3</sup> /s

**Tabella 7-9** – coefficienti scabrezza assunti per il fosso censito come TS35134

Per quanto riguarda il Torrente Orcia, che è il recettore di tutti i corsi d'acqua modellati per il sistema di Sant'Angelo Scalo, come si vede dalla documentazione fotografica di di Figura 7-41, si ritiene corretto confermare i valori del coefficiente di Manning già individuati per il modello "orcaia intermedio". Ad ogni buon conto, tenuto conto che il tirante idraulico sul Fiume Orcia alla confluenza costituisce la condizione al contorno di valle per tutte le aste del sistema oggetto di studio, visto che nello studio redatto nel 2015 dall'Ing. Stefano Rossi era stato utilizzato un valore della scabrezza per l'alveo attivo di 0.045 m<sup>-1/3</sup>/s, si è deciso di scegliere quest'ultimo valore per coerenza (dato che questo studio ha recentemente modificato il PGRA – Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 dell'AdBDAS).



**Figura 7-41** – documentazione fotografica del Fiume Orcia nel tratto oggetto di studio

Per quanto riguarda invece il caso dell'area golenale e spondale per il Fiume Orcia la scelta di  $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  di scabrezza è da intendersi cautelativa, in quanto lo studio dell'ing. Rossi ha sempre assunto valori inferiori e compresi tra  $0.04 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  e  $0.055 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ .

Per quanto riguarda il Torrente Spagnola (Figura 7-42) il valore assunto per il coefficiente di manning per l'alveo attivo è di  $0.03 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$  che in relazione ai valori di Figura 6-1 sono ricondotti ai canali artificiali in terra (valore intermedio per il caso di canalizzazioni in materiali naturali sinuosi e lenti). Diversamente il valore della scabrezza delle sponde è ricondotto a un valore intermedio per golene con erba o sottobosco.



**Figura 7-42** – documentazione fotografica del Torrente Spagnola nel tratto oggetto di studio



**Figura 7-43** – documentazione fotografica del fosso TS78736 nel tratto oggetto di studio: a sinistra, prima del lungo tombamento; a destra dopo il tombamento a valle della ferrovia

Come si veda da Figura 7-43 e Figura 7-44, le scabrezze per i due piccoli corsi d'acqua attraversanti l'abitato di Sant'Angelo Scalo possono essere ricondotte a quelle del Torrente Spagnola. Ad ogni buon conto, tenuto conto che queste aste afferiscono a bacini di piccole dimensioni (area  $< 1$  kmq) e con molti tratti tombati si è preferito assumere valori del coefficiente di scabrezza più elevati rispetto a quelli del T. Spagnola.



**Figura 7-44** – documentazione fotografica del fosso TS35134 nel tratto oggetto di studio: a sinistra, prima del lungo tombamento; a destra dopo il tombamento a valle della ferrovia

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui le aste fluviali del T. Spagnola, del torrente TS35134, del torrente TS78736 e del Fiume Orcia (corsi d'acqua presso la località di Sant'Angelo Scalo) sono modellate come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* e quattro *2D-flow area*, tre in destra e una in sinistra idraulica rispetto al F. Orcia.

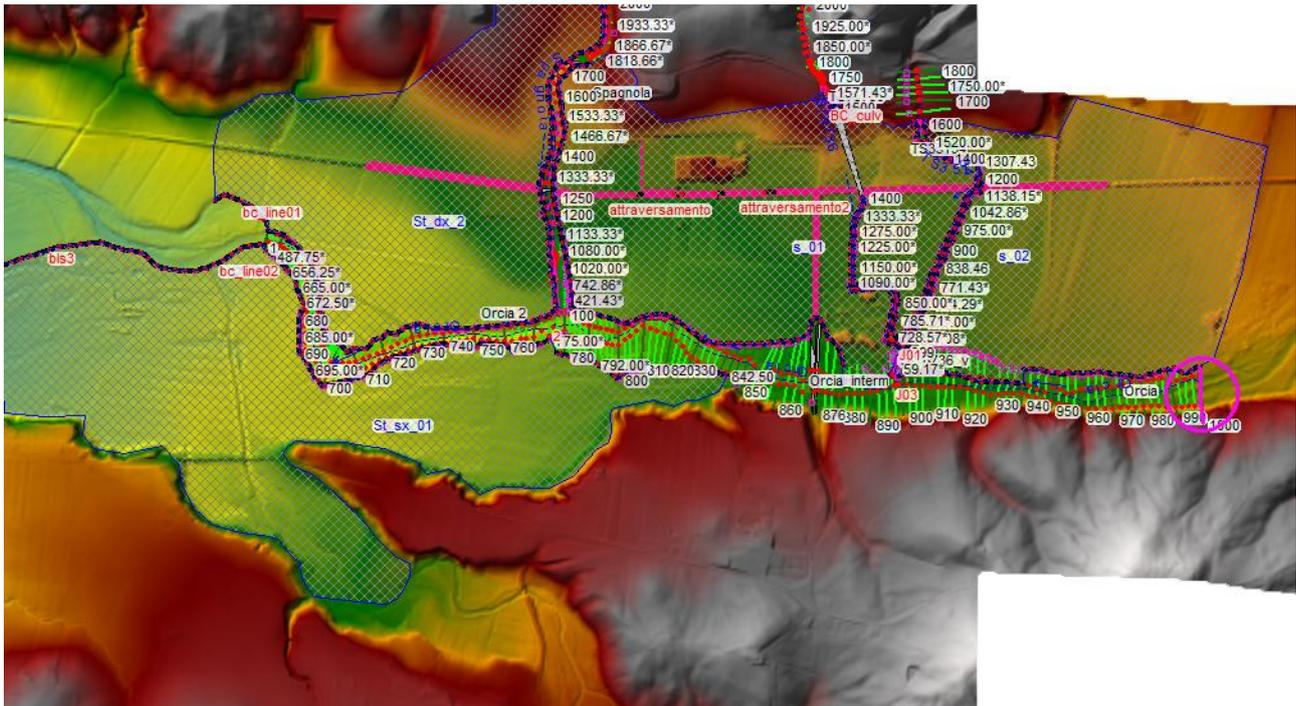


Figura 7-45 - Modello idraulico Cinigiano

Le condizioni al contorno inserite, sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni prima calcoli, coerenti con lo studio dell'ing. Rossi sul Torrente Spagnola e sul Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo. Il modello idraulico, invece, è stato aggiornato nell'ambito del presente studio, in quanto nel corso degli anni sono sopraggiunte modifiche allo stato attuale, in particolare sul ponte della SP117 "la maremmana" che attraversa il T. Spagnola.

Come si vede da Figura 7-46, ripresa dagli allegati HEC RAS della relazione di cui sopra, l'attraversamento è strutturalmente diverso da quello attualmente esistente, come riportato dalla precedente Figura 7-42 e poi inserito all'interno del modello idraulico in sezione 1765 (Figura 7-47).

Le condizioni al contorno inserite sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni ottenuti dalle modellazioni idrologiche in corrispondenza della sezione di monte e a valle si è utilizzata

una *normal depth*. Si rimanda alla tavola *IDR\_02d\_Schema dei modelli idraulici con input\_Cinigiano* per il dettaglio della modellazione idraulica

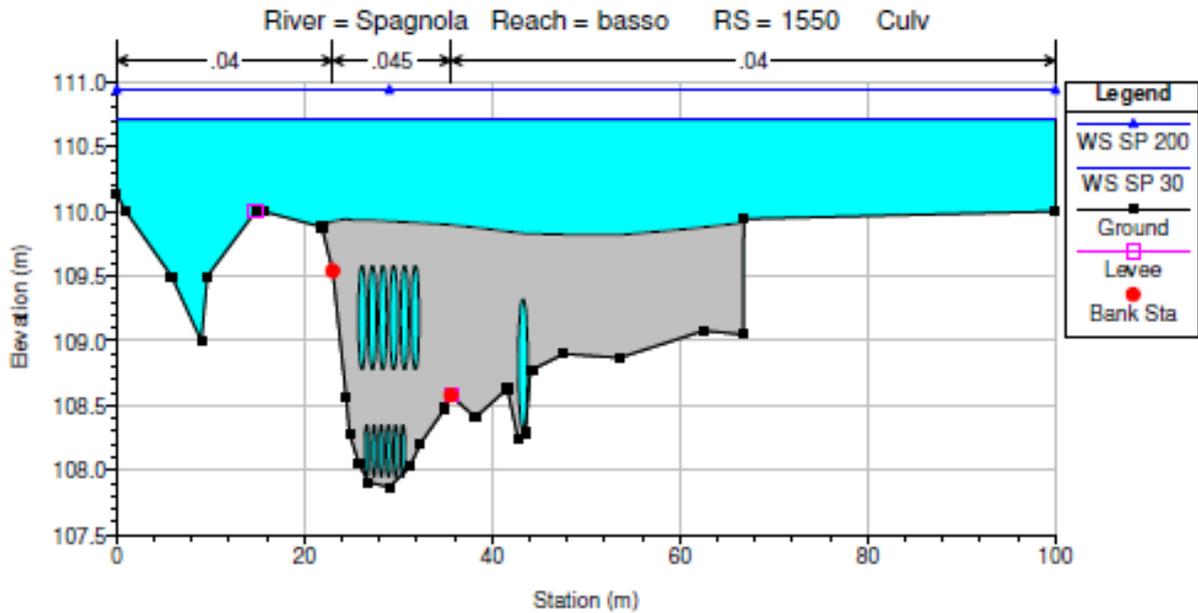


Figura 7-46 - Sezione 1550 - Ponte sul T. Spagnola da studio idraulico dell'ing. Rossi

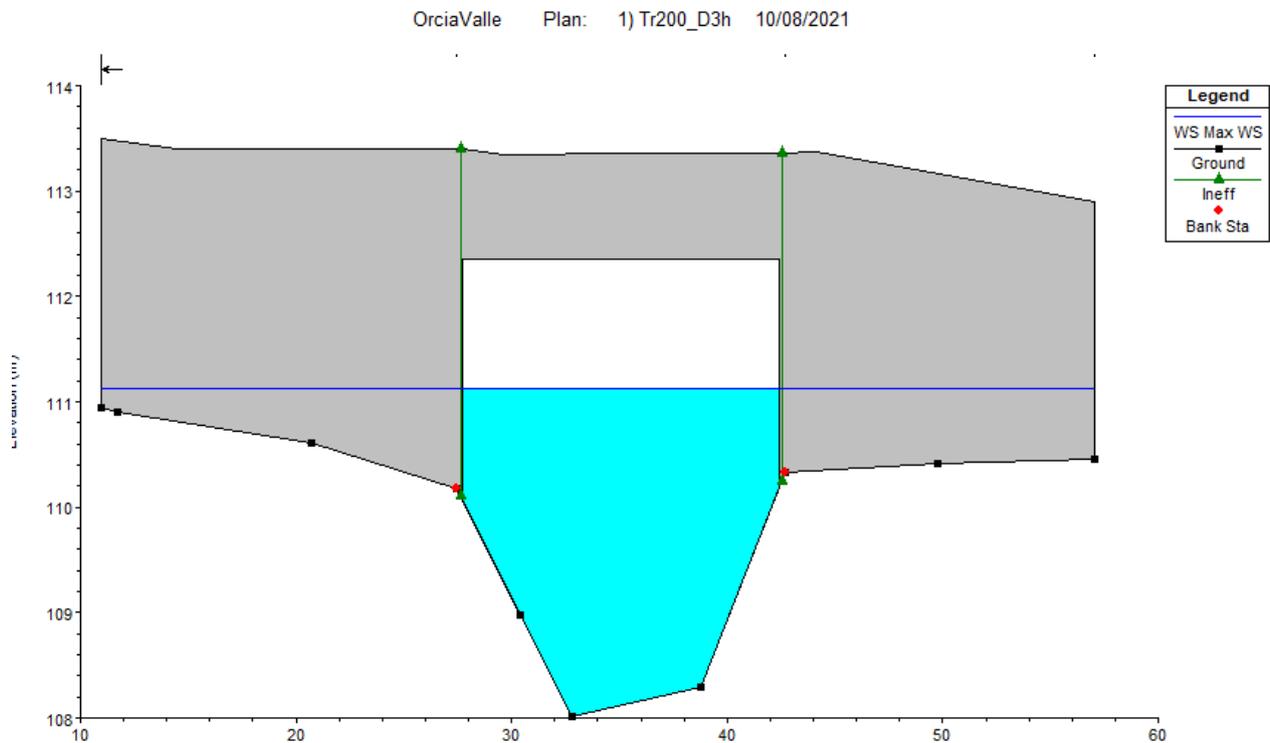


Figura 7-47 - Sezione 1765 - Ponte sul T. Spagnola rilevato dagli scriventi

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

1D Unsteady Flow Options

Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0):

Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0):

Water surface calculation tolerance [max=0.06](m):

Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m):

Flow calculation tolerance [optional] (m3/s):

Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m):

Maximum number of iterations (0-40):

Maximum iterations without improvement (0-40):

1D/2D Unsteady Flow Options

Number of warm up time steps (0 - 100,000):

Time step during warm up period (hrs):

Minimum time step for time slicing (hrs):

Maximum number of time slices:

Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0):

Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0):

Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0):

Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0):

DSS Messaging Level (1 to 10, Default = 4)

Geometry Preprocessor Options

Family of Rating Curves for Internal Boundaries

Use existing internal boundary tables when possible.

Recompute at all internal boundaries

1D Numerical Solution

Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)

Finite Difference Matrix Solver

Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)

Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)

Finite Volume (new approach)

Number of cores to use with Pardiso solver:

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Use Coriolis Effects (only when using the momentum equation)

Number of cores to use in 2D computations:

Parameter	(Default)	St_dx_2	St_sx_01	s_01	s_02
1 Theta (0.6-1.0):	1	1	1	1	1
2 Theta Warmup (0.6-1.0):	1	1	1	1	1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
5 Maximum Iterations	20	20	20	20	20
6 Equation Set	Diffusion Wave				
7 Initial Conditions Time (hrs)					
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1	1	1	1	1
10 Eddy Viscosity Transverse Mixing Coefficient					
11 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>				
12 Latitude for Coriolis (-90 to 90)					

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Maximum iterations between 1D and 2D (0=off, 1 to 20):

Water surface tolerance (m):

Flow Tolerance (%):

Minimum flow tolerance (m3/s):

---

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Fixed Time Step (Basic method)

---

General | 2D Flow Options | 1D/2D Options | Advanced Time Step Control | 1D Mixed Flow Options

Mixed Flow Regime (see menu: "Options/Mixed Flow Options ...")

Exponent for Froude number reduction factor  $m$  ( $m > 0$ ):

Froude number threshold for eliminating acceleration terms:

Figura 7-48 Impostazioni di calcolo modello Hec Ras 5.0.7

Inoltre, come richiesto dal Genio Civile per i corsi d'acqua denominati TS78736 e TS35134, gli attraversamenti sono stati modellati nell'ipotesi di ostruzione dei tombamenti del 30% circa (...omissis...dalla documentazione fotografica presentata risultano problematiche di trasporto solido. Le verifiche idrauliche dovranno tener conto di tali problematiche considerando adeguate ostruzioni degli attraversamenti e dei tombamenti - in genere almeno il 30%). Si rimanda agli allegati HEC-RAS per la verifica di ottemperanza a tale richiesta.

#### Sintesi dei risultati

Le aree limitrofe al Fiume Orcia e al Torrente Spagnola sono interessate da allagamenti sia per Tr30 che per Tr200. In particolare, per il F. Orcia si hanno allagamenti su tutta la lunghezza del corso d'acqua, mentre per il T. Spagnola si hanno allagamenti prevalentemente nella parte di valle, dovuti principalmente al rigurgito delle piene del F. Orcia. Nella parte di monte del T. Spagnola, invece si hanno allagamenti nell'attraversamento del ponte, superato solo in destra idraulica, e in quello della ferrovia, che non viene superato.

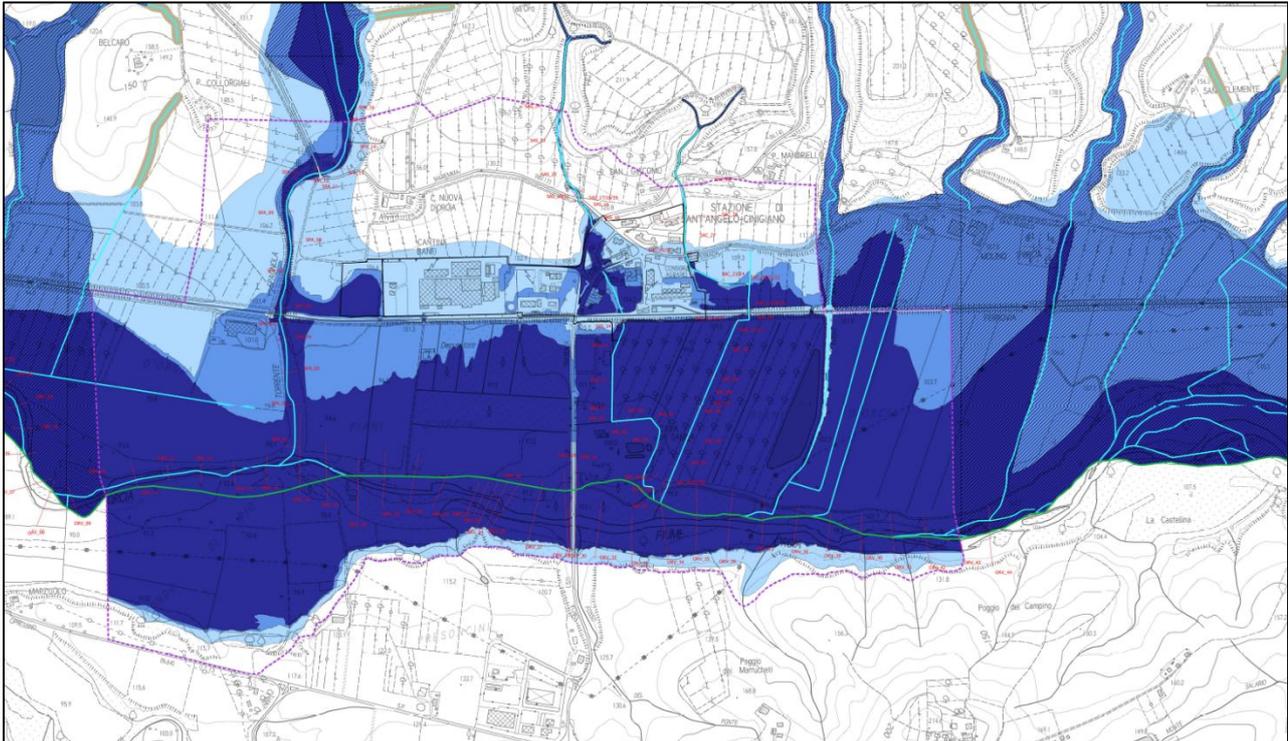
Il torrente Spagnola presenta degli allagamenti nella zona di monte in prossimità del ponte della SP117, dovuti al rigurgito provocato da quest'ultimo in destra idraulica. La modifica della geometria del ponte di cui sopra ha apportato una modifica evidente rispetto alle aree a pericolosità da alluvione riportate sul Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA) modificato in seguito allo studio idrologico idraulico approvato Decreto del Segretario Generale n.41 dell'11 aprile 2022 (come si vede in Figura 7-52).

Nella zona subito a monte della ferrovia, invece, si ha un'area soggetta ad allagamento per tempi di ritorno duecentennali in sinistra idraulica che si estende fino all'azienda agricola Banfi. Tale volume d'acqua, seguendo la canaletta che costeggia il rilevato ferroviario, scorre parallelamente al muro perimetrale dell'azienda agricola Banfi fino a sotto-attraversare la ferrovia stessa lungo una canaletta esistente.

Nel tratto di valle le aree allagate sono dovute alle condizioni al contorno date dal F. Orcia.

Per il F. Orcia si hanno allagamenti estesi su tutta la lunghezza del tratto oggetto di studio. Nel tratto iniziale sono limitati alle aree poste in destra idraulica, interessando anche zone poste a monte della ferrovia, dovute alla presenza di attraversamenti sotto il rilevato. In sinistra idraulica non sono presenti allagamenti, data la presenza di rilievi collinari.

L'attraversamento sul corso d'acqua non presenta criticità.



**Legenda**

- Confini Comunali
- Area di studio
- Territorio Urbanizzato
- Area di fondovalle
- Settori oggetto di modellazione idraulica
- Ritraccio idrografico della regione Toscana di cui al DGR 1061/2023

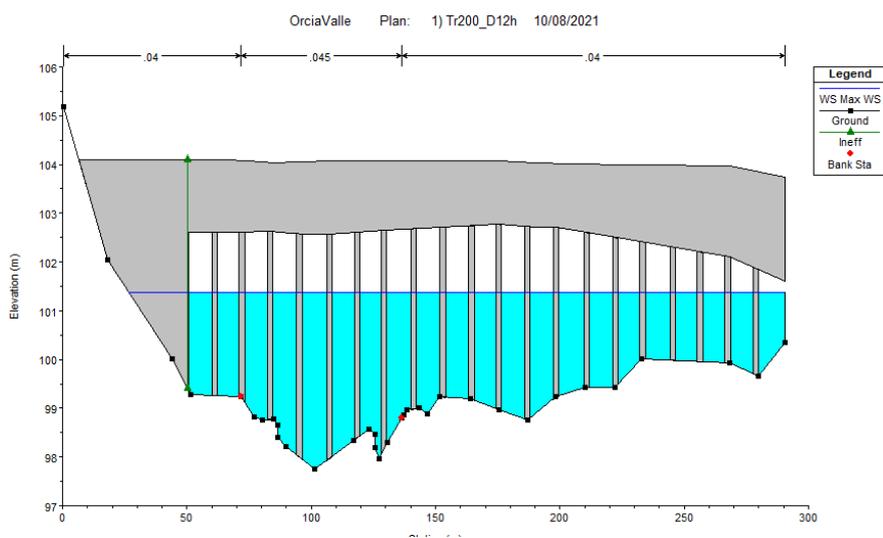
**Aree a pericolosità da alluvione - da PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale o dati inventariali**

- P1 - aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (eventi di piena con  $Tr \geq 200$  anni / fondovalle alluvionale)
- P2 - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (30 anni  $< Tr \leq 200$  anni)
- P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti ( $Tr \leq 30$  anni)

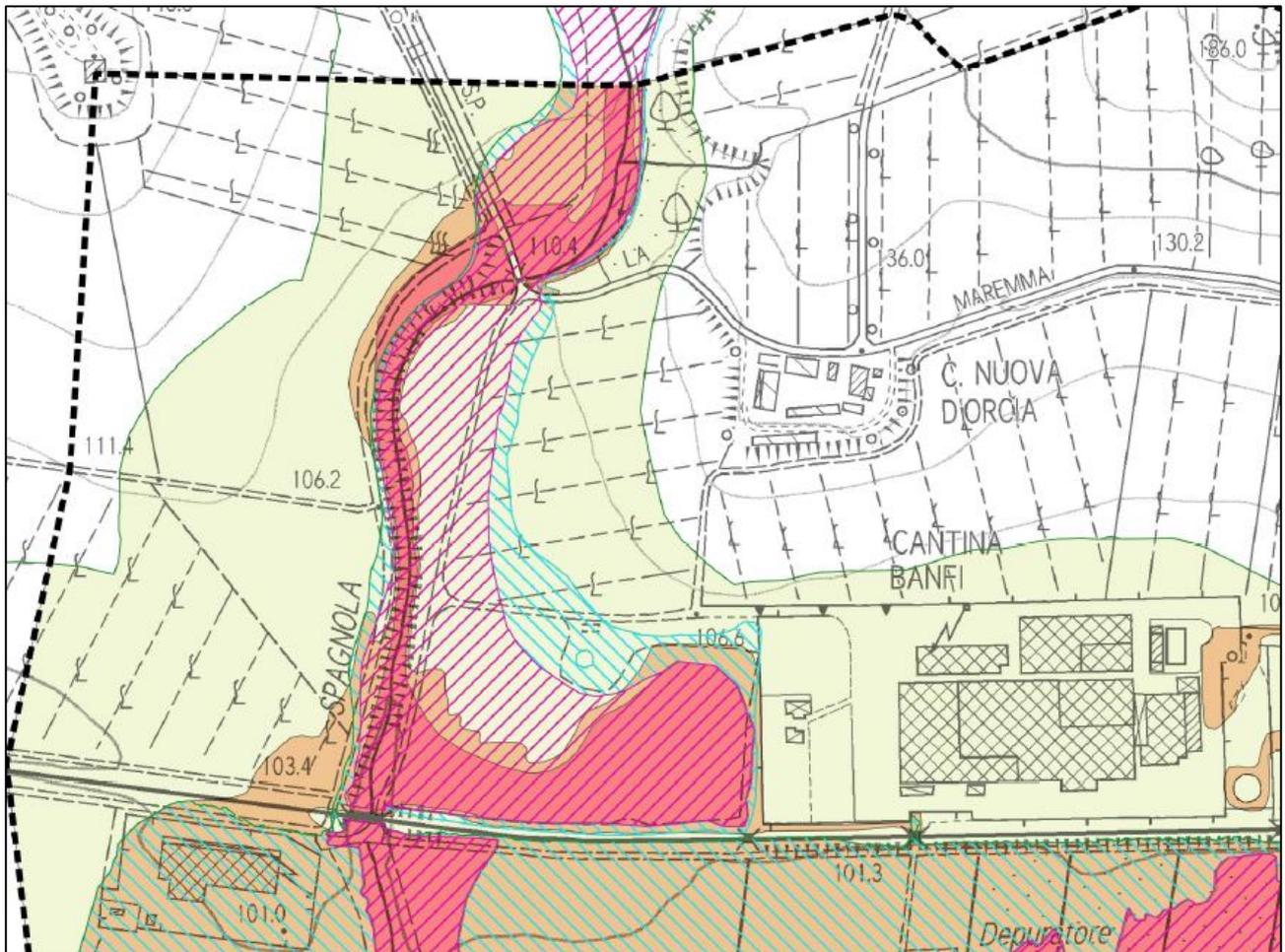
**Aree a pericolosità da alluvione - da modellazione idraulica**

- P2 - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (30 anni  $< Tr \leq 200$  anni)
- P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti ( $Tr \leq 30$  anni)

**Figura 7-50 - Pericolosità idraulica da modello idraulico dell'area di Sant'Angelo Scalo**



**Figura 7-51 - Sezione 876 - Ponte sul F. Orcia**



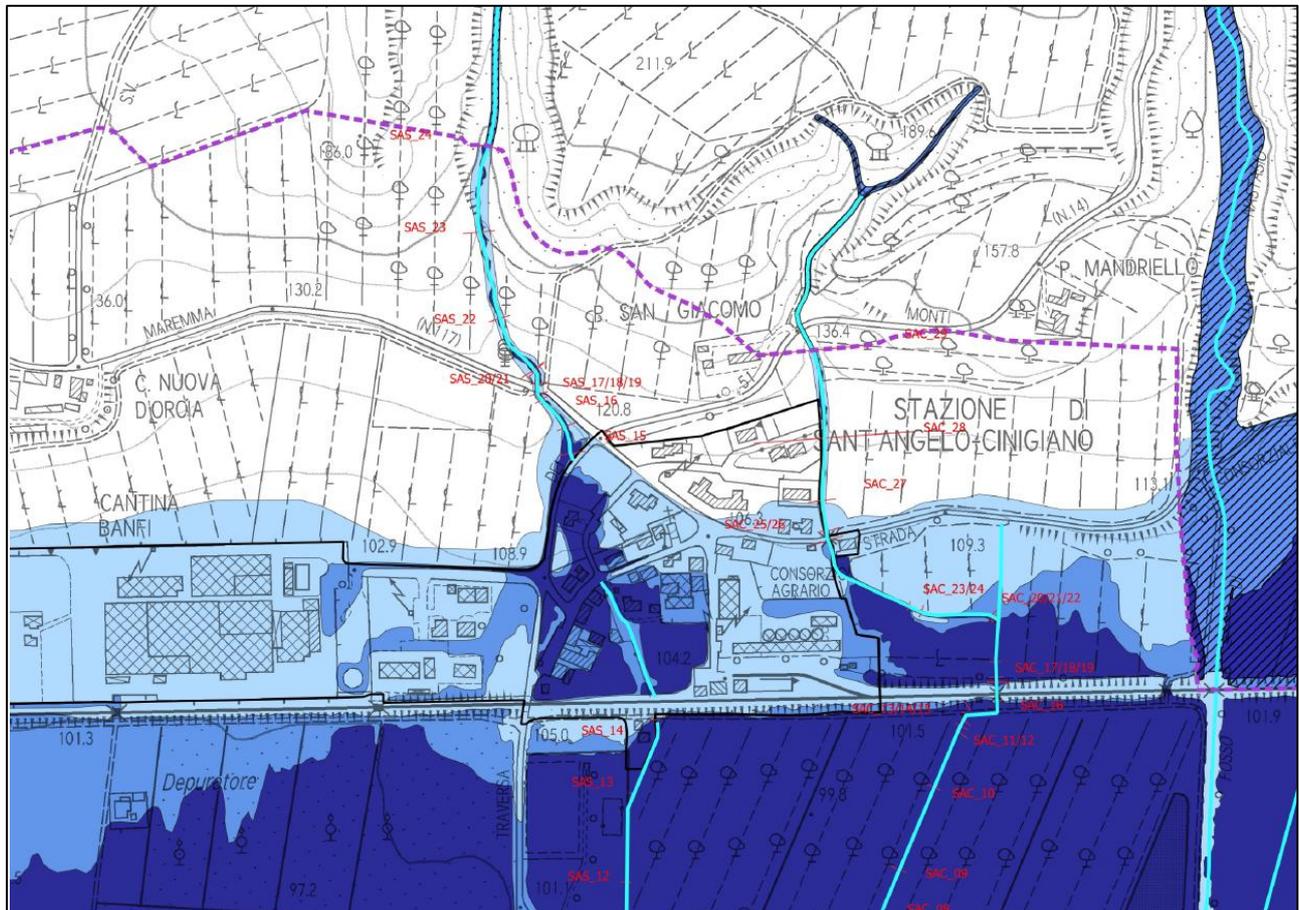
Legenda	Proposta di modifica del PGRA	PGRA di Stato Attuale
Confini Comunali	P1 - Pericolosità da alluvione bassa	P1 - Pericolosità da alluvione bassa
Area di studio	P2 - Pericolosità da alluvione media	P2 - Pericolosità da alluvione media
	P3 - Pericolosità da alluvione elevata	P3 - Pericolosità da alluvione elevata

**Figura 7-52** - Confronto pericolosità a seguito dell'aggiornamento della geometria del ponte della SP117 sul Torrente Spagnola

All'altezza della confluenza del T. Spagnola si hanno allagamenti in entrambi i lati del F. Orcia, dovuto alla presenza di vaste zone prevalentemente pianeggianti.

Lungo il corso d'acqua si hanno due rilevati arginali, uno posto subito a valle del ponte che non viene sormontato né per il Tr30 né per il Tr200, l'altro rilevato arginale, posto dopo la confluenza con il Torrente Spagnola, viene sormontato solo per eventi duecentennali.

In Figura 7-53 è riportato un dettaglio dei risultati delle modellazioni idrauliche a Sant'Angelo Scalo. L'area è interessata da allagamenti sia per Tr<sub>30</sub> che per Tr<sub>200</sub>, sia nella zona di monte che in quella di valle dei due corsi d'acqua, dovuta principalmente al rigurgito delle piene del Fiume Orcia nel tratto finale.



**Legenda**

- Confine Comunale
- Area di studio
- Territorio Urbanizzato
- Aree di fondovalle
- Sezioni oggetto di modellazione idraulica
- Rete idrografica della regione Toscana di cui al DGRT 1059/2003

**Aree a pericolosità da alluvione - da PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale o dati inventariali**

- P1 - aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (eventi di piena con  $Tr \geq 200$  anni / fondovalle alluvionale)
- P2 - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (30 anni <  $Tr \leq 200$  anni)
- P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti ( $Tr \leq 30$  anni)

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

- P2 - aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (30 anni <  $Tr \leq 200$  anni)
- P3 - aree a pericolosità per alluvioni frequenti ( $Tr \leq 30$  anni)

**Figura 7-53** – Dettaglio sull'abitato della pericolosità idraulica da modello idraulico dell'area di Sant'Angelo Scalo

Gli allagamenti a valle della ferrovia, per entrambi i corsi d'acqua studiati, sono imputabili alle esondazioni dell'Orcia.

Nei tratti di monte, invece, si hanno criticità dovute ad i vari attraversamenti che si incontrano lungo il tragitto. Il TS35134 presenta a monte della ferrovia criticità idrauliche dovute alle esondazioni create da vari attraversamenti (Figura 7-55), che non risultano adeguati a smaltire le portate di piena sia trentennali che duecentennali, causando allagamenti nelle aree contermini a prevalente uso agricolo.

Il corso d'acqua TS78736, invece, presenta significative criticità dal tratto tombato che inizia a monte dell'attraversamento sulla SP14. L'insufficienza della sezione del tratto tombato (si veda Figura 7-54) genera ampie criticità nell'abitato di S. Angelo Scalo e nelle aree limitrofe all'azienda agricola Banfi. I volumi di acqua esondati interessano la viabilità provinciale e comunale e le pubbliche abitazioni sia per Tr<sub>30</sub> anni che per Tr<sub>200</sub> anni. L'assenza di sottoattraversamenti della ferrovia nei pressi del fosso TS35134 e il rilevato ferroviario stesso non permettono ai volumi di defluire verso il recettore naturale (il F. Orcia) causando le criticità di cui sopra.

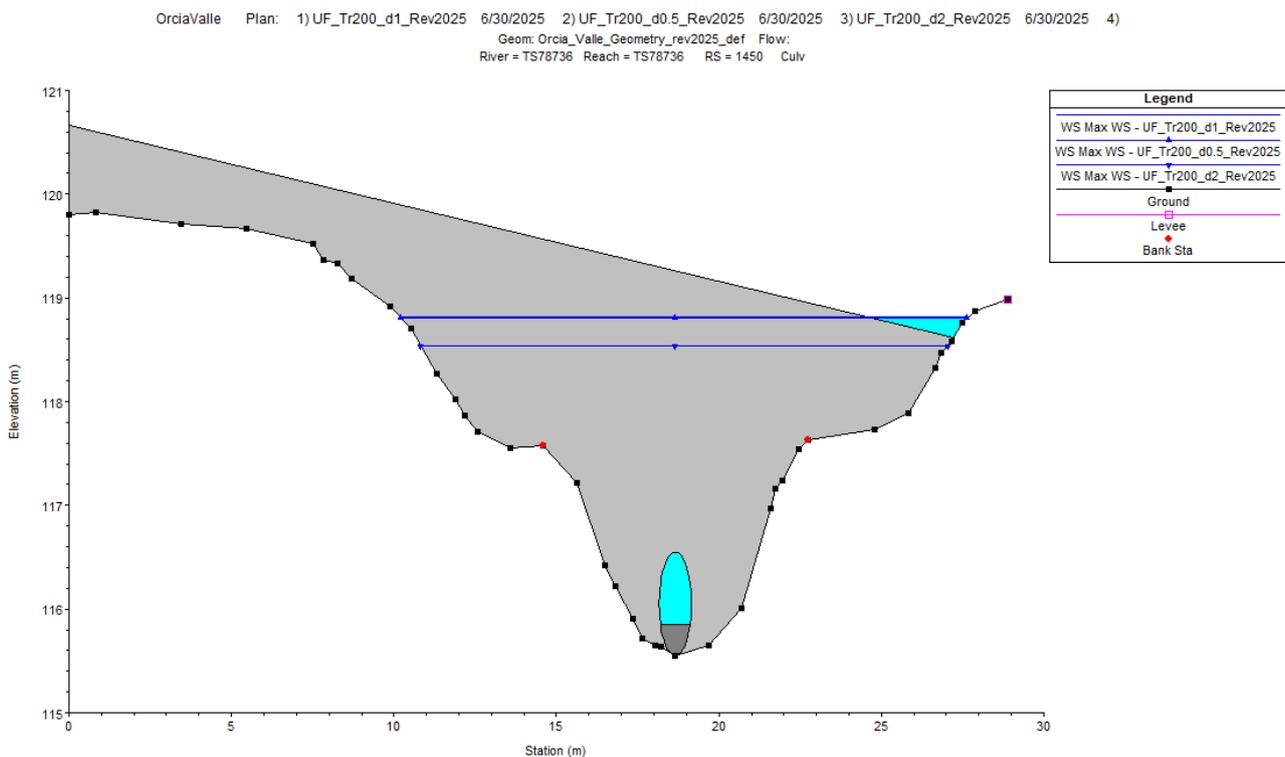
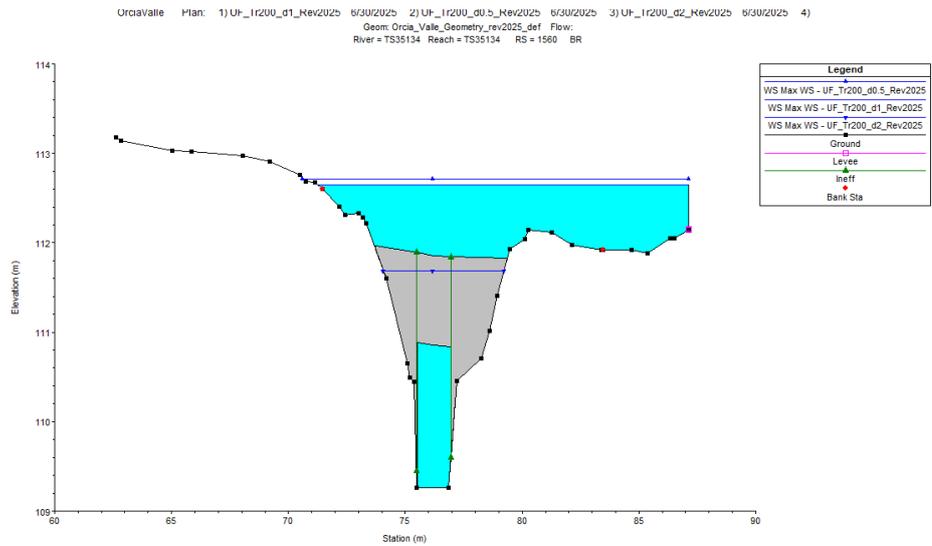


Figura 7-54 – Risultati attraversamenti su TS78736

**Attraversamento su SP14**

Sormonto = 0.88 mt

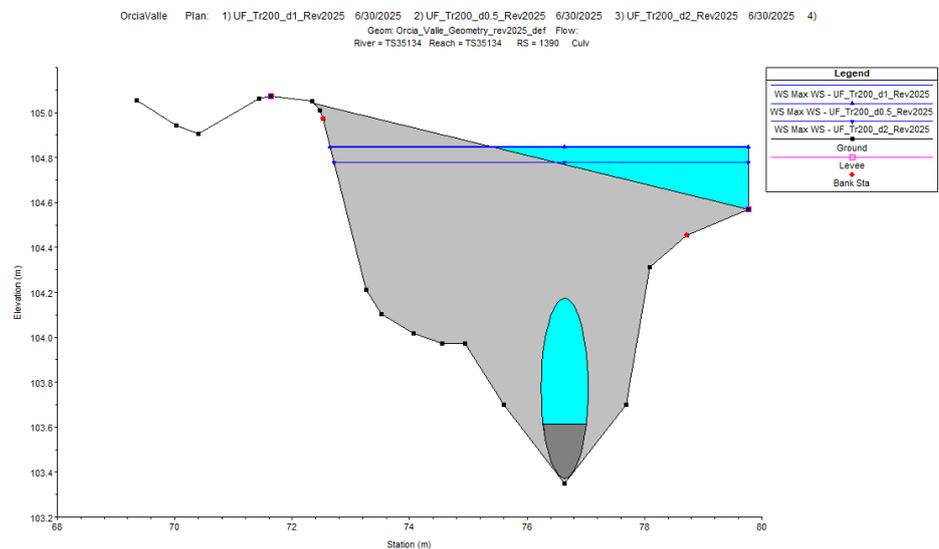
Sezione: SAC25/26



**Attraversamento campestre**

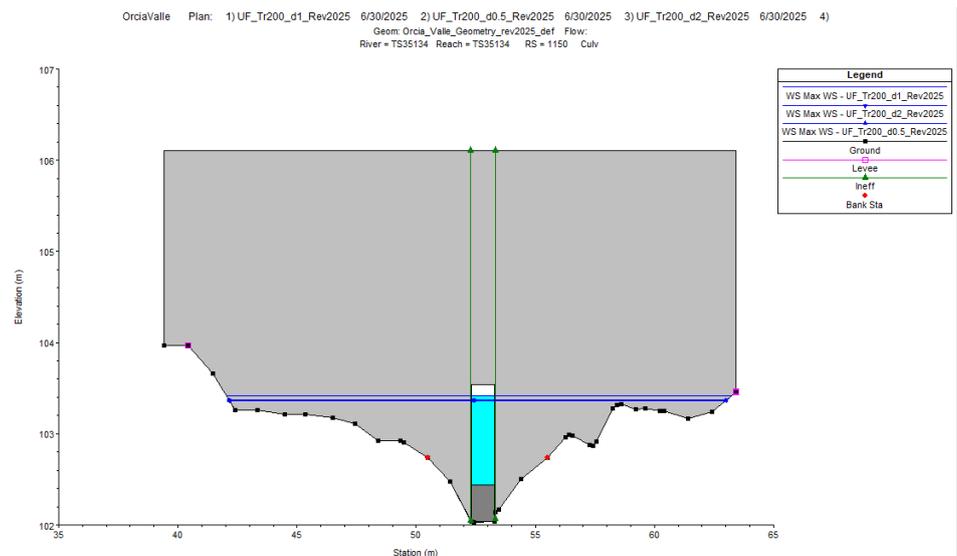
Sormonto = 0.24 mt

Sezione: SAC23/24



**Attraversamento ferroviario**

Sezione: SAC17/16



**Figura 7-55 – Risultati attraversamenti su TS35134**

## 8 MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ D'ALLUVIONE

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

- Aree a pericolosità d'alluvione frequente (per  $Tr \leq 30$  anni) – P<sub>3</sub>;
- Aree a pericolosità d'alluvione poco frequente ( $30 < Tr \leq 200$  anni) – P<sub>2</sub>;
- Aree a pericolosità d'alluvione rara o di estrema intensità ( $200 < Tr \leq 500$  anni) – P<sub>1</sub>;

Per i tratti di corso d'acqua oggetto di modellazione le perimetrazioni delle classi di pericolosità sopra definite sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche espone in precedenza per le durate critiche individuate, riportando tali perimetrazioni in scala adeguata su Cartografia Tecnica Regionale.

All'interno dell'area di studio sono state ridefinite le condizioni di pericolosità idraulica per P<sub>2</sub> – pericolosità media e P<sub>3</sub> – pericolosità elevata alla luce dei nuovi studi idraulici; in tali aree l'Amministrazione Regionale competente, acquisiti gli studi idraulici di supporto al Piano Strutturale del Comune di Montalcino, procederà all'aggiornamento delle mappe del PGRA.

Al di fuori dell'area di studio per le condizioni di pericolosità idraulica per P<sub>2</sub> – pericolosità media e P<sub>3</sub> – pericolosità elevata non si prevedono modifiche al PGRA, che quindi sarà mantenuto come quello vigente.

Per quanto riguarda le aree P<sub>1</sub> – pericolosità bassa, in generale è sempre stato mantenuto lo strato informativo del PGRA vigente. All'interno dell'area di studio sono stati comunque condotti alcuni minimi aggiustamenti su base morfologica e/o storico inventariale, alla luce dell'esito dei nuovi studi idraulici.

Con specifico riferimento all'area di Sant'Angelo Scalo gli studi idraulici di supporto al PS hanno acquisito il più recente aggiornamento del PGRA fatto salvo alcune modifiche in termini di pericolosità idraulica nelle aree contermini al T. Spagnola, da ricondursi alla realizzazione di un nuovo attraversamento sulla SP117.

I risultati delle modellazioni idrauliche in termini di pericolosità idraulica sono riportati nelle carte di pericolosità in scala 1:5.000 denominate IDR\_03\_Carta pericolosità per alluvioni (tre tavole).

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

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

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

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

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

Le modellazioni bidimensionali eseguite HEC-RAS 5.0.7 hanno permesso di definire la magnitudo idraulica sulla base dei valori dei battenti e delle velocità ricavata dall'esecuzione del codice di calcolo e restituito in formato raster su cartografia, in accordo con la bozza delle specifiche regionali del gruppo di lavoro sulla LR 41/2018.

I risultati delle modellazioni idrauliche in termini di battenti, velocità e magnitudo nelle carte di pericolosità in scala 1:5.000 denominate:

- IDR\_04\_Carta dei battenti
- IDR\_05\_Carta della velocità della corrente
- IDR\_06\_Carta della magnitudo idraulica

## 10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In sintesi, per la realizzazione del presente studio si sono svolte le seguenti attività:

- Attività sul campo, consistenti in sopralluoghi delle aree oggetto dello studio e reperimento della documentazione fotografica riportata nei capitoli precedenti;
- Modellazione idrologica, tramite software HEC-HMS con applicazione del modello di infiltrazione dell'SCS-CN e di formazione dell'onda di piena (SCSC-CN);
- Modellazione idraulica 1D e 2D con HEC-RAS 5.0.7;
- Redazione degli elaborati grafici delle mappe di pericolosità, battenti, velocità e magnitudo.

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

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

Occorre osservare che i risultati del presente studio sono vincolati al mantenimento delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico; eventuali 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 allo Strumento Urbanistico Generale, delle variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali e artificiali interferenti con le aree investigate. Non sono inclusi gli aspetti di pericolosità prodotti da collassi strutturali (argini, ponti...).

Arezzo, Luglio 2025

Geol. Fabio Poggi

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Matteo Frasconi

I professionisti incaricati

Geol. Massimiliano Rossi

Ing. Mirko Frasconi