

Comune di Montalcino

PIANO STRUTTURALE

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Ottobre 2023

Piano Strutturale

progetto:

Roberto Vezzosi (capogruppo)

Stefania Rizzotti, Idp studio

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

Laura Galmacci, Nicolò Batistoni

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

Stefano Campana

Valentina Vettori

Flavia Giallorenzo, Martina Romeo, Letizia Rossignolo, Massimo Tofanelli

Maria Rita Cecchini e Arianna Gagliotta (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.....	5
3 CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO	6
3.1 Inquadramento Generale.....	6
3.2 Inquadramento geomorfologico.....	7
3.3 Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio.....	8
3.4 Individuazione dei Bacini Idrografici.....	10
4 RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO	12
5 ANALISI IDROLOGICA	13
5.1 Impostazione del metodo di analisi	14
5.2 Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....	14
5.2.1 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica puntuali.....	14
5.2.2 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica areali.....	18
5.3 Pioggia effettiva.....	24
5.3.1 Modello di infiltrazione - Metodo SCS-CN	24
5.3.2 Determinazione del CN III.....	28
5.4 Portate di progetto. Trasformazione afflussi/deflussi	31
5.4.1 Modello SCS Idrogramma Unitario	31
5.4.2 Modello Kinematic Wave.....	32
5.4.3 Stima del <i>lag time</i>	33
5.4.4 Risultati della modellazione idrologica	33
6 ANALISI IDRAULICA.....	35
6.1 Descrizione della modellazione idraulica	35
6.2 Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 5.0.7.....	35
6.3 Modellazioni idrauliche bidimensionali - HEC-RAS 5.0.7	36
7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE.....	39
7.1 Modello "Montisi"	40
7.2 Modello "ASSO"	42

7.3	Modello "Orcia_Intermedio"	48
7.4	Modello "Cinigiano"	52
7.5	Modello "OrciaValle"	57
8	CONSIDERAZIONI MORFOLOGICHE.....	64
9	MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITÀ D'ALLUVIONE	67
10	MAPPA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLA MAGNITUDO IDRAULICA.....	68
11	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	69

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 dal regolamento d'attuazione di cui all'art. 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, approvato con DPGR del 30 gennaio 2020 n. 5/R.

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 1061/2023.

Ai sensi della LR41/2018 e del Regolamento 5/R/2020 saranno definite le condizioni di pericolosità idraulica all'interno del territorio urbanizzato tramite la seguente classificazione:

- P₃ - 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;
- P₂ - 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;
- P₁ - 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 $200 < Tr \leq 500$ anni

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 $200 < Tr \leq 500$ anni sono definite sulla base della perimetrazione P₁ di PGRA dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'appennino Settentrionale (AdBDAS).

Al di fuori delle aree urbanizzate, ai sensi delle direttive tecniche del Regolamento 5/R/2020, sono realizzate le seguenti cartografie:

- 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.
- 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 del Regolamento 5/R/2020, vale quanto segue:

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

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 sulla SP117.

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 nel Regolamento 1/R/2020. Tali corsi d'acqua sono riportati nella tabella seguente (Tabella 2-1) 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. Nell'occasione è stato aggiornato il modello geometrico relativamente all'attraversamento sulla SP117.

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 1061/2023	Studi idraulici pregressi	Nuovo Modello idrologico	Nuovo Modello idraulico
TS17711		X	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).

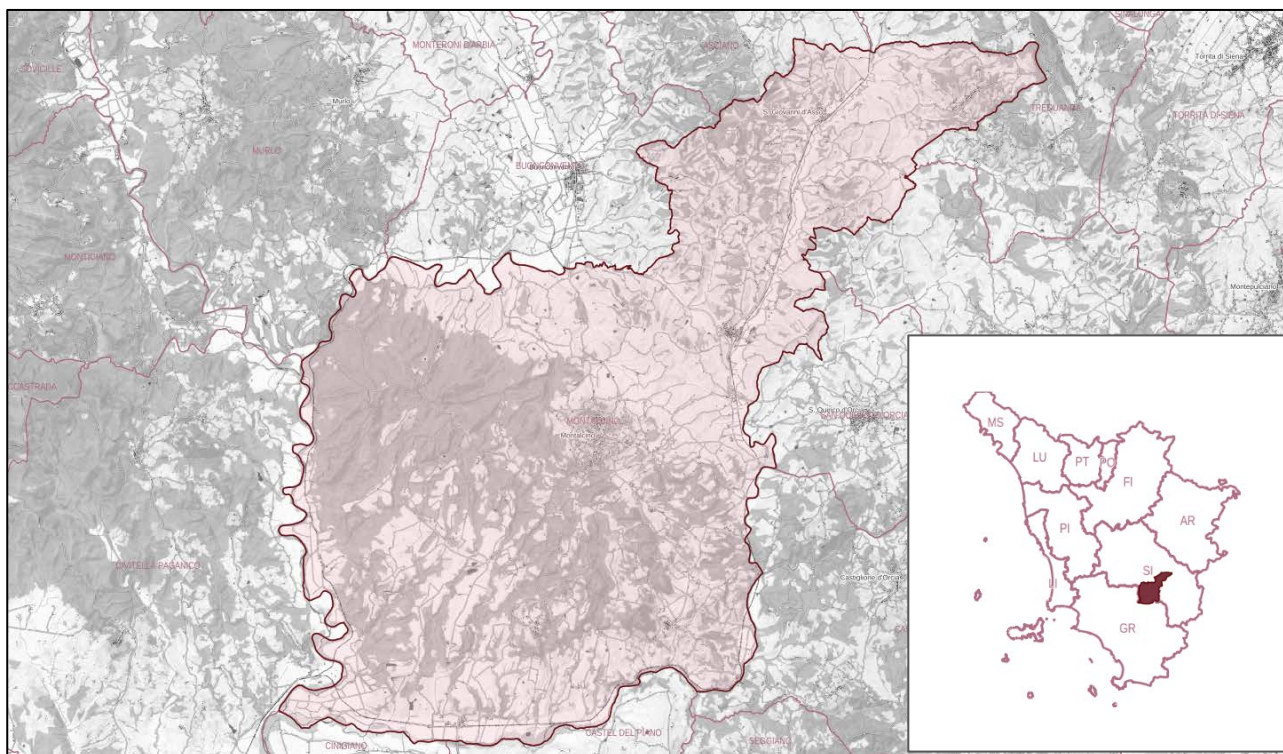


Figura 3-1 - Individuazione del Comune di Montalcino (cartografia 50k della Regione Toscana).

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.

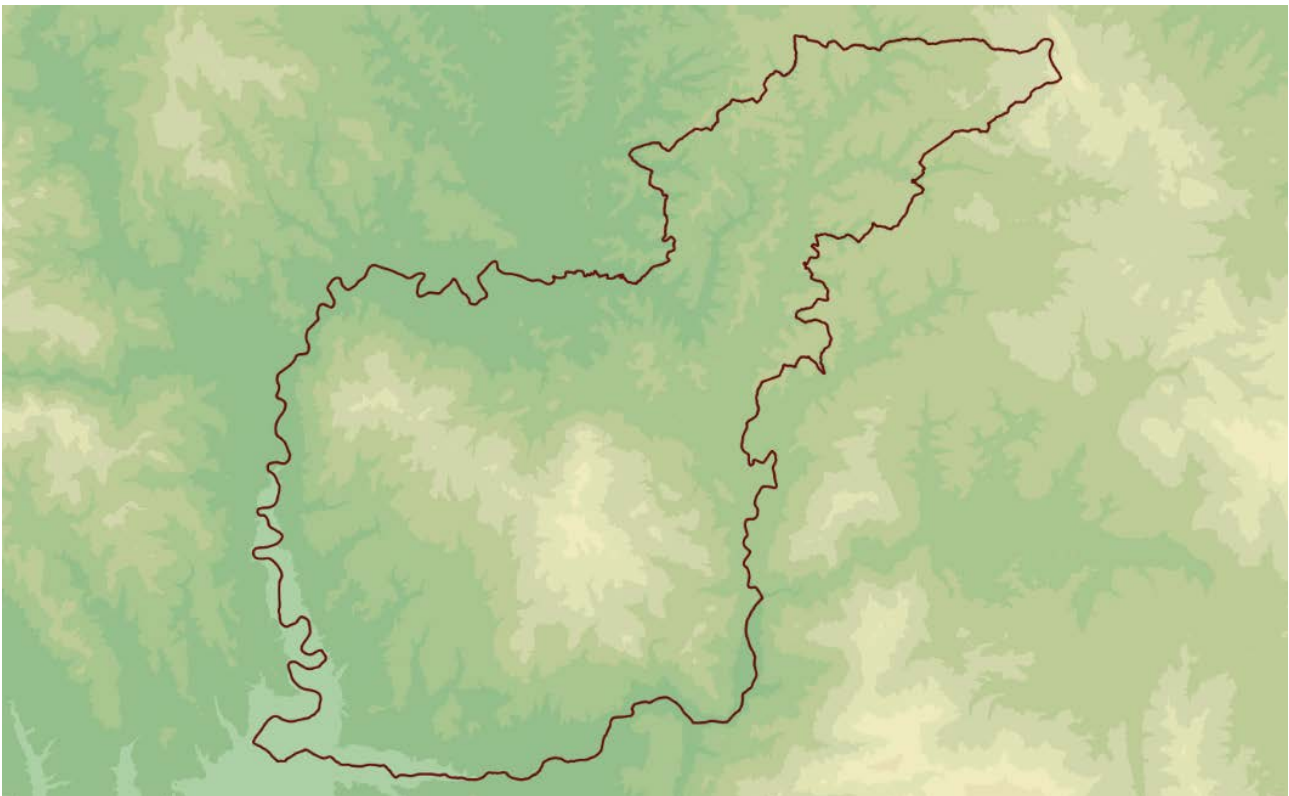


Figura 3-2 – Vista morfologica dell'area del Comune di Montalcino (Dati: DTM morfologico 10 m Regione Toscana), in rosso scuro il confine comunale

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 1061/2023 (Figura 3-3).

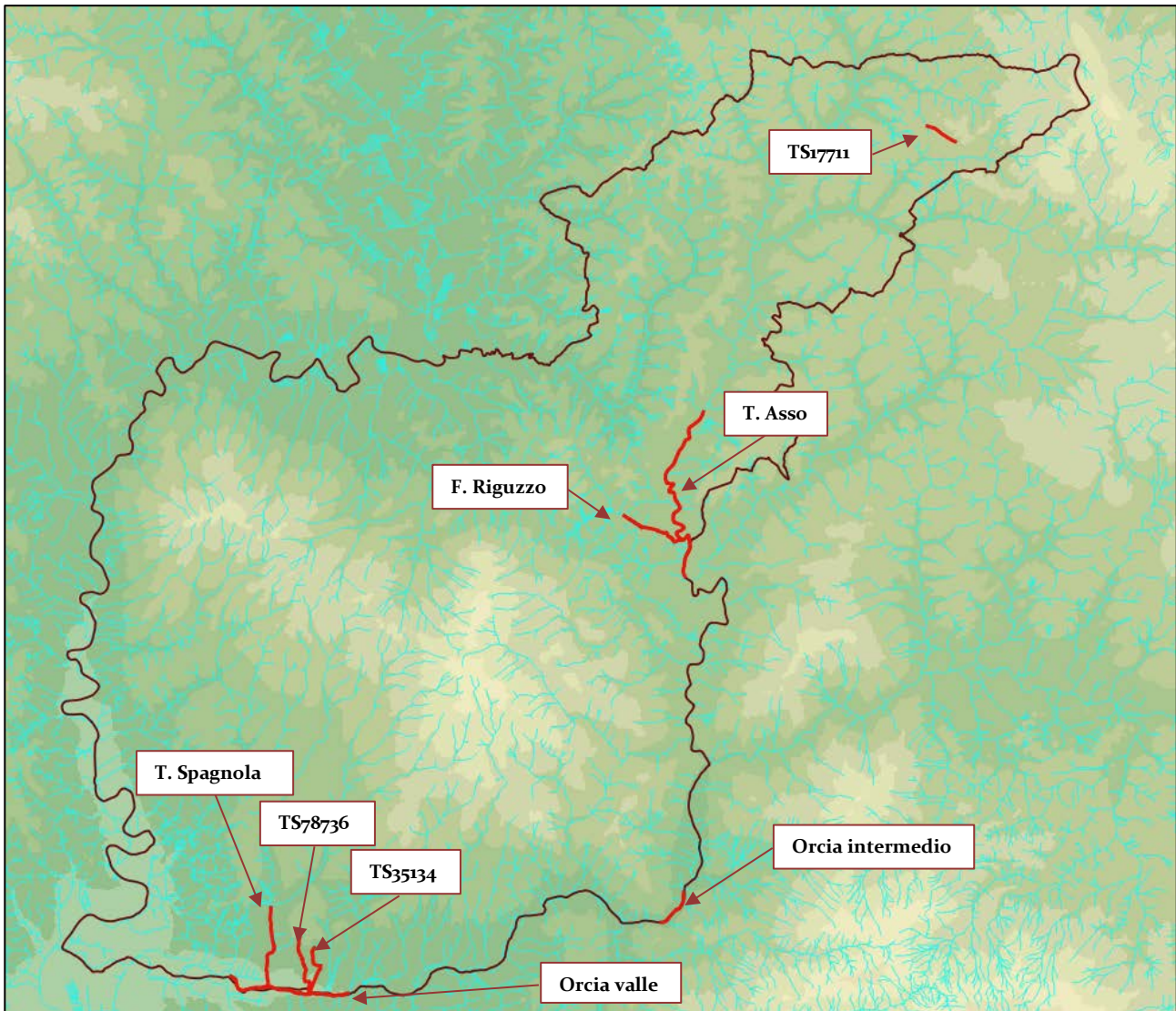


Figura 3-3 – inquadramento idrografico del Comune di Montalcino di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 1061/2023, in rosso le aste idriche oggetto di studio, in celeste quelle di tutto il reticolo, in bordeaux il confine comunale.

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.

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 1061/2023	Lunghezza tratto con modello idraulico (m)
TS17711	835
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 (km²)
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
	TOTALE	832.50

Tabella 3-2 - Caratteristiche dei bacini di studio.

Sulla base dei bacini idrografici così definiti, è stato possibile individuare gli idrogrammi di piena per T_{r30} e T_{r200} 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 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 modifica del P.G.R.A, svolto per conto della committenza Soc. Agr. Banfi S.r.l.

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.

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 dal DPGR 25/11/2011 nr. 53/R) 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 ietogramma di progetto: scelta della durata critica dell'evento e della distribuzione temporale delle precipitazioni;
- stima delle perdite e della pioggia effettiva, che rappresenta il volume d'acqua che raggiunge per ruscellamento superficiale la rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura, determinando l'evento di piena;
- schematizzazione della risposta del singolo bacino idrografico alle sollecitazioni meteoriche, in funzione delle proprie caratteristiche fisiografiche e combinazione di tale risposta con la pioggia netta per stimare le portate di progetto.

-

Per svolgere le analisi idrologiche su tutti i bacini oggetti dello studio, si è fatto uso del software HEC-HMS ver. 5.0.7 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.

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 μ 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.

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).

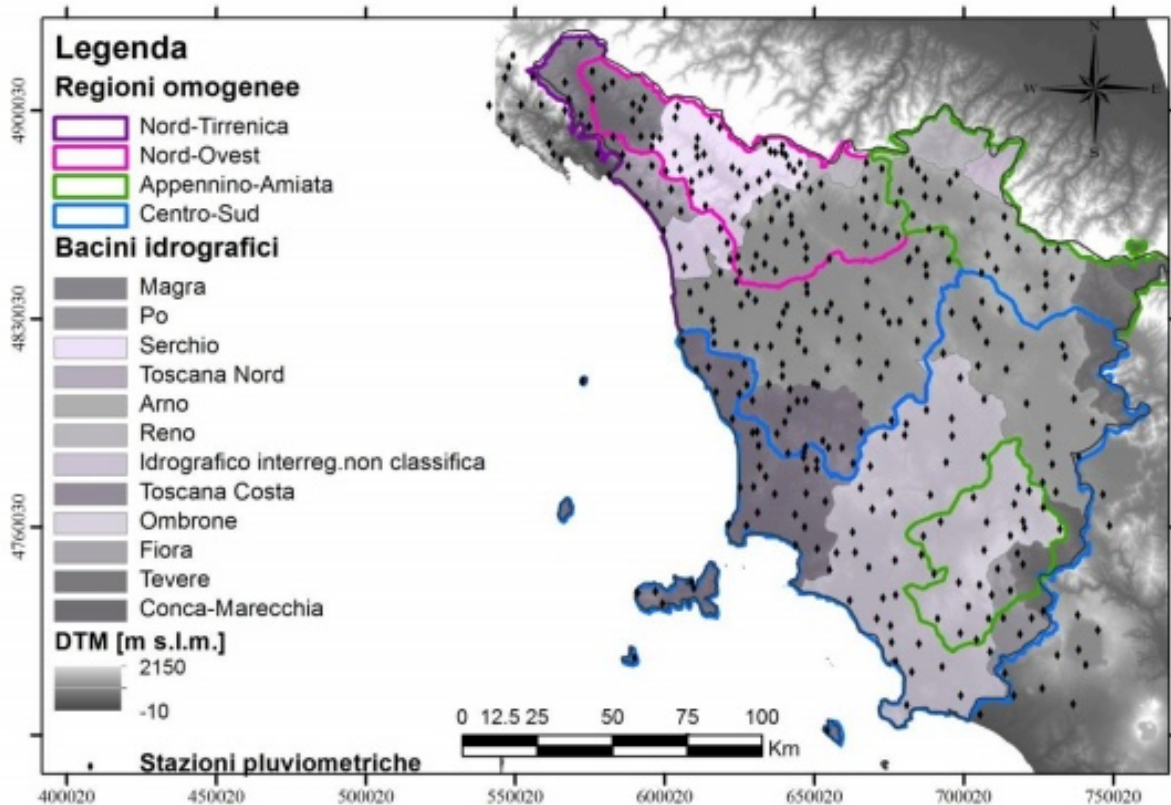


Figura 5-1 - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

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

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 μ per le diverse durate ed il fattore di crescita adimensionale KT per i diversi tempi di ritorno validi per ognuna delle 4 regioni individuate nello studio in oggetto.

Per quanto qui di interesse, nello studio "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012" la previsione quantitativa dei valori estremi di pioggia in un determinato punto è stata effettuata anche attraverso la determinazione della curva o linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

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).

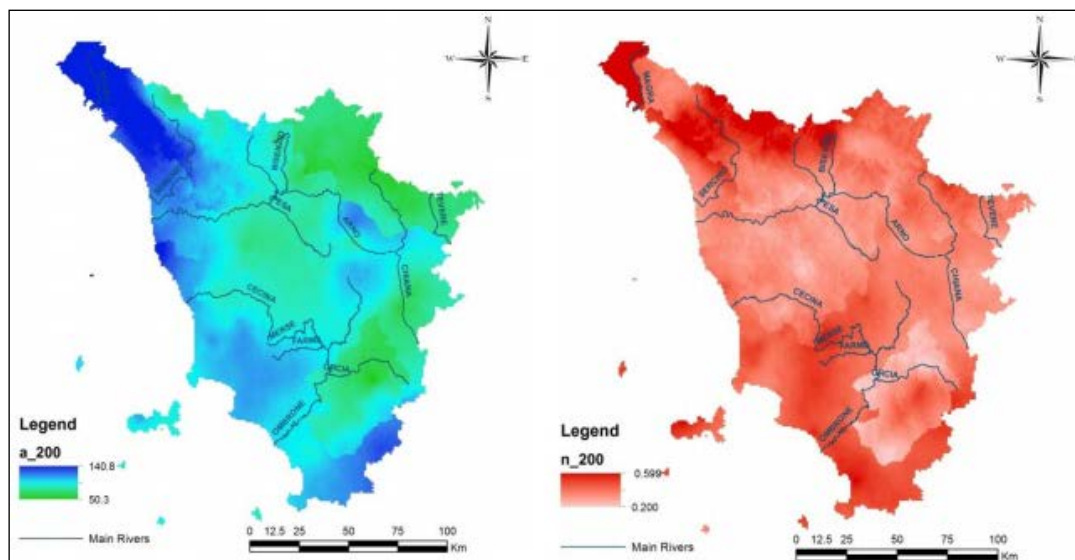


Figura 5-2 - Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (sinistra) e "n" (destra) della LSPP per Tr 200 anni. - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

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;

- sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi di interesse e ne è stato creato un file apposito;
- 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 (*) 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.

Macroarea		ID	Bacino idrografico	Area (km2)	a30 [mm/hn]	n30	a200 [mm/hn]	n200
Asso	Orcia Intermedio	B01	Orcia Interbacino	2.57	48.148	0.244	60.599	0.276
		B02	Spagnola (*)	27.94	51.334	0.225	65.53	0.257
		B03	TS78736	0.63	48.148	0.244	60.599	0.276
		B04	TS35134	0.49	48.148	0.244	60.599	0.276
		B05	Orcia (*)	801.34	48.074	0.244	60.549	0.277
		B06	Orcia Intermedio	585.68	48.148	0.244	60.599	0.276
		B07	Asso Interbacino	2.43	47.799	0.231	60.191	0.263
	Orcia Valle	B08	Riguzzo	6.64	48.733	0.212	61.462	0.244
		B09	Asso	127.79				
		B10	TS17711	0.49				

(*) 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

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 raggugliato al bacino per mezzo di un coefficiente Kr 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 [km²] è l'area del bacino.

Il valore della durata critica e, quindi, del coefficiente di ragguglio 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.

In Tabella 5-2 e Tabella 5-3 sono riportati i valori calcolati del Kr su scala di sistema singolo (Kr relativo al solo bacino idrografico) e sistema globale (Kr relativo alle macroaree) e nella Tabella 5-4, Tabella 5-5, Tabella 5-6, Tabella 5-7 il relativo valore dello spessore di pioggia per le varie durate indagate.

Macroarea			Kr – sistema globale											
Macroarea	Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h		
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	0.603	0.667	0.729	0.765	0.789	0.821	0.851	0.871	0.885	0.896	
			B04											TS78736
			B06	Orcia Intermedio	0.605	0.668	0.730	0.766	0.789	0.822	0.852	0.871	0.885	0.896
			B07	Asso Interbacino	0.704	0.752	0.798	0.825	0.843	0.867	0.889	0.904	0.914	0.923
			B08	Riguzzo										
			B09	Asso										
			B10	TS17711										

Tabella 5-2 - Coefficiente di ragguglio areale globale

			Kr – sistema singolo											
Macroarea	Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h		
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	TS78736	0.997	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	
			B04	TS35134	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
			B06	Orcia Intermedio	0.604	0.668	0.730	0.765	0.789	0.821	0.851	0.871	0.885	0.896
			B07	Asso Interbacino	0.990	0.992	0.993	0.994	0.995	0.996	0.996	0.997	0.997	0.997
			B08	Riguzzo	0.974	0.979	0.983	0.985	0.986	0.988	0.990	0.992	0.993	0.994
			B09	Asso	0.714	0.759	0.805	0.830	0.847	0.871	0.893	0.906	0.917	0.925
			B10	TS17711	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999

Tabella 5-3 - Coefficiente di ragguglio areale singolo

TR30			Altezza di pioggia netta [mm] – sistema globale											
Macroarea	Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h		
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	TS78736	24.54	32.12	41.61	48.15	53.28	61.22	40.06	76.89	82.52	87.35
			B04	TS35134										
			B06	Orcia Intermedio	24.62	31.93	40.98	47.16	51.98	59.41	67.62	73.93	79.11	83.54
			B07	Asso Interbacino	29.64	36.64	45.06	50.71	55.07	61.71	68.98	74.52	79.04	82.89
			B08	Riguzzo										
			B09	Asso										
			B10	TS17711										

Tabella 5-4 – Altezza di pioggia netta per evento con Tr 30 anni, sistema globale

TR30			Altezza di pioggia netta [mm] – sistema singolo											
Macroarea	Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h		
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	TS78736	44.66	52.09	60.74	66.46	70.84	77.50	84.79	90.38	94.96	98.88
			B04	TS35134	44.69	52.12	60.77	66.48	70.86	77.52	84.81	90.39	94.97	98.89
			B06	Orcia Intermedio	24.62	31.93	40.98	47.16	51.98	59.41	67.62	73.93	79.11	83.54
			B07	Asso Interbacino	42.22	48.74	56.26	61.19	64.95	70.63	46.80	81.51	83.35	88.62
			B08	Riguzzo	42.98	49.53	57.07	62.00	65.74	71.40	77.54	82.20	86.00	89.24
			B09	Asso	29.97	36.96	45.36	51.00	55.35	61.98	69.23	74.77	79.29	83.13
			B10	TS17711	41.19	47.79	55.44	60.48	64.32	70.16	76.53	81.40	85.38	88.78

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

TR200			Altezza di pioggia netta [mm] – sistema globale											
Macroarea			Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	TS78736	30.21	40.43	53.54	62.76	70.08	81.58	94.57	104.75	113.23	120.55
			B04	TS35134										
			B06	Orcia Intermedio	30.33	40.21	52.76	61.51	68.43	79.23	91.35	100.80	108.65	115.40
			B07	Asso Interbacino	36.55	46.21	58.12	66.28	72.64	82.49	93.42	101.88	108.85	114.82
			B08	Riguzzo										
			B09	Asso										
			B10	TS17711										

Tabella 5-6 – Altezza di pioggia netta per evento con Tr 200 anni, sistema globale

TR200			Altezza di pioggia netta [mm] – sistema singolo											
Macroarea			Codice	Bacino Idrografico	0.5 h	1h	2h	3h	4h	6h	9h	12h	15h	18h
Asso	Orcia Intermedio	Orcia Valle	B03	TS78736	54.93	65.48	78.05	86.49	93.03	103.09	114.24	122.87	130.01	136.15
			B04	TS35134	54.97	65.51	78.08	86.52	93.05	103.11	114.26	122.88	130.02	136.16
			B06	Orcia Intermedio	30.33	40.21	52.76	61.51	68.43	79.23	91.35	100.80	108.65	115.40
			B07	Asso Interbacino	51.93	61.27	72.29	79.63	85.29	93.94	103.47	110.81	116.85	122.03
			B08	Riguzzo	52.86	62.26	73.32	80.68	86.33	94.97	104.46	111.75	117.74	122.87
			B09	Asso	36.96	46.62	58.53	66.68	73.04	82.88	93.81	102.26	109.23	115.21
			B10	TS17711	50.65	60.07	71.23	78.70	84.47	93.32	103.10	110.66	116.90	122.25

Tabella 5-7 – Altezza di pioggia netta per evento con Tr 200 anni, sistema singolo

Le altezze di pioggia per i bacini B01, B02 e B05 sono quindi state riprese dallo studio idrologico-idraulico del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo nel comune di Montalcino. Tale procedimento, approvato con protocollo n. 392450/A del 09/08/2017, che ha conseguentemente portato alla modifica del PGRA, è ritenuto valido anche per il presente studio e ne sono stati ripresi in toto i valori ottenuti dall'analisi idrologica.

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 Km²) 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, caratterizzato da una durata t ed una intensità costante $i(t)$ ricavata dalla LSPP con ragguaglio all'area.

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 di 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.

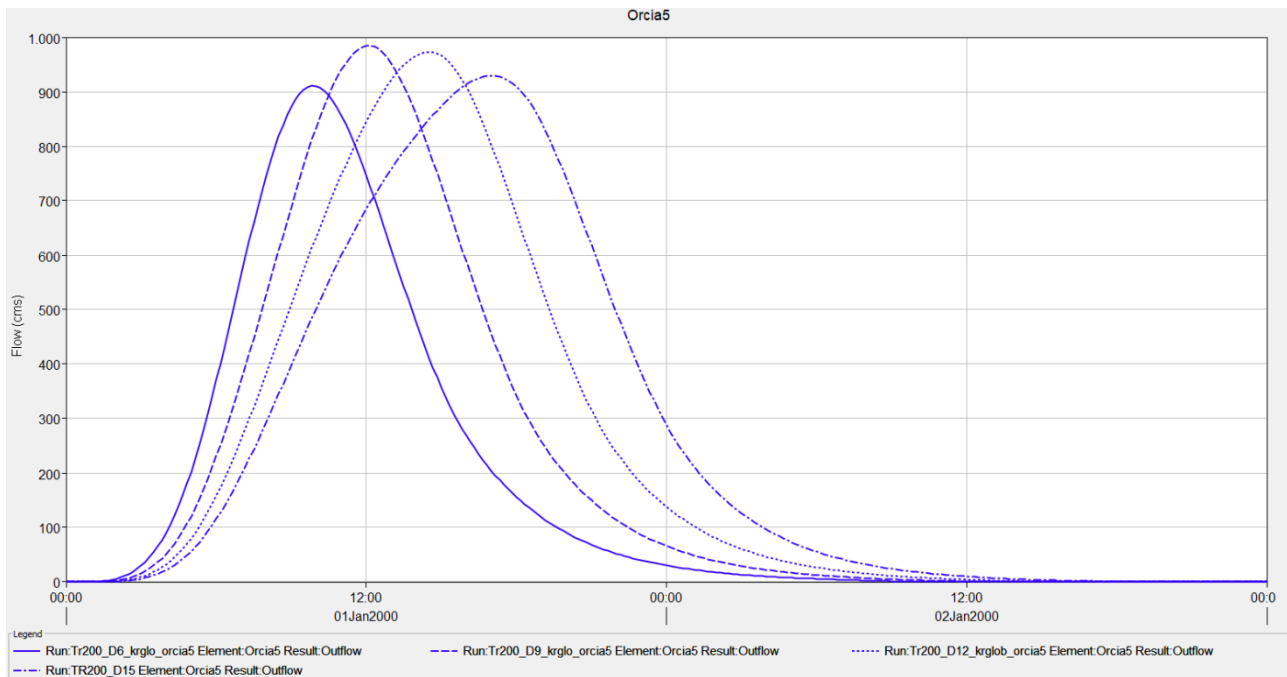


Figura 5-3 – Idrogrammi di piena relativi al Fiume Orcia (Bo6 Orcia Intermedio) per durate di pioggia di 6, 9, 12 e 15 ore (Tr 200 anni)

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:

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

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 API₅ (Antecedent Precipitation Index), ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena. È stato però ben evidenziato che tale criterio non presenta particolare affidabilità per la realtà italiana (Borselli, 1989; Melone et. al., 2001; Brocca et al., 2008a; 2008b; 2008c). Cautelativamente si fa quindi riferimento alla condizione di Tipo III.

In funzione delle caratteristiche idrologiche, i suoli possono essere suddivisi in quattro classi di permeabilità (A, B, C e D); in Tabella 5-8 sono descritte tali categorie dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988), mentre in Tabella 5-9 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 5-8 - 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 5-9 - 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.

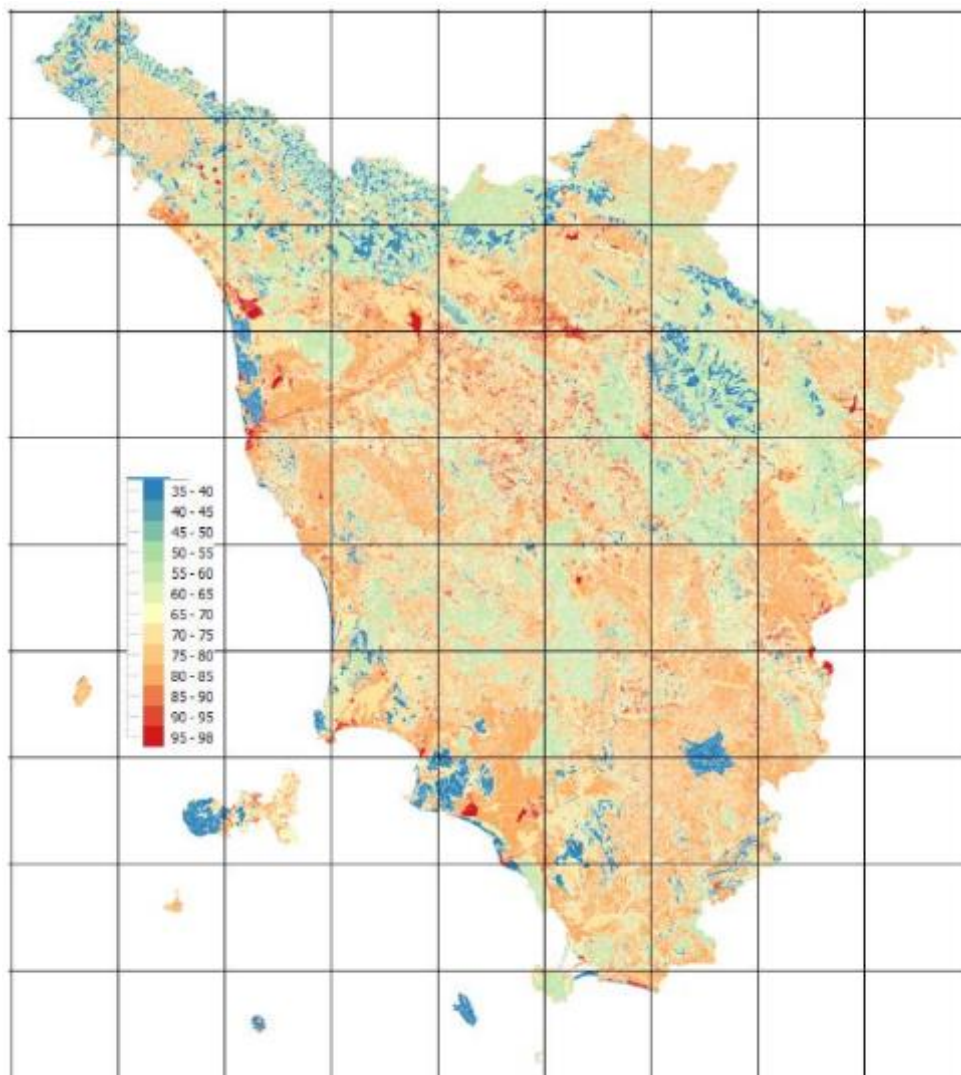


Figura 5-4 – Valori di Curve Number – CNII per la Toscana

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

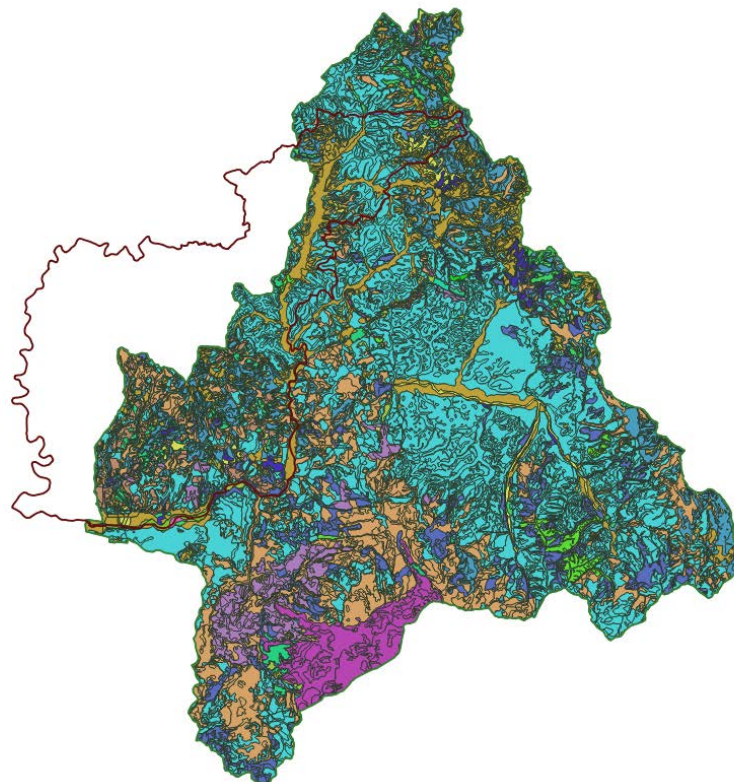


Figura 5-5 – Valori di Curve Number – CNII messi a disposizione dalla Regione Toscana

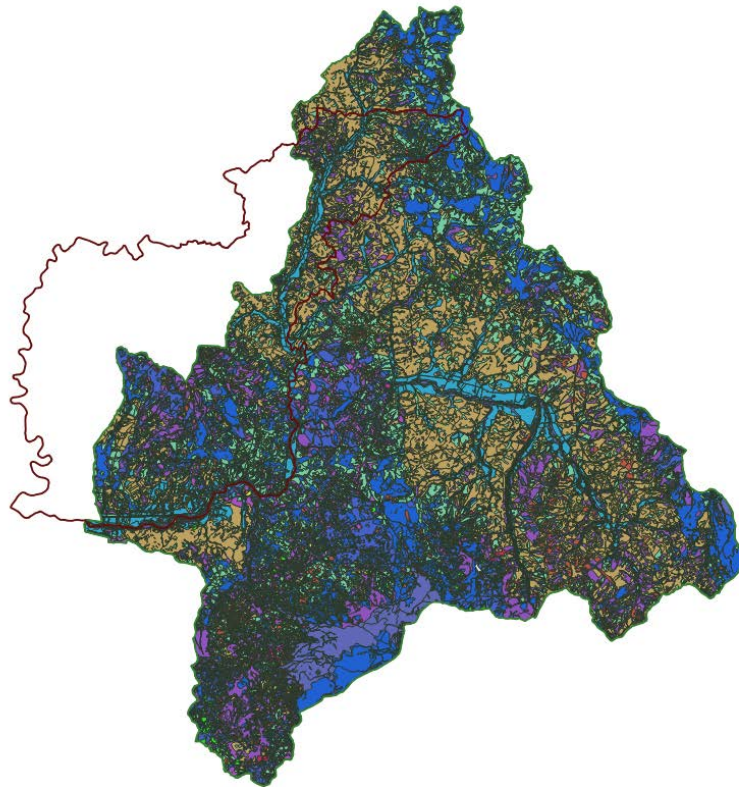
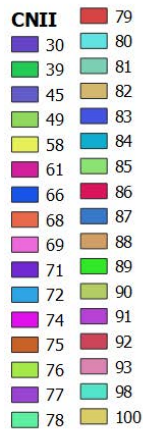


Figura 5-6 – Valori di Curve Number – CNII aggiornati con i dati di uso e copertura del suolo più recenti per i bacini considerati

A questo punto il valore del Curve Number III è definito e riportato in Tabella 5-10. Risultati della modellazione idrologica per i vari bacini.

Macroarea		Codice	Bacino Idrografico	CNIII Regione Toscana	CNIII Aggiornato	CNIII	
Asso	Orcia Intermedio	Orcia valle	B02	Spagnola (*)	-	-	84
			B03	TS78736	87	86	87
			B04	TS35134	85	87	87
			B05	Orcia (*)	-	-	89
			B06	Orcia Intermedio	88	88	88
			B07	Asso Interbacino	90	90	90
			B08	Riguzzo	90	90	90
			B09	Asso	85	87	87
			B10	TS17711	81	89	89

Tabella 5-10 - Risultati della modellazione idrologica

(*) 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

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

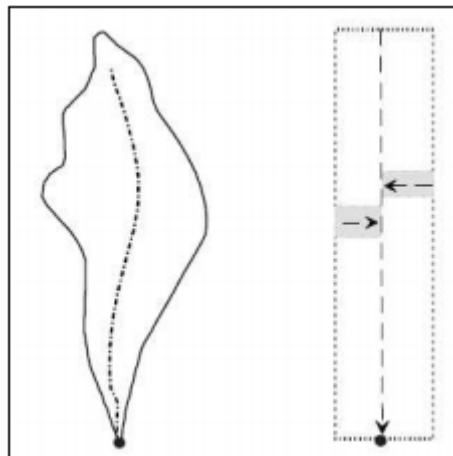
formule empiriche, il secondo deve essere scelto in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino e caratteristico del metodo impiegato. Il PRF è definito dalla seguente relazione

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

intendendo per q_p la portata di picco in [ft³/s], A l'area di drenaggio in [mi²] 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 fondamentale del deflusso in canali a pelo libero: l'equazione di conservazione della quantità di moto e l'equazione di continuità. Il deflusso sui versanti e nei canali è schematizzato secondo un modello monodimensionale.

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

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 $T_{lag} = 0.6 * t_c$.

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.

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.

I risultati delle analisi idrologiche in termini di valore dei picchi degli idrogrammi sono, infine, riportate in Tabella 5-11 per tutti i bacini oggetto di studio.

						Sistema globale		Sistema singolo			
Macroarea	Codice	Bacino Idrografico	Area [km ²]	CN _{III}	LAG [min]	Q _{max,TR30} [m ³ /s]	Q _{max,TR200} [m ³ /s]	Q _{max,TR30} [m ³ /s]	Q _{max,TR200} [m ³ /s]		
Asso	Orcia Intermedio	Orcia valle	B02	Spagnola (*)	28.08	84	72	(**) Tr30 D1h 133.64[m ³ /s], Tr30 D9h 60.98[m ³ /s]; Tr200 D1h 190.25 [m ³ /s], Tr200 D9h 88.69 [m ³ /s].			
			B03	TS78736	0.63	87	22	1.1	1.4	4.8	6.9
			B04	TS35134	0.49	87	17	0.9	1.1	4.5	6.4
			B05	Orcia (*)	800.72	89	466.2	(**) Tr30 D1h 699.92[m ³ /s], Tr30 D9h 1061.98[m ³ /s]; Tr200 D1h 972.69 [m ³ /s], Tr200 D9h 1557.49 [m ³ /s].			
			B06	Orcia Intermedio	585.68	88	352			648.0	984.4
			B07	Asso Interbacino	2.43	90		4.5	6.5		
			B08	Riguzzo	6.64	90	75	11.7	16.8	28.2	39.9
			B09	Asso	127.79	87	283	157.7	240.8		
			B10	TS17711	0.49	89	16			4.6	6.4

Tabella 5-11 - Risultati della modellazione idrologica, i valori assenti di lag time indicano l'utilizzo del metodo kinematic wave per il relativo bacino

(*) 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

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

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.

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".

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, sono stati utilizzati i tiranti idraulici del Fiume Orcia e del T. Asso per i rispettivi affluenti e la normal depth calcolata come pendenza media.

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 6-1). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 6-1, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la mesh si adatta al profilo dell'area.

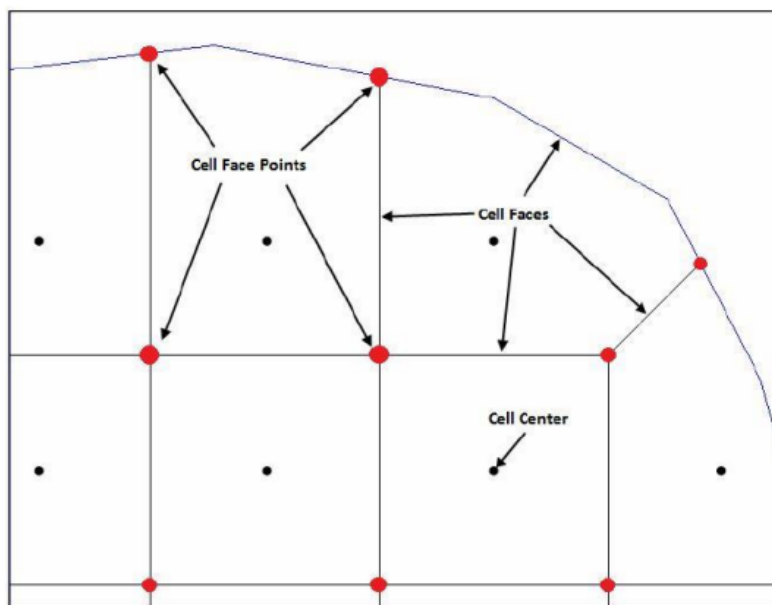


Figura 6-1 - Esempio mesh computazionale HEC-RAS 5.0.7

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 ΔT , 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, ΔT il tempo di calcolo e ΔX 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.

7 RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE

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

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

Per quel che riguarda gli input idrologici utilizzati nei modelli HEC-RAS, si è utilizzato quelli calcolati nei precedenti capitoli, utilizzando per gli affluenti del F. Orcia e del T. Asso oggetto di modellazione e per le durate di pioggia da 0.5 a 4 ore quelli riferiti al “sistema singolo”, in modo da massimizzare gli effetti per gli scenari d'alluvione considerati, mentre per il F. Orcia e per il T. Asso si è fatto riferimento al caso di “sistema globale”.

Per i modelli idraulici dei corsi d'acqua che confluiscono nel F. Orcia di reticolo principale e nel T. Asso di reticolo secondario, si è imposto come condizione di valle una *stage hydrograph* in cui si è assunto il valore massimo del tirante idrico.

Le aste oggetto di studio della modellazione idraulica sono state scelte in base alle zone urbanizzate.

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 5 sezioni rilevate (si veda Figura 7-1 a seguire).



Figura 7-1 - Inquadramento del TS17711

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.

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 12 *cross sections*. Il corso d'acqua è stato modellato in 1D per tutta la sua lunghezza.

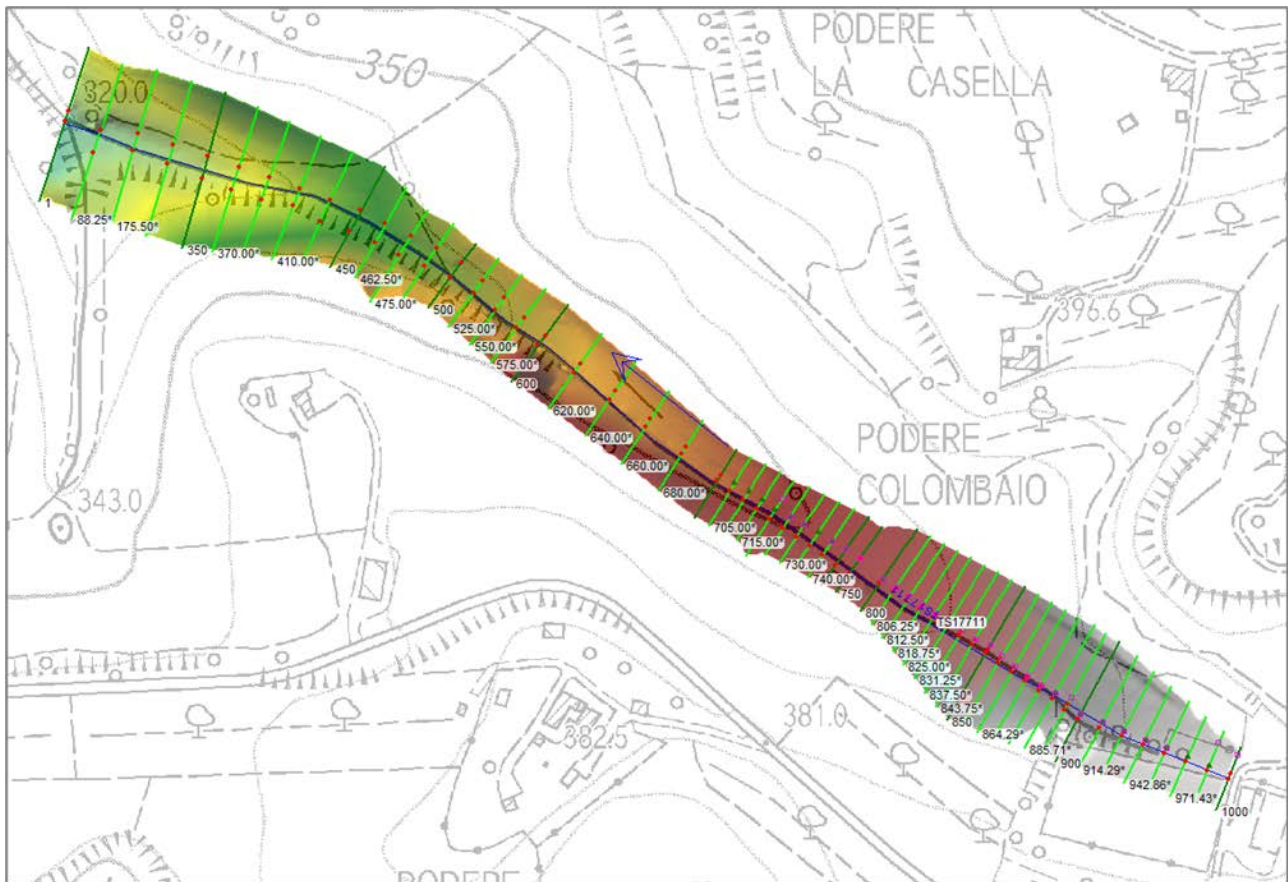


Figura 7-2 - Modello idraulico del TS17711

Le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a $n = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale e 0.06 per le zone golenali (si rimanda agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio).

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*.

Sintesi dei risultati

L'area è soggetta ad allagamenti di entità ridotte, specialmente in zone destinate ad uso agricolo, nella parte di monte; dove invece sono presenti delle zone con insediamenti urbani non si hanno aree a criticità idraulica.

7.2 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 (si veda Figura 7-3 a seguire).



Figura 7-3 - Inquadramento del Torrente Asso e del Fosso Riguzzo

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 documentazione fotografica ottenuta durante apposita campagna di rilievo.



Figura 7-4 – Attraversamenti sul del Torrente Asso

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 7-5 – Attraversamenti sul del Fosso 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*.

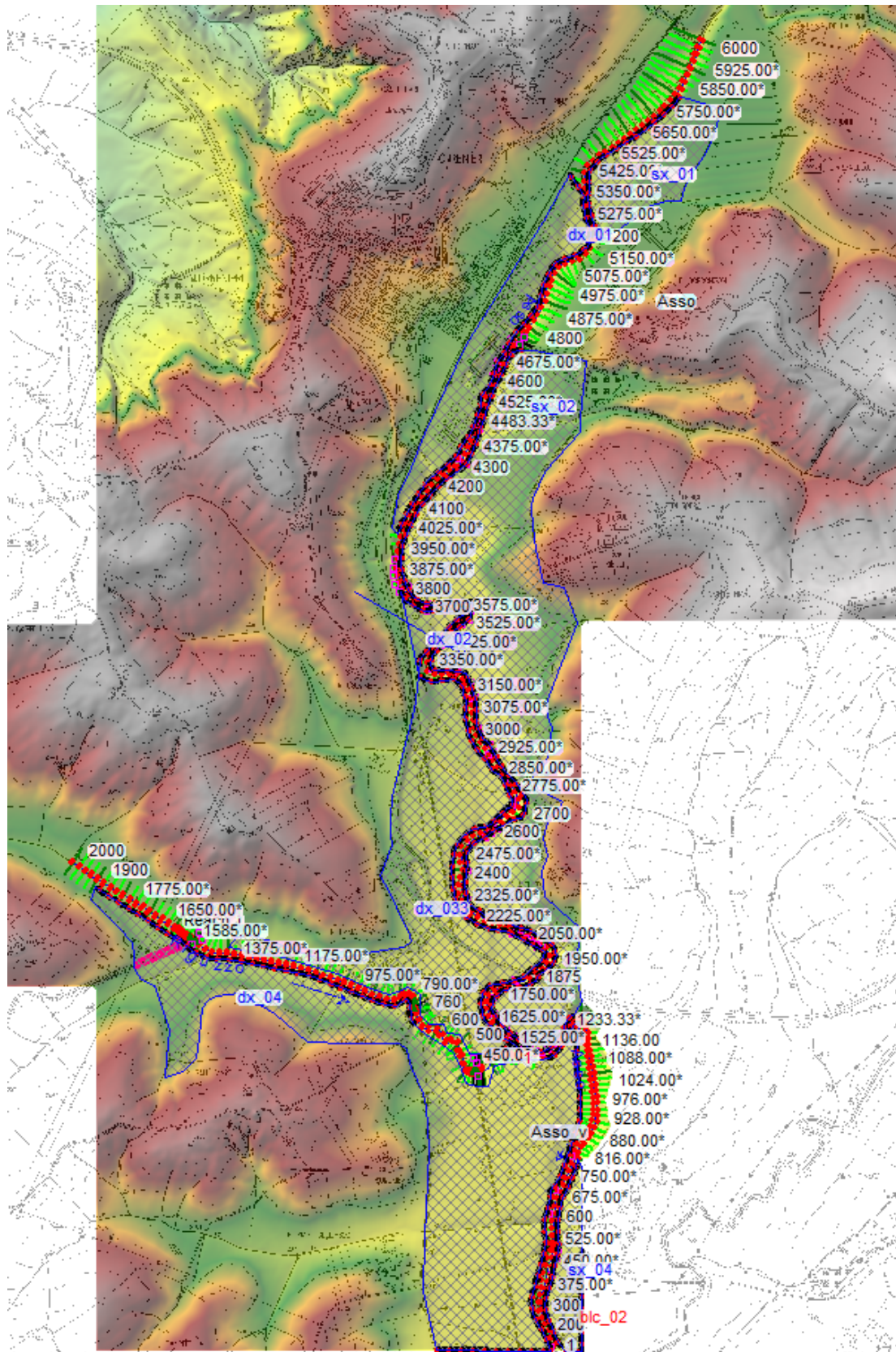


Figura 7-6 – Modello idraulico del T. Asso e del F. Riguzzo

Le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a $n = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale e $0.06 \text{ m}^{-1/3}$ per le zone golenali (si rimanda agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio).

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.

Sintesi dei risultati

Le aree contermini ai due corsi d'acqua risultato soggette ad allagamenti sia per il Tr30 che per il Tr200, 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. La località Torrenieri non presenta criticità né per eventi con Tr30 né per Tr200, 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.

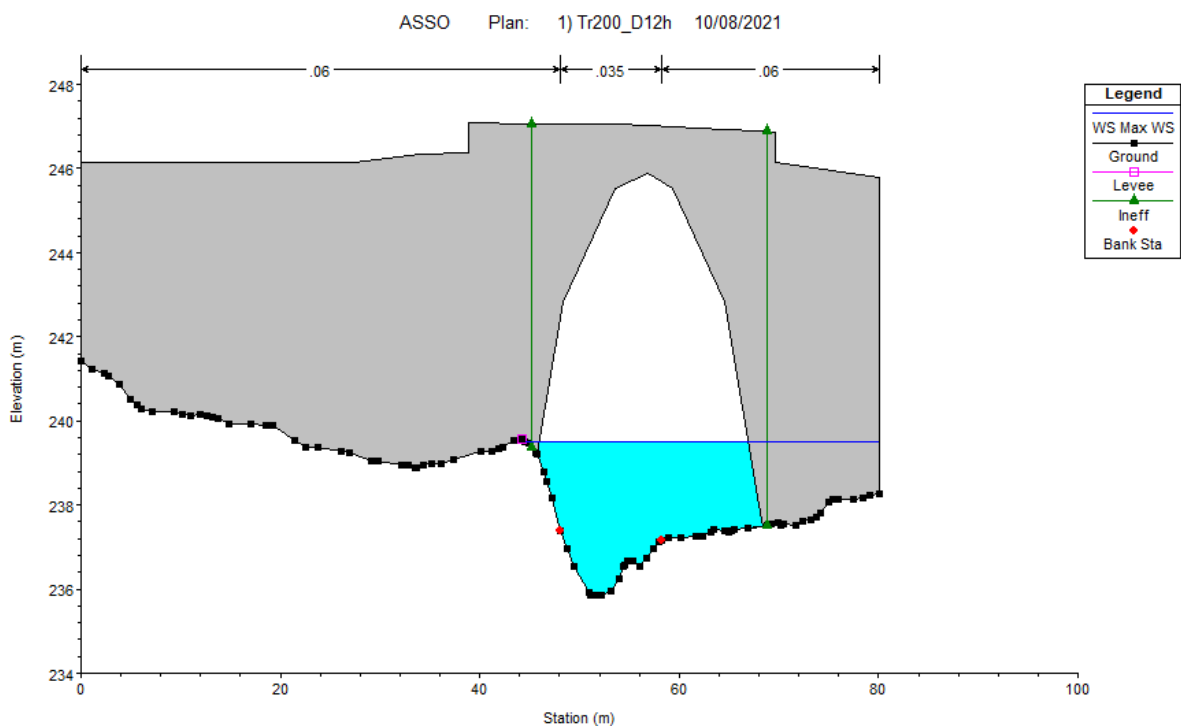


Figura 7-7 – Sezione 4760 del ponte sul T. Asso

Proseguendo verso valle si hanno degli allagamenti in zone rurali adiacenti all'alveo, il ponte sulla strada SR2 non viene superato, si ha il superamento dell'ultimo attraversamento del T. Asso.

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 nella seguente immagine.

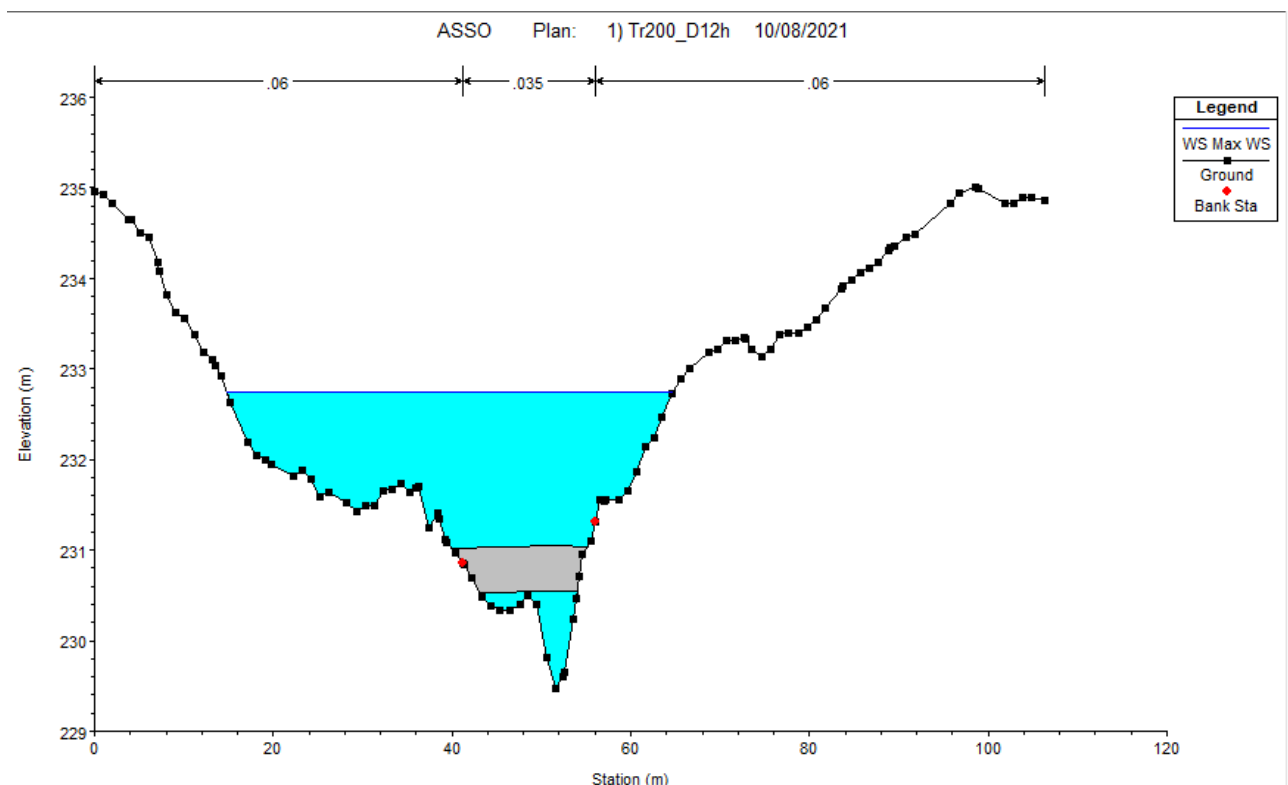


Figura 7-8 – Sezione 338 - Attraversamento sul F. Riguzzo

7.3 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 (si veda Figura 7-9 a seguire).

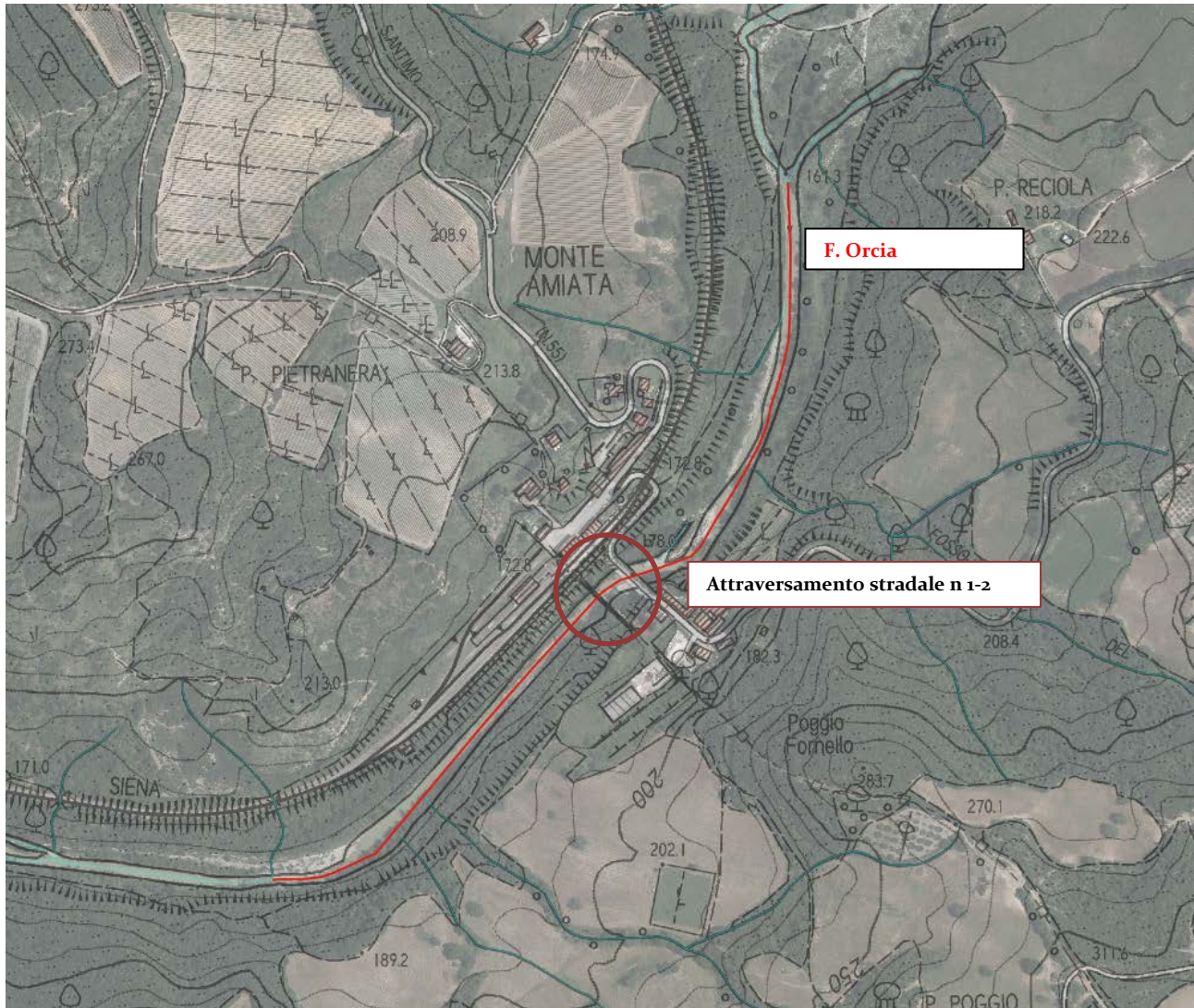


Figura 7-9 - Inquadramento del F. Orcia in località Monte Amiata, Siena.

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.



Figura 7-10 – Ponti sul F. Orcia in località Monte Amiata, Siena.

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.

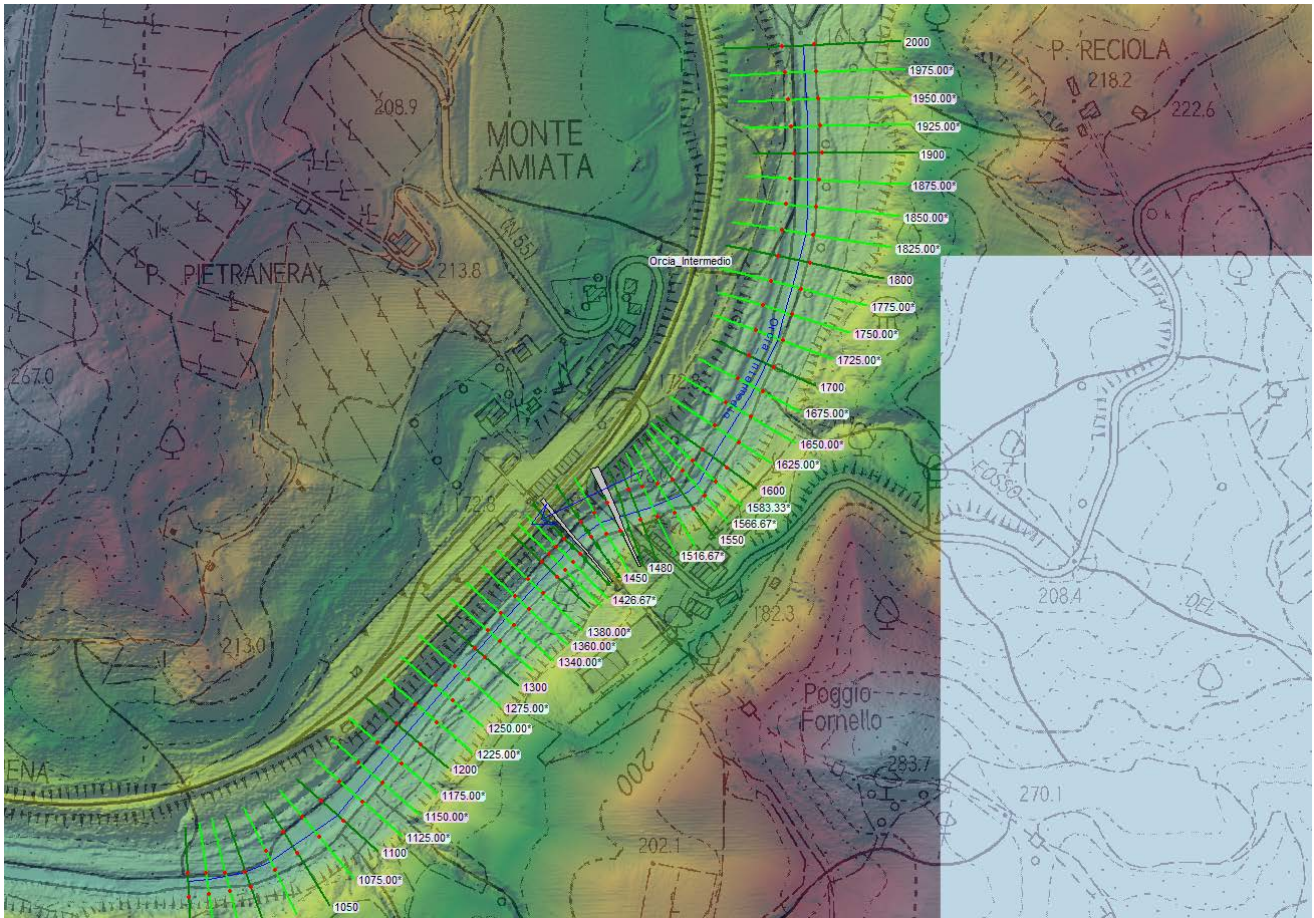


Figura 7-11 - Modello idraulico HEC-RAS 5.0.7

Le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a $n = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale e $0.06 \text{ m}^{-1/3}$ per le zone golenali (si rimanda agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio).

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*.

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 nelle seguenti immagini.

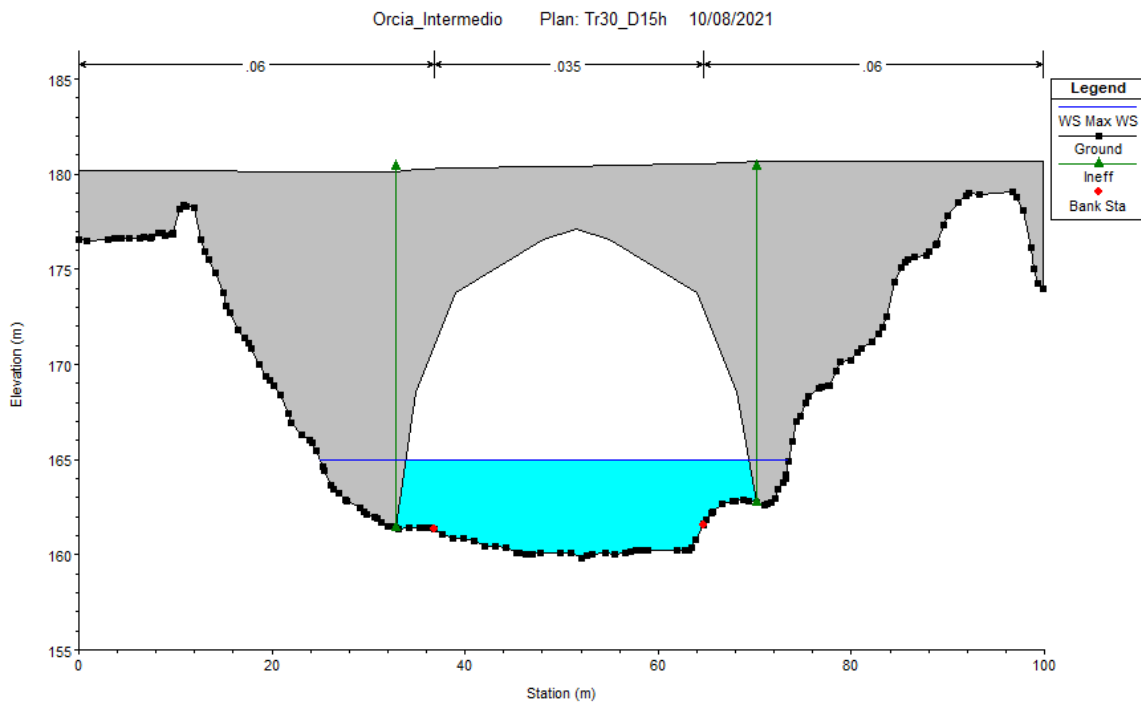


Figura 7-12 – Sezione 1470 – Ponte sul F. Orcia

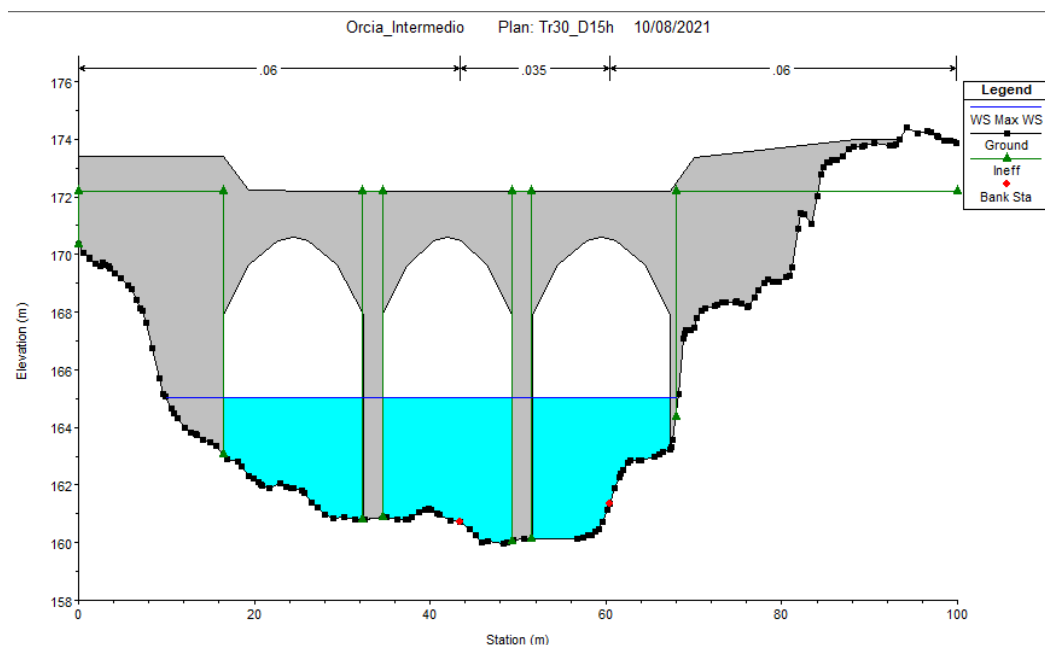


Figura 7-13 – Sezione 1445 – Ponte sul F. Orcia

7.4 Modello "Cinigiano"

Descrizione generale

Il modello comprende i due corsi d'acqua 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 mentre il fosso TS35134 comprende 16 sezioni rilevate (si veda Figura 7-14).

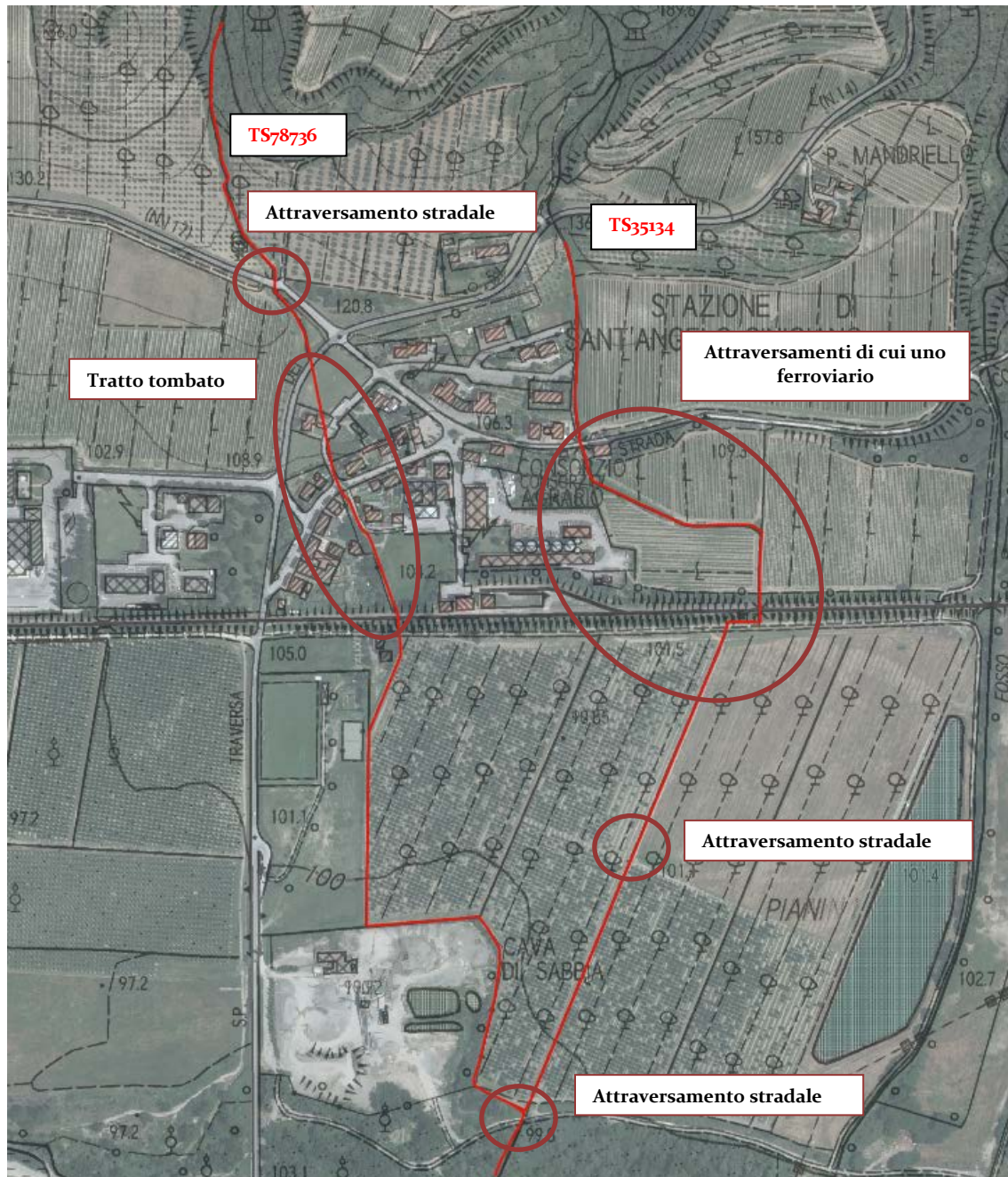


Figura 7-14 - Inquadramento dei TS35134 e TS78736

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 7-15 – Attraversamento e tratto tombato del corso d'acqua TS78736

Per il corso d'acqua TS35134 sono presenti più attraversamenti stradali ed uno ferroviario, di seguito si riportano alcune foto di alcuni attraversamenti. Nella parte di valle attraversa una zona destinata ad uso agricolo.



Figura 7-16 – Attraversamenti corso d'acqua TS3513

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui le aste fluviali dei due fossi presso la località di Sant'Angelo Scalo è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* e due *2D-flow area*, una posta in sinistra idraulica del torrente TS35134 e la seconda posta in destra idraulica in comune con il TS78736.

La parte iniziale di entrambi i corsi d'acqua è stata modellata in 1D, per le parti a valle 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*.

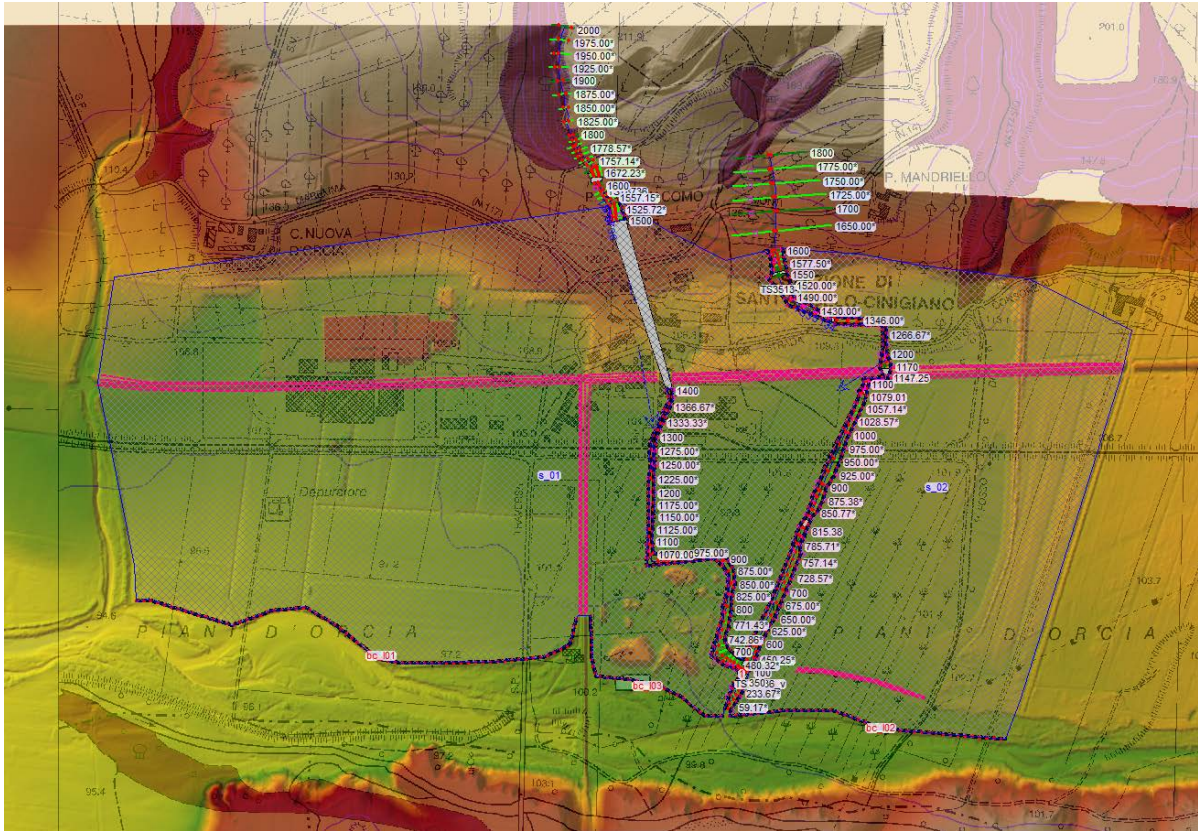


Figura 7-17 - Modello idraulico dei corsi d'acqua TS78736 e TS35134

Le scabrezze nel corso d'acqua sono state assunte pari a $n = 0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale e $0.06 \text{ m}^{-1/3}$ per le zone golenali (si rimanda agli allegati di HEC-RAS per le informazioni di dettaglio).

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 uno *stage hydrograph* costante nel tempo per simulare l'immissione nel Fiume Orcia. La quota imposta è di 103.03 m s.l.m. per Tr_{200} e 102.66 m s.l.m. per Tr_{30} , quote corrispondenti al tirante idraulico del fiume Orcia nella zona di confluenza con i due affluenti.

Sintesi dei risultati

L'area è interessata da allagamenti sia per Tr30 che per Tr200, 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.

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 dal sottoattraversamento della ferrovia stessa che non risulta adeguato 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, non presenta criticità nel tratto di monte, in cui il ponte della SP117 "la maremmana" risulta adeguato a smaltire le portate di piena, diversamente dal tratto tombato che inizia a monte dell'attraversamento sulla SP14. L'insufficienza della sezione del tratto tombato (si veda Figura 7-18) 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 Tr30 anni che per Tr200 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.

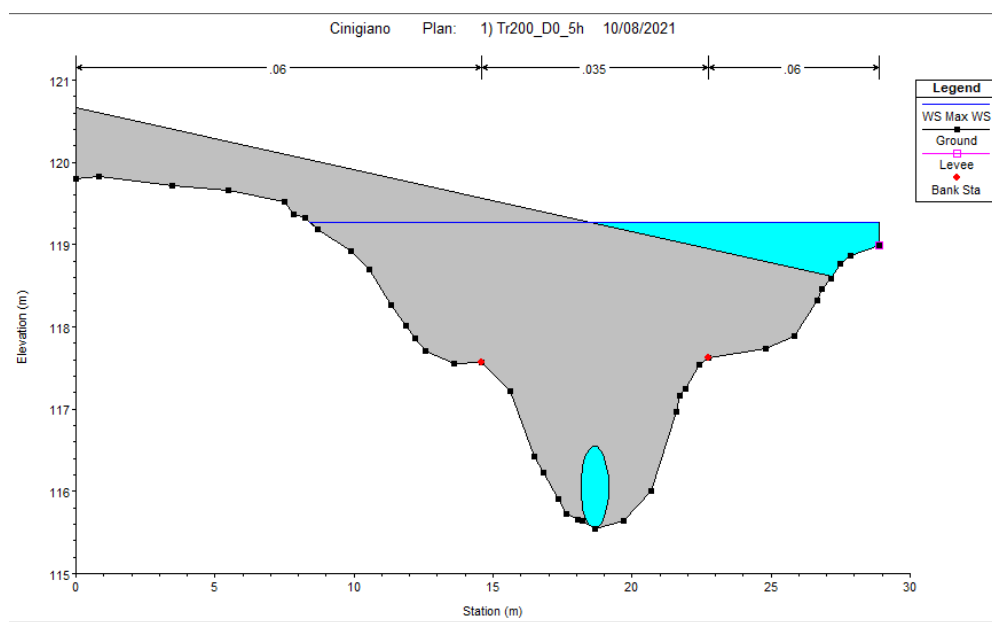


Figura 7-18 – Sezione 1450 del corso d'acqua TS7873

7.5 Modello "OrciaValle"

Questo modello è predisposto con l'unico scopo di definire il valore dei battenti, della velocità e della magnitudo sul territorio per effetto dell'esondazione del Fiume Orcia e del T. Spagnola, sulla base dei dati reperiti nello "Studio Idrologico-idraulico del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo" redatto dall'ing. Stefano Rossi. D'altro canto, tale studio è stato recentemente acquisito al PGRA dell'AdBDAS.

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. i due tratti fluviali oggetto di modellazione idraulica comprendono 4 sezioni rilevate (si veda Figura 7-19 a seguire).

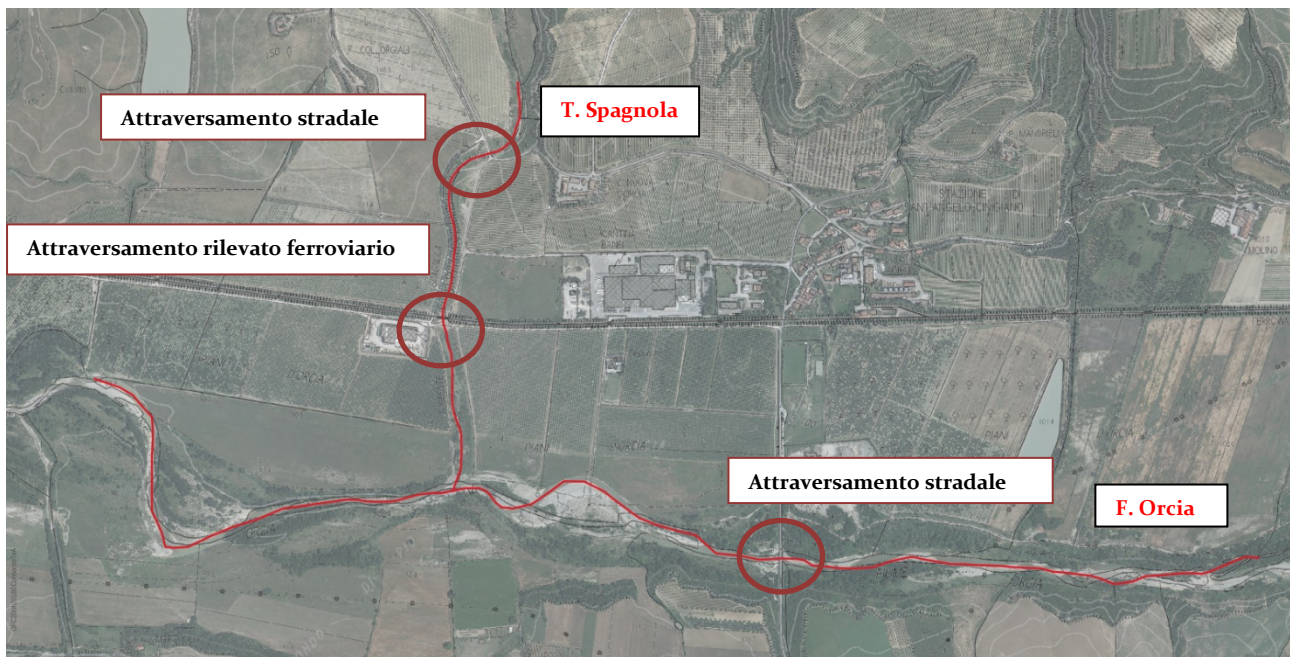


Figura 7-19 - Inquadramento del Fiume Orcia e Torrente Spagnola

I due corsi d'acqua 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 7-20 - Attraversamento stradale sul Torrente Spagnola



Figura 7-21 - Attraversamento ferroviario sul Torrente Spagnola



Figura 7-22 – Attraversamento sul Fiume Orcia

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 5.0.7 in cui le aste fluviali dei due corsi d’acqua presso la località di Sant’Angelo Scalo sono modellate come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo di *cross sections* e tre *2D-flow area*, due in destra e una in sinistra idraulica rispetto al F. Orcia.

La parte iniziale dei due corsi d’acqua è stata modellata in 1D, per le parti a valle 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*.

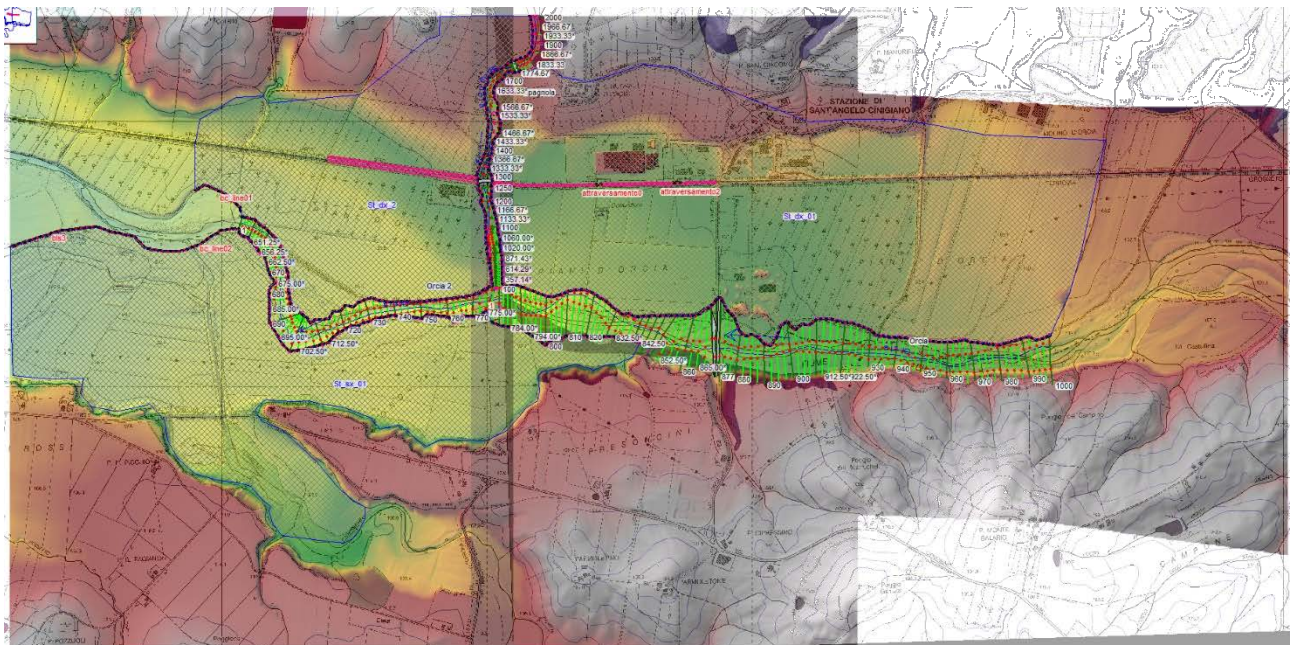


Figura 7-23 - Modello idraulico del F. Orcia e del T. Spagnola

Le condizioni al contorno inserite, come già esposto in precedenza, sono gli idrogrammi di piena per tempi di ritorno 30 e 200 anni desunti dagli studi del Torrente Spagnola e del Fiume Orcia in loc. S. Angelo Scalo nel comune di Montalcino. Tale procedimento, approvato con protocollo n. 392450/A del 09/08/2017, che ha conseguentemente portato alla modifica del PGRA, è ritenuto valido anche per il presente studio e per questo gli input sono stati ritenuti validi anche per il presente modello idraulico.

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 nota il Figura 7-24, ripresa dagli allegati HEC RAS della relazione di cui sopra, l'attraversamento è strutturalmente diverso da quello attualmente esistente, come riportato dalla precedente Figura 7-20 e poi inserito all'interno del modello in sezione 1765 (Figura 7-25).

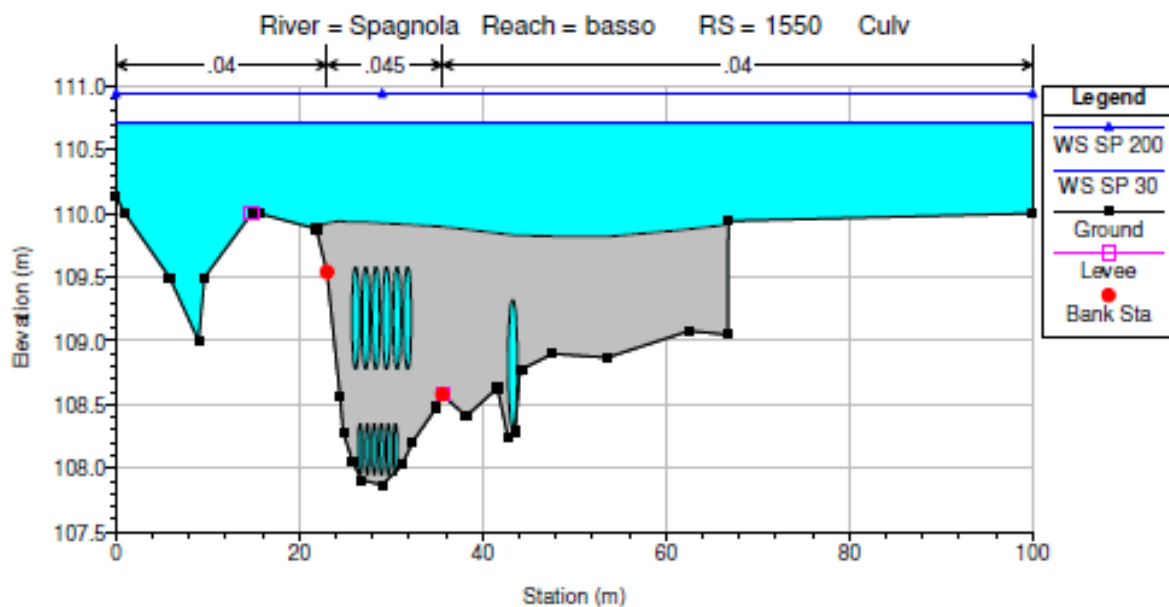


Figura 7-24 - Sezione 1550 - Ponte sul T. Spagnola da studio idraulico progressivo

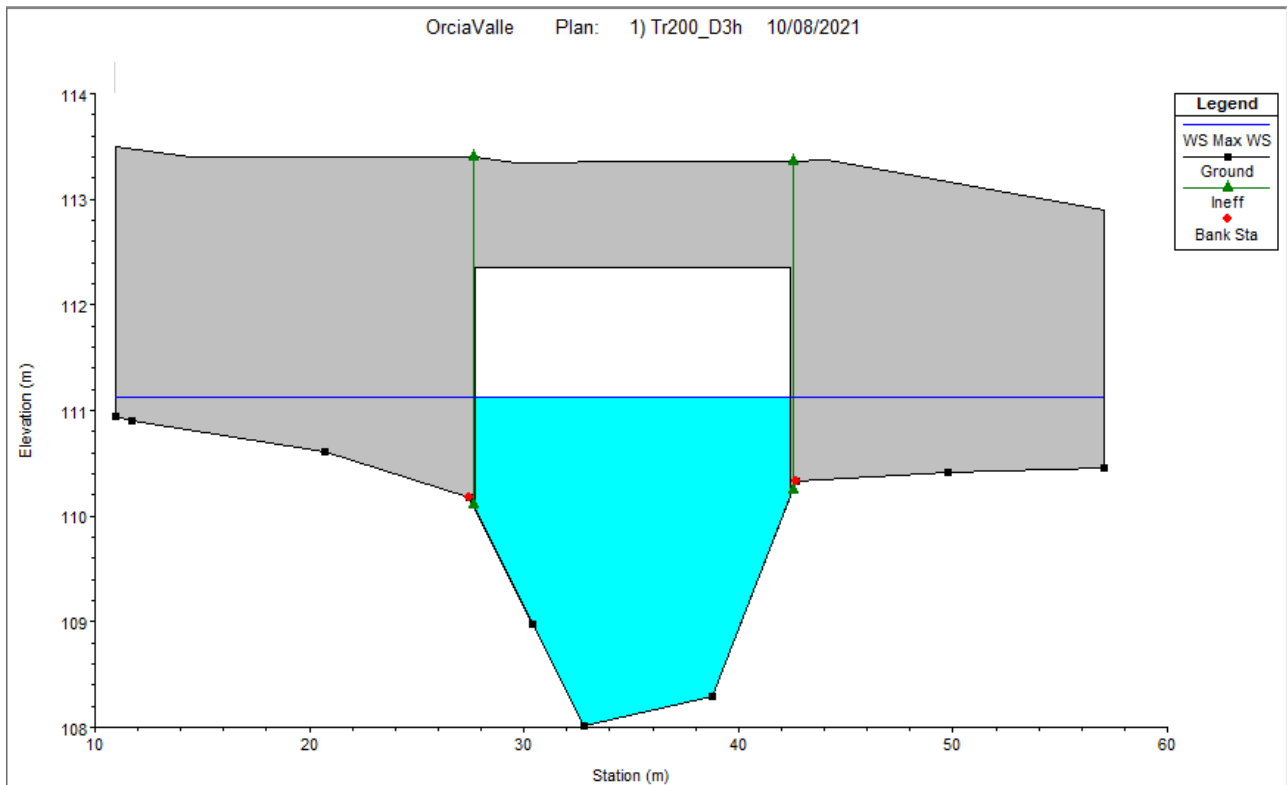


Figura 7-25 - Sezione 1765 - Ponte sul T. Spagnola

Sintesi dei risultati

Le aree limitrofe ai due corsi d'acqua 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 con protocollo n. 392450/A del 09/08/2017 (come si vede in Figura 7-27).

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 sottoattraversare 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.

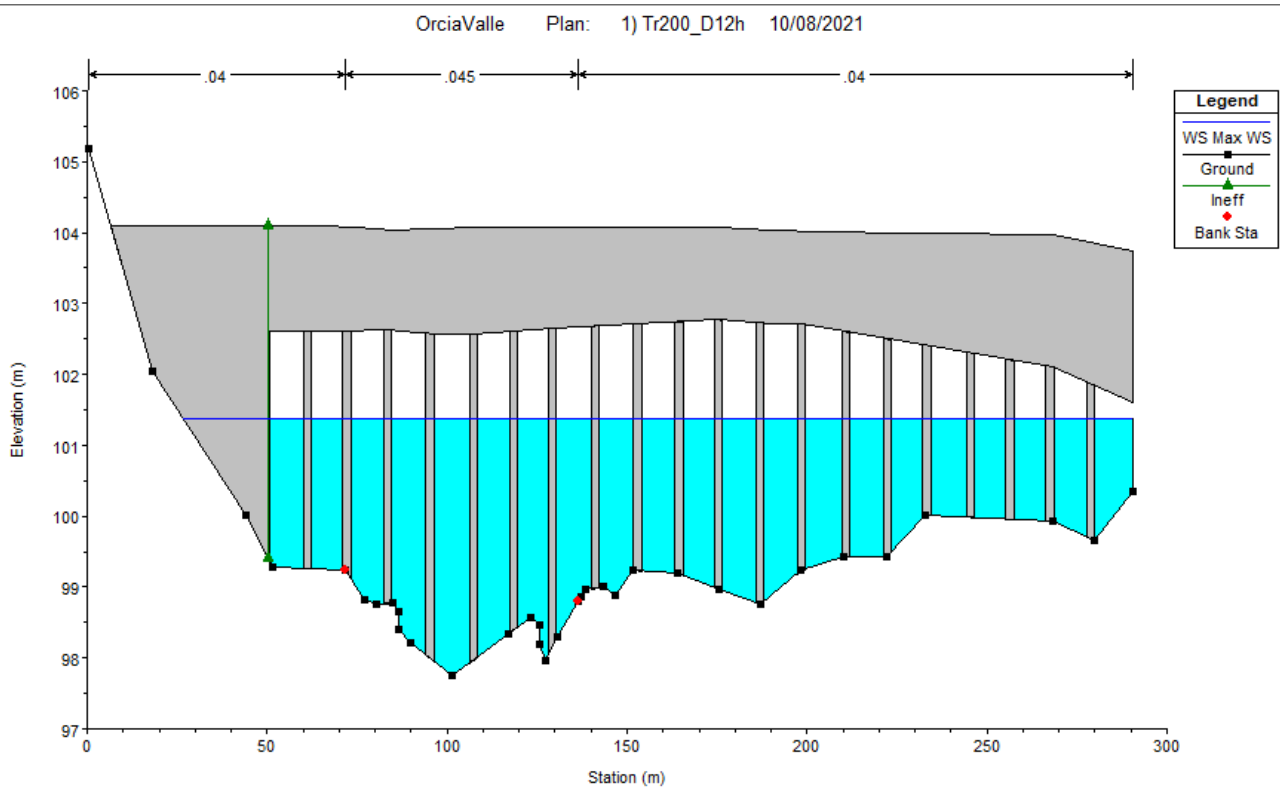


Figura 7-26 – Sezione 876 - Ponte sul F. Orcia

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.

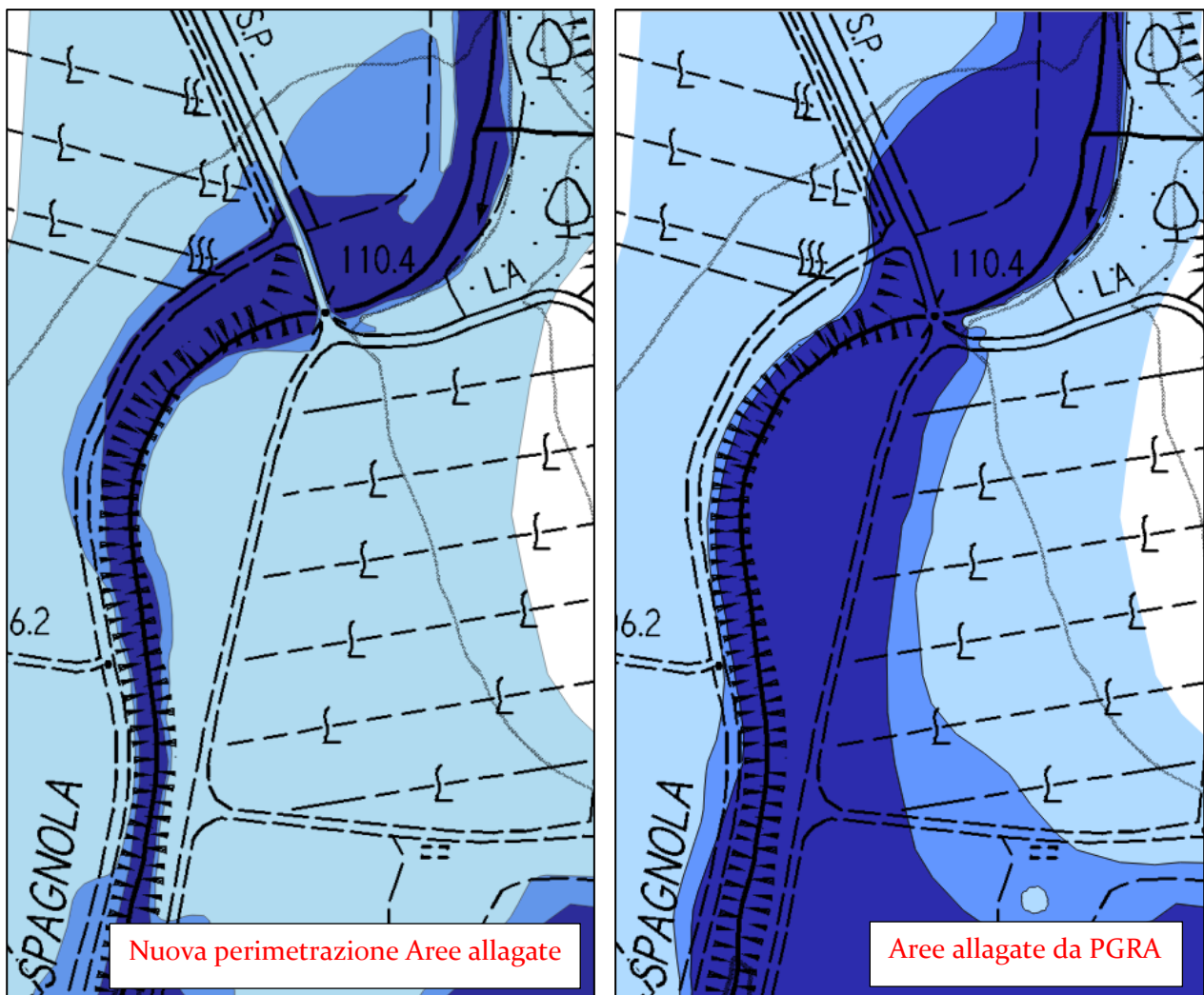


Figura 7-27 - Confronto aree allagate a seguito dell'aggiornamento della geometria del ponte della SP117 sul Torrente Spagnola

8 CONSIDERAZIONI MORFOLOGICHE

A seguito di considerazioni topografiche si è scelto di non svolgere uno studio idrologico idraulico ad hoc per il corso d'acqua del Torrente Asso nel tratto in cui scorre nelle aree limitrofe all'abitato di San Giovanni d'Asso.



Figura 8-1 - Inquadramento su base ortofoto dell'asta del T.Asso rispetto all'abitato di San Giovanni d'Asso

Tale decisione è stata assunta in quanto la topografia della zona in oggetto presenta una sezione con alveo inciso e il territorio urbanizzato risulta in una posizione di alto morfologico rispetto al corso d'acqua.

Come si può vedere dalle sezioni seguenti (Figura 8-3 e Figura 8-5) il territorio urbanizzato è posto ad una quota superiore di circa 14/15 metri rispetto al fondo alveo del Torrente Asso e, per tale motivo, non risulta necessaria una modellazione per affermare che non si hanno criticità all'interno del Territorio urbanizzato di San Giovanni d'Asso.

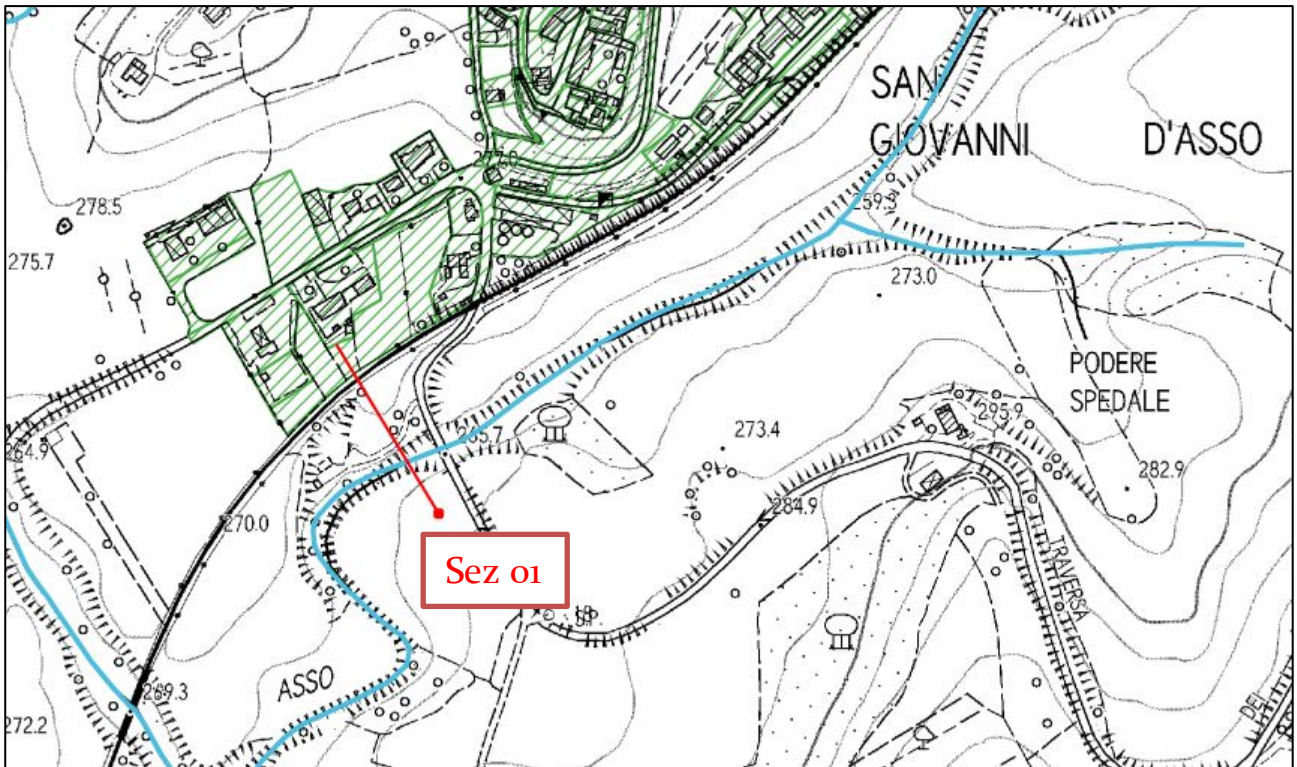


Figura 8-2 - Inquadramento su base ctr (scala 1:10.000) della Sezione 01 per controllo morfologico

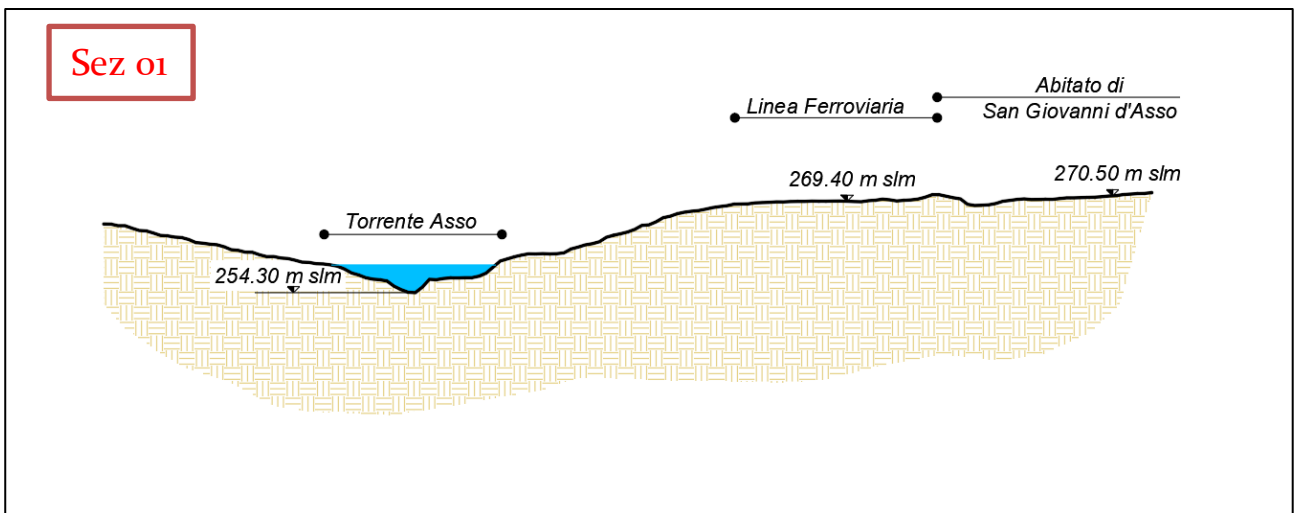


Figura 8-3 - Sezione 01 di controllo su base Lidar

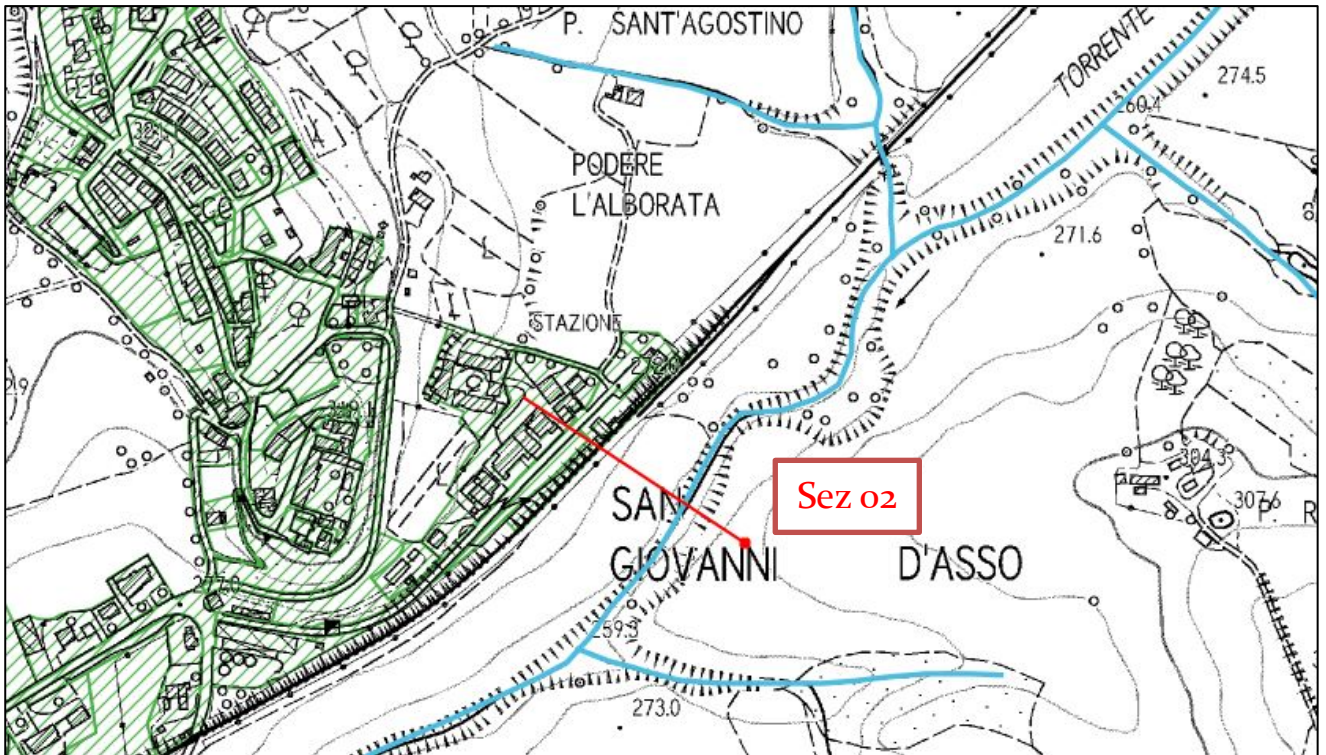


Figura 8-4 - Inquadramento su base ctr (scala 1:10.000) della Sezione 02 per controllo morfologico

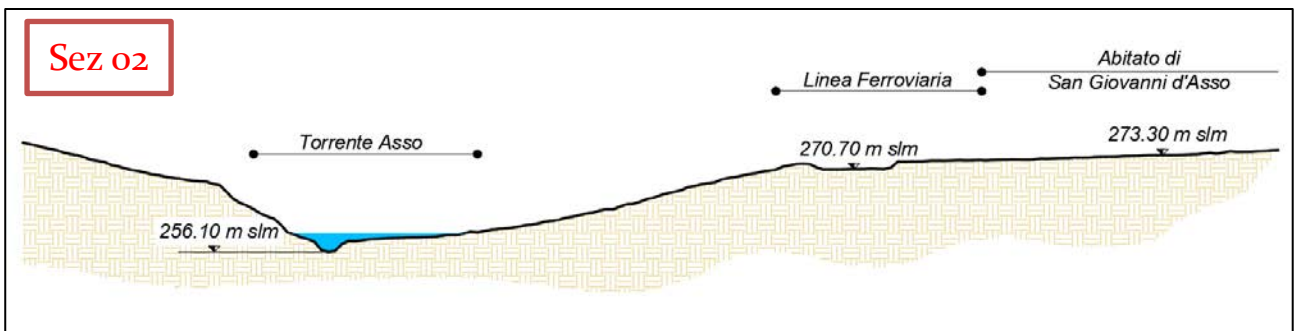


Figura 8-5 - Sezione 02 di controllo su base Lidar

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

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 P₂ – pericolosità media e P₃ – 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 P₂ – pericolosità media e P₃ – pericolosità elevata non si prevedono modifiche al PGRA, che quindi sarà mantenuto come quello vigente.

Per quanto riguarda le aree P₁ – pericolosità bassa, in generale è sempre stato mantenuto lo stato 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.

10 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.

11 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, Ottobre 2023.

I professionisti incaricati

Geol. Fabio Poggi

Geol. Massimiliano Rossi

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Mirko Frasconi

Ing. Matteo Frasconi