



PIANO STRUTTURALE

i - Studio del rischio idraulico

Relazione Idrologico-Idraulica con integrazioni richieste dalla Regione Toscana - Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile - Genio Civile Toscana Sud - Ufficio di Grosseto - con nota pec del 14.01.2021 al Comune di Gavorrano

Sindaco:

Andrea Biondi

Giunta Comunale:

Francesca Bargiacchi

Claudio Saragosa

Daniele Tonini

Stefania Ulivieri

Responsabile del Procedimento:

Massimo Padellini

Garante dell'Informazione e della Partecipazione:

Stefania Pepi

Progettisti:

Stefano Giommoni

Rita Monaci

Pietro Pettini

Indagini geologiche:

Sandro Ricci

Indagini idrauliche:

Mario Di Felice

Collaboratori:

Giovanna Pessina

Riccardo Rossi



Piano Strutturale Comunale - Piano Operativo Comunale

PS
PO

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	STUDIO IDROLOGICO	3
2.1	Pluviometria e Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica	3
2.2	Tempo di corrivazione	4
2.3	Ietogramma di progetto e fattore di ragguaglio	4
2.4	Determinazione della pioggia netta	6
2.5	Trasformazione afflussi-deflussi	7
2.6	UTOE Grilli	10
2.6.1	Inquadramento geografico	10
2.6.2	Caratteristiche plano-altimetriche	10
2.6.3	Tempi di corrivazione	11
2.6.4	Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica	11
2.6.5	Valori del Curve Number	11
2.6.6	Portate di massima piena	12
2.6.7	Idrogrammi di piena	13
2.7	UTOE Basse di Caldana	19
2.7.1	Inquadramento geografico	19
2.7.2	Caratteristiche plano-altimetriche	19
2.7.3	Tempi di corrivazione	19
2.7.4	Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica	20
2.7.5	Valori del Curve Number	20
2.7.6	Portate di massima piena	20
2.7.7	Idrogrammi di piena	21
2.8	UTOE I Forni	24
2.8.1	Inquadramento geografico	24
2.8.2	Caratteristiche plano-altimetriche	24
2.8.3	Tempi di corrivazione	24
2.8.4	Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica	25
2.8.5	Valori del Curve Number	25
2.8.6	Portate di massima piena	25
2.8.7	Idrogrammi di piena	26
2.9	UTOE Potassa	29
2.9.1	Inquadramento geografico	29
2.9.2	Caratteristiche plano-altimetriche	29
2.9.3	Tempi di corrivazione	29
2.9.4	Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica	30
2.9.5	Valori del Curve Number	30
2.9.6	Portate di massima piena	30
2.9.7	Idrogrammi di piena	31
3	VERIFICHE IDRAULICHE	33
3.1	Modello di calcolo HEC-RAS	33
3.1.1	Modello di calcolo a moto permanente	33
3.1.2	Modello di calcolo a moto vario monodimensionale	35
3.1.3	Modello di calcolo a moto vario bidimensionale	36

3.2	UTOE Grilli	40
3.2.1	Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D	40
3.2.2	Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena	45
3.2.3	Scenari di simulazione e risultati	45
3.3	UTOE Basse di Caldana	52
3.3.1	Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D	52
3.3.2	Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena	55
3.3.3	Scenari di simulazione e risultati	56
3.4	UTOE I Forni	61
3.4.1	Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D	61
3.4.2	Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena	63
3.4.3	Scenari di simulazione e risultati	63
3.5	UTOE Potassa	67
3.5.1	Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D	70
3.5.2	Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena	73
3.5.3	Scenari di simulazione e risultati	74
4	ALLEGATI	77

1 PREMESSA

Lo sviluppo dello studio idrologico-idraulico, condotto secondo i criteri previsti dall'Allegato 3 alla Disciplina di Piano del P.G.R.A. del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale, è stato articolato nelle seguenti fasi:

1. Inquadramento generale dell'area, con particolare riferimento al contesto morfologico, idraulico e di pericolosità.
2. Rilievo topografico delle sezioni d'alveo, dei piani quotati delle aree allagabili, dei manufatti e delle singolarità morfologiche in grado di condizionare la modellazione numerica (rilievo topografico eseguito dall'Amministrazione Comunale).
3. Delimitazione del bacino tributario apparente sotteso alla sezione di verifica ed individuazione delle caratteristiche morfometriche tramite elaborazione della cartografia e dei dati utili raccolti.
4. Calcolo degli idrogrammi di piena per vari tempi di ritorno, mediante metodi di trasformazione afflussi-deflussi presenti in letteratura e tenendo conto delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, dei dati geomorfologici, permeabilità e di uso del suolo più recenti.
5. Simulazione della propagazione in alveo dell'onda di piena e dei processi di tracimazione e allagamento del territorio.

Si evidenzia che tutti gli studi sono stati condotti facendo esclusivo riferimento al reticolo idrografico approvato con deliberazione del Consiglio regionale n°20 del 26 marzo 2019, ai sensi della L.R. 79 /2012, escludendo quindi il reticolo non significativo definito come "altro reticolo" o "tombato".

2 STUDIO IDROLOGICO

2.1 Pluviometria e Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano è stato effettuato un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso.

Attraverso l'analisi di frequenza regionale sono state stimate su tutto il territorio regionale le altezze di pioggia per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore ed i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500.

Attraverso una regressione lineare sono stati calcolati i parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a ed n , grazie ai quali è possibile calcolare, per qualsiasi durata, in qualsiasi punto del territorio regionale l'altezza di pioggia per i tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 500.

I parametri a ed n forniti sono in formato raster, risoluzione 1kmx1km.

Per definire le curve di possibilità pluviometrica su un bacino idrografico è necessario individuare lo spartiacque del bacino imbrifero e, una volta scelto il tempo di ritorno, è possibile definire i valori medi di bacino dei parametri "a" ed "n".

Definita la durata t dell'evento, che per un bacino idrografico è solitamente assunta pari al tempo di corrivazione t_c , è possibile quindi trovare l'altezza di pioggia sul bacino tramite la relazione:

$$h(t) = a \cdot t_c^n$$

con h =altezza di pioggia [mm]; t_c =tempo di corrivazione [ore], a e n parametri caratteristici.

2.2 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione di un bacino è per definizione il tempo necessario alla goccia d'acqua che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino. Questo parametro è una costante per ogni bacino, in quanto funzione della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale.

Per stimare il tempo di corrivazione T_c (ore) esistono molte formule matematiche; la formula più diffusa in Italia è quella di Giandotti, derivata per bacini idrografici con superficie compresa tra i 170 Km² e 70.000 Km² ma utilizzata anche per bacini medio piccoli.

$$\text{Formula di Giandotti} \quad T_c = \frac{4\sqrt{A}+1,5L}{0,8\sqrt{H_m}}$$

$$\text{Formula di Kirpich/Ramser} \quad T_c = 0,000325(L \cdot 1000)^{0,77} \left(\frac{H_{max}-H_{min}}{L \cdot 1000} \right)^{-0,385}$$

$$\text{Formula di Viparelli} \quad T_c = \frac{L}{3,6 \cdot 1}$$

$$\text{Formula di Ventura} \quad T_c = 0,1272 \sqrt{\frac{A}{i_a/100}}$$

$$\text{Formula di Pasini} \quad T_c = 0,108 \frac{(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{\frac{i_a}{100}}}$$

$$\text{Formula di Pezzoli} \quad T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{\frac{i_a}{100}}}$$

$$\text{Formula di Puglisi} \quad T_c = 6L^{\frac{2}{3}}(H_{max} - H_{min})^{\frac{-1}{3}}$$

dove:

GRANDEZZE DEL BACINO	
A	Superficie (Km ²)
L	Lunghezza asta principale (Km)
H _m	Altitudine media del bacino riferita alla sezione di chiusura (m)
H _{max}	Altitudine massima del bacino
H _{min}	Altitudine minima del bacino
i _b	Pendenza del bacino (%)
i _a	Pendenza dell'asta (%)

I valori ricavati con le varie formule, presentano una variabilità dovuta al carattere sperimentale delle formule utilizzate e alla non perfetta similitudine delle caratteristiche dei bacini in studio con quelle dei bacini da cui sono state ricavate le formule.

Si ritiene comunque verosimile un tempo di corrivazione dato da un valore prossimo alla media dei valori suddetti.

2.3 Ietogramma di progetto e fattore di ragguglio

Nella letteratura tecnica esistono diverse metodologie per la definizione del cosiddetto "ietogramma di progetto" la cui scelta, in Italia, non è vincolata da alcuna norma specifica.

Nella pratica ingegneristica vengono adottati ietogrammi cosiddetti "sintetici" tali cioè da non rappresentare il vero andamento di un evento pluviometrico ma tali da introdurre nei modelli di trasformazione afflussi-deflussi dei valori di pioggia che diano luogo a risultati che si possano ritenere cautelativi.

Nel caso in esame, tra le varie procedure disponibili si è utilizzata quella basata su uno ietogramma costante per l'intera durata dell'evento di intensità pari a quella risultante dalle curve di possibilità pluviometrica sopra determinate.

Per taluni bacini, considerata l'estensione areale degli stessi, occorre effettuare però una operazione di ragguglio dei dati di pioggia.

Si intende per coefficiente di ragguglio il rapporto tra l'altezza di precipitazione media su un'area A e la corrispondente altezza di precipitazione misurata nel centro di scroscio dell'evento.

La letteratura di riferimento introduce un coefficiente di riduzione (ragguglio dell'area), denominato ARF (Areal Reduction Factor), definito come:

$$ARF = \frac{h_r(\tau, A)}{h(\tau)} < 1$$

dove:

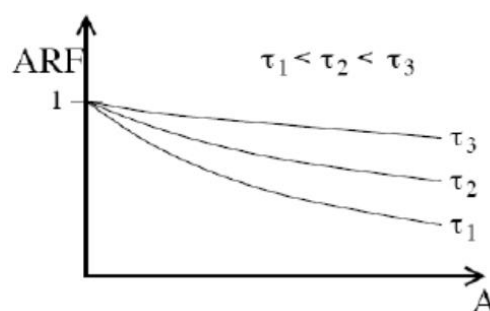
$h(\tau)$ = altezza di precipitazione (puntuale) nel centro di scroscio dedotta dalle curve di possibilità pluviometrica

$h_r(\tau, A)$ = altezza di precipitazione raggugliata su un'area A che contiene il centro di scroscio

Esso è evidentemente inversamente proporzionale alla superficie e direttamente proporzionale alla durata della pioggia.

Infatti man mano che ci si allontana dal centro di scroscio l'intensità di pioggia diminuisce; di conseguenza più vasta è l'area più piccolo è il rapporto tra il valore medio e il valore di picco.

La proporzionalità tra durata della pioggia e coefficiente di ragguglio dipende dall'osservazione che eventi intensi di breve durata generalmente investono aree piuttosto circoscritte cosicché può accadere che parte dell'area A non sia completamente interessata dall'evento; viceversa, eventi di lunga durata coinvolgono aree molto vaste e risultano distribuite nello spazio in modo più uniforme.



Il NERC di Wallington (UK) propone una semplice espressione analitica per la stima di tale parametro:

$$ARF = 1 - f_1 \tau^{-f_2}$$

$$f_1 = 0,0394 \cdot A^{0,354}$$

$$f_2 = 0,4 - 0,0208 \cdot \ln(4,6 - \ln A) \quad \text{se } A < 20 \text{ Km}^2$$

$$f_2 = 0,4 - 0,003832(4,6 - \ln A)^2 \quad \text{se } 20 \text{ Km}^2 < A < 100 \text{ Km}^2$$

2.4 Determinazione della pioggia netta

Dopo aver calcolato la pioggia cumulata che mediamente interessa l'area di studio, occorre definire l'entità del volume di pioggia che si trasforma in deflusso superficiale.

Nel caso specifico è stato adottato, per simulare le perdite di bacino, il metodo SCS - CURVE NUMBER, che è basato sulle curve di precipitazione e perdita cumulate ed in cui in funzione del tipo di suolo, del suo uso e del grado di imbibizione dello stesso, viene calcolato istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre il deflusso.

Tale metodo è molto diffuso, soprattutto grazie alla notevole mole di dati reperibili in letteratura per la sua applicazione, esso permette di calcolare l'altezza di pioggia persa fino ad un dato istante attraverso la valutazione dell'altezza di pioggia massima immagazzinabile nel suolo a saturazione (S), il cui valore viene determinato attraverso un parametro detto CN (Runoff Curve Number) il quale è funzione della natura del terreno, del tipo di copertura vegetale dello stesso e del corrispondente grado di imbibizione.

Nell'ambito dell'Accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012 è stato effettuato un 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 (MOBIDIC).

I parametri sviluppati per *MOBIDIC*, laddove possibile, sono stati convertiti in parametri utilizzabili anche per il software open source HMS e tra questi vi sono i valori Curve Number per tutto il territorio regionale, ricavati a partire dalla pedologia e dall'uso del suolo, scaricabili in formato shape file dal sito web della Regione Toscana.

Quindi per l'assegnazione del valore a tale parametro si è fatto riferimento alla specifica tabella riportata in "Macroattività B - Modellazione idrologica Attività B2: Modellazione idrologica caso pilota. Implementazione modello distribuito per la Toscana MOBIDIC. Addendum: parametrizzazione HMS" (Università di Firenze, Regione Toscana, 2014), con annesso file shp contenente i valori del parametro CN per tutta la Regione Toscana.

Il coefficiente CN medio di bacino è stato ottenuto mediante elaborazione gis del suddetto shape file.

Tale valore è relativo a condizioni medie di umidità del terreno antecedenti l'evento, definite attraverso il valore della precipitazione totale nei cinque giorni precedenti l'evento stesso (Antecedent Moisture Condition classe II).

Le classi AMC sono definite nella seguente tabella.

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12,7	< 35,5
II	12,7 – 28,0	35,5 – 53,3
III	>28,0	> 53,3

Quindi se la condizione di umidità del suolo all'inizio della pioggia appartiene ad una classe diversa dalla II, il valore del parametro CN deve essere modificato secondo le indicazioni della seguente tabella di equivalenza.

Classe AMC			Classe AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37

51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

Dai valori del parametro CN, per la determinazione della pioggia netta è stata utilizzata l'espressione:

$$P_n = \frac{(P_g - I_a)^2}{P_g - I_a + S}$$

dove:

P_n = pioggia netta in mm;

P_g = pioggia grezza in mm;

I_a = perdita iniziale in mm;

S = altezza di pioggia massima immagazzinabile nel suolo in condizioni di saturazione (capacità di ritenzione potenziale) in mm.

Il valore di S da introdurre viene determinato in funzione del parametro CN secondo l'espressione seguente:

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

La perdita iniziale I_a è quella che si manifesta prima dell'inizio dei deflussi superficiali. Nella letteratura tecnica è riconosciuta l'esistenza di una correlazione positiva fra la perdita iniziale I_a e la capacità di ritenzione potenziale S tramite la seguente espressione:

$$I_a = \beta \cdot S$$

dove β è un coefficiente adimensionale assunto nel caso specifico pari a 0,2.

Sulla base delle perdite sopra indicate in funzione del tempo si sono determinati i pluviogrammi depurati sia cumulati che istantanei.

2.5 Trasformazione afflussi-deflussi

Tra i vari modelli di formazione dei deflussi, che legano la funzione di distribuzione temporale delle piogge effettive in ingresso al sistema al corrispondente idrogramma dei deflussi, ovvero la 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. Ovvero 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:

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

dove $p(t) = S \cdot i(t)$ è la portata di afflusso meteorico al generico tempo t (S =superficie del bacino e $i(t)$ =intensità di pioggia) 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.

In generale, il calcolo delle portate tramite l'integrale di convoluzione viene operativamente eseguito mediante una procedura di discretizzazione.

La funzione $h(t)$ può essere stimata mediante numerosi approcci, tra cui il metodo cinematico o della corrivazione, il metodo dell'invaso lineare oppure facendo ricorso all'idrogramma unitario geomorfologico di Nash.

Modello cinematico o della corrivazione

Il modello cinematico o metodo della corrivazione ipotizza che:

- la formazione della piena si dovuta unicamente al trasferimento di volumi di acqua che scorrono in superficie;
- ogni singola goccia che cade sul bacino si muove lungo la linea di massima pendenza e la sua velocità non è influenzata dalla presenza di altre gocce;
- la portata totale si ottiene dalla somma dei contributi elementari che giungono allo stesso istante alla sezione di chiusura.

Qualora l'evento meteorico sintetico prescelto, opportunamente ragguagliato al bacino, sia rappresentato da uno ietogramma a intensità costante e durata pari al tempo di corrivazione, uniformemente distribuito sul bacino, la portata al colmo Q è proporzionale al prodotto fra intensità di pioggia e l'area del bacino, attraverso un coefficiente di proporzionalità, detto coefficiente di deflusso, che comprende l'effetto delle perdite.

La forma dell'idrogramma di piena dipende in maniera determinante sia dalla distribuzione spaziale e temporale della pioggia, sia dalla distribuzione delle aree comprese tra isocorrive (luogo geometrico dei punti del bacino caratterizzati dal medesimo tempo di corrivazione) successive.

Ipotizzando che la curva tempi-aree, che lega il tempo con le aree del bacino caratterizzate da un tempo di corrivazione non superiore a quello considerato, sia rettilinea, si ottiene nell'intervallo $(0, T_c)$ un IUH $h(t)$ costante, dato da:

$$h(t) = \frac{1}{T_c}$$

dove T_c è il tempo di corrivazione del bacino idrografico.

La formula discretizzata per calcolare l'idrogramma di piena sarà la seguente:

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{S}{T_c} \cdot \sum_i^m j_{m-i+1} \cdot i \cdot \Delta t$$

Per la determinazione degli idrogrammi di piena, in questo caso, è stata assunta una durata dell'evento pluviometrico uguale al tempo di corrivazione.

Modello dell'invaso lineare

Il metodo dell'invaso lineare si basa sull'ipotesi che la relazione tra volume d'acqua invasato nel bacino e portata defluente possa essere considerata lineare. Inoltre, durante l'evento di piena, tutti i rami della rete idrografica si riempiono contemporaneamente senza che il deflusso degli affluenti sia ostacolato dallo stato dell'acqua nei riceventi (funzionamento autonomo) e il grado di riempimento di ogni elemento è coincidente con quello degli altri (funzionamento sincrono).

Si può verificare facilmente che l'IUH relativo al serbatoio lineare di costante k è descritto dalla seguente relazione:

$$h(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k}$$

Nel caso dei bacini idrografici naturali, la stima di k , effettuata sulla base della capacità di invasato dei diversi elementi della rete di drenaggio, viene generalmente basata sul tempo caratteristico di risposta del bacino. Può risultare utile dal punto di vista applicativo osservare che generalmente $k=0,7 \cdot T_c$, dove T_c è il tempo di corrivazione.

La formula discretizzata per calcolare l'idrogramma di piena sarà la seguente:

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{S}{k} \cdot \sum_i^m e^{\frac{-i \cdot \Delta t}{k}} \cdot j_{m-i+1} \cdot i \cdot \Delta t$$

Per la determinazione degli idrogrammi di piena, in questo caso, è stata fatta variare la durata dell'evento pluviometrico fino ad ottenere il massimo valore della portata di piena per i vari tempi di ritorno.

L'idrogramma unitario geomorfologico di Nash

L'espressione dell'idrogramma unitario di Nash è la seguente:

$$h(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$$

La formula discretizzata per calcolare l'idrogramma di piena sarà la seguente:

$$Q(m \cdot \Delta t) = \frac{S}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \sum_i^m e^{\frac{-i \cdot \Delta t}{k}} \cdot \left(\frac{i \cdot \Delta t}{k}\right)^{n-1} j_{m-i+1} \cdot \Delta t$$

dove i simboli hanno il seguente significato:

S = superficie del bacino;

n, k = coefficienti caratteristico del bacino

m = numero dell'intervallo di calcolo

j = valore istantaneo della pioggia (mm)

$\Gamma(n)$ = funzione gamma

Assumendo $n=3$ (generalmente per i bacini italiani assume un valore pari a 2 o 3), la stima di k può avvenire con alcune formule pratiche; si può dimostrare infatti che $k=T_r/n$ dove T_r (espresso in ore) è il tempo di ritardo del bacino, stimabile con la formula derivata dallo studio di regionalizzazione delle portate di piena della Regione Toscana (1997):

$$T_r = 0,32(A)^{0,5}$$

dove A è la superficie del bacino [Km^2] e T_r è espresso in ore.

Per la determinazione degli idrogrammi di piena, in questo caso, è stata fatta variare la durata dell'evento pluviometrico fino ad ottenere il massimo valore della portata di piena per i vari tempi di ritorno.

2.6 UTOE Grilli

2.6.1 Inquadramento geografico

Il bacino idrografico che interessa l'abitato in loc. Grilli è quello relativo al Torrente Rigo di Colonna e suoi affluenti, ricadente sostanzialmente nei comuni di Gavorrano e Castiglione della Pescaia.

Per la delimitazione dei bacini idrografici è stato utilizzato il DTM idrografico 10x10 km della Regione Toscana e la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.).

Al fine di fornirne un preciso inquadramento geografico, si definiscono le coordinate del rettangolo di superficie minima che racchiude il bacino complessivo del Torrente Rigo di Colonna alla sezione di chiusura individuata poco a monte della confluenza con il Torrente Sovata.

Bacino Torrente Rigo di Colonna

SO	(1653911.2245,4744645.5000)GB	NE	(1664097.2245,4753897.5000)GB
-----------	-------------------------------	-----------	-------------------------------

Lo studio idrologico ha riguardato i seguenti bacini idrografici, ricompresi nel bacino idrografico del Torrente Rigo di Colonna, ed appartenenti al reticolo idrografico così come disposto dalla L.R. 79/2012: Fosso Val d'Arca, Fossone, Fosso Bagnaccio, Fosso dell'Acqua Nera e suo affluente in sinistra, Fosso degli Alborelli e suo affluente in destra, Controfossa sinistra del Torrente Rigo di Colonna, Torrente Rigo a monte della confluenza con il F. Val d'Arca.

2.6.2 Caratteristiche plano-altimetriche

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i principali parametri morfometrici dei bacini a partire dal modello digitale del terreno e dalle sezioni di chiusura che delimitano i bacini idrografici.

Nelle tabelle seguenti, i bacini idrografici sono stati denominati come segue:

- **Ri1:** T. Rigo di Colonna a monte della confluenza con il T. Sovata;
- **Va:** F. Val d'Arca;
- **Fo:** Fossone;
- **Ba:** F. Bagnaccio;
- **An:** F. Acqua Nera;
- **Aan:** Affluente in sinistra del F. Acqua Nera;
- **Al:** F. Alborelli;
- **Aal:** Affluente in destra del F. Alborelli;
- **Cs:** Controfossa sinistra del Torrente Rigo di Colonna;
- **Ri2:** T. Rigo di Colonna a monte della confluenza con il F. Val d'Arca.

DESCRIZIONE	U.M.	Ri1	Va	Fo	Ba	An	Aan	Al	Aal	Cs	Ri2
A - Superficie	[Kmq]	52,09	1,80	1,01	12,55	6,53	0,49	3,76	0,28	0,39	25,76
L - Lunghezza asta principale	[Km]	11,00	2,88	1,91	8,21	6,79	0,77	2,34	0,95	1,73	7,84
i _{bac} - Pendenza media bacino	[%]	23,27	32,00	8,82	37,25	20,61	17,37	21,56	16,44	10,85	30,88

i_a - Pendenza media asta principale	[%]	1,250	9,73	1,10	5,59	4,48	1,00	5,51	0,62	1,86	1,66
H_{max} - Quota massima del bacino	[m]	540,00	340,00	92,54	531,58	465,62	95,68	217,08	74,68	74,68	540,00
H_{min} - Quota minima del bacino	[m]	9,00	16,25	15,59	17,16	17,54	17,54	13,97	12,49	10,50	16,25
H_{med} - Quota media del bacino	[m]	142,76	138,85	30,23	205,84	112,26	41,96	68,93	32,53	20,72	138,01

2.6.3 Tempi di corrivazione

Sulla base delle caratteristiche plano-altimetriche elaborate e delle formule richiamate al paragrafo 2.2 sono stati calcolati per ciascun bacino i tempi di corrivazione.

DESCRIZIONE	U.M.	Ri1	Va	Fo	Ba	An	Aan	Al	Aal	Cs	Ri2
Giandotti	[ore]	4,90	1,09	2,25	2,41	2,62	1,00	1,90	0,99	1,99	3,63
Kirpich	[ore]	1,46	0,38	0,41	1,06	0,90	0,14	0,35	0,20	0,39	1,00
Viparelli	[ore]	3,06	0,80	0,53	2,28	1,89	0,21	0,65	0,26	0,48	2,18
Ventura	[ore]	8,21	0,55	1,22	1,91	1,54	0,89	1,05	0,85	0,58	5,01
Pasini	[ore]	8,02	0,60	1,28	2,14	1,81	0,78	0,95	0,88	0,69	4,92
Pezzoli	[ore]	5,41	0,51	1,00	1,91	1,76	0,42	0,55	0,66	0,70	3,35
Puglisi	[ore]	3,66	1,77	2,17	3,05	2,81	1,18	1,80	1,46	2,16	2,94
Valore medio	[ore]	4,96	0,81	1,27	2,11	1,90	0,66	1,04	0,76	1,00	3,29
Valore scelto	[ore]	5,00	0,75	1,25	2,00	2,00	0,50	1,00	0,75	1,00	3,00

2.6.4 Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali dei parametri "a" e "n" per ciascun bacino idrografico, elaborando i files formato raster di cui al paragrafo 2.1.

DESCRIZIONE	U.M.	Ri1	Va	Fo	Ba	An	Aan	Al	Aal	Cs	Ri2
"a" Tr30 anni	[mm]	62,42	61,62	62,11	62,63	62,78	62,42	62,12	61,98	62,55	62,33
"n" Tr30 anni	[]	0,314	0,310	0,317	0,312	0,315	0,314	0,317	0,316	0,310	0,314
"a" Tr200 anni	[mm]	86,84	85,71	86,46	87,14	87,31	86,79	86,58	86,22	86,86	86,67
"n" Tr200 anni	[]	0,378	0,373	0,380	0,376	0,378	0,378	0,381	0,379	0,376	0,378

Sulla base dei valori sopra esposti, vista la modesta variabilità degli stessi tra un bacino e l'altro, sono stati assunti quali valori omogenei, i valori di "a" e "n" calcolati sul bacino complessivo del Torrente Rigo di Colonna alla sezione di chiusura individuata poco a monte della confluenza con il Torrente Sovata (Ri1).

2.6.5 Valori del Curve Number

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali del parametro CN_II (relativo alla classe II di umidità AMC) elaborando il file in formato shape di cui al paragrafo 2.4.

Nella tabella seguente, oltre al valore del CN_II, è stato riportato il valore del CN_III utilizzato, per maggiore cautela, nelle successive elaborazioni idrologiche.

DESCRIZIONE	U.M.	Ri1	Va	Fo	Ba	An	Aan	Al	Aal	Cs	Ri2
CN_II	[]	68	64	84	69	78	82	81	83	84	63
CN_III	[]	83	80	92	84	89	91	91	92	92	80

2.6.6 Portate di massima piena

Applicando i modelli di trasformazione afflussi-deflussi richiamati al paragrafo 2.5 sono state calcolate le portate massime e gli idrogrammi di piena per i vari tempi di ritorno e per varie durate degli eventi di pioggia. Gli idrogrammi di piena sono stati elaborati facendo ricorso ad un foglio di calcolo. Di seguito si riportano i massimi valori delle portate calcolati con i vari metodi indicando la durata dell'evento che massimizza tali valori.

Torrente Rigo di Colonna a monte della confluenza con il T. Sovata (Ri1)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	5	76,28	107,88	172,17	207,99	259,18	311,93	381,90
	Corrivazione	5	57,84	84,29	140,30	172,10	218,02	266,09	330,83
	Invaso lineare	6	55,81	78,63	126,18	152,76	190,55	229,52	281,00
	Valore massimo		76,28	107,88	172,17	207,99	259,18	311,93	381,90
	Valore medio		63,31	90,27	146,22	177,62	222,58	269,18	331,24

Fosso Val d'Arca (Va)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1	5,63	8,58	13,71	16,30	20,03	23,99	29,69
	Corrivazione	0,75	3,89	6,30	10,54	12,72	15,94	19,46	24,76
	Invaso lineare	1,5	3,81	5,64	8,95	10,67	13,12	15,70	19,32
	Valore massimo		5,63	8,58	13,71	16,30	20,03	23,99	29,69
	Valore medio		4,44	6,84	11,07	13,23	16,36	19,72	24,59

Fossone (Fo)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1	7,62	9,81	13,25	14,88	17,16	19,51	22,81
	Corrivazione	1,25	5,11	6,83	9,71	11,14	13,17	15,27	18,23
	Invaso lineare	1,25	3,96	5,19	7,23	8,23	9,63	11,08	13,11
	Valore massimo		7,62	9,81	13,25	14,88	17,16	19,51	22,81
	Valore medio		5,56	7,28	10,06	11,42	13,32	15,29	18,05

Fosso Bagnaccio (Ba)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	2	28,96	41,54	64,78	76,96	94,30	112,34	137,23
	Corrivazione	2	24,47	35,96	57,89	69,65	86,62	104,55	129,65
	Invaso lineare	3	23,20	32,54	50,43	59,98	73,50	87,46	106,34
	Valore massimo		28,96	41,54	64,78	76,96	94,30	112,34	137,23
	Valore medio		25,54	36,68	57,70	68,86	84,81	101,45	124,41

Fosso Acqua Nera (An)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	2	25,52	34,27	49,69	57,54	68,53	79,80	95,16
	Corrivazione	2	19,19	26,48	39,78	46,72	56,57	66,84	81,02
	Invaso lineare	2	16,26	21,97	32,18	37,43	44,80	52,42	62,85
	Valore massimo		25,52	34,27	49,69	57,54	68,53	79,80	95,16
	Valore medio		20,32	27,57	40,55	47,23	56,63	66,35	79,68

Affluente in sinistra del F. Acqua Nera (Aan)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0,5	4,05	5,37	7,26	8,11	9,31	10,57	12,43
	Corrivazione	0,5	3,85	5,27	7,37	8,34	9,73	11,21	13,42
	Invaso lineare	0,75	2,40	3,18	4,38	4,94	5,74	6,57	7,76
	Valore massimo		4,05	5,37	7,37	8,34	9,73	11,21	13,42
	Valore medio		3,43	4,61	6,34	7,13	8,26	9,45	11,20

Fosso Alborelli (AI)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1	20,04	26,91	38,04	43,43	51,04	58,96	70,17
	Corrivazione	1	18,93	25,76	36,99	42,50	50,33	58,54	70,25
	Invaso lineare	1	14,43	19,26	27,05	30,82	36,13	41,66	49,48
	Valore massimo		20,04	26,91	38,04	43,43	51,04	58,96	70,25
	Valore medio		17,80	23,98	34,02	38,92	45,83	53,05	63,30

Affluente in destra del F. Alborelli (Aal)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0,5	1,88	2,45	3,25	3,61	4,12	4,65	5,42
	Corrivazione	0,75	1,95	2,62	3,66	4,16	4,86	5,60	6,67
	Invaso lineare	0,75	1,37	1,80	2,47	2,78	3,22	3,69	4,35
	Valore massimo		1,95	2,62	3,66	4,16	4,86	5,60	6,67
	Valore medio		1,73	2,29	3,13	3,52	4,07	4,64	5,48

Controfossa sinistra del Torrente Rigo di Colonna (Cs)

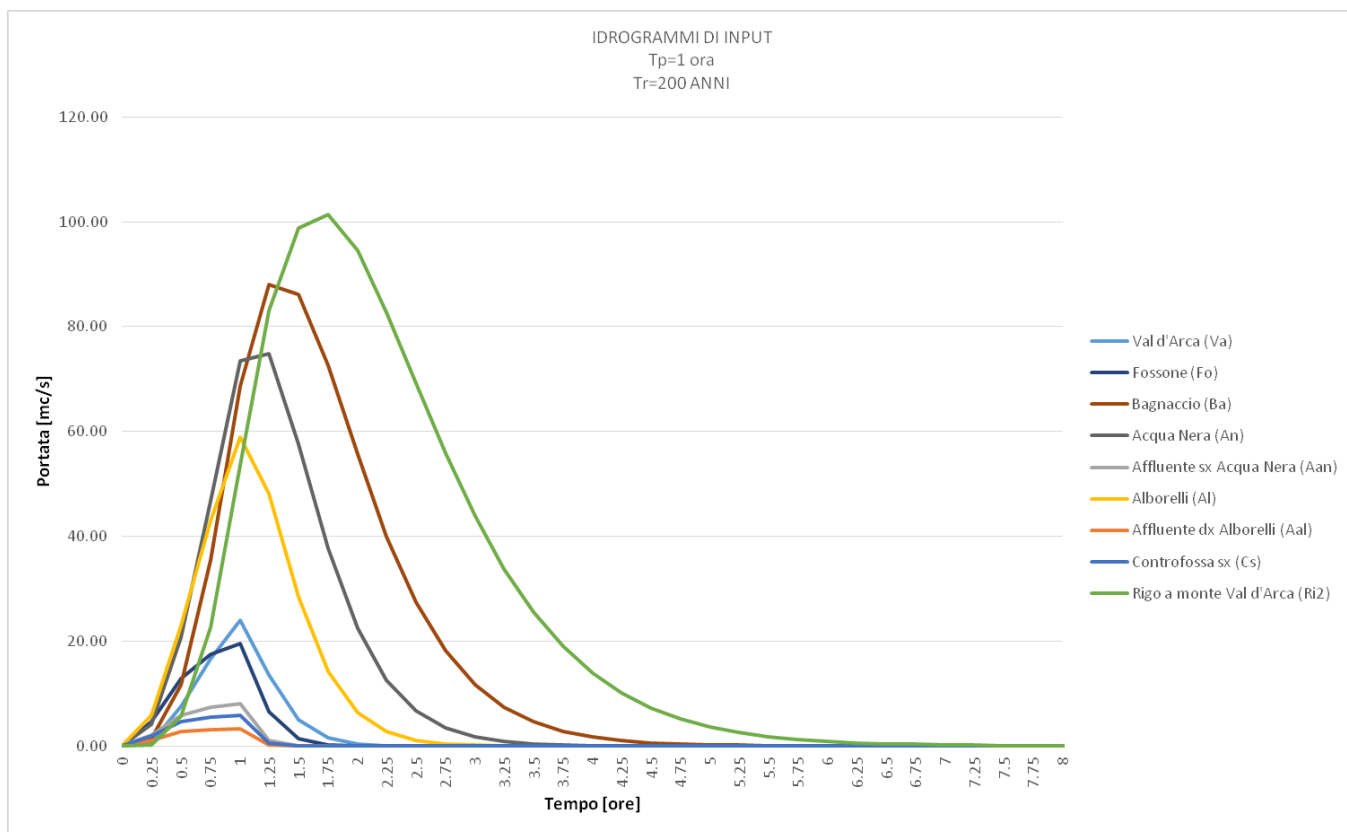
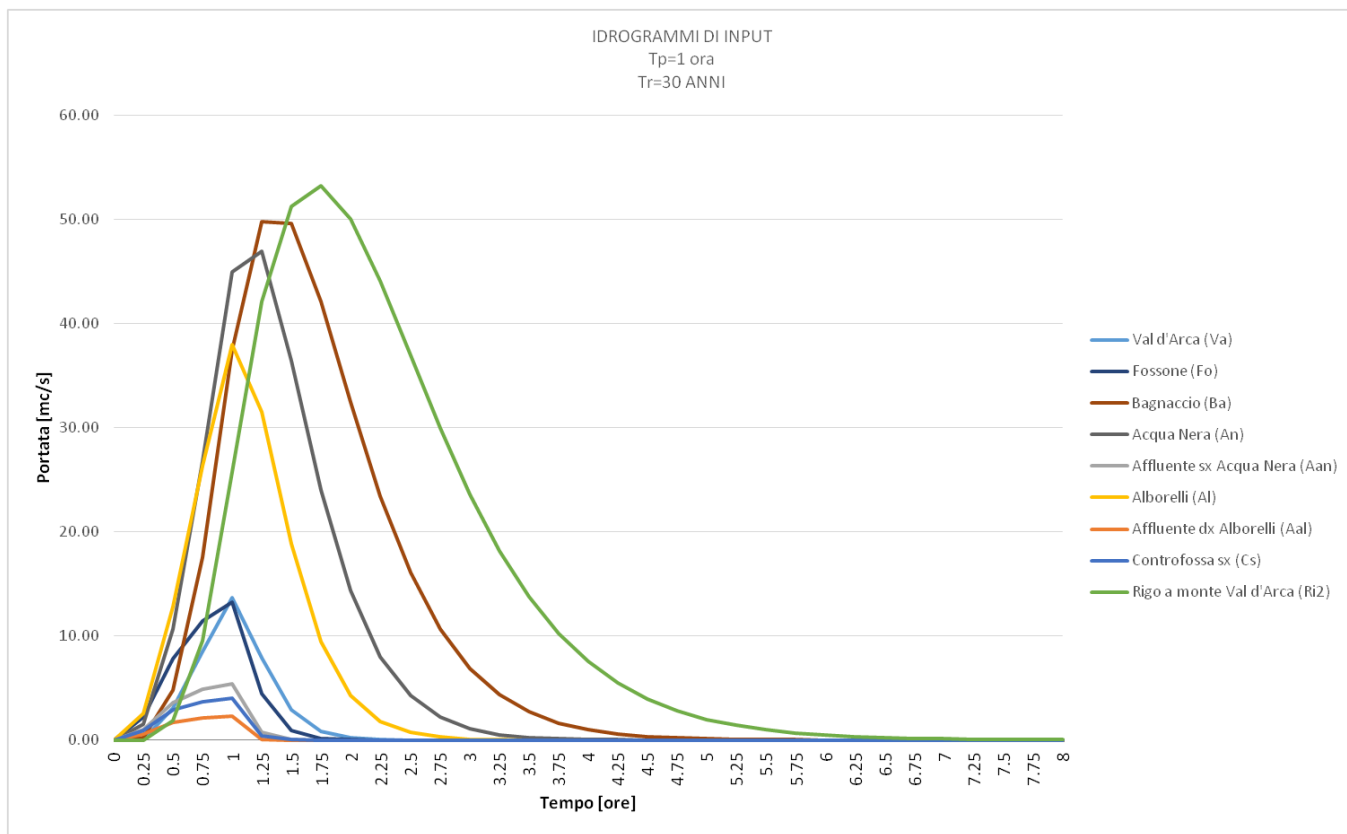
letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1	2,36	3,01	4,02	4,50	5,17	5,86	6,82
	Corrivazione	1	2,29	3,07	4,33	4,94	5,81	6,72	8,01
	Invaso lineare	1	1,71	2,25	3,11	3,52	4,10	4,71	5,56
	Valore massimo		2,36	3,07	4,33	4,94	5,81	6,72	8,01
	Valore medio		2,12	2,77	3,82	4,32	5,03	5,76	6,80

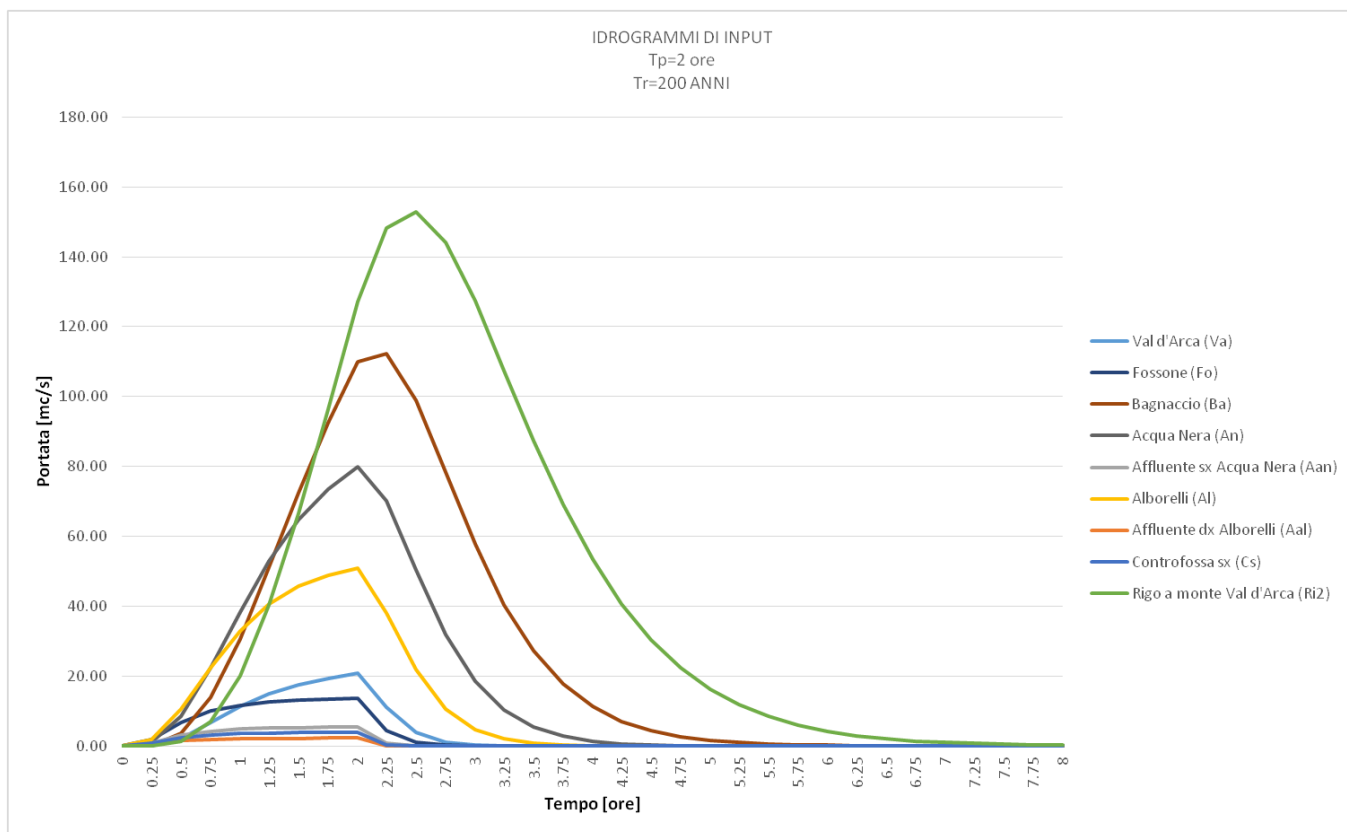
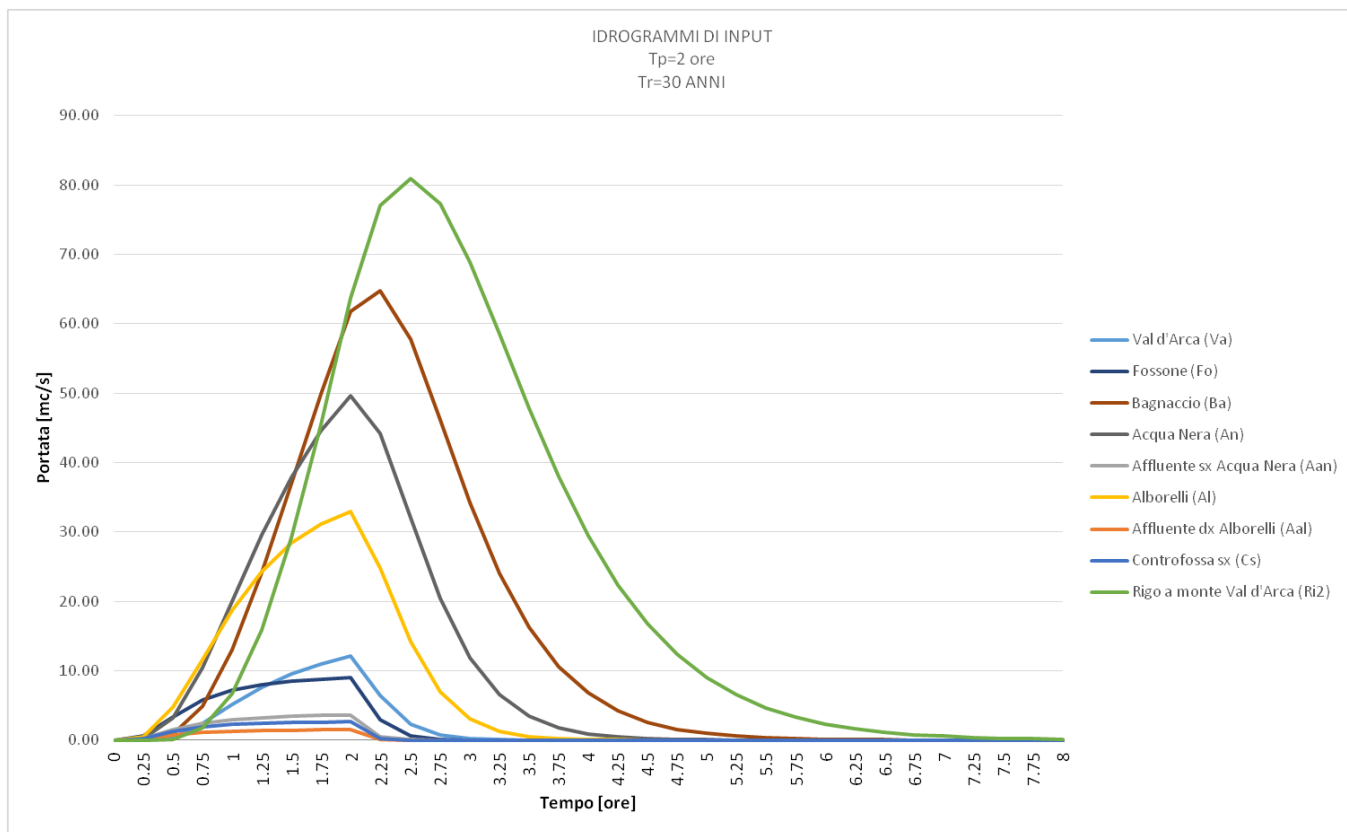
Torrente Rigo di Colonna a monte della confluenza con il F. Val d'Arca (Ri2)

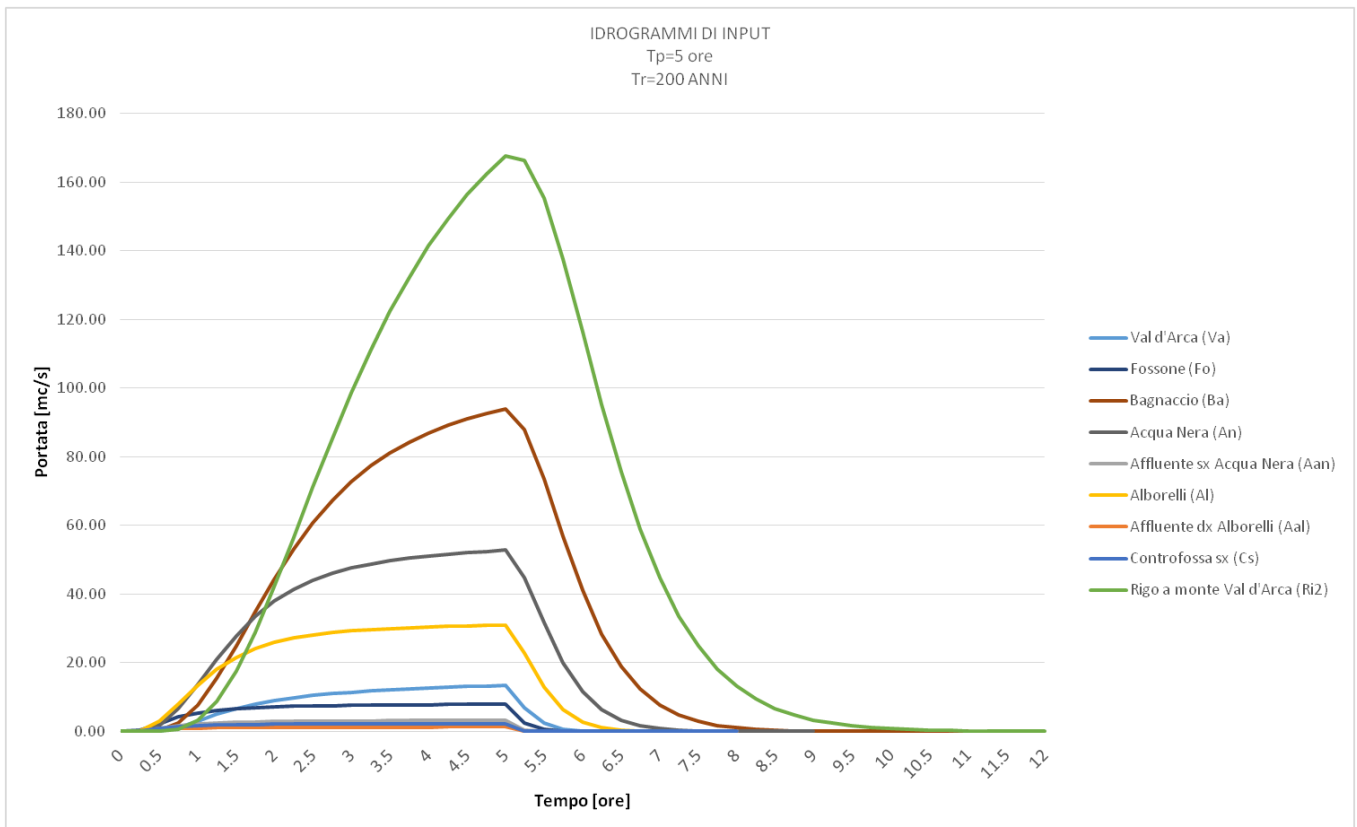
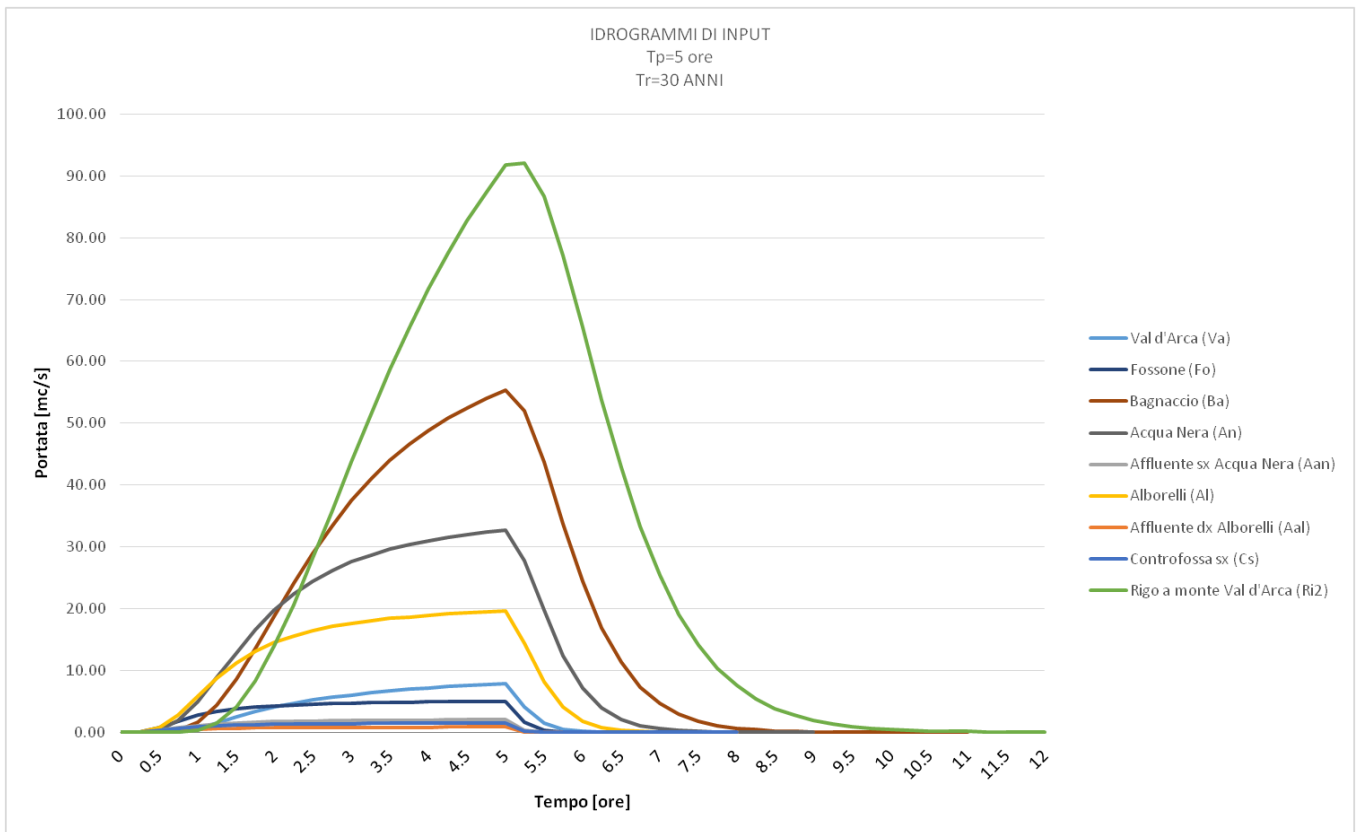
letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	4	39,80	58,06	94,96	115,24	144,12	173,99	214,01
	Corrivazione	3	29,87	45,79	78,72	97,24	124,29	153,04	192,92
	Invaso lineare	4	30,61	44,74	73,56	89,52	112,37	136,13	168,13
	Valore massimo		39,80	58,06	94,96	115,24	144,12	173,99	214,01
	Valore medio		33,42	49,53	82,41	100,67	126,93	154,39	191,68

2.6.7 Idrogrammi di piena

Considerati i massimi di piena sopra calcolati, si è ritenuto il metodo di Nash quale metodo più cautelativo per la definizione degli idrogrammi di piena da utilizzarsi nelle successive modellazioni idrauliche. In ragione dei diversi tempi di corrivazione dei bacini idrografici sono stati scelti tre eventi di pioggia di durata 1 ora, 2 ore e 5 ore. I conseguenti idrogrammi di piena (con metodo di Nash) sono stati utilizzati come input nel modello idraulico. Per il Fosso degli Alborelli, l'idrogramma di input è stato corretto e calcolato come differenza tra l'idrogramma di piena del bacino complessivo (denominato AI) e l'idrogramma di piena dell'affluente in destra (denominato Aal).

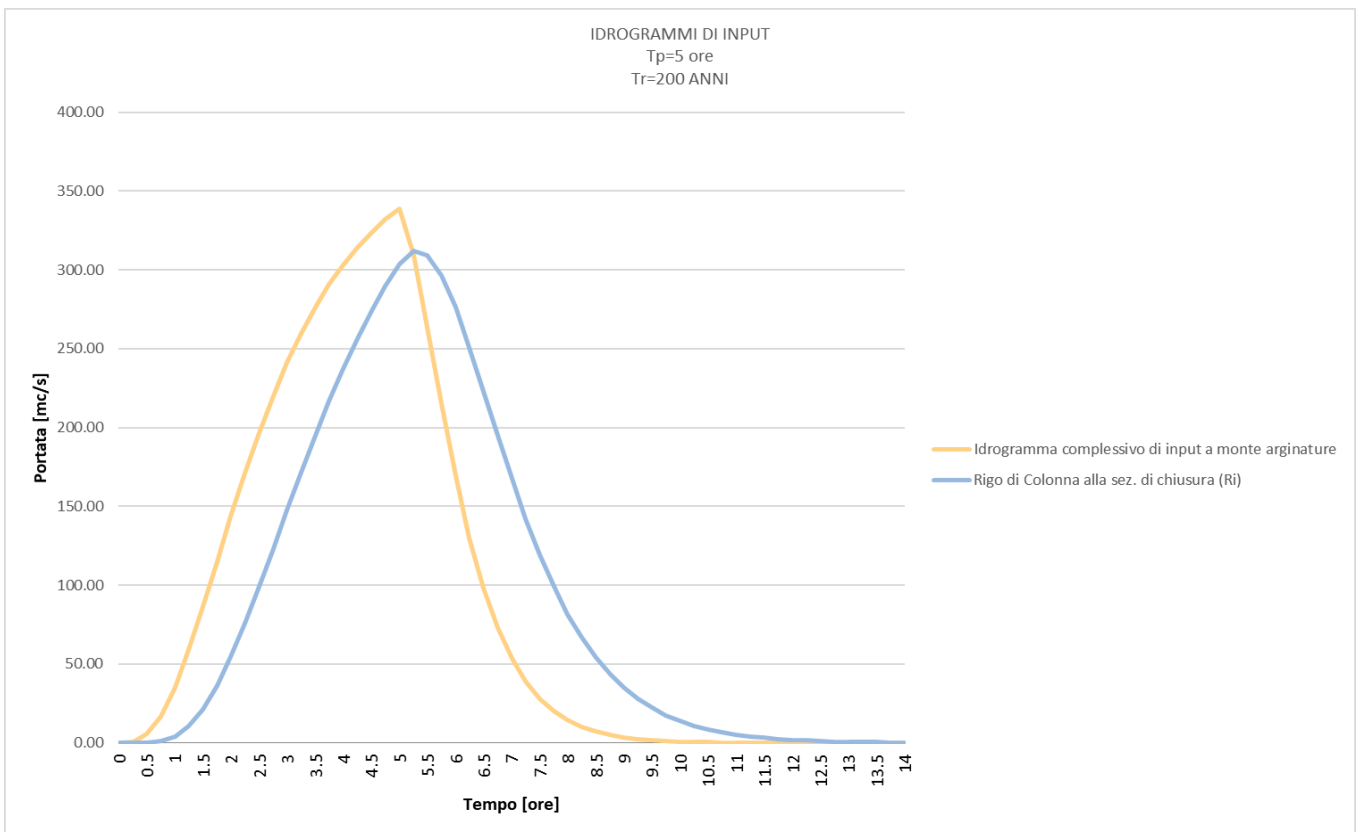
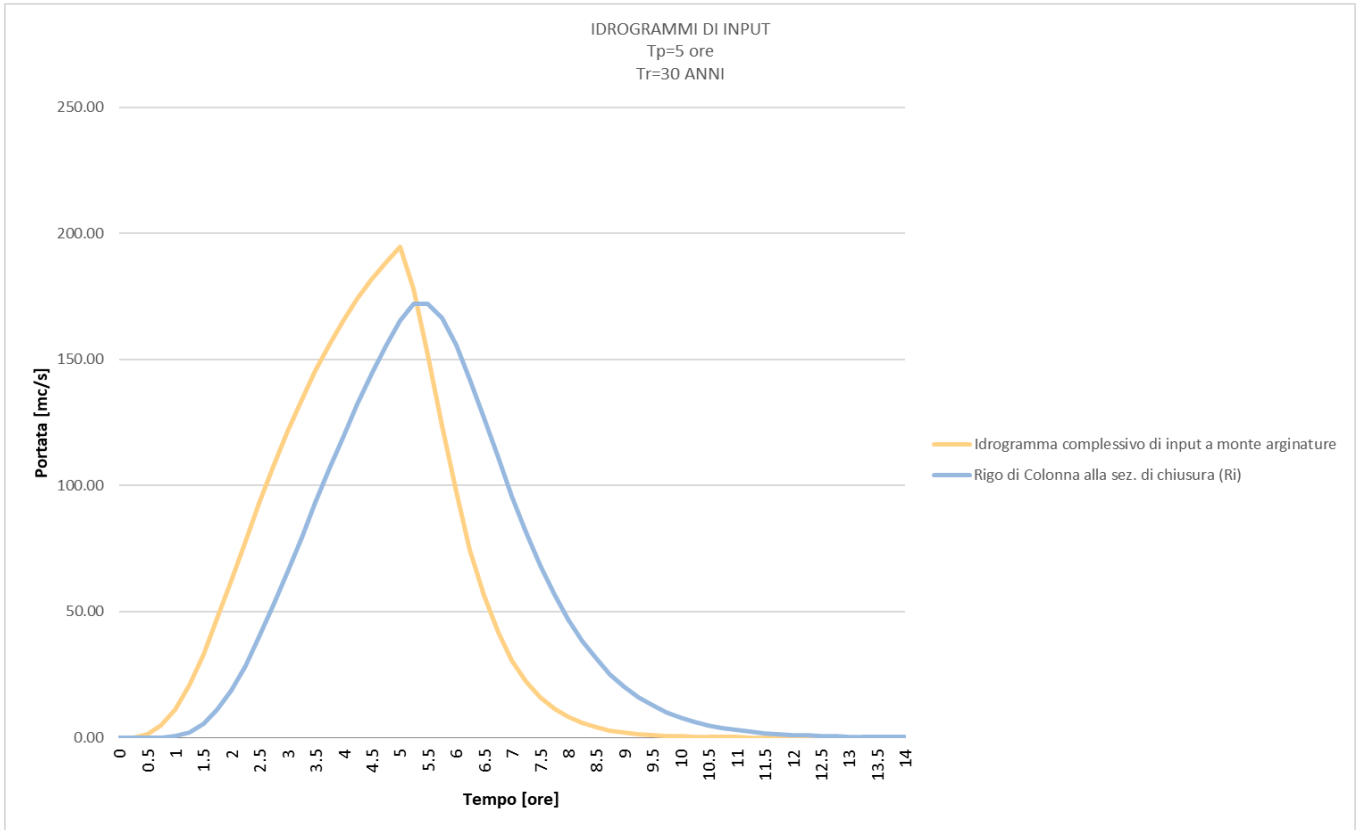






Si riportano di seguito i confronti tra l'igrogramma complessivo di input a monte delle arginature (ottenuto sommando i singoli idrogrammi di input) e l'idrogramma di piena idrologico calcolato alla sezione di chiusura del Torrente Rigo di Colonna per Tr30 e 200 anni e tempo di pioggia di 5 ore, al fine di evidenziare che le portate di input sono cautelativamente maggiori di quelle idrologiche stante anche il fatto che l'idrogramma idrologico tiene

conto degli apporti del Fosso degli Alborelli ubicato a valle dell'abitato di Grilli. Si evidenzia che la massima portata dell'idrogramma complessivo è pari a 339,08 m³/s contro i 311,93 m³/s della portata idrologica.



In conclusione si riporta anche il confronto della portata di massima piena del Torrente Rigo di Colonna calcolata nel precedente studio effettuato a supporto della valutazione del rischio idraulico nell'abitato di Grilli quale parte integrante delle indagini geologiche di supporto al vigente regolamento urbanistico del Comune di Gavorrano.

Portate (m ³ /s)			
Tempo di ritorno	Presente studio	Precedente studio	Differenza
200 anni	311,93	327,10	-4,6%

La differenza, peraltro minima, è giustificabile in un diverso valore del CNIII (pari ad 88 nel precedente studio) ed a differenti altezze di pioggia (h) derivanti da diversi valori dei parametri "a" e "n" delle LSPP (ad esempio, per tempo di pioggia di 6h e Tr200 anni, h=181,7 mm nel precedente studio e h=170,9 mm nel presente studio).

2.7 UTOE Basse di Caldana

2.7.1 Inquadramento geografico

I bacini idrografici studiati che interessano l'UTOE Basse di Caldana sono quelli del Fosso dell'Acqua Nera e dei suoi affluenti, ricadenti interamente nel comune di Gavorrano.

Per la delimitazione dei bacini idrografici è stato utilizzato il DTM idrografico 10x10 km della Regione Toscana e la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.).

Al fine di fornirne un preciso inquadramento geografico, si definiscono le coordinate del rettangolo di superficie minima che racchiude il bacino del Fosso dell'Acqua Nera alla sezione di chiusura individuata a valle della S.P. 82 "Gavorrinese".

Bacino del Fosso dell'Acqua Nera

SO	(1655353.2250,4751260.5000)GB	NE	(1660731.2250,4753897.5000)GB
-----------	-------------------------------	-----------	-------------------------------

Lo studio idrologico ha riguardato i seguenti bacini idrografici degli affluenti del Fosso dell'Acqua Nera ed appartenenti al reticolo idrografico così come disposto dalla L.R. 79/2012: Fosso Bizzughello (affluente in destra del Fosso dell'Acqua Nera), Fosso dell'Incoronata (affluente in sinistra del Fosso dell'Acqua Nera) e Fosso di Nonno (affluente in sinistra del Fosso dell'Acqua Nera).

2.7.2 Caratteristiche plano-altimetriche

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i principali parametri morfometrici dei bacini a partire dal modello digitale del terreno e dalle sezioni di chiusura che delimitano i bacini idrografici.

Nelle tabelle seguenti, i bacini idrografici sono stati denominati come segue:

- **An2:** F. dell'Acqua Nera a valle della S.P. 82 "Gavorrinese"
- **Bi:** F. Bizzughello;
- **In:** F. dell'Incoronata;
- **No:** F. di Nonno.

DESCRIZIONE	U.M.	An2	Bi	In	No
A - Superficie	[Km ²]	5,58	2,94	0,35	0,29
L - Lunghezza asta principale	[Km]	1,58	4,64	0,67	1,10
i _{bac} - Pendenza media bacino	[%]	21,71	30,24	23,67	21,64
i _a - Pendenza media asta principale	[%]	1,14	6,19	6,84	9,84
H _{max} - Quota massima del bacino	[m]	465,62	465,62	203,72	197,89
H _{min} - Quota minima del bacino	[m]	29,98	34,19	38,66	37,13
H _{med} - Quota media del bacino	[m]	124,21	175,25	103,71	97,22

2.7.3 Tempi di corrivazione

Sulla base delle caratteristiche plano-altimetriche elaborate e delle formule richiamate al paragrafo 2.2 sono stati calcolati per ciascun bacino i tempi di corrivazione.

DESCRIZIONE	U.M.	An2	Bi	In	No
Giandotti	[ore]	1,52	1,45	0,52	0,61
Kirpich	[ore]	0,17	0,59	0,09	0,16
Viparelli	[ore]	0,44	1,29	0,19	0,30
Ventura	[ore]	2,82	0,88	0,29	0,22
Pasini	[ore]	2,09	1,04	0,25	0,24
Pezzoli	[ore]	0,81	1,03	0,14	0,19
Puglisi	[ore]	1,07	2,21	0,84	1,17
Valore medio	[ore]	1,27	1,21	0,33	0,41
Valore scelto	[ore]	1,25	1,25	0,33	0,40

2.7.4 Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali dei parametri “a” e “n” per ciascun bacino idrografico, elaborando i files formato raster di cui al paragrafo 2.1.

DESCRIZIONE	U.M.	An2	Bi	In	No
“a” Tr30 anni	[mm]	62,82	62,77	63,01	63,01
“n” Tr30 anni	[]	0,315	0,315	0,314	0,314
“a” Tr200 anni	[mm]	87,38	87,27	87,65	87,65
“n” Tr200 anni	[]	0,379	0,379	0,378	0,378

2.7.5 Valori del Curve Number

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali del parametro CN_II (relativo alla classe II di umidità AMC) elaborando il file in formato shape di cui al paragrafo 2.4.

Nella tabella seguente, oltre al valore del CN_II, è stato riportato il valore del CN_III utilizzato, per maggiore cautela, nelle successive elaborazioni idrologiche.

DESCRIZIONE	U.M.	An2	Bi	In	No
CN_II	[]	77	71	81	83
CN_III	[]	89	85	91	92

2.7.6 Portate di massima piena

Applicando i modelli di trasformazione afflussi-deflussi richiamati al paragrafo 2.5 sono state calcolate le portate massime e gli idrogrammi di piena per i vari tempi di ritorno e per varie durate degli eventi di pioggia. Gli idrogrammi di piena sono stati elaborati facendo ricorso ad un foglio di calcolo. Di seguito si riportano i massimi valori delle portate calcolati con i vari metodi indicando la durata dell'evento che massimizza tali valori.

Fosso Acqua Nera (An2)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1.5	23.13	31.19	44.98	52.09	62.17	72.58	87.12
	Corrivazione	1.25	18.51	25.97	38.92	45.49	54.86	64.70	78.74
	Invaso lineare	1.5	18.22	24.63	35.66	41.20	49.00	57.05	68.30
	Valore massimo		23.13	31.19	44.98	52.09	62.17	72.58	87.12
	Valore medio		19.96	27.26	39.86	46.26	55.34	64.78	78.05

Fosso Bizzughello (Bi)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1.5	11.52	16.15	24.22	28.28	34.04	40.00	48.29
	Corrivazione	1.25	7.19	10.64	16.85	20.05	24.69	29.63	36.74
	Invaso lineare	1.5	7.65	10.80	16.37	19.19	23.23	27.43	33.32
	Valore massimo		11.52	16.15	24.22	28.28	34.04	40.00	48.29
	Valore medio		8.79	12.53	19.15	22.51	27.32	32.35	39.45

Fosso dell'Incoronata (In)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0.5	3.58	4.72	6.33	7.05	8.07	9.14	10.70
	Corrivazione	0.33	0.77	1.21	1.87	2.17	2.62	3.12	3.91
	Invaso lineare	0.5	2.18	2.91	3.95	4.42	5.09	5.80	6.84
	Valore massimo		3.58	4.72	6.33	7.05	8.07	9.14	10.70
	Valore medio		2.18	2.95	4.05	4.55	5.26	6.02	7.15

Fosso di Nonno (No)

letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0.5	3.16	4.10	5.42	6.01	6.85	7.71	8.98
	Corrivazione	0.5	2.93	3.85	5.17	5.76	6.59	7.46	8.74
	Invaso lineare	0.5	1.93	2.55	3.44	3.84	4.41	5.01	5.88
	Valore massimo		3.16	4.10	5.42	6.01	6.85	7.71	8.98
	Valore medio		2.67	3.50	4.68	5.20	5.95	6.73	7.87

2.7.7 Idrogrammi di piena

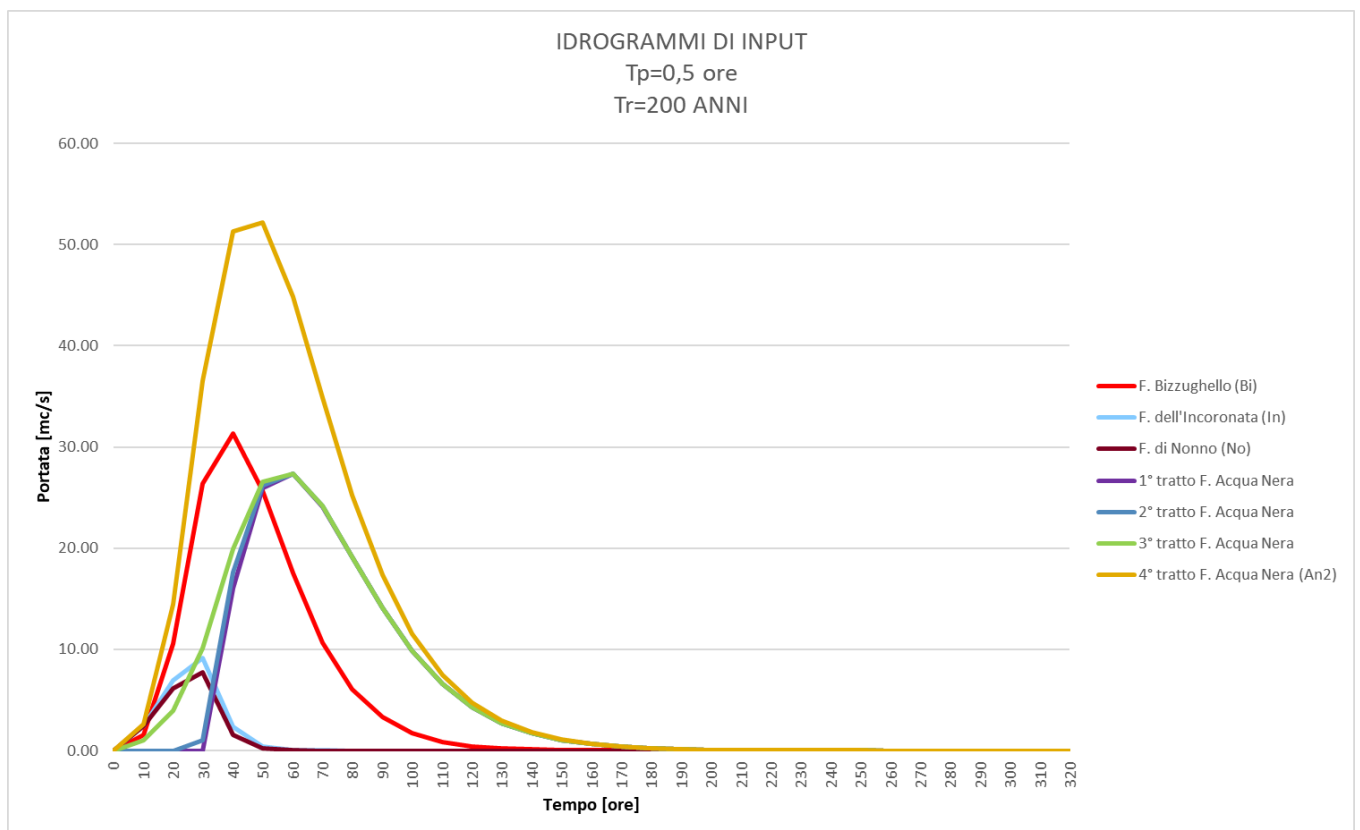
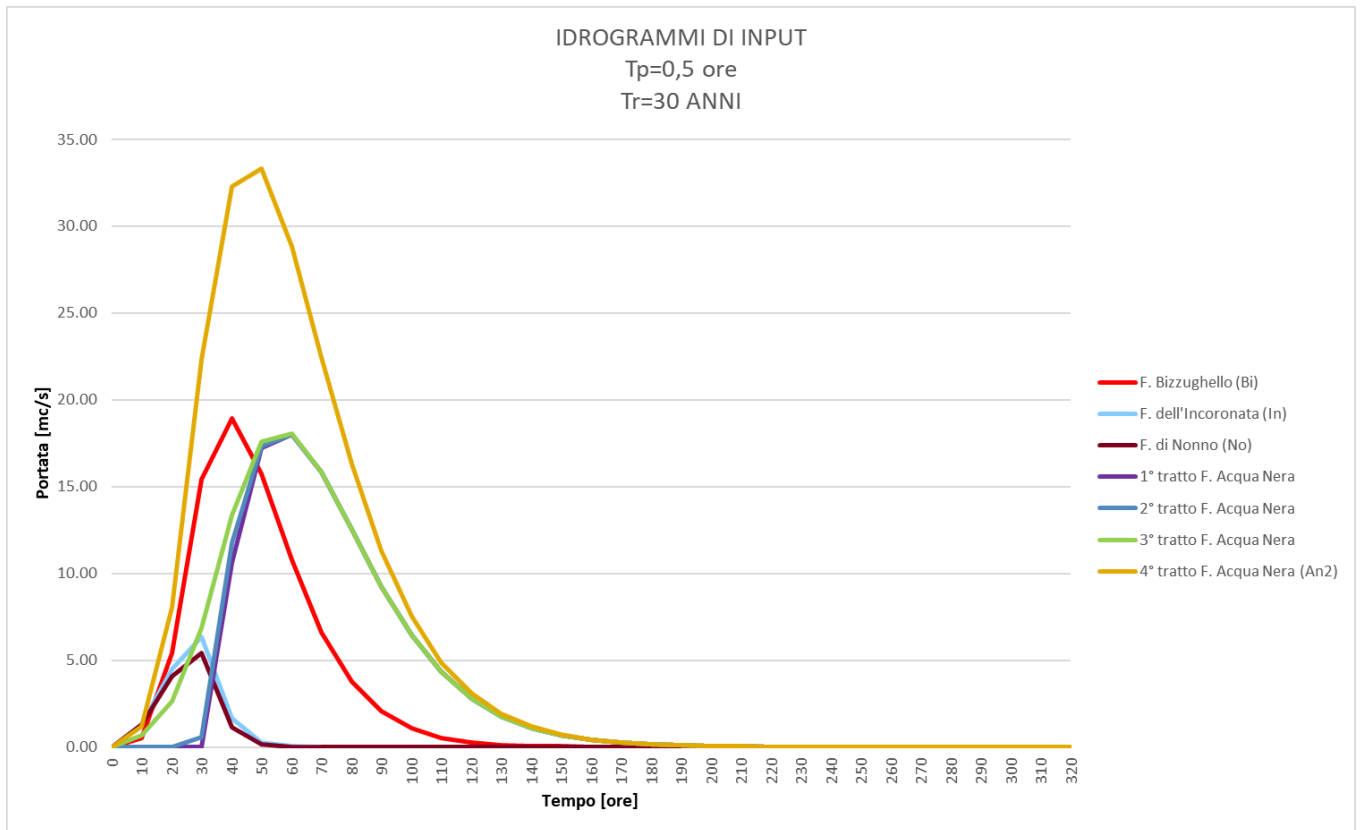
In ragione dei diversi tempi di corrivazione dei bacini idrografici sono stati scelti due eventi di pioggia di durata 0,5 ore e 1,5 ore. I conseguenti idrogrammi di piena (con metodo di Nash) sono stati utilizzati come input nel modello idraulico. Il F. dell'Acqua Nera (An2) è stato suddiviso in quattro tratti procedendo da monte verso valle:

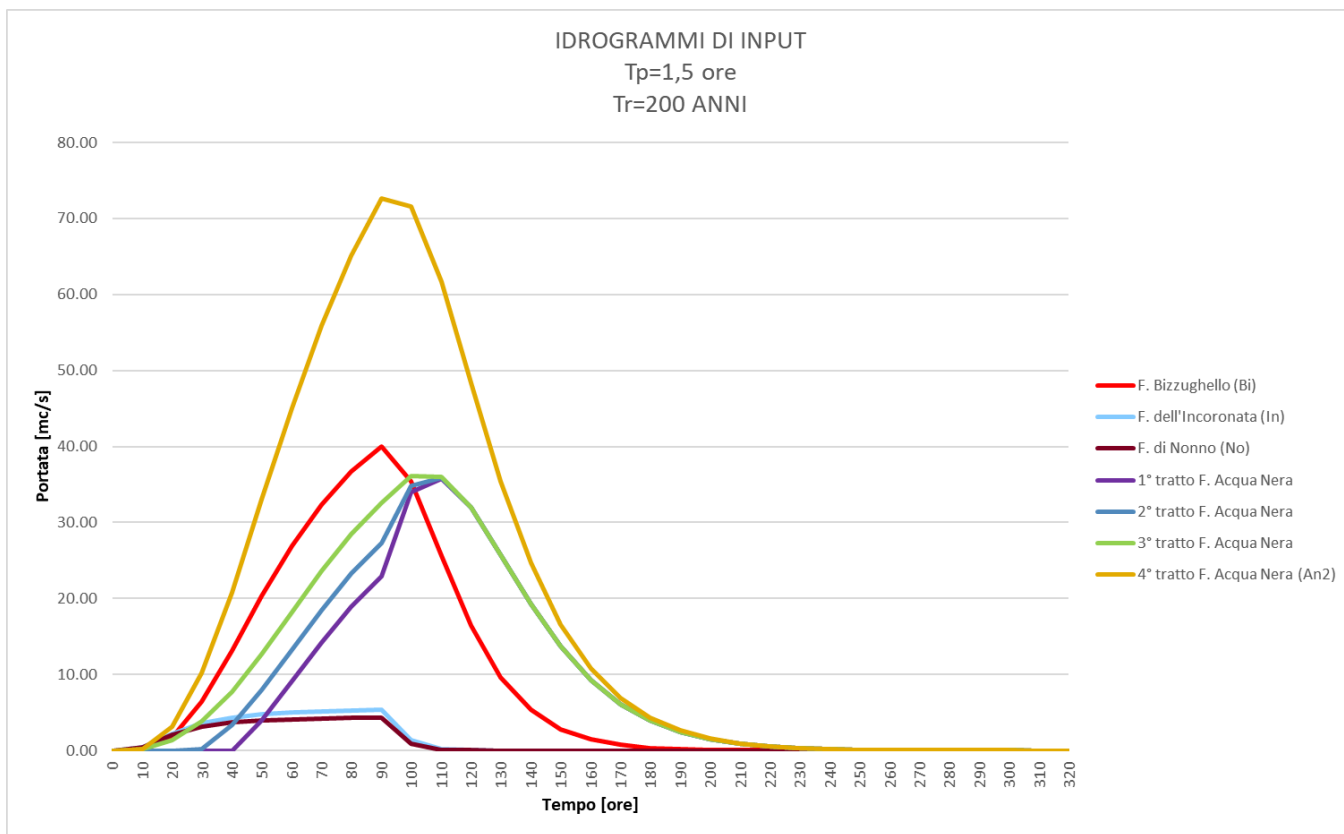
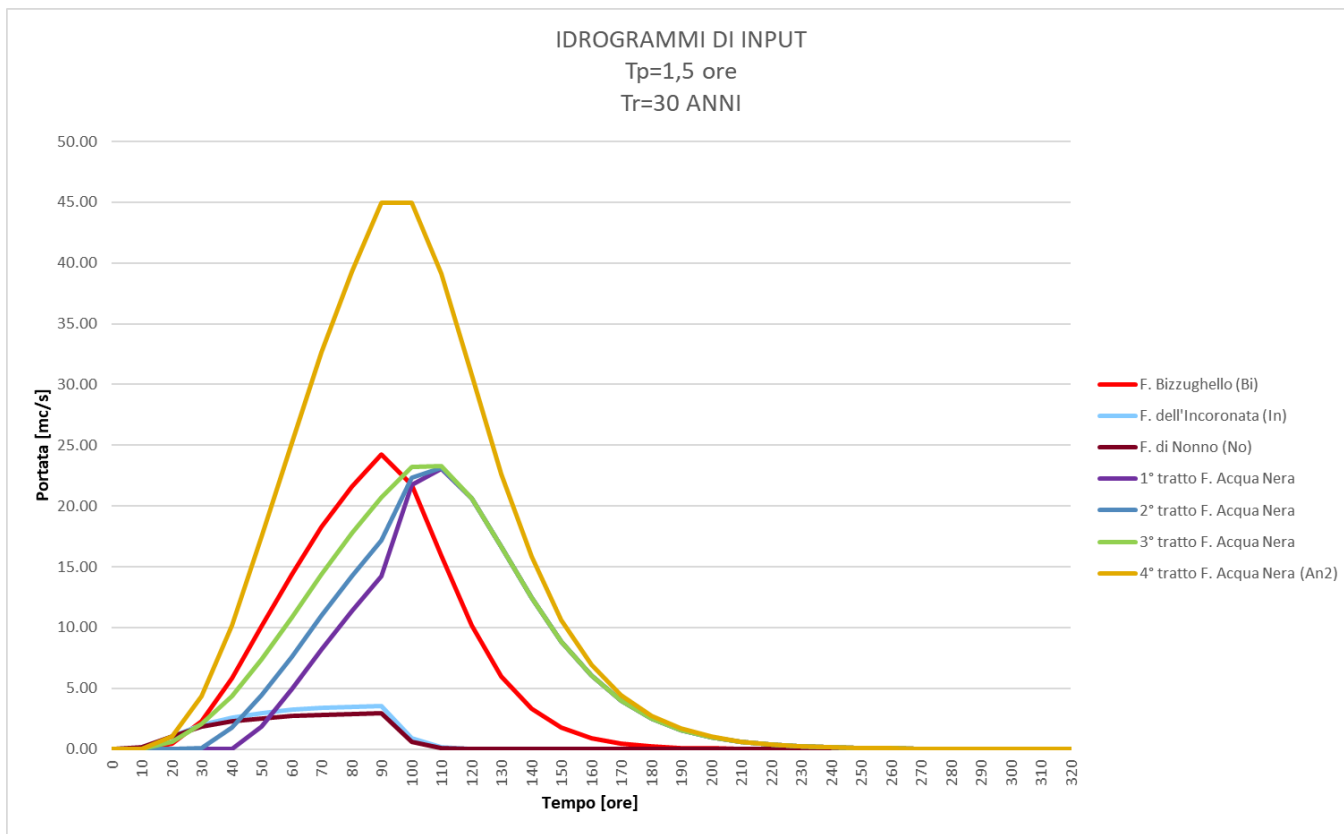
- 1° tratto a monte della confluenza con il F. di Nonno (No);
- 2° tratto compreso tra la confluenza con il F. di Nonno (No) e la confluenza con il F. dell'Incoronata (In);
- 3° tratto compreso tra la confluenza con il F. dell'Incoronata (In) e la confluenza con il F. Bizzughello (Bi);
- 4° tratto compreso tra la confluenza con il F. Bizzughello (Bi) e la sezione di chiusura.

In maniera cautelativa le portate nei vari tratti sono state così calcolate:

- 4° tratto – portata calcolata alla sezione di chiusura del F. dell'Acqua Nera (An2);
- 3° tratto - portata calcolata nel 4° tratto meno la portata del F. Bizzughello (Bi);

- 2° tratto – portata calcolata nel 3° tratto meno la portata del F. dell'Incoronata (In);
- 1° tratto – portata calcolata nel 2° tratto meno la portata del F. di Nonno (No).





2.8 UTOE I Forni

2.8.1 Inquadramento geografico

I bacini idrografici studiati che interessano l'UTOE I Forni sono quelli del Fosso Rigiolato e del Fosso delle Botrelle, ricadenti interamente nel comune di Gavorrano.

Per la delimitazione dei bacini idrografici è stato utilizzato il DTM idrografico 10x10 km della Regione Toscana e la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.).

Al fine di fornirne un preciso inquadramento geografico, si definiscono le coordinate del rettangolo di superficie minima che racchiude i due bacini sopraindicati alle sezioni di chiusura individuate immediatamente a monte della loro confluenza:

Bacini del Fosso Rigiolato e del Fosso delle Botrelle

SO	(1653108.3300,4754290.0306)GB	NE	(1658082.5117,4759675.3632)GB
-----------	-------------------------------	-----------	-------------------------------

2.8.2 Caratteristiche plano-altimetriche

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i principali parametri morfometrici dei bacini a partire dal modello digitale del terreno e dalle sezioni di chiusura che delimitano i bacini idrografici.

Nelle tabelle seguenti, i bacini idrografici sono stati denominati come segue:

- **Rg**: F. Rigiolato;
- **Bo**: F. delle Botrelle.

DESCRIZIONE	U.M.	Rg	Bo
A - Superficie	[Kmq]	13,54	2,44
L - Lunghezza asta principale	[Km]	4,99	3,55
i_{bac} - Pendenza media bacino	[%]	21,11	20,70
i_a - Pendenza media asta principale	[%]	0,98	5,50
H_{max} - Quota massima del bacino	[m]	370,00	272,04
H_{min} - Quota minima del bacino	[m]	26,65	26,65
H_{med} - Quota media del bacino	[m]	100,67	127,58

2.8.3 Tempi di corrivazione

Sulla base delle caratteristiche plano-altimetriche elaborate e delle formule richiamate al paragrafo 2.2 sono stati calcolati per ciascun bacino i tempi di corrivazione.

DESCRIZIONE	U.M.	Rg	Bo
Giandotti	[ore]	3,23	1,44
Kirpich	[ore]	0,69	0,53
Viparelli	[ore]	1,39	0,99
Ventura	[ore]	4,73	0,85
Pasini	[ore]	4,44	0,95

Pezzoli	[ore]	2,77	0,83
Puglisi	[ore]	2,50	2,23
Valore medio	[ore]	2,82	1,12
Valore scelto	[ore]	3,00	1,00

2.8.4 Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali dei parametri "a" e "n" per ciascun bacino idrografico, elaborando i files formato raster di cui al paragrafo 2.1.

DESCRIZIONE	U.M.	Rg	Bo
"a" Tr30 anni	[mm]	63,48	63,33
"n" Tr30 anni	[]	0,305	0,299
"a" Tr200 anni	[mm]	88,30	88,08
"n" Tr200 anni	[]	0,369	0,362

2.8.5 Valori del Curve Number

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali del parametro CN_II (relativo alla classe II di umidità AMC) elaborando il file in formato shape di cui al paragrafo 2.4.

Nella tabella seguente, oltre al valore del CN_II, è stato riportato il valore del CN_III utilizzato, per maggiore cautela, nelle successive elaborazioni idrologiche.

DESCRIZIONE	U.M.	Rg	Bo
CN_II	[]	76	81
CN_III	[]	88	91

2.8.6 Portate di massima piena

Applicando i modelli di trasformazione afflussi-deflussi richiamati al paragrafo 2.5 sono state calcolate le portate massime e gli idrogrammi di piena per i vari tempi di ritorno e per varie durate degli eventi di pioggia. Gli idrogrammi di piena sono stati elaborati facendo ricorso ad un foglio di calcolo. Di seguito si riportano i massimi valori delle portate calcolati con i vari metodi indicando la durata dell'evento che massimizza tali valori.

Fosso Rigiolato (Rg)

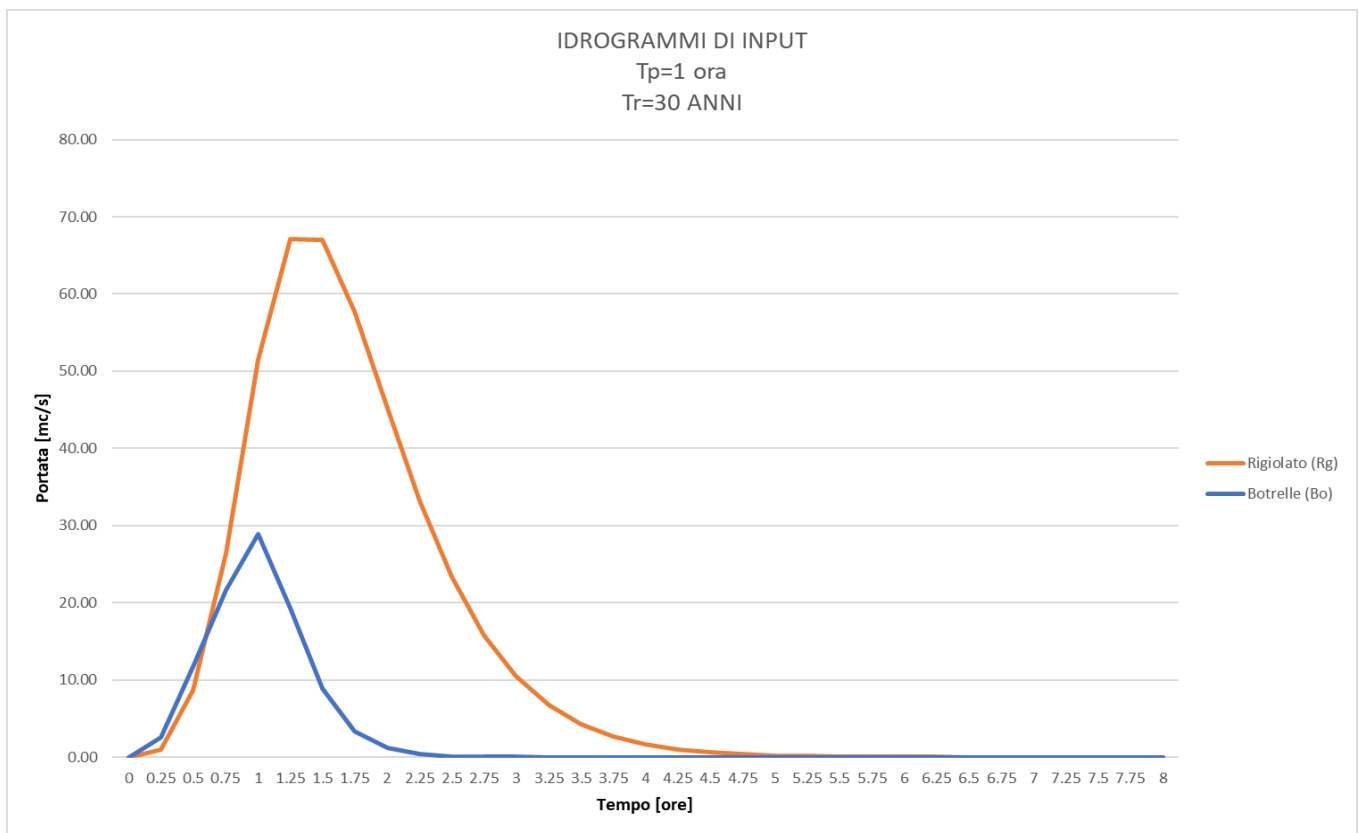
letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	2	40,13	54,96	81,61	95,31	114,61	134,50	161,97
	Corrivazione	3	29,40	40,79	62,73	74,52	91,29	108,69	132,61
	Invaso lineare	3	25,76	34,99	52,37	61,56	74,52	87,83	105,97
	Valore massimo		40,13	54,96	81,61	95,31	114,61	134,50	161,97
	Valore medio		31,76	43,58	65,57	77,13	93,47	110,34	133,52

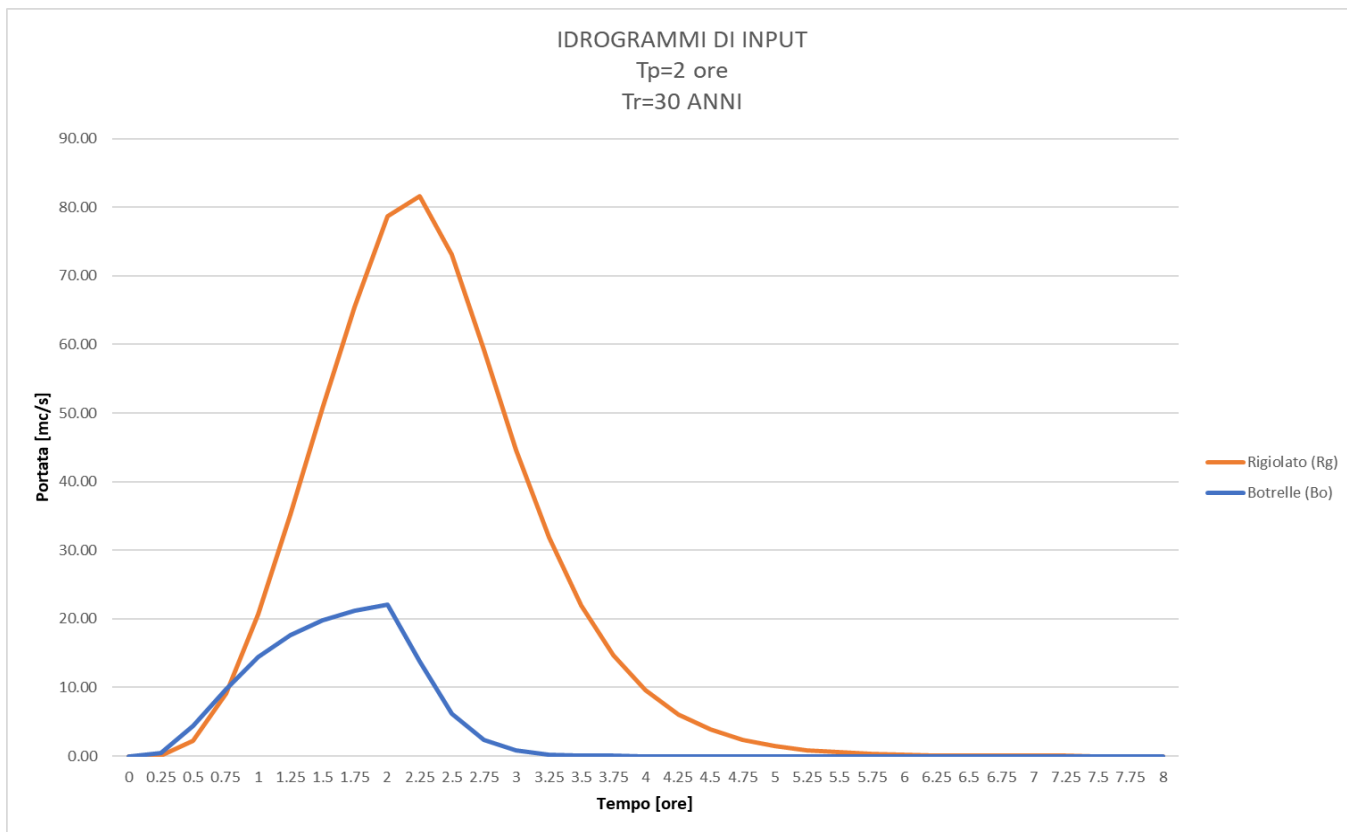
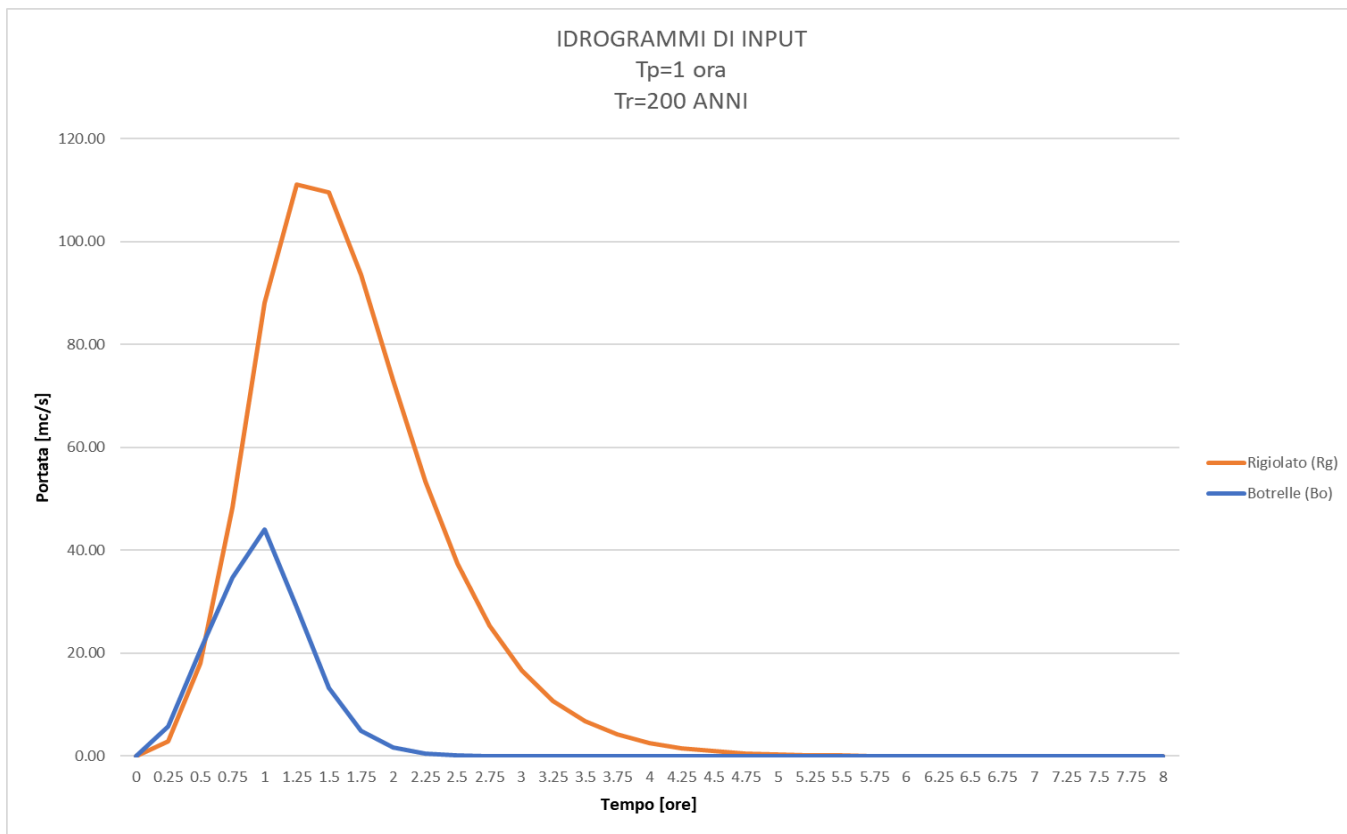
Fosso delle Botrelle (Bo)

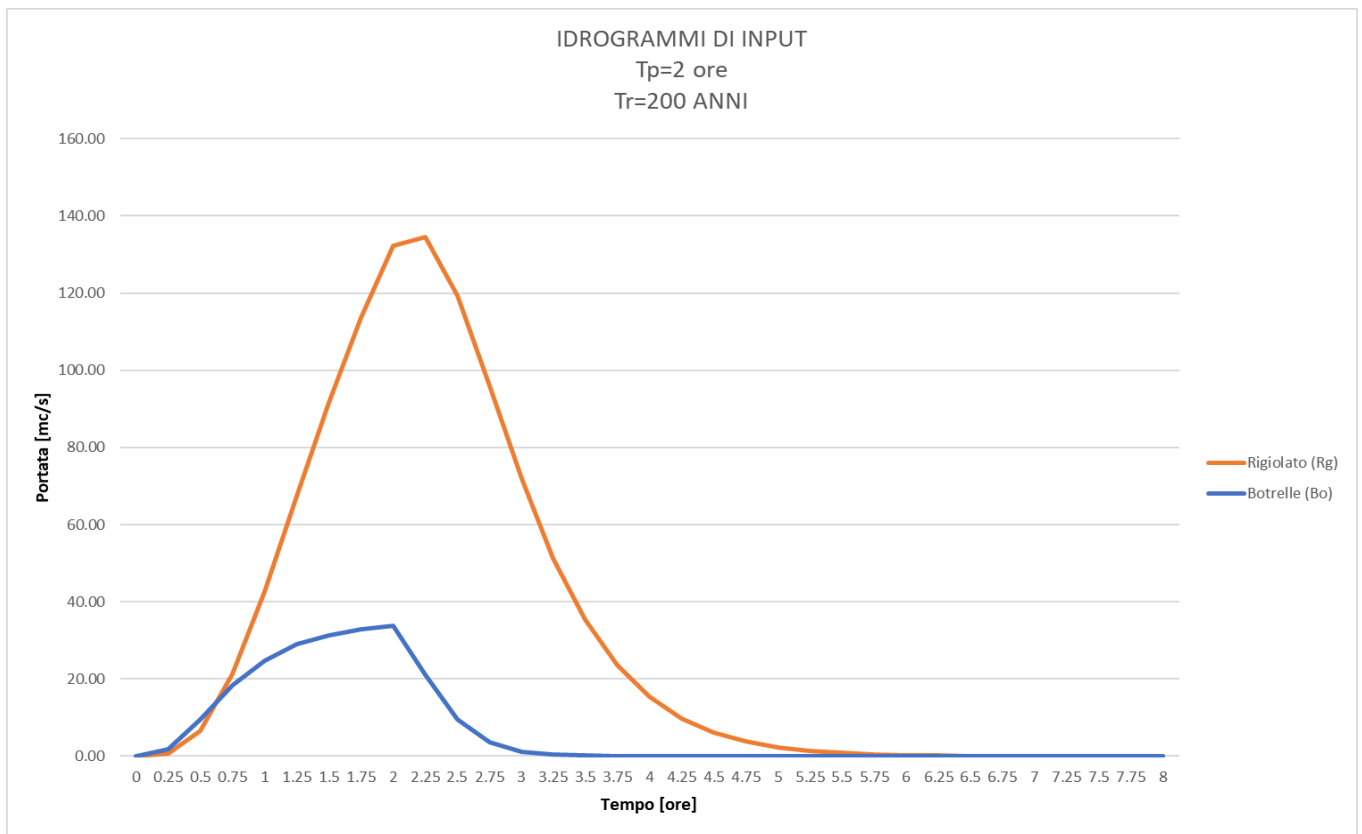
letogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	1	15,66	20,75	28,90	32,82	38,32	44,01	52,06
	Corrivazione	1	12,84	17,43	24,95	28,64	33,88	39,36	47,19
	Invaso lineare	1	9,75	12,98	18,18	20,70	24,25	27,92	33,15
Valore massimo			15,66	20,75	28,90	32,82	38,32	44,01	52,06
Valore medio			12,75	17,05	24,01	27,39	32,15	37,10	44,14

2.8.7 Idrogrammi di piena

Considerati i massimi di piena sopra calcolati, si è ritenuto il metodo di Nash quale metodo più cautelativo per la definizione degli idrogrammi di piena da utilizzarsi nelle successive modellazioni idrauliche. In ragione dei diversi tempi di corrivazione dei bacini idrografici sono stati scelti due eventi di pioggia di durata 1 ora e 2 ore. I conseguenti idrogrammi di piena (con metodo di Nash) sono stati utilizzati come input nel modello idraulico.







2.9 UTOE Potassa

2.9.1 Inquadramento geografico

I bacini idrografici studiati che interessano l'UTOE Potassa sono quelli relativi a due fossi senza nome che raccolgono le acque di pioggia che investono il versante a sud dell'abitato, ricadenti interamente nel comune di Gavorrano.

Per la delimitazione dei bacini idrografici è stato utilizzato il DTM idrografico 10x10 km della Regione Toscana e la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.).

Al fine di fornirne un preciso inquadramento geografico, si definiscono le coordinate del rettangolo di superficie minima che racchiude i due bacini sopraindicati alle sezioni di chiusura individuate immediatamente a monte della loro confluenza:

Bacini del Fosso Rigiolato e del Fosso delle Botrelle

SO	(1657230.8300, 4756120.9595)GB	NE	(1657833.3938, 4756934.2598)GB
-----------	--------------------------------	-----------	--------------------------------

2.9.2 Caratteristiche plano-altimetriche

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i principali parametri morfometrici dei bacini a partire dal modello digitale del terreno e dalle sezioni di chiusura che delimitano i bacini idrografici.

Nelle tabelle seguenti, i bacini idrografici sono stati denominati come segue, procedendo da Est verso Ovest:

- **Fs1:** F. Senza Nome 1;
- **Fs2:** F. Senza Nome 2;

DESCRIZIONE	U.M.	Fs1	Fs2
A - Superficie	[Kmq]	0,0085	0,263
L - Lunghezza asta principale	[Km]	0,149	0,554
i_{bac} - Pendenza media bacino	[%]	5,38	12,60
i_a - Pendenza media asta principale	[%]	3,51	5,05
H_{max} - Quota massima del bacino	[m]	84,96	204,18
H_{min} - Quota minima del bacino	[m]	71,81	73,82
H_{med} - Quota media del bacino	[m]	76,99	110,37

2.9.3 Tempi di corrivazione

Sulla base delle caratteristiche plano-altimetriche elaborate e delle formule richiamate al paragrafo 2.2 sono stati calcolati per ciascun bacino i tempi di corrivazione.

DESCRIZIONE	U.M.	Fs1	Fs2
Giandotti	[ore]	0,33	0,60
Kirpich	[ore]	0,04	0,08
Viparelli	[ore]	0,04	0,15

Ventura	[ore]	0,06	0,29
Pasini	[ore]	0,06	0,25
Pezzoli	[ore]	0,04	0,14
Puglisi	[ore]	0,71	0,80
Valore medio	[ore]	0,18	0,33
Valore scelto	[ore]	0,18	0,33

2.9.4 Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali dei parametri "a" e "n" per ciascun bacino idrografico, elaborando i files formato raster di cui al paragrafo 2.1.

DESCRIZIONE	U.M.	F _{s1}	F _{s2}
"a" Tr30 anni	[mm]	63,18	63,17
"n" Tr30 anni	[]	0,315	0,315
"a" Tr200 anni	[mm]	87,88	87,87
"n" Tr200 anni	[]	0,379	0,379

2.9.5 Valori del Curve Number

Tramite software GIS è possibile ottenere automaticamente i valori medi spaziali del parametro CN_II (relativo alla classe II di umidità AMC) elaborando il file in formato shape di cui al paragrafo 2.4.

Nella tabella seguente, oltre al valore del CN_II, è stato riportato il valore del CN_III utilizzato, per maggiore cautela, nelle successive elaborazioni idrologiche.

DESCRIZIONE	U.M.	F _{s1}	F _{s2}
CN_II	[]	84	76
CN_III	[]	92	88

2.9.6 Portate di massima piena

Applicando i modelli di trasformazione afflussi-deflussi richiamati al paragrafo 2.5 sono state calcolate le portate massime e gli idrogrammi di piena per i vari tempi di ritorno e per varie durate degli eventi di pioggia. Gli idrogrammi di piena sono stati elaborati facendo ricorso ad un foglio di calcolo. Nel caso specifico le piogge non sono state ragguagliate, data la ridotta superficie dei bacini ed i brevi tempi di corrivazione. Di seguito si riportano i massimi valori delle portate calcolati con i vari metodi indicando la durata dell'evento che massimizza tali valori.

Fosso Senza Nome 1 (Fs1)

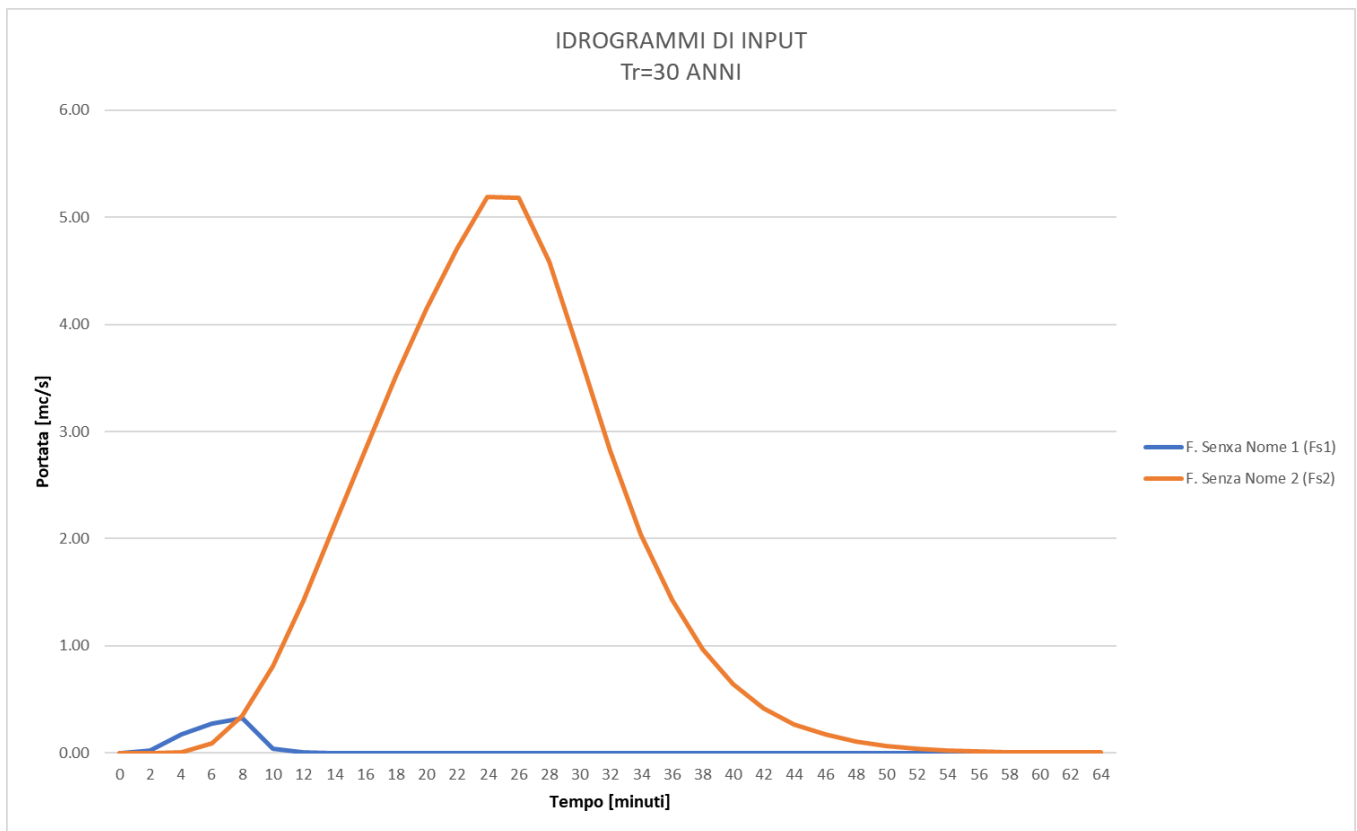
Ietogramma	Metodo di individuazione dell'idrogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m ³ /s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0.14	0.20	0.26	0.32	0.35	0.39	0.43	0.49
	Corrivazione	0.18	0.12	0.17	0.22	0.25	0.28	0.32	0.38
	Invaso lineare	0.2	0.12	0.15	0.20	0.22	0.25	0.28	0.32
	Valore massimo		0.20	0.26	0.32	0.35	0.39	0.43	0.49
	Valore medio		0.14	0.19	0.25	0.27	0.30	0.34	0.40

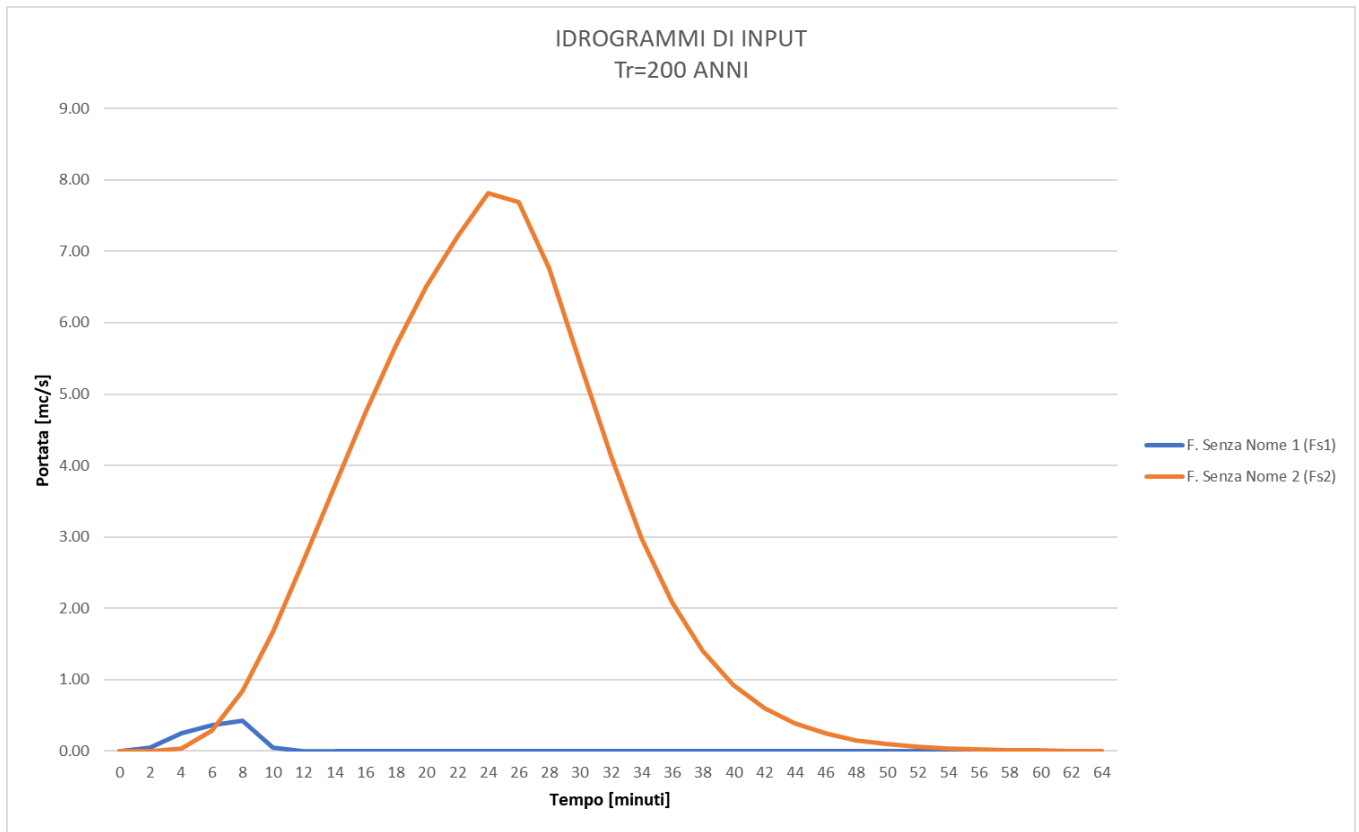
Fosso Senza Nome 2 (Fs2)

Ietogramma	Metodo di individuazione dell'ietogramma	durata evento di pioggia [ore]	PORTATE MASSIME						
			(m³/s)						
			Tempo di ritorno						
			5 anni	10 anni	30 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
COSTANTE	Nash	0.4	2.73	3.75	5.19	5.85	6.80	7.81	9.32
	Corrivazione	0.33	1.74	2.53	3.66	4.17	4.91	5.73	6.99
	Invaso lineare	0.5	1.99	2.73	3.82	4.32	5.03	5.78	6.89
	Valore massimo		2.73	3.75	5.19	5.85	6.80	7.81	9.32
	Valore medio		2.15	3.00	4.22	4.78	5.58	6.44	7.73

2.9.7 Idrogrammi di piena

Considerati i massimi di piena sopra calcolati, si è ritenuto il metodo di Nash quale metodo più cautelativo per la definizione degli idrogrammi di piena da utilizzarsi nelle successive modellazioni idrauliche. I conseguenti idrogrammi di piena (con metodo di Nash) sono stati utilizzati come input nel modello idraulico.





3 VERIFICHE IDRAULICHE

3.1 Modello di calcolo HEC-RAS

La modellazione della propagazione delle acque sul territorio è stata condotta mediante il software HEC-RAS 5.0.7 sviluppato dal Corpo degli Ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'*Hydrologic Engineering Centre* (HEC) ed utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, *River Analysis System* (RAS).

Dalla versione 5.0 del software è stata aggiunta la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario.

I tipi di modellazione possibili con il software sono:

- modelli idraulici 1D;
- modelli idraulici combinati 1D/2D: modellazione monodimensionale in alveo inciso e bidimensionale nelle aree golenali;
- modelli idraulici solo 2D: è possibile la modellazione 2D sia dell'alveo che delle aree golenali.

Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar (DTM) con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processione viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso ottenendo la mappatura delle aree allagabili basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo, ovvero le celle possono essere parzialmente bagnate/asciutte.

3.1.1 Modello di calcolo a moto permanente

I profili liquidi sono calcolati risolvendo, per via iterativa, una volta specificate le condizioni al contorno, l'equazione di conservazione dell'energia:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

Z=quota del fondo alveo

Y=altezza liquida

V=velocità media della corrente

a=coefficienti correttivi dell'energia cinetica

g=accelerazione di gravità

h_e=perdite di carico composte da perdite per attrito e perdite per contrazione o espansione

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove: L=distanza ponderata in base alla portata

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

S_f =pendenza della linea dell'energia

C=coefficiente di perdita per contrazione o espansione

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} =distanze tra le sezioni trasversali nella golena sinistra, nel canale principale e nella golena destra

Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} = portate medie attraverso la sezione rispettivamente per la golena sinistra, il canale principale e la golena destra

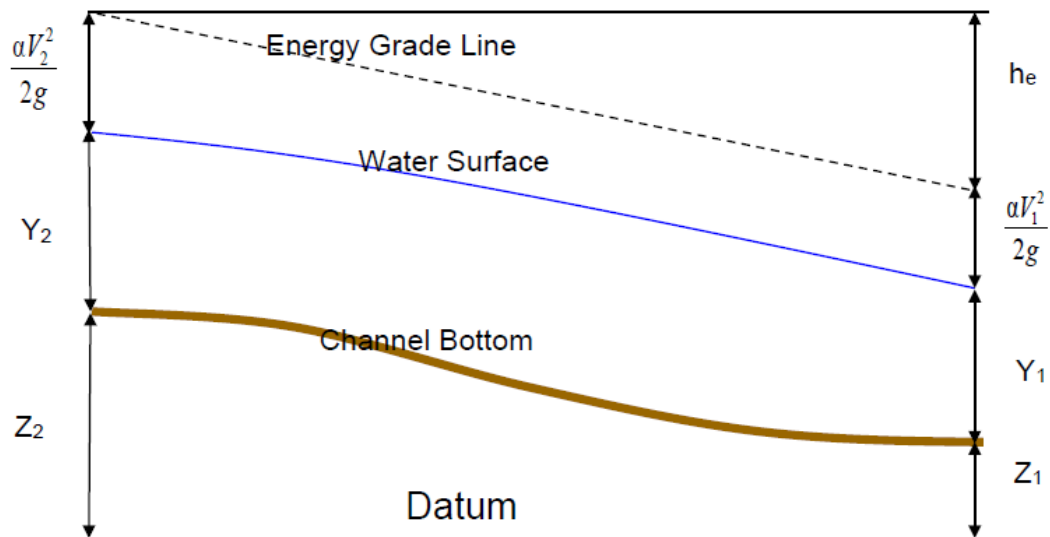


Figura 1-equazione di conservazione dell'energia

Quando il profilo liquido passa attraverso l'altezza critica, l'equazione di conservazione dell'energia non è considerata applicabile; infatti la stessa è applicabile solamente per le situazioni di flusso gradualmente variato. Quindi quando ci sono significativi cambiamenti di pendenza, deflusso attraverso ponti, confluenze, diversivi e sfioratori che danno luogo ad una transizione da corrente lenta a veloce o viceversa, si applica l'equazione di conservazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \rho \Delta V_x$$

dove:

P=risultante delle forze di pressione

W=risultante della forza peso

F_f =risultante delle forze di attrito

Q=portata volumetrica

ρ =densità dell'acqua

ΔV =variazione di velocità

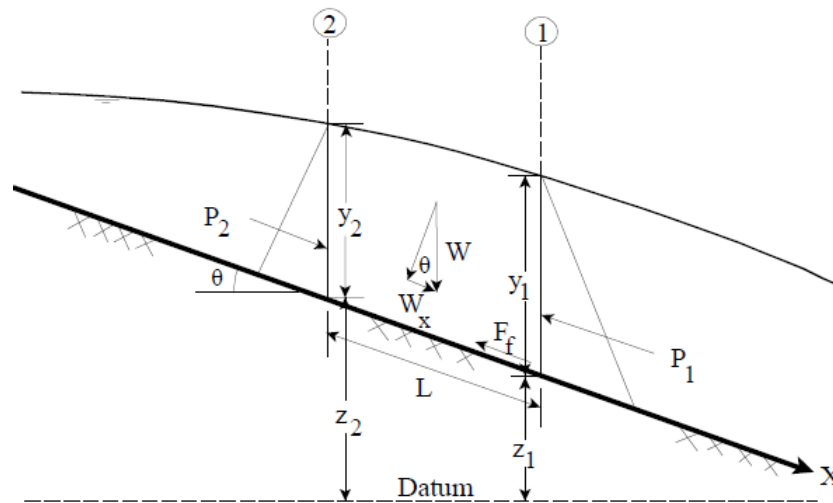


Figura 2-equazione di conservazione della quantità di moto

3.1.2 Modello di calcolo a moto vario monodimensionale

Le leggi fisiche che governano il flusso d'acqua in un corso d'acqua sono: il principio della conservazione della massa (continuità) e il principio della conservazione della quantità di moto. Per la modellazione in moto vario vengono adottate le seguenti ipotesi:

- La distribuzione delle pressioni è di tipo idrostatico (ipotesi valida se le linee di flusso non presentano curvatura accentuata);
- La pendenza del fondo alveo è minima, tale che la sezione trasversale normale alla corrente si confonda con la sezione verticale;
- Alveo prismatico, laddove le variazioni nella sezione trasversale e nella pendenza di fondo possono essere prese in considerazione approssimando il corso d'acqua con una serie di tratti prismatici;
- Le perdite di carico possono essere espresse tramite una delle classiche formule adottate per il moto uniforme (si utilizza l'equazione di Manning); con questa ipotesi si assume che in regime di moto vario ad una data velocità V della corrente si abbiano le stesse perdite di carico che si avrebbero in moto uniforme con la stessa velocità;
- La velocità e le accelerazioni lungo la verticale sono trascurabili rispetto alle analoghe grandezze in direzione del moto;
- Le variazioni della densità del fluido sono trascurabili.

Nel caso di alvei a sezione composta le aree golenali esterne al canale vengono considerate come aree di accumulo o di espansione. Quindi, per i due flussi vengono sviluppate le equazioni di continuità e di conservazione della quantità di moto ipotizzando che la quota della superficie libera (water surface) sia definita da un'unica superficie orizzontale in modo tale che lo scambio di quantità di moto tra l'alveo centrale (main channel) e le aree golenali (foodplain) sia trascurabile e la portata sia distribuita nell'intera sezione.

La forma delle suddette equazioni utilizzate in HEC-Ras è la seguente:

Equazione della conservazione della massa (o equazione di continuità):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)Q]}{\partial x_f} = 0$$

Equazione della conservazione della quantità di moto:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\Phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + gA_c \left[\frac{\partial Z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + gA_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0$$

Dove i pedici c e f si riferiscono rispettivamente all'alveo centrale (main channel) ed alle aree golenali (floodplain) e con:

$$Q_c = \phi Q \quad \phi = K_c / (K_c + K_f)$$

Q=portata

A=area liquida

S_f =pendenza della linea dell'energia

g=accelerazione di gravità

x=ascissa

t=tempo

K=conduttività idraulica (conveyance)

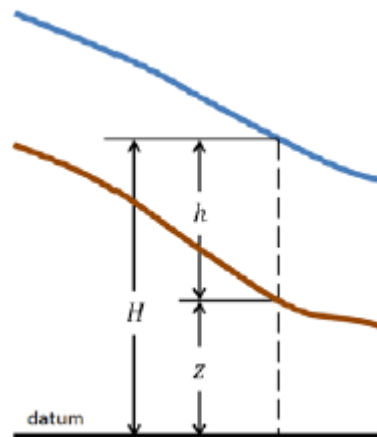
Z=quota del pelo libero (quota del fondo+altezza liquida)

Nell'ambito del software HEC-RAS, la risoluzione del sistema non lineare di equazioni differenziali viene sviluppata mediante la linearizzazione proposta da Preissmann-Cunge-Chen mediante uno schema di calcolo implicito a 4 punti (box scheme).

3.1.3 Modello di calcolo a moto vario bidimensionale

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti.

Si assume che la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$, l'altezza idrica con $h(x,y,t)$ e la quota del pelo libero con $H(x,y,t)=z(x,y) + h(x,y,t)$



Per fluidi incomprimibili, l'equazione della conservazione della massa in forma differenziale è data da:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

dove:

t=tempo

u, v = componenti vettoriali della velocità rispettivamente nella direzione x e y

q = termine sorgente (portata in ingresso/uscita dalla cella)

Integrando lungo la regione orizzontale con vettore normale n ed usando il teorema della divergenza di Gauss, si ottiene l'equazione della conservazione della massa in forma integrale:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\Omega} d\Omega + \iint_S V \cdot n dS + Q = 0$$

Il volume di controllo Ω rappresenta lo spazio tridimensionale occupato dal fluido, con superficie laterale S . Q rappresenta il termine sorgente relativo ai flussi in ingresso (-)/uscita (+) dal volume di controllo attraverso le facce inferiori (infiltrazione) o superiori (evaporazione, precipitazione).

I dati topografici oggi disponibili permettono di definire la superficie terrestre con elevata risoluzione. La disponibilità di dati ad elevata risoluzione trova purtroppo difficoltà ad essere utilizzata direttamente nell'ambito della modellazione idraulica, per le difficoltà di gestire ed elaborare quantità enormi di dati con i classici algoritmi di soluzione delle equazioni del moto.

Una tecnica innovativa per la gestione di dati topografici ad elevata risoluzione e l'approccio sub-bathymetry grid (Casulli, 2008), con cui all'interno di ogni singola cella di calcolo si mantengono comunque le informazioni essenziali relative al DTM di partenza ad alta risoluzione: ovvero le informazioni relative alla curva di invaso della singola cella ed alle proprietà idrauliche delle singole facce di ogni cella (area liquida, contorno bagnato, raggio idraulico).

La forma integrale dell'equazione di continuità è appropriata per seguire il suddetto approccio, infatti i termini dell'equazione possono essere discretizzati come segue:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\Omega} d\Omega = \frac{\Omega(H^{n+1}) - \Omega(H^n)}{\Delta t}$$

$$\iint_S V \cdot n dS = \sum_k V_k \cdot n_k A_k(H)$$

Ottenendo:

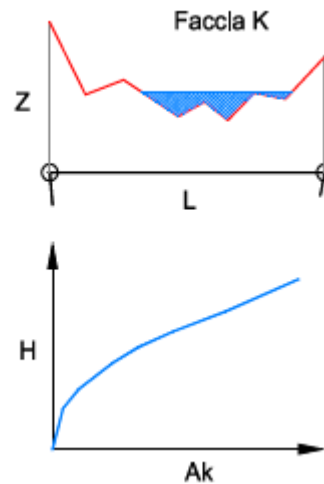
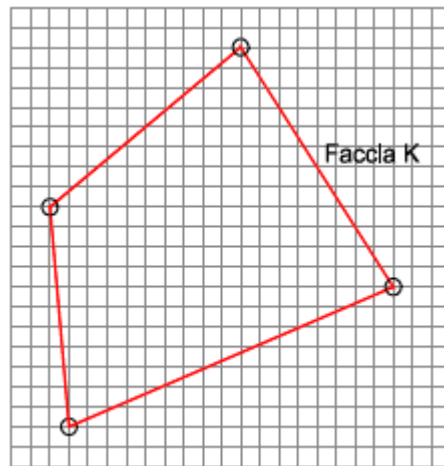
$$\frac{\Omega(H^{n+1}) - \Omega(H^n)}{\Delta t} + \sum_k V_k \cdot n_k A_k(H) + Q = 0$$

Dove:

Δt = passo temporale

V_k e n_k = velocità media e vettore normale alla faccia k

$A_k(H)$ = area della faccia k in funzione dell'altezza d'acqua



Negli schemi classici di soluzione numerica si ha:

$$\Omega(H) = P \cdot h$$

$$A_k(H) = l_k \cdot h$$

dove P è l'area della cella, l_k è la lunghezza del bordo k e $h = H - z$ è l'altezza liquida.

In presenza di aree di studio con lunghezze caratteristiche della scala orizzontale significativamente più grandi rispetto alla scala verticale si possono trascurare le variazioni delle caratteristiche del moto lungo la verticale ed assumere condizioni di distribuzione idrostatica delle pressioni.

Nell'ipotesi di densità del fluido costante le equazioni di Navier-Stokes possono semplificarsi nelle Shallow Water Equations (SWE) o equazioni bidimensionali di De Saint Venant, che esprimono fisicamente la conservazione della quantità di moto.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu$$

dove:

u e v = velocità nelle direzioni cartesiane x e y

g = accelerazione di gravità

ν_t = coefficiente di viscosità turbolenta

c_f = coefficiente di attrito al fondo

f = parametro di Coriolis

Nei casi in cui nelle equazioni del moto siano trascurabili gli effetti legati ai termini inerziali dell'accelerazione, alla turbolenza ed agli effetti di Coriolis le SWE possono essere semplificate nel modello diffusivo bidimensionale (noto anche nella letteratura tecnica italiana come modello parabolico di propagazione a moto vario dei deflussi). Il movimento del fluido è governato allora dal gradiente di pressione e dagli attriti di fondo.

Il modello DWE consente di lavorare con intervalli di calcolo di durata superiore, riducendo i tempi di simulazione.

In generale molto spesso i risultati di una simulazione non variano in maniera significativa adottando il modello DWE al posto del più completo modello SWE, ma ogni simulazione è un caso a sé stante. Il modello completo SWE risulta solitamente necessario nei seguenti casi:

- onde di piena con significativi effetti dinamici: flash flood, dam break, in generale onde con idrogrammi di piena ripidi.
- presenza di geometrie con brusche variazioni delle caratteristiche del moto: contrazioni, espansioni.
- effetti di marea significativi, con presenza di inversione del senso di deflusso in corrispondenza della foce.
- analisi di dettaglio del campo di moto in corrispondenza di strutture idrauliche.
- correnti che defluiscono in regime di corrente mista, passando attraverso lo stato critico.

Per la soluzione delle equazioni del moto è necessaria la definizione delle condizioni al contorno sulla frontiera del dominio di calcolo. Queste possono essere costituite da:

- quota del pelo libero;
- gradiente (pendenza) della superficie del pelo libero in direzione normale al contorno dell'area di studio:
 $\nabla H \cdot n = S_b$;
- portata in ingresso dal contorno dell'area di studio: $\iint V \cdot n dS = Q_b$ (in forma discreta $V_b \cdot n_b A_b(H) = Q_b$)

3.2 UTOE Grilli

3.2.1 Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D

Per la valutazione delle esondazioni, è stato implementato un modello esclusivamente bidimensionale, volto a simulare la propagazione delle acque di piena sia in alveo che nelle aree di potenziale esondazione.

Le caratteristiche topografiche dell'area bidimensionale sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare disponibili per l'area di studio, integrati da un rilievo topografico di dettaglio del Torrente Rigo di Colonna nel tratto tra la confluenza con il Fosso dell'Acqua Nera e la confluenza con il Fosso degli Alborelli.

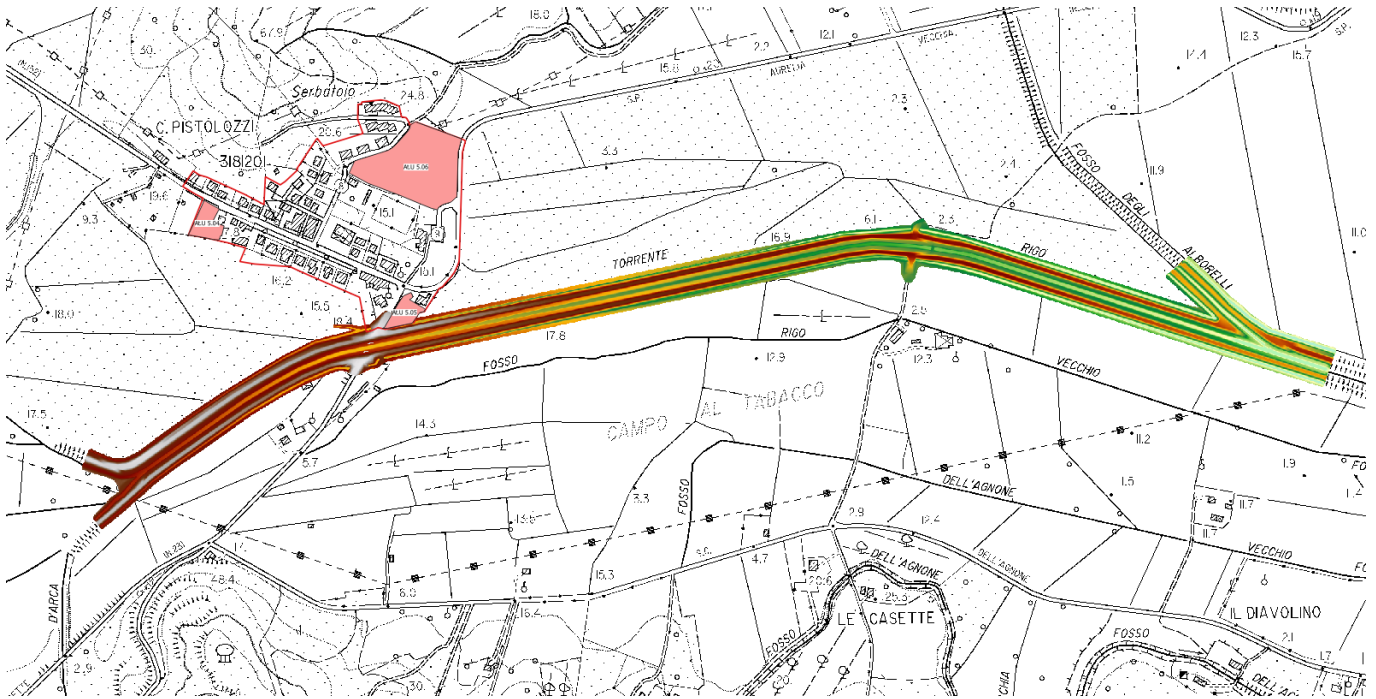


Figura 3 - UTOE Grilli – Modello digitale del terreno ottenuto da rilievo topografico di dettaglio

Dal rilievo topografico di dettaglio è stato ottenuto un modello digitale del terreno 3d con il quale è stato integrato e modificato il DTM derivante dai dati LIDAR.

La rete di calcolo entro l'area bidimensionale è stata definita con una maglia generalizzata di 10 x 10 metri utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.. Inoltre tramite il comando 2D Polygon Mesh Refinement Tool è stata impostata una mesh di calcolo, con una risoluzione diversa rispetto a quella impostata nella fase di creazione della rete di calcolo bidimensionale, per quelle zone dove si rende necessario avere un migliore dettaglio di calcolo come ad esempio lungo gli alvei dove è stata definita una mesh di calcolo di 2 x 2 metri.

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato sono stati associati a quest'ultimo e quindi alle aree 2D, dei valori di scabrezza variabili che simulano l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso.

I coefficienti di scabrezza delle celle bidimensionali sono stati assegnati a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (ripresa da R. Pestana et al., 2013, Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river, ESA Living Planet Symposium 2013).

Il coefficiente di scabrezza relativo al codice di uso 231 "Pastures" (Prati stabili) è stato corretto al valore di 0.043.

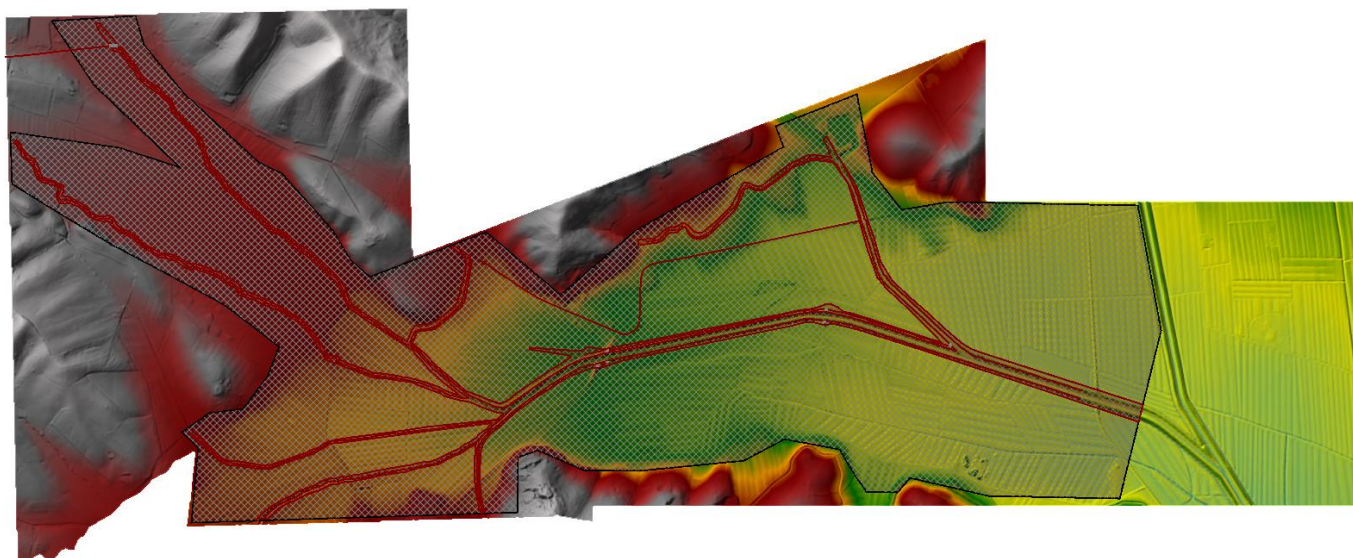


Figura 4 - UTOE Grilli – DTM, Mesh di calcolo, Break lines e Refinement Regions

Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230
112	Discontinuous urban fabric	0.115
121	Industrial or commercial units	0.230
122	Roads and rail networks and associated land	0.038
124	Airports	0.230
131	Mineral extraction sites	0.104
132	Dump sites	0.115
133	Construction sites	0.115
142	Sport and leisure facilities	0.023
211	Non-irrigated arable land	0.043
212	Permanently irrigated land	0.043
213	Rice fields	0.023
221	Vineyards	0.043
222	Fruit trees and berry plantations	0.043
223	Olive groves	0.043
231	Pastures	0.298
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043
242	Complex cultivation patterns	0.023
243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
244	Agro-forestry areas	0.058
311	Broad-leaved forest	0.230
312	Coniferous forest	0.127
313	Mixed forest	0.230
321	Natural grasslands	0.039
322	Moors and heathland	0.058
323	Sclerophyllous vegetation	0.058
324	Transitional woodland-shrub	0.058
331	Beaches, dunes, sands	0.138
332	Bare rocks	0.104
333	Sparsely vegetated areas	0.104
334	Burnt areas	0.104
411	Inland marshes	0.115
511	Water courses	0.035
512	Water bodies	0.035

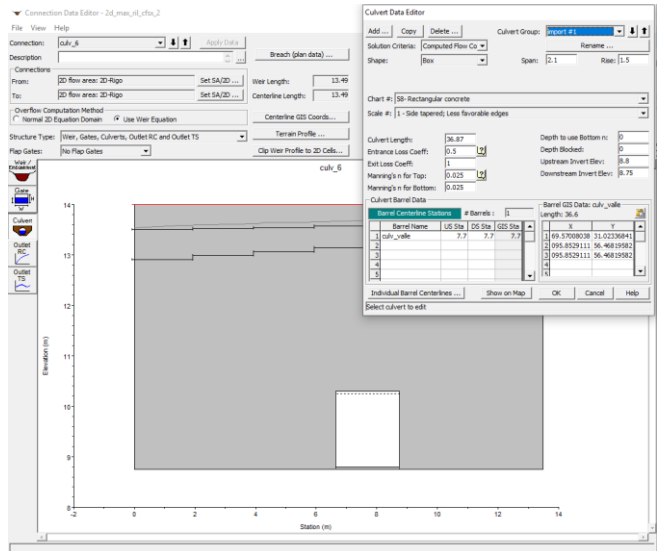
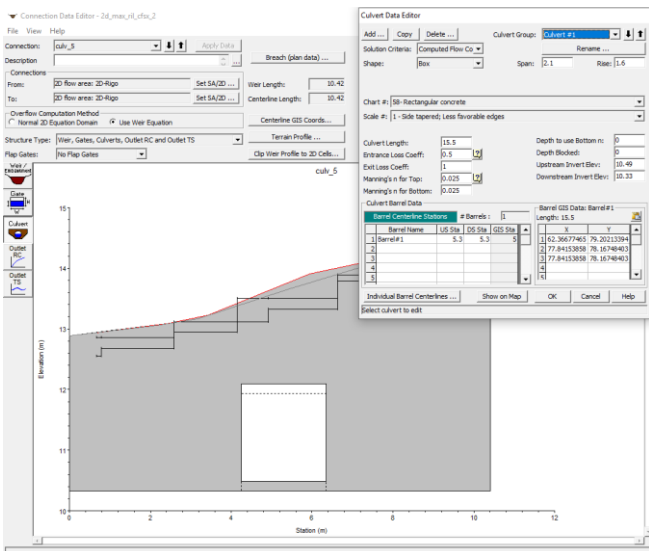
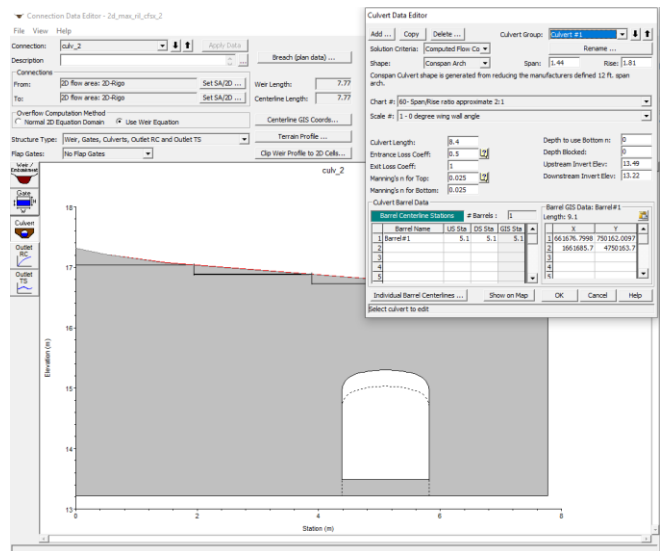
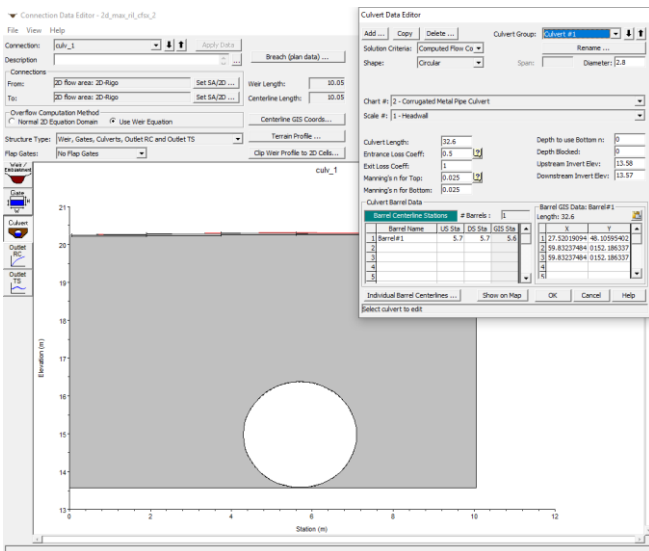
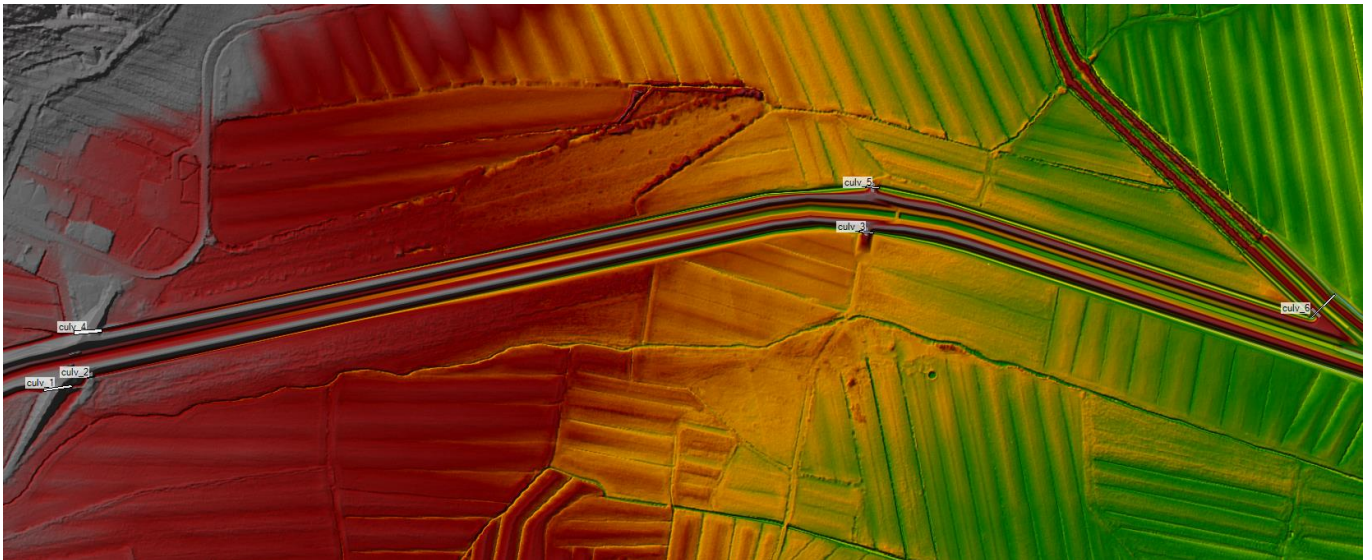
Figura 5 - Valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (R. Pestana et al., 2013)



Figura 6 – UTOE Grilli - Caratterizzazione del dominio di calcolo sulla base dell'uso del suolo – Corine Land Cover

Come elementi "structures" sono stati inseriti nel modello sette culvert:

- Uno sul Fosso dell'Acqua Nera in corrispondenza della S.P. 82 "Gavorrane";
- Tre sulla controfossa sinistra del Torrente Rigo di Colonna;
- Tre sulla controfossa destra del Torrente Rigo di Colonna.



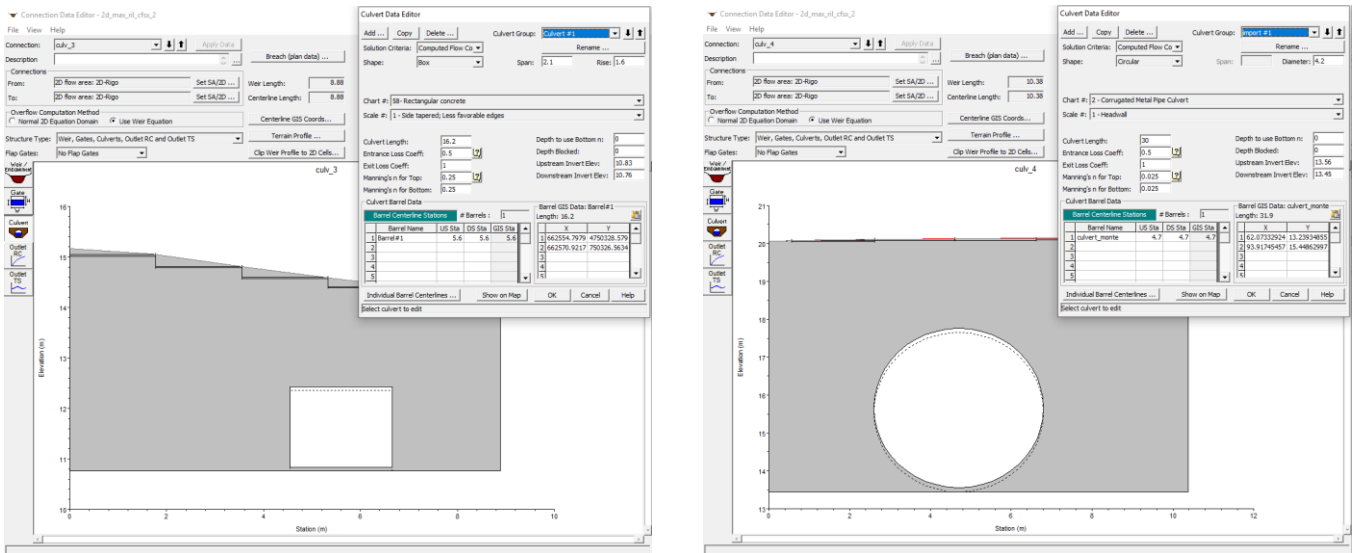


Figura 7 – UTOE Grilli – Elementi “structures” sulle controfosse del Torrente Rigo di Colonna

Il ponte della S.P. 23 “Strette” sul Torrente Rigo di Colonna è stato simulato modificando il dtm al fine di rappresentare le pile in alveo ma senza tenere conto dell’impalcato poiché dalle simulazioni emerge che lo stesso non è interessato dai livelli di piena a causa di esondazioni che avvengono in destra idraulica a monte del ponte stesso. Infatti come si evince dalle figure seguenti, il picco dell’idrogramma di piena (per Tr200 anni) passa da un valore di circa 325 m³/s, a monte del ponte, ad un valore di circa 264 m³/s in corrispondenza del ponte.

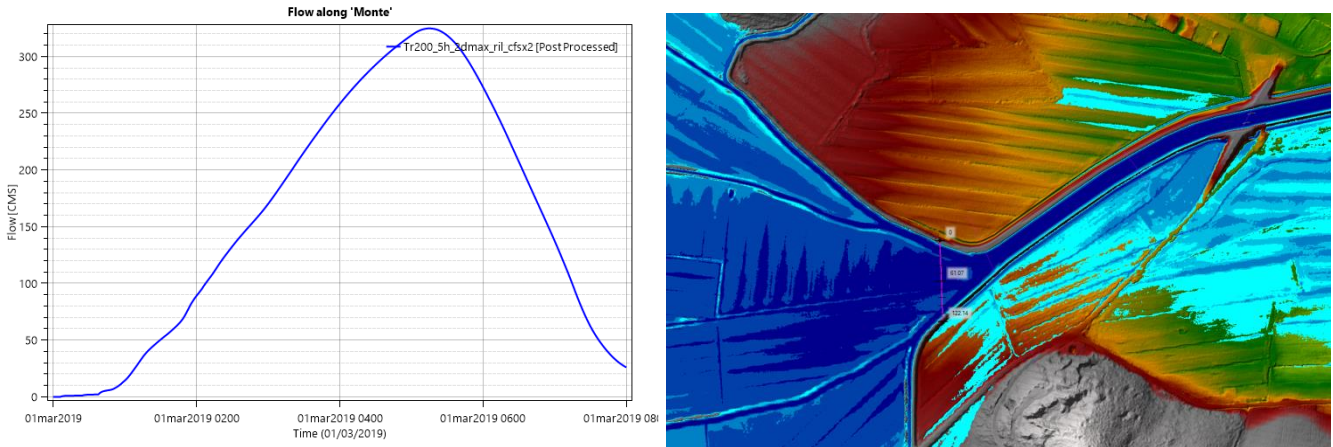


Figura 8 - UTOE Grilli – TR200_5h - Idrogramma di piena su sezione a monte del ponte

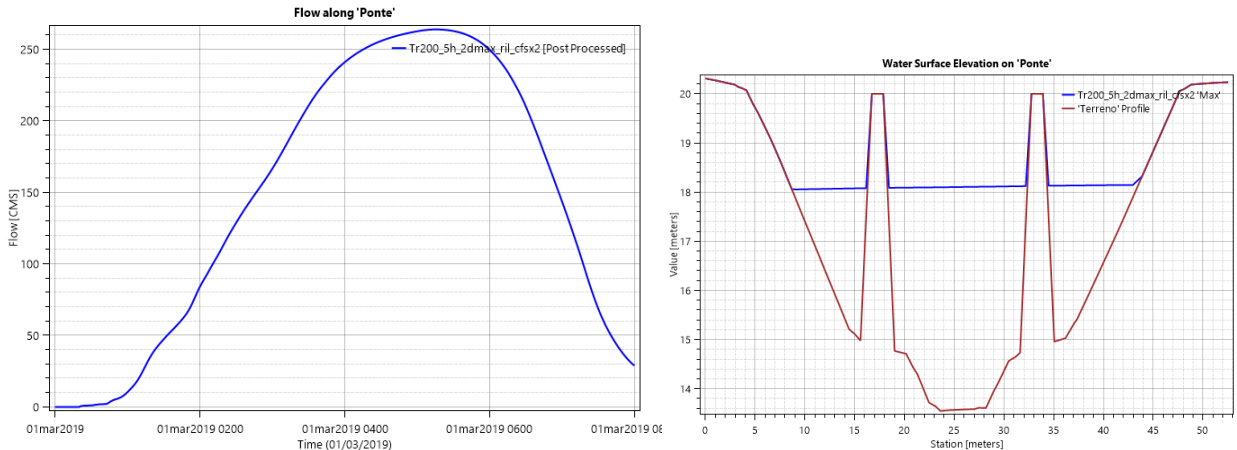


Figura 9 - UTOE Grilli - TR200_5h - Idrogramma e livello di piena di piena sul ponte

3.2.2 Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena precedentemente calcolati per Tr30 e Tr200 e per eventi pluviometrici di durata 1h, 2h e 5h; quale condizione al contorno in uscita è stata utilizzata una "Normal Depth" pari a 0,002.

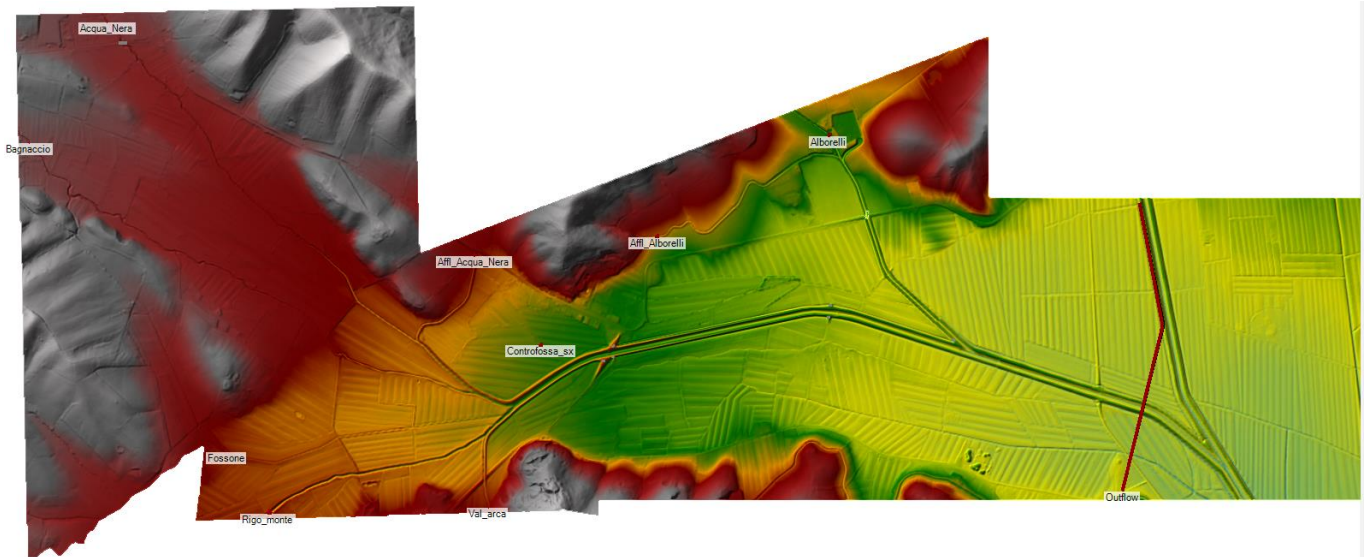


Figura 10 – UTOE Grilli - Ubicazione condizioni al contorno

3.2.3 Scenari di simulazione e risultati

Gli scenari di simulazione (plan) eseguiti con il software HEC-RAS sono stati i seguenti:

- TR30_1h
- TR30_2h
- TR30_5h
- TR200_1h
- TR200_2h
- TR200_5h

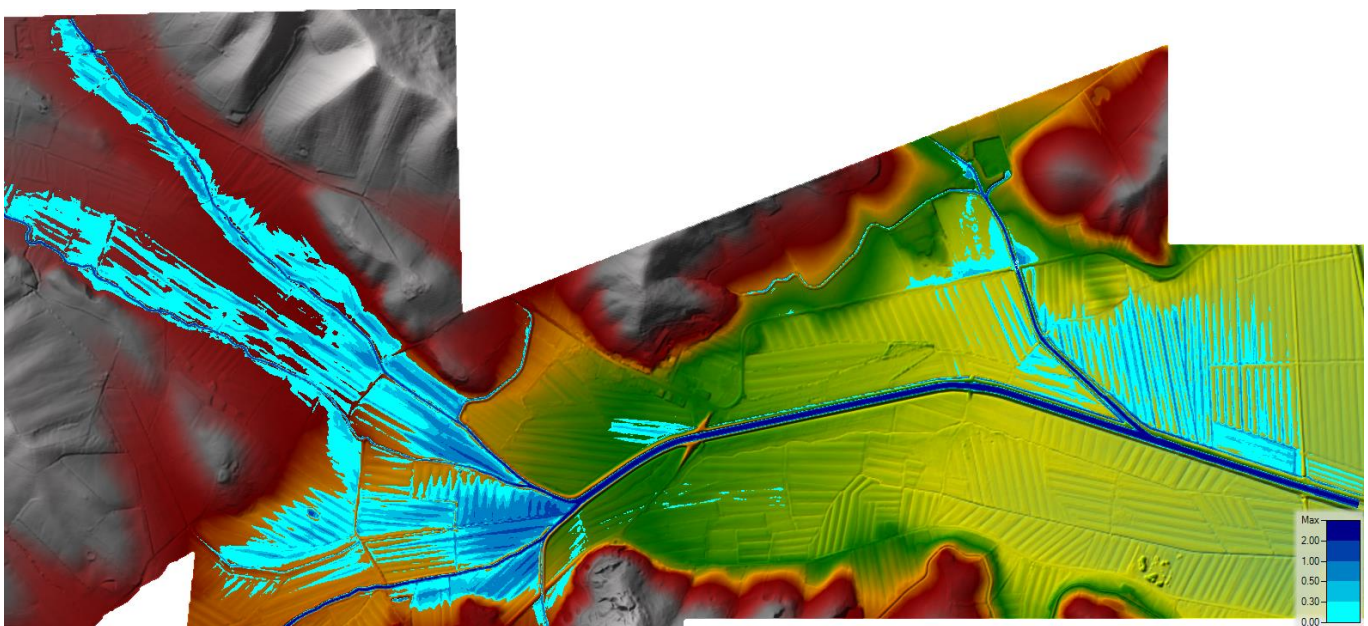


Figura 11 – UTOE Grilli – TR30_1h

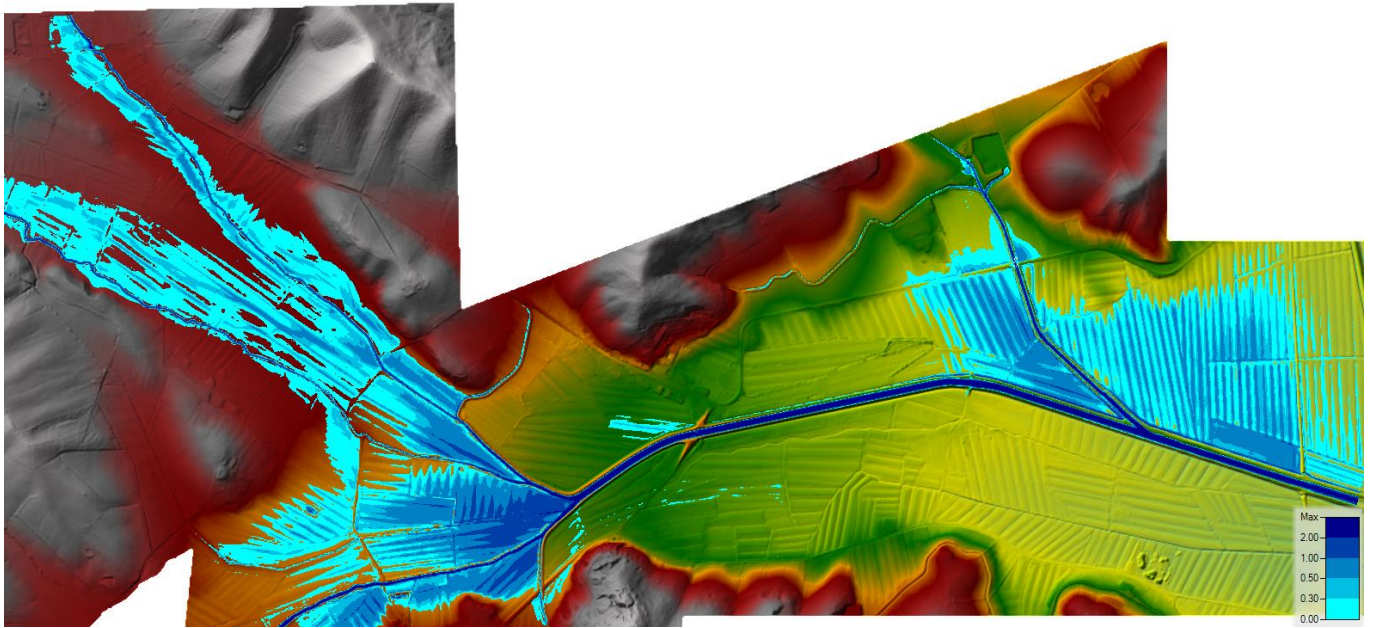


Figura 12 - UTOE Grilli - TR30_2h

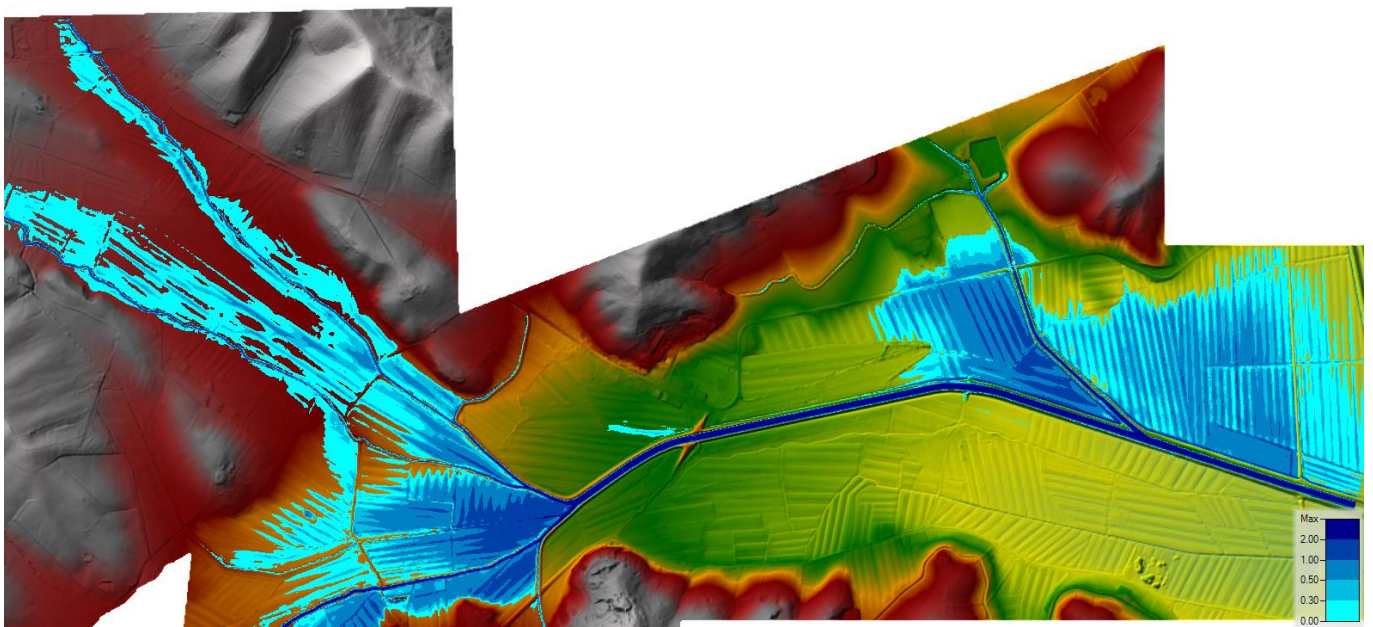


Figura 13 - UTOE Grilli - TR30_5h

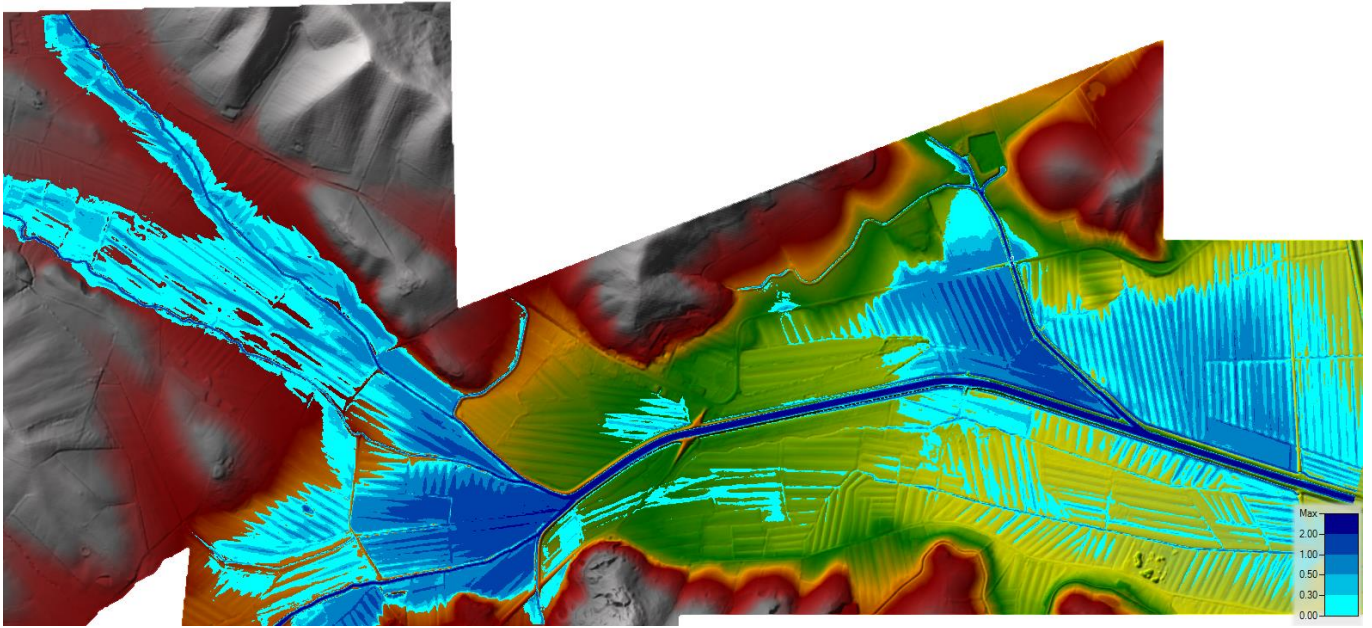


Figura 14 - UTOE Grilli - TR200_1h

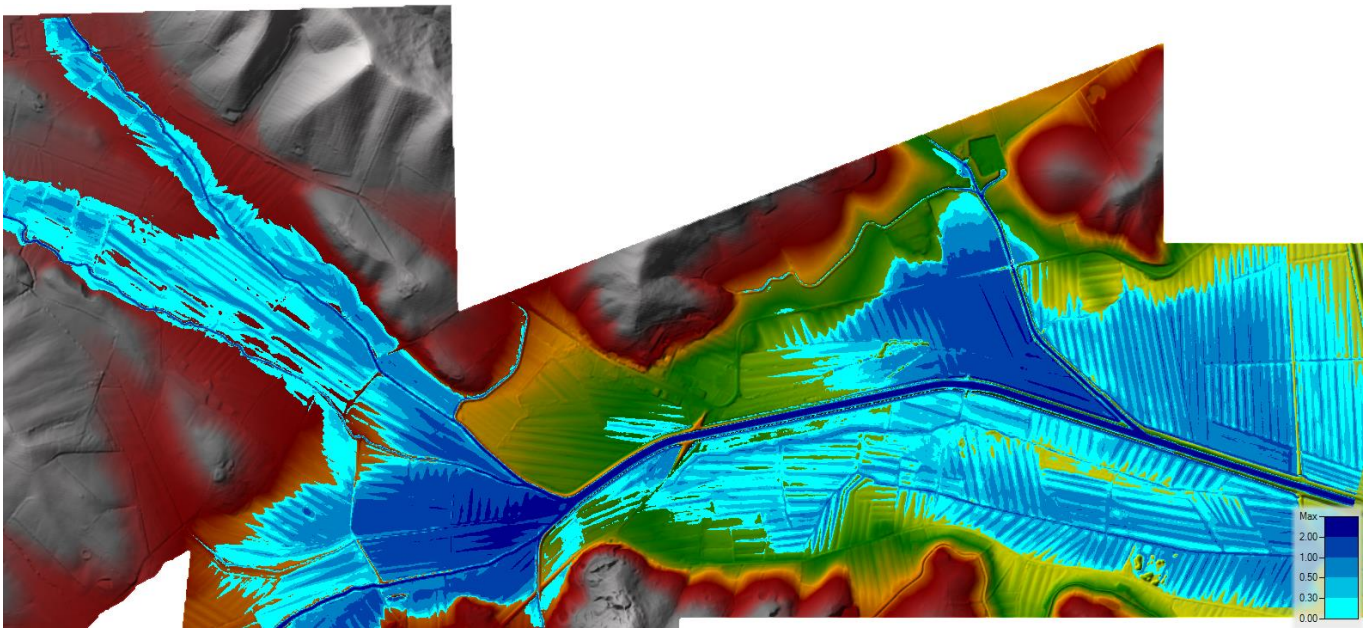


Figura 15 - UTOE Grilli - TR200_2h

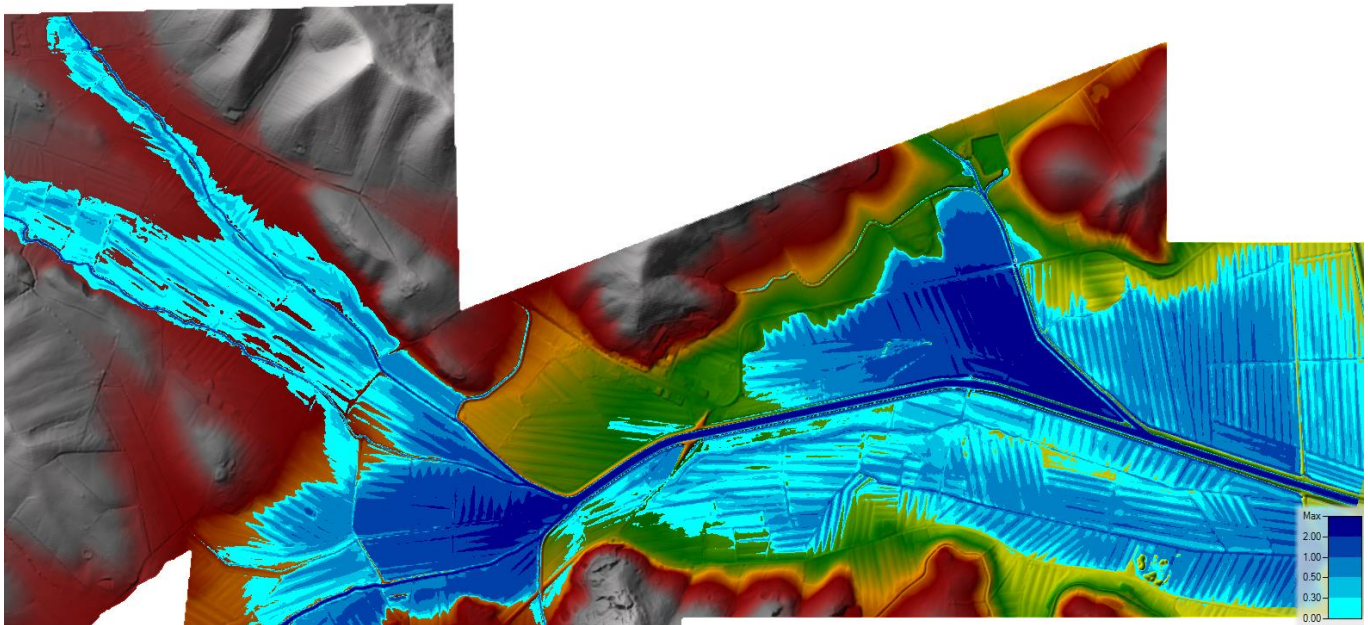


Figura 16 - UTOE Grilli - TR200_5h

Poiché al variare della durata dell'evento le aree risultano diversamente interessate dalle esondazioni, per maggior cautela si è operato andando ad assegnare a ciascun punto del territorio i valori massimi delle grandezze calcolate (battente e velocità).

Per ciascun tempo di ritorno quindi, sono stati elaborati, con l'ausilio del software QGIS, gli involuipi dei massimi dei battenti e delle velocità di esondazione e sono state altresì elaborate le tavole grafiche delle magnitudo sulla base dei criteri di cui alla L.R.T. 41/2018.

Sono stati inoltre prodotti in formato digitale, per Tr30 e Tr200 anni, i file shp delle aree di esondazione, i file raster dei battenti di esondazione ed i file raster delle velocità di deflusso.

Per tempi di ritorno 30 anni non si rilevano situazioni di elevata criticità nel tratto arginato in prossimità dell'abitato di Grilli; altresì esondazioni più significative si rilevano nell'intorno della confluenza con il Fosso degli Alborelli dovute alla tracimazione degli argini del Fosso sia in sinistra che in destra nel tratto subito a monte della confluenza con il Torrente Rigo di Colonna (fig. 17).

Per tempi di ritorno 200 anni le aree di esondazione interessano interamente il territorio in destra idraulica del Torrente Rigo di Colonna (Comune di Castiglione della Pescaia) mentre in sinistra si ampliano verso monte le aree già interessate da eventi con Tr 30 anni fino quasi a lambire la S.P. 152 Aurelia Vecchia in prossimità dell'area di intervento denominata At.U 5.06. La dinamica di ciò è dovuta a tracimazioni dell'argine destro a monte del ponte sulla S.P. 23 Strette dovute proprio alla conformazione geometrica dello stesso, con quota della sommità arginale volutamente inferiore a quella dell'argine sinistro, volta a tutelare prioritariamente il centro abitato di Grilli (fig. 18). Come già precedentemente indicato infatti le portate a monte del ponte passano da circa $325 \text{ m}^3/\text{s}$ ad un valore di circa $264 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrispondenza del ponte, il cui impalcato quindi non risulta assolutamente interessato dai livelli di massima piena. A valle del ponte le tracimazioni in destra proseguono fino alla sez. 14 per poi arrestarsi salvo nella sez.26 mentre in sinistra si rilevano tracimazioni a partire poco a monte della sez. 10 fino alla sez. 16 circa.

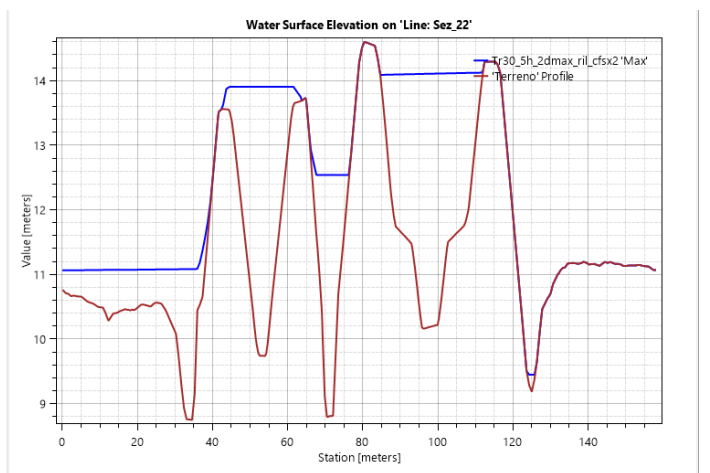
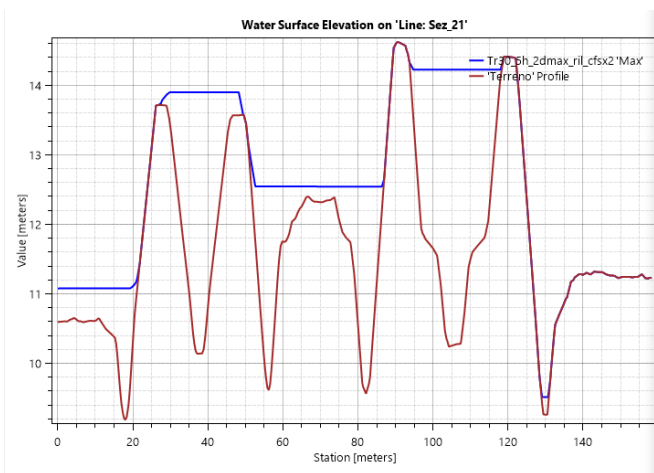
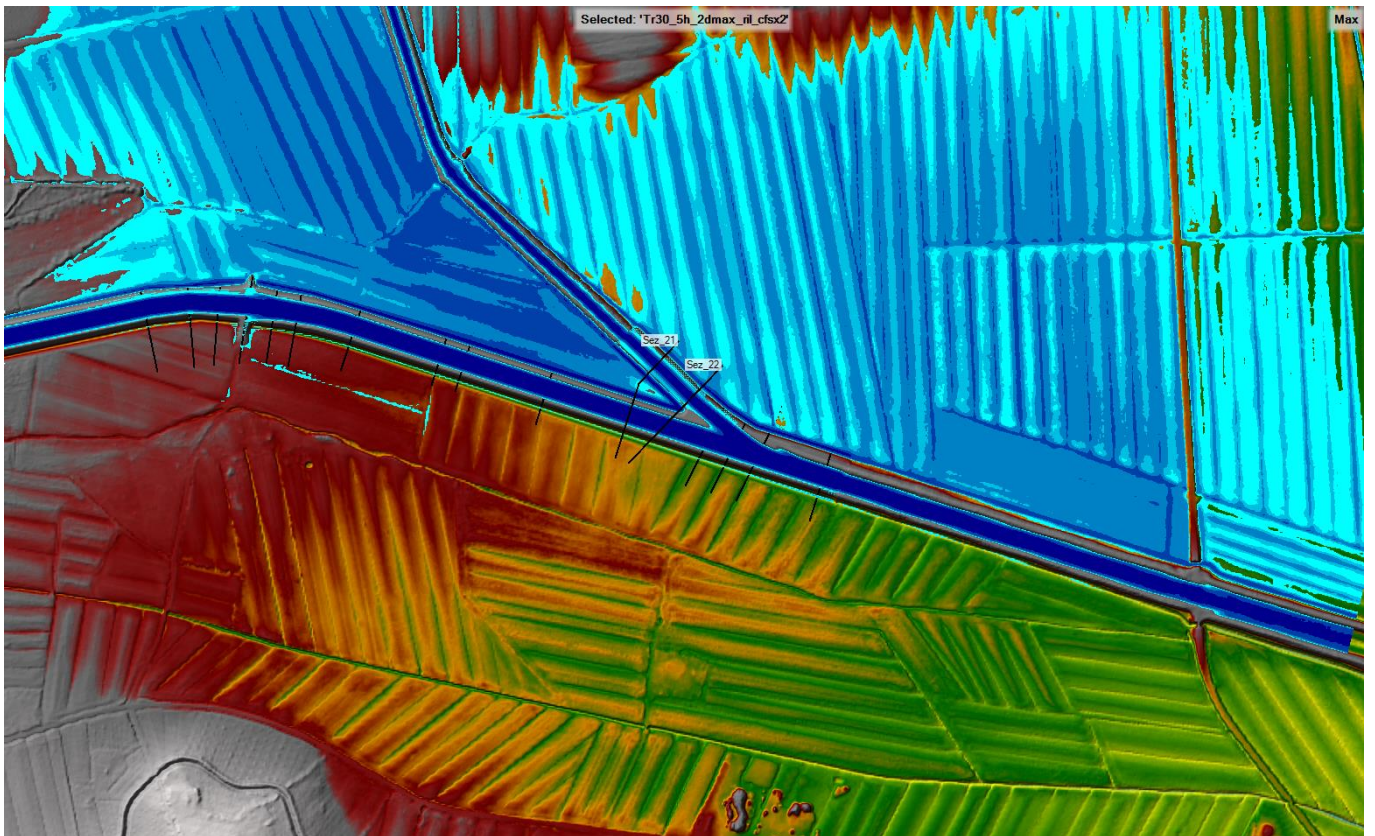


Figura 17 - Inviluppo livelli massimi TR30_5h su sez. 21 e sez. 22

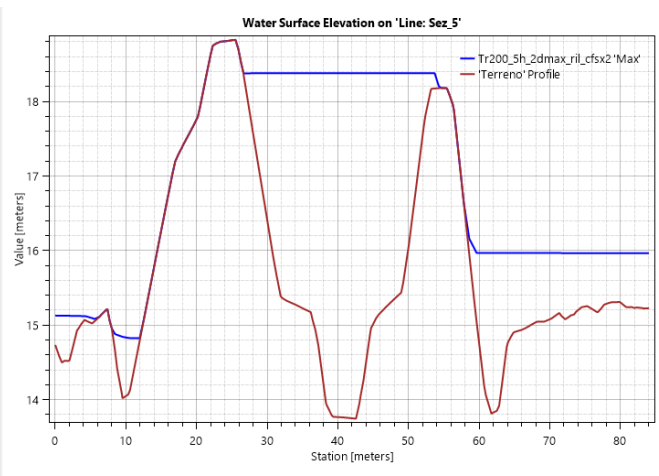
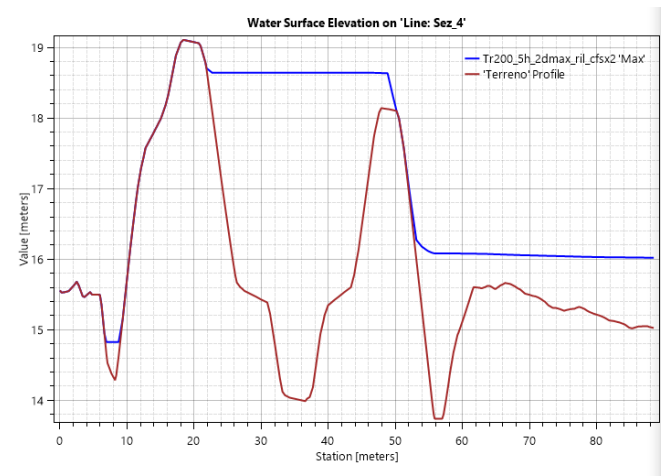
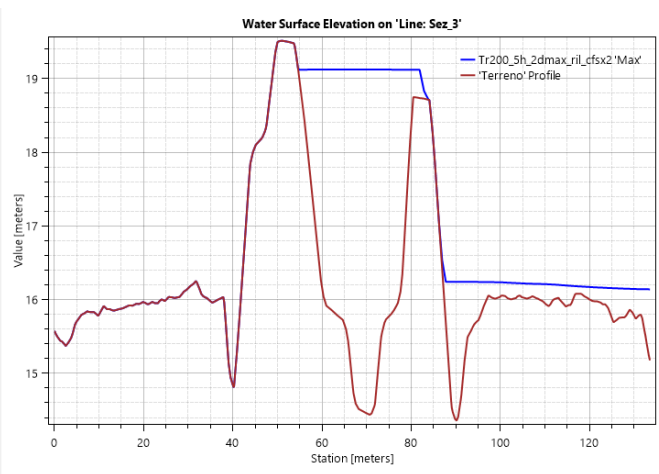
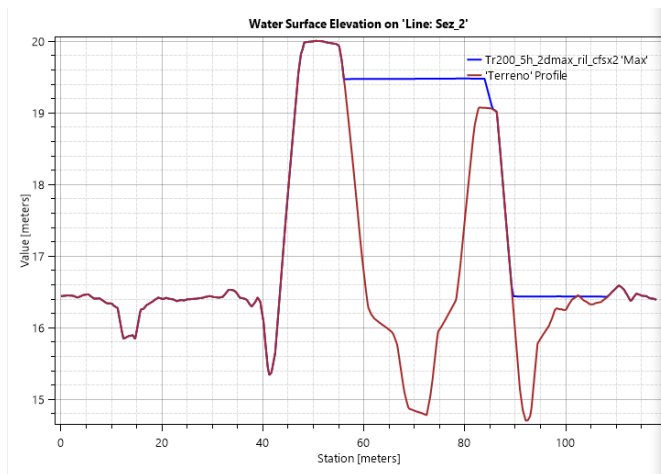
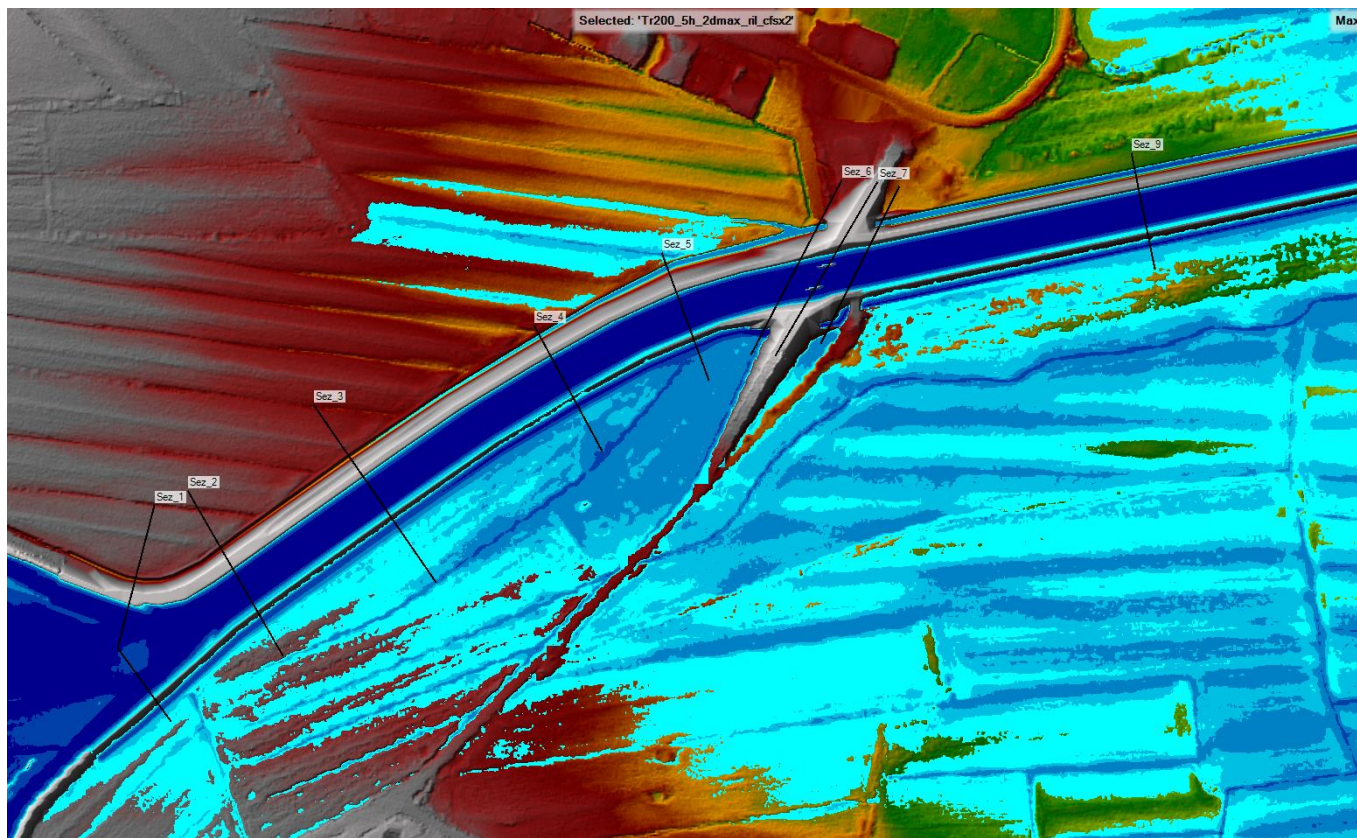


Figura 18 - Involuppo livelli massimi TR200_5h su sez. 2, sez. 3, sez. 4 e sez. 5

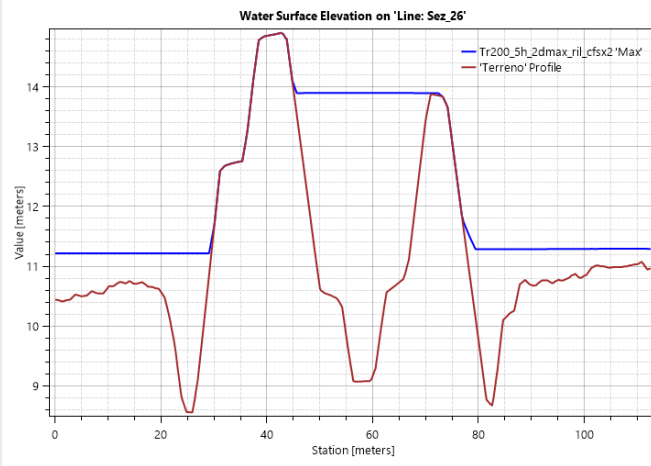
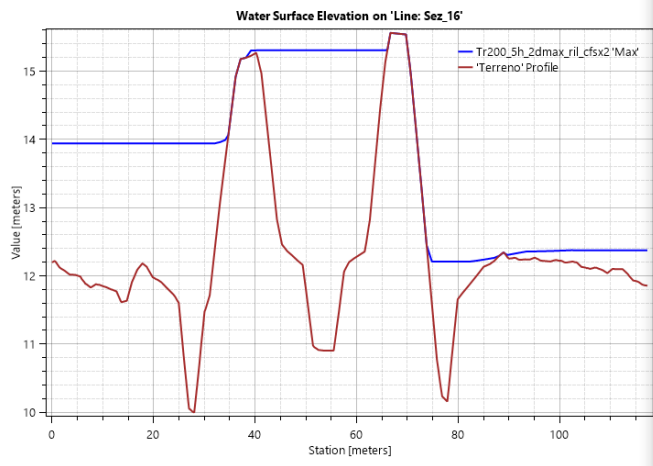
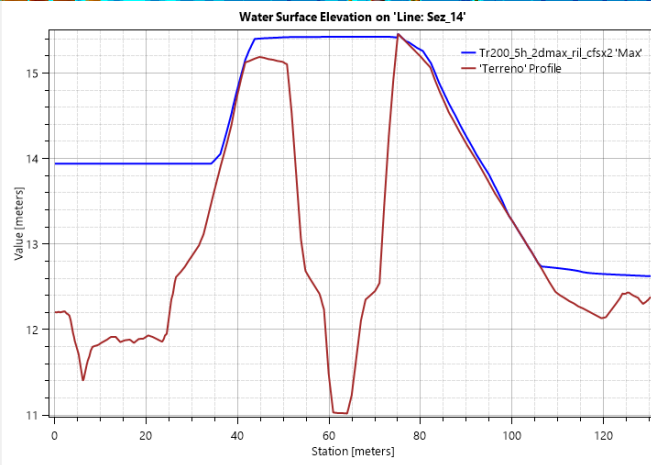
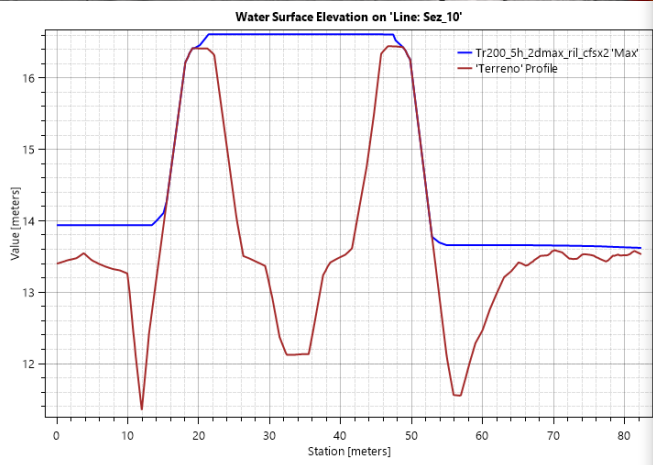
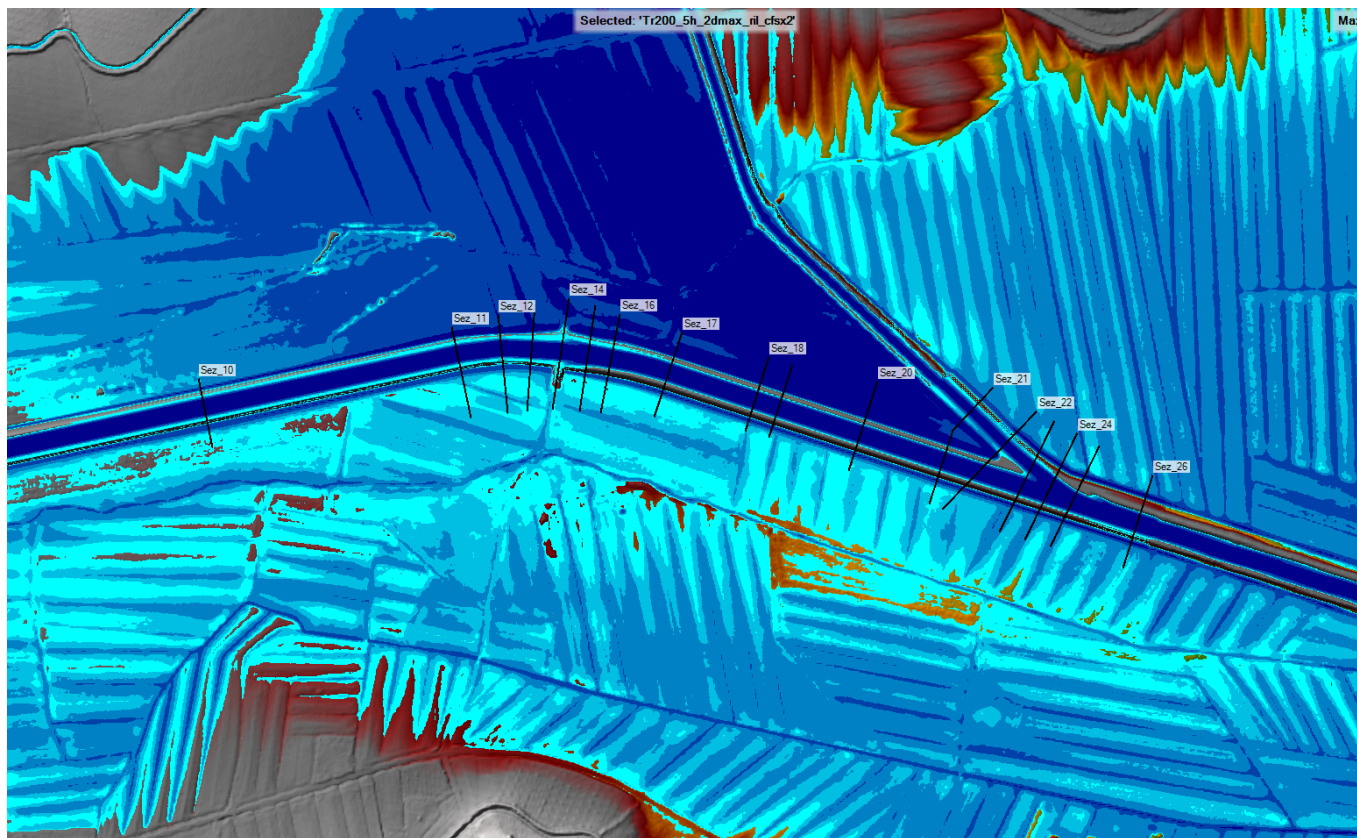


Figura 19 - Inviluppo livelli massimi TR200_5h su sez. 10, sez. 14, sez. 16 e sez. 26

3.3 UTOE Basse di Caldana

3.3.1 Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D

Per l'analisi idraulica è stato elaborato un modello idraulico bidimensionale (1D+2D) a moto vario. La geometria del modello è stata generata secondo i seguenti criteri:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento a sezioni di rilievo topografico, per una più corretta definizione sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate.
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare disponibili per l'area di studio. La rete di calcolo entro l'area bidimensionale è stata definita con una maglia generalizzata di 10 x 10 metri utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.. Inoltre tramite il comando 2D Polygon Mesh Refinement Tool è stata impostata una mesh di calcolo, con una risoluzione diversa rispetto a quella impostata nella fase di creazione della rete di calcolo bidimensionale, per quelle zone dove si rende necessario avere un migliore dettaglio di calcolo come ad esempio lungo gli alvei e nelle aree di esondazione che interessano edifici e strutture in genere, dove è stata definita una mesh di calcolo di 5 x 5 metri.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle lateral structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle lateral structures è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR. Il loro coefficiente di deflusso è pari a 0.30.

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili, per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n . I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato.

Considerando la natura del corso d'acqua, per l'alveo si è adottato un valore pari a 0.035.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione pari rispettivamente a 0.1/0.3.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la già citata tabella di corrispondenza (da R. Pestana et al., 2013).

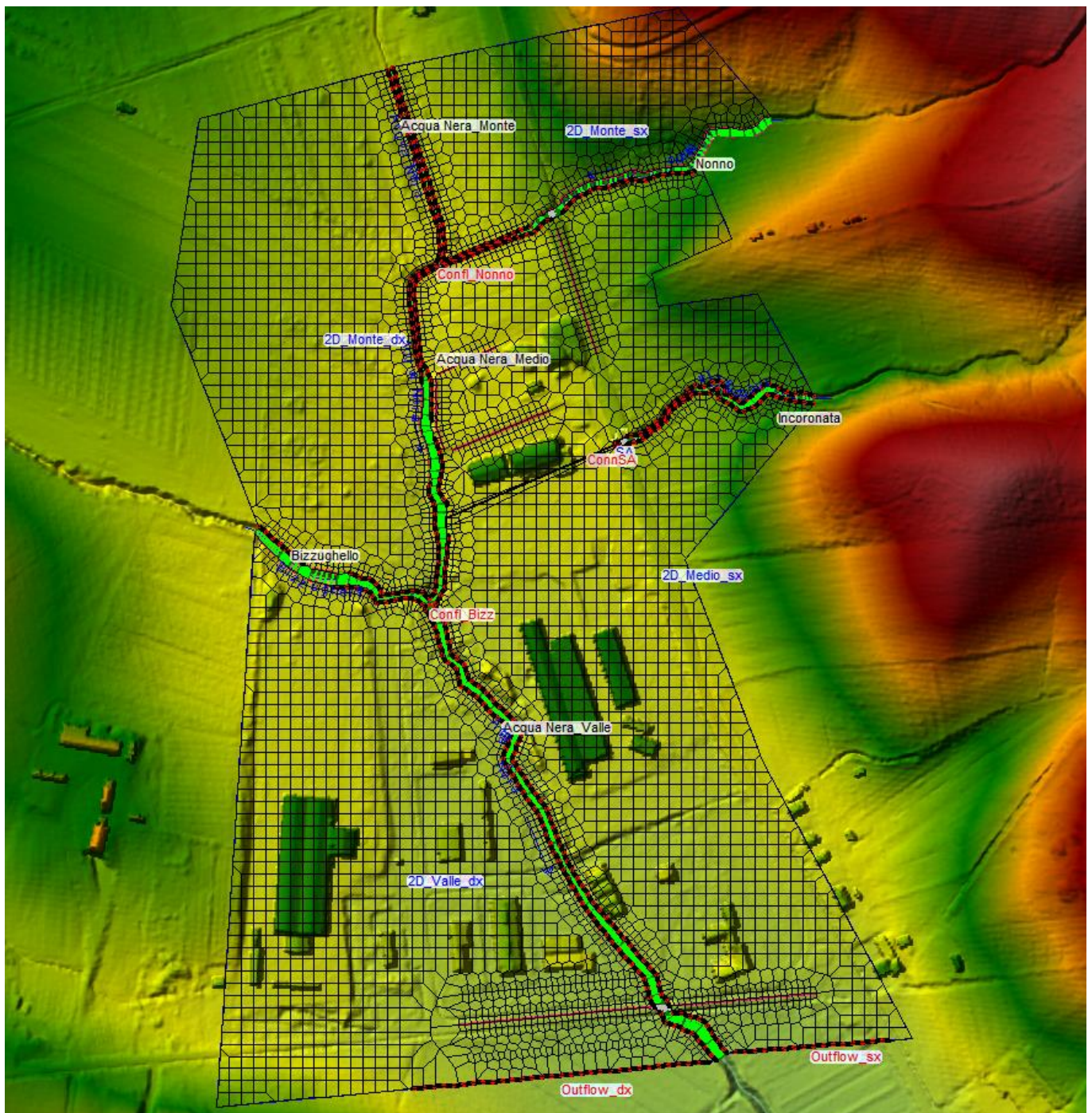


Figura 20 - UTOE Basse di Caldana – Modello 1D+2D - DTM, Mesh di calcolo, Break lines, Refinement Regions, Lateral Structures e Boundary Conditions

Il tratto tombato del Fosso dell'Incoronata è stato simulato tramite: una Storage Area (SA) a valle del tratto a cielo libero del fosso connessa (connSA) con la 2D flow area denominata "2D_Medio_sx" mediante uno sfioratore e connessa al tratto "Acqua Nera_Medio" mediante una lateral structure dotata di culvert di sezione circolare e diametro 1 m.

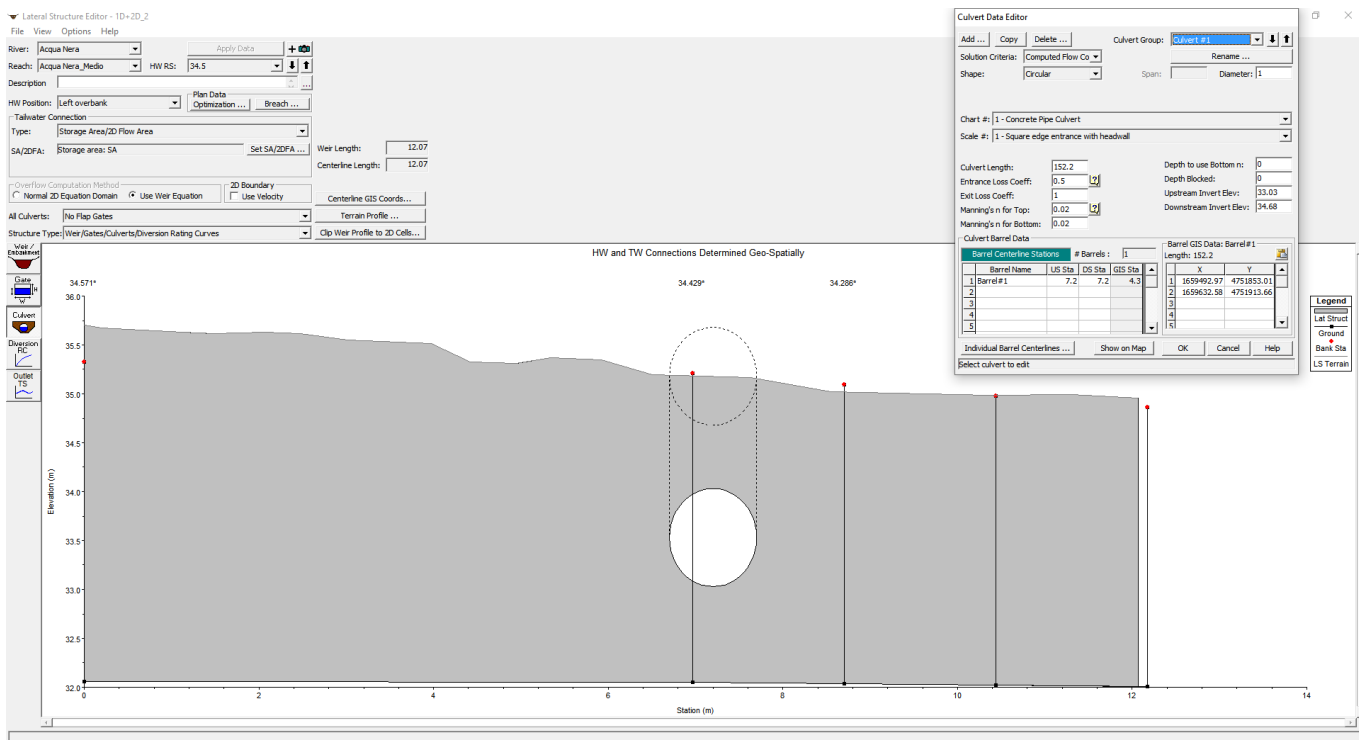


Figura 21 – UTOE Basse di Caldana - Connessione tra Fosso dell'Acqua Nera e Fosso dell'Incoronata tramite lateral structure.

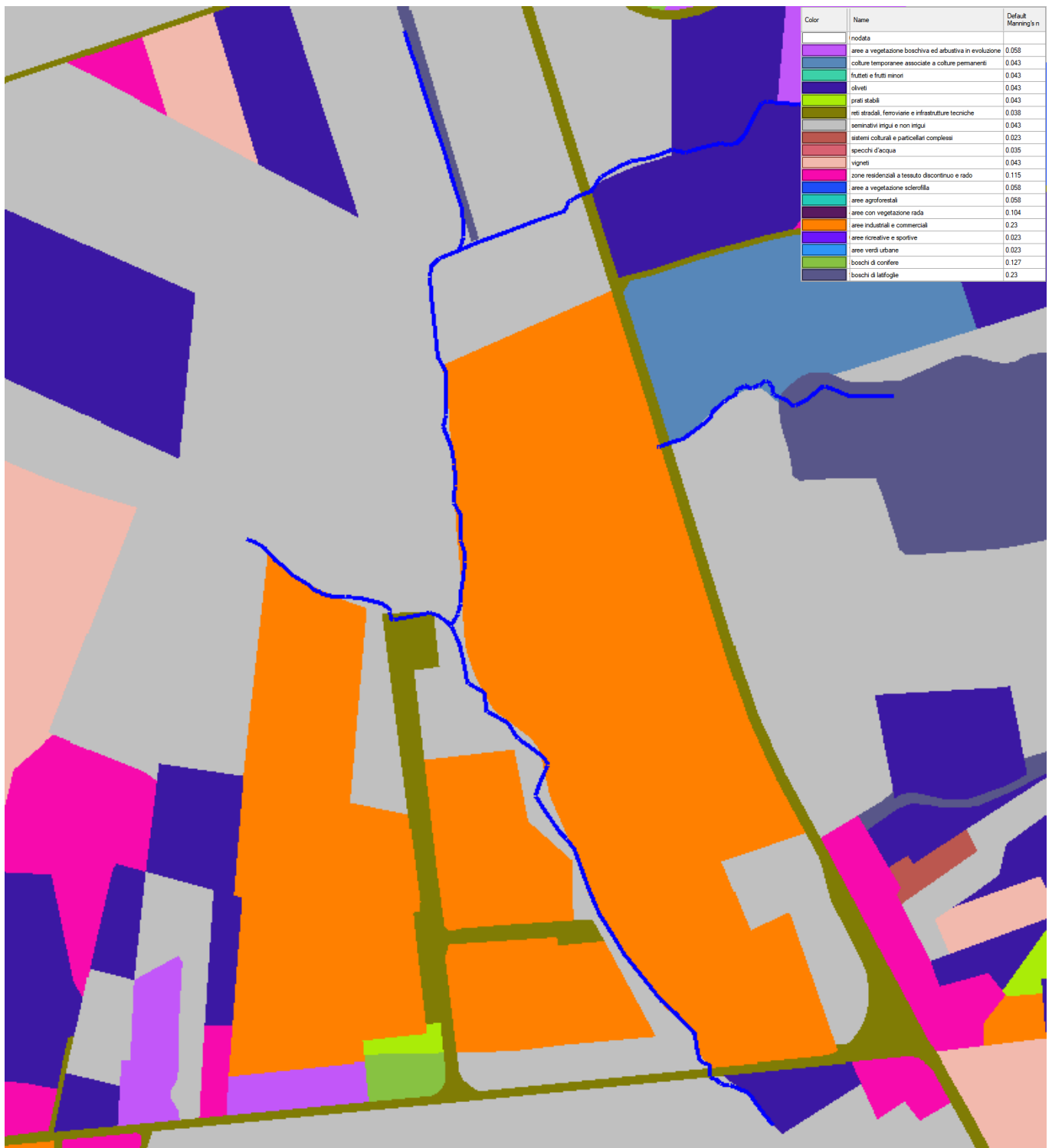


Figura 22 - UTOE Basse di Caldana - Caratterizzazione del dominio di calcolo sulla base dell'uso del suolo – Corine Land Cover

3.3.2 Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena precedentemente calcolati per Tr30 e Tr200 e per eventi pluviometrici di durata 0.5h e 1.5h; quale condizione al contorno in uscita è stata utilizzata una "Normal Depth" pari a 0,013 per il modello 1D, mentre per le outflow delle aree bidimensionali è stata utilizzata una "Normal Depth" pari a 0,015 per "Outflow_sx" e pari a 0.0045 per "Outflow_dx".

3.3.3 Scenari di simulazione e risultati

Gli scenari di simulazione (plan) eseguiti con il software HEC-RAS sono stati i seguenti:

- TR30_0.5h
- TR30_1.5h
- TR200_0.5h
- TR200_1.5h

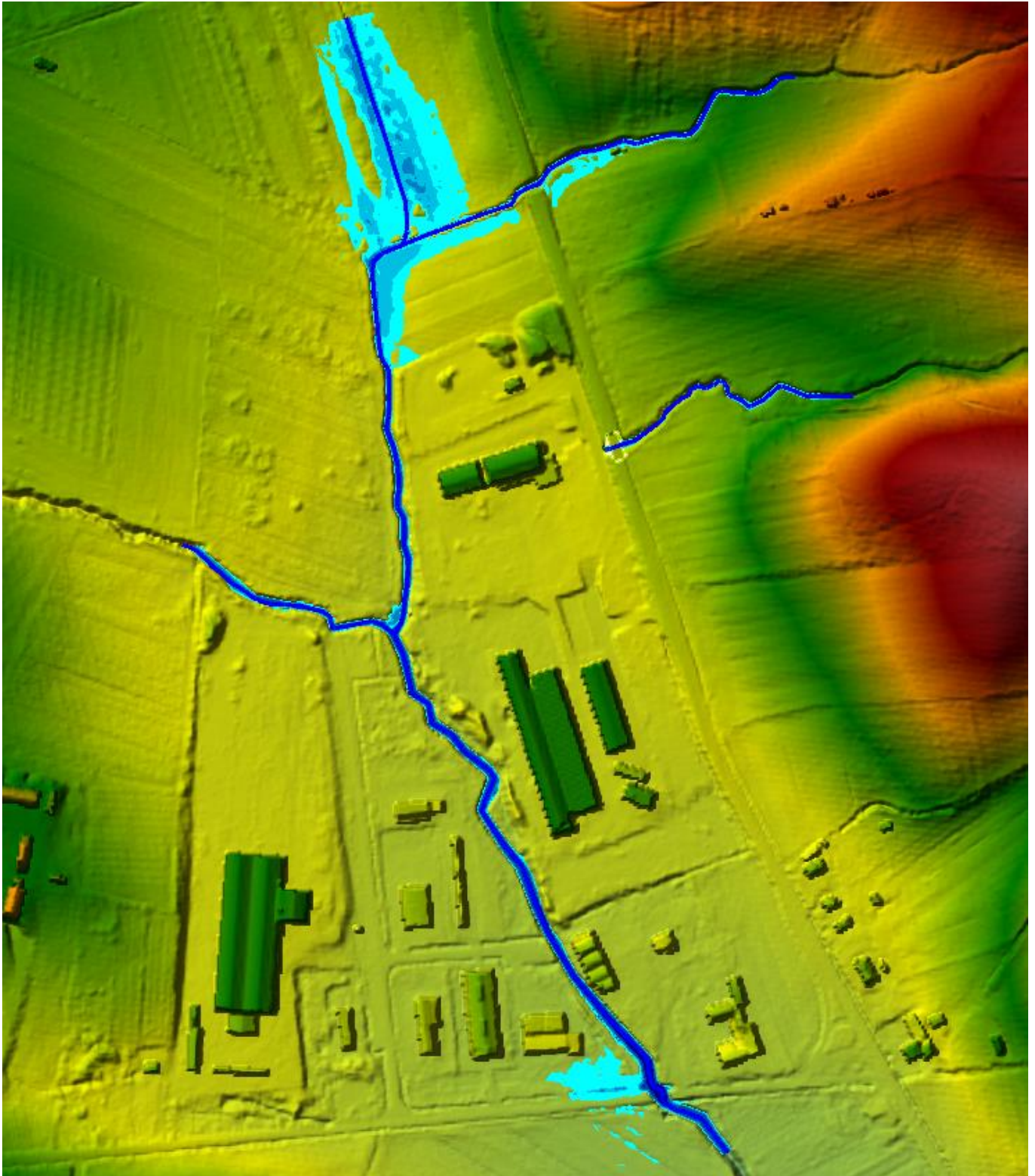


Figura 23 - UTOE Basse di Caldana - TR30_0.5h

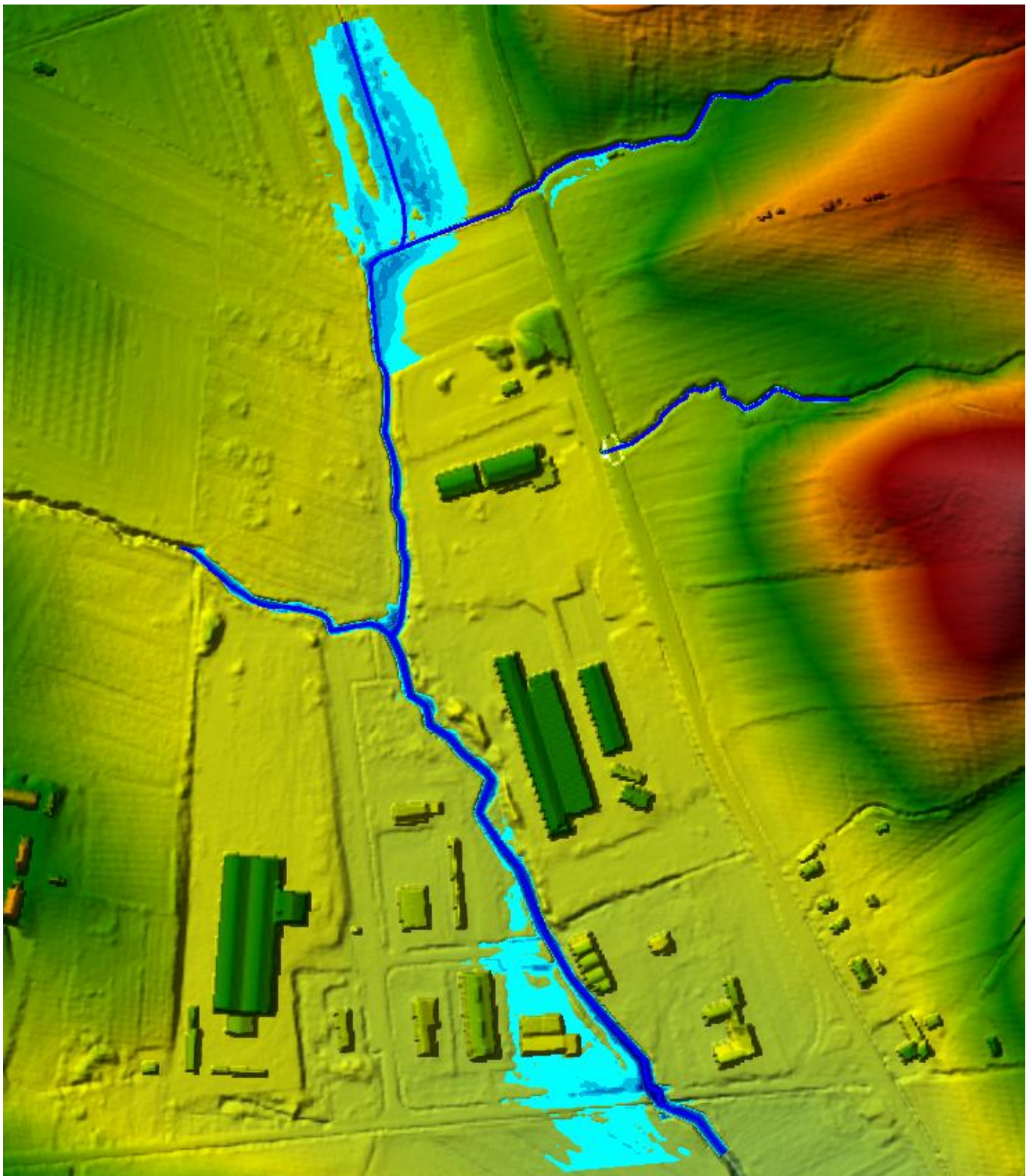


Figura 24 - UTOE Basse di Caldana - TR30_1.5h

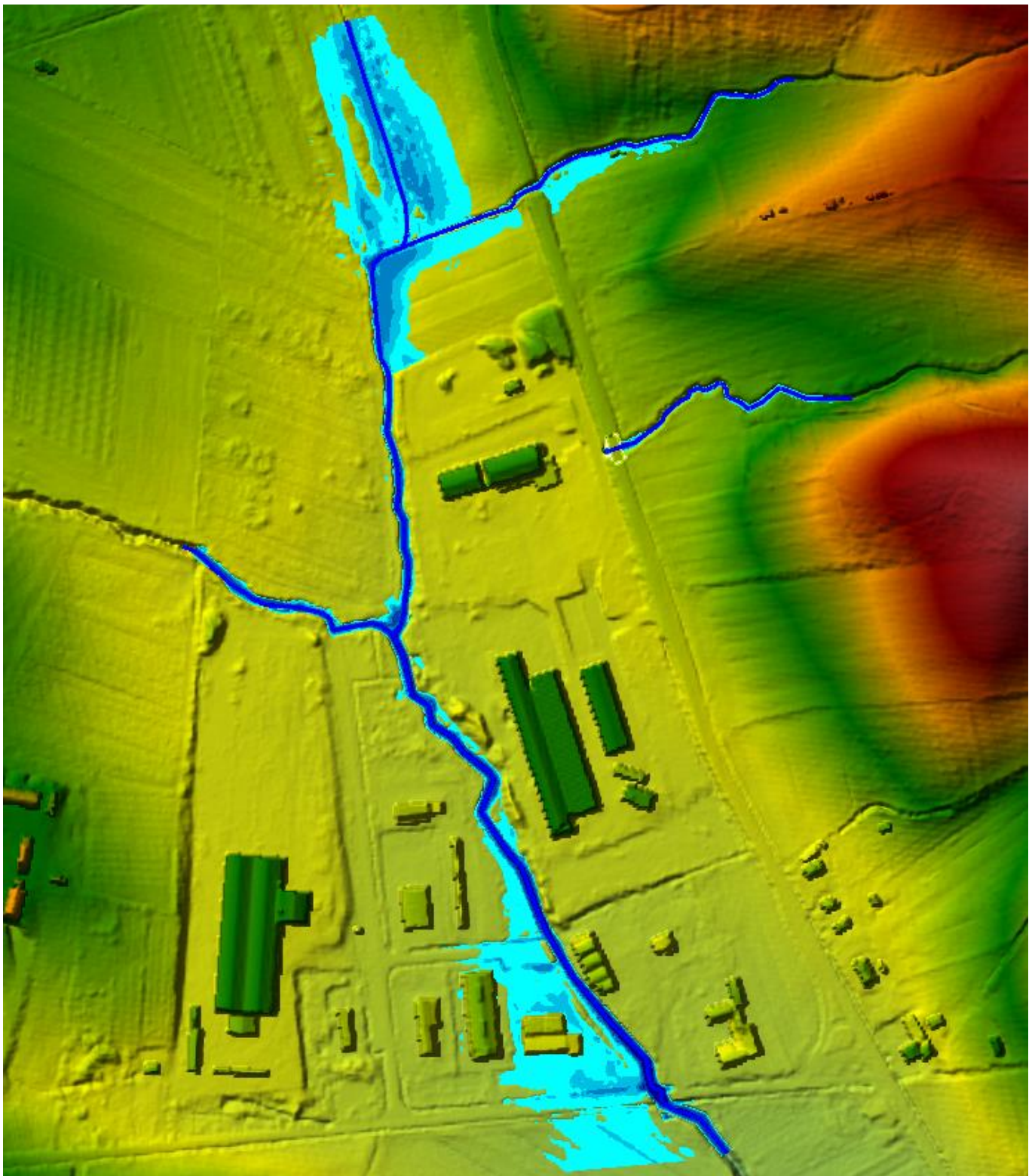


Figura 25 - UTOE Basse di Caldana – TR200_0.5h

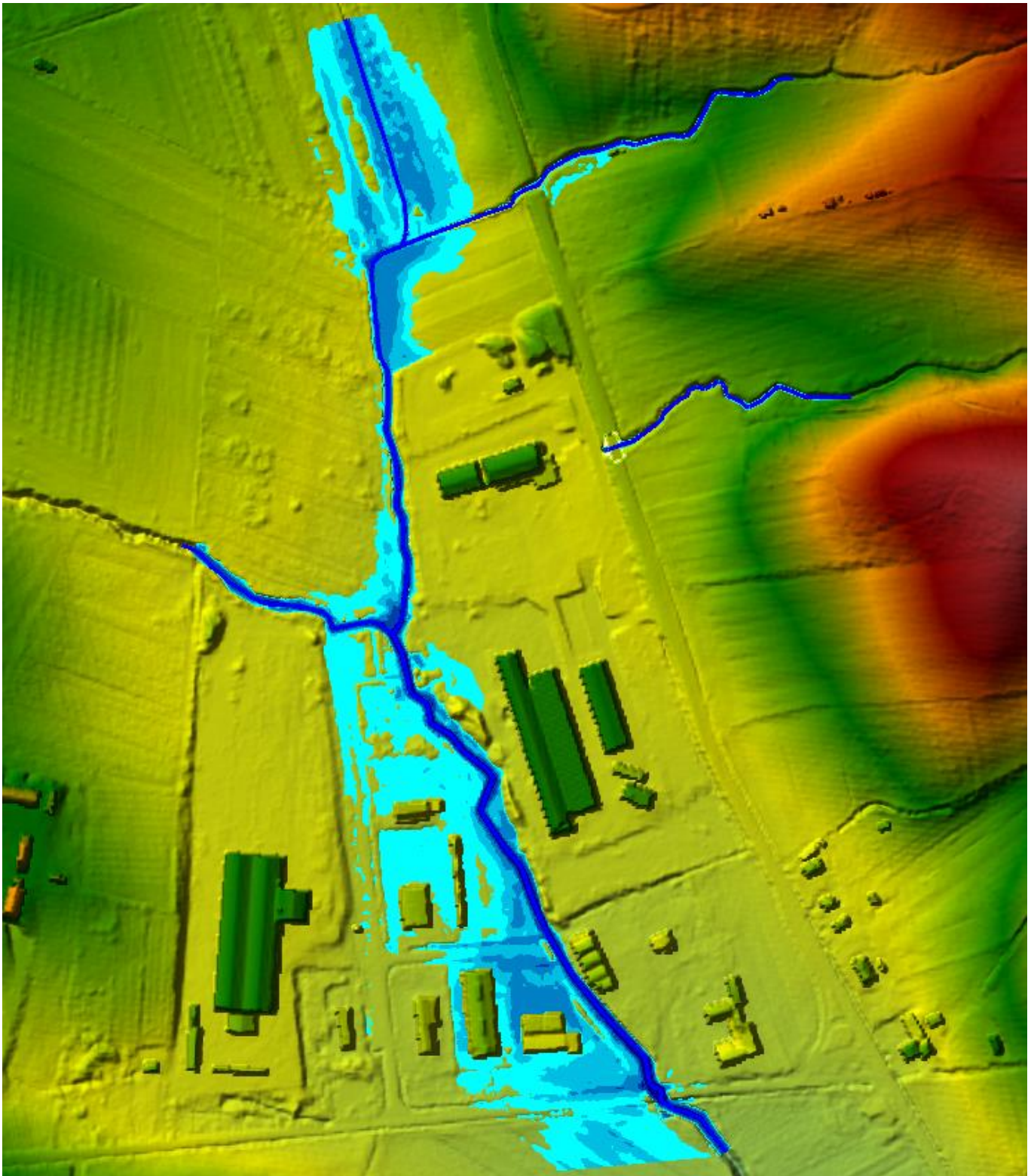


Figura 26 - UTOE Basse di Caldana – TR200_1.5h

Poiché al variare della durata dell'evento le aree risultano diversamente interessate dalle esondazioni, per maggior cautela si è operato andando ad assegnare a ciascun punto del territorio i valori massimi delle grandezze calcolate (battente e velocità).

Per ciascun tempo di ritorno quindi, sono stati elaborati, con l'ausilio del software QGIS, gli involuipi dei massimi dei battenti e delle velocità di esondazione e sono state altresì elaborate le tavole grafiche delle magnitudo sulla base dei criteri di cui alla L.R.T. 41/2018.

Sono stati inoltre prodotti in formato digitale, per Tr30 e Tr200 anni, i file shp delle aree di esondazione, i file raster dei battenti di esondazione ed i file raster delle velocità di deflusso.

Per tempi di ritorno 30 anni si rilevano esondazioni in sinistra idraulica sia a monte che a valle della S.P. 152 Aurelia lungo il Fosso di Nonno; si rilevano esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica del Fosso dell'Acqua Nera a monte della confluenza con il Fosso di Nonno; l'esondazione poi prosegue a valle della confluenza, in sinistra idraulica fino all'area di intervento denominata At. U 5.03, che trovandosi morfologicamente più alta delle aree di monte, di fatto non è interessata da esondazione. Più a valle, si manifestano esondazioni in destra idraulica che interessano l'area del Frantoio San Luigi, a partire dal ponte sulla S.P. 82 Gavorrinese, che di fatto risulta insufficiente a smaltire anche le portate con Tr30 anni.

Per tempi di ritorno 200 anni, nella parte a nord dell'area denominata At. U 5.03, si confermano le stesse dinamiche rilevate per Tr30 anni ma ovviamente con un incremento dei battenti. Si rilevano a partire dalla sez. 36 del Fosso dell'Acqua Nera, insufficienze delle sezioni idrauliche in sponda destra con conseguenti esondazioni nell'area a monte della confluenza con il Fosso Bizzughello alimentate anche da quest'ultimo a partire dalla sez. 10. Le sezioni idrauliche del Fosso Bizzughello risultano poi insufficienti anche in sponda destra a partire dalla sez. 8 e fino alla confluenza con il Fosso dell'Acqua Nera, andando quindi a generare aree di esondazione nell'area posta in destra del Fosso dell'Acqua Nera a valle della confluenza. Quest'ultima area risulta poi ulteriormente alimentata dalle esondazioni del Fosso dell'Acqua Nera a partire dalla sez.25 fino al ponte sulla S.P. 82 Gavorrinese interessando ulteriori lotti anche edificati della zona industriale.

3.4 UTOE I Forni

3.4.1 Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D

Per l'analisi idraulica è stato elaborato un modello idraulico bidimensionale (1D+2D) a moto vario. La geometria del modello è stata generata secondo i seguenti criteri:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento a sezioni di rilievo topografico, per una più corretta definizione sono state utilizzate anche delle sezioni interpolate, generate da HEC-RAS a partire dalle sezioni rilevate.
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare disponibili per l'area di studio. La rete di calcolo entro l'area bidimensionale è stata definita con una maglia generalizzata di 10 x 10 metri utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.. Inoltre tramite il comando 2D Polygon Mesh Refinement Tool è stata impostata una mesh di calcolo, con una risoluzione diversa rispetto a quella impostata nella fase di creazione della rete di calcolo bidimensionale, per quelle zone dove si rende necessario avere un migliore dettaglio di calcolo come ad esempio lungo gli alvei e nelle aree di esondazione che interessano edifici e strutture in genere, dove è stata definita una mesh di calcolo di 3 x 3 metri.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle lateral structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle lateral structures è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR. Il loro coefficiente di deflusso è pari a 0.30.

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati avvalendosi del confronto tra le caratteristiche dei tratti in esame ed altri corsi d'acqua di caratteristiche di scabrezza simili, per cui si hanno a disposizione misure di taratura di n . I valori adottati sono riportati nelle sezioni RAS in allegato.

Considerando la natura del corso d'acqua, per l'alveo si è adottato un valore pari a 0.035.

Sono stati inoltre assegnati coefficienti di perdita concentrata per contrazione/espansione pari rispettivamente a 0.1/0.3.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la già citata tabella di corrispondenza (da R. Pestana et al., 2013).

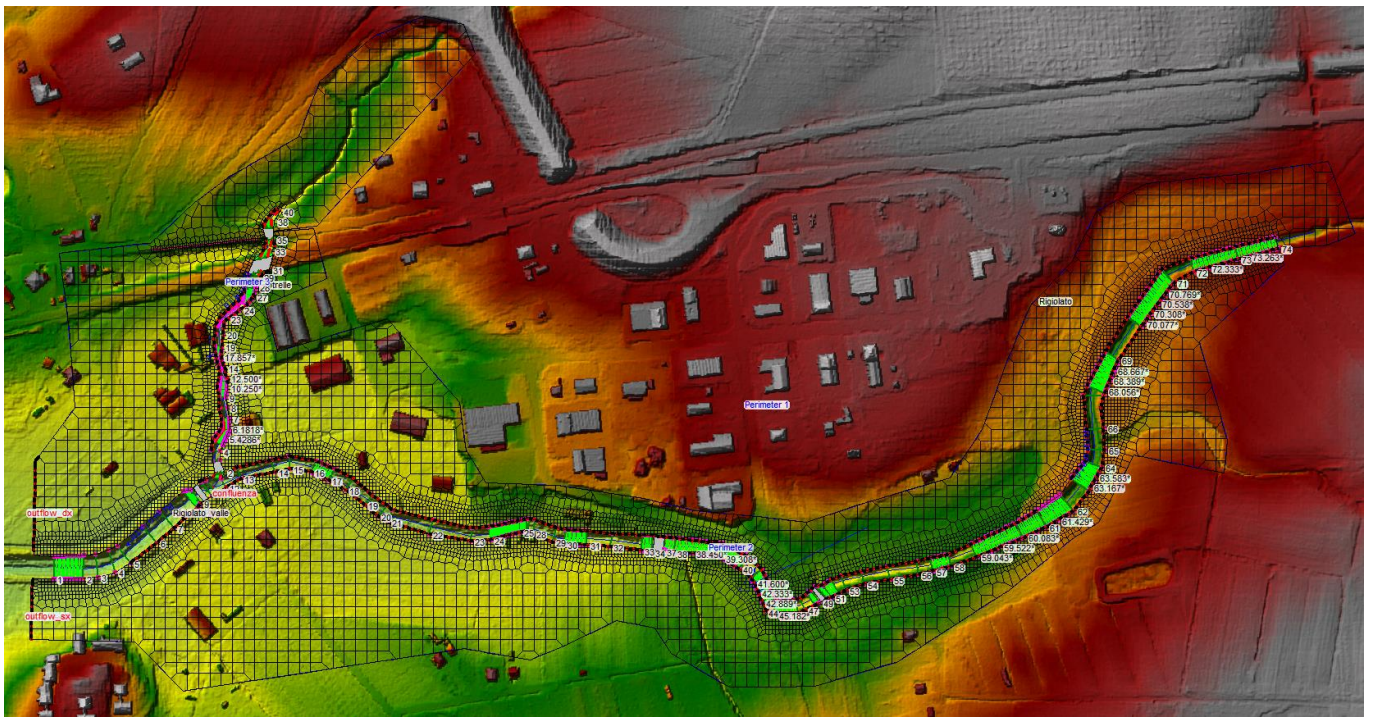


Figura 27 - UTOE I Forni – Modello 1D+2D - DTM, Mesh di calcolo, Break lines, Refinement Regions, Lateral Structures e Boundary Conditions



Figura 28 - UTOE I Forni - Caratterizzazione del dominio di calcolo sulla base dell'uso del suolo – Corine Land Cover

3.4.2 Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena precedentemente calcolati per Tr30 e Tr200 e per eventi pluviometrici di durata 1h e 2h; quale condizione al contorno in uscita è stata utilizzata una "Normal Depth" pari a 0,007 per il modello 1D, mentre per le outflow delle aree bidimensionali è stata utilizzata una "Normal Depth" pari a 0,02.

3.4.3 Scenari di simulazione e risultati

Gli scenari di simulazione (plan) eseguiti con il software HEC-RAS sono stati i seguenti:

- TR30_1h
- TR30_2h
- TR200_1h
- TR200_2h

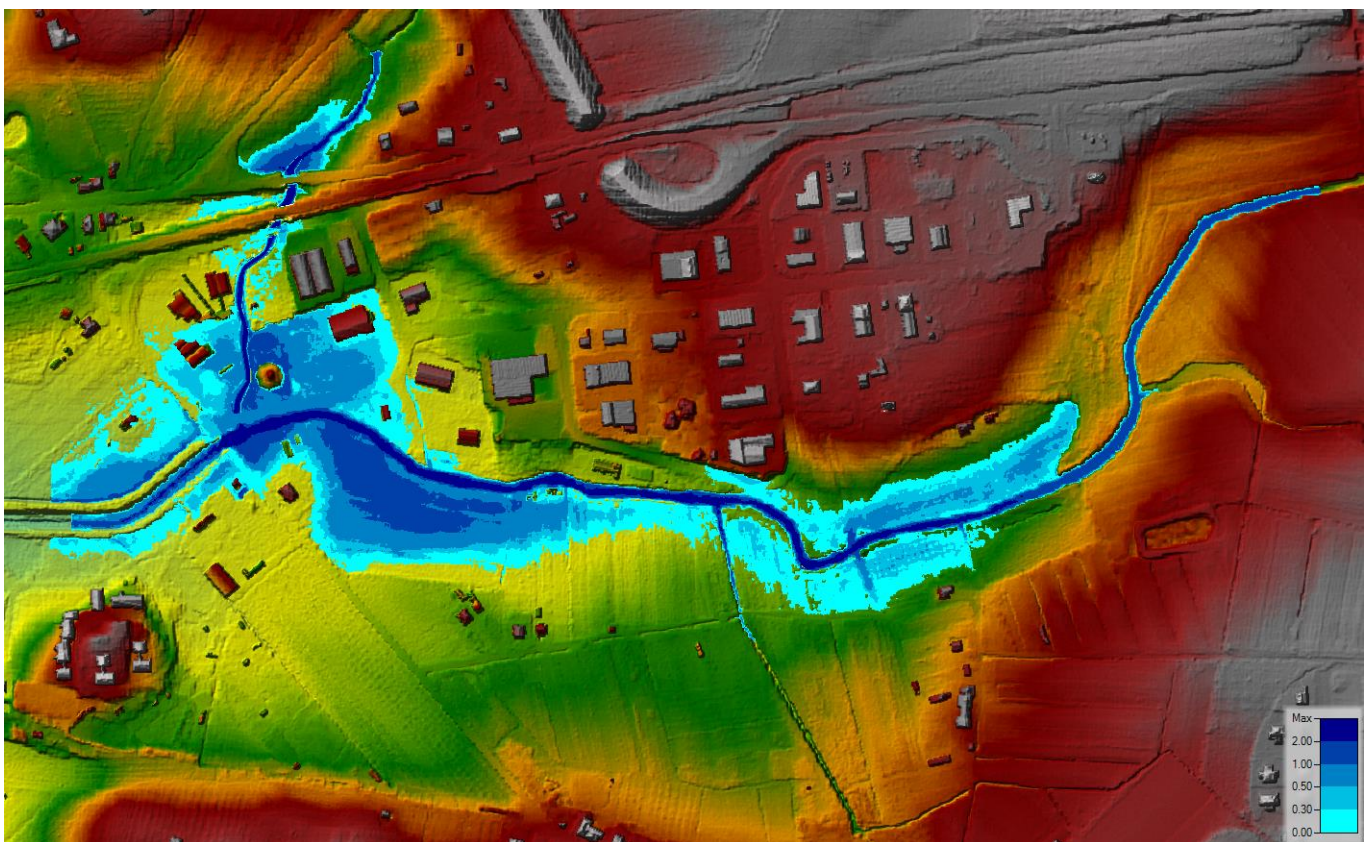


Figura 29 - UTOE I Forni - TR30_1h

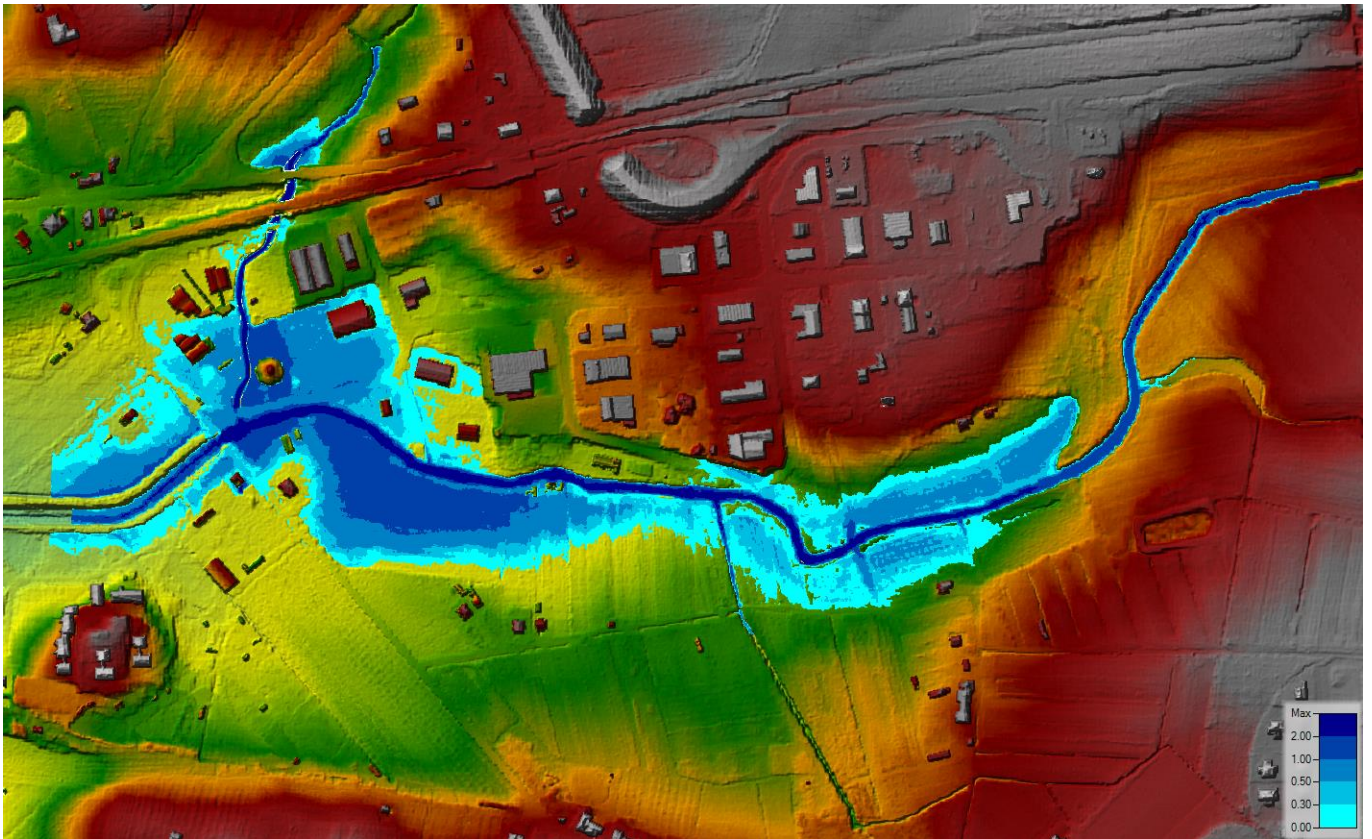


Figura 30 - UTOE I Forni - TR30_2h

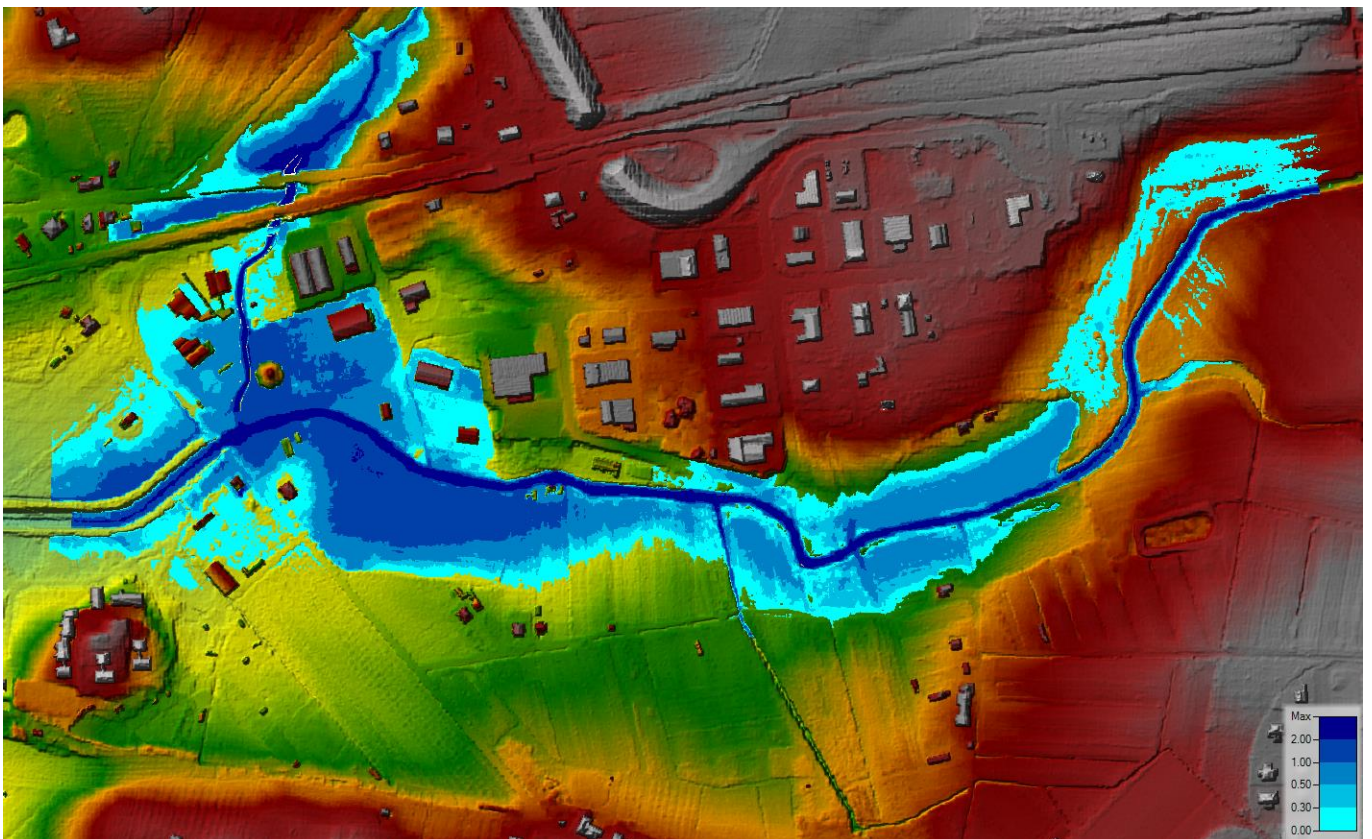


Figura 31 - UTOE I Forni - TR200_1h

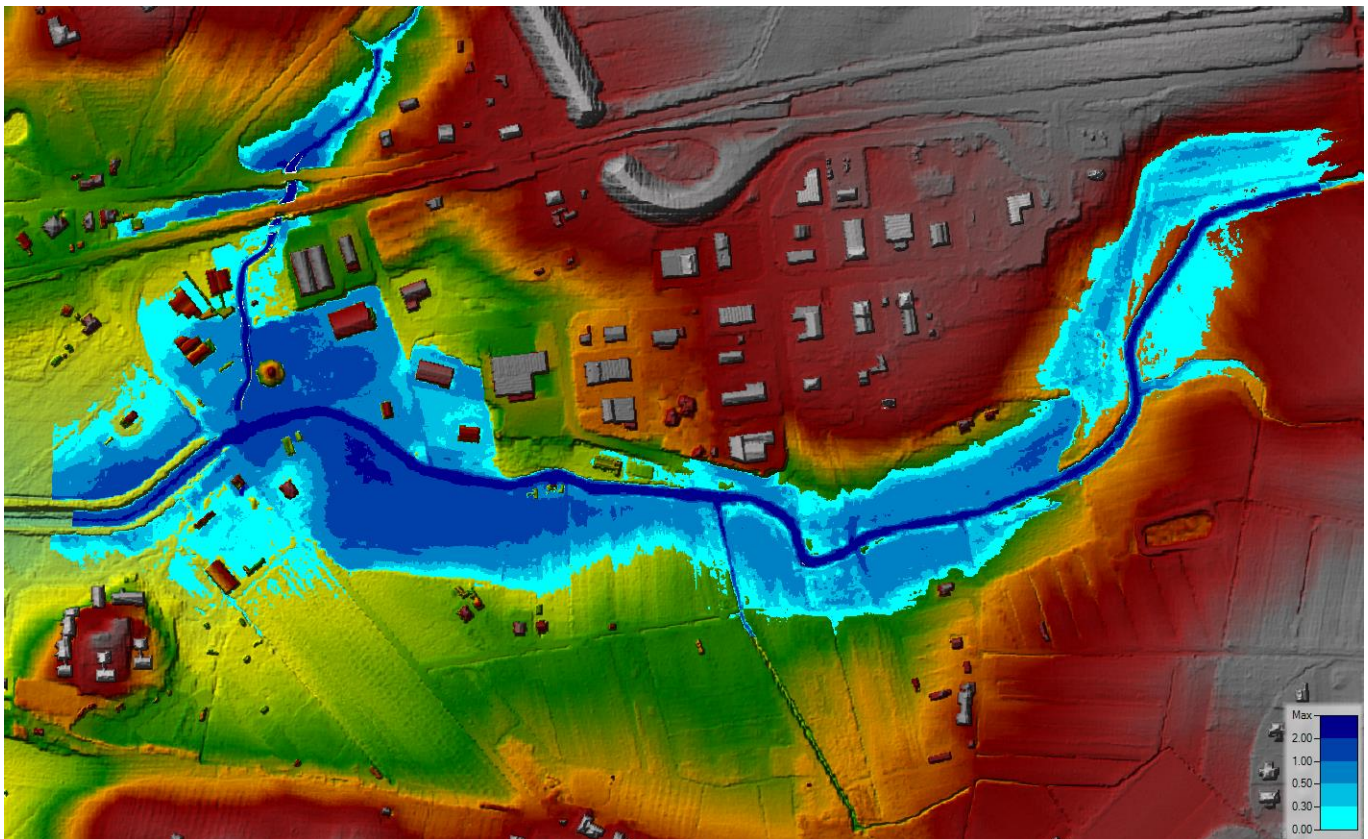


Figura 32 - UTOE I Forni - TR200_2h

Poiché al variare della durata dell'evento le aree risultano diversamente interessate dalle esondazioni, per maggior cautela si è operato andando ad assegnare a ciascun punto del territorio i valori massimi delle grandezze calcolate (battente e velocità).

Per ciascun tempo di ritorno quindi, sono stati elaborati, con l'ausilio del software QGIS, gli involuipi dei massimi dei battenti e delle velocità di esondazione e sono state altresì elaborate le tavole grafiche delle magnitudo sulla base dei criteri di cui alla L.R.T. 41/2018.

Sono stati inoltre prodotti in formato digitale, per Tr30 e Tr200 anni, i file shp delle aree di esondazione, i file raster dei battenti di esondazione ed i file raster delle velocità di deflusso.

Il Fosso Botrelle è interessato, nel tratto studiato, da quattro attraversamenti, che già per tempi di ritorno 30 anni, determinano profili di rigurgito che, associati ad insufficienze delle sezioni idrauliche, determinano diffuse esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica. In particolare i due attraversamenti posti più a valle, di cui uno prossimo alla confluenza con il Fosso Rigiolato, risultano completamente sormontati già per Tr 30 anni. Per il Fosso Rigiolato si rilevano leggere insufficienze delle sezioni idrauliche per Tr 200 anni già nelle sezioni iniziali del modello (da sez. 74 a sez. 68) che determinano aree di esondazione sia in destra che in sinistra idraulica; per lo stesso tratto invece non si rilevano criticità per Tr30 anni.

A partire dalla sez. 60 si rilevano insufficienze delle sezioni idrauliche soprattutto in destra idraulica anche per Tr30 anni fino al tratto prospiciente il depuratore (da sez. 34 a sez. 23) dove la sponda destra risulta più alta della sponda sinistra, anche per la presenza di una protezione in gabbioni metallici, dove non si rilevano esondazioni. A valle di questo tratto le sezioni risultano insufficienti sia in sinistra che in destra idraulica fino ad arrivare al ponte su Via della Pirite, il cui impalcato risulta completamente sormontato dai livelli di piena con Tr30

anni. Di fatto l'edificato che si sviluppa intorno al Fosso Botrelle e lungo il Fosso Rigiolato in prossimità della confluenza tra i due corsi d'acqua risulta interessato da esondazioni sia per Tr30 anni che Tr200 anni.

3.5 UTOE Potassa

I due corsi d'acqua studiati per l'UTOE Potassa drenano piccoli bacini posti a sud dell'abitato e sono intubati in corrispondenza dell'ingresso nell'abitato stesso a sud est.

Il fosso Senza Nome 1, quello più ad est, ha una sezione di imbocco rettangolare (130 x 95 cm) mentre il fosso Senza Nome 2 ha una sezione di imbocco circolare (diametro 60 cm). Dopo il primo tratto tombato, il F. Senza Nome 1 si immette lungo la cunetta stradale al di sotto di un tratto anch'esso tombato in corrispondenza di accessi carrabili, dopodiché percorre un tratto di cunetta a cielo aperto di circa 75 m per poi essere nuovamente tombato. Il F. Senza Nome 2 si immette anch'esso nella cunetta stradale tombata a valle del tratto a cielo aperto di circa 75 m anzidetto e di fatto risulta sempre tombato attraversando giardini e proprietà private nel percorso dalla sezione di imbocco posta a monte dell'abitato fino alla cunetta stradale. Di fatto il reticolo idrografico nell'abitato è assimilabile ad una fognatura urbana.

Questa condizione ha reso di fatto difficoltosa la determinazione delle caratteristiche geometriche dei tratti intubati.

Date le caratteristiche dei corsi d'acqua in esame, le condizioni di rischio per l'abitato di Potassa possono essere indotte essenzialmente da eventuali insufficienze degli imbocchi dei tratti tombati, con conseguenti esondazioni delle acque di piena sul piano campagna. Considerando il fatto che tali corsi d'acqua sono privi di qualsiasi manutenzione, le insufficienze possono anche essere indotte da occlusioni degli imbocchi dei tratti intubati, nel corso di eventi di piena e di tale aspetto si è tenuto conto in fase di modellazione idraulica.

Per la valutazione del grado di occlusione degli imbocchi, in assenza di indicazioni normative italiane, si è fatto riferimento alla pubblicazione "Australian Rainfall and Runoff (AR&R) – Project 11: Blockage of Hydraulic Structures".

In tale pubblicazione vengono individuate due tipologie di ostruzioni:

- Design blockage (ostruzione di progetto): si riferisce alle condizioni di ostruzione più probabili che ci si può aspettare che si verifichino durante un evento pluviometrico di progetto di data frequenza.
- Severe blockage (ostruzione grave): si riferisce alla condizione di ostruzione rara che viene considerata possibile durante la vita di progetto di una data struttura, durante un evento eccezionale ma che è improbabile che si verifichi frequentemente.

Il verificarsi dell'occlusione della struttura idraulica dipende dalla combinazione dei seguenti fattori:

- Debris availability: presenza di particolari tipi di detriti all'interno del bacino.
- Debris mobility: processo mediante il quale i detriti vengono inizialmente mobilitati.
- Debris transportability: processo mediante il quale i detriti vengono trasportati lungo il corso d'acqua verso la struttura.

La presenza di detriti è fortemente correlata all'utilizzo del territorio, la mobilitazione e il trasporto di tali detriti può essere collegato ad esempio alla pendenza del bacino ed al tempo di ritorno delle portate di progetto. Di seguito si riporta un estratto dalla pubblicazione "AR&R - Project 11: Blockage of Hydraulic Structures" sui fattori che influenzano i fenomeni di occlusione delle strutture idrauliche.

Table 2.3 Summary of factors influencing debris blockage potential at a structure

Debris Type	Factors Influencing Debris Potential		
	Availability	Mobility	Transportability
Leaves	Degree of tree cover Density and location of deciduous trees Frequency of street sweeping	Severity of winds Seasonal factors relating to leaf fall from deciduous trees	Stream Power Gradient of watercourse Waterway width and depth relative to material dimensions for floating debris Bed and bank irregularity for non-floating debris
Grass and garden mulch	Percentage grass cover Collection of grass clipping following mowing	Shear stress of overland flow	
Reeds and other aquatic vegetation	Regional factors relating to growth opportunities, including annual rainfall and canopy cover of the upstream waterway	Shear stress of in-bank flow Frequency of bankfull flows	
Woody matter	Density of riparian tree cover	Severity of winds Stability of waterway channel (often related to changes in catchment hydrology) Severity of flood event	
Litter	Land use (residential, sporting, recreational and commercial) Degree of building activities Regional factors Frequency of street sweeping	Severity of winds Shear stress of overland flow	
Building debris	Extent and control of building activities Land use (commercial)	Severity of winds Shear stress of overland flow Inundation of floodplain	
Sediment	Extent and control of building and construction activities Geology of watercourse Degree of sediment control measures	ARI of flood event Stability of waterway channel (often related to changes in catchment hydrology)	
Rocks and boulders	Geology of watercourse Gradient of watercourse Stream power	ARI of flood event Landslips and landslides Stability of waterway channel (including natural channel migration)	
Urban debris	Land use (car parks) Population (car) density Density of buildings within floodplain	Inundation of floodplain Depth of flooding Velocity of flood flows	

Figura 33 - Tabella 2.3 estratta da AR&R - Project 11: Blockage of Hydraulic Structures. Fattori che influenzano l'occlusione di una struttura

La stima del grado di occlusione è lasciata alle valutazioni essenzialmente qualitative del tecnico. Alcune indicazioni sono riportate nella tabella seguente.

Table 7.1: Suggested 'Design' and 'Severe' Blockage Conditions for Various Structures

Type of structure		Blockage conditions	
		Design blockage	Severe blockage
Sag kerb inlets	Kerb slot inlet only	0/20%	100% (all cases)
	Grated inlet only	0/50%	
	Combined inlets	[1]	
On-grade kerb inlets	Kerb slot inlet only	0/20%	100% (all cases)
	Grated inlet only (longitudinal bars)	0/40%	
	Grated inlet only (transverse bars)	0/50%	
	Combined inlets	[2]	
Field (drop) inlets	Flush mounted	0/80%	100% (all cases)
	Elevated (pill box) horizontal grate	0/50%	
	Dome screen	0/50%	
Pipe inlets and waterway culverts	<i>Inlet height < 3 m, or width < 5 m:</i>		100% [4]
	Inlet	0/20%	
	Chamber (culverts)	[3]	
	<i>Inlet height > 3 m and width > 5 m:</i>		25% [3]
	Inlet	0/10%	
	Chamber (culverts)	[3]	
Culverts and pipe inlets with <u>effective</u> debris control features		As above	As above
Screened pipe and culvert inlets		0/50%	100%
Bridges	Clear opening height < 3 m	[5]	100%
	Clear opening height > 3 m	0%	[6]
	Central piers	[7]	[7]
Solid handrails and traffic barriers associated with bridges and culverts		100%	100%
Fencing across overland flow paths		[8]	100%
Screened stormwater outlets		100%	100%

- [1] At a sag, the capacity of a combination inlet (kerb inlet with grate) should be taken to be the theoretical capacity of the kerb opening with 100% blockage of the grate.
- [2] On a continuous grade the capacity of a combination inlet should be taken to be 90% of the combined theoretical zero-blockage capacity of the grate plus kerb opening.
- [3] Adopt 25% bottom-up sediment blockage unless such blockage is unlikely to occur.
- [4] Degree of blockage depends on availability of suitable 'bridging' matter. If a wide range of bridging matter is available within the catchment, such as large branches and fallen trees, then 100% blockage is possible for such culverts.
- [5] Typical event blockage depends on risk of debris rafts and large floating debris.
- [6] Blockage considerations are normally managed by assuming 100% blockage of handrails and traffic barriers, plus expected debris matter wrapped around central piers.
- [7] Typical event blockage depends on risk of debris wrapped around central piers. The larger the piers, the lower the risk normally associated with debris wrapped around piers.
- [8] Typically 50 to 100% blockage depending on debris availability.

Figura 34 - Tabella 7.1 estratta da AR&R - Project 11: Blockage of Hydraulic Structures. Condizioni di occlusione suggerite

In considerazione delle indicazioni sopra riportate per il caso in esame si è scelto di considerare per eventi trentennali la presenza di condizioni di design blockage, con grado di occlusione pari al 20% dell'area di imbocco, e per eventi duecentennali la presenza di condizioni di severe blockage con occlusione pari al 100% dell'area di imbocco.

3.5.1 Caratteristiche geometriche e parametri di scabrezza aree di calcolo 2D

Per la valutazione delle esondazioni dovute ai due fossi, date le caratteristiche dei due corsi d'acqua, è stato implementato un modello esclusivamente bidimensionale.

Le caratteristiche topografiche dell'area bidimensionale sono state desunte dal DTM generato dai dati LIDAR della Regione Toscana e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare disponibili per l'area di studio, integrati da un rilievo topografico di dettaglio dei due fossi nei tratti non tombati.

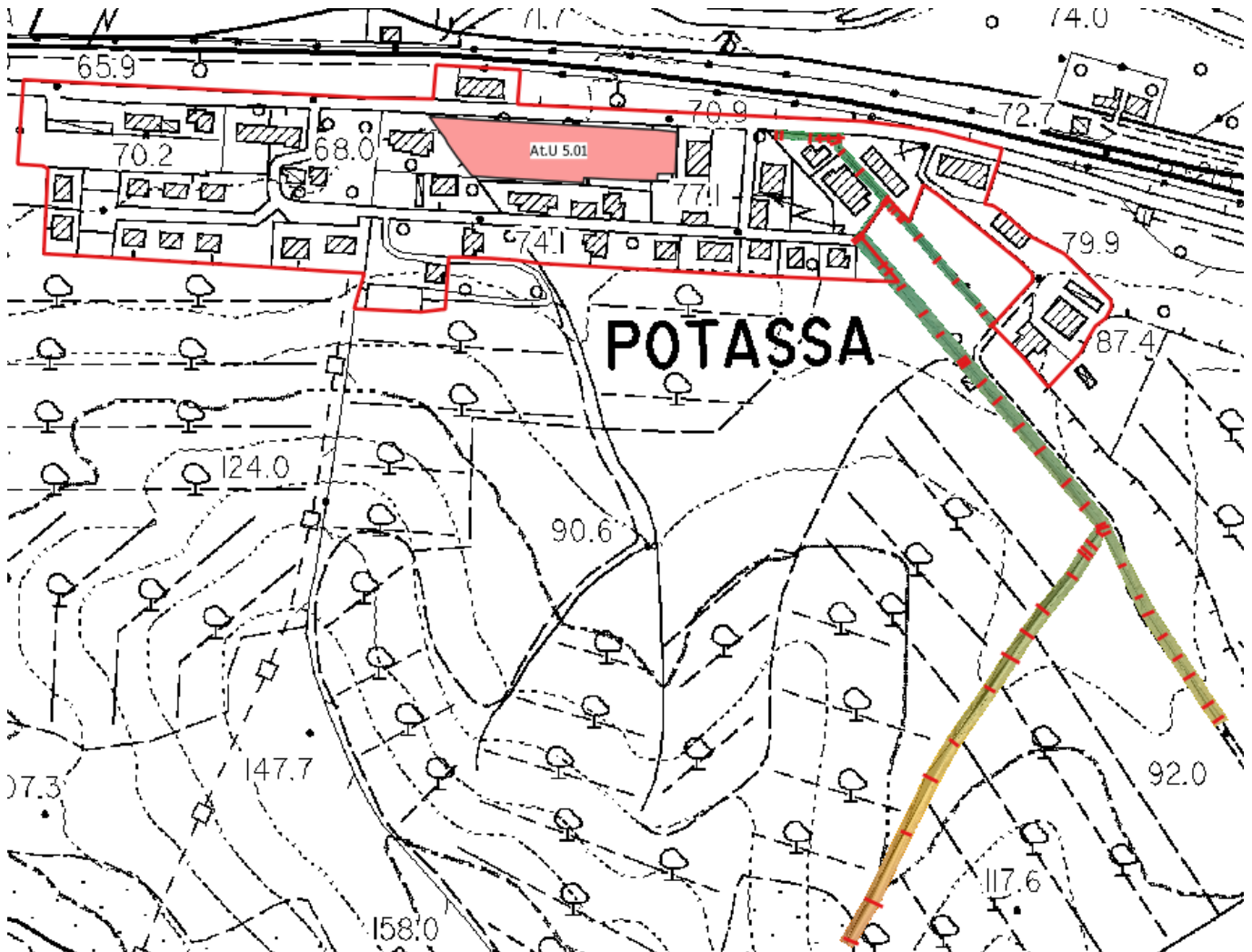


Figura 35 - UTOE Potassa – Modello digitale del terreno ottenuto da rilievo topografico di dettaglio

Dal rilievo topografico di dettaglio è stato ottenuto un modello digitale del terreno 3d con il quale è stato integrato e modificato il DTM derivante dai dati LIDAR.

La rete di calcolo entro l'area bidimensionale è stata definita con una maglia generalizzata di 10 x 10 metri utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.. Inoltre tramite il comando 2D Polygon Mesh Refinement Tool è stata impostata una mesh di calcolo, con una risoluzione diversa rispetto a quella impostata nella fase di creazione della rete di calcolo bidimensionale, per quelle zone dove si rende necessario avere un migliore dettaglio di dove è stata definita una mesh di calcolo di 2 x 2 metri.

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato, sono stati associati a quest'ultimo e quindi alle aree 2D, dei valori di scabrezza variabili che simulano l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la già citata tabella di corrispondenza (da R. Pestana et al., 2013).

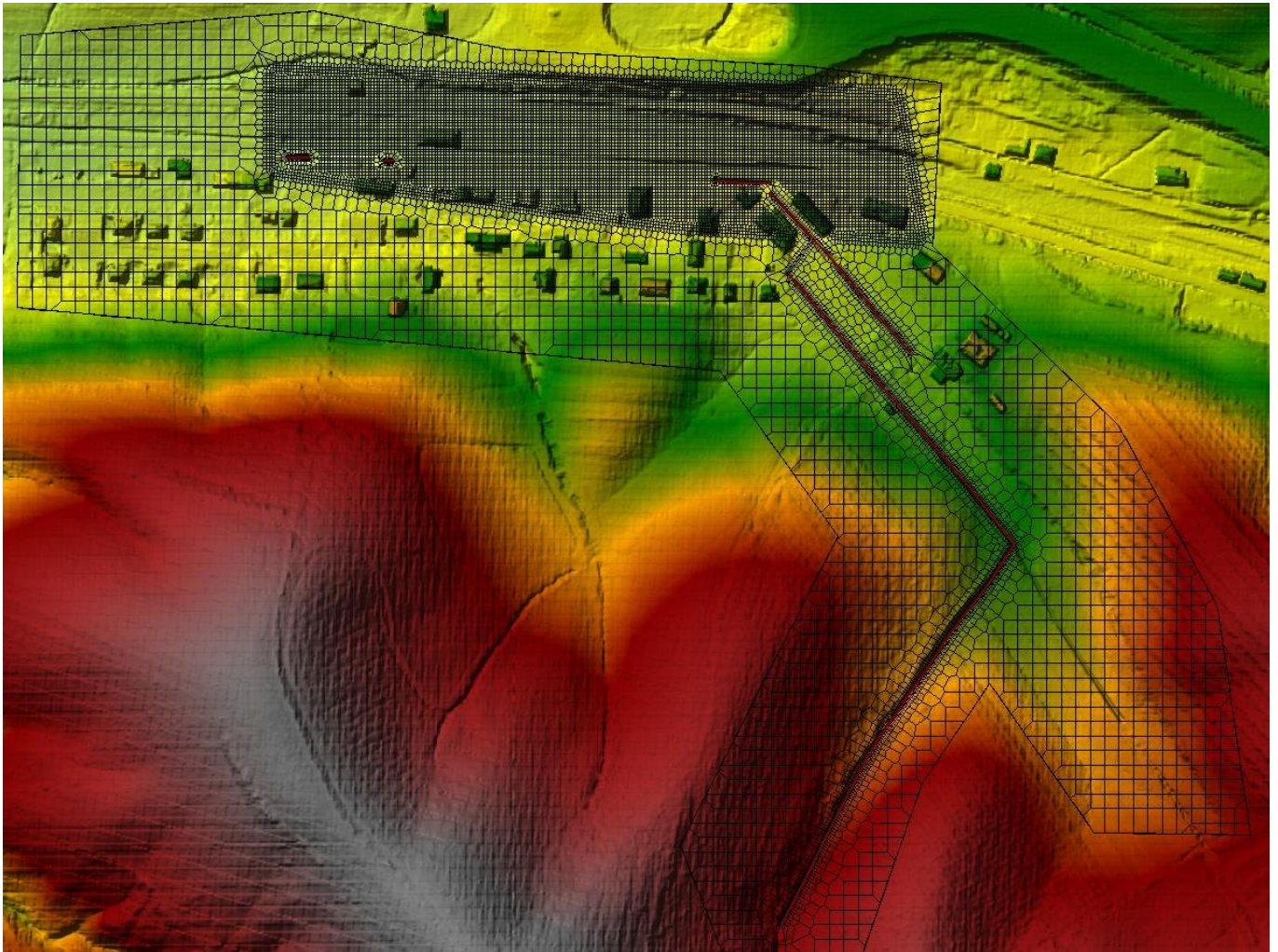
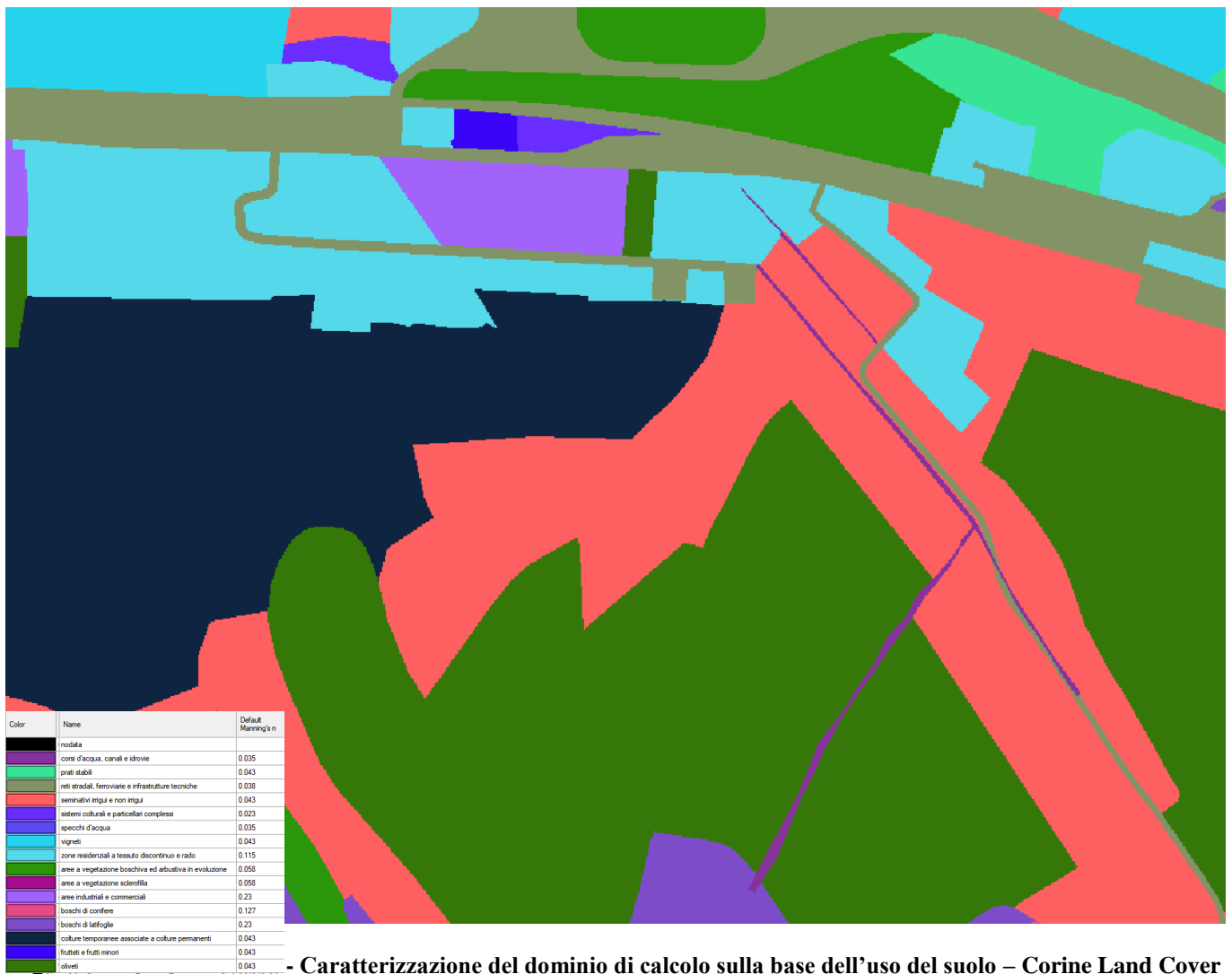


Figura 36 - UTOE Potassa – DTM, Mesh di calcolo, Break lines e Refinement Regions



Come elementi “structures” sono stati inseriti nel modello tre “2D Flow Area connection” a rappresentare le connessioni idrauliche ed i tombamenti esistenti:

- “Muro” rappresenta l’elemento che definisce l’inizio dei tombamenti del Fosso Senza Nome 1 e del Fosso Senza Nome 2 costituito da uno sfioratore (weir) che rappresenta il muro esistente e due tombamenti (culverts);
- “Tomb_1” rappresenta il primo dei tratti tombati della cunetta stradale;
- “Tomb_2” rappresenta il secondo dei tratti tombati della cunetta stradale.

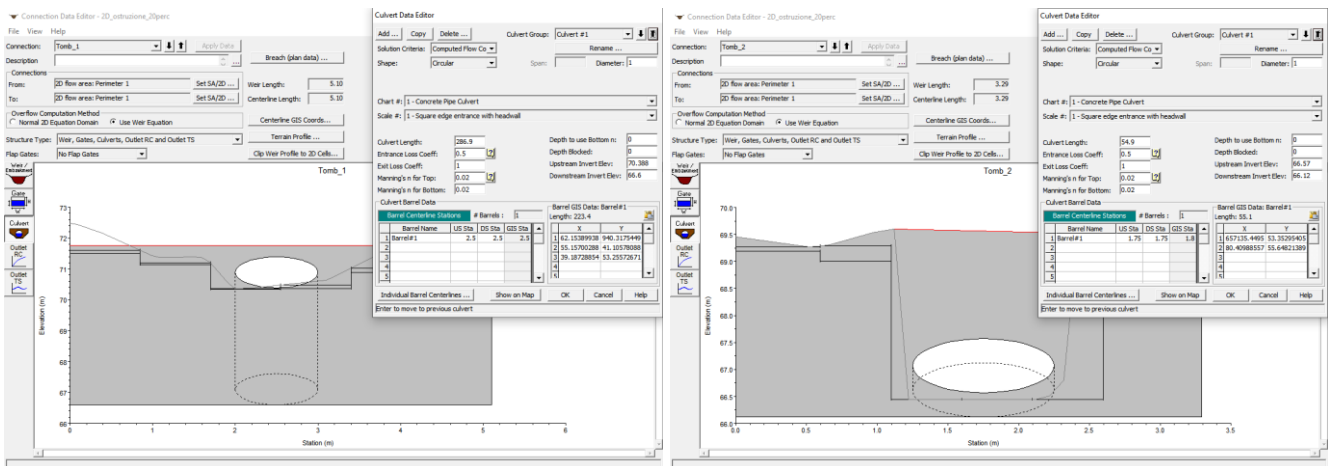
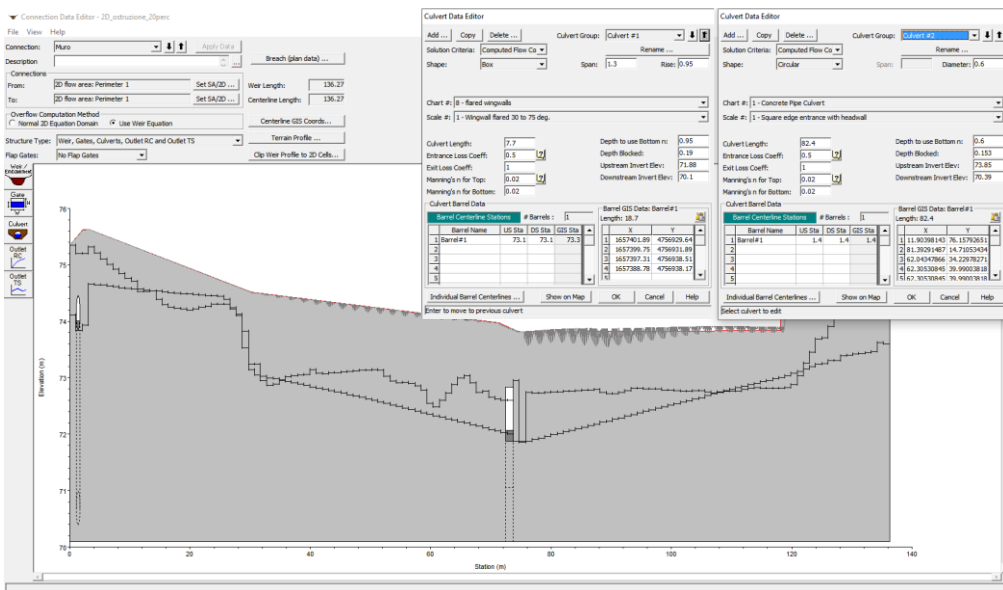
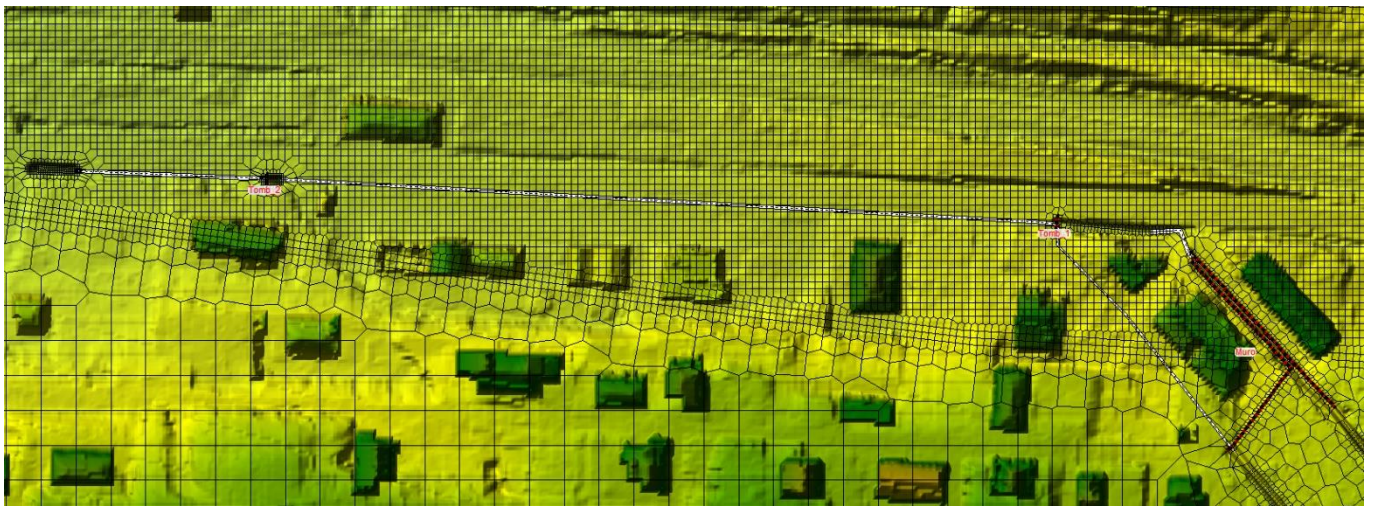


Figura 38 - UTOE Potassa – Elementi “structures”

3.5.2 Condizioni al contorno ed idrogrammi di piena

Come condizioni al contorno in ingresso al modello sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena precedentemente calcolati per Tr30 e Tr200; quale condizione al contorno in uscita è stata utilizzata una “Normal Depth” pari a 0,014.

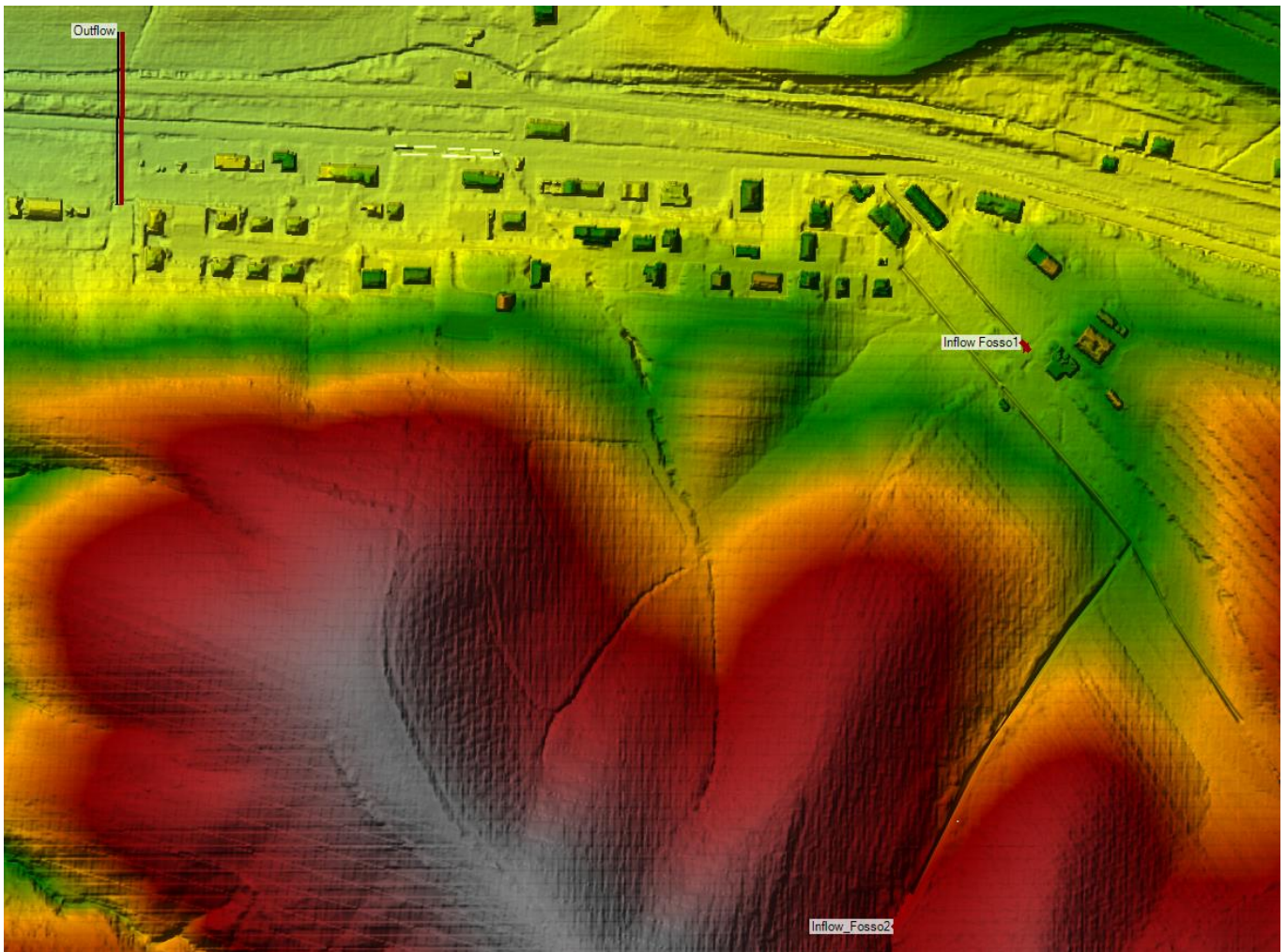


Figura 39 - UTOE Potassa - Ubicazione condizioni al contorno

3.5.3 Scenari di simulazione e risultati

Gli scenari di simulazione (plan) eseguiti con il software HEC-RAS sono stati i seguenti:

- TR30 (occlusione al 20%)
- TR200 (occlusione al 100%)

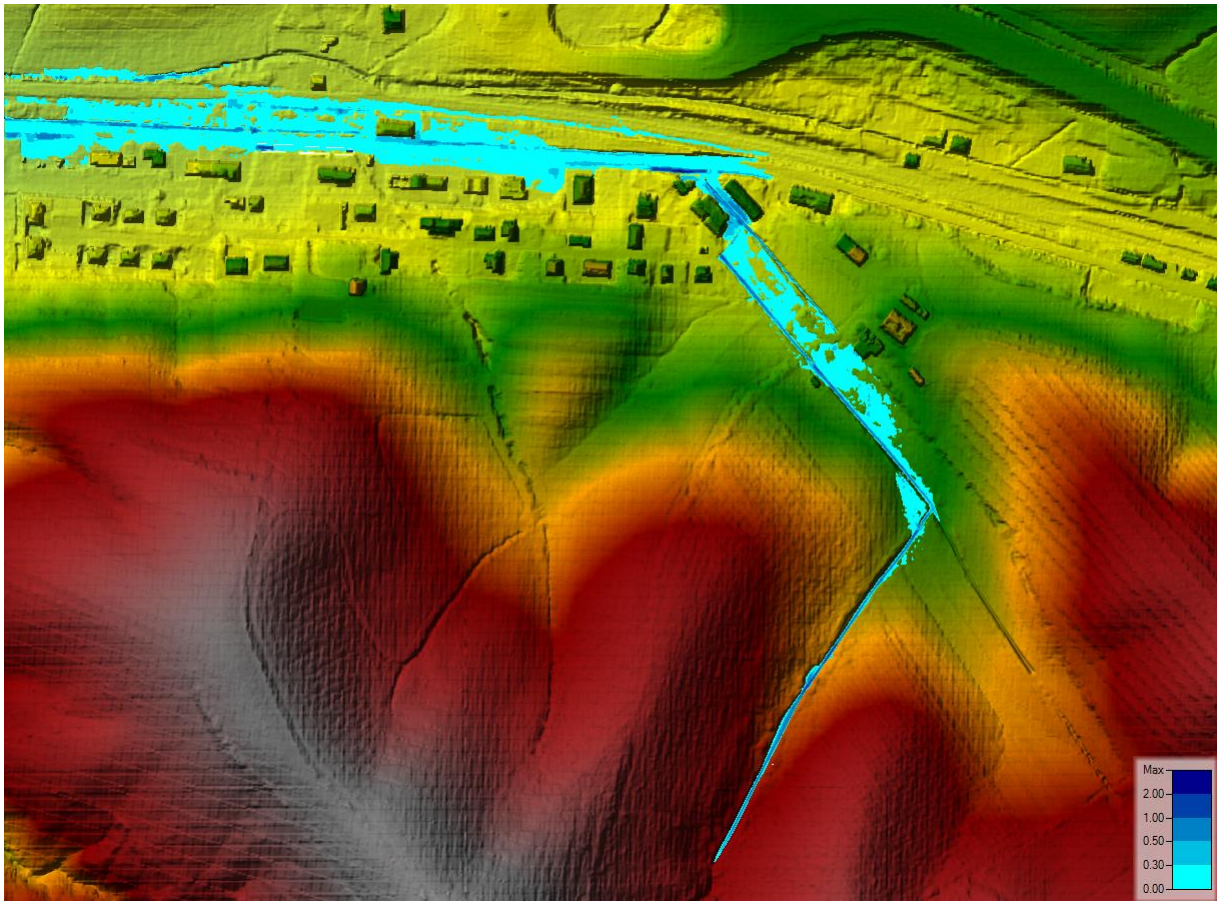


Figura 40 - UTOE Potassa – TR30 (occlusione al 20%)

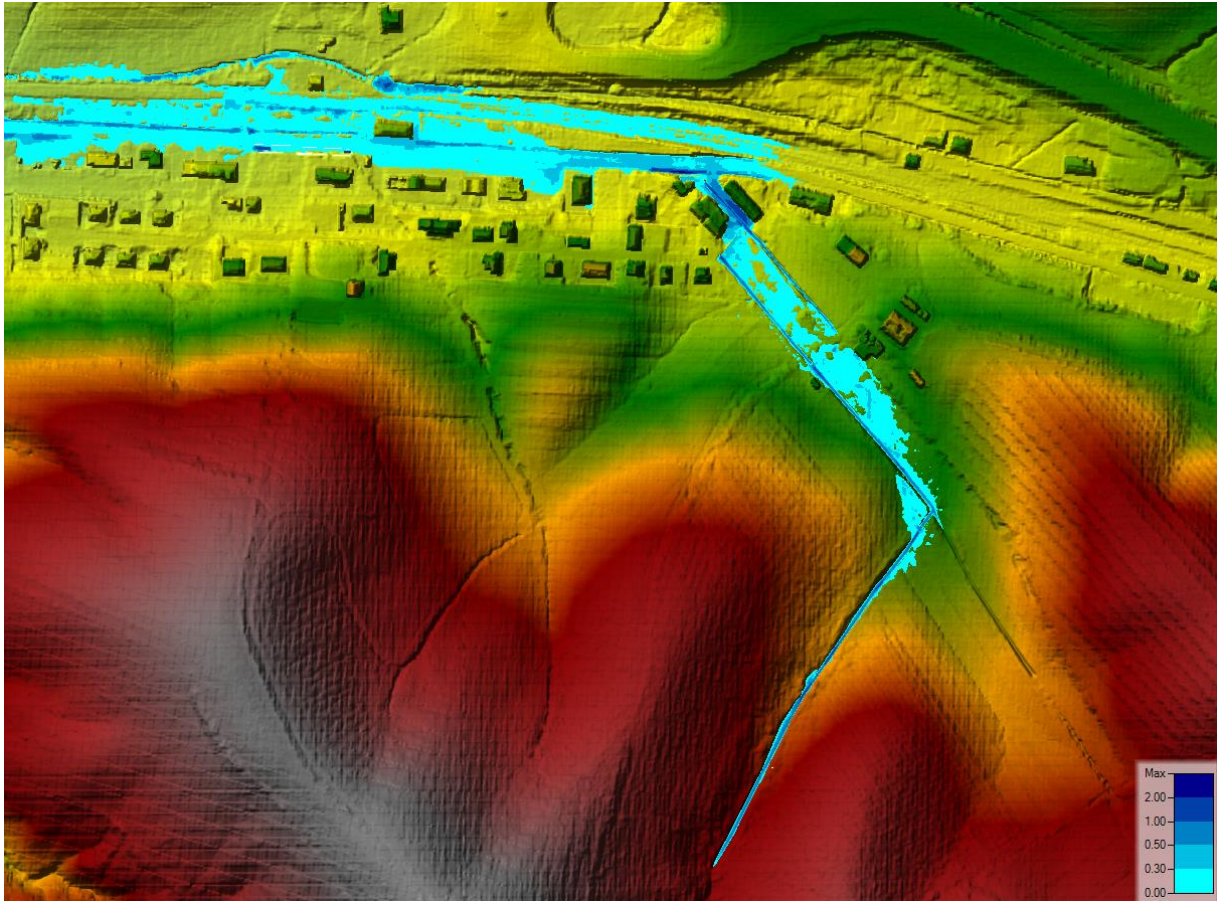


Figura 41 - UTOE Potassa – TR200 (occlusione al 100%)

Per ciascun tempo di ritorno sono state elaborate, con l'ausilio del software QGIS, le tavole grafiche delle magnitudo sulla base dei criteri di cui alla L.R.T. 41/2018.

Sono stati inoltre prodotti in formato digitale, per Tr30 e Tr200 anni, i file shp delle aree di esondazione, i file raster dei battenti di esondazione ed i file raster delle velocità di deflusso.

Salvo alcune zone particolari, mediamente i battenti idrici riscontrati risultano inferiori a 30 cm. Quindi occorre osservare che le aree di esondazione nella realtà potrebbero differire sensibilmente da quanto simulato poiché eventuali marciapiedi, recinzioni e piccoli ostacoli, non rilevabili dal dato Lidar, potrebbero condizionare sensibilmente la laminazione dell'acqua. Peraltro è bene evidenziare che di fatto non esiste un reticolo naturale che interessa l'abitato ma quest'ultimo si ferma a monte dell'abitato stesso. Le aree di esondazione determinate quindi, sono riconducibili ai volumi di pioggia esuberanti rispetto alle capacità dei tratti intubati di monte, di fatto in termini di assoluta cautela considerati completamente ostruiti per Tr200 anni. L'area dell'abitato che costeggia la S.P. 152 Aurelia Vecchia risulta invece regimata principalmente da un reticolo idraulico quasi completamente tombato che costituisce sia fognatura che cunetta della S.P. 152 Aurelia Vecchia e quindi deve smaltire sia le piogge che insistono direttamente sull'area urbanizzata sia i volumi che derivano dal reticolo studiato. Pertanto alle criticità indotte dal reticolo idrografico naturale studiato potranno sovrapporsi situazioni di criticità indotte dall'insufficienza del reticolo fognario sopradetto di cui tenere conto nella redazione delle Norme Tecniche di Attuazione.

4 ALLEGATI

- A-1_Allegato modellazione idrologica U.T.O.E. Grilli
- A-2_Allegato modellazione idrologica U.T.O.E. Basse di Caldana
- A-3_Allegato modellazione idrologica U.T.O.E. I Forni
- A-4_Allegato modellazione idrologica U.T.O.E. Potassa
- A-5_Allegato modellazione idraulica U.T.O.E Grilli
- A-6_Allegato modellazione idraulica U.T.O.E Basse di Caldana
- A-7_Allegato modellazione idraulica U.T.O.E I Forni
- A-8_Allegato modellazione idraulica U.T.O.E Potassa

Tavole grafiche

- **U.T.O.E. Grilli**
 - Tav. 01-Planimetria battenti di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 02-Planimetria battenti di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 03-Planimetria velocità di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 04-Planimetria velocità di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 05-Planimetria magnitudo idraulica Tr30 anni
 - Tav. 06-Planimetria magnitudo idraulica Tr200 anni
- **U.T.O.E. Basse di Caldana**
 - Tav. 07-Planimetria battenti di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 08-Planimetria battenti di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 09-Planimetria velocità di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 10-Planimetria velocità di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 11-Planimetria magnitudo idraulica Tr30 anni
 - Tav. 12-Planimetria magnitudo idraulica Tr200 anni
- **U.T.O.E. I Forni**
 - Tav. 13-Planimetria battenti di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 14-Planimetria battenti di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 15-Planimetria velocità di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 16-Planimetria velocità di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 17-Planimetria magnitudo idraulica Tr30 anni
 - Tav. 18-Planimetria magnitudo idraulica Tr200 anni
- **U.T.O.E. Potassa**
 - Tav. 19-Planimetria battenti di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 20-Planimetria battenti di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 21-Planimetria velocità di esondazione Tr30 anni
 - Tav. 22-Planimetria velocità di esondazione Tr200 anni
 - Tav. 23-Planimetria magnitudo idraulica Tr30 anni
 - Tav. 24-Planimetria magnitudo idraulica Tr200 anni

Sono inoltre allegati in formato digitale:

- File shp aree di esondazione Tr30 e Tr200 anni
- File raster dei battenti di esondazione Tr30 e Tr200 anni
- File raster delle velocità di esondazione Tr30 e Tr200 anni
- File raster delle magnitudo idrauliche Tr30 e Tr200 anni
- File shp tracce delle sezioni di rilievo