

COMUNE DI CAMPIGLIA MARITTIMA

P IANO O PERATIVO



avv. Federico Gualandi
dott. for. Giovanni Trentanovi

**IDR.02 - Relazione idrologica ed idraulica
Bacino Fossa Calda**

SETTEMBRE 2024

Sindaco

Alberta TICCIANI

Assessore all'urbanistica

Massimo Zucconi

Dirigente del Settore Assetto del Territorio

arch. Alessandro GRASSI

Responsabile del Procedimento

arch. Annalisa GIORGETTI

Ufficio Urbanistica

geom. Valerio BUONACCORSI

Anna FERRETTI

Garante dell'informazione e della partecipazione

dott.ssa Paola MENEGANTI

Direttore Tecnico

urb. Raffaele GEROMETTA

Progettazione Urbanistica

arch. Antonio MUGNAI

arch. Laura TAVANTI

Gruppo di lavoro

Arch. Pian. Manuela FONTANIVE

Geom. Patrizia SODI

Arch. Roberta CICCARELLI

S.I.T.

urb. Lisa DE GASPER

urb. Marco ROSSATO

Gruppo di valutazione

urb. Chiara BIAGI

ing. Elettra LOWENTHAL

Contributi specialistici

ing. Simone GALARDINI *aspetti idraulici e sismici*

dott. geol. Leonardo MORETTI *aspetti geologici*

dott. for. Giovanni TRENTANOVI *aspetti agronomici forestali*

avv. Federico GUALANDI *aspetti giuridici*

Sommario

Premessa.....	2
1. Inquadramento territoriale.....	3
2. Analisi idrologica.....	5
2.1 Pluviometria.....	5
2.2 Perdite idrologiche.....	7
2.3 Trasformazione afflussi-deflussi.....	10
2.4 Risultati analisi idrologica.....	12
3. Sopralluoghi e rilievi topografici.....	13
4. Modellazione idraulica.....	16
4.1 Modellazione con il software HEC-RAS.....	16
5. Risultati della modellazione.....	19
5.1 Risultati della modellazione TR200.....	27
5.2 Risultati della modellazione TR30.....	29
6. Definizione della pericolosità e della magnitudo idraulica sistema Fossa Calda.....	30
7. Definizione del quadro conoscitivo di riferimento complessivo a scala comunale per pericolosità idraulica, battenti TR 200 anni e magnitudo.....	32

Relazione idrologica ed idraulica

Premessa

Il presente documento costituisce la relazione idrologica ed idraulica a supporto delle analisi e delle valutazioni condotte nell'ambito del Piano Operativo del Comune di Campiglia Marittima, relativamente ai corsi d'acqua afferenti al bacino della Fossa Calda.

Infatti gli studi idrologici idraulici condotti nell'ambito del Piano Strutturale sono stati approvati dal Genio Civile con ambito di validità in sinistra del Fosso Corniaccia, rimandando al Piano Operativo la definizione dello scenario di allagabilità del Bacino della Fossa Calda.

Lo studio ha avuto pertanto come finalità la determinazione, per eventi pluviometrici estremi (tempi di ritorno 30 e 200 anni), dei battenti, della pericolosità e della magnitudo idraulica del bacino della Fossa Calda, integrando così ed aggiornando i risultati degli studi di PSI, in modo da definire lo scenario di riferimento a scala comunale della pericolosità idraulica, come successivamente descritto.

L'intero territorio comunale è coperto dal volo Lidar che fornisce un modello digitale del terreno con risoluzione 1x1 m. Tale DTM ha permesso la modellazione idraulica di tipo bidimensionale extra-alveo per la propagazione dell'onda di piena sul piano campagna.

In definitiva, in prima istanza è stata condotta l'analisi idrologica del Bacino della Fossa Calda, secondo le specifiche successivamente descritte e implementata tramite il software HEC-HMS 4.10, al fine di definire le portate di piena con tempo di ritorno trentennale e duecentennale. Successivamente, grazie ai rilievi topografici effettuati sul campo per determinare le caratteristiche delle sezioni e degli attraversamenti dei corsi d'acqua studiati, si è provveduto ad effettuare simulazioni idrauliche, con schema di moto vario unidimensionale nel canale, accoppiato con schema di moto puramente bidimensionale (implementato con il software Hec Ras 6.1) per la propagazione dei volumi sul piano campagna.

La perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica per eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 30 anni (definite dalla normativa come "aree a pericolosità per alluvioni frequenti") e minore o uguale a 200 anni (definite dalla normativa come "aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti"), nonché delle aree a diversa "magnitudo idraulica" (combinazione del battente e della velocità della corrente associata allo scenario relativo alle alluvioni poco frequenti, definita nella L.R.

41/2018), è stata infine definita con strumenti GIS (QGIS 3.22) sulla base dei risultati raster forniti direttamente dal modulo RAS Mapper del software HEC-RAS.

In ragione delle suddette considerazioni si assume dunque che:

- a) le strutture idrauliche di contenimento (argini, muri di sponda, ecc.) siano considerate tracimabili ma senza collasso della struttura. Analogamente non si considerano fenomeni di collasso dovuti a processi di mobilità dell'alveo o a moti di filtrazione;
- b) per altre strutture di contenimento non idrauliche (rilevati stradali e ferroviari), non è previsto il collasso anche in caso di tracimazione, valutandone nel contempo il grado di permeabilità macroscopico dovuto agli attraversamenti;
- c) si esclude la possibilità di ostruzione delle opere d'arte interferenti per trasporto in flottazione;
- d) non si considera l'influenza di allagamenti o ristagni dal reticolo scolante minore o da altri sistemi di drenaggio.

1. Inquadramento territoriale

Il territorio comunale di Campiglia Marittima ha una superficie complessiva di circa 83 km² ed è caratterizzato da rilievi collinari nella porzione nord ed est che degradano dolcemente verso il fondovalle, caratterizzato a sud dalla piana di Piombino verso la quale tutti i corsi d'acqua confluiscono, prima di sfociare nel Mar Tirreno.

Il tessuto urbanizzato viene attraversato da corsi d'acqua di media o piccola entità con attraversamenti in prossimità delle vie di comunicazione principali e spesso tombati per la progressiva antropizzazione dell'area.

I corsi d'acqua principali sono rappresentati dal Fiume Cornia, che scorre a sud est dell'abitato di Venturina Terme, il Fosso Corniaccia, nella porzione centrale del territorio ed il bacino della Fossa Calda, che interessa la porzione ovest del Comune di Campiglia Marittima. La porzione ovest è invece lambita dal Canale di Rimigliano, che riceve i deflussi del Botro ai Marmi proveniente dal limitrofo comune di San Vincenzo.

Da un punto di vista infrastrutturale è presente il rilevato ferroviario della linea Roma – Livorno, il rilevato della nuova SS1 Aurelia e la "Vecchia Aurelia", che tagliano il Comune nella porzione centrale con andamento Sud Est – Nord Ovest, costituendo un elemento significativo nella propagazione dei deflussi esondati dai corsi d'acqua.

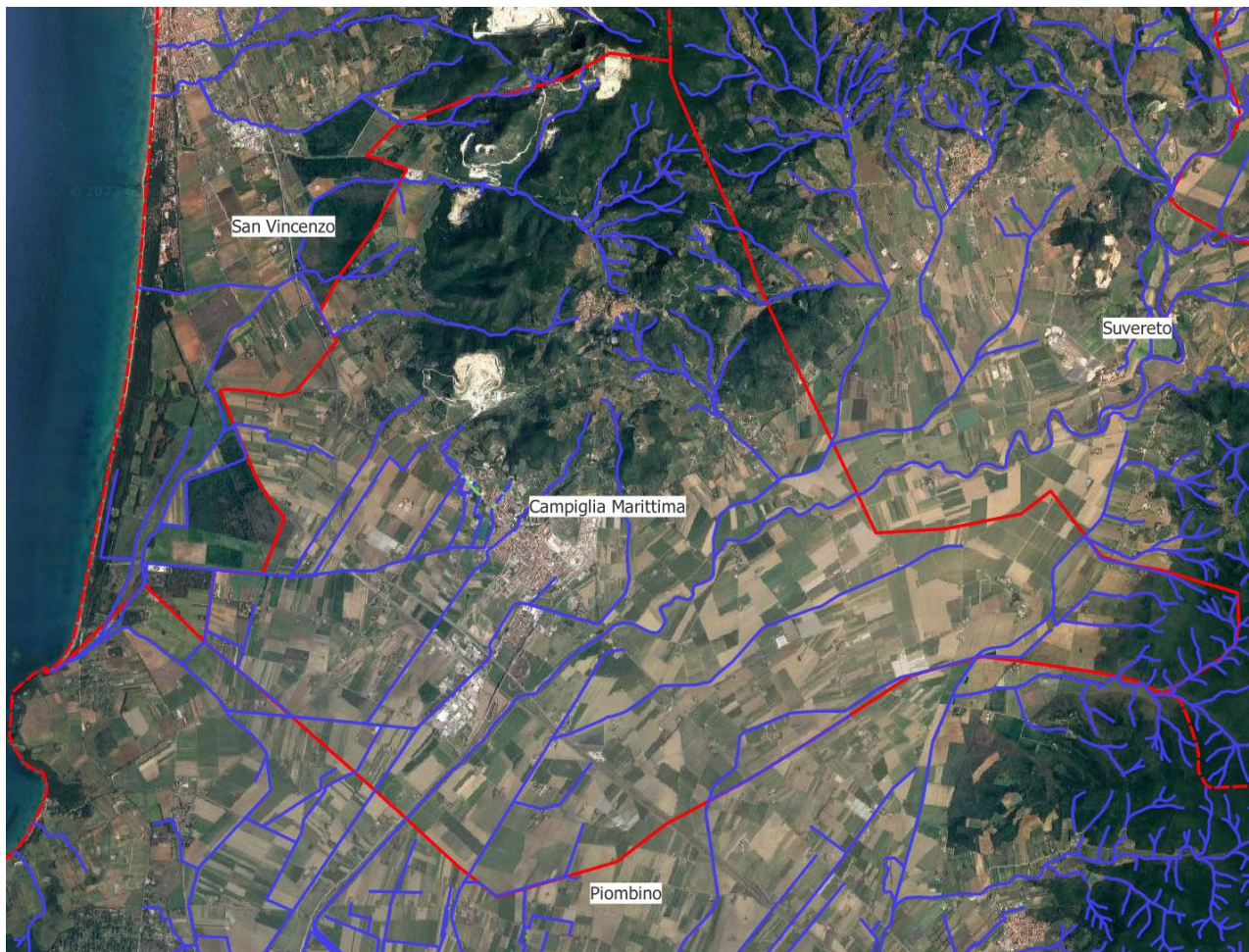


Figura 1 - Sviluppo del territorio comunale con il reticolo idrografico della Regione Toscana

2. Analisi idrologica

In questa fase della trattazione viene esposto il metodo generale utilizzato per l'analisi idrologica dei corsi d'acqua del territorio comunale studiato. Successivamente verranno presentati i singoli sistemi analizzati ed i risultanti delle relative analisi idrauliche condotte.

L'analisi idrologica ha previsto una schematizzazione della trasformazione degli afflussi in deflussi superficiali con il metodo del Curve Number. L'analisi idrologica è stata implementata tramite il software HEC-HMS 4.10, ed è stata svolta con riferimento agli eventi caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Nella figura seguente sono riportati i sottobacini dei corsi d'acqua studiati.

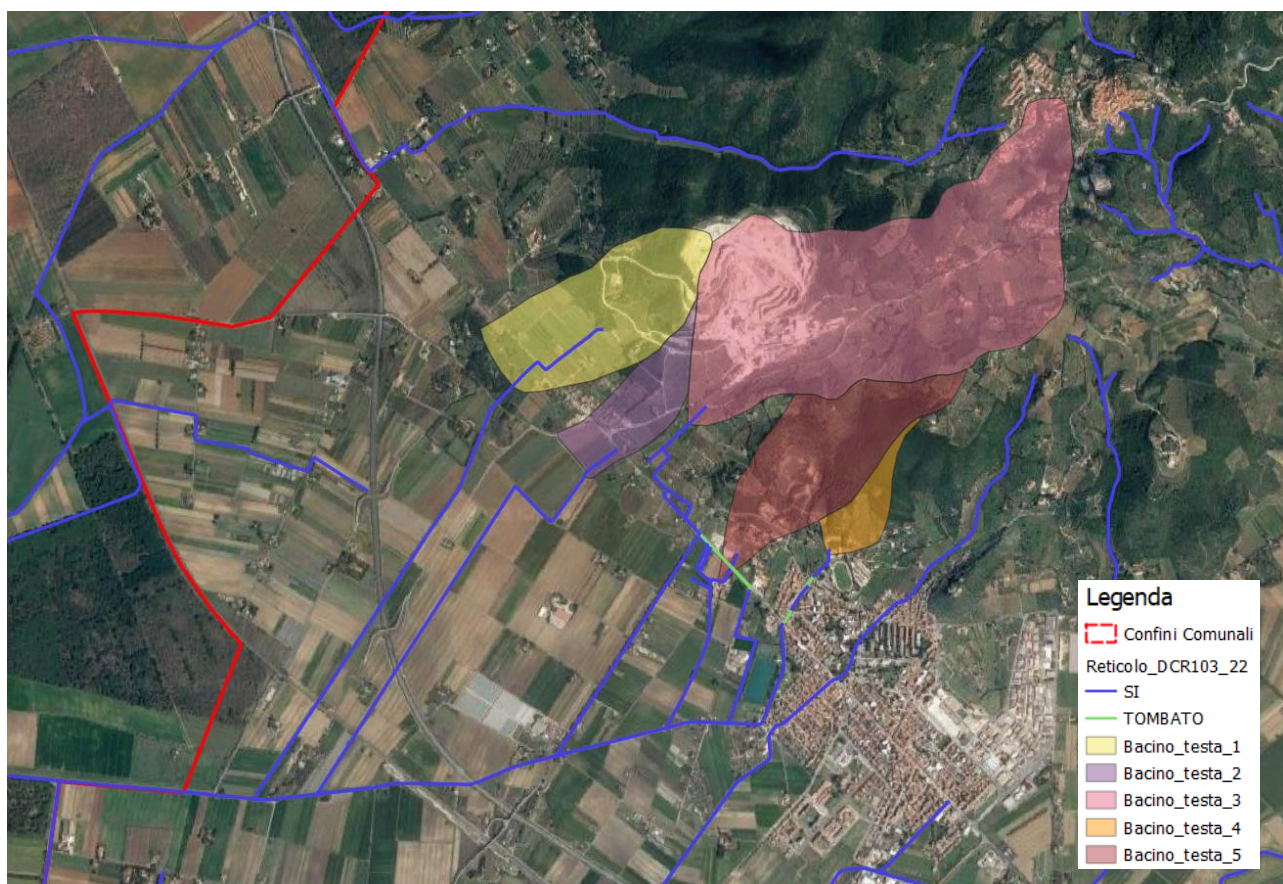


Figura 2 – Bacini idrografici dei corsi d'acqua oggetto di studio

2.1 Pluviometria

L'analisi idrologica è stata condotta tenendo conto delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) aggiornate nel 2012, dall'Università di Firenze (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Regione Toscana di cui alla DGRT 1133/2012. I

parametri delle LSPP aggiornate sono disponibili e consultabili al link <http://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

Le curve di possibilità pluviometrica definiscono i parametri dell'espressione monomia per l'altezza di precipitazione:

$$h = a t^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata di pioggia ed a e n sono i parametri caratteristici delle curve. Per tener conto della variabilità spaziale dell'evento pluviometrico su bacini piuttosto ampi si è utilizzato la spazializzazione delle piogge su maglia 1 x 1 km fornita dalla Regione Toscana; in pratica su ogni sottobacino è stata effettuata una media ponderata sulle altezze di pioggia ricavate a partire dalla spazializzazione, in modo da ricavare l'input di altezza di pioggia più rappresentativo da inserire per i sottobacini analizzati nel modello idrologico. I risultati dello studio effettuato, nel quale sono stati ricavati i parametri a ed n necessari per la costruzione della curva, sono riportati nella tabella sottostante, suddivisi per tempo di ritorno e per bacino:

Bacino 1 (TC12894)	a	n
Tr = 200 anni	82.38	0.362
Tr = 30 anni	59.64	0.298
Bacino 2 (TC12883)		
Tr = 200 anni	82.35	0.36
Tr = 30 anni	59.07	0.294
Bacino 3 (TC12417)		
Tr = 200 anni	82.98	0.369
Tr = 30 anni	59.66	0.305
Bacino 4 (TC19169)		
Tr = 200 anni	82.59	0.36
Tr = 30 anni	59.38	0.295
Bacino 5 (TC12598)		
Tr = 200 anni	82.55	0.36
Tr = 30 anni	59.32	0.296

Tabella 1 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica

L'andamento temporale dell'evento pluviometrico è stato schematizzato ricorrendo ad uno ietogramma sintetico, che pur non rappresentando il reale andamento dell'evento di pioggia, introduce, nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi, una variabilità temporale della pioggia in grado di produrre risultati tali da ritenersi cautelativi. Per lo studio in questione, tra gli ietogrammi noti in letteratura, si è deciso di utilizzare quello di tipo triangolare, con picco in posizione centrale.

2.2 Perdite idrologiche

Per la determinazione dei deflussi netti corrispondente allo scorrimento superficiale dei bacini si è utilizzato il metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service. Il metodo si basa sul concetto che il flusso superficiale è nullo fino al raggiungimento di un valore di soglia di infiltrazione iniziale I_a , da letteratura tecnica legata alla capacità di ritenzione potenziale S dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

dove S è definita dall'espressione:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \text{ [mm]}$$

Il parametro adimensionale Runoff Curve Number può variare tra 0 e 100 ed è determinabile mediante apposite tabelle, in funzione della natura del terreno, dal tipo di copertura vegetale, della tessitura del terreno, dell'uso del suolo e del grado di saturazione. Si è fatto quindi riferimento al gruppo idrologico USDA (A: suoli con deflusso superficiale basso, B: suoli con deflusso superficiale moderatamente basso, C: suoli con deflusso superficiale moderatamente alto, D: suoli con deflusso superficiale alto) grazie alla cartografia resa disponibile dal Geoscopio della Regione Toscana.

È stato poi analizzato l'uso del suolo sulla cartografia della Regione Toscana che riporta i valori del codice Corine Land cover, con riferimento alla carta di uso del suolo riferita al 2016.

Ad ogni codice CORINE è associato un valore di CN, riferito ad una condizione media di umidità del terreno antecedente l'evento di pioggia considerato (AMC II: Antecedent Moisture Condition Classe II).

Tale tabella è stata ricavata dal documento "Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC Addendum: Parametrizzazione HMS" del novembre 2014, predisposto nell'ambito dell'Accordo di collaborazione scientifica tra Regione Toscana e Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze per attività di ricerca per la mitigazione del rischio idraulico nella Regione Toscana.

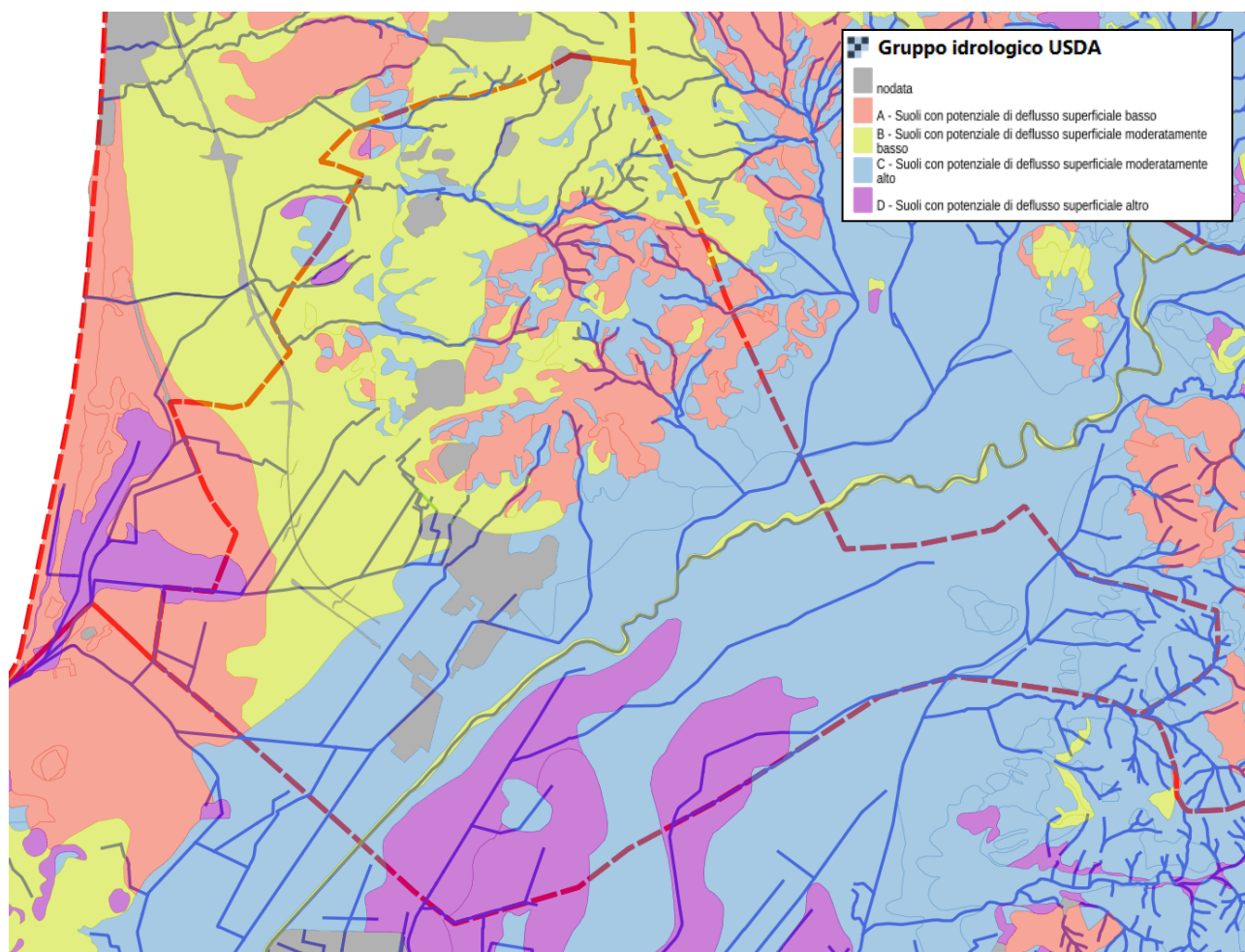


Figura 3 – Carta del gruppo idrologico USDA- Regione Toscana

Codice CORINE	CN(A)	CN (B)	CN (C)	CN (D)
111	89	92	94	95
112	77	85	90	92
121	81	88	91	93
122	98	98	98	98
123	98	98	98	98
124	98	98	98	98
131	76	85	89	91
133	77	86	91	93
141	49	69	79	84
142	68	79	86	89
210	61	73	81	84
211	61	73	81	84
212	67	78	85	89
213	62	71	78	81
221	76	85	90	93
222	43	65	76	82
223	43	65	76	82
231	49	69	79	84
241	61	73	81	84
242	61	73	81	84
243	61	73	81	84
244	43	65	76	82
311	36	60	73	79
312	36	60	73	79

Codice CORINE	CN(A)	CN (B)	CN (C)	CN (D)
313	36	60	73	79
321	49	69	79	84
322	49	69	79	84
323	35	56	70	77
324	35	56	70	77
331	46	65	77	82
332	96	96	96	96
333	63	77	85	88
334	63	77	85	88
335	98	98	98	98
411	98	98	98	98
412	98	98	98	98
421	98	98	98	98
422	98	98	98	98
423	98	98	98	98
511	98	98	98	98
512	98	98	98	98
521	98	98	98	98
522	98	98	98	98
523	98	98	98	98

Tabella 2 - Parametri CN relativi alla classe II di umidità per le quattro classi litologiche e per i vari tipi di uso del suolo. Fonte: Regione Toscana

Relativamente ai gruppi 311, 312, 313 i valori tabellari fanno riferimento ad una condizione idrogeologica “media” dei boschi; dai sopralluoghi effettuati si è potuto constatare che lo stato di conservazione dei boschi nella parte di testata dei bacini risulta buono, e si è pertanto corretto il valore con i seguenti, sempre ricavati dalle tabelle del SCS.

Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		-	59	74	82	86
Strade sterrate		-	72	82	87	89
Str. pavimentate		-	74	84	90	92

Tabella 3 - Valori del CN assunto per i gruppi 311, 312, 313 (boschi)

La condizione di umidità del suolo fa riferimento alla capacità di filtrazione del suolo, funzione della sua umidità. In particolare si deve fare riferimento all’ammontare delle piogge nei 5 giorni antecedenti l’evento ed assegnare la condizione AMC secondo la tabella indicata, riferita alla stagione di riposo (autunno/inverno) o vegetativa (primavera estate).

CLASSE AMC	STAGIONE DI RIPOSO	STAGIONE VEGETATIVA
I	<12.7	<35.5
II	12.7- -28.0	35.5- - 53.3
III	>28	>53.3

Tabella 4 - Condizioni di umidità antecedenti individuate in base alla precipitazione totale nei 5 giorni precedenti (mm)

Fra una classe e l'altra esistono le seguenti relazioni:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 \cdot CN_{II}}$$

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.38 + 0.0138 \cdot CN_{II}}$$

Per la determinazione dell'entità degli eventi estremi, vista la forma triangolare dello ietogramma assunto, è stato adottato il **CN_{II}**, così come successivamente riportato.

2.3 Trasformazione afflussi-deflussi

Si è optato per l'utilizzo dell'idrogramma unitario del SCS, considerando il tempo di ritardo come 0.6 volte il tempo di corrivazione.

La valutazione del tempo di corrivazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono dalle molteplici formulazioni impiegate in letteratura:

- formula di Ventura:

$$T_c = 0.127 \left(\frac{A}{i_B} \right)^{0.5}$$

- formula di Pasini:

$$T_c = 0.108 \frac{(AL)^{0.33}}{i^{0.5}}$$

- formula di Pezzoli:

$$T_c = 0.055 \frac{L}{i^{0.5}}$$

- formula di Ferro:

$$T_c = 0.675 A^{0.5}$$

dove A è la superficie del Bacino in km², L la lunghezza dell'asta principale in km, i la pendenza media del corso d'acqua, i_B la pendenza media del bacino, z la quota media del bacino. I parametri riassuntivi delle caratteristiche dei bacini dei corsi d'acqua analizzati sono riportati della tabella seguente

Bacini	A (km2)	L (km)	H max	H min	Zmax asta	i	iB
Bacino 1	0.64	0.63	235	35	76	0.0651	0.3175
Bacino 2	0.27	0.23	185	29	36	0.0304	0.6783
Bacino 3	1.98	0.12	240.9	48	190	1.1833	1.6075
Bacino 4	0.12	0.9	181	25	181	0.1733	0.1733
Bacino 5	0.6	0.19	192.1	18.5	192.1	0.9137	0.9137

Tabella 5 - Parametri morfologici dei corsi d'acqua studiati

I parametri idrologici così ottenuti per i singoli sottobacini sono sintetizzati nella tabella seguente.

Corso d'acqua	A (km2)	Tc (h)	T rit LAG (min)	Reach Lag (min)	CN II
Bacino 1	0.64	0.48	17	5.25	73
Bacino 2	0.27	0.36	13	1.92	67
Bacino 3	1.98	0.40	15	1	75
Bacino 4	0.12	0.33	12	7.50	72
Bacino 5	0.6	0.27	10	1.58	67

Tabella 6 - Parametri idrologici dei sottobacini studiati

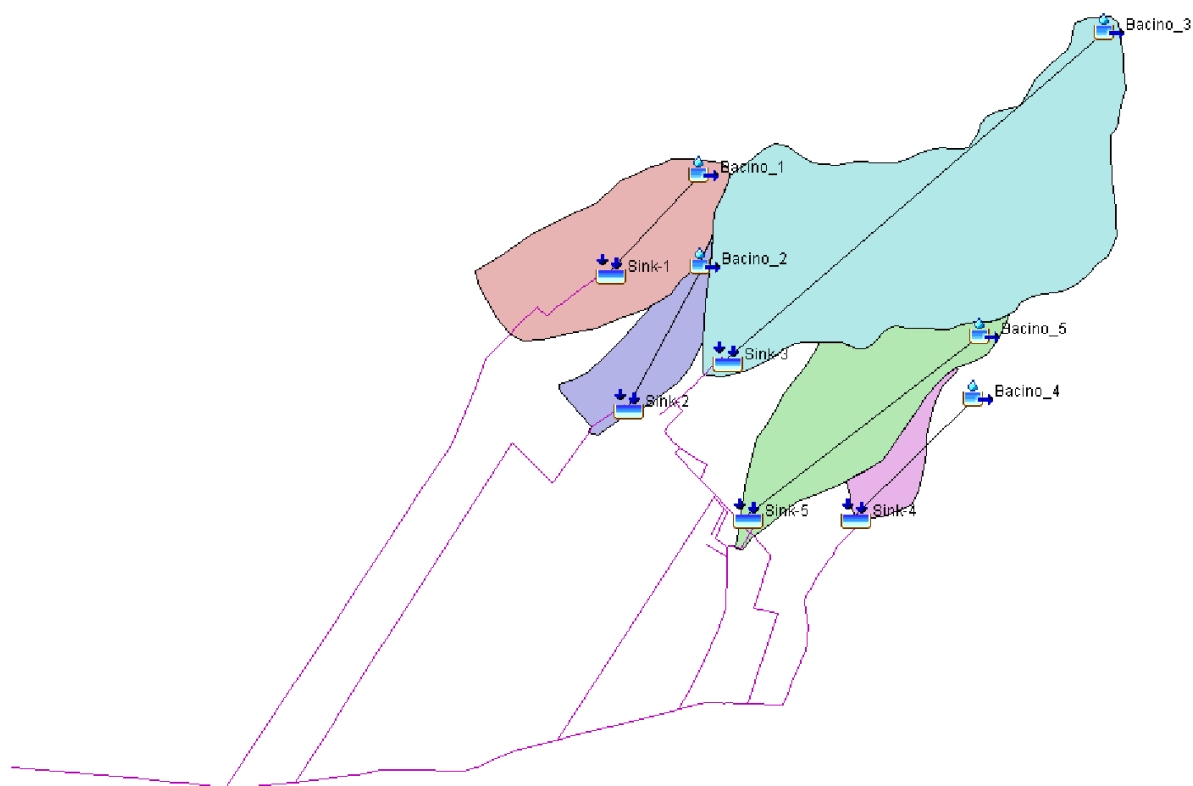


Figura 4 - Modellazione idrologica con il software Hec-Hms

2.4 Risultati analisi idrologica

Di seguito sono riportanti in sintesi i risultati dell'analisi idrologica in termini di portate massime per tempi di ritorno 30 e 200 anni, per ciascun sistema analizzato, alla sezione di chiusura considerata. Nel paragrafo 6 verranno presentati gli idrogrammi di piena dei singoli corsi d'acqua.

PORTATE DI PICCO - TR 200 ANNI				
Sistema	Durata Precipitazione			
	<i>Tp 30 min</i>	<i>Tp 1h</i>	<i>Tp 2h</i>	<i>Tp 3h</i>
Bacino 1	8.52	9.21	7.48	6.19
Bacino 2	5.05	4.64	3.45	2.77
Bacino 3	32.29	32.56	25.19	20.42
Bacino 4	1.31	1.51	1.26	1.06
Bacino 5	10.43	9.66	7.24	5.88

Tabella 7 - Portate di picco Tr 200 anni

PORTATE DI PICCO - TR 30 ANNI				
Sistema	Durata Precipitazione			
	<i>Tp 30 min</i>	<i>Tp 1h</i>	<i>Tp 2h</i>	<i>Tp 3h</i>
Bacino 1	5.01	5.44	4.47	3.69
Bacino 2	3.13	2.86	2.14	1.7
Bacino 3	19.67	20.03	15.44	12.48
Bacino 4	0.68	0.76	0.64	0.54
Bacino 5	6.22	5.75	4.34	3.5

Tabella 8 - Portate di picco Tr 30 anni

3. Sopralluoghi e rilievi topografici

Per i corsi d'acqua analizzati sono stati effettuati rilievi e sopralluoghi nel territorio comunale, svoltisi su più giornate; sono state rilevate le sezioni topografiche dei corsi d'acqua nonché forma e dimensione dei manufatti di attraversamento e delle condotte dei tratti tombati, in ingresso e in uscita, così da poter caratterizzare anche la porzione non a cielo aperto dei corsi d'acqua.



Figura 5 - Rilievo sul Fossa Calda, tombamento nei pressi di Via dei Molini

Le sezioni topografiche sono state rilevate con metodologia GPS in coordinate WGS84 che sono state successivamente appoggiate ed adattate al grigliato IGM in modo da renderle congruenti alle coordinate planimetriche e quote altimetriche del LIDAR.



Figura 6 – Fossa Calda – rilievo a monte del tombamento in Via dei Molini



Figura 7 – Esempio attraversamento nelle zone a valle dell'abitato



Figura 8 – Esempio sezione nella zona terminale dell'area studiata

4. Modellazione idraulica

La modellazione idraulica è stata eseguita mediante il software HEC RAS 6.0.

4.1 Modellazione con il software HEC-RAS

Il software HEC RAS 6.0 è un modello fisicamente basato in grado di conservare e distribuire i volumi d'acqua in base all'effettiva morfologia e topografia del territorio analizzato.

Lo schema di moto all'interno del canale è di tipo unidimensionale non stazionario (moto vario), risolto mediante integrazione numerica delle equazioni di De Saint Venant; le arginature od i cigli di sponda sono rappresentati mediante sfioratori longitudinali (Lateral Structures) che, nell'evenienza in cui il livello liquido raggiunga la sommità arginale, trasferiscono il volume esondato sul territorio, per la sua propagazione con schema di moto bidimensionale, che è risolto mediante l'integrazione numerica delle equazioni del moto, espressa come equazione dell'onda dinamica completa, e di conservazione del volume:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} = i$$

$$S_{fx} = S_{0x} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t}$$

dove:

- h: tirante idrico;
- V_x : componente lungo x della velocità media;
- i: intensità dell'eccesso di pioggia;
- S_{fx} : componente lungo x del gradiente delle perdite di carico per attrito (da equazione di Manning);
- S_{0x} : pendenza del piano campagna.

L'interfaccia 1D-2D è di tipo bidirezionale, ovvero consente la propagazione da e verso il canale, ovviamente in base alle condizioni topografiche e dei livelli idraulici di monte e valle. La costruzione del modello digitale del terreno è realizzata mediante l'utilizzo di punti georeferenziati di coordinate x,y,z a partire dei dati altimetrici Lidar, forniti dal volo della Regione Toscana (anno 2012) integrato con modello digitale del terreno di maglia 10 metri laddove non vi era la copertura del lidar.

La definizione dei coefficienti di scabrezza è stata fatta distinguendo il moto nei canali e quello nella piana alluvionale. Per quanto riguarda il primo caso si sono assunti i seguenti valori di scabrezza:

Tipologia	Scabrezza n (Manning)
Canale principale	0.03
Sommità spondale	0.035-0.04
Manufatti in cls	0.025

Tabella 9 – Coefficienti di scabrezza per le verifiche all'interno dei canali

Sempre per quanto riguarda le verifiche in moto vario all'interno del canale principale si sono assunti i seguenti coefficienti di contrazione/espansione:

Tipologia	Coeff. Contrazione	Coeff. Espansione
Variazioni graduali di sezione	0.1	0.3
Brusche variazioni di sezione	0.3	0.5
Ponti e attraversamenti	0.3	0.5

Tabella 10 – Coefficienti di contrazione ed espansione

L'interfaccia 1D-2D è stata simulata mediante *lateral structures* ricalcanti il profilo longitudinale della sommità arginale, con sfioro delle acque con stramazzo direttamente nelle aree 2D, simulato mediante la "Standard Weir Equation" secondo i seguenti coefficienti:

What is being modeled with the Lateral Structure	Description	Range of Weir Coefficients
Levee/Roadway – 3ft or higher above natural ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow	1.5 to 2.6 (2.0 default) SI Units: 0.83 to 1.43
Levee/Roadway – 1 to 3 ft elevated above ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow, but becomes submerged easily.	1.0 to 2.0 SI Units: 0.55 to 1.1
Natural high ground barrier – 1 to 3 ft high	Does not really act like a weir, but water must flow over high ground to get into 2D flow area.	0.5 to 1.0 SI Units: 0.28 to 0.55
Non elevated overbank terrain. Lat Structure not elevated above ground	Overland flow escaping the main river.	0.2 to 0.5 SI Units: 0.11 to 0.28

Tabella 11 – Coefficienti di sfioro laterale

In particolare si è utilizzato un valore di 1.1 in presenza di importanti arginature, 0.55 nei tratti dove sono presenti rilevati arginali di modesta altezza e 0.2 nei tratti in cui l'alveo si presenta inciso e con sfioro diretto sul piano campagna.

Relativamente alla simulazione degli attraversamenti, oltre ai coefficienti di contrazione ed espansione precedentemente riportati, si specifica che sono state inserite le *ineffective flow areas* ed i manufatti

sono stati modellati tramite l'approccio pressure and/or wier, per simularne anche il comportamento in pressione, mediante l'immissione di culvert aventi coefficienti di perdita per ingresso e uscita rispettivamente pari a 0.2 e 1 e Manning pari a 0.02.

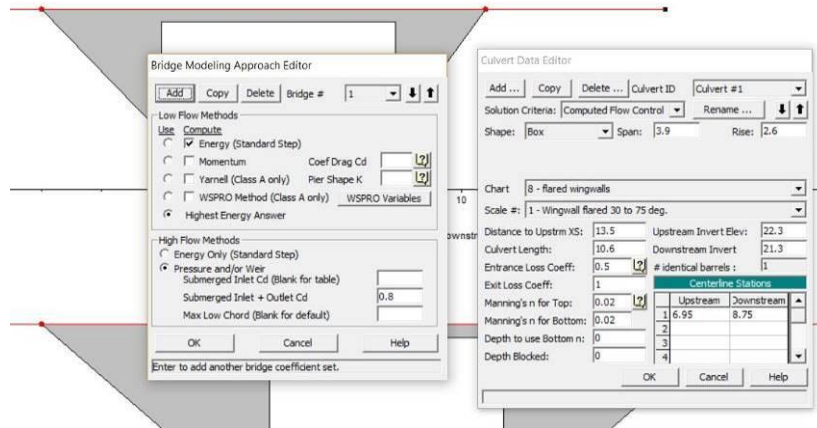


Figura 9 - Modellazione dei ponti e attraversamenti

Relativamente alle condizioni al contorno di valle, in prima istanza è stata chiesta a mezzo PEC all'Autorità di Distretto Appennino Settentrionale l'esistenza di dati, livelli o scale di deflusso del reticolo principale da considerare nelle modellazioni del reticolo secondario; con nota PEC del 9/9/2024 l'Autorità di Distretto comunicava che *"date le caratteristiche del bacino e delle aste fluviali oggetto di studio, che recapitano direttamente a mare, non appaiono necessarie condizioni al contorno relative al reticolo principale presente nella zona (F. Cornia)."* Le condizioni al contorno utilizzate in questa sede sono state molteplici e verranno specificate in seguito per ciascun sistema studiato (in prevalenza normal depth).



Figura 10 - Modello idraulico del tratto terminale della Fossa Calda con Hec-Ras 6.0

5. Risultati della modellazione

La modellazione idraulica è stata condotta per sistemi, simulando cioè contemporaneamente più corsi d'acqua in modo da tener conto degli effetti di sovrapposizione dei battenti sul piano campagna. Di seguito vengono presentati i risultati dell'analisi idrologica-idraulica per ciascuno sistema studiato: partendo dagli idrogrammi dei singoli corsi d'acqua, viene illustrata la metodologia adottata per analisi idraulica ed i risultati da essa ottenuti.

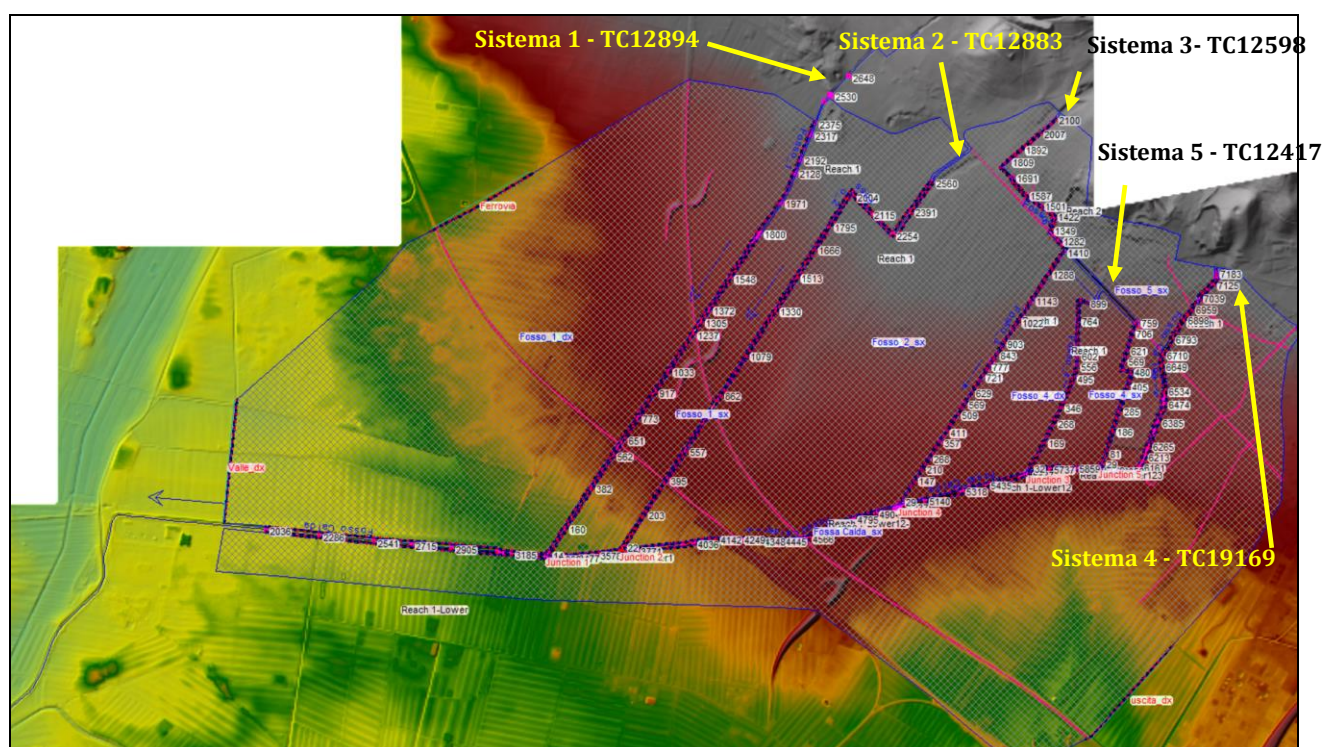
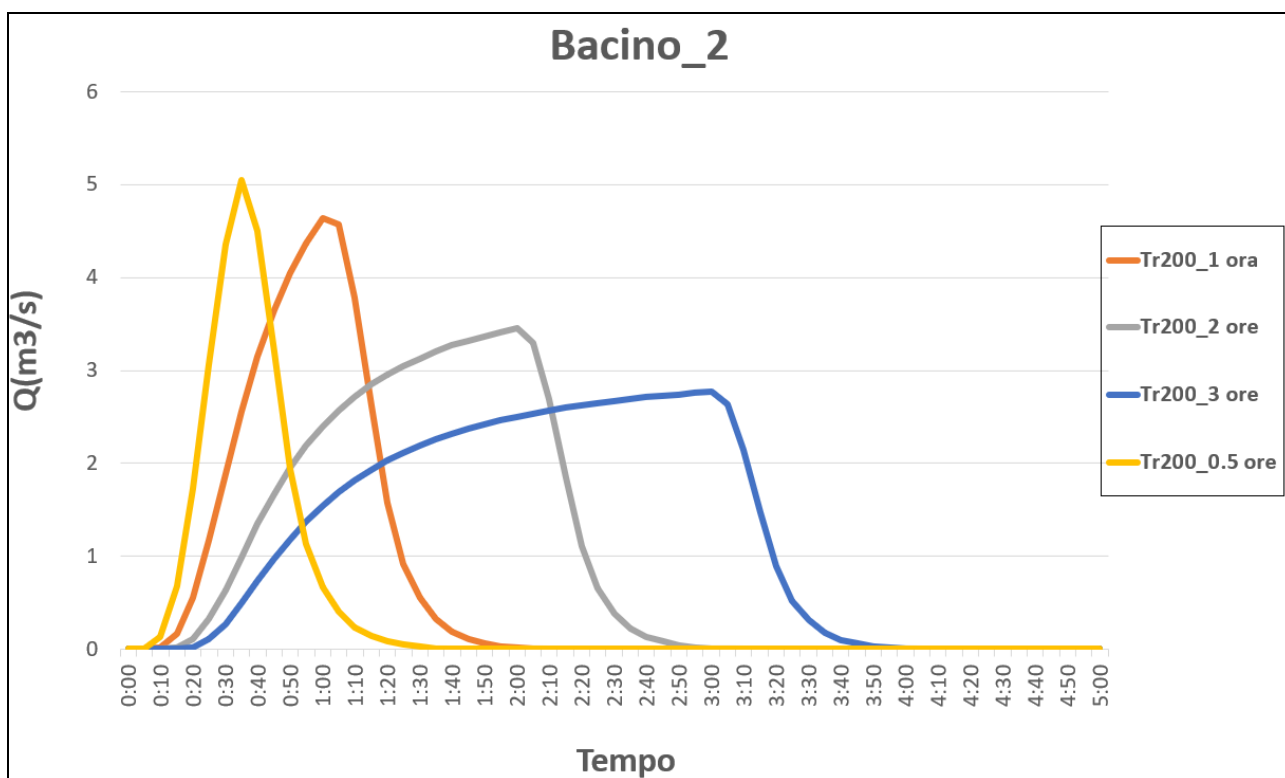
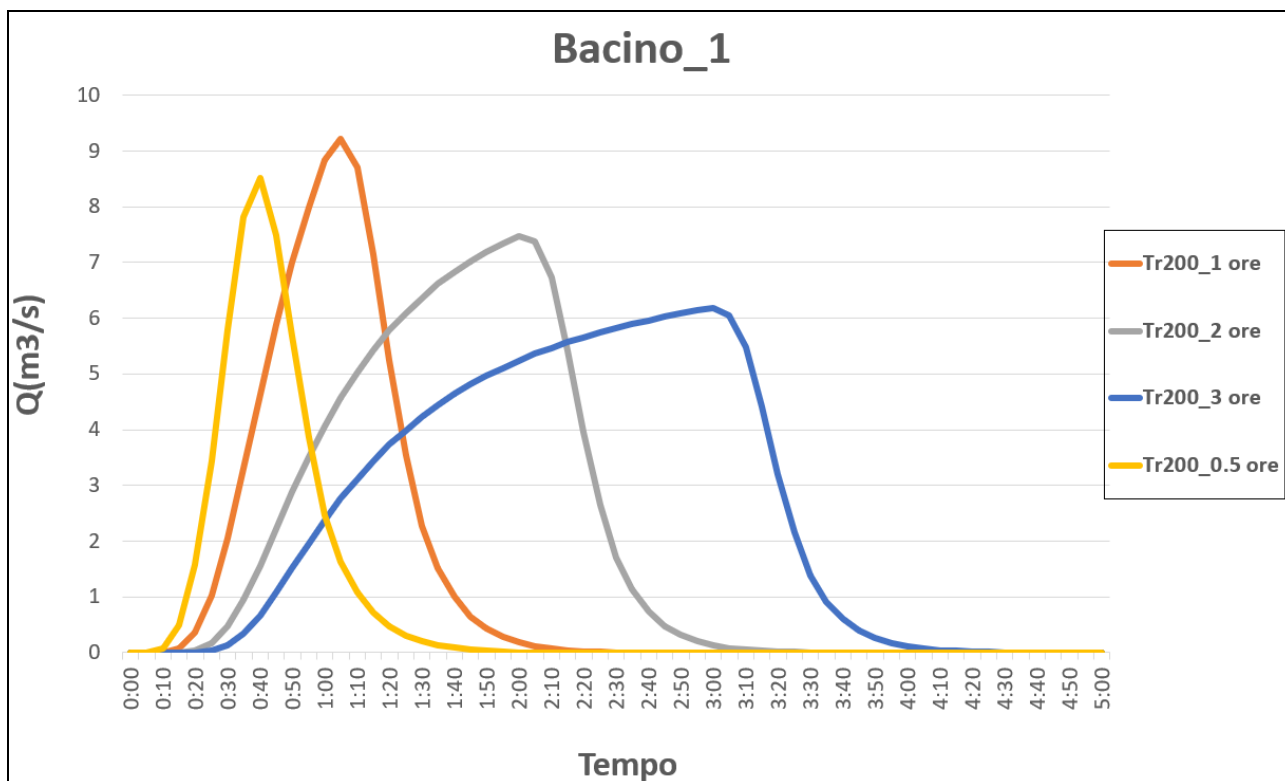
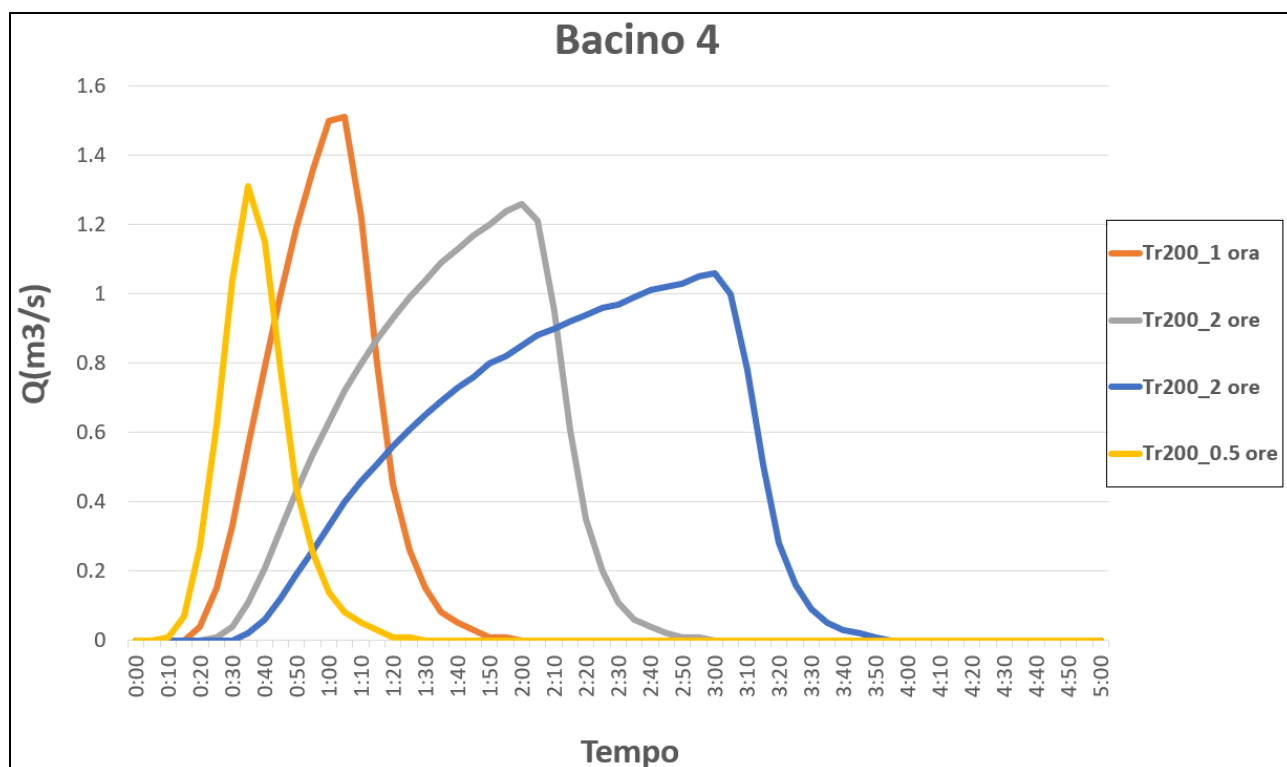
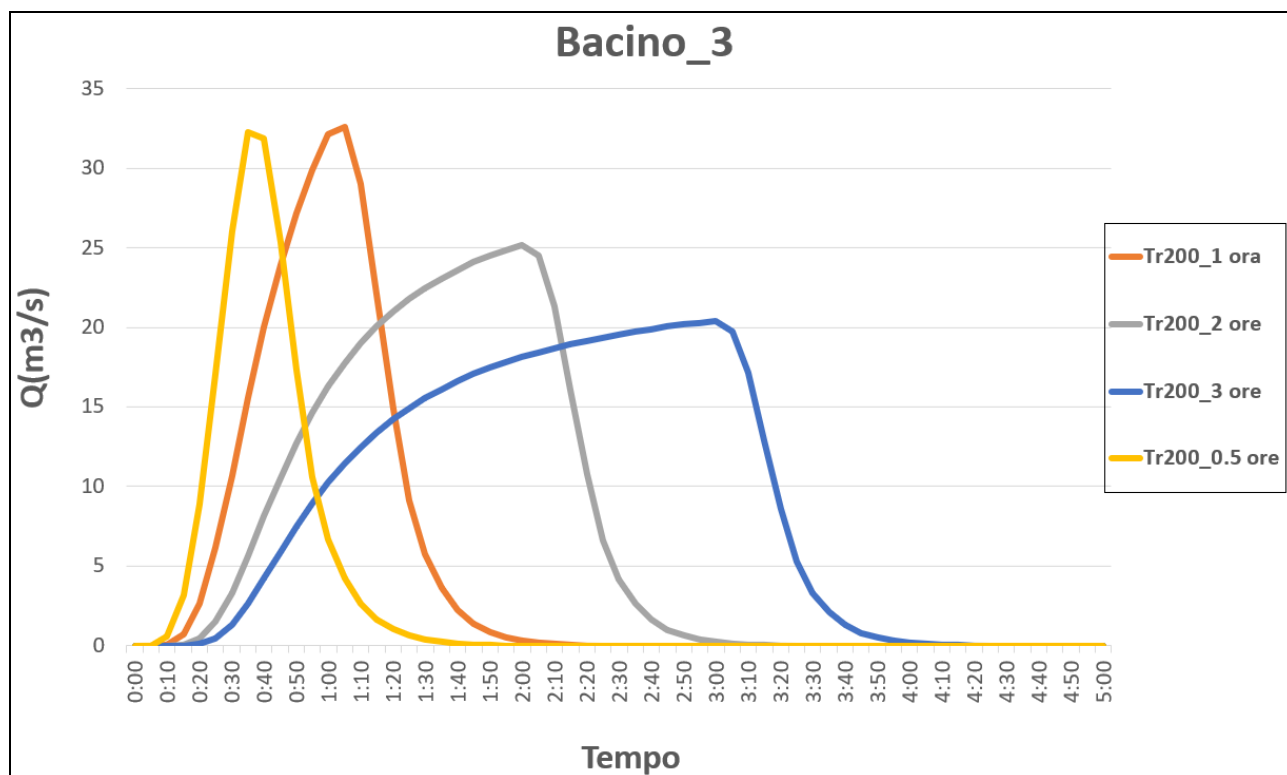


Figura 11 - Vista d'insieme dei corsi d'acqua in oggetto sul software Hec-Ras

Come già accennato nei paragrafi precedenti, i corsi d'acqua che interessano l'area analizzata sono in totale 6, tra cui la Fossa Calda, il principale di essi, situata all'estremità orientale; gli altri sono tutti affluenti di destra di quest'ultimo che hanno un andamento Sud-Ovest e sono collocati all'incirca nella zona compresa tra la linea ferroviaria e Via Aurelia Nord, in un contesto prevalentemente agricolo con presenza sparsa di aree urbanizzate. I tratti tombati sono concentrati maggiormente in questa porzione, caratterizzati da lunghe condotte rettangolari posizionate al di sotto delle strade principali di comunicazione.

La simulazione è stata eseguita per tutte le 4 durate di precipitazione analizzate, nonostante il picco di portata si raggiunga per quasi tutti i corsi d'acqua per 1h. Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena alla sezione di chiusura per le diverse durate di precipitazione.





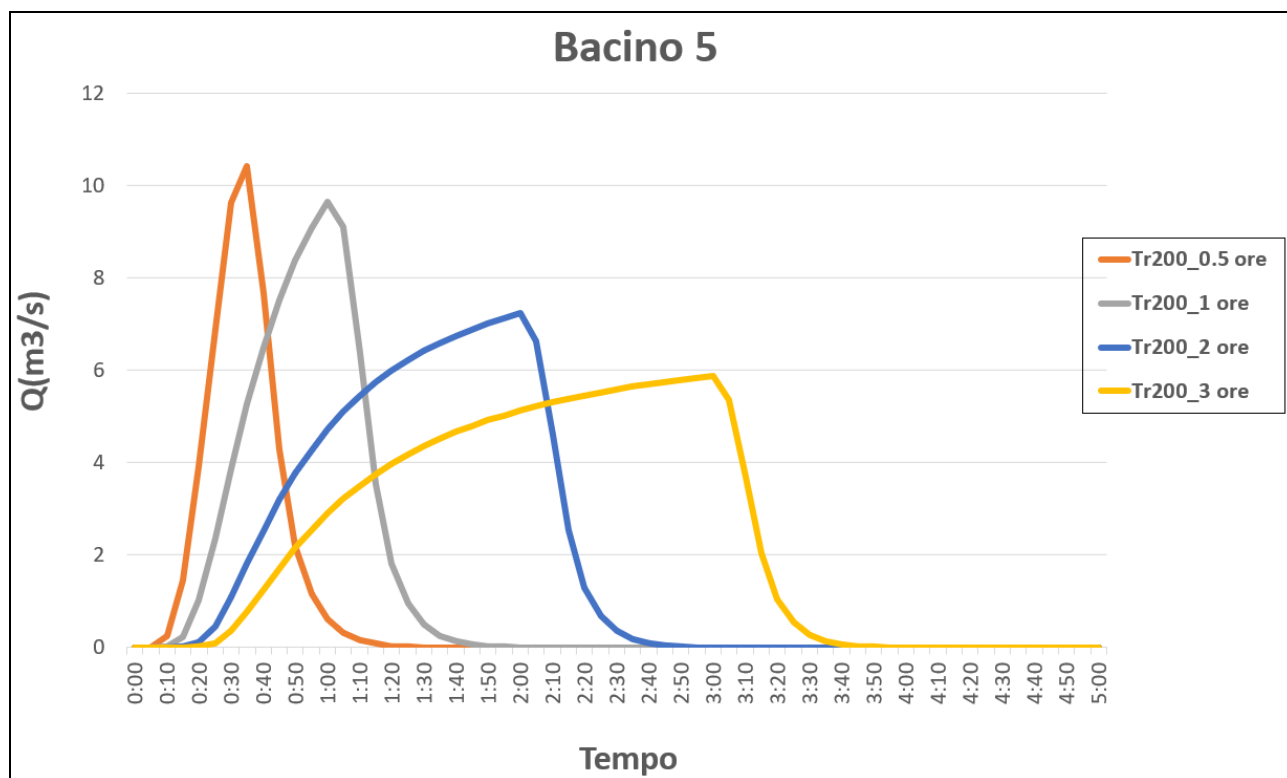
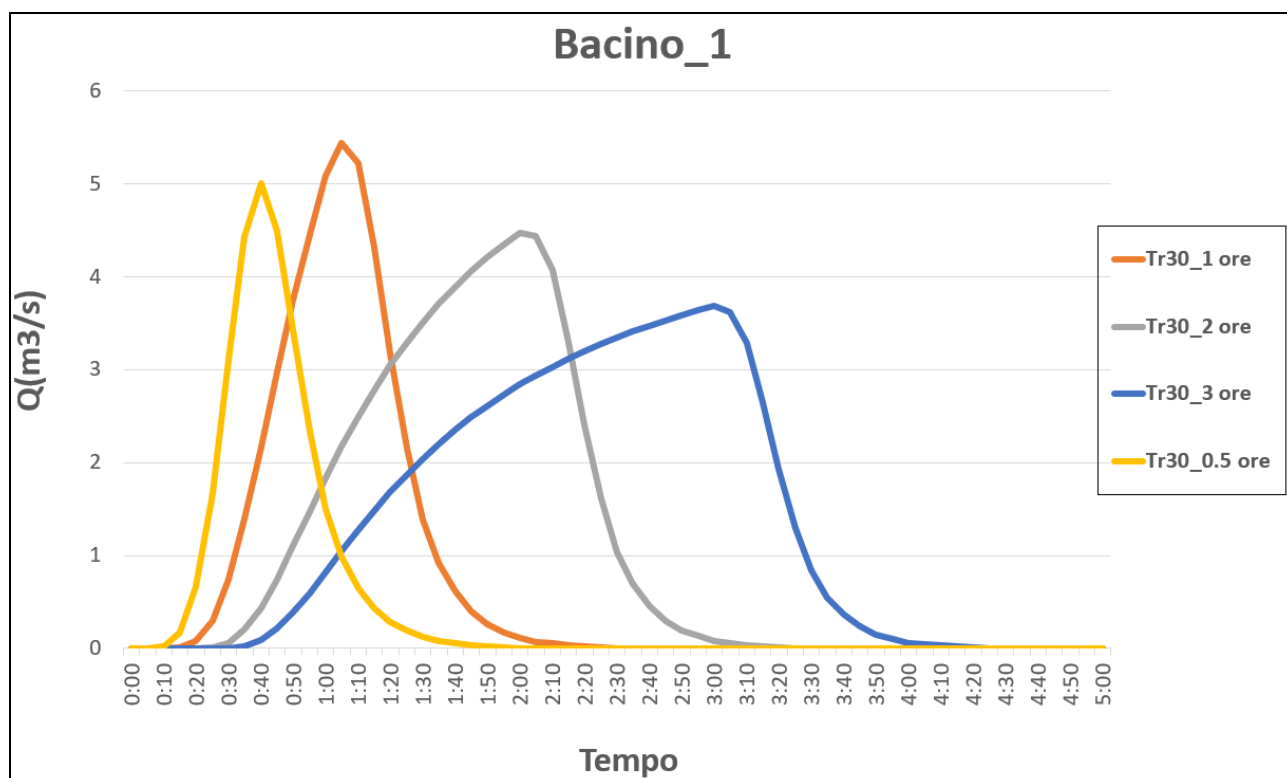
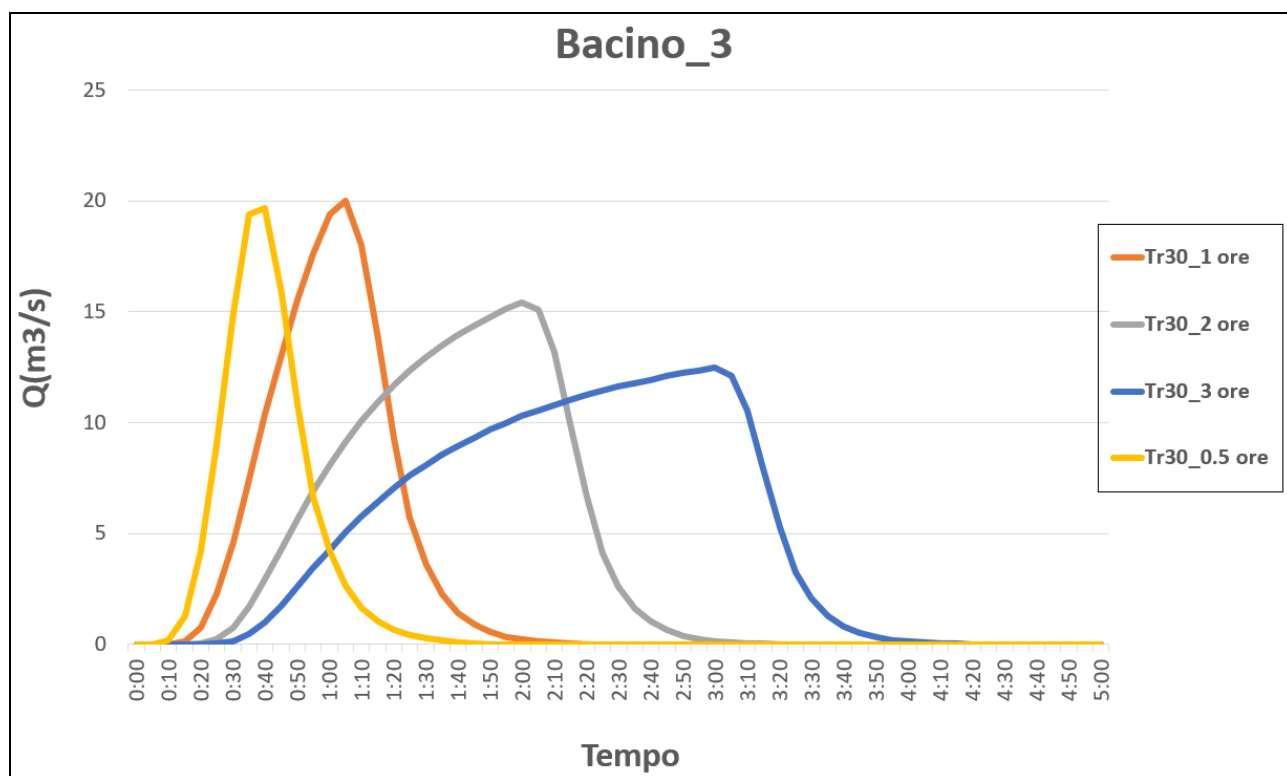
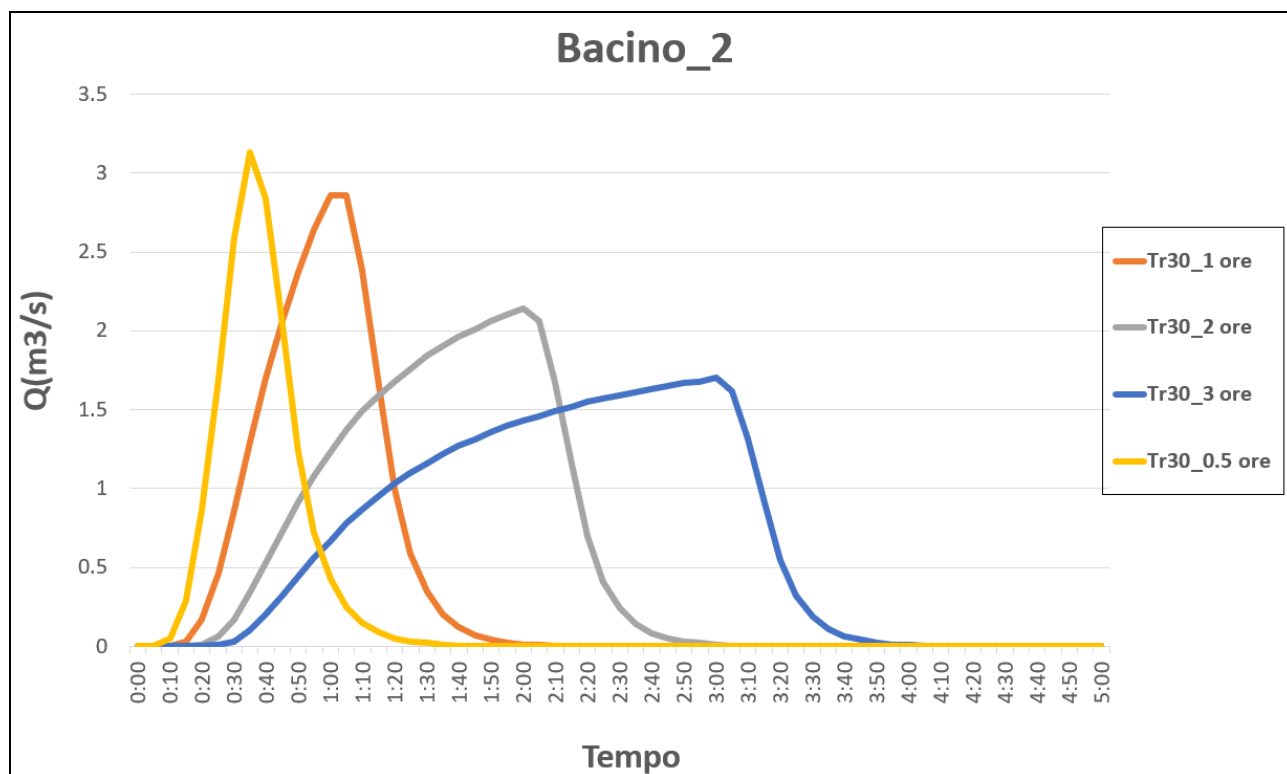


Figura 12 - Idrogrammi di piena alla sezione di chiusura per i diversi reticoli per TR 200





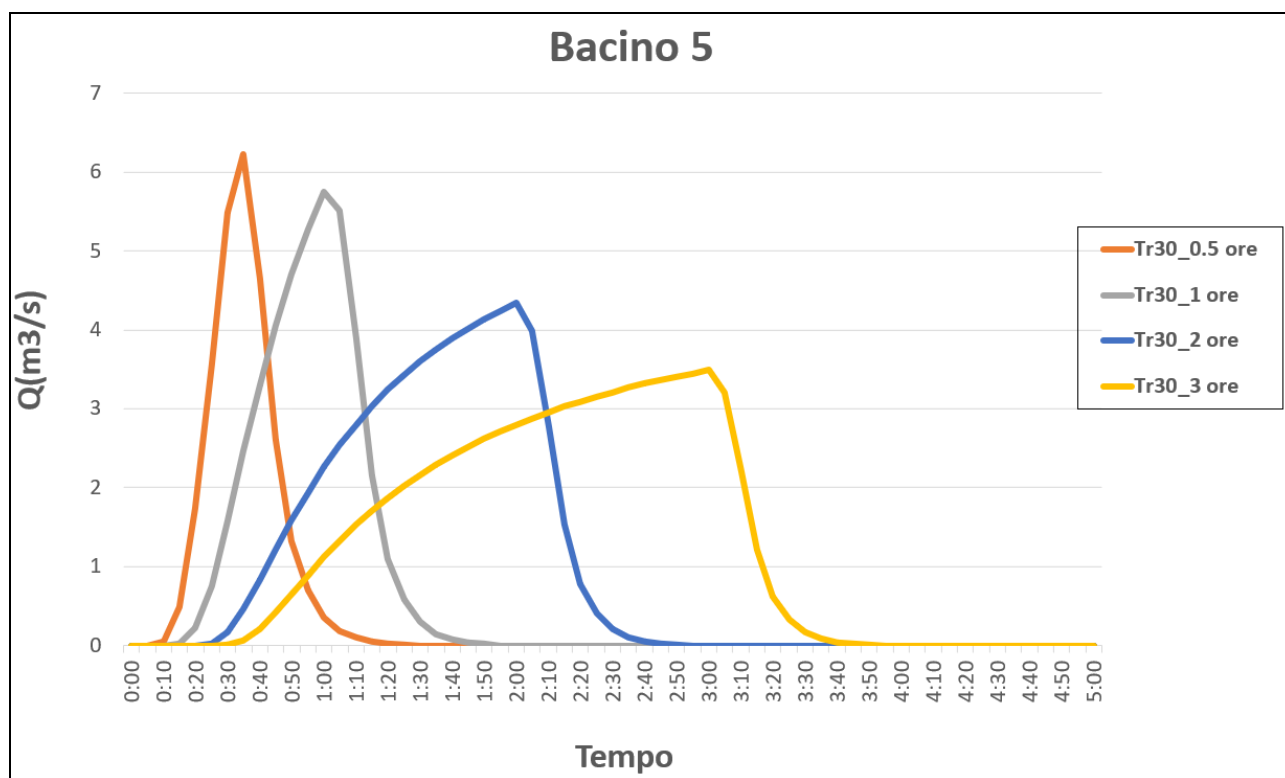
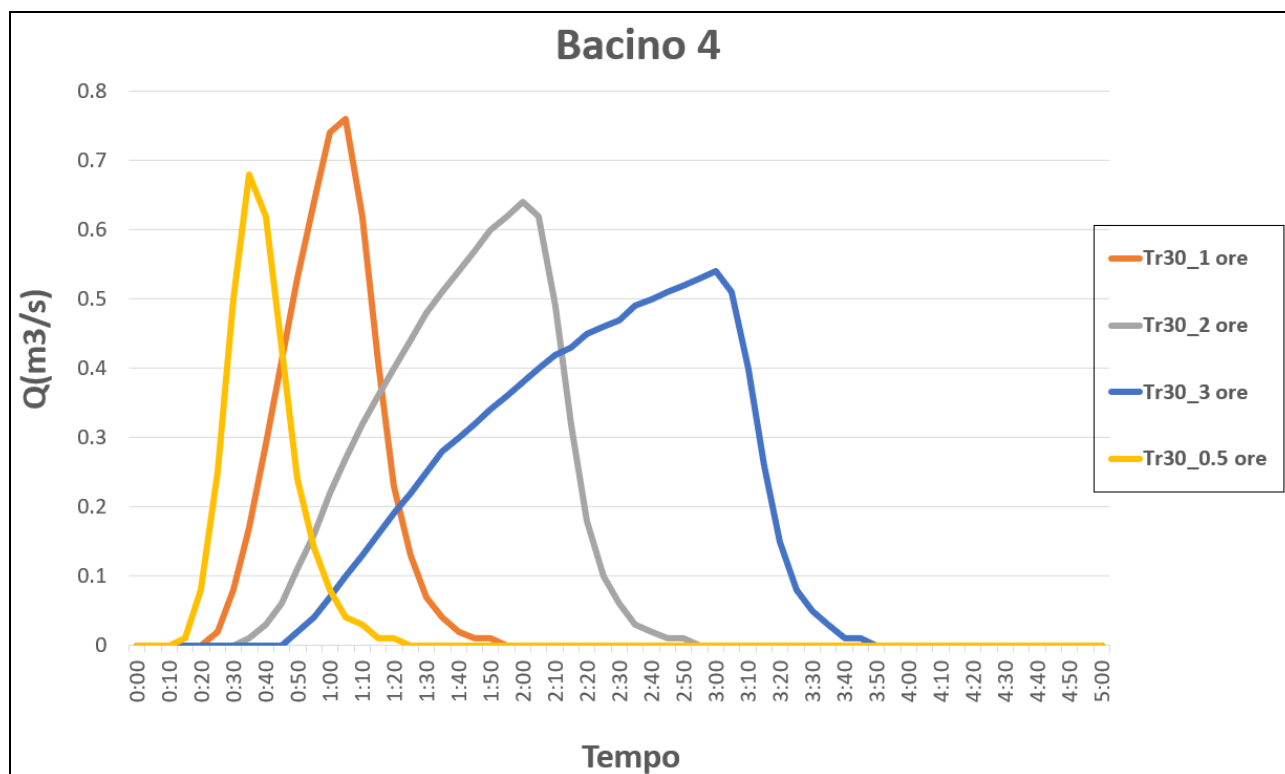


Figura 13- Idrogrammi di piena alla sezione di chiusura per i diversi reticoli per TR 30

Sintetizzando le caratteristiche dei corsi d'acqua analizzati è possibile affermare che:

- Il primo corso d'acqua (TC12894) presenta un tratto collinare a monte del territorio urbanizzato seguito da un tratto con pendenza molto bassa che attraversa terreni agricoli prima di sfociare nella Fossa Calda per una lunghezza totale di circa 3.2 km;
- Il secondo corso d'acqua (TC12883) scorre a est del primo si tratta di un corso d'acqua prettamente di pianura, poiché si origina nel territorio urbanizzato appena a valle della SP39.

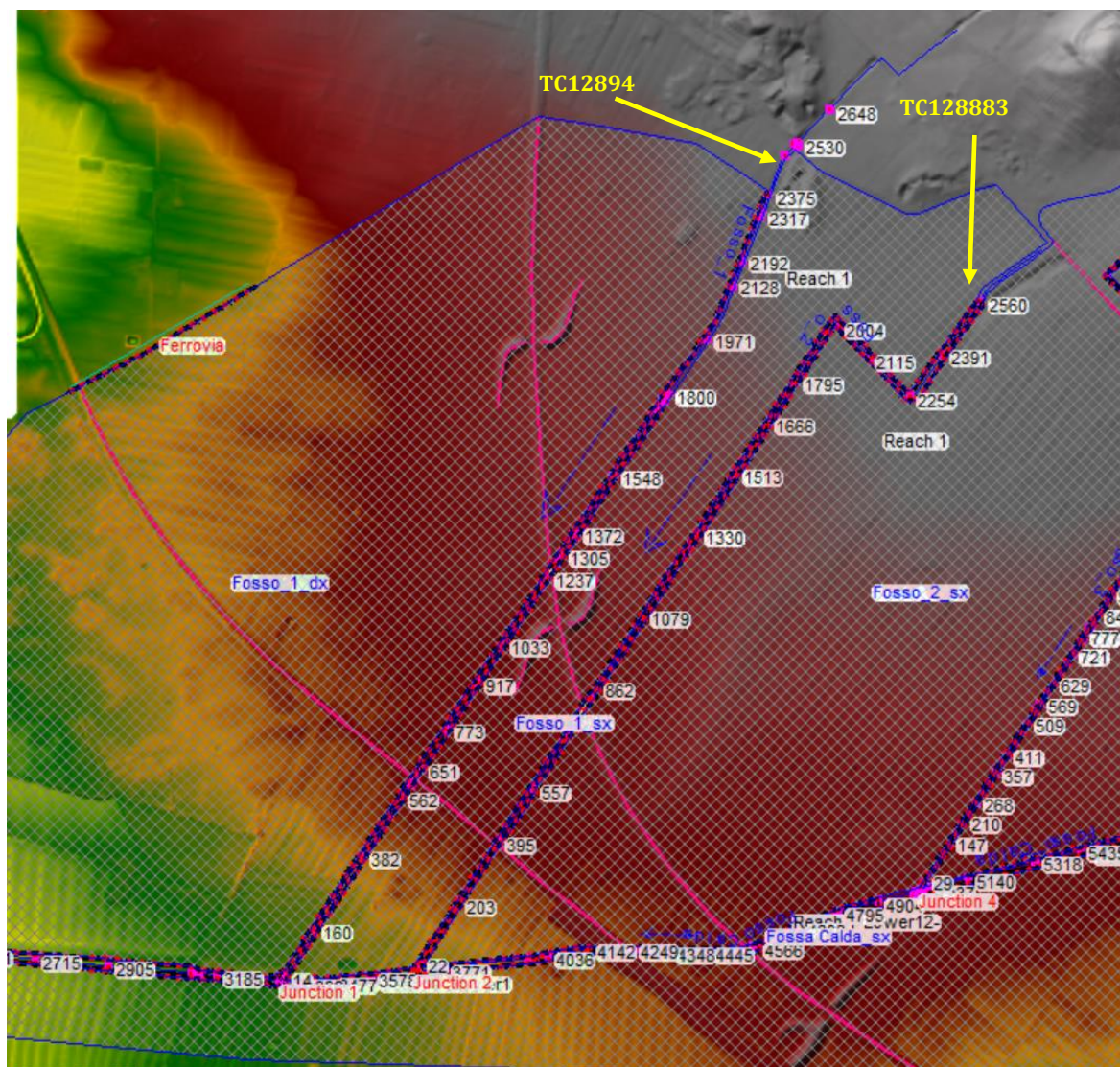


Figura 14 - Inquadramento sul primo e secondo corso d'acqua analizzato

- Il terzo corso (TC12839) ha le stesse caratteristiche morfologiche del precedente, andamento lineare e scorre a lato della strada provinciale delle Caldanelle prima di immettersi nella Fossa Calda per una lunghezza totale di quasi 1.5 km.
- Il quarto ha origine nei pressi del'Hotel delle Terme (TC12598) e dopo aver attraversato la SP39 scorre in piena campagna prima di confluire nella Fossa Calda.

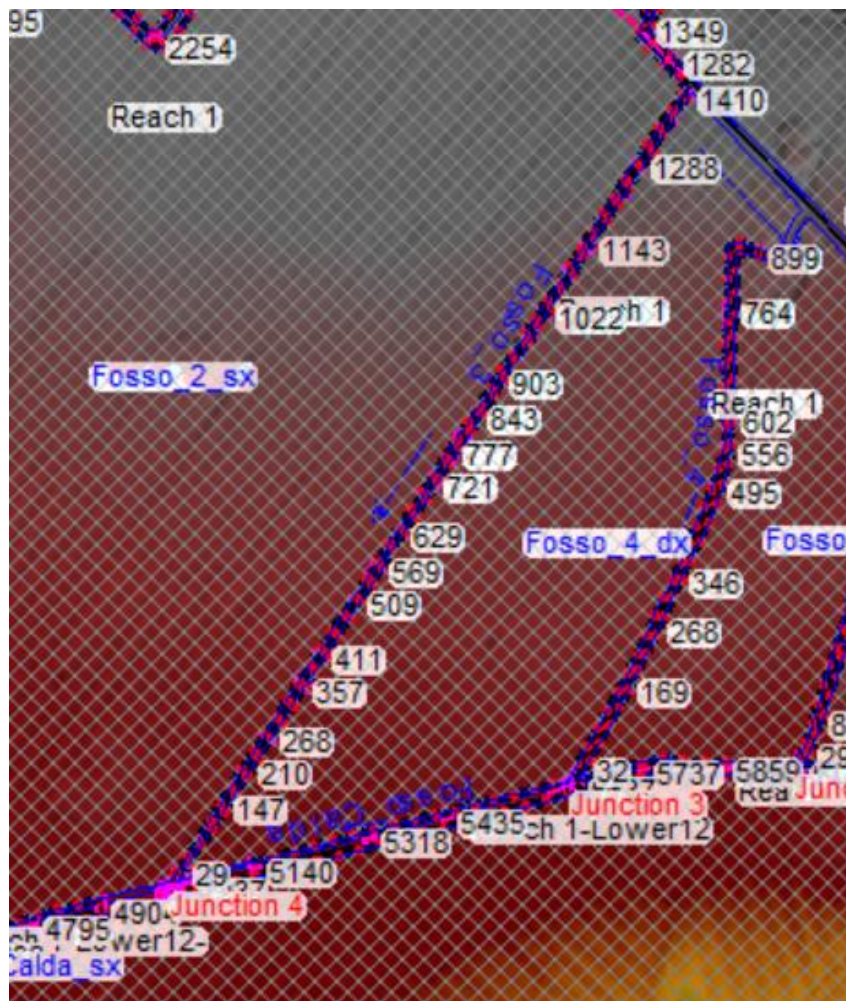


Figura 15 – Zoom sul terzo e quarto reticolo

- Il quinto ha origine a valle di Via di Citerna (TC12417), sottostante la zona della cava, e dopo essere sceso verso la zona urbana, costeggia tombato la SP39 in corrispondenza del Parco Termale, per una lunghezza di circa 450m. Il tombamento termina con una tubazione circolare del diametro di 80 cm e successivamente con un andamento Nord-Sud attraversa zone agricole, costeggiando il lago di Via Tufaia, fino a confluire nella Fossa Calda.
- Infine la Fossa Calda (TC19169) che lungo il suo percorso riceve il contributo di tutti gli altri corsi d’acqua descritti, si origina a lato di Via del Bottaccio nelle immediate vicinanze del “Calidario Terme Etrusche Resort”, e trovandosi nel territorio urbano è caratterizzato dall’alternanza di tratti a cielo aperto e tratti tombati fino ad oltrepassare la SR39 e scorrere successivamente a cielo aperto; qui all’interno del Parco di Tufala è affiancato da Via dei Molini di Fondo per buona parte del tragitto analizzato e presenta una sezione tipo trapezoidale costituita da alte arginature.

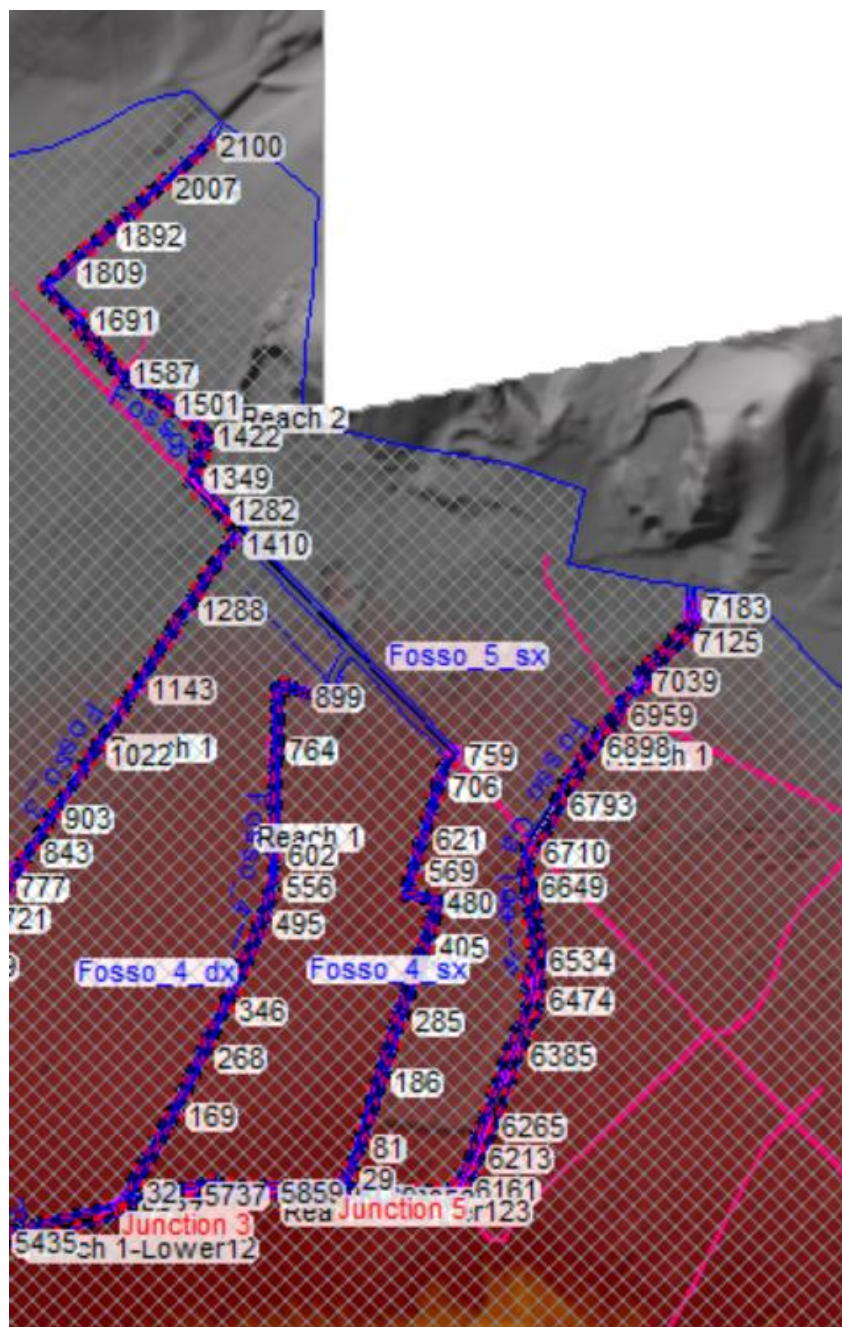


Figura 16 – Zoom sul fosso numero cinque e sul primo tratto della Fossa Calda

5.1 Risultati della modellazione TR200

I risultati dell'analisi idraulica in termini di battenti sul piano campagna sono riportati nella figura seguente, nella quale sono stati uniti tutti i massimi delle quattro simulazioni (inviluppo) svolte ed è stato creato un raster con il valore massimo di ogni singolo punto



Figura 17 – Battenti Tr 200 anni

Le criticità idrauliche maggiori per i corsi d'acqua sopra illustrati si riscontrano in diverse aree, tra le quali appaiono evidenti gli attraversamenti ferroviari e dell'Aurelia per i corsi d'acqua situati nelle zone al di fuori dell'urbano, mentre per quelli che presentano alternanza di tratti a cielo aperto e tratti tombati i punti più critici sono rappresentati dalle alternanze tratti tombati – tratti aperti per la ristrettezza delle luci di deflusso, idraulicamente insufficienti a far defluire la portata duecentennale.

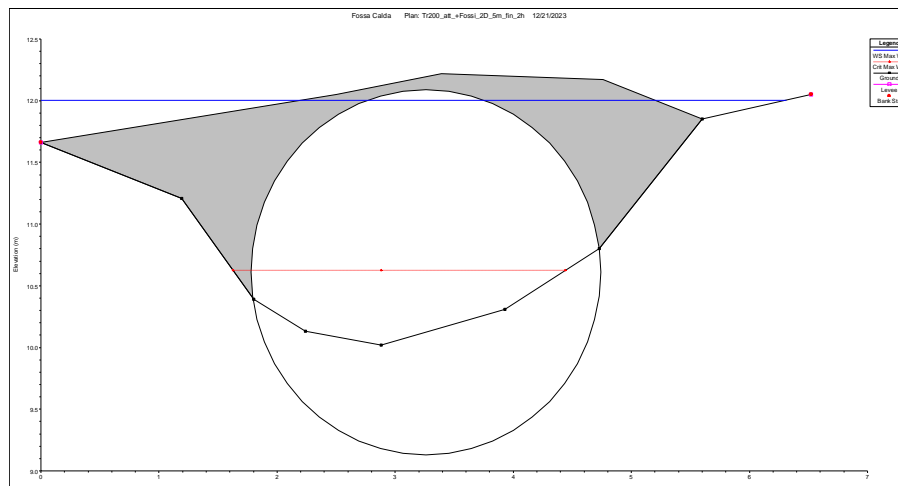


Figura 18 – Esempio attraversamento esistente sull'Aurelia del primo fosso

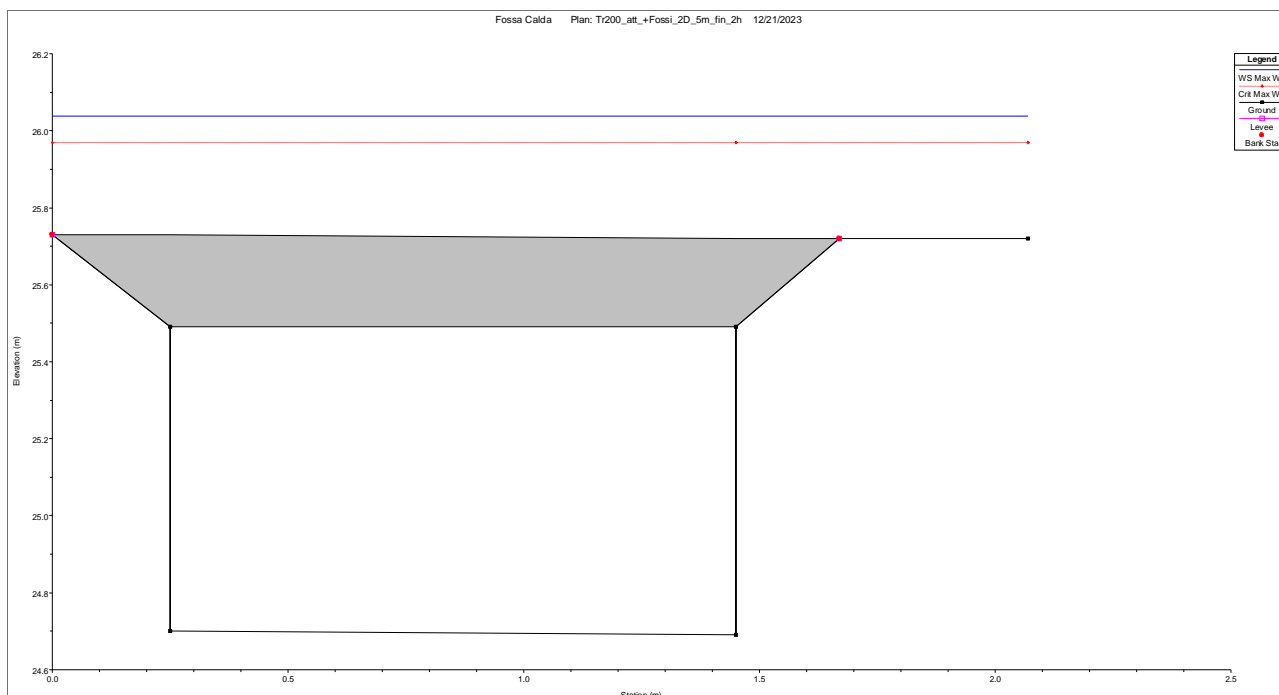


Figura 19 – Sezione monte tombamento al di sotto della SP39 del Fosso_5

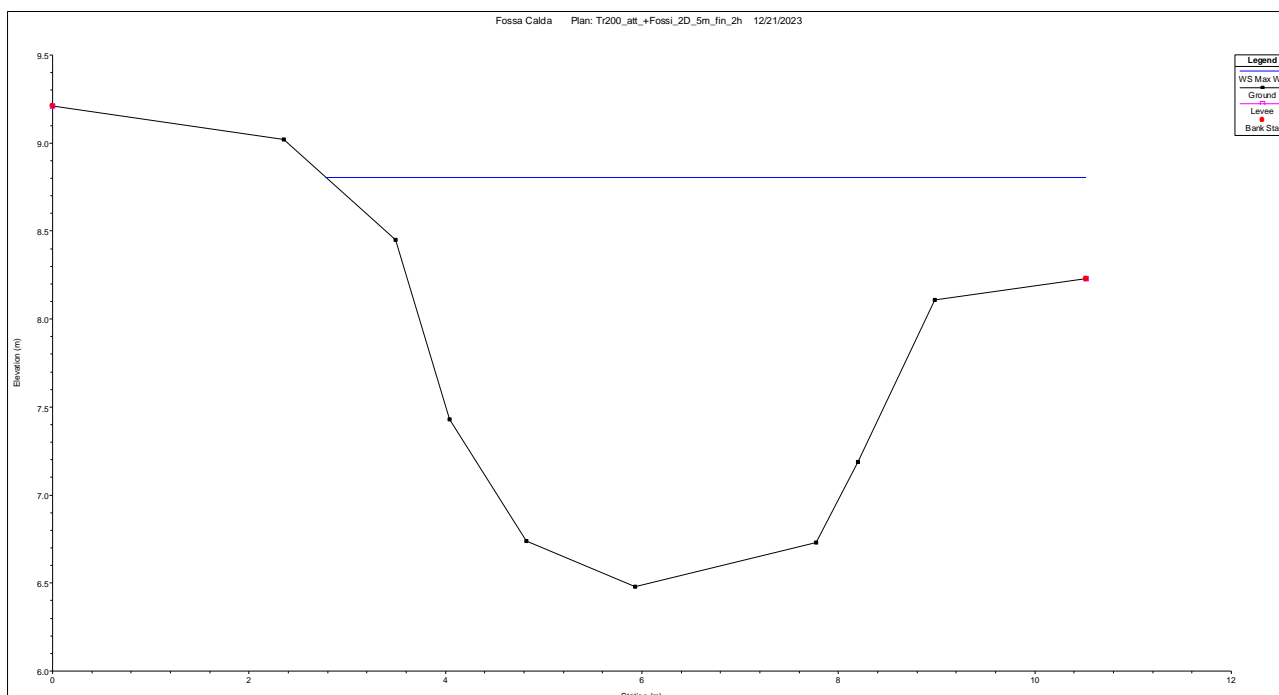


Figura 20 – Esempio sezione valle Fossa Calda

5.2 Risultati della modellazione TR30

È stato seguito lo stesso approccio visto in precedenza per sviluppare la mappa delle aree allagate per Tr 30 anni, il cui risultato è mostrato nella figura sottostante nella quale si evidenzia come le zone

critiche rimangono le stesse, ma con minor valori di altezza d'acqua sul piano campagna e, a differenza del caso precedente, molte aree coltivate non sono interessate da fenomeni esondativi.



Figura 21 - Battenti Tr 200 anni

6. Definizione della pericolosità e della magnitudo idraulica sistema Fossa Calda

Sulla base dei battenti per i vari tempi di ritorno ricavati dalle verifiche idrauliche condotte nel presente studio sono state elaborate le mappe di pericolosità idraulica, secondo la classificazione del P.G.R.A. del Distretto Appennino Settentrionale.

Le aree con pericolosità da alluvione sono rappresentate su tre classi, secondo la seguente gradazione:

- pericolosità da alluvione elevata (P3), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni (alluvioni frequenti);
- pericolosità da alluvione media (P2), corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni (alluvioni poco frequenti);
- pericolosità da alluvione bassa (P1) corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni (alluvioni rare).

Ai fini della classificazione del territorio sulla base della legge 41/R/2018 si è provveduto a redigere la tavola della magnitudo idraulica, che tiene conto della combinazione dei battenti di esondazione e della velocità di propagazione:

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

7. Definizione del quadro conoscitivo di riferimento complessivo a scala comunale per pericolosità idraulica, battenti TR 200 anni e magnitudo

Come precedentemente esplicitato lo scenario di pericolosità idraulica a scala comunale è stato definito nell'ambito del Piano Strutturale Intercomunale Piombino Campiglia Marittima, approvato con Deliberazione n. 9 del 24.02.2023 del Consiglio Comunale del Comune di Campiglia Marittima e con Deliberazione n. 5 del 20.01.2023 del Consiglio Comunale del Comune di Piombino. Nel parere conclusivo del Genio Civile di Livorno veniva approvato detto studio idrologico idraulico con ambito di validità in sinistra idraulica del Fosso Corniaccia, rimandando al Piano Operativo per la definizione dello scenario di allagabilità del Bacino della Fossa Calda.

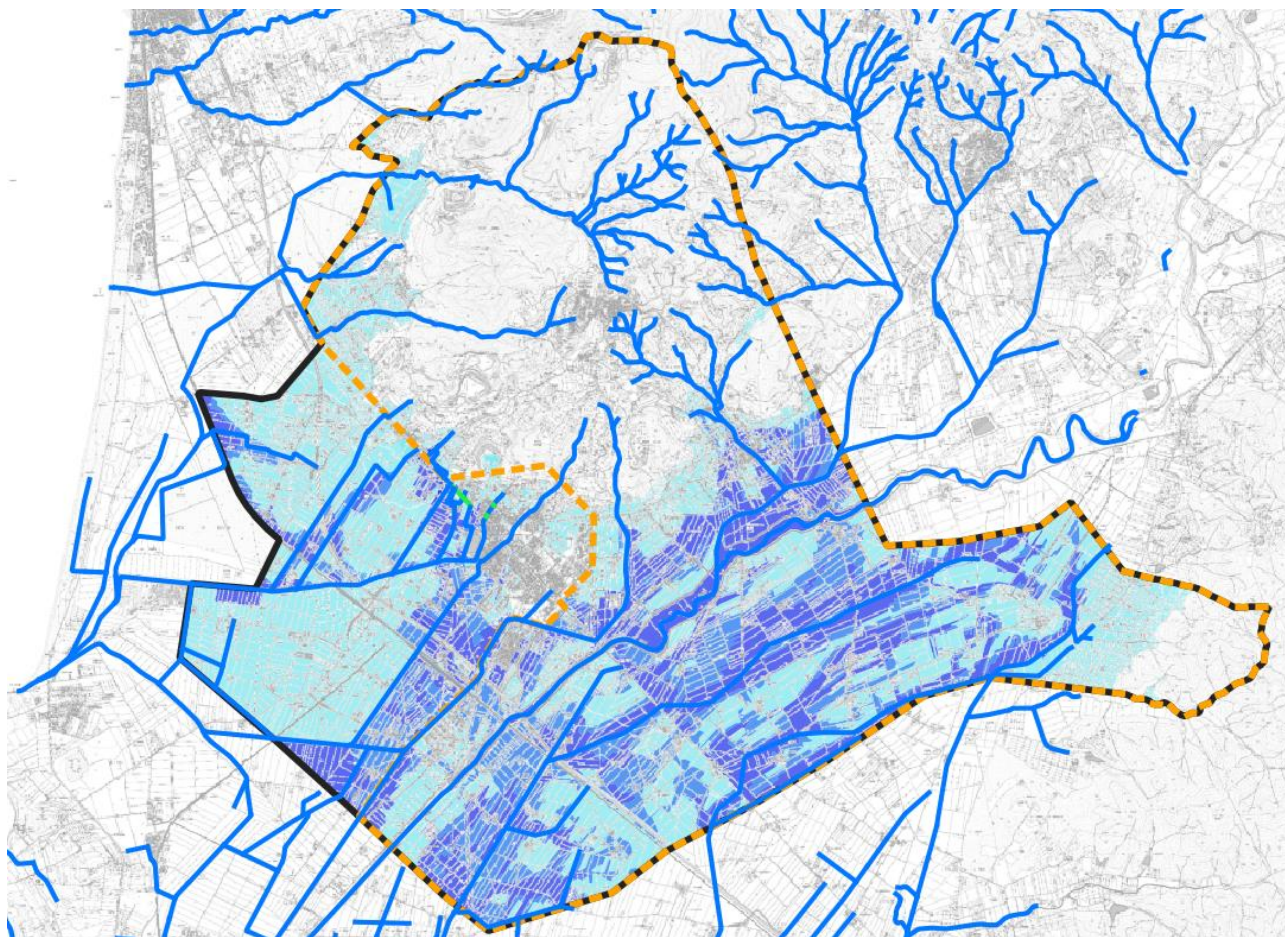


Figura 22 – In arancione l'ambito di validità degli studi idraulici del PSI approvato

Pertanto nell'ambito della redazione del Piano Operativo si è provveduto ad effettuare lo studio idrologico idraulico del bacino della Fossa Calda, come precedentemente descritto, che ha permesso di definire lo scenario di allagabilità dei corsi d'acqua afferenti alla Fossa Calda.

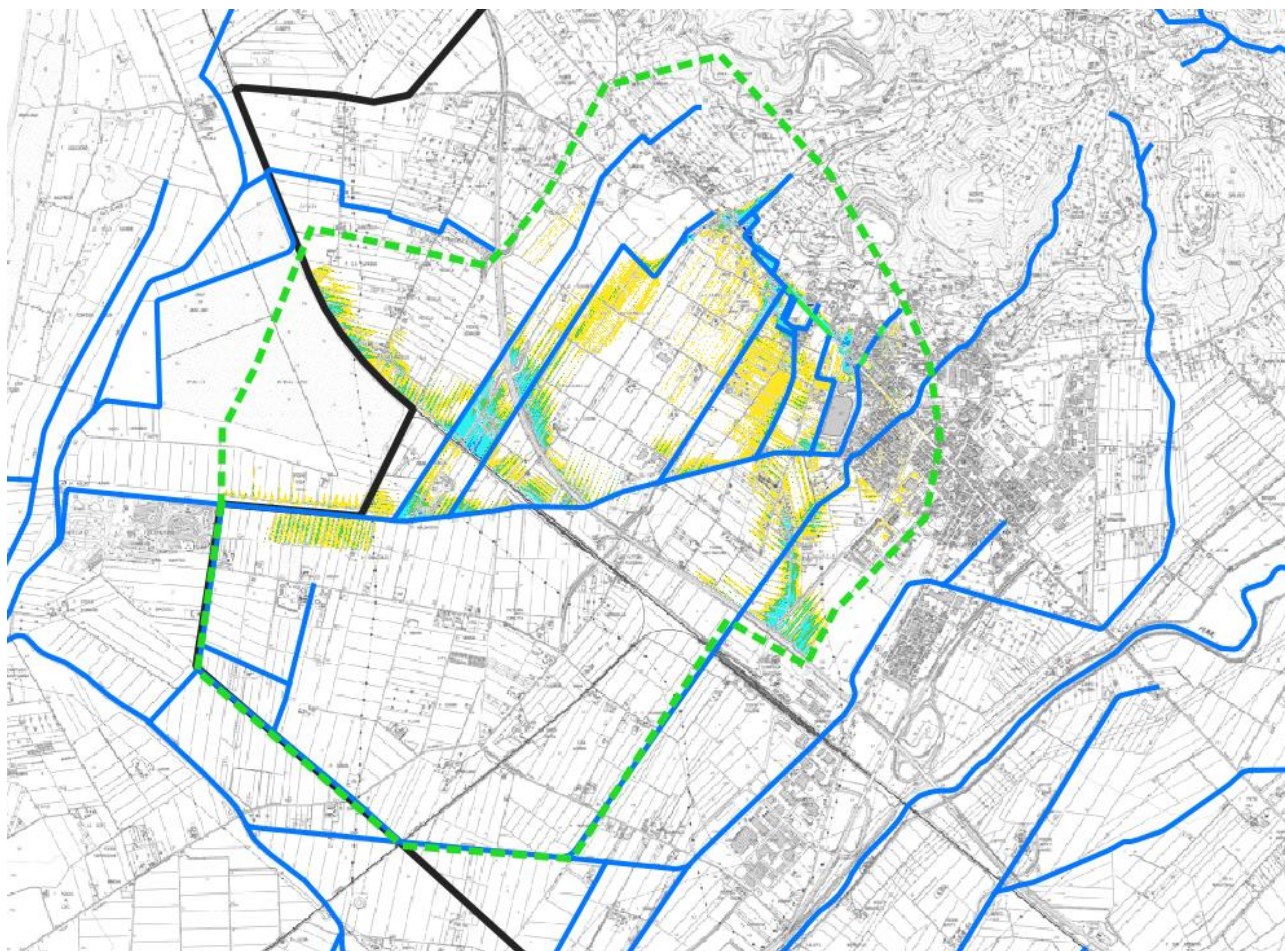


Figura 23 – In verde l'ambito di validità degli studi idraulici del PO relativi al bacino della Fossa Calda

Definite le aree allagabili derivanti dalle esondazioni della Fossa Calda, si è recuperato il dato di pericolosità, battenti e magnitudo del modello idraulico di PSI per la destra idraulica del Fosso Corniaccia e del Fosso Verrocchio nella versione adottata con deliberazione di Consiglio Comunale n. n.27 del 26/03/2021, previa verifica di non sovrapposizione degli scenari.

Il quadro di pericolosità è stato infine integrato con le esondazioni del Botro ai Marmi, derivante dallo studio idraulico a supporto del Piano Operativo di San Vincenzo; con questo modus operandi è stato pertanto possibile definire compiutamente, su tutto il territorio comunale, pericolosità idraulica, battenti Tr 200 anni e magnitudo.

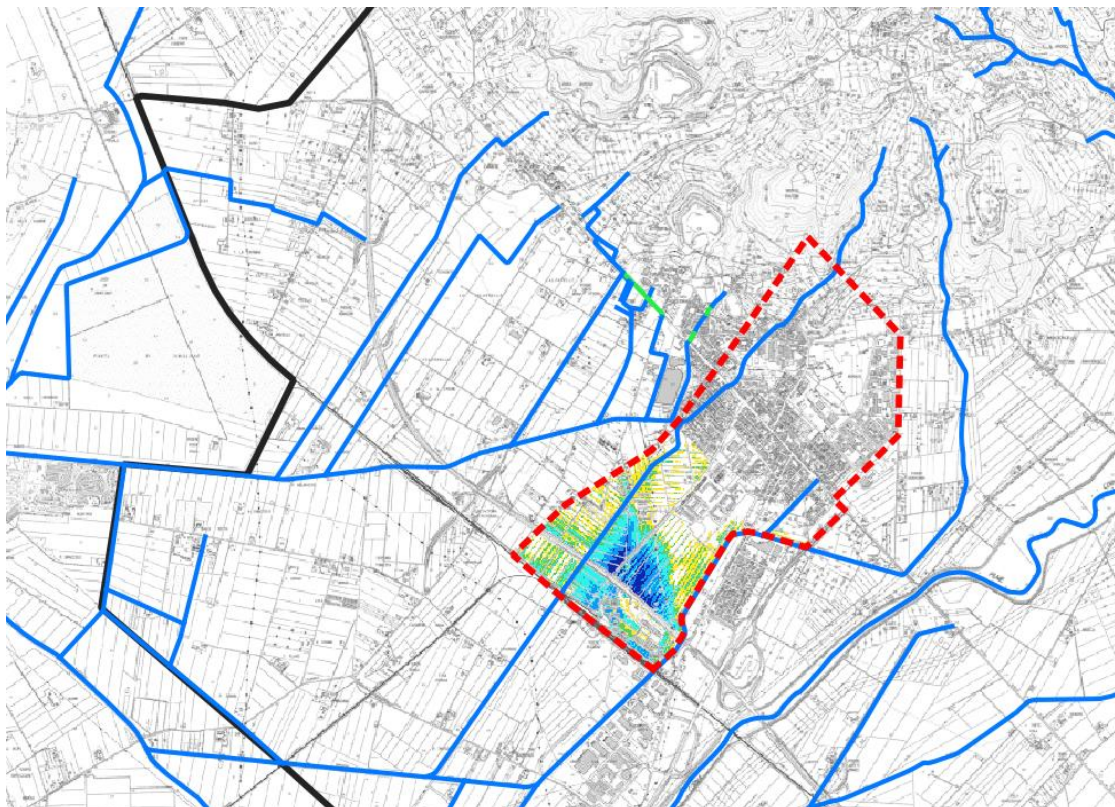


Figura 24 – In rosso l'ambito di validità degli studi idraulici del PSI adottato relativi alla destra idraulica del Fosso Corniaccia e del Fosso Verrocchio

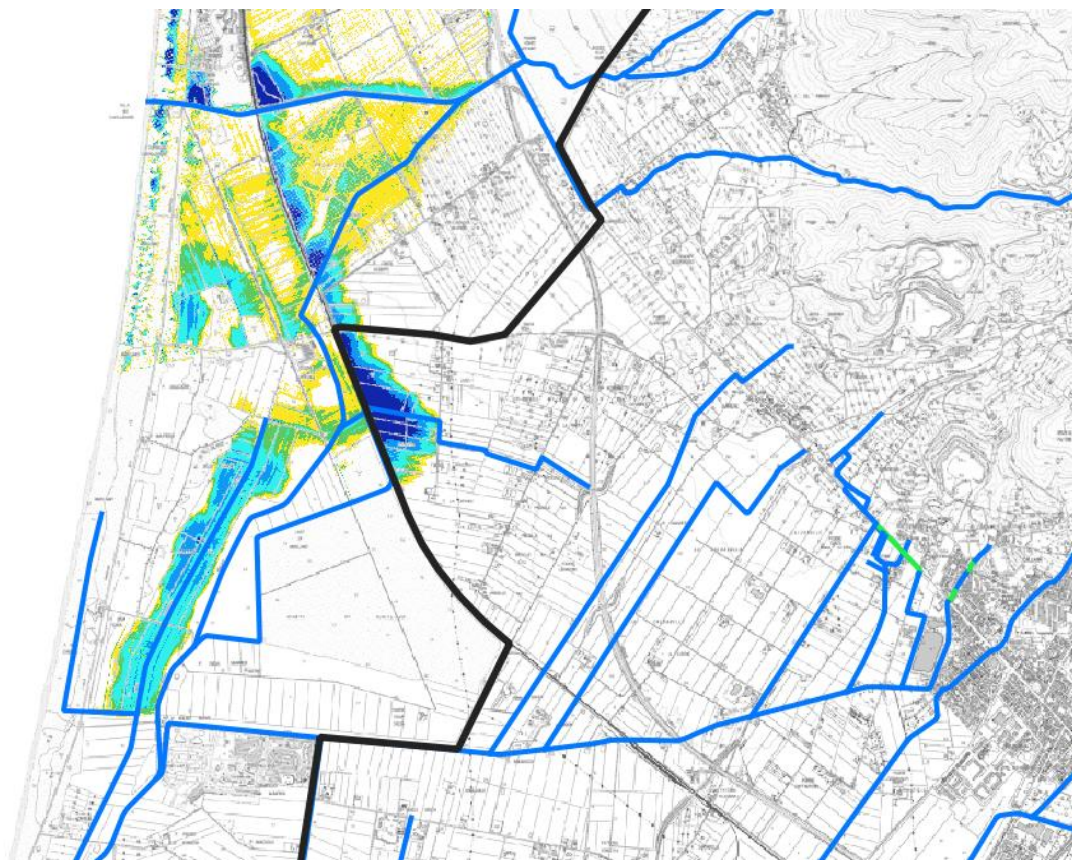


Figura 25 – Esondazioni TR 200 anni Botro ai Marmi ricadenti nel Comune di Campiglia Marittima

Si riporta in allegato l'output delle verifiche idrauliche condotte per i bacini afferenti alla Fossa Calda.

Output verifiche idrauliche

