



COMUNE DI SIENA

Provincia di Siena

Variante al Piano Strutturale/Operativo

per l'ampliamento del Policlinico Santa Maria alle Scotte

parcheggio pubblico in Viale M. Bracci (AE07.01)

intervento diretto in Via M. Bracci, Policlinico S. Maria alle Scotte (ID07.12)



R.02 Relazione Idrologico-idraulica

aggiornamento a seguito delle controdeduzioni accolte

data: Settembre 2023

GEOL. MASSIMILIANO ROSSI

ING. DAVIDE GIOVANNUZZI



ProGeo Engineering S.r.l.

Via Don Luigi Sturzo, 43/A

52100 Arezzo

Tel. 0575 324114

Email: info@progeo.arezzo.it

P.I. 01994080511

www.progeo.arezzo.it



INDICE

INDICE.....	1
1. PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2. CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO	6
2.1. Inquadramento Generale.....	6
2.2. Inquadramento geomorfologico.....	7
2.3. Inquadramento idrografico e definizione del reticolo di studio.....	8
2.4. Individuazione dei Bacini Idrografici.....	12
3. RILIEVO DELLE SEZIONI D'ALVEO E CARTOGRAFIA DI RIFERIMENTO	14
4. ANALISI IDROLOGICA	15
4.1. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.....	16
4.1.1. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica puntuali.....	16
4.1.2 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica areali	19
4.1.3 Durate di pioggia.....	20
4.2. Pioggia effettiva.....	22
4.2.1. Modello di infiltrazione - Metodo SCS-CN	22
4.2.2. Determinazione del CN III.....	27
4.3. Portate di progetto. Trasformazione afflussi/deflussi	29
4.3.1. Modello SCS Idrogramma Unitario	30
4.3.2. Modello Kinematic Wave.....	31
4.3.3. Stima del <i>lag time</i>	32
4.3.4. Risultati della modellazione idrologica	35
5. ANALISI IDRAULICA.....	38
5.1. Descrizione della modellazione idraulica	38
5.2. Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 6.3.1	38
5.3. Modellazioni idrauliche bidimensionali - HEC-RAS 6.3.1.....	40
6. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI IDRAULICHE	43
6.1. Modello "Acquaviva" – stato attuale.....	43
7. MODELLAZIONE IDRAULICA ALLO STATO DI PROGETTO	60
7.1. Modello "Acquaviva" – Stato di Progetto	60



8. MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITA' D'ALLUVIONE	63
9. MAPPA DEI BATTENTI, DELLE VELOCITÀ E DELLA MAGNITUDO IDRAULICA.....	64
10. INTERVENTO ID07.12 – FATTIBILITÀ IDRAULICA.....	65
11. INTERVENTO AE07.01 – FATTIBILITÀ IDRAULICA	68
12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	71



1. PREMESSA E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione idrologico idraulica è redatta su richiesta del progettista, a seguito dell'accoglimento delle controdeduzioni alla Variante al Piano Strutturale e al Piano Operativo per l'ampliamento del Policlinico Santa Maria alle Scotte, intervento diretto in Via Mario Bracci, Policlinico Santa Maria alle Scotte (ID07.12) e Parcheggio pubblico in Viale M. Bracci (AE07.01).

Gli scriventi sono stati incaricati alla presentazione della documentazione geologica, sismica e idraulica di supporto alla variante urbanistica, dall'Azienda Ospedaliera Universitaria Senese con lettera prot. 7702 del 18.04.2023.

La presente relazione integra e sostituisce quanto presentato con consegna in data 21/04/2023 e successivamente in data 23/06/2023 in relazione al deposito Genio Civile n.382 del 27.04.2023.

Lo studio idraulico intende caratterizzare gli aspetti connessi alla probabilità di allagamento per fenomeni di esondazione dai corsi d'acqua compresi nel reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012 aggiornato con DCRT 103/2023, in particolar modo il Fosso di Acquaviva.

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

Al fine di definire le perimetrazioni delle aree allagabili per eventi con $Tr \leq 30$ anni ed eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni, sono state implementate le modellazioni idrologico-idrauliche monodimensionali e bidimensionali con il codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1, HEC-HMS 4.8. La perimetrazione delle aree allagabili per eventi con $200 < Tr \leq 500$ anni si baserà su criteri morfologici.

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 e si articola nelle seguenti fasi:

- **Quadro conoscitivo;**
- **Analisi idrologica** contenente la metodologia adottata per la stima delle portate di progetto per vari tempi di ritorno;



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

Con l'entrata in vigore della L.R. 41/2018, vale quanto segue:

PGRA	LR 41/2018	Reg. Attuazione 53/R	Reg. Attuazione 5/R
Pericolosità d'alluvione bassa (P1)	-	Aree a pericolosità idraulica media (I.2)	Aree a pericolosità per alluvioni rare o di estrema intensità (P1)
Pericolosità d'alluvione media (P2)	Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti	Aree a pericolosità idraulica elevata (I.3)	Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti (P2)
Pericolosità d'alluvione elevata (P3)	Aree a pericolosità per alluvioni frequenti	Aree a pericolosità idraulica molto elevata (I.4)	Aree a pericolosità per alluvioni frequenti (P3)

Tabella 1.1 Definizione e correlazione delle classi di pericolosità in funzione della frequenza degli eventi alluvionali (reg. attuazione 53/R/2011, reg. attuazione 5/R/2020, disciplina di PGRA e LR 41/2018)

Per l'analisi della pericolosità d'alluvione allo stato attuale sono considerati i corsi d'acqua compresi nel reticolo d'interesse della difesa del suolo di cui alla L.R. 79/2012 aggiornato con DCRT 103/2023, ad eccezione del tratto tombato TS78921 in quanto non esistente.

A seguito della richiesta di deperimetrazione (richiesta con Prot. 0187992 del 18/04/2023 e successiva integrazione prot. n. 0245494 del 29/05/2023; parere positivo del Genio Civile Toscana Sud con Prot. n. 0260986 del 05/06/2023), lo stato di progetto ai fini della redazione della scheda di fattibilità dell'intervento ID07.12 sarà valutato non considerando le aste idrauliche TS 3995, TS3996 e TS78921.

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 81/2021	Modello idrologico	Modello idraulico Stato Attuale	Modello idraulico Stato di Progetto	Richiesta di deperimetrazione Prot. 0260986 del 05/06/2023 del Genio Civile Toscana Sud
TS3996	X	X		X
TS78921	X			X
Fosso dell'Acquaviva TS3995	X	X		X
Fosso dell'Acquaviva TS4008, TS4012, TS4014, TS4023, TS4032, TS4033	X	X	X	

Tabella 1.2 – Corsi d'acqua oggetto di modellazione idrologico-idraulica



L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con nota prot. 4422/2023 del 25/05/2023 ha definito le condizioni al contorno in seguito alla richiesta ai sensi del comma 6 art. 14 della Disciplina di Piano., *“Con riferimento alla richiesta in oggetto, con la presente si conferma che le condizioni al contorno idrologiche (idrogrammi di portata in ingresso al modello idraulico) necessarie per lo studio del corso d'acqua “Fosso dell'Acquaviva” potranno essere determinate adottando metodi, schemi e parametrizzazioni coerenti con quanto sviluppato nell'ambito degli studi condotti per il Piano Strutturale del Comune di Siena su altre aste di reticolo secondario interessanti il territorio comunale (studi utilizzati per l'aggiornamento della mappa della pericolosità da alluvione fluviale del PGRA approvato con D.S.G. n.58/2022).”*



2. CARATTERISTICHE GEO-MORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

2.1. Inquadramento Generale

Lo studio in oggetto riguarda 2 aste fluviali, ubicate nel comune di Siena (SI), nella parte centro-Sud della Regione Toscana (Figura 2.1).

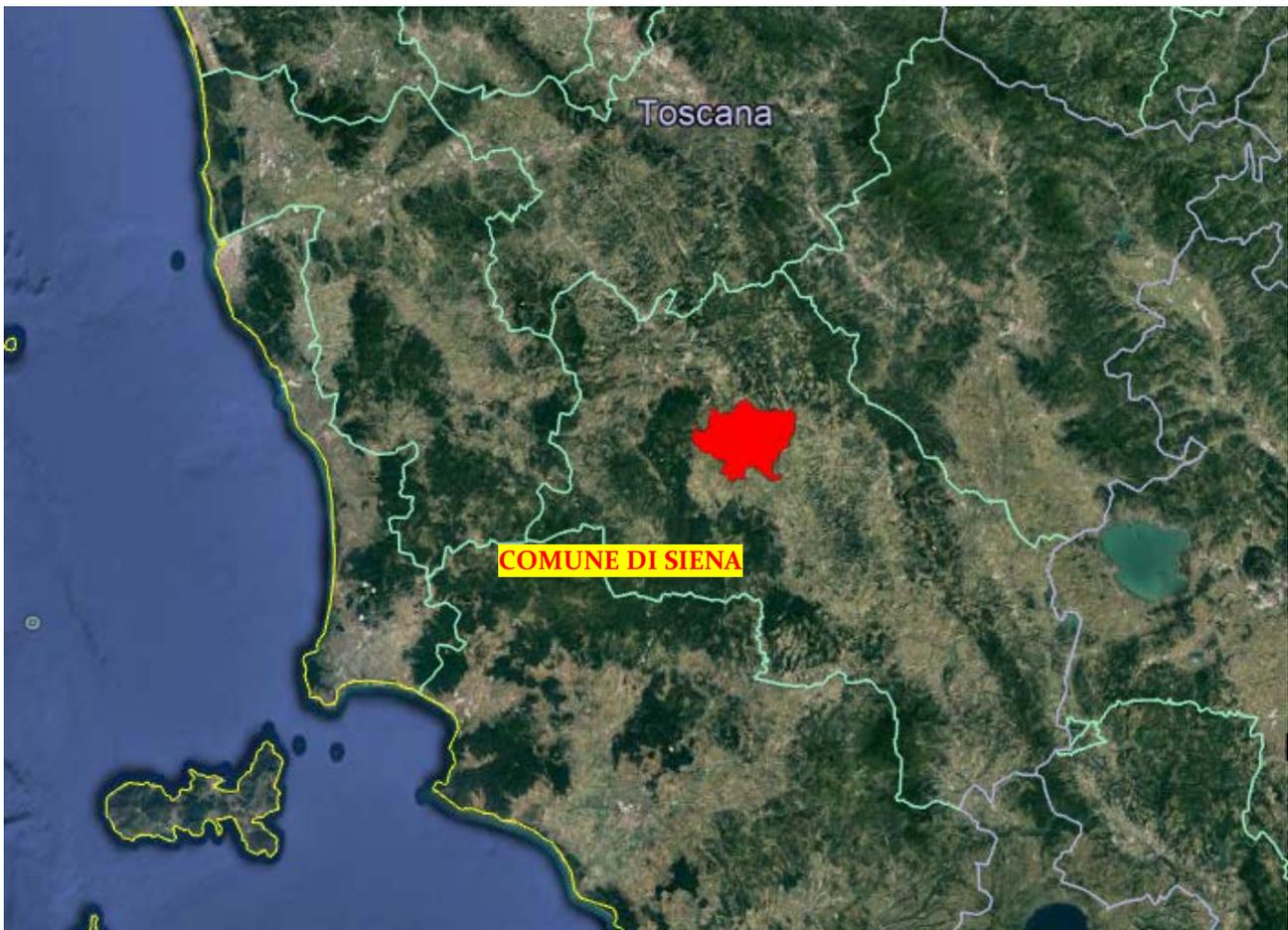


Figura 2.1 - Individuazione del Comune di Siena (immagine da Google Earth).

Il territorio comunale di Siena si colloca nella parte centrale dell'omonima Provincia e si estende per una superficie di circa 118,53 km² ad un'altitudine media di 322 m s.l.m.. Da un punto di vista amministrativo confina a nord con il comune di Castelnuovo Berardenga (SI) e Monteriggioni (SI), a est con quello di Asciano (SI), a sud con Monteroni d'Arbia (SI), a ovest con Sovicille (SI) (Figura 2.2)

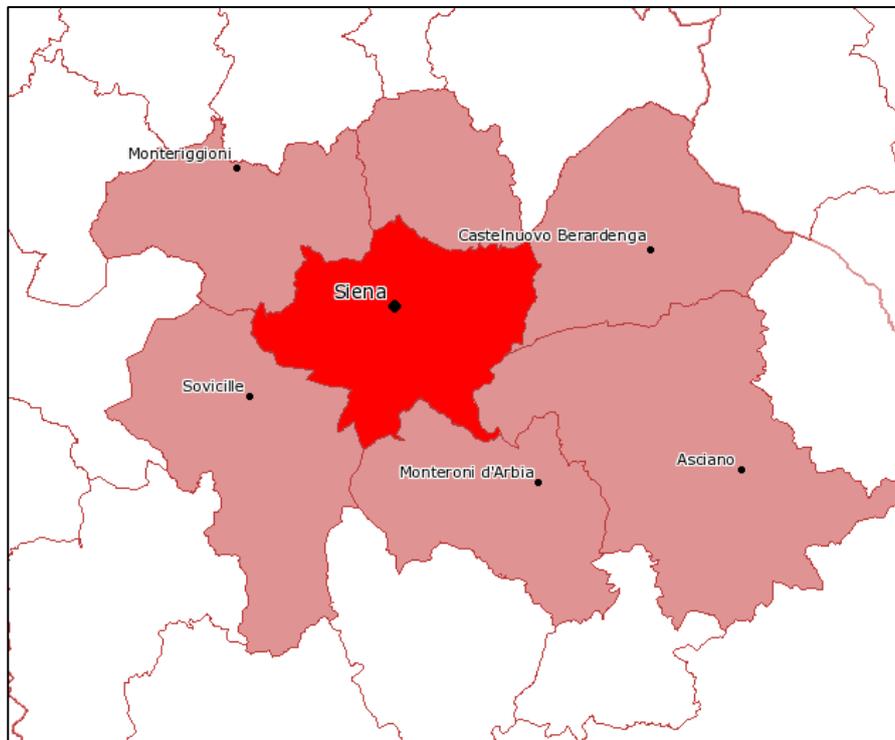


Figura 2.2 - Inquadramento del Comune di Siena - limiti amministrativi.

2.2. Inquadramento geomorfologico

Morfologicamente il territorio è delimitato a nord dalle colline del Chianti, ad ovest dalla Montagnola, dalle Crete senesi a sud est, la valle del T. Arbia delimita il territorio comunale ad est.

Il territorio di Siena è collocato ad una quota compresa tra i 410 m e i 160 m s.l.m.

La morfologia del territorio (Figura 2.3) mostra generalmente il declivio del terreno in direzione sud-est, verso le valli del T. Arbia e del F. Merse.

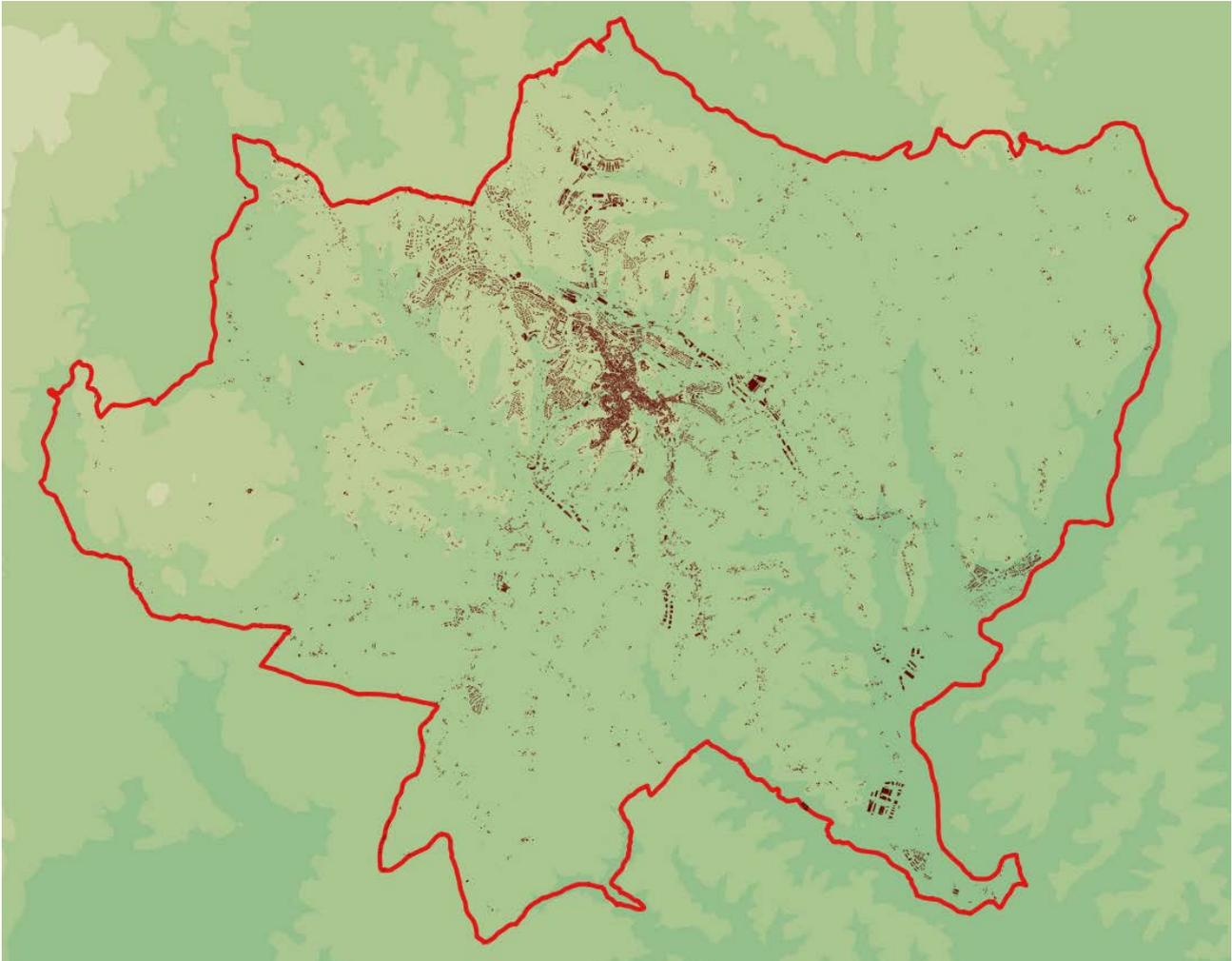


Figura 2.3 – Vista morfologica dell'area del Comune di Siena (Dati: DTM morfologico 10 m Regione Toscana), in rosso il confine comunale

2.3. 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 aggiornato con DCRT n. 103/2023 (Figura 2.4).

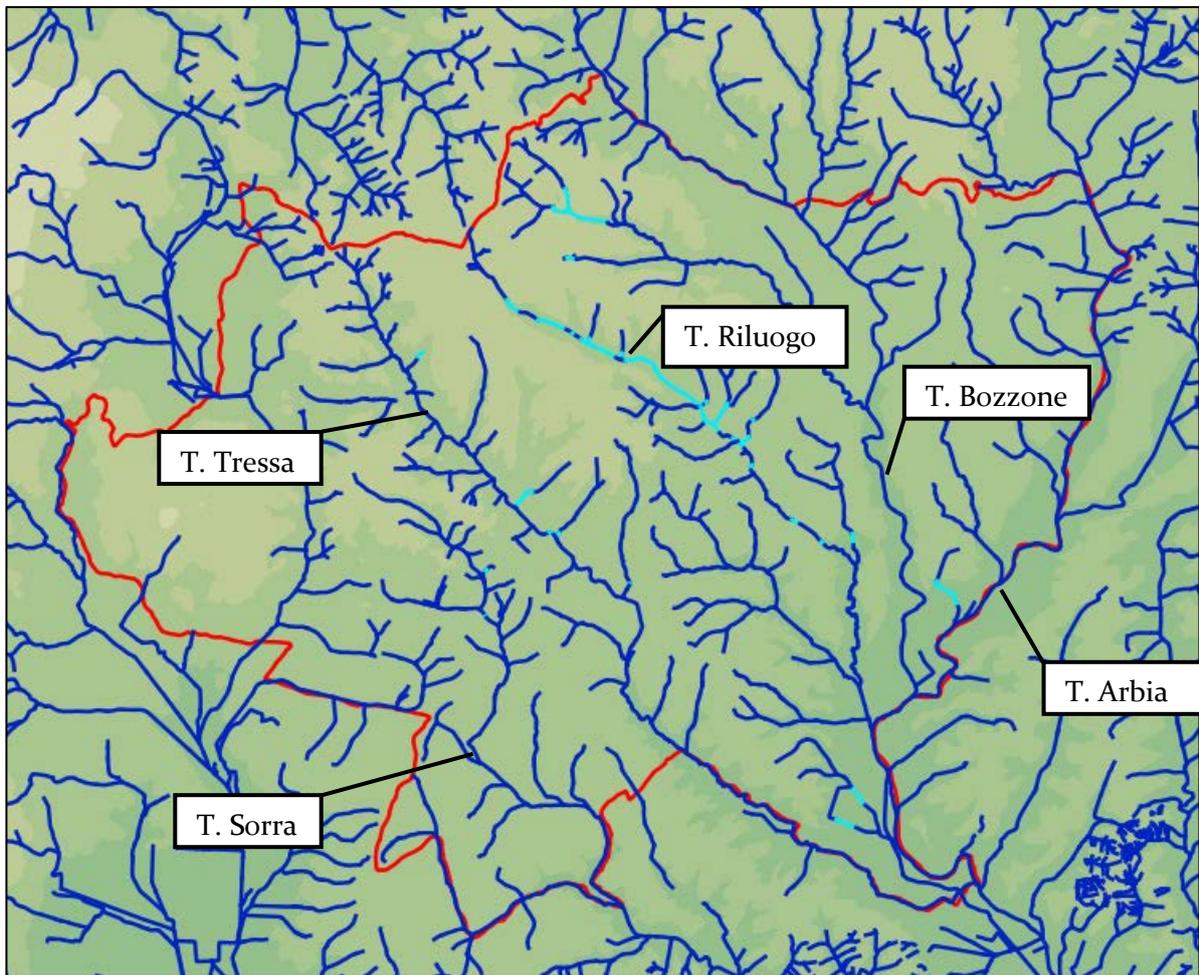


Figura 2.4 – inquadramento idrografico del Comune di Siena di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 103/2023, in blu le aste idriche, in celeste i tratti tombati, in rosso il confine comunale

La principale asta idrica è il Torrente Arbia, che scorre da Nord verso sud, lungo il confine est del Comune di Siena. I principali affluenti sono costituiti dal T. Bozzone, dal T. Riluogo, dal T. Tressa (questi due scorrono ai lati dell'abitato di Siena) e dal T. Sorra.

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

Nelle figure seguenti 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.

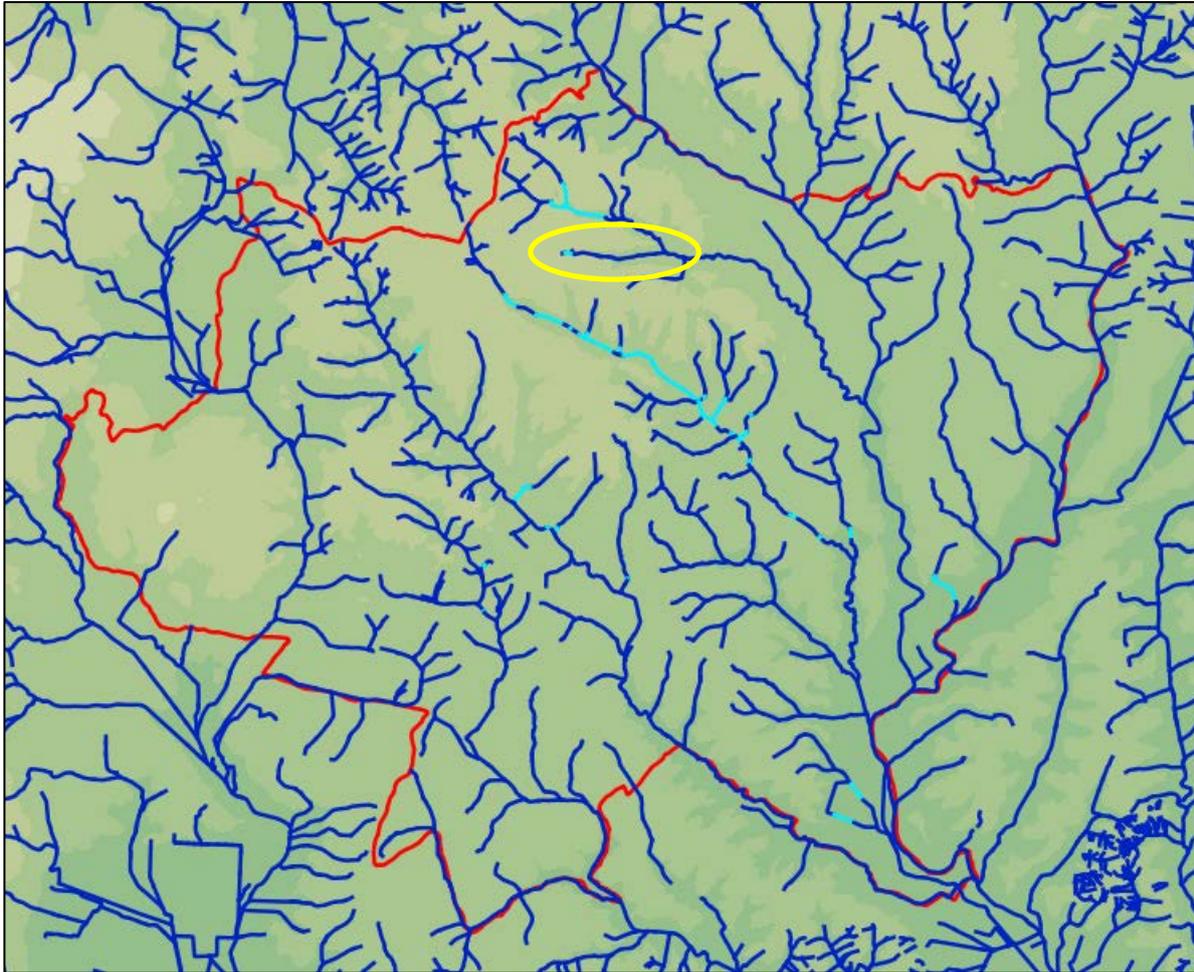


Figura 2.5 – inquadramento idrografico del Comune di Siena di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT 103/2022, in blu le aste idriche, in celeste i tratti tombati, in rosso il confine comunale, in evidenza l'area in cui sono presenti le aste fluviali oggetto di modellazione idrologico-idraulica

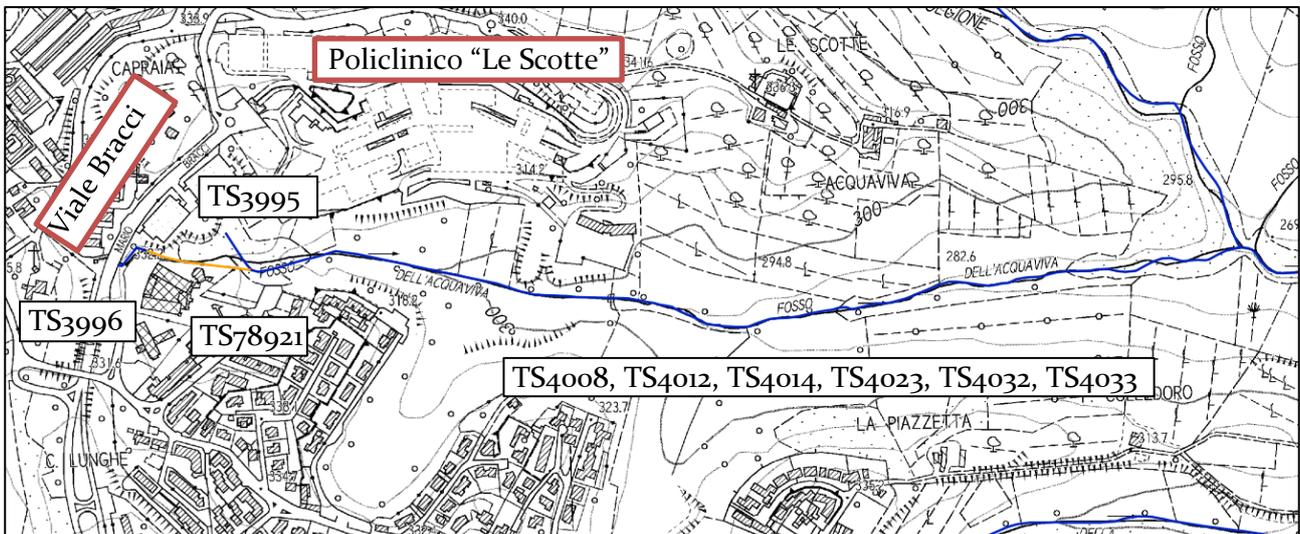


Figura 2.6 – Inquadramento su CTR 10k delle aste idrauliche oggetto di studio idrologico-idraulico, in blu le aste idriche facenti parte del reticolo idrografico, in arancione i tratti tombati



Figura 2.7 – Inquadramento su cartografia aerea delle aste idrauliche oggetto di studio idrologico-idraulico, in blu le aste idriche facenti parte del reticolo idrografico, in arancione i tratti tombati



Figura 2.8 – Proposta di modifica del Reticolo Idrografico Regionale (Prot. 0260986 del 05/06/2023 del Genio Civile Toscana Sud)

I nomi dei corsi d'acqua si rifanno all'elenco della "Tabella 1.2 – Modello idraulico".

Corso d'acqua di cui alla L.R. 79/2012 così come aggiornato con DCRT n. 103/2023	Lunghezza tratto con modello idraulico (m)
TS3996	120
TS78921	-
Fosso dell'Acquaviva TS3995	80
Fosso dell'Acquaviva TS4008, TS4012, TS4014, TS4023, TS4032, TS4033	1370
TOTALE	1570

Tabella 2.1 - Elenco delle aste fluviali oggetto di studio idraulico con relativa lunghezza dell'asta fluviale

2.4. Individuazione dei Bacini Idrografici

Per la definizione dei bacini oggetto di studio è stato fatto riferimento alla cartografia tecnica regionale. Nonostante l'area intorno a Viale Bracci risultino urbane e gestite da un sistema fognario di acque bianche, cautelativamente la definizione dei bacini idrografici si è basata su considerazioni morfologiche non considerando eventuali portate o volumi idrici allontanati dal sistema fognario. La figura seguente mostra inoltre la suddivisione in sottobacini determinata dalle sezioni di chiusura dei tratti d'interesse e in Tabella 2.2 sono sintetizzate le caratteristiche di tali bacini di cui è stata sviluppata apposita modellazione idrologica.

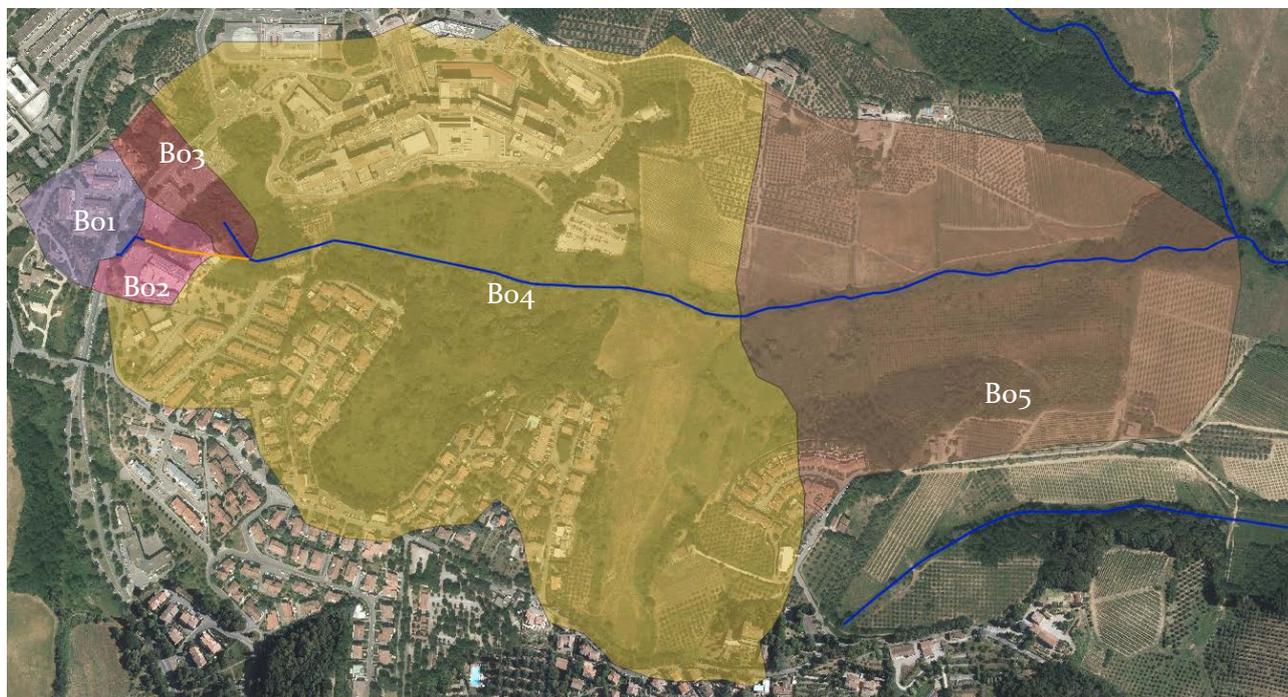


Figura 2.9 - Definizione dei bacini idrografici, in blu le aste idrauliche

Codice	Bacino idrografico	Area (km ²)	Hmax (m slm)	Hmin (m slm)	Hmedia (m slm)	Lasta – da spartiacque (m)	i media (m/m)
B01	TS3996	0.018	342.0	310.0	326.0	240	0.133
B02	TS78921	0.013	341.0	325.0	333.0	180	0.089
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)	0.020	325.0	324.0	324.5	70	0.014
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)	0.574	324.0	286.0	305.0	700	0.054
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)	0.276	337.6	267.7	302.65	700	0.1
	TOTALE	0.901	342.0	286.0	314.0	1700	0.056

Tabella 2.2 - Caratteristiche dei bacini di studio



3. 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:

- 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:

1. Modello digitale del terreno su base Carta Tecnica Regionale 1:2000;
2. Apposita campagna di rilievo da parte della società ProGeo Engineering Srl.

A seguito della campagna di rilievo e alle informazioni altimetriche derivanti dalla CTR 2K è stato elaborato un modello Digitale del Terreno tramite mesh TIN.

Per l'individuazione della presenza delle aste idrauliche è stato fatto riferimento:

3. Apposita campagna di rilievo da parte della società ProGeo Engineering Srl, con il supporto di tecnici e operatori dell'AOUS e del Comune di Siena.



4. 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, rispettivamente alluvioni frequenti e poco frequenti (in accordo con quanto previsto dalla LR 41/2018) 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. 4.8 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.



4.1. Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica

4.1.1. 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 4.1).

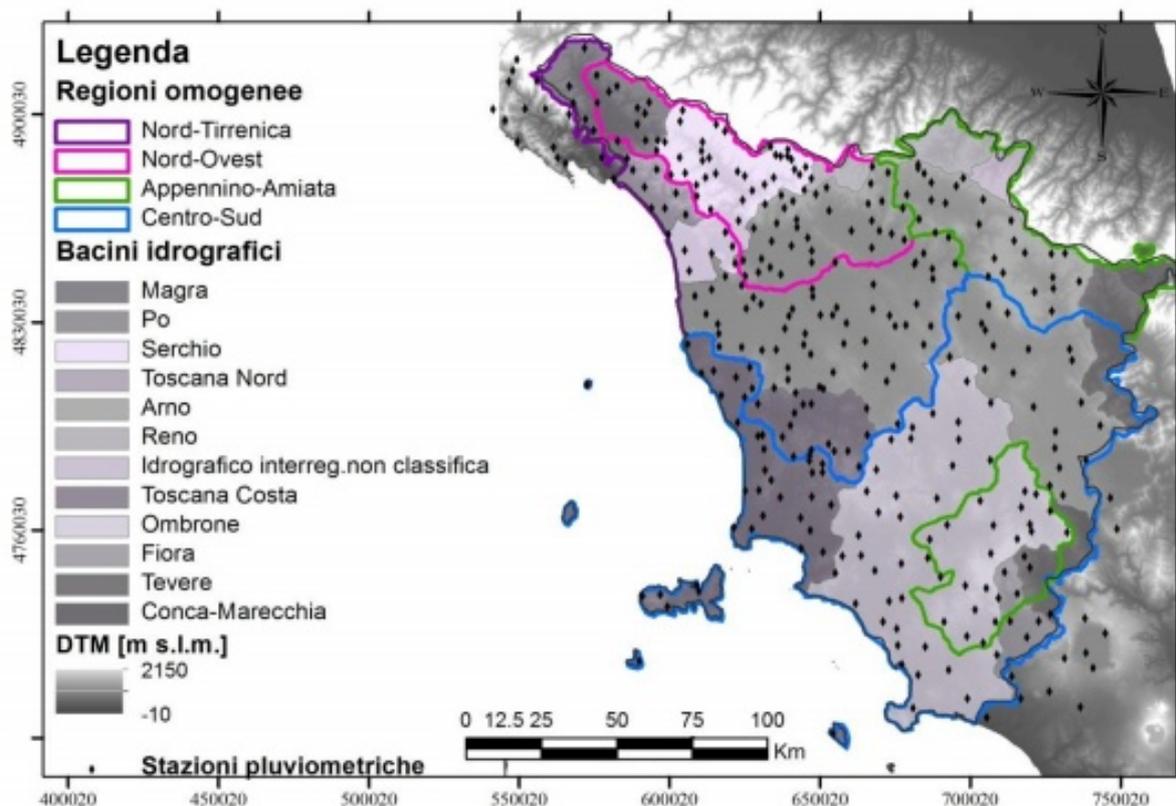


Figura 4.1 - Suddivisione dell'area di studio in regioni omogenee - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"

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 4.2).

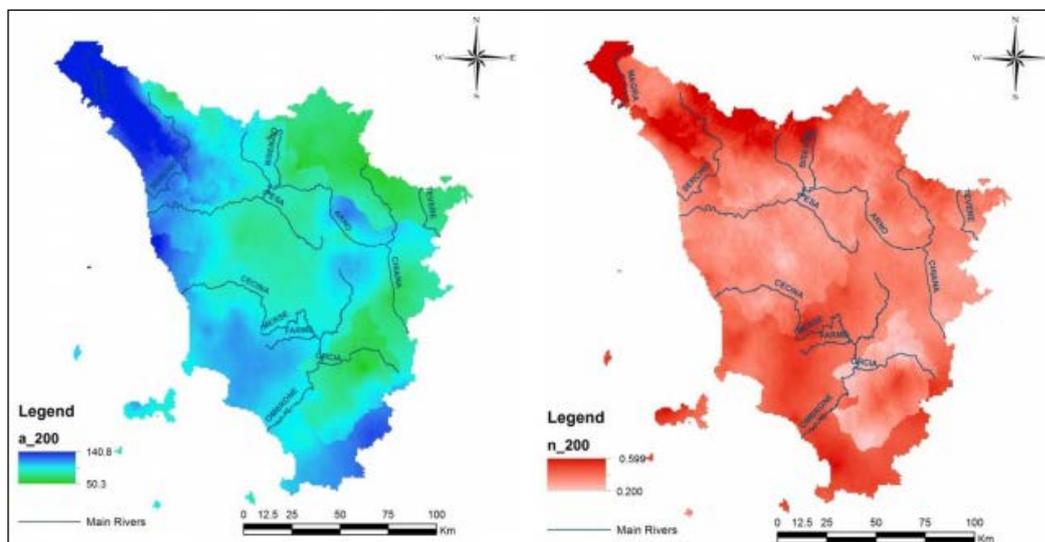


Figura 4.2 - Spazializzazione sull'intera regione dei parametri "a" (sinistra) e "n" (destra) della LSPP per Tr 200 anni. - "Analisi di Frequenza Regionale delle Precipitazioni Estreme LSPP - Aggiornamento al 2012"



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:

1. sono state scaricate le mappe in formato ASCII Grid dei valori a e n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno disponibili dal sito della Regione Toscana http://www.sir.toscana.it/supports/download/lssp_2012.pdf;
2. sono stati individuati, sulla cartografia a disposizione, i bacini imbriferi di interesse e ne è stato creato un file apposito;
3. è stata estratta la parte di *raster* dei coefficienti a e n associata ai bacini oggetto di studio, da cui a questo punto è stato possibile ottenerne i valori medi.

Il valore medio dei parametri a ed n è stato calcolato come valore mediato sull'area dell'insieme di tutti i bacini idrografici che afferiscono al modello idraulico oggetto del presente studio.

Il risultato di queste operazioni è riportato in Tabella 4.1.

Codice	Bacino Idrografico	Area (Km ²)	a30 [mm/h ⁿ]	n30	a200 [mm/h ⁿ]	n200
B01	TS3996	0.018	52.800	0.293	73.500	0.357
B02	TS78921	0.013				
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)	0.020				
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)	0.574				
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)	0.276				

Tabella 4.1 - Calcolo delle LSPP

4.1.2 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.



Con principio cautelativo e dato che l'estensione dei bacini idrografici è limitata, si è ritenuto di non applicare il coefficiente di ragguglio areale.

Le altezze di pioggia, calcolate per tempi di ritorno 30 e 200 anni e durate di pioggia di 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5 e 2 ore così calcolate sono mostrate di seguito.

Codice	Bacino Idrografico	Tr 30 anni					
		h (mm) 0.25 ore	h (mm) 0.50 ora	h (mm) 0.75 ore	h (mm) 1 ora	h (mm) 1.5 ora	h (mm) 2 ore
B01	TS3996	35.2	43.1	48.5	52.8	59.5	64.7
B02	TS78921						
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)						
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)						
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)						

Tabella 4.2 - spessori di pioggia considerati alle varie durate per Tr 30 anni

Codice	Bacino Idrografico	Tr 200 anni					
		h (mm) 0.25 ore	h (mm) 0.50 ora	h (mm) 0.75 ore	h (mm) 1 ora	h (mm) 1.5 ora	h (mm) 2 ore
B01	TS3996	44.8	57.4	66.3	73.5	84.9	94.1
B02	TS78921						
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)						
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)						
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)						

Tabella 4.3 - spessori di pioggia considerati alle varie durate per Tr 200 anni

4.1.3 Durate 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 ragguglio all'area, così come indicato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con nota prot. 4422/2023 del 25/05/2023 in seguito alla richiesta di condizioni al contorno si sensi del comma 6 art. 14 della Disciplina di Piano.



Le durate di pioggia indagate fanno riferimento a fenomeni di breve durata in quanto considerati critici per piccoli bacini e sono pari a 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5 e 2 ore. I risultati della modellazione idraulica saranno esposti considerando l'inviluppo di aree allagate, battenti e velocità di questi 6 eventi.

4.2. 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.

4.2.1. Modello di infiltrazione - Metodo SCS-CN

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

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

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

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

essendo R^A lo spessore di pioggia precipitato sul bacino, S lo spessore di massima ritenzione potenziale del terreno e $I_a = c S$, lo spessore di assorbimento iniziale, con $0 \leq c < 1$. L'assorbimento



iniziale I_a rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto a priori per l'intercettazione della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali e, come si può intuire, risulta difficilmente valutabile. Sulla base di dati sperimentali relativi a numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di I_a un valore di $c=0.2$.

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

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

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

Lo stato di imbibimento viene individuato, in modo qualitativo-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 4.4 sono descritte tali categorie dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente (Chow et al., 1988), mentre in Tabella 4.5 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 4.4 - 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	72	81	88	91
	Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<i>Terreno da pascolo</i>	Cattive condizioni	68	79	86	89
	Buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie</i>	Buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terreni boscosi o forestati</i>	Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
	Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi</i>	Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
	Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
<i>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</i>		89	92	94	95
<i>Distretti industriali (impermeabilità 72%)</i>		81	88	91	93
<i>Aree residenziali (impermeabilità media %)</i>	65%	77	85	90	92
	38%	61	75	83	87
	30%	57	72	81	86
	25%	54	70	80	85
	20%	51	68	79	84
<i>Parcheggi impermeabilizzati, tetti</i>		98	98	98	98
<i>Strade</i>	Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
	Inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
	In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 4.5 - 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:



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

(4.7)

4.2.2. 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 4.4.

Procedendo come esposto nel paragrafo 4.2.1 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:

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

A questo punto il valore del *Curve Number III* è definito e riportato in Tabella 4.11 per i vari bacini.

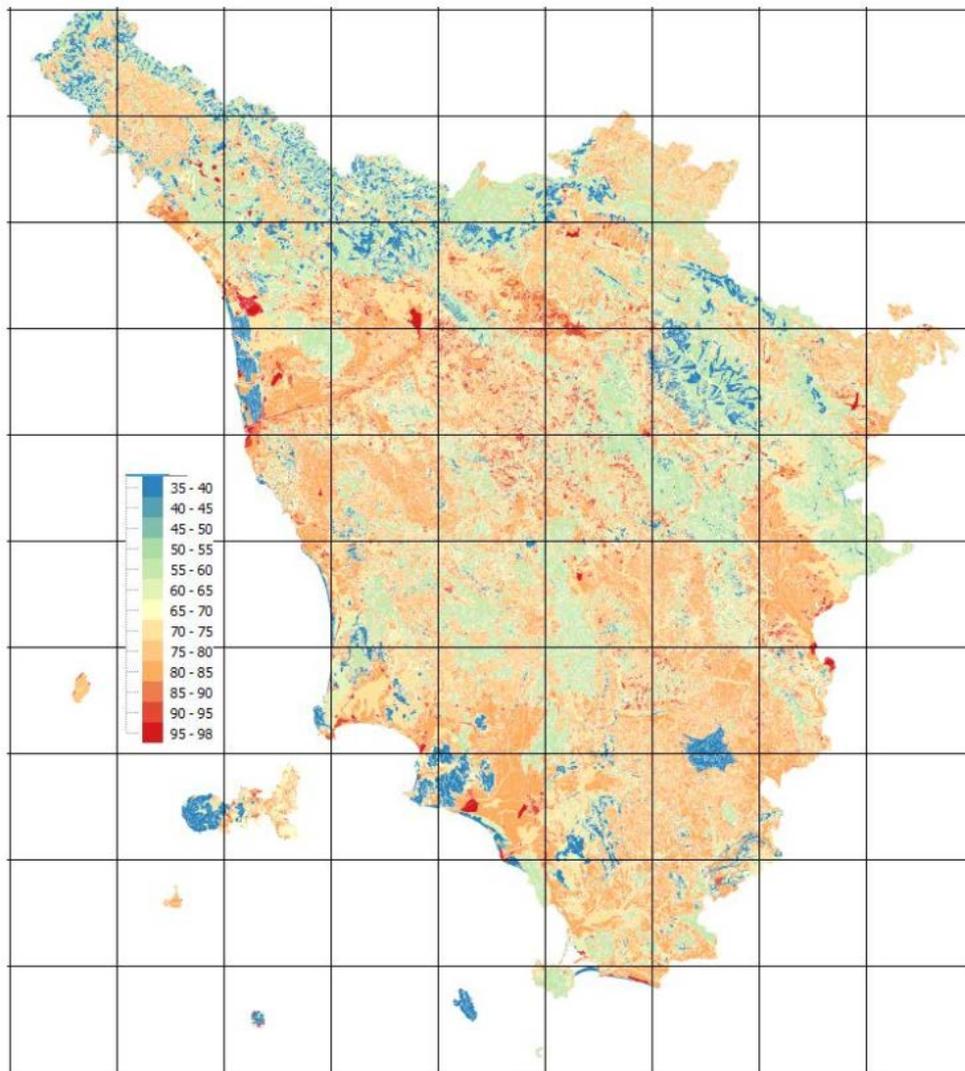


Figura 4.3 – Valori di Curve Number – CNII per la Toscana

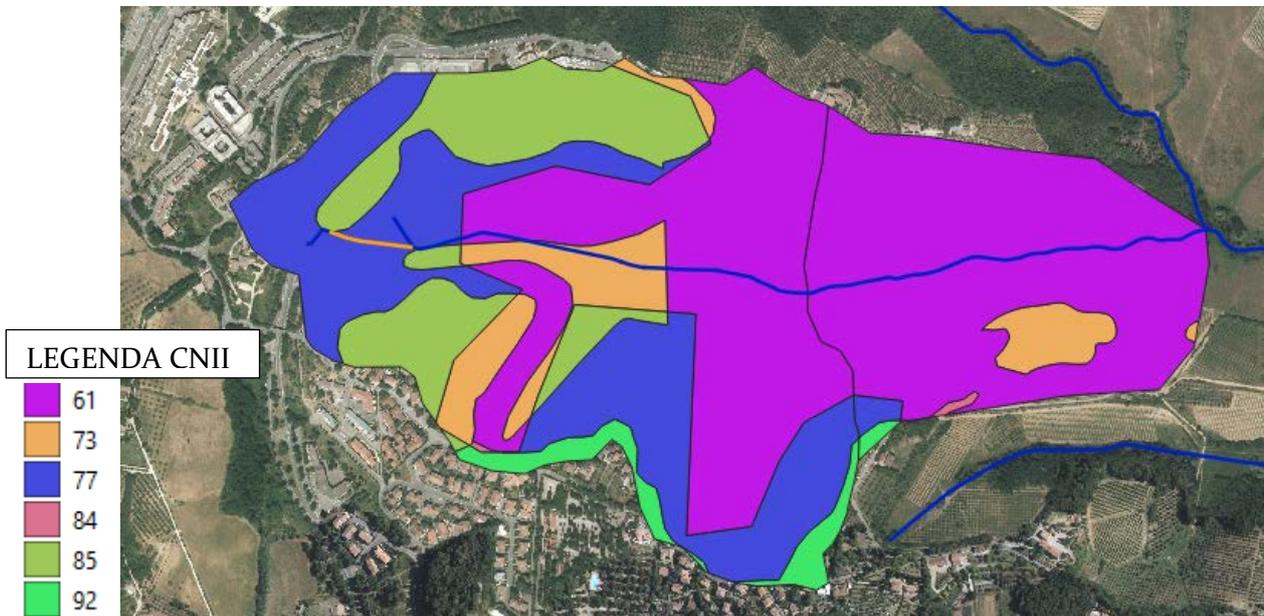


Figura 4.4 - Valori di CNII assunti per i vari bacini

4.3. 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).

4.3.1. Modello SCS Idrogramma Unitario

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

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

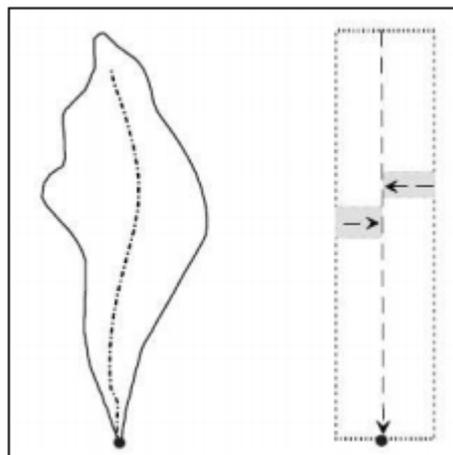
L'approccio proposto dal SCS può essere impiegato purché si definisca il valore del *lag time* (tempo di ritardo del bacino) e il *peak rate factor* (PRF). Mentre il primo è comunemente definito sulla base di formule empiriche, il secondo deve essere scelto in funzione delle caratteristiche geomorfologiche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

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

intendendo per q_p la portata di picco in [ft^3/s], A l'area di drenaggio in [mi^2] 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.

4.3.2. Modello Kinematic Wave

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



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

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

Codice		B03											
Bacino idrografico		Fosso dell'Acquaviva (monte)											
Subbasin	Loss 1	Loss 2	Channel	Collector	Subcollector	Plane 1	Plane 2	Options	Collector	Subcollector	Plane 1	Plane 2	Options
Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 Route Upstream: No Routing Method: Kinematic Wave *Length (M) 70 *Slope (M/M) 0.07 Subreaches: 5 Shape: Trapezoid *Manning's n: 0.035 *Bottom Width (M) 2 *Side Slope (xH:1V) 5		Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 *Length (M) 80 *Slope (M/M) 0.05 *Roughness: 0.08 *Area (%) 90 Routing Steps: 5					Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 *Length (M) 60 *Slope (M/M) 0.15 *Roughness: 0.08 *Area (%) 10 Routing Steps: 5						

Tabella 4.6 – Parametri Hec-Hms Kinetatic Wave Bacino B03



Codice	B04				
Bacino idrografico	Fosso dell'Acquaviva (valle)				
Subbasin Loss 1 Loss 2 Channel	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options
Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 Route Upstream: No Routing Method: Kinematic Wave *Length (M) 70 *Slope (M/M) 0.07 Subreaches: 5 Shape: Trapezoid *Manning's n: 0.035 *Bottom Width (M) 2 *Side Slope (xH:1V) 5	Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 *Length (M) 80 *Slope (M/M) 0.05 *Roughness: 0.08 *Area (%) 90 Routing Steps: 5	Basin Name: Basin 1 Element Name: B04 *Length (M) 60 *Slope (M/M) 0.15 *Roughness: 0.08 *Area (%) 10 Routing Steps: 5			

Tabella 4.7 – Parametri Hec-Hms Kinetatic Wave Bacino B04

Codice	B05				
Bacino idrografico	Fosso dell'Acquaviva (finale)				
Subbasin Loss 1 Loss 2 Channel	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options	Collector Subcollector Plane 1 Plane 2 Options
Basin Name: Basin 1 Element Name: B06 Route Upstream: No Routing Method: Kinematic Wave *Length (M) 500 *Slope (M/M) 0.016 Subreaches: 5 Shape: Trapezoid *Manning's n: 0.035 *Bottom Width (M) 2 *Side Slope (xH:1V) 2	Basin Name: Basin 1 Element Name: B06 *Length (M) 700 *Slope (M/M) 0.2 *Roughness: 0.08 *Area (%) 60 Routing Steps: 5	Basin Name: Basin 1 Element Name: B06 *Length (M) 700 *Slope (M/M) 0.2 *Roughness: 0.08 *Area (%) 40 Routing Steps: 5			

Tabella 4.8 – Parametri Hec-Hms Kinetatic Wave Bacino B04

4.3.3. 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.

Codice	B01													
Bacino idrografico	TS3996													
Formule utilizzate	Giandotti	Pasini	Aronica Paltrinieri	Kirpich	Kerby Hataway	Papadakis -Kazan	Watt-Chow	Chow	Carte r	Fiorentino	McEnroe Zao	Johstone Cross	Bransby Williams	WMS Espey
Lag time (min)	10	2	12	3	17	13	3	4	8	4	4	3	5	16
Tc (min)	17	4	19	5	28	22	5	7	14	7	7	4	8	28
DATI														
A bacino (km ²)	0.018	0.018	0.018									0.18	0.18	
L asta (km)	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Diff media H (m)	16		16											
i media (m/m)		0.133		0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133	0.133		0.133	0.133
Tipo di copertura			0.25											
Permeabilità			0.81											
Dislivello (m)				32								32	32	
Scabrezza					0.3	0.3								
i pioggia (mm/h)						60								
Cost. a							0.000326	0.0012						
Cost. b							0.79	0.64						

Tabella 4.9 – Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B01

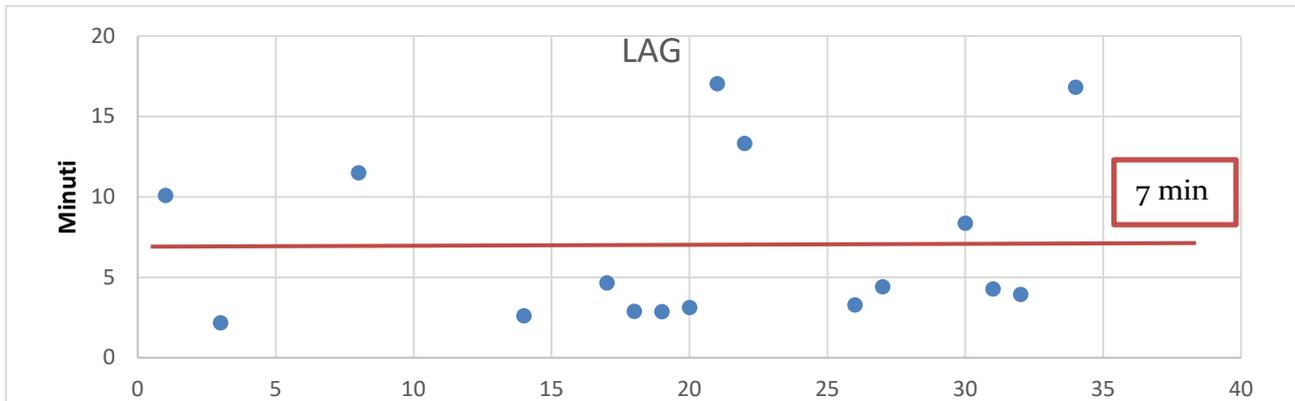


Grafico 4-1 – valori di Lag Time bacino B01 e valore medio

Codice	B02															
Bacino idrografico	TS78921															
Formule utilizzate	Giandotti	Pasini	Ventura	Puglisi	Aronica Paltrinieri	Fattorelli Marchi	NCRS Lag method	Kirpich	Kerby Hataway	Papadakis-Kazan	Watt-Chow	Chow	Carter	Johstone Cross	Bransby Williams	WMS Espey
Lag time (min)	13	2	2	27	15	23	24	3	16	13	3	4	9	3	4	20
Tc (min)	22	4	4	46	26	39	40	4	27	22	5	7	15	5	6	33
DATI																
A bacino (km ²)	0.02	0.02	0.02		0.02									0.02	0.02	
L asta (km)	0.18	0.18		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18			0.18	0.18	0.18	0.18
Diff media H (m)	8				8											
i media (m/m)		0.09	0.09					0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Tipo di copertura					0.25											
Permeabilità					0.81											
Dislivello (m)				16		16		16							16	
Coeff Cp				6		5.13										
Scabrezza									0.3	0.3						
i pioggia (mm/h)										60						
Cost. a											0.000326	0.00116				
Cost. b											0.79	0.64				
Ritenzione potenziale S							45									
i media versanti							10									

Tabella 4.10 - Formule utilizzate per il calcolo del Lag-Time e relativi dati di input utilizzati per il bacino B02

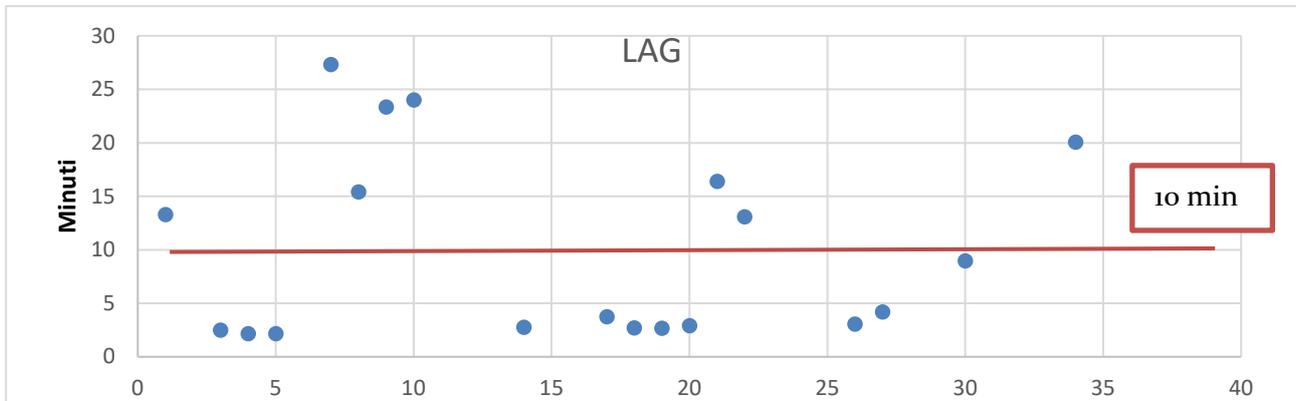


Grafico 4-2 – valori di Lag Time bacino Bo2 e valore medio

4.3.4. Risultati della modellazione idrologica

Il software HEC-HMS ver. 4.8 è il sistema d'analisi dei fiumi dell'Hydrologic Engineering Center (HEC), del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America. È stato progettato per simulare i processi di precipitazione e di deflussi di bacini idrografici e ne consente, quindi, la modellazione idrologica.

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

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

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

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

L'individuazione della durata critica per tutti i sistemi è condotta massimizzando il picco dell'idrogramma in uscita alla *Junction*, procedendo iterativamente per diversi valori della durata di pioggia.

I risultati delle analisi idrologiche in termini di valore dei picchi degli idrogrammi sono infine riportati in Tabella 4.11 per tutti i bacini oggetto di studio.

Codice	Bacino Idrografico	Area (Km ²)	CN _{III}	LAG (min)	Q _{max,Tr30} [m3/s]	Q _{max.Tt200} [m3/s]
B01	TS3996	0.018	89	7		
B02	TS78921	0.013	88			
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)	0.020	88	10		
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)	0.574	84			
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)	0.28	78			

Tabella 4.11 – Principali dati idrologici **Risultati della modellazione idrologica**, i valori assenti di lag time indicano l'utilizzo del metodo Kinematic wave per il relativo bacino

Codice	Bacino Idrografico	Tr 30 anni					
		Q _{max} [m3/s] 0.25 ore	Q _{max} [m3/s] 0.50 ore	Q _{max} [m3/s] 0.75 ore	Q _{max} [m3/s] 1 ora	Q _{max} [m3/s] 1.5 ore	Q _{max} [m3/s] 2 ore
B01	TS3996	0.23	0.26	0.24	0.21	0.18	0.15
B02	TS78921	0.27	0.22	0.18	0.15	0.12	0.1
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)	1.91	3.76	4.57	4.89	4.35	3.78
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)	0.23	0.26	0.24	0.21	0.18	0.15
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)	0.29	0.75	1.21	1.49	1.63	1.49

Tabella 4.12 - Risultati della modellazione idrologica considerati per varie durate - Tr 30 anni



Codice	Bacino Idrografico	Tr 200 anni					
		Q _{max} [m ³ /s] 0.25 ore	Q _{max} [m ³ /s] 0.50 ore	Q _{max} [m ³ /s] 0.75 ore	Q _{max} [m ³ /s] 1 ora	Q _{max} [m ³ /s] 1.5 ore	Q _{max} [m ³ /s] 2 ore
B01	TS3996	0.36	0.39	0.37	0.34	0.28	0.24
B02	TS78921	0.43	0.33	0.27	0.23	0.18	0.16
B03	Fosso dell'Acquaviva (monte)	4.58	7.91	9.29	8.7	7.27	6.29
B04	Fosso dell'Acquaviva (valle)	0.36	0.39	0.37	0.34	0.28	0.24
B05	Fosso dell'Acquaviva (finale)	0.89	2.27	3.16	3.42	3.05	2.71

Tabella 4.13 - Risultati della modellazione idrologica considerati per varie durate - Tr 200 anni



5. ANALISI IDRAULICA

5.1. Descrizione della modellazione idraulica

La modellazione idraulica è stata condotta per mezzo del seguente codice di calcolo: HEC-RAS 6.3.1, sviluppato dall'US Army Corps of Engineer, per le aste fluviali nei tratti naturali sia nelle modellazioni 1D e 2D.

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 *flow area 2D* all'interno delle quali il problema del flusso è schematizzato come bidimensionale, in modo da simulare le dinamiche di allagamento di tali aree.

5.2. Modellazioni idrauliche monodimensionali con Hec-Ras 6.3.1

Per ciascun corso d'acqua oggetto di studio è stato sviluppato anzitutto un modello idraulico monodimensionale con il codice di calcolo HEC-RAS 6.3.1, per ciascun tempo di ritorno di interesse (30 e 200 anni) e per ciascuna durata di pioggia (0.5, 1 e 2 ore) 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 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:

- $0.05 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco" nel caso di aree golenali in tratti non arginati
- $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ 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".
- $0.06 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ corrispondente a un valore intermedio per "golene con sottobosco/ aree coltivate/con molti alberi per le aree modellate bidimensionalmente.
- $0.012 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ corrispondente a un valore per condotte in calcestruzzo esenti da irregolarità.

Sia le aree modellate bidimensionalmente che le aste monodimensionali presentano omogenee condizioni di scabrezza per tutto il loro corso.

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, si è generalmente optato per l'altezza di moto uniforme.



Figura 5.1 – a sinistra area modellata bidimensionalmente “golena con alberi”. a destra immagine dell’alveo “canale in terra con folta vegetazione”

5.3. Modellazioni idrauliche bidimensionali - HEC-RAS 6.3.1

Il software HEC-RAS ha aggiunto 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 *flow area 2D*.

HEC-RAS 6.3.1 funziona per celle, che però possono essere sia strutturate che non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8). La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle (Figura 5.2). Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, come si nota in Figura 5.2, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la mesh si adatta al profilo dell'area.

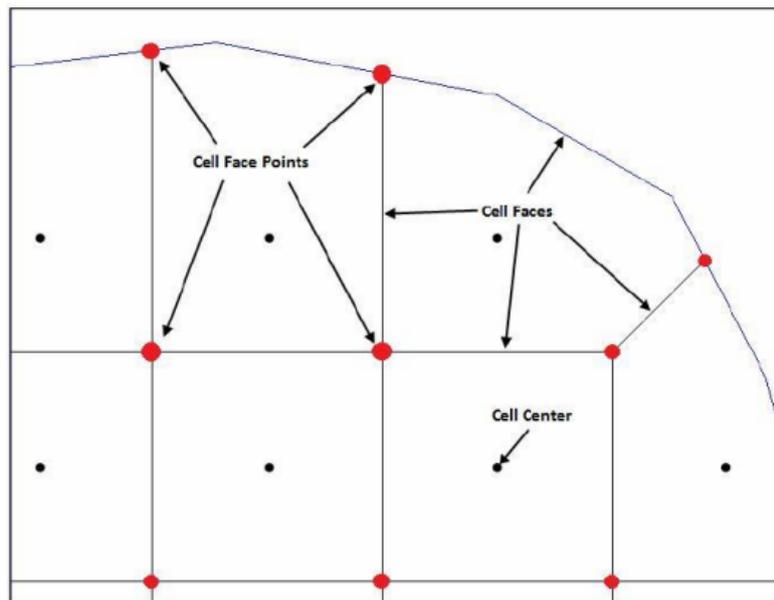


Figura 5.2 - Esempio mesh computazionale HEC-RAS 5.0.3

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.



6. 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 6.3.1);
- Descrizione delle condizioni al contorno imposte e peculiarità del modello;
- Descrizione sintetica dei risultati più significativi.

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

6.1. Modello "Acquaviva" – stato attuale

Descrizione generale

Il modello comprende:

4. L'asta TS3996 nel tratto compreso tra monte di Viale Bracci e l'area compresa tra il parcheggio multipiano "Fast Park" e l'Albergo "Four Points";
5. Il Fosso di Acquaviva nel tratto a cielo aperto a partire dal tratto iniziale nella zona sottostante il parcheggio multipiano "Fast Park" fino all'area a valle del Policlinico "Le Scotte".

Nel tratto a valle di Viale Bracci non è presente un alveo inciso. Motivo per il quale è stata effettuata richiesta di deperimetrazione dal Reticolo Idrografico Regionale di cui alla LR 79/2012. È stato comunque impostata una modellazione tramite asta monodimensionale del tratto TS3996 che termina in una più ampia e diffusa area di allagamento. Al tratto monodimensionale è stato assegnato una condizione al contorno di valle pari alla normal depth dell'area. Il tratto monodimensionale è funzionale alla definizione delle aree allagate nel tratto subito a valle di Viale Bracci ed è disconnesso dalla 2D Flow Area.

Nell'area in cui termina il tratto monodimensionale e dove tendono a stagnare le acque, è stata impostata una modellazione bidimensionale con inserimento di una condizione al contorno definita dalla somma degli idrogrammi di piena dei bacini Bo1 e Bo2.

Il fosso dell'Acquaviva scorre interamente in ambito naturale/agricolo con presenza di attraversamenti di passaggi campestri. La modellazione monodimensionale è collegata alla modellazione bidimensionale tramite Lateral Structure per simulare il reingresso dei volumi provenienti dall'area compresa tra il Fast Park e il parcheggio dell'Albergo.



Figura 6.1 – inquadramento del modello idraulico “Acquaviva”

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 6.3.1 in cui le aste fluviali sono modellate come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo *cross sections*, *inline structure*, *bridge* e *flow areas 2D* per la parte di modellazione bidimensionale. All'interno di queste sono presenti 2D connection per simulare la presenza degli ostacoli al deflusso (ad es. muretti di recinzione) così come rilevati durante le campagne di rilievo.

Asta idraulica	N. Sezioni idrauliche	N. briglie o soglie	N. ponti	n. 2D flow areas
Acquaviva Monte	6		1	1
Acquaviva Acquaviva	21	1	4	

Tabella 6.1 – elementi geometrici per la caratterizzazione delle aste idrauliche del modello “Acquaviva”



Figura 6.2 – Geometria Hec-Ras del modello “Acquaviva”

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

È stato realizzato un unico modello idraulico, nel quale sono stati inseriti, come condizioni di monte, gli idrogrammi di piena, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, mentre come condizione di valle delle aste è stato utilizzato la *normal depth*. La condizione al contorno per la 2D Flow Area è rappresentata dalla somma degli idrogrammi di piena dei bacini Bo1 e Bo2.

La 2D flow area presenta celle con dimensione 1m x 1m con presenza di breaklines per meglio definire la presenza di muretti che influiscono sulla propagazione dei volumi allaganti.

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

- n pari a $0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale;
- n pari a $0.05 \text{ s m}^{-1/3}$ fuori dall'alveo principale.

Gli idrogrammi di piena dei bacini intermedi sono stati inseriti come condizione al contorno puntuali.

Di seguito sono mostrati gli idrogrammi di piena utilizzati come condizioni al contorno di monte.

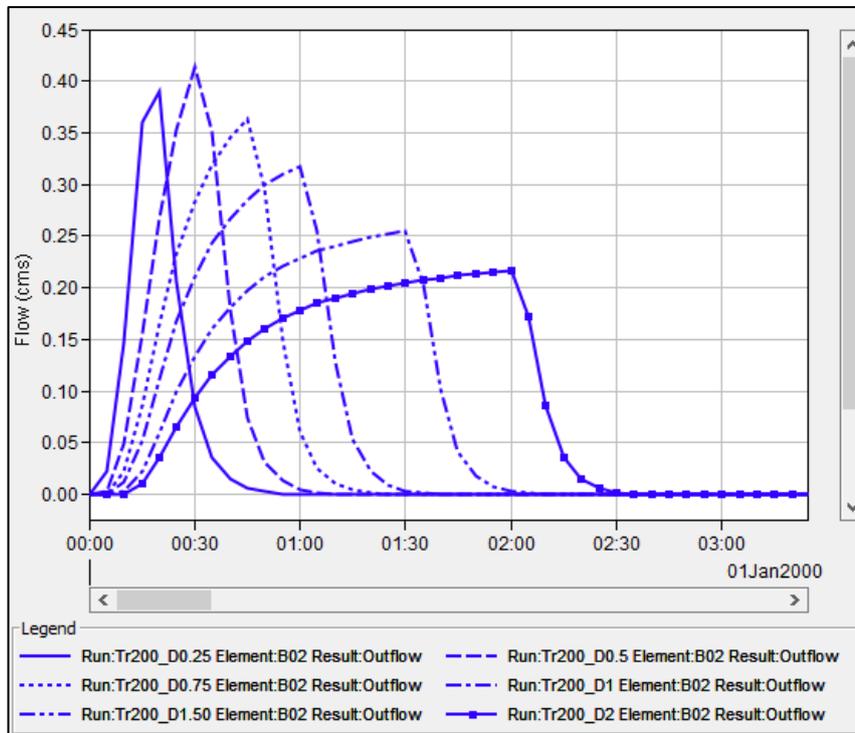


Figura 6.3 – Bacino B01 - Tr200 – tutte le durate di pioggia indagate

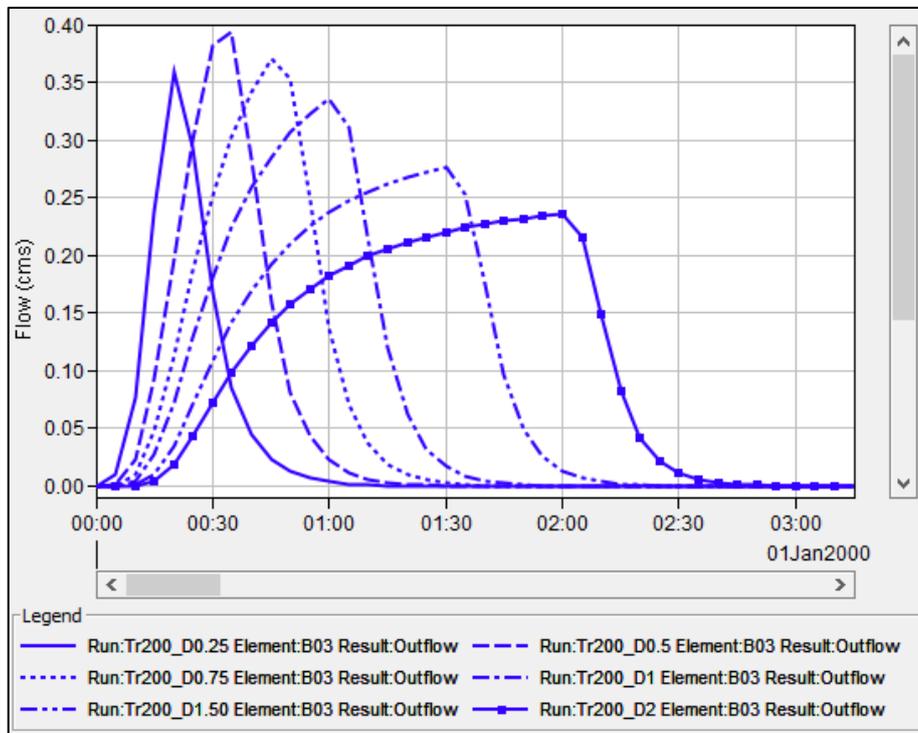


Figura 6.4 – Bacino B02 - Tr200 – tutte le durate di pioggia indagate

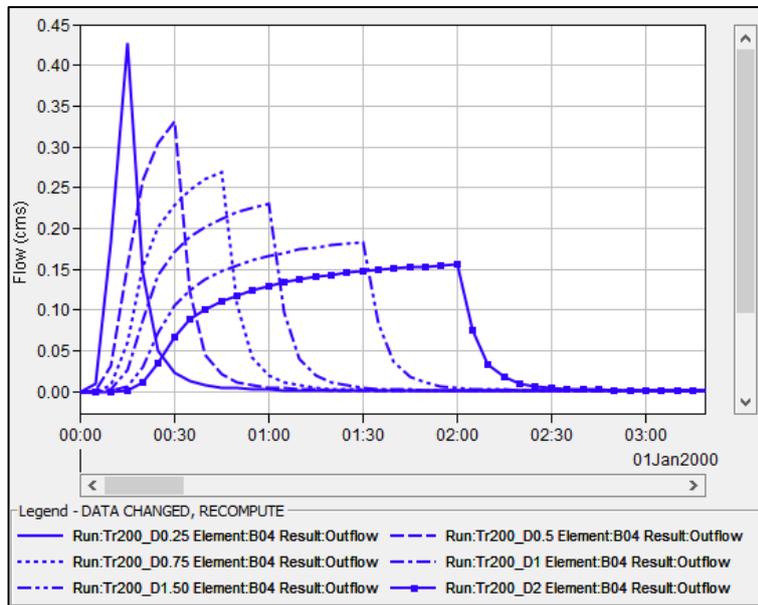


Figura 6.5 – Bacino B03 - Tr200 – tutte le durate di pioggia indagate

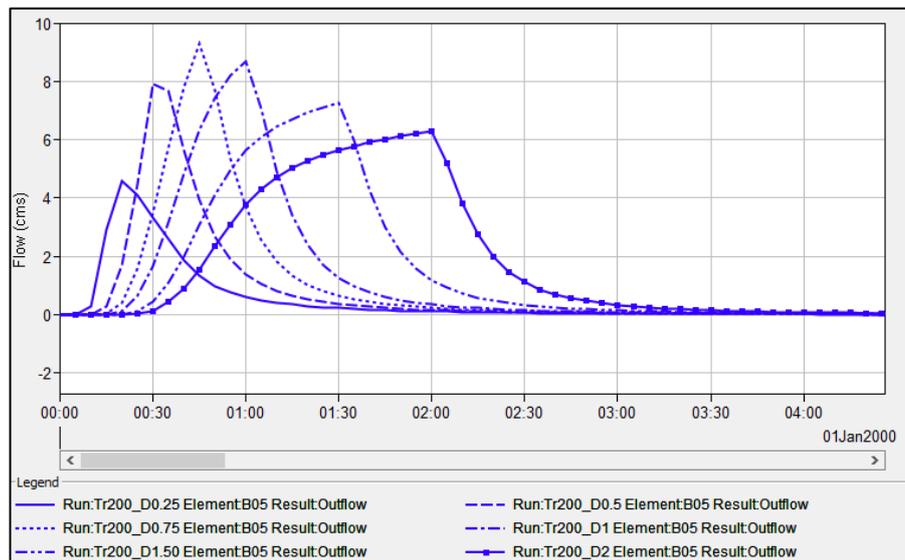


Figura 6.6 – Bacino B04 - Tr200 – tutte le durate di pioggia indagate

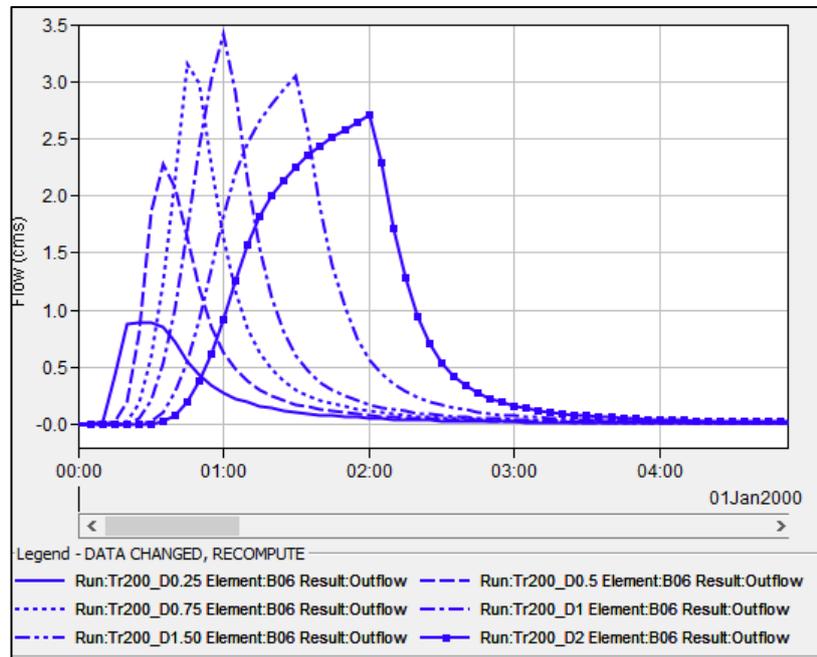


Figura 6.7 – Bacino B05 - Tr200 – tutte le durate di pioggia indagate

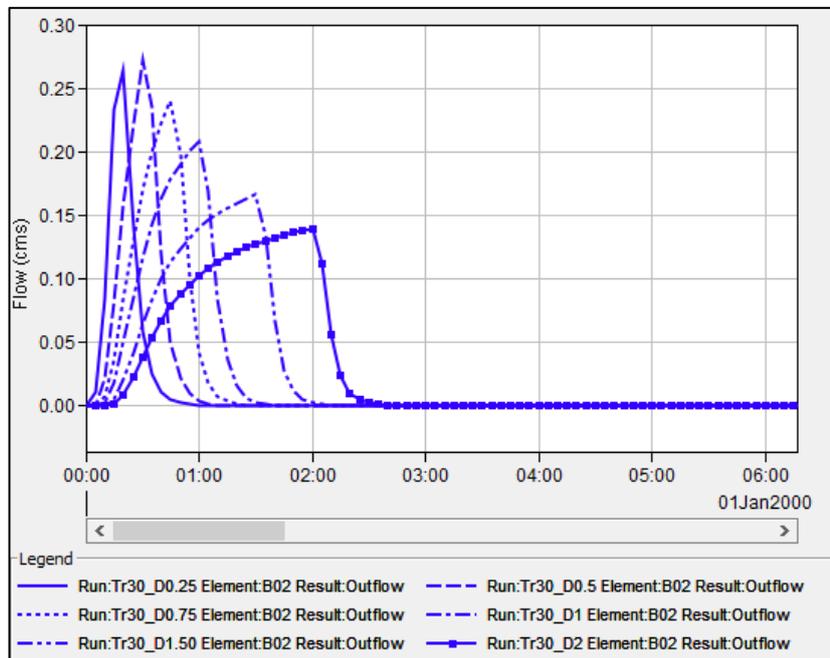


Figura 6.8 – Bacino B01 – Tr30 – tutte le durate di pioggia indagate

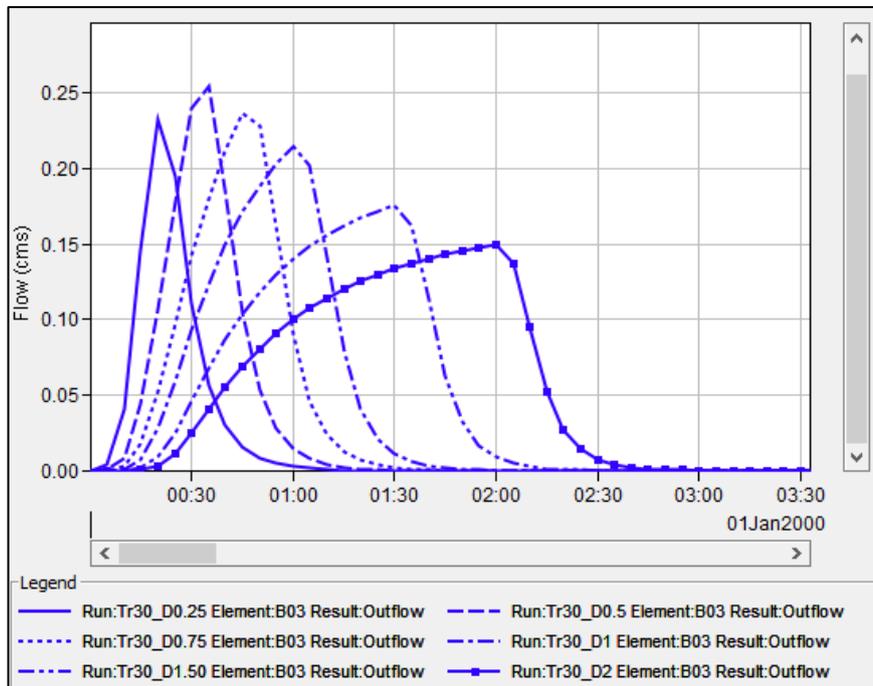


Figura 6.9 – Bacino B02 – Tr30 – tutte le durate di pioggia indagate

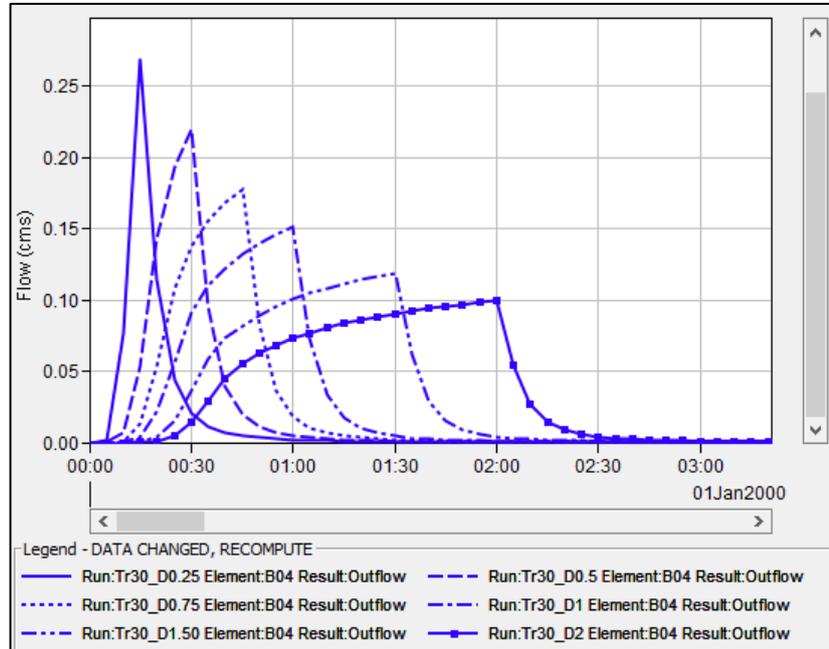


Figura 6.10 – Bacino B03 – Tr30 – tutte le durate di pioggia indagate

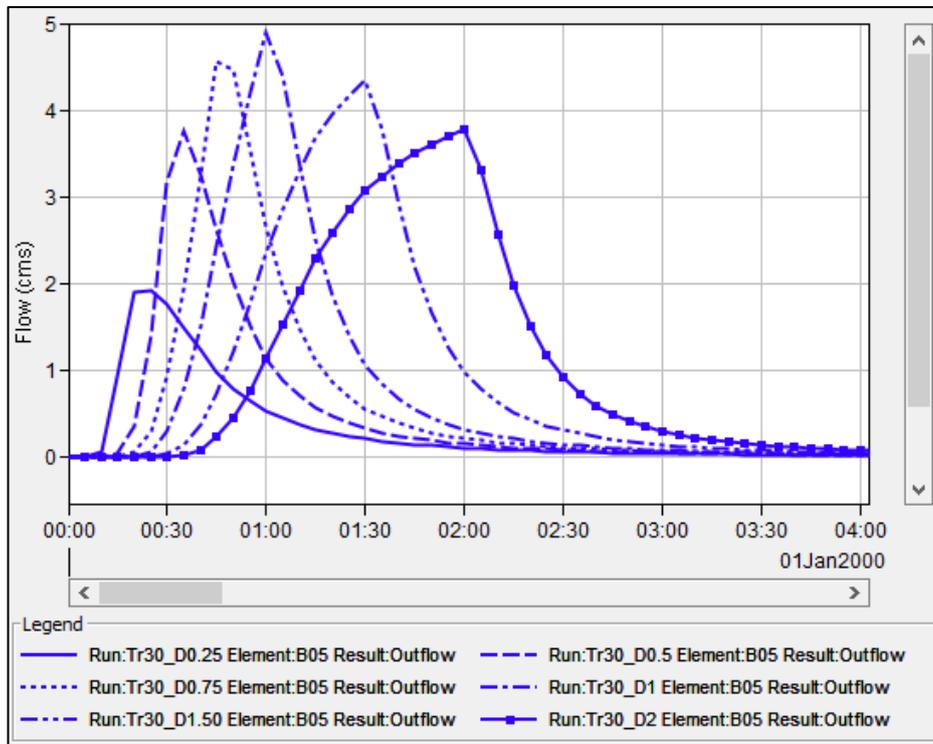


Figura 6.11 - Bacino B04 - Tr30 - tutte le durate di pioggia indagate

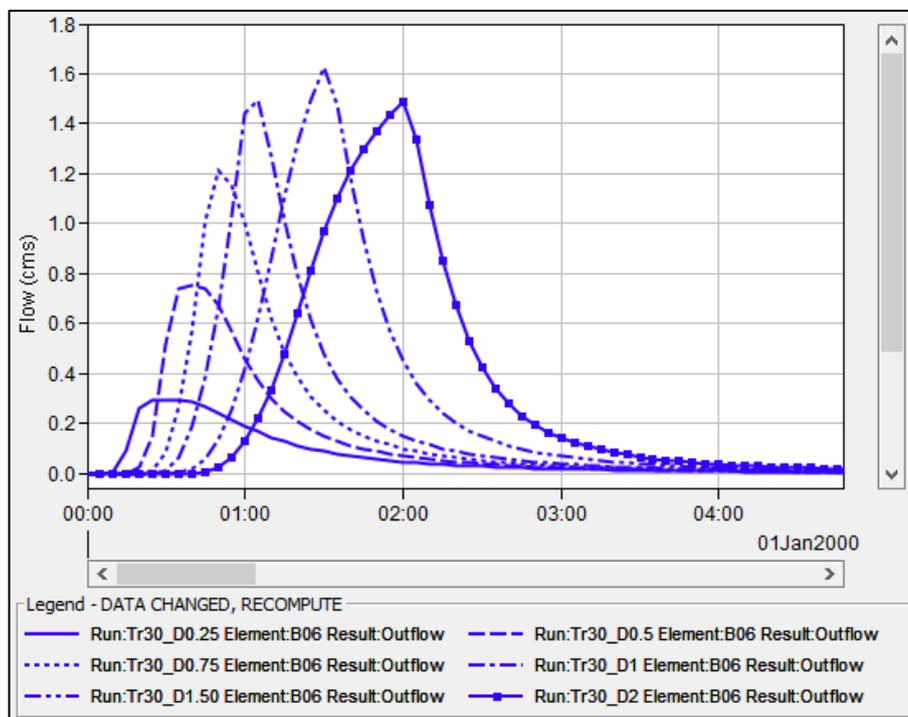


Figura 6.12- Bacino B05 - Tr30 - tutte le durate di pioggia indagate

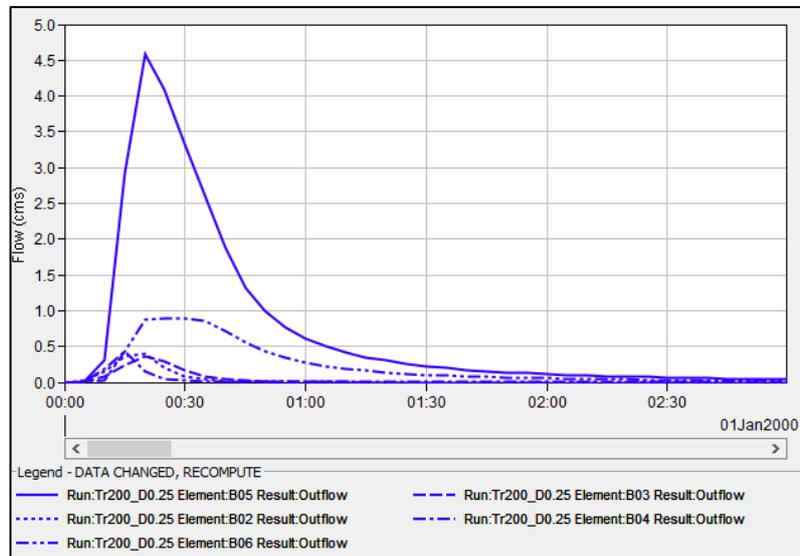


Figura 6.13 – Tr200 – D 0.25 h – tutti i bacini idrografici indagati

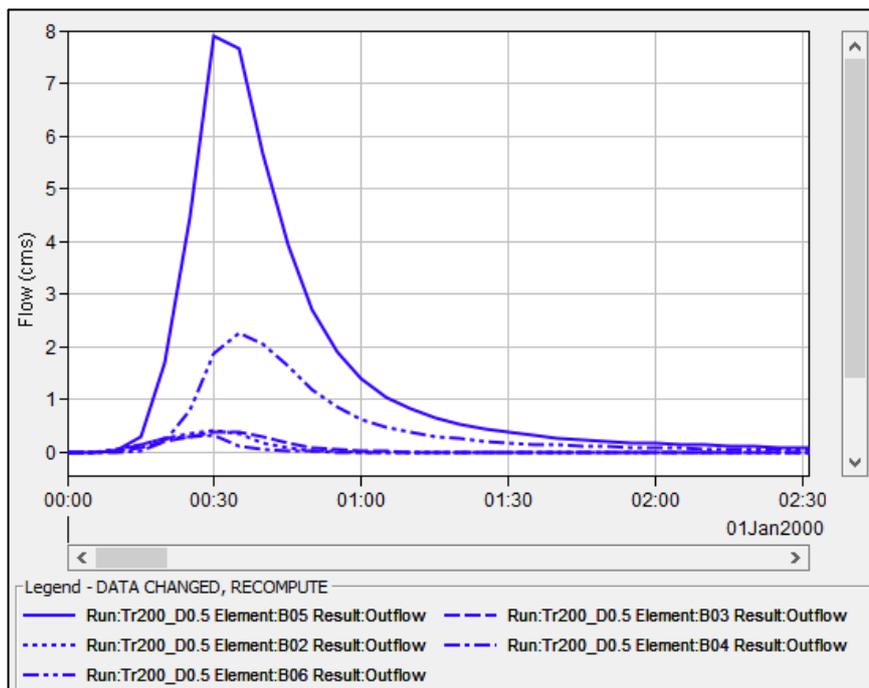


Figura 6.14– Tr200 – D 0.5 h – tutti i bacini idrografici indagati

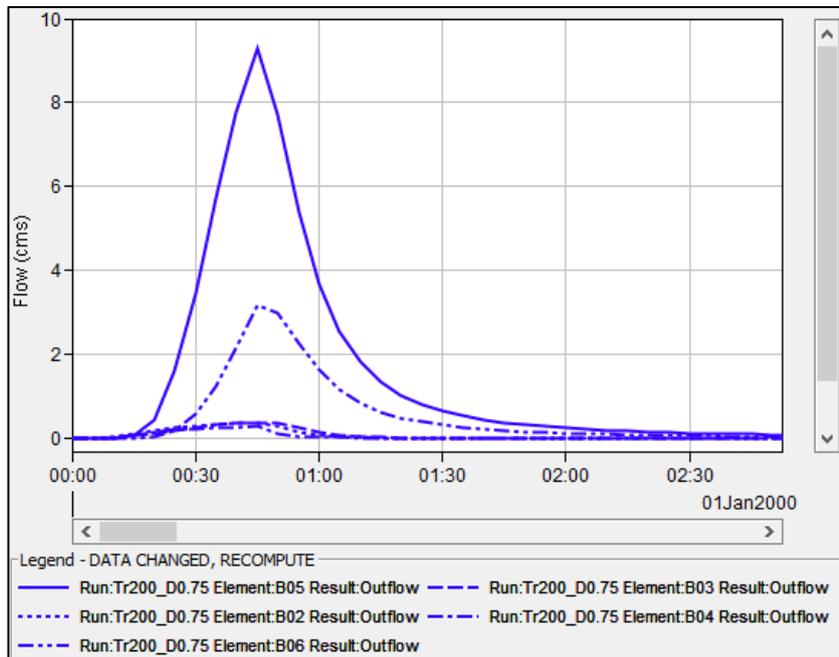


Figura 6.15 - Tr200 - D 0.75 h - tutti i bacini idrografici indagati

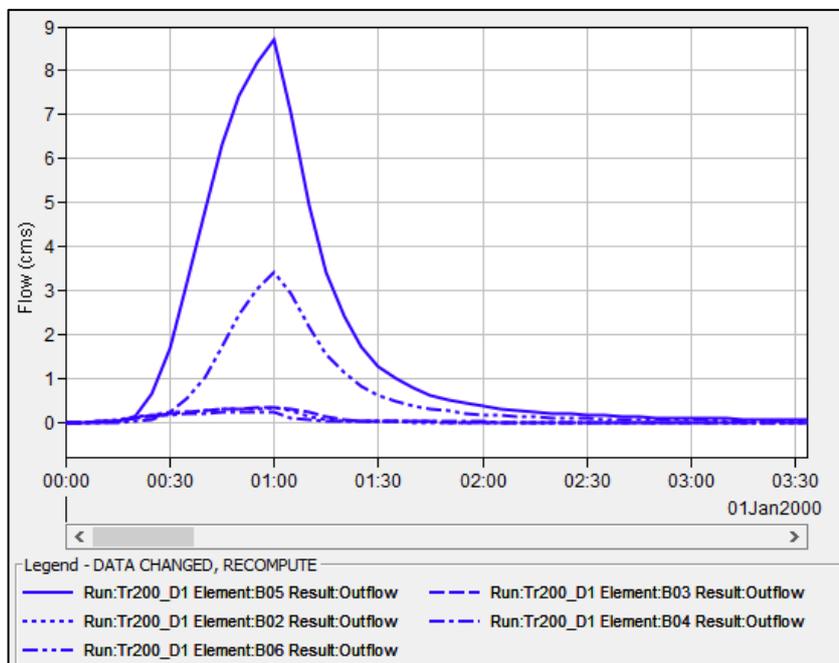


Figura 6.16 - Tr200 - D 1 h - tutti i bacini idrografici indagati

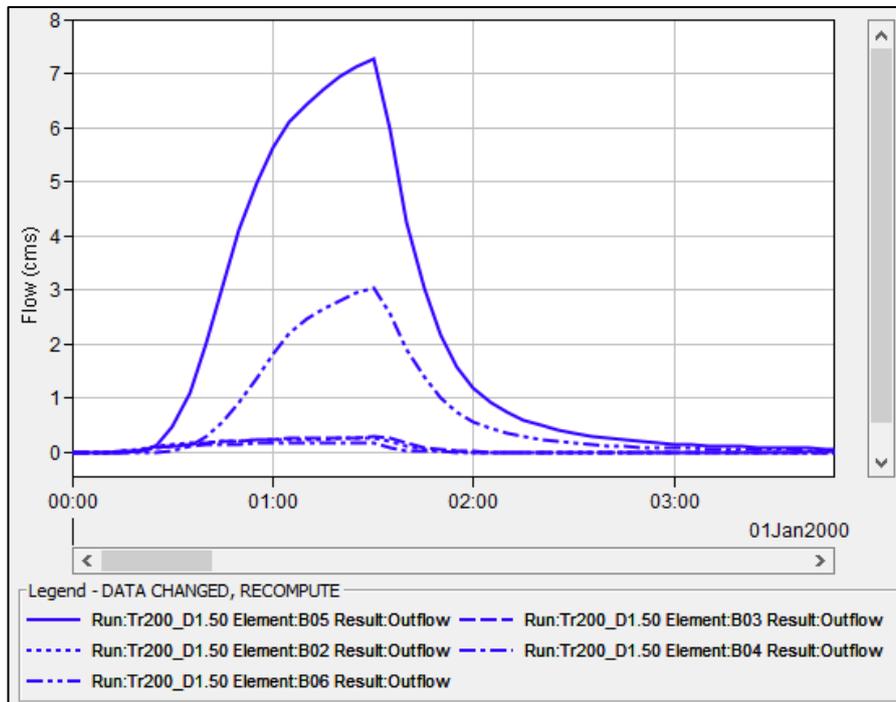


Figura 6.17 - Tr200 - D 1.5 h - tutti i bacini idrografici indagati

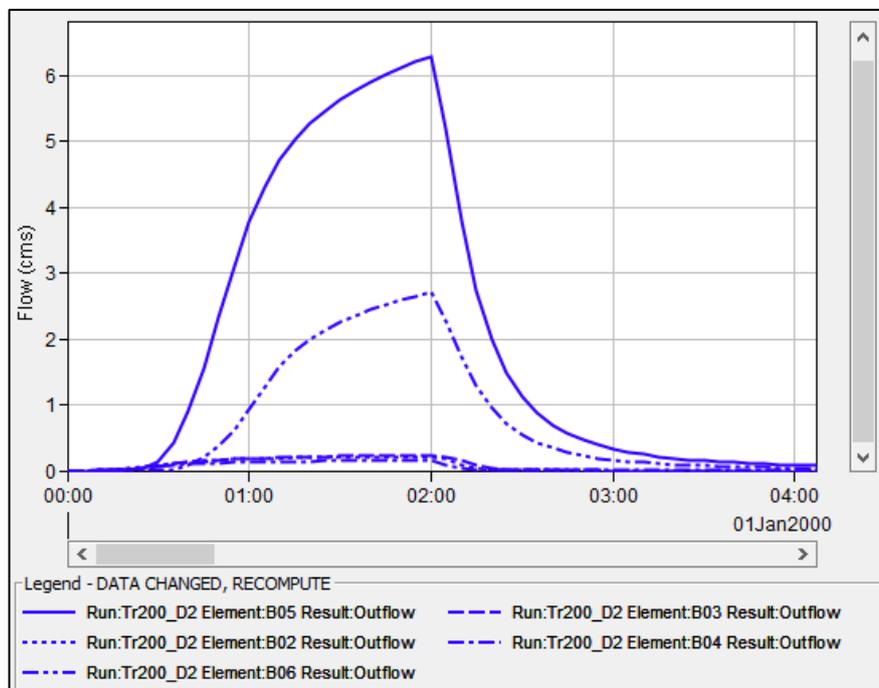


Figura 6.18 - Tr200 - D 2 h - tutti i bacini idrografici indagati

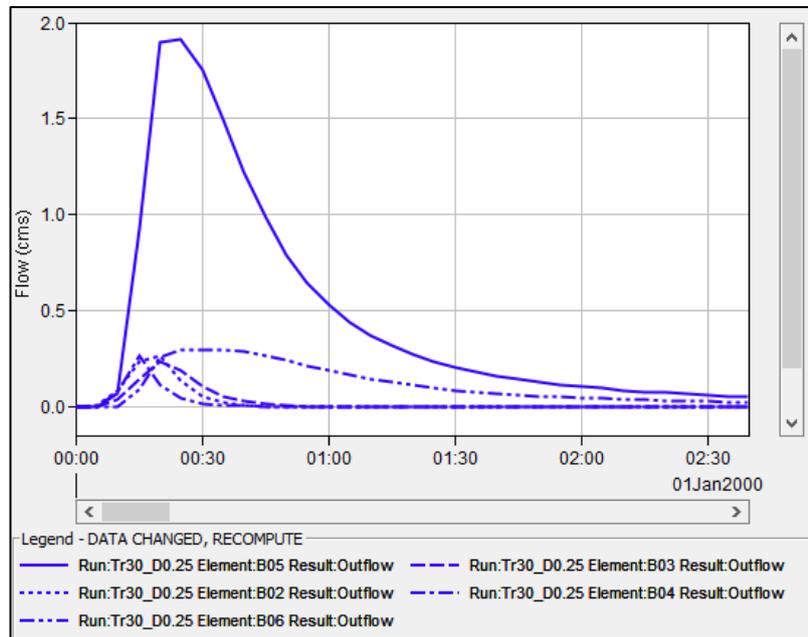


Figura 6.19 - Tr30 - D 0.25 h - tutti i bacini idrografici indagati

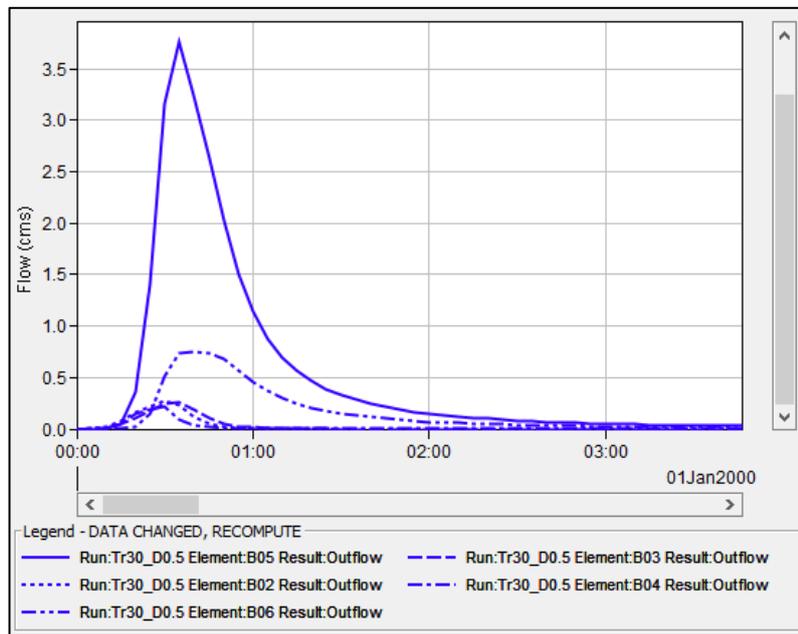


Figura 6.20 - - Tr30 - D 0.5 h - tutti i bacini idrografici indagati

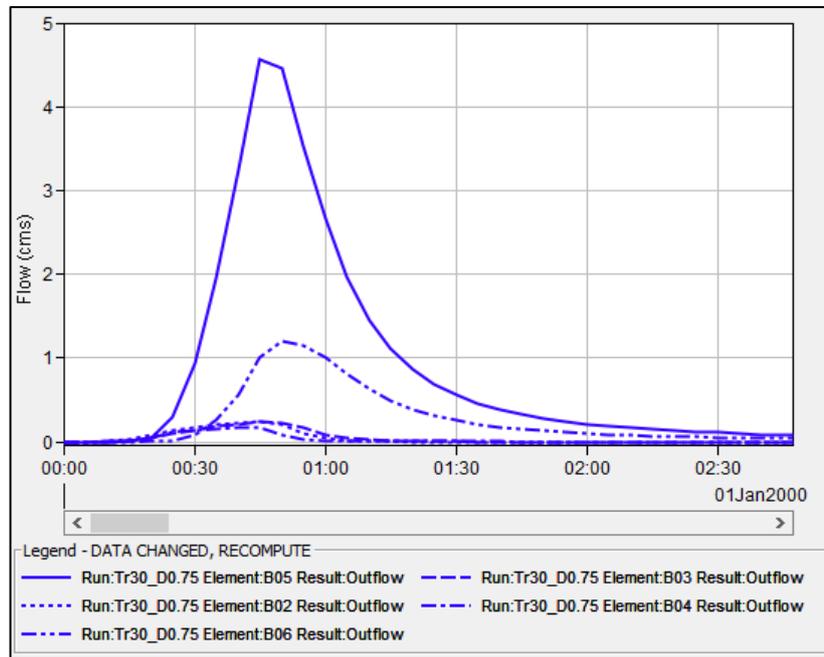


Figura 6.21 - Tr₃₀ - D 0.75 h - tutti i bacini idrografici indagati

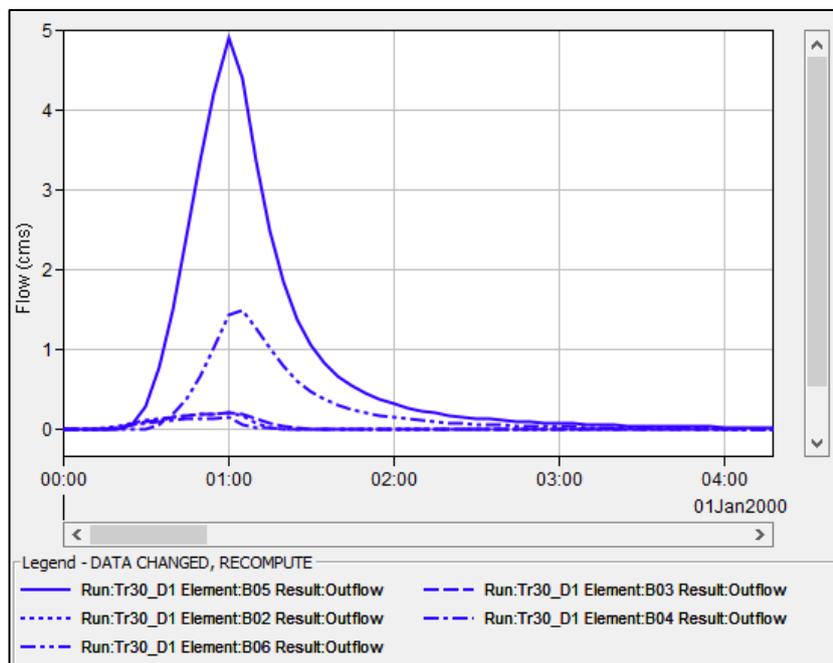


Figura 6.22 - - Tr₃₀ - D 1 h - tutti i bacini idrografici indagati

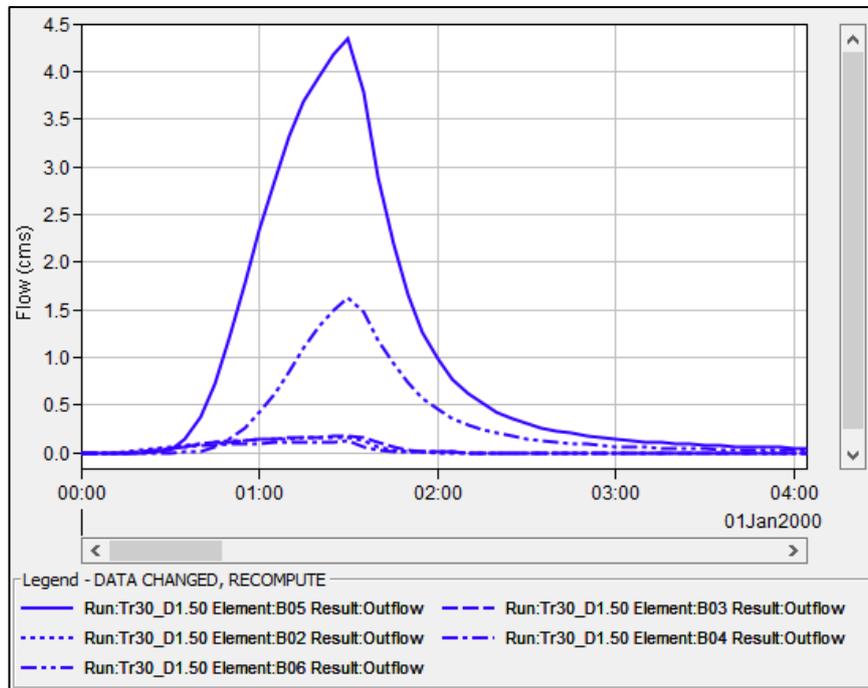


Figura 6.23 - Tr30 - D 1.5 h - tutti i bacini idrografici indagati

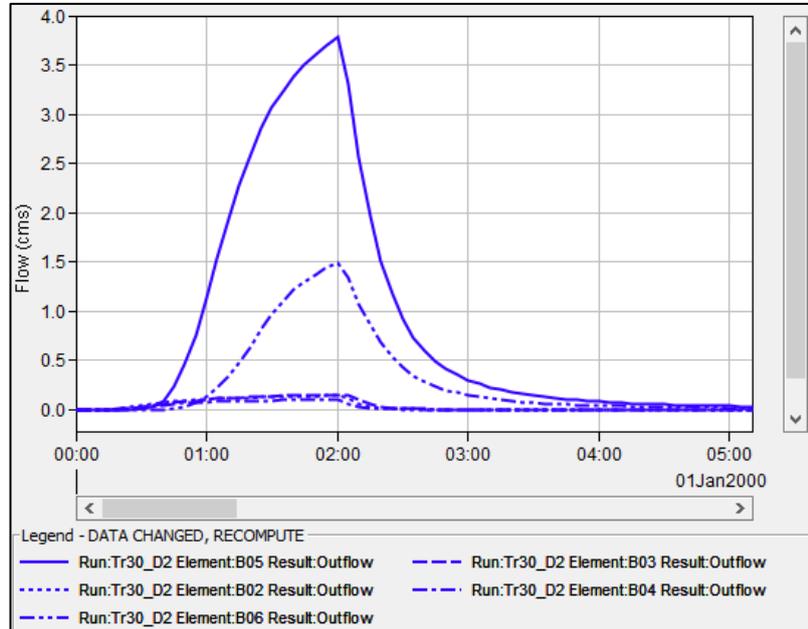


Figura 6.24 - Tr30 - D 2 h - tutti i bacini idrografici indagati

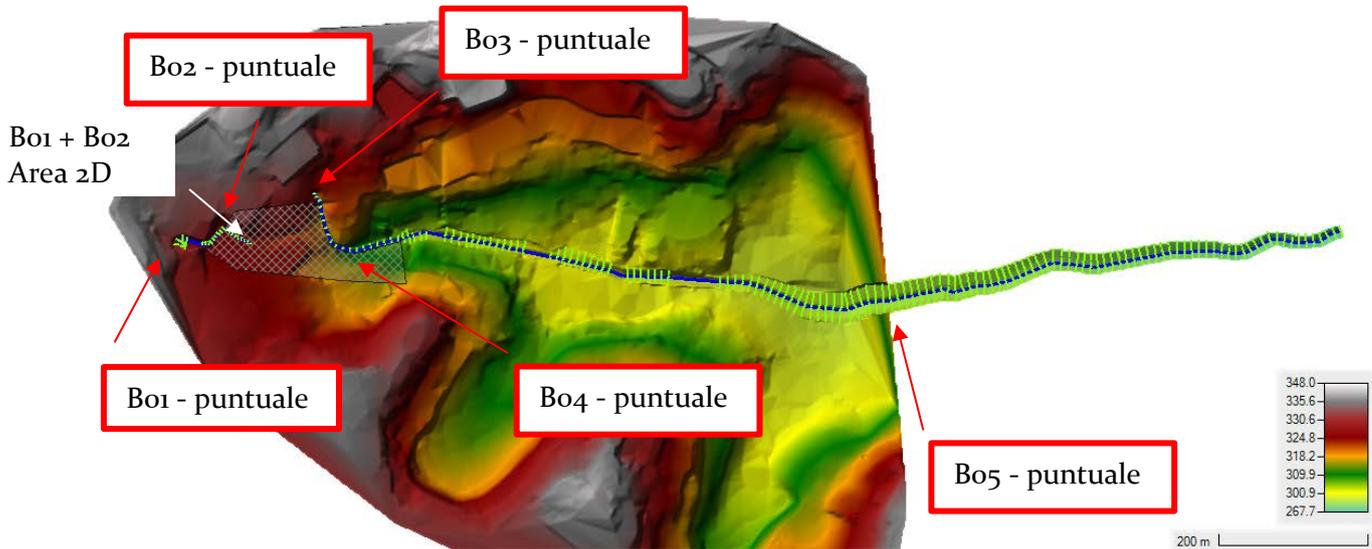


Figura 6.25 – modello “Acquaviva” localizzazione degli idrogrammi di piena

I parametri di calcolo sono stati impostati come segue.

General	2D Flow Options	1D/2D Options	Advanced Time Step Control	1D Mixed Flow Options	
1D Unsteady Flow Options				1D/2D Unsteady Flow Options	
Theta [implicit weighting factor] (0.6-1.0):		1.		Number of warm up time steps (0 - 100,000):	1000
Theta for warm up [implicit weighting factor] (0.6-1.0):		1.		Time step during warm up period (hrs):	0.5
Water surface calculation tolerance [max=0.06](m):		0.006		Minimum time step for time slicing (hrs):	0.1
Storage Area elevation tolerance [max=0.06](m):		0.006		Maximum number of time slices:	20
Flow calculation tolerance [optional] (m3/s):				Lateral Structure flow stability factor (1.0-3.0):	3.
Max error in water surface solution (Abort Tolerance)(m):		30.		Inline Structure flow stability factor (1.0-3.0):	3.
Maximum number of iterations (0-40):		40		Weir flow submergence decay exponent (1.0-3.0):	3.
Maximum iterations without improvement (0-40):				Gate flow submergence decay exponent (1.0-3.0):	3.
				Gravity (m/s ²):	9.80665
Wind Forces				1D Numerical Solution	
Reference Frame:	Eulerian			<input checked="" type="radio"/> Finite Difference (classic HEC-RAS methodology)	
Drag Formulation:	Hsu (1988)			<input type="radio"/> Finite Difference Matrix Solver	
				<input checked="" type="radio"/> Skyline/Gaussian (Default: faster for dendritic systems)	
				<input type="radio"/> Pardiso (Optional: may be faster for large interconnected systems)	
Geometry Preprocessor Options				<input type="radio"/> Finite Volume (Beta)	
Family of Rating Curves for Internal Boundaries				Number of cores to use with Pardiso solver:	All Available
<input checked="" type="radio"/> Use existing internal boundary tables when possible.					
<input type="radio"/> Recompute at all internal boundaries					



General 2D Flow Options 1D/2D Options Advanced Time Step Control 1D Mixed Flow Options			
<input type="checkbox"/> Use Coriolis Effects (not used with Diffusion Wave equation)			
Parameter	(Default)	2D	
1 Theta (0.5-1.0)	1	1	1
2 Theta Warmup (0.5-1.0)	1		1
3 Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003		0.003
4 Volume Tolerance (m)	0.003		0.003
5 Maximum Iterations	20		40
6 Equation Set	Diffusion Wave		SWE-ELM (original/faster)
7 Initial Conditions Time (hrs)			
8 Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1		0.1
9 Number of Time Slices (Integer Value)	1		1
10 Turbulence Model	None		None
11 Longitudinal Mixing Coefficient	0.5		0.5
12 Transverse Mixing Coefficient	0.1		0.1
13 Smagorinsky Coefficient	0.05		0.05
14 Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
15 Latitude for Coriolis (-90 to 90)			
16 Solver Cores	All Available		All Available
17 Matrix Solver	PARDISO (Direct)		PARDISO (Direct)
18 Convergence Tolerance	0.00001		0.00001
19 Minimum Iterations	5		5
20 Maximum Iterations	30		30
21 Restart Iteration	10		10
22 Relaxation Factor	1.5		1.5
23 SOR Preconditioner Iterations	10		10

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

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

Water surface tolerance (m):

Flow Tolerance (%):

Minimum flow tolerance (m3/s):

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

Fixed Time Step (Basic method)

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

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

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

Froude number threshold for eliminating acceleration terms:

Figura 6.26 – impostazioni di calcolo Hec-Ras 6.3.1

Sintesi dei risultati

L'area a valle di Viale Bracci raccoglie le acque del limitato bacino nel suo intorno e queste defluiscono in maniera diffusa e incontrollata attraverso le aree a verde fino a defluire nell'alveo inciso del F. di Acquaviva. Da qui le acque rimangono all'interno delle sponde tranne che per occasionali sormonti degli attraversamenti campestri lungo il percorso.

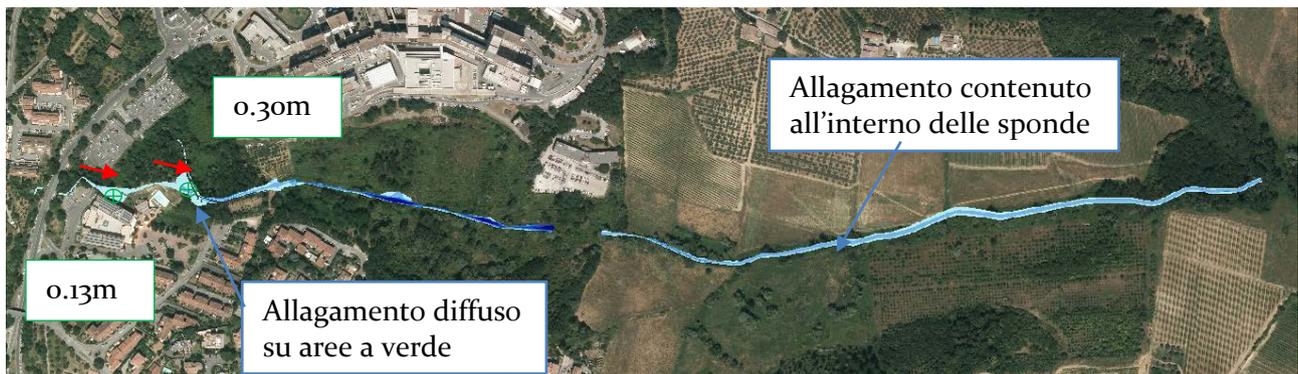


Figura 6.27 – descrizione degli allagamenti, in rosso le linee di deflusso, in verde i punti riferiti al battente con Tr200 anni

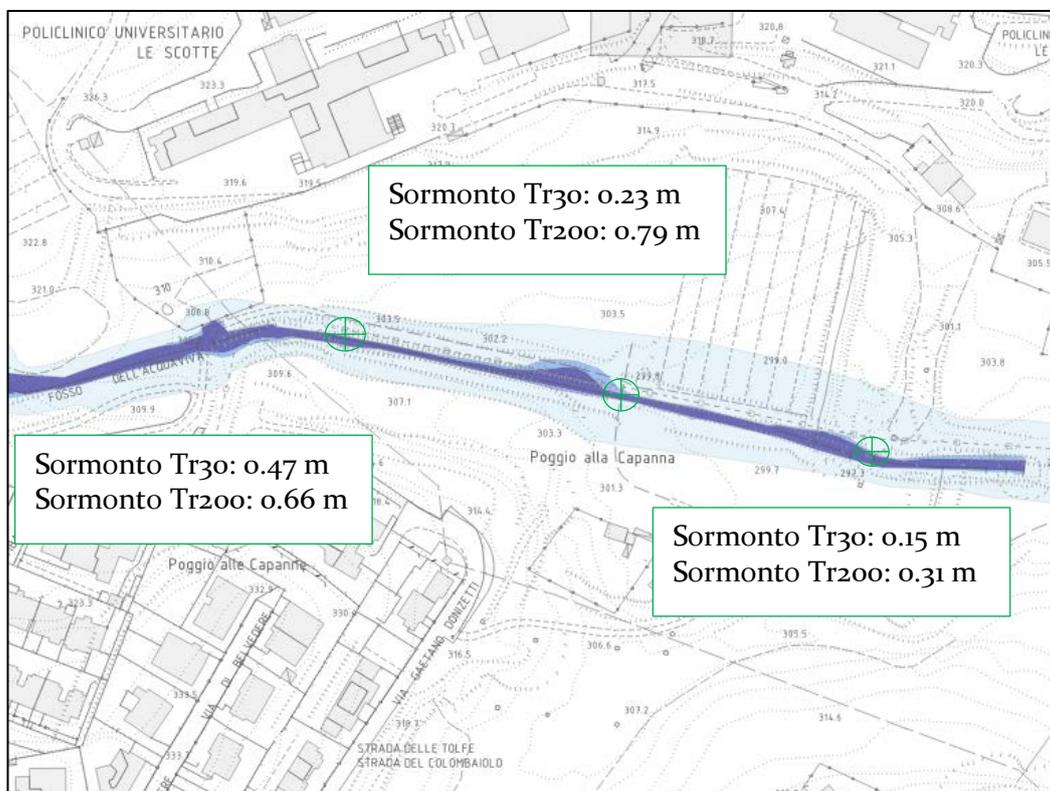


Figura 6.28 – descrizione degli allagamenti, in verde il battente che sormonta gli attraversamenti



7. MODELLAZIONE IDRAULICA ALLO STATO DI PROGETTO

A seguito della richiesta di deperimetrazione delle aste idrauliche a cielo aperto e tombate a valle di Viale Bracci, le considerazioni modellistiche idrauliche allo stato di progetto, ai fini delle condizioni di fattibilità idraulica per la realizzazione delle opere previste dall'intervento ID07.12, prevedono la sola presenza del tratto del Fosso di Acquaviva facente parte del Reticolo Idrografico Regionale.

Tutta la regimazione delle acque nell'intorno di viale Bracci sarà gestita tramite raccolta e rete fognaria bianca, dando continuità alla regimazione urbana già presente nell'area.

Le considerazioni idrologiche esposte ai paragrafi precedenti rimangono valide, specificando che tutto il bacino idrografico viene cautelativamente afferito all'asta idraulica del Fosso di Acquaviva.

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 6.3.1);
- Descrizione delle condizioni al contorno imposte e peculiarità del modello;
- Descrizione sintetica dei risultati più significativi.

7.1. Modello "Acquaviva" – Stato di Progetto

Il modello comprende:

6. Il Fosso di Acquaviva nel tratto a cielo aperto a partire dal tratto iniziale nella zona sottostante il parcheggio multipiano "Fast Park" fino all'area a valle del Policlinico "Le Scotte".

Per la descrizione generale si rimanda al paragrafo 6.1.



Figura 7.1 – Inquadramento del modello idraulico “Acquaviva” allo stato di Progetto

Caratteristiche del Modello

Il modello è realizzato con HEC-RAS 6.3.1 in cui l’asta fluviale è modellata come elemento *river* monodimensionale definito per mezzo *cross sections*, *inline structure* e *bridge*.

Asta idraulica	N. Sezioni idrauliche	N. briglie o soglie	N. ponti	n. 2D flow areas
Acquaviva Acquaviva	21	1	4	-

Tabella 7.1 – elementi geometrici per la caratterizzazione delle aste idrauliche del modello “Acquaviva” allo stato di progetto

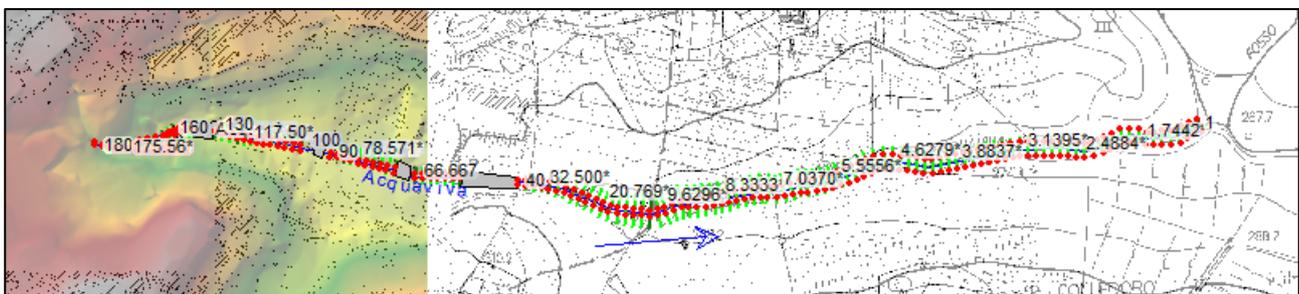


Figura 7.2 – Geometria Hec-Ras del modello “Acquaviva” allo stato di progetto

Non si è reso necessario una modellazione di tipo bidimensionale.

È stato realizzato un unico modello idraulico, nel quale sono stati inseriti, come condizioni di monte, tutti gli idrogrammi di piena, calcolati così come descritti nei capitoli precedenti, mentre come condizione di valle delle aste è stato utilizzato la normal depth.

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

- n pari a $0.035 \text{ s m}^{-1/3}$ per l'alveo principale;
- n pari a $0.05 \text{ s m}^{-1/3}$ fuori dall'alveo principale.

L'idrogramma di piena del bacino intermedio è stato inserito come condizione al contorno puntuale.

Gli idrogrammi di piena utilizzati come condizioni al contorno di monte sono mostrati al paragrafo 6.1..

I parametri di calcolo del software Hec-Ras 6.3.1 sono mostrati al paragrafo precedente.

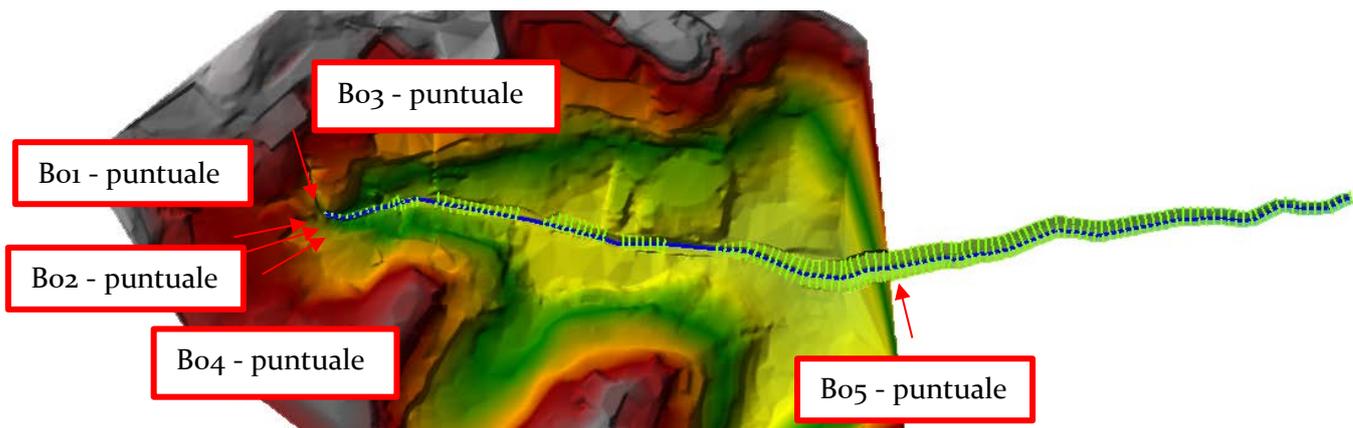


Figura 7.3 – modello “Acquaviva” allo stato di progetto, localizzazione degli idrogrammi di piena

Sintesi dei risultati

I risultati del modello idraulico dello stato di progetto poco si differenziano da quanto esposto nella modellazione idraulica allo stato attuale per quanto riguarda il F. dell'Acquaviva. I volumi di acqua sono contenuti all'interno delle sponde per eventi con T_{r200} anni.

L'inserimento puntuale degli idrogrammi di piena provenienti dalle aree limitrofe a viale Bracci simula cautelativamente il possibile inserimento puntuale delle condotte fognarie bianche.



8. MAPPA DELLE AREE A PERICOLOSITA' D'ALLUVIONE

Le perimetrazioni delle aree a pericolosità d'alluvione sono state eseguite sulla base dei risultati della modellazione precedentemente descritta dello stato attuale. Le considerazioni esposte di seguito per la scheda di fattibilità, prenderà in considerazione la modellazione allo stato di progetto, a seguito della deperimetrazione delle aste idrauliche formalizzata con Prot. 0260986 del 05/06/2023 del Genio Civile Toscana Sud, nel seguente modo (art. 2 LR 41/2018 e DPGR 5/R/2020):

- 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 ($200 < Tr \leq 500$ anni) – P₁;

Nella cartografia delle aree allagate, in corrispondenza dei ponti o dei tratti tombati, se non è presente sormonto o allagamento del piano campagna, non è rappresentata l'area allagata.

Le perimetrazioni delle classi di pericolosità sopra definite sono state eseguite sulla base dei risultati delle modellazioni idrologiche e idrauliche per le durate critiche individuate e disegnate sul dettaglio della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2.000. Le mappe di pericolosità, battente, velocità e magnitudo sono state restituite su Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:2.000.

La perimetrazione delle aree a pericolosità d'alluvione rara (eventi con $200 < Tr \leq 500$ anni) è stata eseguita sulla base di considerazioni morfologiche in relazione all'area compresa entro il dislivello di 2 m dal ciglio di sponda.



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

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 determina, battente superiore a 0,5 metri;

Le modellazioni bidimensionali eseguite con HEC-RAS 6.3.1 hanno permesso di definire la magnitudo idraulica sulla base dei valori dei battenti e delle velocità ricavata dall'esecuzione dei due codici di calcolo e restituiti in formato raster su cartografia, in accordo con le specifiche regionali del gruppo di lavoro sulla LR 41/2018. I raster dei battenti e della velocità rappresentano i valori massimi di ogni singola durata di pioggia per ogni tempo di ritorno.

I risultati in termini di battenti, velocità e magnitudo sono definiti tramite un unico raster campionato con definizione delle celle 1m x 1m.

La pericolosità idraulica all'interno dell'asta fluviale modellata monodimensionalmente deriva dalla seguente elaborazione tramite Hec-Ras 6.3.1-mapper:

1. Realizzazione del DTM dell'alveo tramite interpolazione delle sezioni;
2. Restituzione delle elaborazioni su dtm del punto 1;
3. Estrazione del perimetro delle aree allagate e dei raster di battente e velocità idraulica su dtm del punto 1.

10. INTERVENTO ID07.12 – FATTIBILITÀ IDRAULICA

Il presente paragrafo fornisce le valutazioni sulla fattibilità idraulica dell'intervento ID07.12 contenuto nella variante urbanistica al Piano Operativo del Comune di Siena. Tale intervento presenta interazione con le aree a pericolosità idraulica P₃ e P₂ (pericolosità da alluvione frequente e poco frequente).

L'intervento ID07.12 consiste nell'ampliamento del Policlinico Santa Maria alle Scotte e prevede la realizzazione di un nuovo blocco destinato ad ambulatori, di una nuova viabilità interna e di spazi di parcheggio a servizio del complesso ospedaliero.

In particolare la nuova viabilità interferisce con aste del Reticolo Idrografico Regionale di cui alla LR 79/2012 agg. con DCRT 103/2022.

Inoltre il perimetro sud della variante si attesta al limite del Fosso dell'Acquaviva.

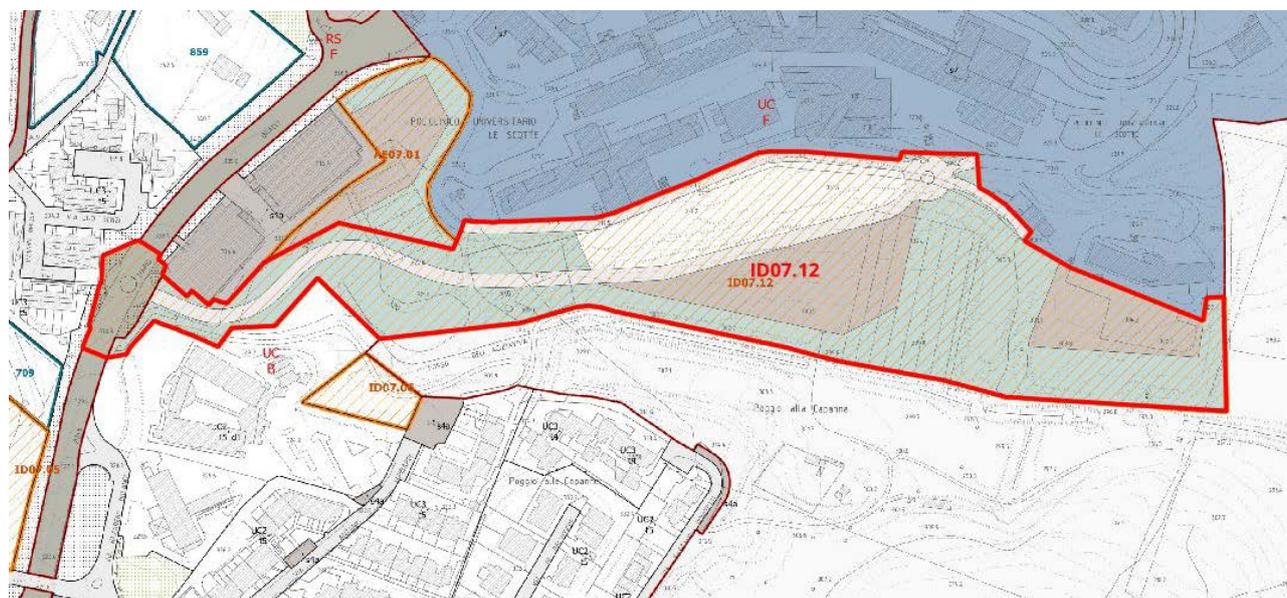


Figura 10.1 – estratto dell'inquadramento dell'intervento ID07.12

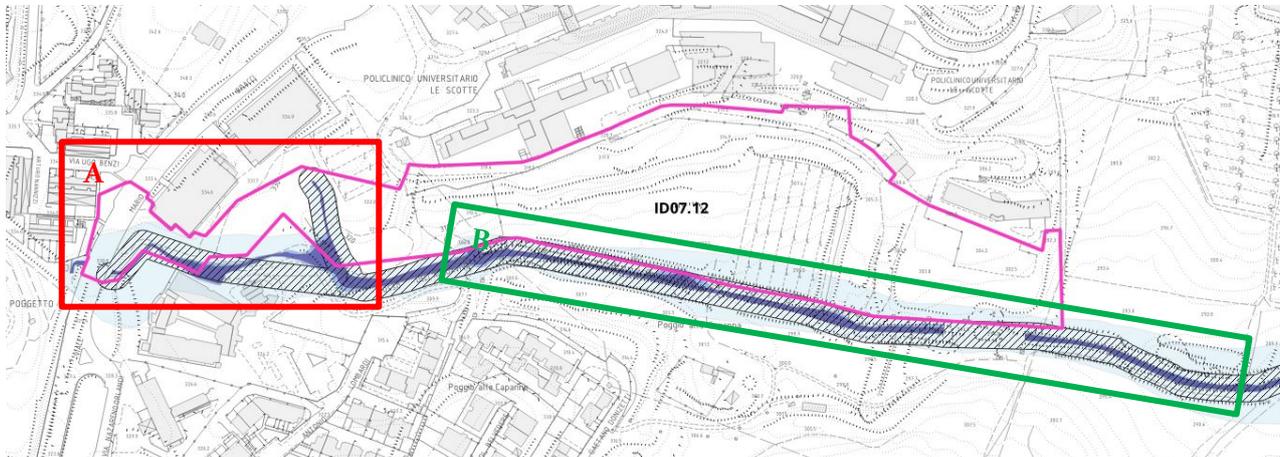


Figura 10.2 – inquadramento dell'area in oggetto con in evidenza le aree a pericolosità d'alluvione allo stato attuale

Allo stato attuale, dal punto di vista idraulico l'intervento interferisce con la fascia di tutela dei 10 m dal ciglio di sponda delle aste idriche suddette e con aree a pericolosità idraulica P₂ e P₃.

A seguito del parere positivo alla deperimetrazione delle aste idriche comprese nel riquadro A della precedente Figura (Prot. 0260986 del 05/06/2023 Genio Civile Toscana Sud), è consentita la realizzazione degli interventi edificatori previa realizzazione e adeguamento del sistema di gestione delle acque meteoriche urbane.

Nelle aree individuate al riquadro B di Figura 10.2, all'interno della fascia dei 10 m dal ciglio di sponda è possibile realizzare interventi a verde ai sensi dell'art. 3 comma 9 della LR 41/2018 o interventi privi di rilevanza edilizia di cui all'art. 137 della LR 65/2014 e comunque dovrà essere sempre richiesta autorizzazione all'autorità idraulica competente e non potranno essere realizzate opere che impediscano l'accesso al corso d'acqua ai mezzi incaricati della manutenzione idraulica.

La realizzazione della viabilità non dovrà interrompere le linee di deflusso superficiali (fossette, canalette...) presenti nelle aree verdi. Dovranno per cui essere realizzate sistemi di regimazione, raccolta e convogliamento delle acque alla base dei rilevati.

Le acque meteoriche nell'area intorno a viale Bracci dovranno essere gestite tramite sistema di raccolta urbano e trasferite a valle tramite condotta fognaria bianca.



La piattaforma stradale dovrà presentare un sistema di caditoie che drena le acque ad un collettore principale e da qui al recettore finale costituito dal Fosso dell'Acquaviva.

L'attuale linea fognaria bianca potrà essere rivista, aggiornata, migliorata o implementata.

Di seguito è mostrata la sovrapposizione tra la perimetrazione dell'area di variante e la pericolosità idraulica allo stato di progetto.

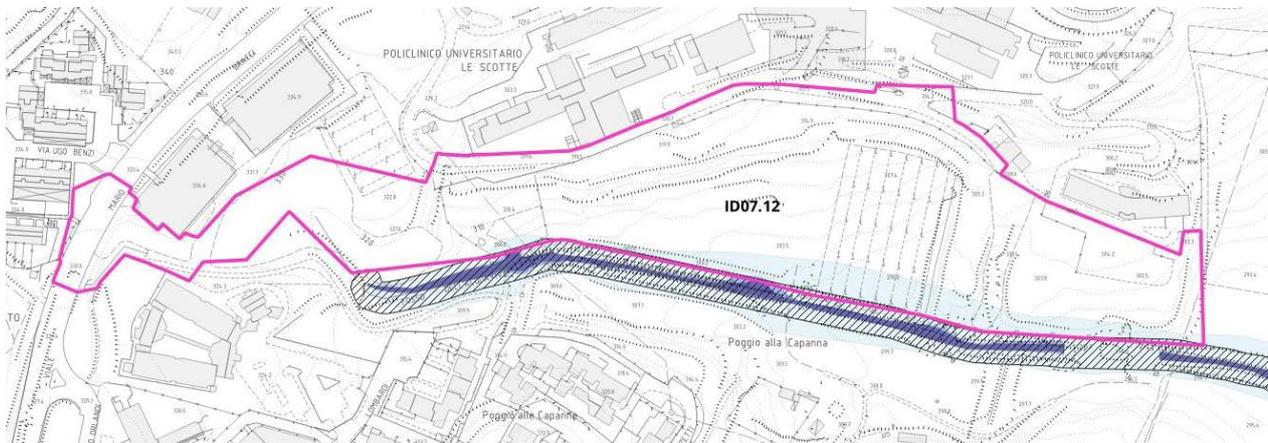


Figura 10.3 – Pericolosità da alluvione Stato di Progetto

11. INTERVENTO AE07.01 – FATTIBILITÀ IDRAULICA

Il presente paragrafo fornisce le valutazioni sulla fattibilità idraulica dell'intervento AE07.01 contenuto nella variante urbanistica al Piano Operativo del Comune di Siena. A seguito della nuova configurazione dell'area di variante, tale intervento non presenta interazione con le aree a pericolosità idraulica P₃ e P₂ (pericolosità da alluvione frequente e poco frequente).

Il progetto prevede l'ampliamento del parcheggio pubblico a servizio del Policlinico e la sistemazione a margine del complesso ospedaliero.

In particolare l'intervento interferisce con l'asta del Reticolo Idrografico Regionale Fosso dell'Acquaviva TS3995.

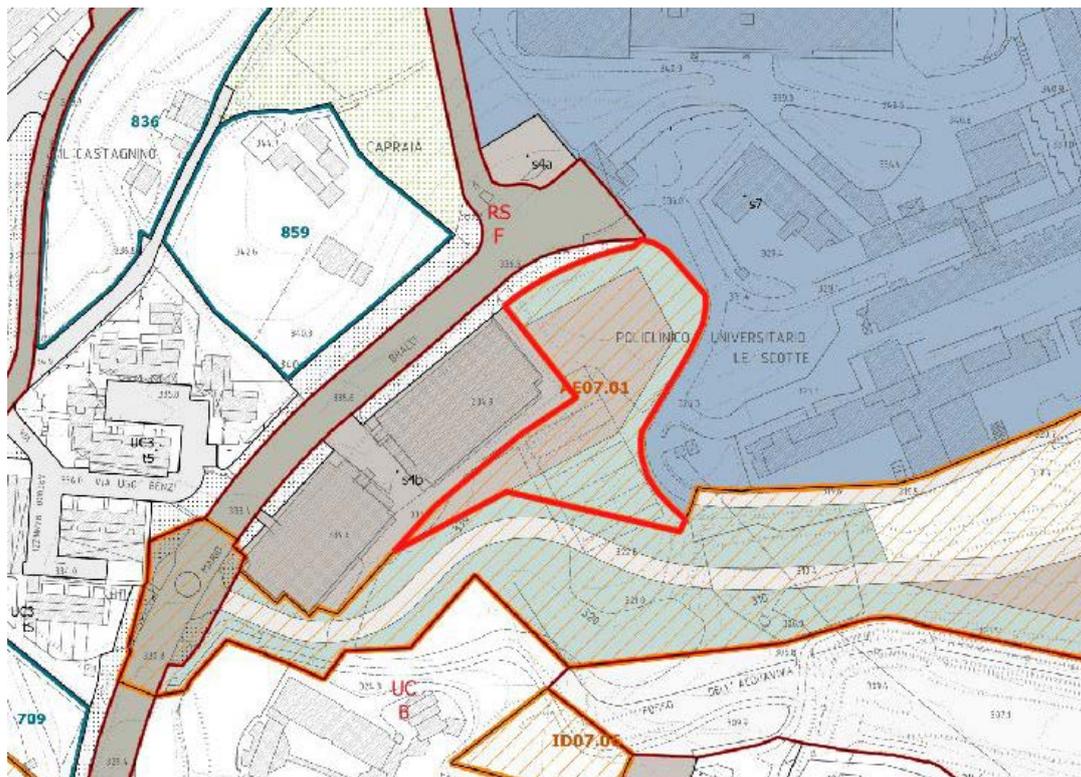


Figura 11.1 – estratto dell'inquadramento dell'intervento AE07.01

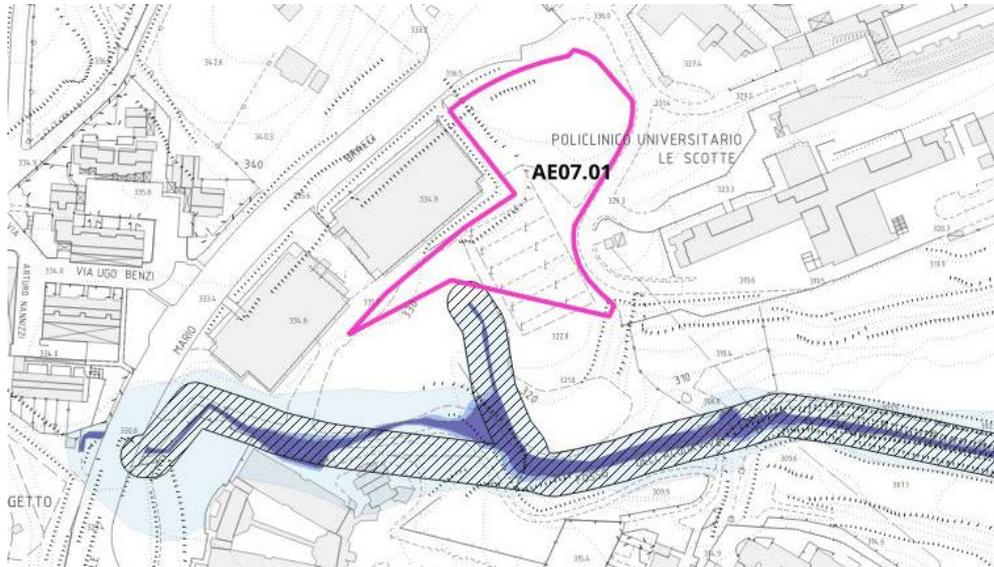


Figura 11.2 – inquadramento dell'area in oggetto con in evidenza le aree a pericolosità d'alluvione allo stato attuale

Allo stato attuale, vista la nuova configurazione del perimetro di variante, dal punto di vista idraulico l'intervento interferisce, in maniera estremamente modesta, con la fascia di tutela dei 10 m dal ciglio di sponda delle aste idriche suddette e non più con le aree a pericolosità idraulica P₂ e P₃.

A seguito del parere positivo alla deperimetrazione delle aste idriche comprese nel riquadro A della precedente Figura (Prot. 0260986 del 05/06/2023 Genio Civile Toscana Sud), è consentita la realizzazione degli interventi edificatori previa realizzazione e adeguamento del sistema di gestione delle acque meteoriche urbane.

La realizzazione del parcheggio anche se non interrompe le linee di deflusso superficiali (fossette, canalette...) presenti nelle aree verdi, dovrà prevedere la realizzazione di sistemi di regimazione, raccolta e convogliamento delle acque nel fosso dell'Acquaviva.

Le acque meteoriche nell'area intorno a viale Bracci dovranno essere gestite tramite sistema di raccolta urbano e trasferite a valle tramite condotta fognaria bianca.

La piattaforma del parcheggio dovrà presentare un sistema di caditoie che drena le acque ad un collettore principale e da qui al recettore finale costituito dal Fosso dell'Acquaviva.

L'attuale linea fognaria bianca potrà essere rivista, aggiornata, migliorata o implementata.

Di seguito è mostrata la sovrapposizione tra la perimetrazione dell'area di variante e la pericolosità idraulica allo stato di progetto.

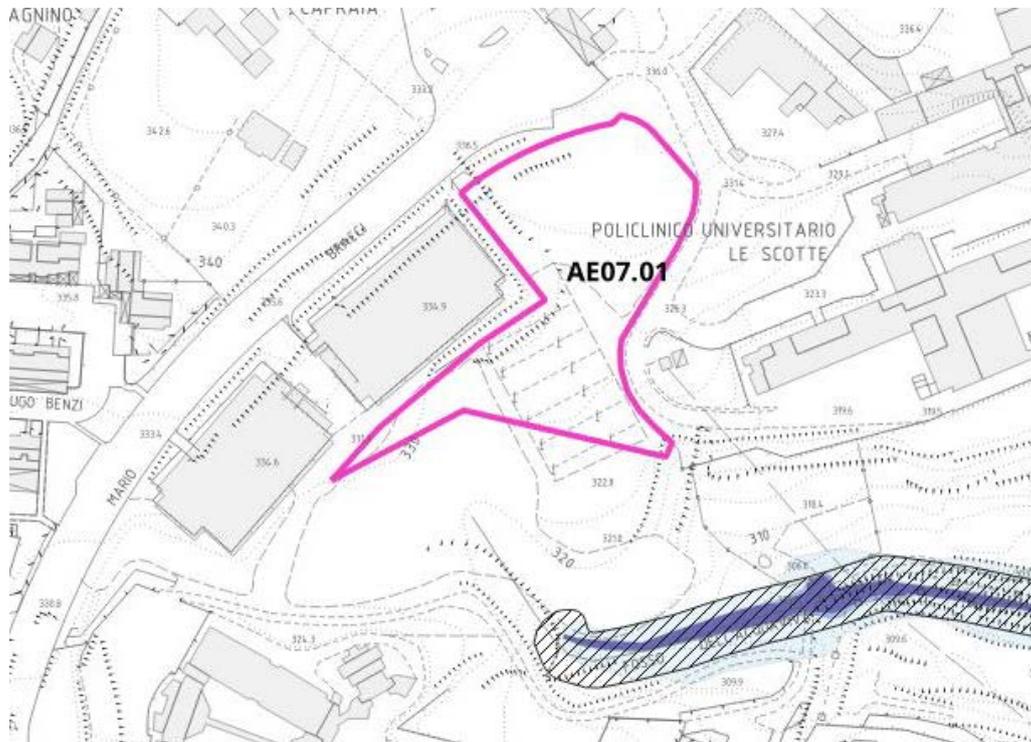


Figura 11.3 – inquadramento dell'area in oggetto con in evidenza le aree a pericolosità d'alluvione allo stato di progetto



12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione idrologico idraulica è redatta a supporto della Variante al Piano Strutturale e al Piano Operativo per l'ampliamento del Policlinico Santa Maria alle Scotte, intervento diretto in Via Mario Bracci, Policlinico Santa Maria alle Scotte (ID07.12) e parcheggio pubblico in Viale M. Bracci (AE07.01).

A tal fine, 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;
- Parere positivo alla richiesta di deperimetrazione e rettifica delle aste fluviali facenti parte del Reticolo Idrografico Regionale di cui alla LR 79/2012 agg. con DCRT 103/2023, 0260986 del 05/06/2023 del Genio Civile Toscana Sud;
- Modellazione idrologica, tramite software HEC-HMS con applicazione del modello di infiltrazione dell'SCS-CN e di formazione dell'onda di piena (SCSC-CN e Kinematic Wave);
- Modellazione idraulica 1D e 2D con HEC-RAS 6.3.1;
- Redazione degli elaborati grafici delle mappe di pericolosità, battenti, velocità e magnitudo;
- Redazione della scheda di fattibilità idraulica per l'intervento ID07.12, AE07.01.

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



AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA SENESE



Variante al PS e PO per l'ampliamento del Policlinico Santa Maria alle Scotte

Parcheggio pubblico in Viale M. Bracci (AE07.01)

Intervento Diretto in Via Mario Bracci, Policlinico Santa Maria alle Scotte (ID07.12)

Arezzo, Settembre 2023

I professionisti incaricati
ProGeo Engineering Srl

Geol. Massimiliano Rossi

Ing. Davide Giovannuzzi

Ing. Mirko Frasconi