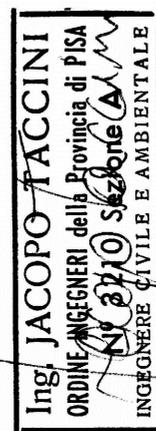


**Ing. Jacopo TACCINI**



via del Rio, 2 - 56025 PONTEDERA PI  
e-mail: jacopo.taccini@sta-eng.it  
Cell. +39.328.4564561  
PEC: jacopo.taccini@ingpec.eu  
Curriculum: <http://www.I2I.it/JTaccini>



Il Progettista

ALLEGATO:

**STUDIO IDRAULICO**

Il Direttore dei Lavori

**OGGETTO: Studio idraulico a supporto del POC di San Giuliano**

**UBICAZIONE: SAN GIULIANO TERME**  
**COMMITTENTE: Comune di SAN GIULIANO TERME**  
**ELABORATO: RELAZIONE IDRAULICA**

**DATA: Luglio 2017**

**Pr. n°: 17-016**

Rev.	Data	Motivo
00	21.06.2018	Prima emissione
01		
02		
03		
04		
05		



# RELAZIONE TECNICA

## Sommario

Premessa .....	5
Validazione del modello matematico .....	6
Morfologia dei modelli.....	10
Coefficiente di scabrezza .....	11
Modellazione attraversamenti .....	13
Condizioni al contorno.....	14
Modello idraulico Pugnano .....	14
Modello idraulico di Molina di Quosa.....	16
Modello idraulico di Rigoli .....	17
Modello idraulico di S.Giuliano .....	18
Modelli idraulici di Asciano .....	20
Modelli idraulici di Agnano .....	27
Modello idraulico del Canale Demaniale .....	29
Modello idraulico di Gello.....	32
Risultati delle analisi .....	34



## ***PREMESSA***

La presente relazione idraulica ha come scopo la determinazione dei battenti idraulici conseguenti ad eventi di piena attesi per alcuni corsi d'acqua del reticolo secondario che interessano il territorio del Comune di San Giuliano Terme. Lo studio è quindi redatto a supporto del costituendo Piano Operativo Comunale di San Giuliano.

I suddetti battenti sono determinati mediante l'implementazione di appositi modelli idraulici redatti con il software HEC-RAS sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Nelle analisi sono stati considerati i tempi di ritorno trentennale TR30 e duecentennale TR200, valutati per diverse durate di pioggia comprese nelle 24h differenziate in funzione delle caratteristiche del bacino analizzato.

Si descrivono allora gli approcci di analisi adottati per i diversi modelli implementati, e i principali parametri adottati.

## **VALIDAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO**

Il software HEC-RAS è un sistema integrato predisposto per un uso interattivo tramite un'interfaccia grafica che permette di accedere alle altre componenti quali l'analisi idraulica, l'archiviazione e la gestione dei dati e la visualizzazione dei risultati.

Il sistema dispone di tre componenti principali per la modellazione idraulica secondo lo schema monodimensionale destinate rispettivamente al regime di moto permanente, vario e a quello con fondo mobile.

La componente del sistema di modellazione relativa al regime permanente serve per calcolare la variazione del pelo libero per tali condizioni di moto lungo il corso d'acqua.

Il sistema può considerare sia una rete completa di canali, sia un sistema endoreico (alveo che si immette in un lago che assicura sempre la stessa quota liquida) e sia infine un singolo corso d'acqua.

La componente di moto permanente è in grado di modellare correnti lenti, veloci e miste.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Le perdite di energia considerate sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica. L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine.

Questa situazione comprende la valutazione in corrente mista (es: risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

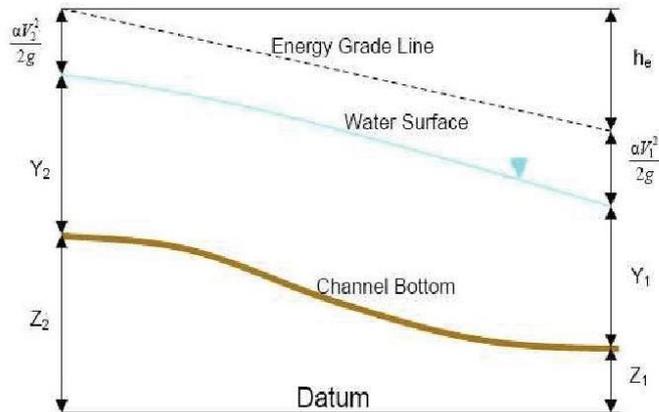
L'effetto di diverse ostruzioni quali ponti, tombini, briglie e strutture in genere lungo i corsi d'acqua può essere considerata nei calcoli idraulici.

Il sistema di calcolo in moto permanente è concepito per applicazioni nella sistemazione dei corsi d'acqua e delle pianure alluvionali e per gli studi finalizzati alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni dai corsi d'acqua. È inoltre possibile valutare il cambiamento nelle caratteristiche di moto dovuto alla rettifica della sezione e/o alla realizzazione di argini.

Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente.

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico, andando ad analizzare solamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto.



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

Dove:

- $Y_1, Y_2$  sono i tiranti idrici;
- $Z_1, Z_2$  sono le quote geodetiche;
- $V_1, V_2$  sono le velocità medie;
- $a_1, a_2$  sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;
- $g$  è l'accelerazione di gravità;
- $h_e$  è la perdita di carico totale nel tratto considerato;

Il termine  $h_e$  dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Esso si può valutare mediante la seguente relazione:

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

con:

- $L$  la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate, calcolata come segue

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

Dove il pedice *lob*, *rob* e *ch* indica la golena sinistra, destra e il canale centrale, relativamente alle lunghezze e alle portate;

- $S_f$  è la cadente della linea dei carichi totali;
- $C$  è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante. Per ciascuna di queste sottosezioni (golena sinistra, alveo e golena destra) è possibile assegnare un diverso valore del coefficiente di Manning da adottare nel calcolo.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinata mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta a veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico o dei momenti.

Il modello HEC-RAS consente anche di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. Per i coefficienti di contrazione ed espansione si sono quindi adottati rispettivamente i valori di 0.1 e 0.3.

In caso di simulazione in moto vario il software HEC-RAS utilizza le equazioni di De Saint Venant secondo differenti metodi di risoluzione a seconda che l'analisi si svolga in condizioni di corrente lenta, veloce o mista.

Equazione di continuità:

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

Equazione di conservazione della quantità di moto:

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

con:

$$Q_c = \Phi \cdot Q ; \quad \Phi = (K_c) / (K_c + K_f)$$

Per approfondimenti sulle equazioni ed algoritmi di calcolo si rimanda alla modilistica di HEC-RAS, ed in particolare all'Hydraulic Reference Manual.

## MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di continuità (o conservazione della massa) e della quantità di moto, risolte con uno schema ai volumi finiti.

Assumendo il fluido incomprimibile l'equazione differenziale di continuità in moto vario si riduce:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

In cui  $u$  e  $v$  sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni  $x$  ed  $y$ .

Quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di deflusso è molto maggiore della verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati, assumendo una distribuzione idrostatica delle pressioni. Assumendo quindi costante la densità del fluido l'equazione di conservazione della quantità di moto si riduce:

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

Dove  $\nu_t$  è il coefficiente di viscosità turbolenta,  $C_f$  il coefficiente di attrito al fondo ed  $f$  è il coefficiente di Coriolis.

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS impiega l'approccio batimetrico con il quale riesce a rappresentare informazioni topografiche dettagliate pur utilizzando celle di calcolo di dimensioni maggiori, ricavandone la legge di variazione delle grandezze idrauliche (curva di invaso della cella e sezione idraulica lungo il bordo) con la quota del pelo libero. Tale metodologia risolutiva consente di raggiungere un elevato dettaglio dei risultati, abbattendo drasticamente i tempi computazionali rispetto ad altri software.

## **MORFOLOGIA DEI MODELLI**

La modellazione morfologica del territorio, necessaria come dato di input per le sezioni geometriche da introdurre nel software HEC-RAS 5.0.3, è stata ottenuta come concordato nei numerosi incontri preliminari tenuti con l'Ufficio del Genio Civile di Lucca e l'Autorità di Bacino del Serchio.

Essa è ricavata a partire dal rilievo lidar 1:2000 1x1m messo a disposizione dalla Regione Toscana sulla propria pagina web Geoscopio WGS. Dove tale cartografia non è risultata disponibile lo studio si è avvalso della CTR 1:2000.

Nei casi specifici dei bacini studiati in riferimento alle UTOE di Pugnano, Molina di Quosa, Rigoli, San Giuliano e la Piana dell'Arno e per la modellazione dell'Affluente Zambra, tale morfologia è stata direttamente introdotta all'interno del software di calcolo idraulico e l'analisi si è svolta secondo una modellazione di tipo unicamente bidimensionale.

Negli altri casi, UTOE di Asciano, Agnano e Gello è stato necessario introdurre, con l'apposita funzionalità GIS recentemente introdotta nel software, direttamente da tale morfologia, le sezioni geometriche in HEC-RAS assicurando così una perfetta congruenza tra il progetto ed il modello idraulico privo di errori derivanti da una introduzione manuale della geometria. In corrispondenza di attraversamenti, ponti, tombamenti e quant'altro di idraulicamente rilevante, sono stati realizzati rilievi speditivi ad hoc necessari alla loro rappresentazione nel modello.

Per i modelli idraulici implementati per i bacini afferenti a queste UTOE, infatti, è stato necessario adottare una schematizzazione di tipo monodimensionale in alveo e bidimensionale extra alveo, interconnesse tra loro mediante apposite *lateral structures*. Anche in tali casi la modellazione extra alveo è ottenuta a partire dai rilievi lidar disponibili secondo una modellazione bidimensionale.

Il modello idraulico implementato per il Canale Demaniale costituisce un caso a sé stante. Come già è stato possibile osservare nella relazione illustrativa, infatti, è stato messo a disposizione dello scrivente, da parte del Consorzio di Bonifica dei Fiumi e dei Fossi, il modello monodimensionale in alveo completo dello studio idrologico dei bacini afferenti. È stato perciò sufficiente implementare la sola modellazione bidimensionale extra alveo e modellarne le interconnessioni *lateral structures*. Per quanto riguarda perciò la modellistica in alveo e quella idrologica si rimanda al citato "Studio idrologico e idraulico del Fosso del Mulino" redatto da H.S. Ingegneria S.r.l. nel Settembre 2015.

Tutte le modellazioni bidimensionali sono state svolte adottando maglie di calcolo a celle quadrate di lato 5x5 m; le dimensioni delle celle e la loro forma è stata di volta in volta modificata localmente mediante l'uso di *break lines* che permettono l'infittimento della maglia in corrispondenza di singolarità quali rilevati o fossi campestri.

Più avanti si riportano le rappresentazioni planimetriche dei modelli studiati.

## **COEFFICIENTE DI SCABREZZA**

Parametro fondamentale per la modellazione dell'alveo all'interno del solutore adottato, è costituito dal coefficiente di scabrezza di Manning. Tale parametro deve essere definito sia per quanto riguarda la modellistica idraulica in alveo, sia per quella bidimensionale. I valori adottati nei modelli sono i seguenti:

- Botro Sugherone: è stato assunto il valore costante di 0.035 sia per il channel che per le overbanks
- Canale Monte Bianco: è stato assunto il valore costante di 0.035 sia per il channel che per le overbanks
- Botro dei Pancacci: è stato assunto il valore costante di 0.04 tra le sezioni 42 e 34 tanto per il channel quanto per le overbanks; il valore 0.035 tra le sezioni 33 e 23; il valore 0.016 per il channel e 0.035 per le overbanks tra le sezioni 23 e 10; 0.035 tra le sezioni 9 e 1
- Belucello: è stato assunto il valore costante 0.045 sia in channel che per le overbanks tra le sezioni da 41 a 29; ridotto a 0.035 tra le sezioni 28 e 10 di confluenza nel Botro dei Pancacci
- Botro Ragnaia: è stato assunto il valore costante 0.035
- Zambra: Tra le sezioni 27 e 25 è stato scelto il valore 0.045 per il channel e 0.055 per le overbanks; per le sezioni da 24 a 18 è stato assunto il valore di 0.04 indistintamente per il channel e per le overbanks; per le sezioni da 17 a 8 è stato assunto il valore 0.025 per il channel e 0.035 per le overbanks; infine per le sezioni da 7 a 1 è stato assunto il valore costante di 0.035 sia per il channel che per le overbanks.
- Sasso grosso: è stato assunto il valore 0.045 in channel e 0.035 per le overbanks tra la sezione 33 e la 20; indistintamente 0.035 tra la sezione 19 e la 6; 0.04 in channel e 0.035 per le overbanks nel tratto tra la sezione 6 e la 1

I valori assunti sono da ritenersi cautelativi avendo individuato generalmente una buona manutenzione dell'alveo atta alla rimozione della vegetazione, scarso (o meglio assente) trasporto solido, e molti tratti variamente rivestiti.

Il coefficiente di scabrezza delle celle bidimensionali è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine, secondo la seguente tabella di corrispondenza (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).

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-irigated 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

## **MODELLAZIONE ATTRAVERSAMENTI**

La modellazione degli attraversamenti e di altre opere geometricamente rilevanti è avvenuta mediante rilievi speditivi sul posto. La geometria delle opere individuate è stata così ricollegata alla morfologia derivante dai rilievi lidar e introdotta nel software di calcolo HEC-RAS.

Oltre all'introduzione geometrica dell'attraversamento, sono stati definiti i parametri di calcolo; Per quanto riguarda il "low flow method" è stato impiegato il metodo dell'energia a standard step. Per quanto riguarda invece il "high flow method" si è scelto il metodo noto come "pressure and/or weir" per il quale è stato assegnato un coefficiente per il flusso sommerso pari a 0.8, mentre è stato assegnato 1.67 per il coefficiente weir.

Per quanto riguarda i Contraction/Expansion Coefficients sono stati adottati rispettivamente i valori di 0.1 e 0.3 in tutte le sezioni modellate dell'alveo, localmente incrementati rispettivamente a 0.3 e 0.5 per le sezioni immediatamente a monte e a valle di tutti gli attraversamenti o altre singolarità che impongono sollecitazioni al normale deflusso.

I parametri così adottati risultano cautelativi per il caso in analisi.

## **CONDIZIONI AL CONTORNO**

Per consentire l'avvio della simulazione di deflusso, è ancora necessario introdurre le condizioni al contorno, tanto per i modelli idraulici di tipo monodimensionali quanto per quelli esclusivamente bidimensionali.

Le condizioni al contorno devono essere obbligatoriamente definite nelle sezioni di monte e di valle di ciascun modello monodimensionale, pena il mancato avvio della simulazione; sono tuttavia introducibili numerose condizioni al contorno aggiuntive utili a migliorare l'aderenza del modello alla realtà.

Nella maggior parte dei modelli è conveniente introdurre come condizione al contorno in corrispondenza della sezione di monte l'idrogramma calcolato per il bacino chiuso a tale sezione; per la sezione di valle è solitamente definita la pendenza della linea dell'energia in condizioni di deflusso a moto uniforme, per la quale è possibile assumere generalmente il medesimo valore di pendenza al fondo desumibile dal profilo longitudinale del corso d'acqua nel tratto terminale. Talvolta, in presenza di rigurgiti o altre condizioni note, si sceglie di introdurre nella sezione di valle valori definiti per la quota liquida. Quando poi il corso d'acqua riceve contributi da bacini posti lungo il percorso o da affluenti, è possibile inserire, come ulteriori condizioni al contorno, idrogrammi distribuiti o concentrati. Molte altre sono infine le possibili condizioni al contorno impiegate però meno frequentemente.

Un importante affinamento della qualità dei modelli bidimensionali è ottenibile modificando localmente la struttura della maglia di calcolo. Il software HEC-RAS, infatti, basa il calcolo bidimensionale su una maglia di celle regolari quadrate di lato imposto dall'utente; tuttavia è in grado di supportare celle di forma irregolare con un numero massimo di otto lati. L'utente ha così la possibilità di introdurre graficamente delle *break lines* in corrispondenza di particolarità morfologiche quali terrazzamenti, strade, rilevati o sbarramenti in genere, lungo le quali si forza così il programma a modificare la geometria delle celle di calcolo incrementandone notevolmente la qualità del risultato nell'intorno. Nelle rappresentazioni planimetriche dei modelli HEC-RAS individua tali linee mediante tratto rosso.

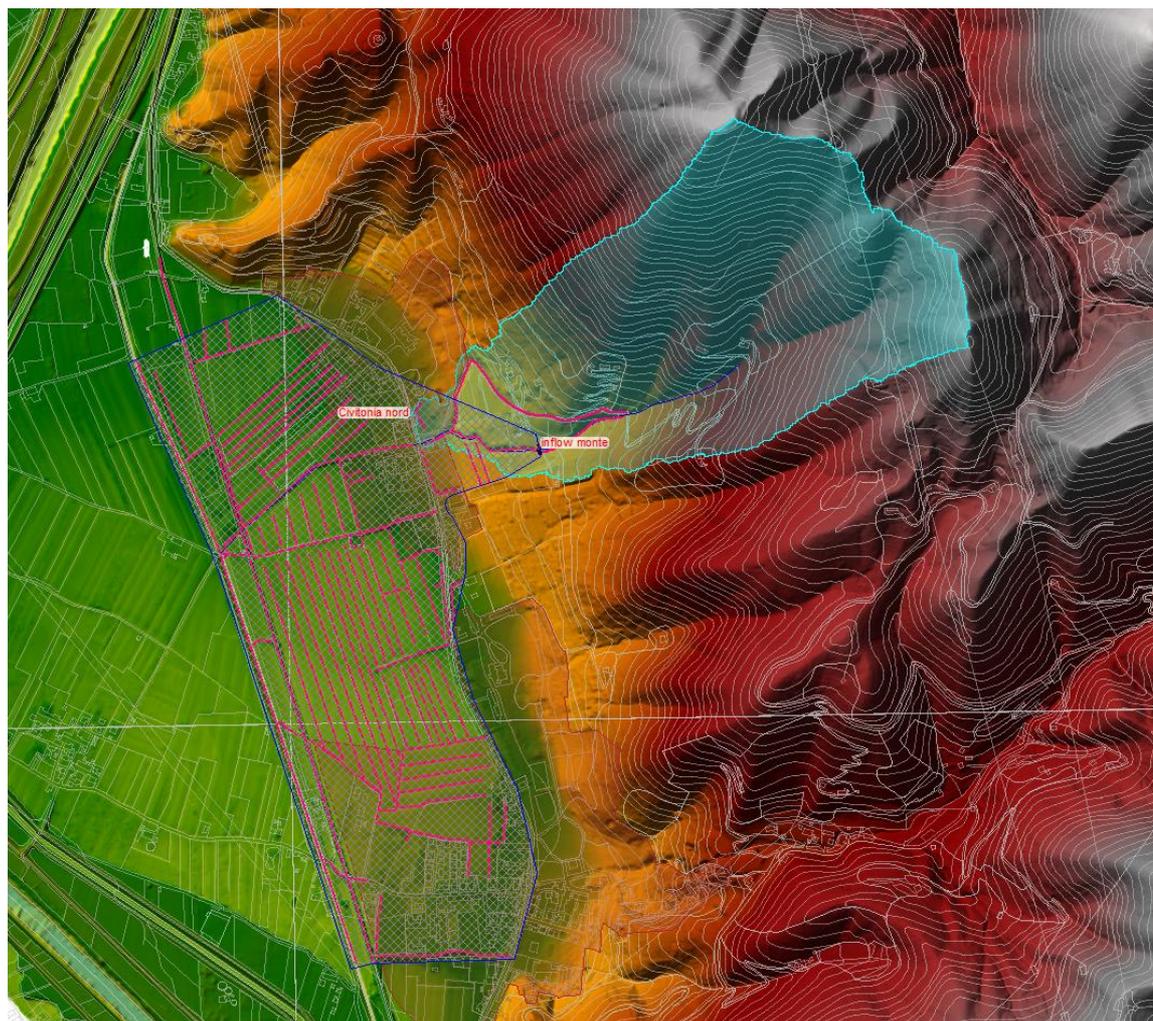
### Modello idraulico Pugnano

La frazione di Pugnano è solcata da un piccolo corso d'acqua dalle caratteristiche spiccatamente torrentizie, che raccoglie le acque dalla collina soprastante, con elevata pendenza di fondo che improvvisamente si riduce al suo ingresso nell'abitato. Da lì in poi il corso d'acqua, intubato in un primo tratto, prosegue pensile sulle campagne, sottopassa il rilevato ferroviario e recapita nel Canale Demaniale. In corrispondenza del cambio di pendenza di fondo il fosso risulta tombato al di sotto della strada statale dell'Abetone e del Brennero, e poi sotto una abitazione. Il tombamento è decisamente sottodimensionato e facilmente soggetto ad intasamento. Per tale motivo si è scelto di chiudere in tal punto la sezione di calcolo del bacino, non ricevendo acque nel tratto pensile.



L'analisi idrologica ha permesso allora di determinare l'idrogramma di piena in corrispondenza di durate di pioggia 0.5h, 1h e 2h per TR200 e 0.66h, 1h e 2h per TR30, tali cioè da considerare sia la durata dell'evento di pioggia che massimizza la portata al colmo, sia le durate che massimizzano le aree allagate. Le portate così determinate sono state introdotte all'interno del modello unicamente bidimensionale che rappresenta il territorio, trascurando completamente il contributo al deflusso offerto dal tombamento. Il modello bidimensionale è stato esteso a tutto il territorio compreso tra il tombamento ed il rilevato ferroviario supposto cautelativamente impermeabile viste le esigue dimensioni degli attraversamenti. Non sono stati introdotti altri contributi idraulici né perimetri di outflow per il modello.

Sono state tracciate invece numerose break lines atte a migliorare la qualità del modello bidimensionale.



### Modello idraulico di Molina di Quosa

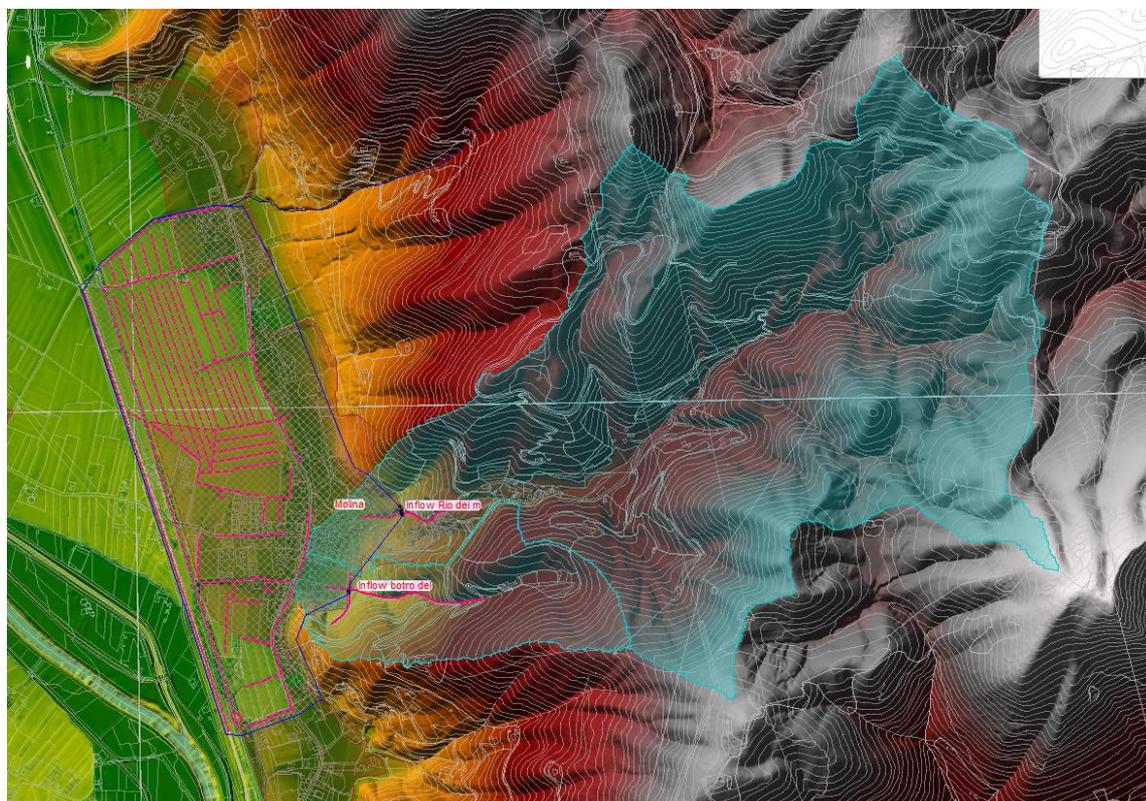
L'abitato di Molina di Quosa è attraversato da due corsi d'acqua collinari che si riuniscono in un solo alveo nel loro tratto terminale, giunti da un importante tombamento realizzato al di sotto del percorso pedonale lungo la S.S. dell'Abetone e del Brennero. I due corsi d'acqua caratterizzati inizialmente da forti pendenze di fondo, percorrono alcune proprietà private che ne impediscono l'ispezione e la manutenzione.

Il tombamento presenta la sezione di valle di dimensioni ridotte e restituisce le acque ad un alveo incassato e arginato ricevendo anche le fognature pluviali della strada. Visto il percorso tortuoso lungo cui si svolge il tombamento e la sua conseguente predeterminazione all'intasamento si è scelto di ridurre cautelativamente l'idrogramma di piena di ciascuno dei due corsi d'acqua di 1.5 mc/s, ipotizzando così una riduzione del 50% della sezione di valle del tombamento dovuta ad ostruzioni e schematizzata come luce a battente.

La restante parte dell'idrogramma è stato inserito all'interno di una modellazione bidimensionale che ne determina la propagazione sulle aree limitrofe. Anche in questo caso il rilevato ferroviario è ritenuto impermeabile anche in osservanza della natura arginata del corso d'acqua che impedisce il rientro in alveo delle esondazioni.

I due bacini sono stati perciò chiusi alle rispettive sezioni poste in corrispondenza della S.S.

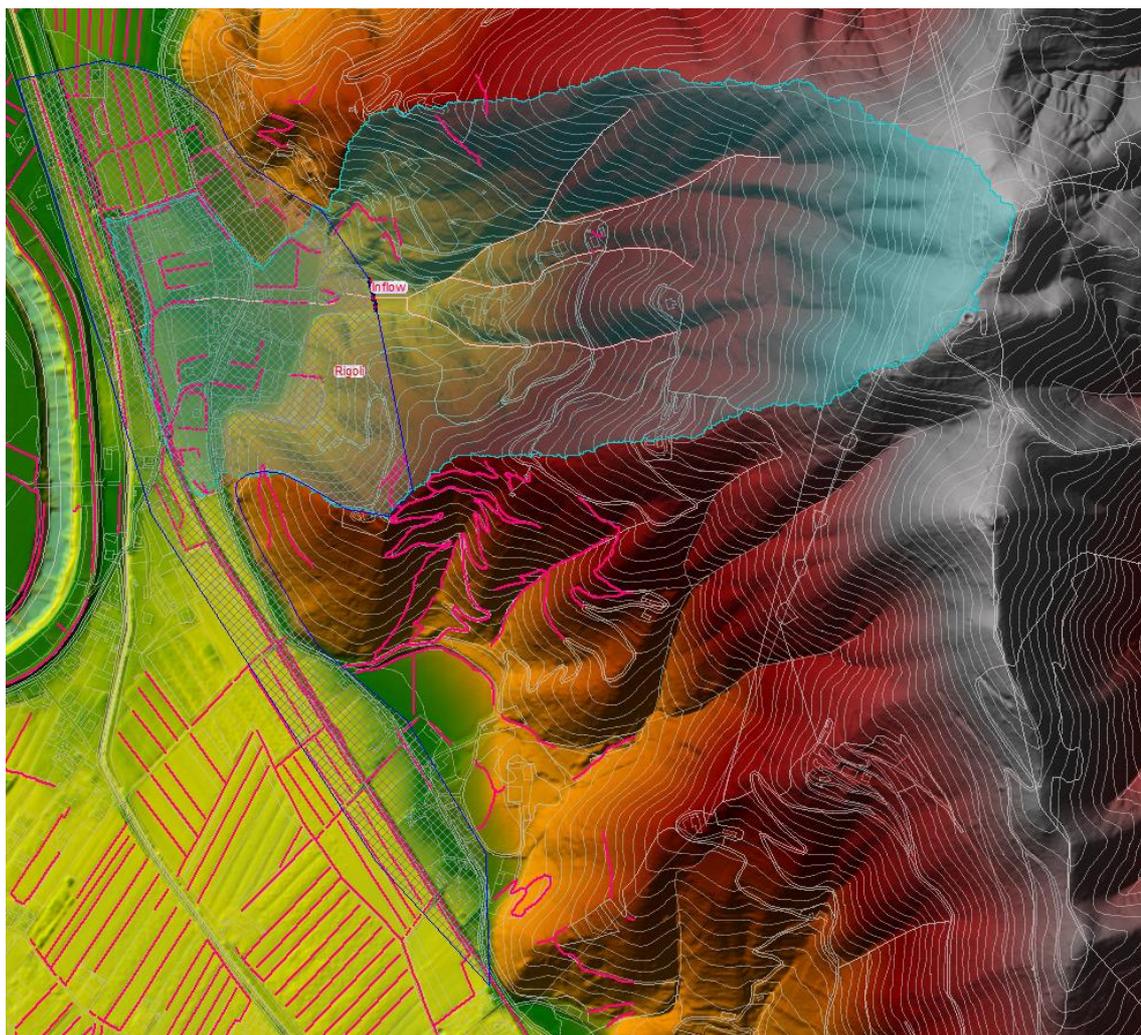
Nell'analisi sono state indagate alcune durate di pioggia (0.5h, 1h, 1.17h, 1.33h, 2.5h e 3h) tali cioè da considerare gli eventi di massima portata al colmo per ciascuno dei due corsi d'acqua e sino ad individuare quello in corrispondenza del quale si verifica il sormonto del rilevato ferroviario, tale cioè da massimizzare le aree allagate.



### Modello idraulico di Rigoli

Rigoli sorge all'interno di una antica conoide alluvionale. Il corso d'acqua che interessa la frazione, lo Scolo di Rigoli, mantiene caratteristiche fortemente torrentizie sino all'ingresso nella conoide, in corrispondenza della quale l'alveo scompare e si individuano unicamente alcune successioni di caditoie e tratti tombati. La conoide è stata terrazzata e coltivata ad uliveto e, fatta eccezione per un breve tratto lungo il quale il tombamento torna alla luce nei pressi di una abitazione posta internamente alla conoide, l'alveo riaffiora molto più a valle con sezione decisamente poco pronunciata. Anche in questo caso, perciò, a favore di sicurezza è stato trascurato il contributo al deflusso offerto dal tombamento e dalle griglie facilmente otturabili, spandendo le portate idrauliche provenienti dal bacino su tutta la conoide. In questo caso è risultato opportuno collocare la sezione di chiusura del bacino in corrispondenza del rilevato ferroviario, tale da considerare anche il contributo offerto dalle precipitazioni interessanti la zona valliva.

Il modello idraulico quindi introduce cautelativamente in corrispondenza dell'inizio della conoide l'idrogramma così determinato. Le durate di pioggia analizzate (0.66h, 1h e 2h) sono tali da considerare l'evento critico che determina il massimo valore di portata al colmo, sino all'evento che determina la massimizzazione delle aree allagate ed il sormonto del rilevato ferroviario, considerata condizione limite.



### Modello idraulico di S.Giuliano

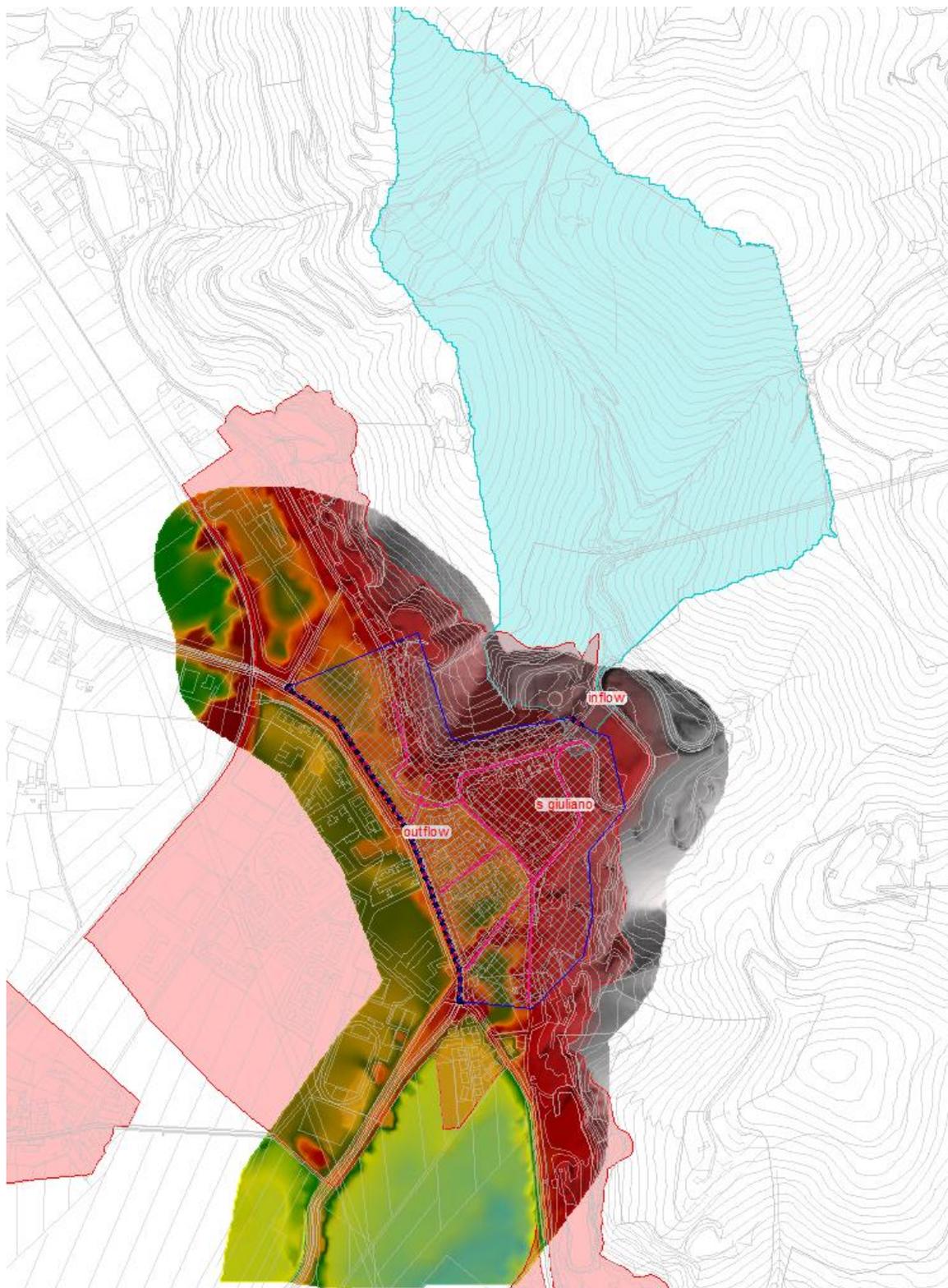
Anche per quanto riguarda il Rio della Croce che interessa l'abitato di San Giuliano si è scelto di determinare il bacino idrografico chiuso alla sezione di imbocco dello stesso in un lungo tratto tombato che, a partire dall'Anfiteatro di San Giuliano raggiunge il Canale Demaniale in corrispondenza delle Terme, lo affianca sino all'incrocio semaforizzato di Via Statale, e qui lo sottopassa immettendosi in un fosso parallelo al Canale Demaniale, e che solo successivamente sfiora in parte nel Fosso del Gatano. Analogamente ai casi già analizzati, l'idrogramma così ottenuto è stato immesso in un modello bidimensionale che ne simula la propagazione sul territorio.

In questo caso la morfologia lidar non era disponibile ed è stato perciò necessario basare il modello su una rappresentazione morfometrica derivante da cartografia CTR 1:2000 fornita dallo stesso Comune di San. Giuliano Terme perché di realizzazione più recente di quella disponibile su Geoscopio.

Inoltre è stata introdotta l'ulteriore condizione al contorno di outflow in corrispondenza del tracciato del Canale Demaniale. Tale corso d'acqua infatti corre pensile all'interno del centro abitato di San Giuliano. Peraltro lungo questo tratto, come vedremo più avanti, esso non determina esondazioni. E' stato perciò ragionevolmente supposto che là dove i battenti di

esondazione provenienti dal Rio della Croce superano la quota dei rilevati arginali del Canale Demaniale, le acque sfioranti siano convogliate da questo ed allontanate. Pertanto la condizione di outflow introdotta in corrispondenza del tracciato del Canale Demaniale è tale da modellare il drenaggio delle acque sfiorate.

In questo caso il modello idraulico è stato analizzato per tutte le durate di pioggia considerate nell'analisi idrologica.



Modelli idraulici di Asciano

La frazione di Asciano risulta interessata da numerosi corsi d'acqua aventi caratteristiche geometriche significativamente differenti tra loro. Vista anche la complessità dei corsi d'acqua da

analizzare, con caratteristiche variabili anche longitudinalmente, si è scelto di analizzarli individualmente, implementando modelli idraulici indipendenti. Caso per caso è stata scelta la condizione di valle più opportuna per ciascun modello idraulico. Gli eventi di pioggia modellati sono quelli considerati nello studio idrologico dell'area.

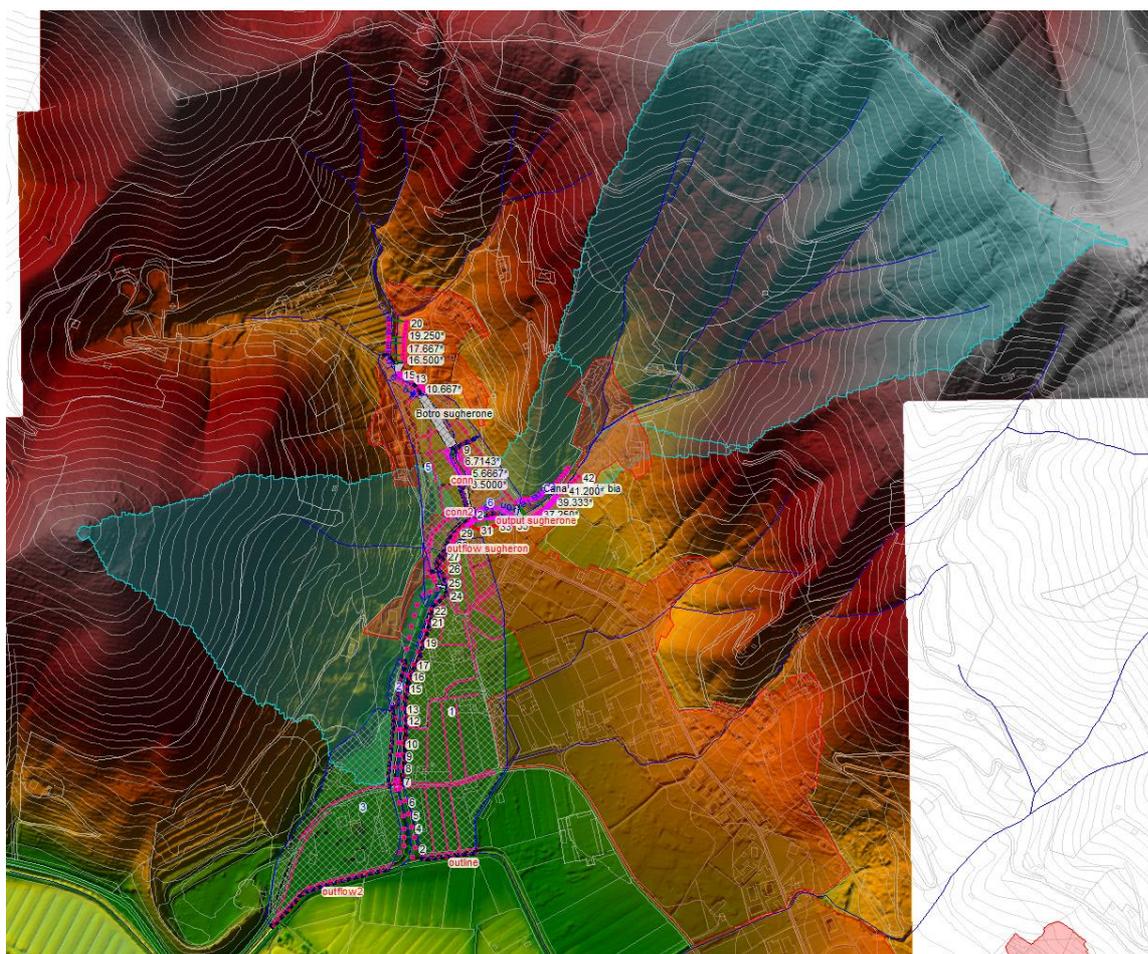
- **Botro Sugherone**

Il Botro Sugherone è il corso d'acqua posto maggiormente a nord per la frazione di Asciano, variamente tombato lungo il percorso, si immette in sponda destra del Canale Monte Bianco. A favore di sicurezza, presentando il Botro Sugherone già importanti esondazioni lungo il suo tracciato, onde non trascurarne il contributo, vista anche la morfologia dei luoghi che permette a tali esondazioni di confluire naturalmente nell'alveo del Canale Monte Bianco, si è ritenuto opportuno modellare indipendentemente i due corsi d'acqua. Per motivi di uniformità del risultato, però, i due modelli sono stati implementati all'interno dello stesso file HEC-RAS.

Per il Botro Sugherone erano stati individuati due differenti bacini in fase idrologica, e conseguentemente due idrogrammi di piena, uno relativo alla sezione iniziale del corso d'acqua, e uno relativo all'afflusso laterale lungo il percorso.

Il modello idraulico implementato è allora di tipo 1D/2D, alla sezione di monte del modello è stato affidato come condizione al contorno l'idrogramma derivante dal relativo bacino, mentre come condizione di valle è stata imposta la normal depth pari a 0.02 in quanto il ricettore non presenta difficoltà di deflusso in corrispondenza dell'immissione. Lungo tutta la lunghezza del corso d'acqua è stata imposta l'ulteriore condizione al contorno data dall'immissione distribuita dell'idrogramma del bacino Sugherone valle. Infine è stata introdotta la condizione al contorno outflow alla componente bidimensionale del modello lungo la confluenza nel ricettore, in modo da simularne il rientro in alveo.





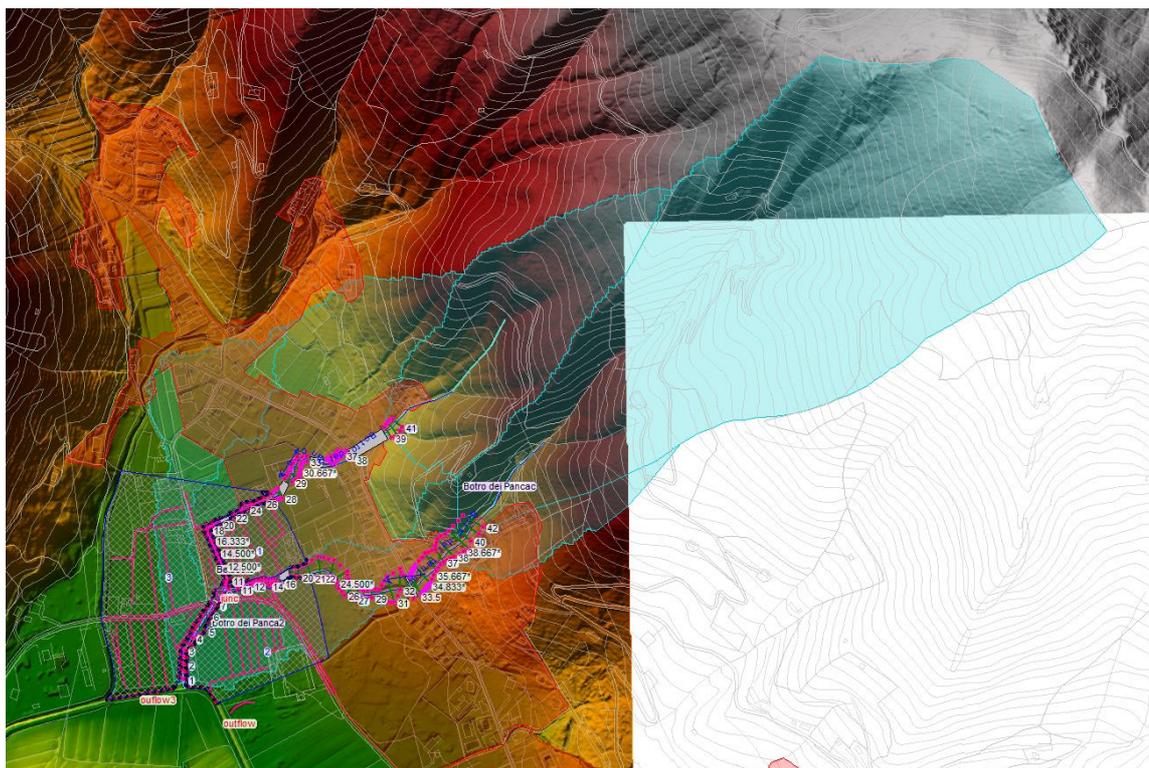
- **Botro dei Pancacci e Belucello**

Il modello idraulico del Botro dei Pancacci integra al suo interno anche quello relativo al Botro Belucello (anche Botro Vellucello o Rio Fontanelle) costituendo questo un suo affluente.

I due corsi d'acqua sono allora introdotti nel software di calcolo mediante modellazione 1D/2D, e interconnessi tra loro con l'ausilio dell'elemento junction.

Alle sezioni di monte dei due corsi d'acqua sono stati introdotti gli idrogrammi calcolati rispettivamente per il bacino Pancacci monte e Belucello monte, successivamente sono introdotti come idrogrammi distribuiti lungo il percorso i bacini Pancacci medio e valle e Belucello valle in modo da tenere conto del contributo degli afflussi laterali.

Anche in questo caso è stata introdotta come condizione al contorno di valle sia per la componente monodimensionale del modello che per quella bidimensionale una quota liquida pari a 4.2 m corrispondente alla sommità arginale media nei pressi dell'immissione del Botro dei Pancacci nel Fosso delle Acque Alte. Tale scelta permette di considerare l'ipotesi cautelativa per la quale il ricettore è supposto già in piena per tutta la durata dell'evento, comportando il rigurgito in alveo del Botro dei Pancacci.

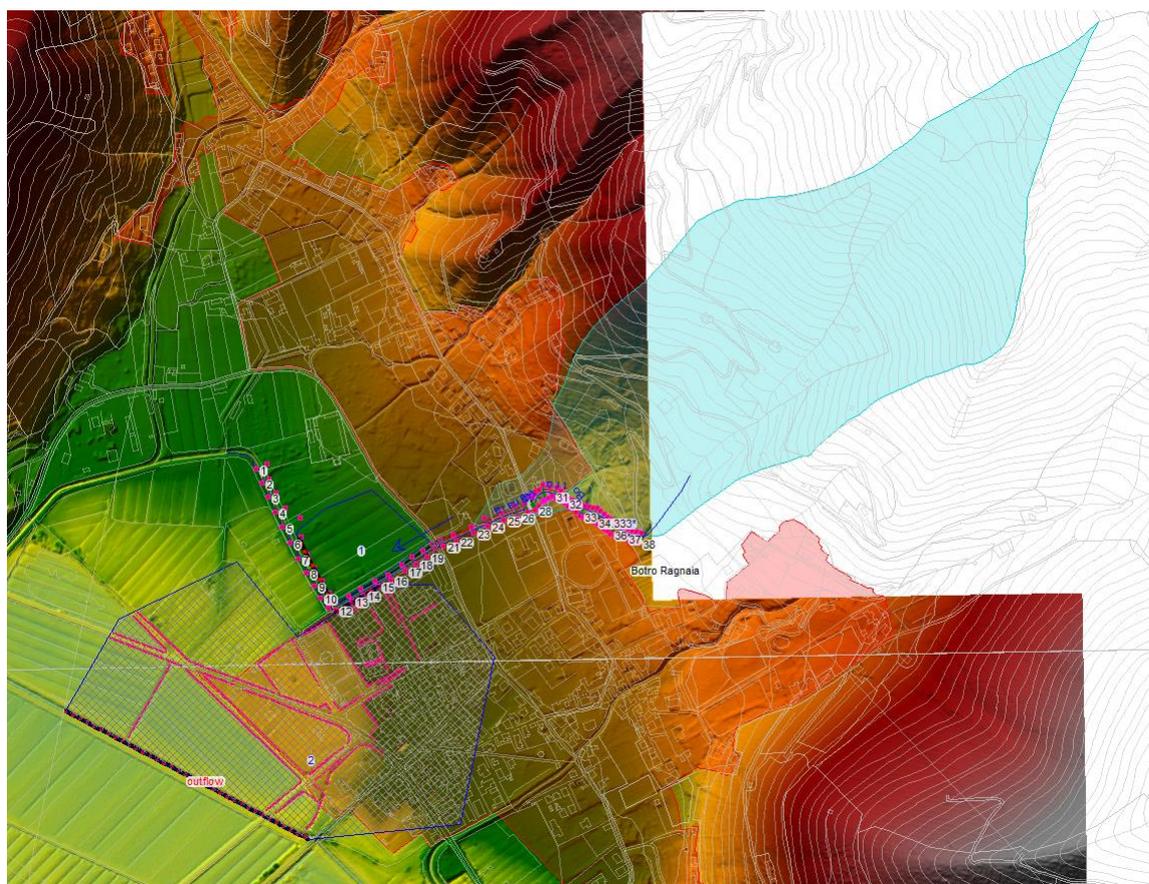


- **Botro della Ragnaia**

Il Botro della Ragnaia costituisce il tratto collinare di quello che successivamente è identificato come Fosso delle Acque Alte. Per il modello 1D/2D con cui è stato analizzato è stata introdotta la condizione al contorno nella sezione più a monte data dall'idrogramma calcolato per il corrispondente bacino idraulico. Dal momento invece che la sezione terminale del modello è posta molto a valle rispetto al tratto di stretto interesse per il presente studio, si è ritenuto sufficientemente realistico introdurre come condizione di valle un valore di normal depth pari a 0.001. Alcune simulazioni di taratura condotte hanno permesso di verificare l'attendibilità di questo parametro.

Le esondazioni dal corso d'acqua sono ancora modellate grazie alla componente bidimensionale connessa alla 1D mediante lateral structure. In questo caso è stato necessario introdurre la condizione di outflow in corrispondenza dell'Antifosso del Monte, posto più a valle, e che costituisce effettivamente una barriera al libero deflusso delle acque sulla pianura circostante.

E' stato inoltre necessario introdurre un elemento storage area utile a modellare una porzione di territorio che costituisce cassa di laminazione naturale direttamente connessa all'alveo privo di arginature in tale tratto. La curva aree volumi per tale cassa è stata automaticamente determinata sulla base della morfologia lidar.



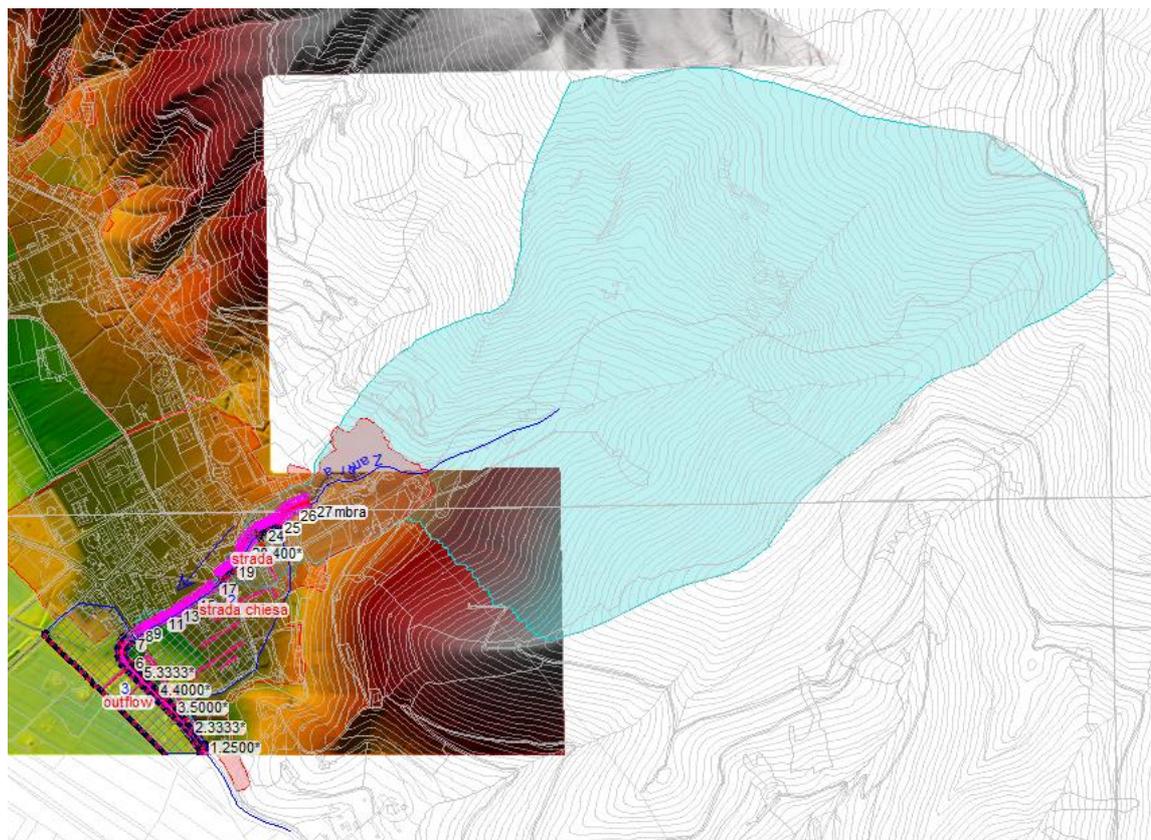
- **Canale di Zambra**

Il Canale di Zambra rappresenta uno dei corsi d'acqua più importanti che interessano il territorio di Asciano. Esso presenta generalmente una sezione adeguata, in alcuni tratti rivestita almeno al fondo, ma viziata da due ostruzioni non trascurabili dovute ad attraversamenti.

Il modello implementato sul software HEC-RAS è di tipo 1D/2D, dove l'idrogramma calcolato per il bacino di riferimento è stato cautelativamente introdotto interamente in corrispondenza della sezione di monte, risultando decisamente trascurabile l'afflusso laterale lungo il percorso del tratto studiato, viste anche la forma allungata dello stesso bacino. Non è stato quindi necessario simulare afflusso distribuito, mentre per la sezione di valle si è convenuto di assumere come condizione al contorno il valore normal depth 0.003. Simulazioni di taratura hanno permesso di verificare l'attendibilità di tale parametro.

Così come per quanto visto nel caso del Botro della Ragnaia, è stata imposta come condizione al contorno per la componente bidimensionale della modellazione una linea di outflow distribuita lungo il tracciato dell'Antifosso del Monte, costituendo questo una barriera al libero deflusso delle acque sulla pianura circostante.

Particolare attenzione è stata posta nel tracciamento delle break lines della maglia di modellazione bidimensionale, avendo verificato la loro accentuata influenza sulla corretta modellazione, anche tenuto conto delle elevate pendenze della morfologia del luogo.



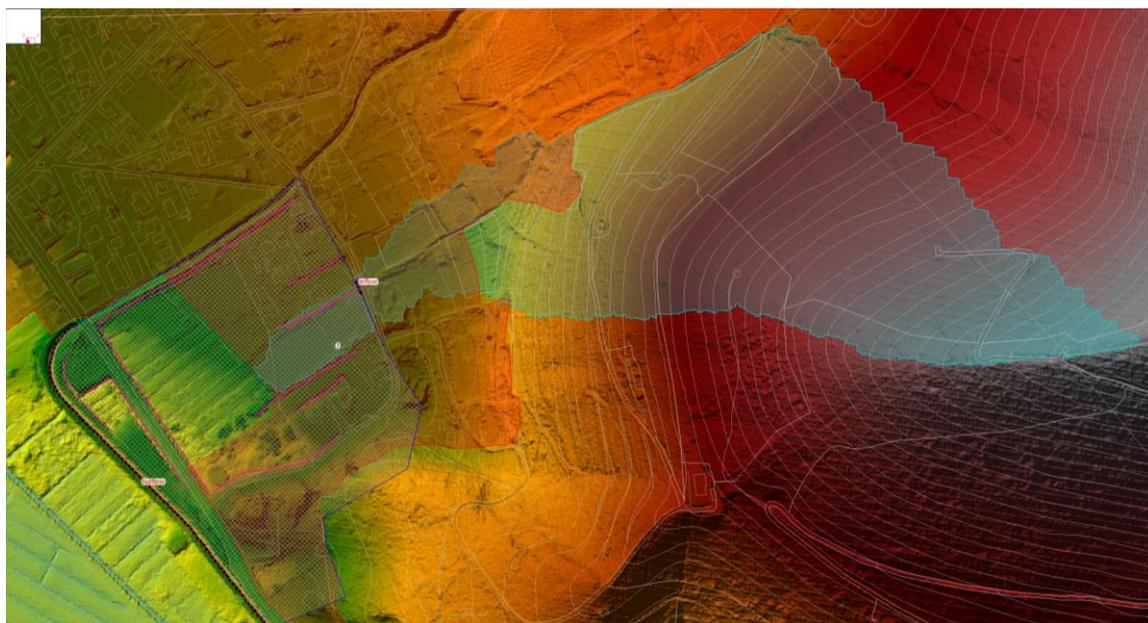
- **Affluente di Zambra**

Per quanto riguarda il corso d'acqua ed il relativo bacino denominati in precedenza Affluente di Zambra, occorre fare una importante precisazione. A dispetto della denominazione e di quanto riportato nello stesso reticolo idrografico pubblicato dalla Regione Toscana, tale corso d'acqua non risulta confluire nello Zambra.

Esso infatti presenta caratteristiche geometriche scarsamente definite nel suo tratto iniziale, mentre scompare completamente ogni definizione geometrica oltre l'incrocio dello stesso con la via San Rocco Asciano. Le acque incanalate quindi dal brevissimo tratto a monte, sono sparse sulle aree a valle della suddetta strada, senza alcun incanalamento; peraltro non si individua alcun attraversamento posto al di sotto del rilevato di via delle Sorgenti.

In virtù di quanto sopra, quindi, non è stato possibile modellare tale corso d'acqua come affluente del Canale di Zambra, mentre, in analogia con quanto già discusso per le frazioni di Pignano, Molina di Quosa, Rigoli e San Giuliano, si è ritenuto opportuno modellare bidimensionalmente lo spandimento delle acque incanalate sino al tombamento di via San Rocco Asciano. E' stato quindi introdotto in ingresso al modello l'idrogramma calcolato per il relativo bacino idraulico.

Al modello bidimensionale è stata poi applicata una condizione al contorno di outflow per simulare l'allontanamento delle acque che, una volta propagatesi sul territorio compreso tra via San Rocco e via delle Sorgenti, sfiorate al di sopra del rilevato di quest'ultima e ancora al di sopra del rilevato arginale del Canale di Zambra, confluiscono nell'alveo di quest'ultimo.



### Modelli idraulici di Agnano

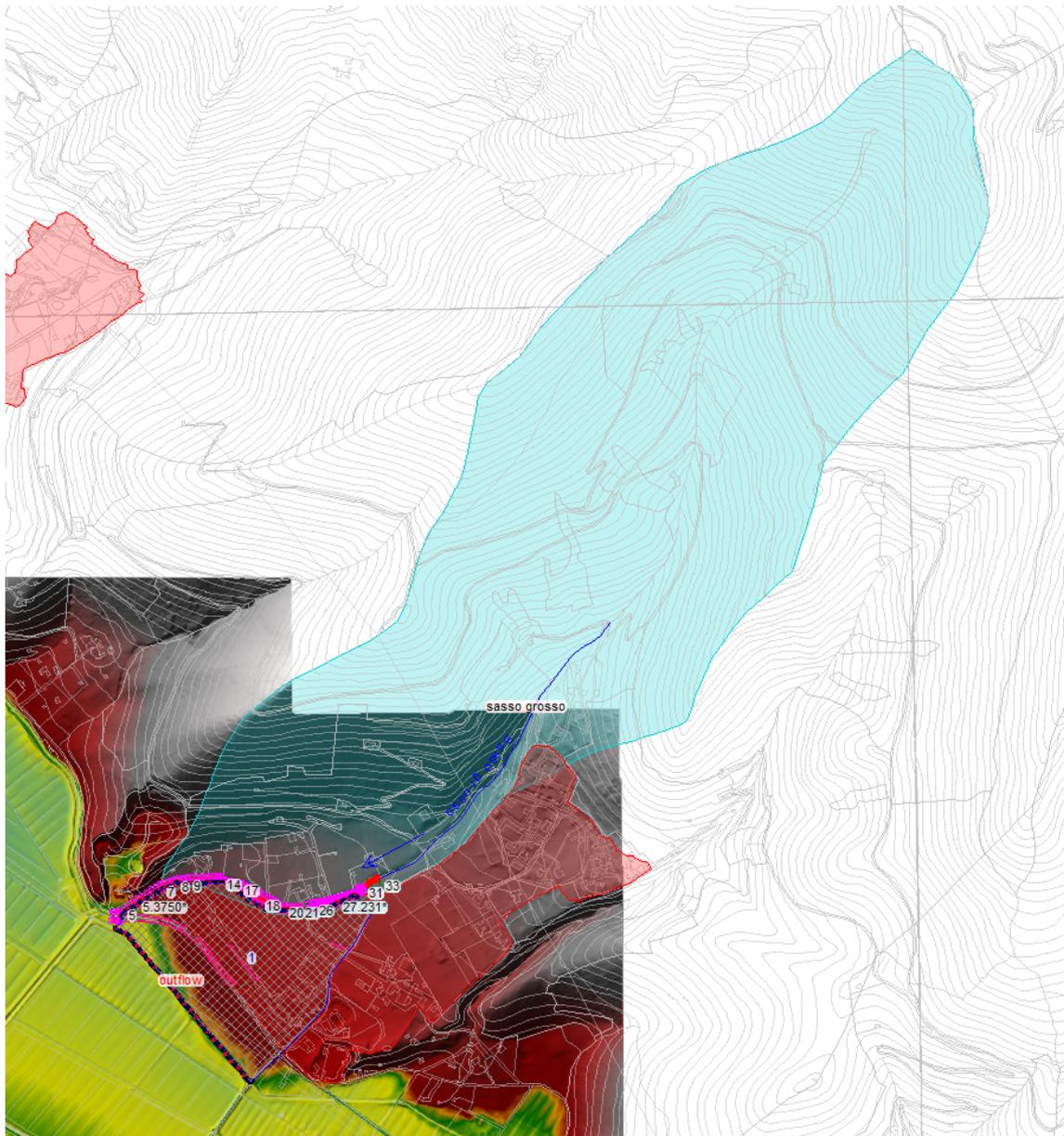
La frazione di Agnano è interessata da due corsi d'acqua, ma come vedremo uno dei due risulta assolutamente verificato in linea idraulica nei confronti dell'UTOE.

- **Botro del Sasso Grosso**

Il modello implementato per schematizzare il Botro del Sasso Grosso è ancora una volta di tipo 1D/2D. L'intero idrogramma calcolato per il bacino è stato cautelativamente introdotto in corrispondenza della sezione di monte del modello.

Da segnalare che la sezione del corso d'acqua, inizialmente ampia e generosa, caratterizzata da attraversamenti che possono perlopiù essere considerati trasparenti, si riduce sempre più procedendo da monte verso valle per tutto il tratto che lambisce l'UTOE, oggetto quindi della schematizzazione. La sezione d'alveo ridotta a quella di un semplice fosso campestre si scontra contro l'importante ostruzione data dall'attraversamento al di sotto della via delle Sorgenti, determinando l'esondazione quasi completa delle acque incanalate.

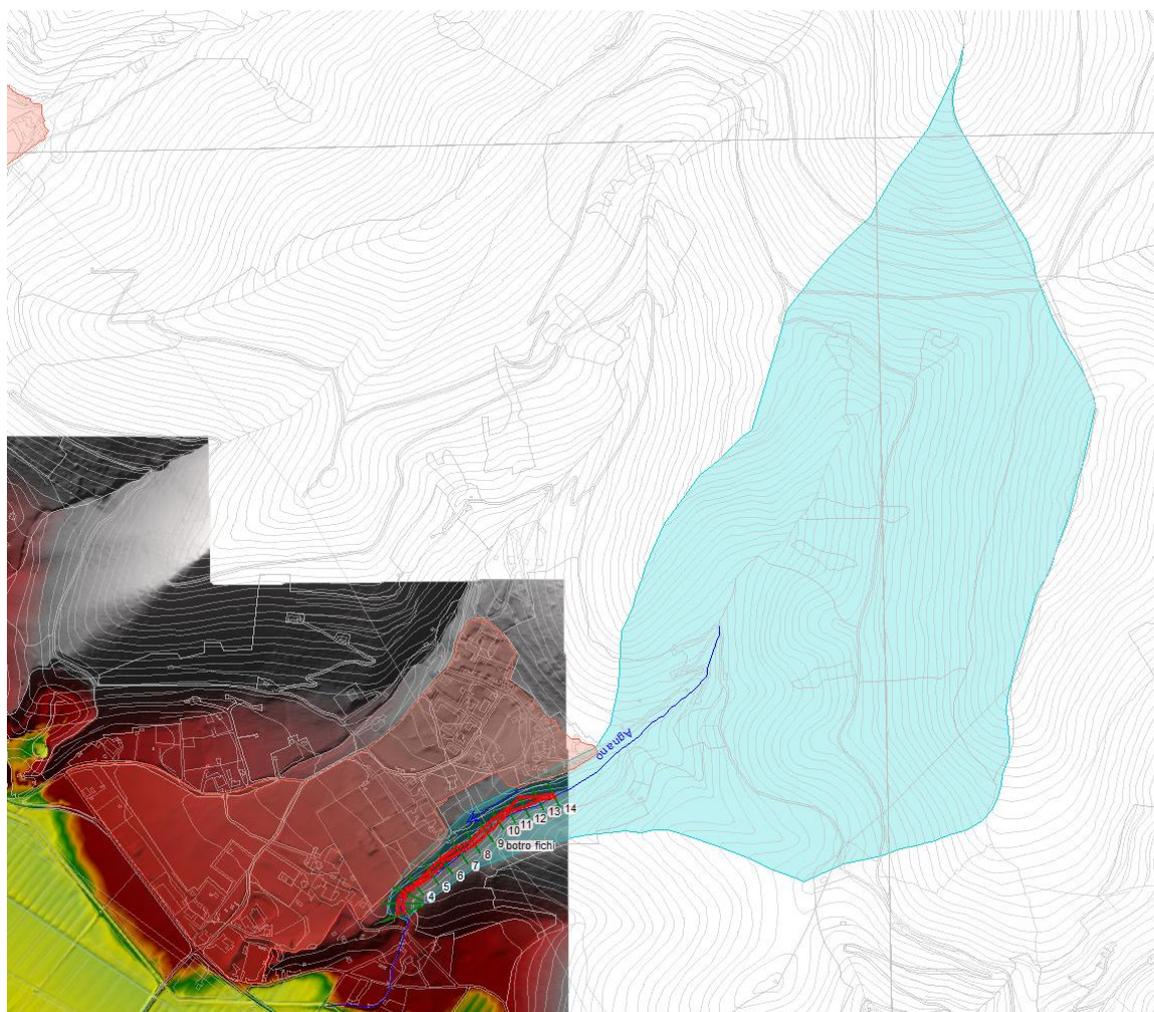
Anche in questo caso è stata introdotta la condizione al contorno di outflow per la componente bidimensionale in corrispondenza del tracciato dell'ultimo tratto del Fosso Barsanti, posto più a valle, che costituisce effettivamente una barriera al libero deflusso delle acque sulla pianura circostante.



- **Fosso Barsanti**

Per quanto riguarda il Fosso Barsanti, almeno nell'intervallo di interesse per la presente analisi ai fini della valutazione della sicurezza idraulica nei confronti dell'UTOE di Agnano, è stato sufficiente mettere a punto un modello idraulico di tipo monodimensionale a regime stazionario, per dimostrare che il corso d'acqua non presenta criticità, anche grazie alla natura fortemente incassata del suo alveo.

E' stato perciò sufficiente introdurre nella sezione di monte la massima portata al colmo degli idrogrammi calcolati per il relativo bacino. Per la sezione di valle è stata invece imposta la pendenza normal depth pari a 0.05, mentre a monte è posta pari a 0.09.



Modello idraulico del Canale Demaniale

Per quanto riguarda tutti gli aspetti di modellazione monodimensionale riguardanti il Canale Demaniale si faccia riferimento allo "Studio idrologico e idraulico del Fosso del Mulino" messo a disposizione dall'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi. Il presente studio si limita ad implementare, all'interno dello stesso modello, la schematizzazione bidimensionale delle esondazioni extraalveo.

Come chiaramente illustrato nella relazione allegata al suddetto studio, per quel che riguarda le condizioni al contorno di valle esse risultano influenzate dal livello dell'Arno. In merito si osserva che dal modello SIMI dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno si hanno le seguenti quote allo sbocco del Fosso del Mulino (sezione 93 d, a monte del ponte della Fortezza).

Sezione 93 d	Tr30	Tr100	Tr200	Tr500
max WSE (m.s.m.)	7.89	8.33	8.29	8.40

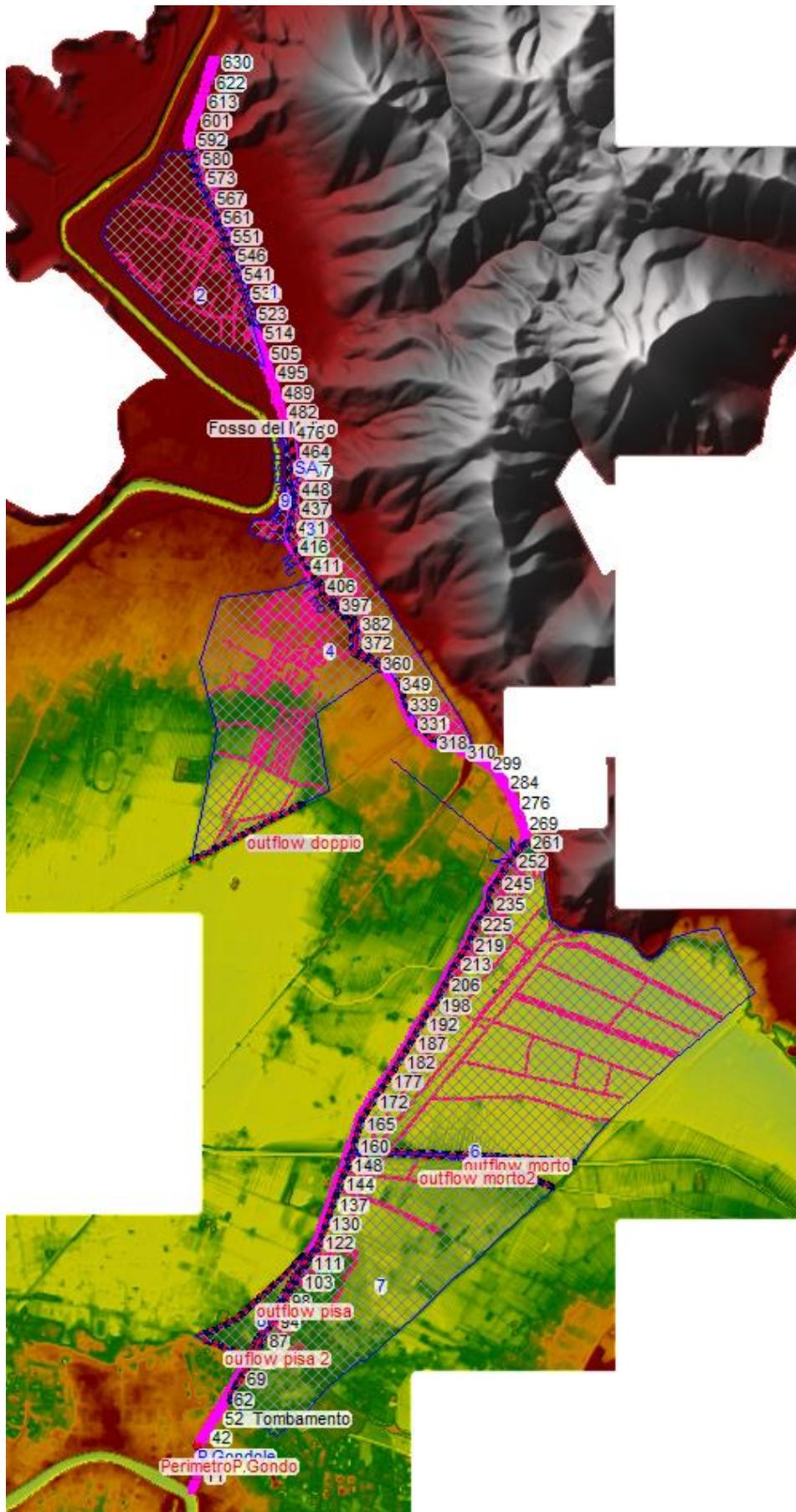
Si evidenzia che la quota di fondo della sezione di testata del modello (RAS 630, posta poco a valle dell'opera di presa dal Serchio) è pari a 5.51 m.s.m., per cui la condizione al contorno di piena trentennale dell'Arno da sola imporrebbe un'altezza liquida pari a 2.89 m subito a valle dell'opera di presa. Tale condizione di valle (ed a maggior ragione le condizioni di valle per tempi

di ritorno superiori) è chiaramente problematica per il deflusso di una pur minima portata nel Fosso del Mulino, per cui si conclude che nel caso di contemporanea piena dell'Arno e del Canale la situazione sia estremamente critica.

Alla luce di ciò, dando per scontata l'insufficienza del Fosso nel caso di piena contemporanea dell'Arno (perlomeno per tempi di ritorno trentennali o superiori) si è ritenuto necessario scegliere a base di calcolo una condizione di durata critica dell'evento di piena basata sulla reale probabilità di accadimento contemporaneo della crisi dei due corsi d'acqua, che in realtà presentano caratteristiche idrauliche e idrologiche profondamente diverse, particolarmente tenuto conto del diverso bacino di alimentazione. Considerare infatti la contemporaneità dei due eventi di piena avrebbe condotto a risultati eccessivamente cautelativi e molto distanti dalle reali condizioni di pericolosità.

Pertanto, in accordo con l'Ufficio del Genio Civile di Lucca, si è scelto di assumere le 24h come massima durata dell'evento di piena da considerare a base di calcolo. Peraltro si fa presente che lo studio sopra citato aveva individuato come durata critica per il Canale Demaniale (durata dell'evento meteorico capace di dare portata massima in alveo) l'evento con  $d=30$  minuti per TR200 e  $d=60$  minuti per TR30.

Interpellato l'Ufficio dei Fiumi e dei Fossi, infatti, gestore di tale corso d'acqua, questi ha individuato statisticamente la massima durata per la quale è stato necessario mantenere chiusa l'opera di restituzione in Arno durante i più importanti eventi registrati in passato, pari a 24h. Si è perciò assunto che per eventi meteorici di durata inferiore o pari a 24h, sia impedito il deflusso verso l'Arno per tutta la durata della simulazione (48h). Viceversa si è supposto che per eventi di durata superiore alle 24h, l'opera di restituzione in Arno permetta il deflusso a valle (almeno per la frazione superiore alle 24h). Pertanto non sono state simulate durate di pioggia superiori alle 24h, ritenendole meno critiche.



### Modello idraulico di Gello

L'ultimo modello idraulico investigato è quello relativo ad un piccolo fosso di guardia del rilevato ferroviario interno all'UTOE di Gello e denominato per brevità Fosso della Ferrovia.

Esso corre in direzione nord-sud lungo la ferrovia, variamente tombato nonché fortemente sottodimensionato, in particolare per quanto riguarda il tombamento posto al di sotto della ferrovia.

A seguito dei recenti lavori per la realizzazione di un nuovo tracciato stradale (a tratto più scuro nell'immagine a seguire) che sottopassa la ferrovia, inoltre, è stato stravolto il complesso reticolo di fossi campestri dell'area, modificando anche significativamente il bacino afferente al Fosso della Ferrovia, e rendendo quasi incomprensibile la struttura del reticolo drenante.

Tenuto conto del bacino afferente e delle dimensioni contenute della sezione d'alveo, lo scrivente ritiene che al fosso in esame non corrispondano caratteristiche di corso d'acqua superficiale ma piuttosto di reticolo drenante di dettaglio.

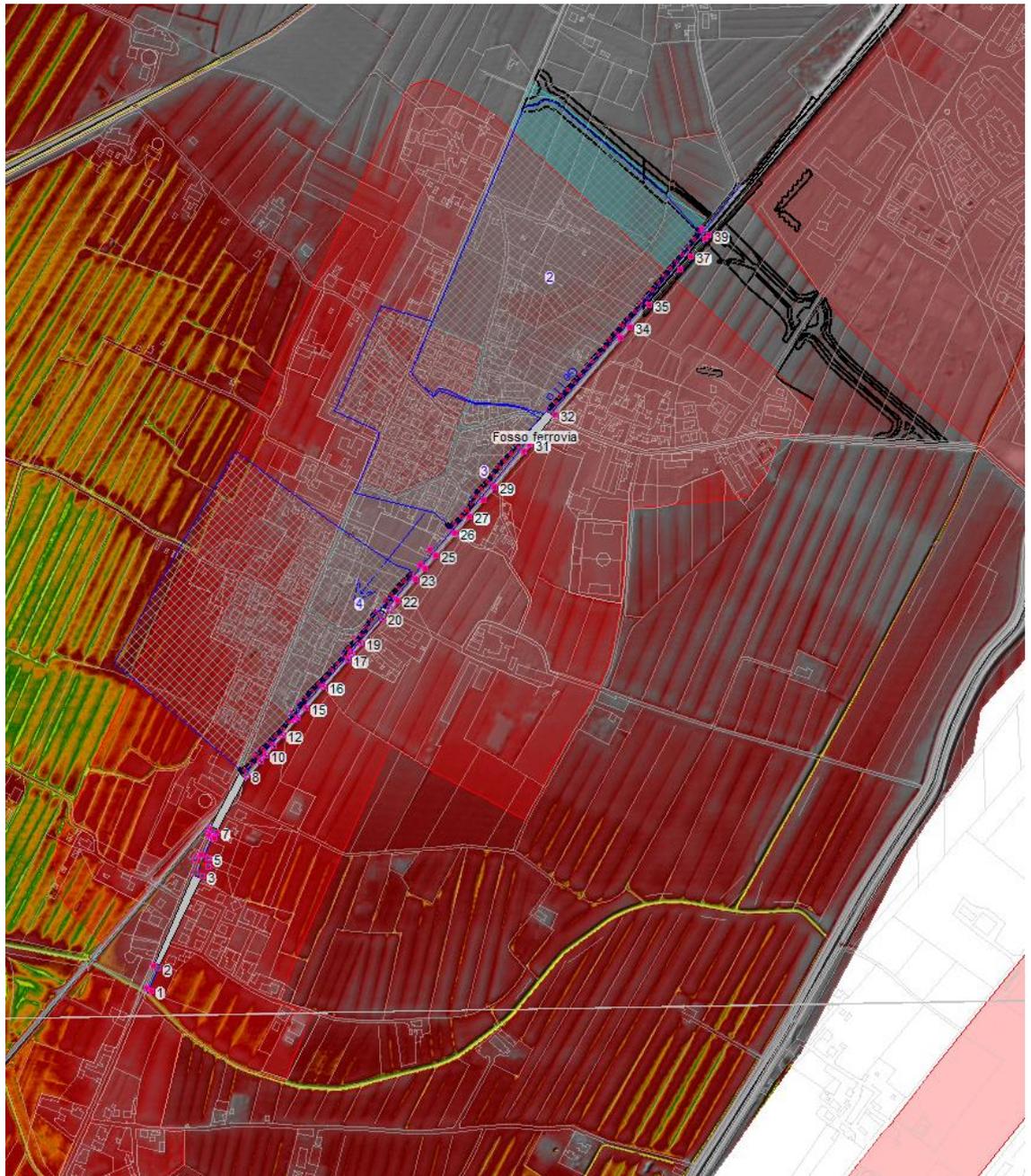
In ogni caso è stato messo a punto un modello idraulico di tipo 1D/2D. Particolare attenzione è stata posta nello studio idrologico per l'individuazione del bacino afferente e la sua suddivisione in sottobacini che costituiscono afflusso laterale per il fosso.

In particolare poi si è rilevato che la stessa porzione di territorio che afferisce le sue acque alla porzione di monte del fosso assume anche la naturale funzione di laminazione delle acque, particolarmente in virtù di quello stravolgimento del reticolo drenante di dettaglio di cui sopra.

Analogamente vale per il bacino Ferrovia 3 in corrispondenza del quale scompare quasi completamente la sezione d'alveo.

I quattro bacini idraulici individuati alimentano perciò in modo distribuito il fosso lungo i tratti di rispettiva competenza. La condizione al contorno di valle è invece imposta come livello stazionario di 2.15 m che rappresenta la quota media del piano campagna nei pressi dell'immissione del Fosso della Ferrovia nel Fosso del Gatano, supposto cioè cautelativamente già in crisi per l'intera durata dell'evento.

In questo caso le simulazioni idrauliche sono state arrestate ad eventi di pioggia di durata 6h, ritenendo che eventi con durate superiori non siano rappresentativi per le caratteristiche del bacino, dando peraltro luogo a portate di deflusso decisamente limitate, e tali da non rendere lecito trascurare gli effetti di infiltrazione nel terreno.



## ***RISULTATI DELLE ANALISI***

Per ciascuno dei modelli idraulici 1D descritti si riportano all'Allegato Idraulico i profili idraulici ed i risultati tabellari. Si propongono inoltre i risultati delle analisi svolte sotto forma di sezioni trasversali.

Nelle allegate tavole grafiche si riportano invece i risultati sotto forma di battenti idraulici di esondazione determinati come inviluppo dei massimi ottenuti da ciascuna delle simulazioni, indipendentemente dal modello idraulico o dalla durata dell'evento meteorico che li ha determinati. Si mantiene invece la distinzione tra gli eventi meteorici aventi TR30 e quelli aventi TR200.

Si forniscono anche in formato elettronico i grid interrogabili dei valori dei battenti di inviluppo determinati come sopra. In vista dell'ormai prossimo aggiornamento della L.R. 21 "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua" che con molta probabilità introdurrà nell'analisi della pericolosità idraulica anche la valutazione delle velocità di deflusso, si fornisce in formato elettronico anche il grid interrogabile dei relativi valori.