

REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI IMPERIA

COMUNE DI BORDIGHERA

TORRENTE BORGHETTO

TRATTO TRA VIA ROMANA E FOCE

ISTANZA DI AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEL DISSESTO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA



EDes Ingegneri Associati

Corso Peschiera 191, 10141 Torino

Tel. +39-011.0262900 Fax. +39-011.0262902

www.edesconsulting.eu - edes@edesconsulting.eu

P.IVA 10759750010



Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI

Dott. Ing. Luca GATTIGLIA



Data	Rev.	Fase	N. Elab.
			-
Mag.2018	0	CONSULENZA	Codice 12013-C09-0



REGIONE LIGURIA

PROVINCIA DI IMPERIA

COMUNE DI BORDIGHERA

TORRENTE BORGHETTO

TRATTO TRA VIA ROMANA E FOCE

ISTANZA DI AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEL DISSESTO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

INDICE

1.	<i>PREMESSA</i>	2
2.	<i>QUADRO NORMATIVO E STATO DEL DISSESTO VIGENTI</i>	2
3.	<i>STATO DI ATTUAZIONE DELLE OPERE</i>	4
4.	<i>AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEL DISSESTO</i>	7
5.	<i>ANALISI IDRAULICA</i>	7
5.1.	<i>ASSETTO IDROLOGICO</i>	7
5.2.	<i>DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO</i>	8
5.3.	<i>ASSETTO GEOMETRICO BIDIMENSIONALE</i>	9
5.4.	<i>IMPLEMENTAZIONE DELLA MESH</i>	11
5.5.	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO</i>	15
6.	<i>RISULTATI DELL'ELABORAZIONE IDRAULICA</i>	15
6.1.	<i>ANALISI DELL'AVANZAMENTO TEMPORALE DELL'EVENTO</i>	16
6.2.	<i>CARATTERIZZAZIONE PUNTUALE DEGLI IDROGRAMMI DI EVENTO</i>	18
6.3.	<i>Sintesi dei RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO</i>	20
7.	<i>CONCLUSIONI E PROPOSTA DI AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEI DISSESTI</i>	32



1. PREMESSA

Il Piano di Bacino del Torrente Borghetto, i cui dati salienti in termini di atti approvati vengono riportati nel seguito, non risulta aggiornato all'effettivo stato di fatto venutosi a modificare a seguito della opere realizzate negli ultimi anni da parte dell'amministrazione comunale.

Pertanto il presente documento si propone di aggiornare il quadro del dissesto, per il tratto compreso tra la via Romana e la foce, oggetto di rilevanti interventi di riduzione delle condizioni di rischio idraulico, su istanza del Comune di Bordighera, proprio per tenere conto dell'attuale stato di fatto.

2. QUADRO NORMATIVO E STATO DEL DISSESTO VIGENTI

L'attuale quadro normativo di Piano di Bacino può essere così sintetizzato:

Atto di approvazione: **DGP n.92 del 16.02.2004**

Ultima variante approvata: **DCP n.29 del 15/06/2015**

Variante in corso: **DdDG n. 194 del 15/11/2017**

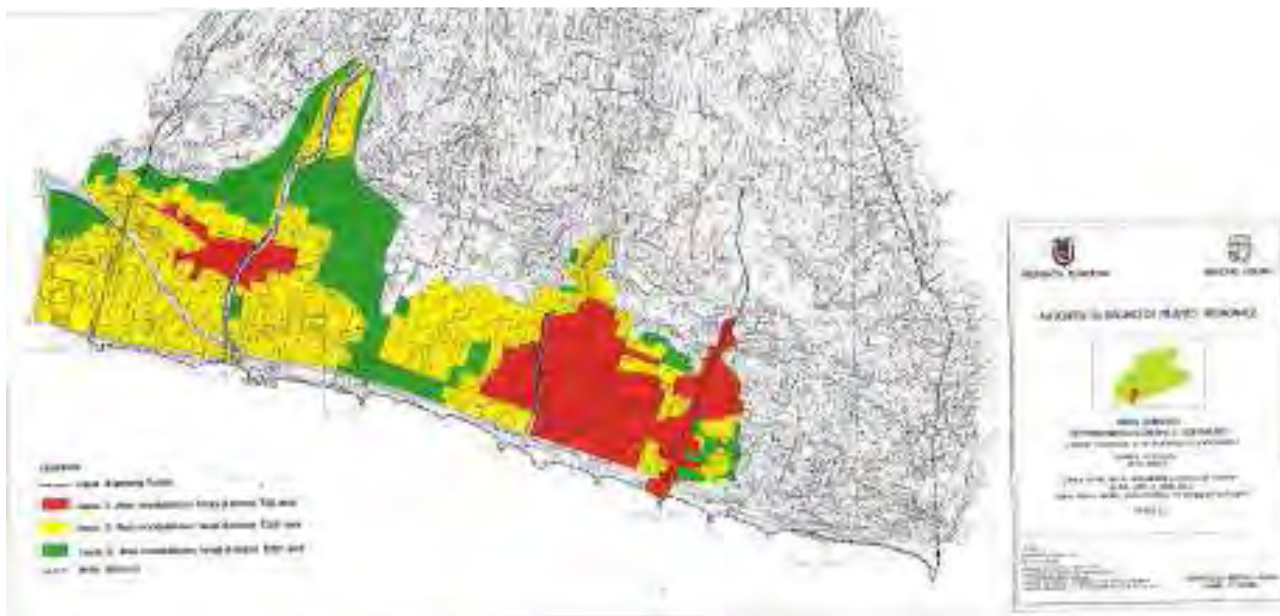
Quadro Storico delle Varianti:

- **D.G.P. n. 711 del 07.12.2004** Approvazione variante al Piano di Bacino Stralcio per la Difesa dei torrenti Vallecrosia e Borghetto - Ambito di bacino n. 2 Nervia - L.R. n. 18/1999, approvato con D.C.P. n. 86 del 15.10.2002 e successiva D.G.P. n. 92 del 16.2.2004 di adeguamento a parere vincolante C.T.R. - Modifica delle tavole di piano n. 13A "Carta delle fasce fluviali", n. 16 bis "Carta del rischio idraulico, n. 18 "Carta dei regimi normativi" e n. 19 "Carta dei corsi d'acqua" nei Comuni di Vallecrosia, S. Biagio della Cima e Perinaldo
- **D.G.P. n. 307 del 12.07.2006** Variante al Piano di Bacino Stralcio per la Difesa Idraulica ed idrogeologica dei Torrenti Vallecrosia e Borghetto - Ambito di Bacino 2 Nervia L.R. 18/1999 art. 97 e D.L. 180/98 (convertito con L. 267/98), approvato con D.C.P. 86 del 15.10.2002 e successiva D.G.P. 92 del 16.2.2004 di adeguamento al parere vincolante C.T.R. (modifica alla tavola n. 13A - Carta delle fasce fluviali e tavola n. 16 bis Carta del rischio idraulico)
- **D.G.P. n. 213 del 23.05.2007** Variante del Piano di Bacino Stralcio per la Difesa Idraulica ed Idrogeologica dei Torrenti Vallecrosia e Borghetto - (Ambito di Bacino n. 2 - Nervia) - L.R. n. 18/1999 art. 97 e D.L. 180/98 (convertito con Legge 267/98), approvato con D.C.P. n. 86 del 15.11.2002 e successiva D.G.P. n. 92 del 16.2.2004 di adeguamento al parere vincolante C.T.R. - (modificata alla tavola n. 13 A - carta delle fasce fluviali - tavola n. 16 bis A Carta del rischio idraulico)
- **D.G.P. n.13 del 11.01.2012** Variante del Piano di Bacino Stralcio per la Difesa Idraulica ed Idrogeologica dei Torrenti Vallecrosia e Borghetto - (Ambito di Bacino n. 2 - Nervia) - L.R. n. 18/1999 art. 97 e D.L. 180/98 (convertito con Legge 267/98), approvato con D.C.P. n. 86 del 15.11.2002 e successiva D.G.P. n. 92 del 16.2.2004 di adeguamento al parere vincolante C.T.R. - (modificata alla tavola n. 13 A - carta delle fasce fluviali - tavola n. 16 bis A Carta del rischio idraulico)
- **D.G.P. n.273 del 22.11.2012** Approvazione della variante al Piano di Bacino stralcio per la difesa idraulica ed idrogeologica dei torrenti Vallecrosia, Borghetto e rii minori dell'Ambito n° 2 - Nervia, ai sensi dell'art. 10 della L.R.58/2009 comma 5. Carta del Reticolo Idrografico
- **D.C.P. n.29 del 15.06.2015** Approvazione della variante sostanziale al Piano di bacino stralcio per la difesa idraulica e idrogeologica dei torrenti Vallecrosia, Borghetto e Rii minori dell'ambito n. 2 - Nervia ai sensi dell'art. 10, commi 3 e 4, della L.R. n. 58/2009

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa



In particolare in termini di Carta delle aree inondabili la situazione è quella perimetrata nella presente Cartografia (Rif. *Carta delle aree inondabili ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni sulla base della modellistica di maggior dettaglio - Tav 13_a_2*)



In termini di Carta degli ambiti normativi la situazione è quella perimetrata nella presente Cartografia (Rif. *Carta degli ambiti normativi - Tav 13_a_2bis*)



Risulta evidente come la fascia di territorio interessata dal Torrente Borghetto presenta nelle tavole citate situazioni di criticità significative per esondazione diretta con tempi di ritorno a partire da 50 anni, sia in destra sia in sinistra orografica.

3. STATO DI ATTUAZIONE DELLE OPERE

Come detto il quadro del dissesto sopra riportato non risulta aggiornato in particolare in rapporto agli interventi realizzati dal Comune, di cui si riporta nella successiva tabella l'indicazione dell'opera e lo stato di attuazione, che giustifica la presente proposta, e l'ente attuatore:

INTERVENTO	STATO DI ATTUAZIONE	ENTE ATTUATORE
Sistemazione idraulica torrente Borghetto tra la via Romana e la foce	Completato e collaudato	Comune di Bordighera
Rifacimento ponte Aurelia	Lavori ultimati in fase di collaudo tecnico-amministrativo; opere strutturali collaudate	Provincia di Imperia - Comune di Bordighera
Rifacimento ponte ferroviario	In fase di ultimazione i lavori relativi all'impalcato; adeguamento idraulico delle sezioni completato	RFI
Realizzazione di vasche di trattenuta trasporto solido e materiale flottante	E' stata realizzata una prima vasca; i lavori risultano conclusi e collaudati; alla data attuale risulta finanziato un secondo lotto di lavori di completamento avente per oggetto il tratto di Borghetto tra l'autostrada e la Romana	Comune di Bordighera

A seguito del completamento delle opere di sistemazione idraulica del Torrente Borghetto, il cui collaudo è stato completato nei mesi scorsi, la Direzione Lavori ha prodotto in termini di As-Built un documento di analisi idraulica complessiva del tratto, in moto permanente (date le caratteristiche prettamente monodimensionali del corso d'acqua nel tratto specifico), di verifica dell'effettivo raggiungimento degli obiettivi progettuali, che si allega integralmente al presente studio.

Si precisa che in tale documento si è tenuto conto delle sezioni idrauliche adeguate in corrispondenza dei ponti Aurelia e RFI, che risultano alla data attuali rispettivamente terminato il primo e terminato per quanto riguarda la sezione idraulica il secondo (come da fotografie seguenti).



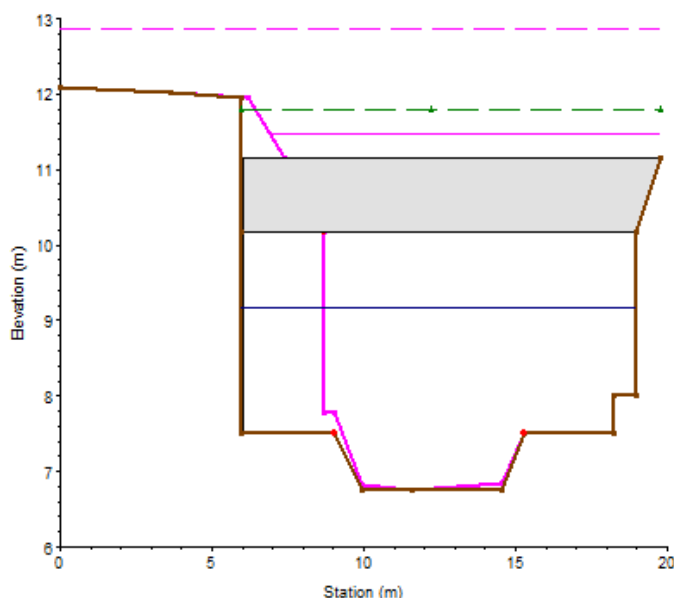
Si precisa inoltre che relativamente al tratto terminale (in particolare per il ponte Aurelia e lo scatolare esistente tra il ponte Aurelia e il ponte ferroviario) già in sede di approvazione del progetto definitivo complessivo di sistemazione si era preso atto della necessità di derogare parzialmente ai criteri di franco idraulico previsti dalla norma; nel caso del ponte Aurelia per gli inevitabili vincoli connessi con le quote stradali, per lo scatolare di valle invece per evidenti motivi economici connessi con il suo eventuale rifacimento.

Il documento di as-built illustra e motiva anche le modeste differenze tra franchi teorici e franchi realizzati; ulteriore elemento da tenere in conto è che in sede progettuale le valutazioni sono state effettuate anche tenendo conto del modello fisico realizzato in fase di progetto definitivo, mentre necessariamente le valutazioni di as-built derivano da modello matematico.

Inoltre in data luglio 2016 il comune di Bordighera ha fatto redigere il progetto preliminare della sistemazione del Torrente Borghetto a monte della via Romana, che di fatto risulta il progetto di completamento del tratto già realizzato a valle; tale progetto risulta attualmente finanziato, con previsione di redazione del progetto definitivo entro la fine del 2018.

Con riferimento alle tematiche oggetto del presente approfondimento, nel citato progetto preliminare, le verifiche idrauliche dello stato di fatto hanno evidenziato l'inadeguatezza dell'imbocco dello scatolare di via Romana, il quale presenta un netto restringimento in sinistra rispetto alla sezione media dello scatolare stesso (peraltro tale situazione era nota già all'atto della redazione del progetto delle opere di valle, ma l'intervento era a carico di soggetto attuatore privato, situazione poi non sviluppatasi anche a causa delle mutate condizioni economiche connesse con la crisi del mercato edilizio). Le sezioni tra lo scatolare e il ponte di Via del Fabbro risultano inoltre inadeguate al deflusso della portata di riferimento TR200.

Il progetto preliminare prevede quindi l'adeguamento della sezione mediante allargamento in sponda sinistra nel tratto compreso tra il ponte di via del Fabbro e l'imbocco dello scatolare della Romana. Le verifiche idrauliche hanno evidenziato la necessità di realizzare un allargamento di circa 2.70 m per l'ottenimento di un franco di 1.00 m all'imbocco, uniformandosi con la geometria di valle dello scatolare. Il primo lotto di intervento di tale progetto di monte prevede inoltre anche l'adeguamento delle sezioni d'alveo nel tratto compreso tra tale imbocco e il ponte di via del Fabbro, ubicato circa 150 m a monte, risolvendo quindi completamente la problematica connessa con le esondazioni residue a monte della Romana.



*Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa*



Il citato progetto preliminare contiene anche le considerazioni nel seguito riportate in merito all'effettiva necessità di realizzare le opere di trattenuta di monte previste in precedenza.

In sede di approvazione del progetto definitivo degli interventi di valle erano stati prescritti in termini di programmazione e futura realizzazione alcuni interventi a monte ritenuti allora indispensabili per la definitiva messa in sicurezza anche delle aree a valle della Romana, come ben evidenziato nella proposta di Carta degli Ambiti normativi del Piano di Bacino. In particolare in tale contesto si richiedeva la realizzazione di adeguati interventi per la gestione del trasporto solido e del materiale flottante e l'adeguamento dell'imbocco dello scatolare della Romana.

Nell'ambito dell'incontro del marzo 2017 con gli uffici tecnici regionali, nel corso del quale è stato valutato il citato progetto preliminare prima che lo stesso fosse finanziato, alla luce delle opere già realizzate e delle esperienze di questi ultimi anni, nonché dell'esito delle precedenti valutazioni effettuate anche nell'ambito della modellazione fisica redatta dal Politecnico di Torino per il tratto di valle, si è definito di dare priorità agli interventi strutturali di adeguamento della sezione idraulica e risoluzione dei nodi idraulici, rimandando invece a successivi approfondimenti la valutazione sull'effettiva necessità e dimensionamento delle vasche di trattenuta, approfondimenti rimandati nell'ambito della progettazione definitiva del primo lotto del tratto di monte.

Questa scelta nasce dalla condivisione con gli uffici tecnici regionali e di piano di bacino del fatto che la prescrizione di assoggettare lo svincolo delle aree di valle (a valle della Romana) riportata nell'autorizzazione idraulica relativa al progetto definitivo delle opere di valle deve necessariamente essere ricalibrata, con adeguati studi, alla luce del comportamento del corso d'acqua a seguito delle opere finora realizzate, sia volte al contenimento degli apporti provenienti da monte, sia volte a consentire un deflusso di piena con sezioni in grado di garantire una certa "autopulizia" nelle fasi terminali degli eventi; in particolare questo effetto è stato provato sperimentalmente già nel modello idraulico redatto in collaborazione con il Politecnico di Torino per il tratto di valle, e di fatto verificato negli eventi succedutisi negli ultimi 3-4 anni, durante i quali progressivamente si stavano svolgendo i lavori a valle; in particolare nel periodo si sono verificate almeno 7 situazioni di allarme con codice rosso, di cui almeno 3 con portate di piena ben superiori alla piena ordinaria, verificando di fatto la capacità di mantenimento delle sezioni (ad eccezione dello scatolare di valle, dove la presenza di depositi al termine della piena sono principalmente attribuibili al fatto che l'intervento sul ponte ferroviario non risultava allora ancora completato).

Infine si evidenzia come attualmente non si rileva la presenza di aree "sorgenti" in grado di contribuire in modo significativo in termini di trasporto solido, e che le opere previste nel primo lotto potranno contribuire all'adeguamento di sezioni oggi ridotte, favorendo quindi l'eventuale passaggio di materiale in sospensione o flottante.

Tenuto perciò conto di quanto sopra, l'amministrazione comunale ha quindi definito di concentrare le nuove risorse a risolvere i principali nodi strutturali evidenziati nel progetto preliminare, rimandando ai successivi approfondimenti le analisi relative al trasporto solido. Di questo fattore è necessario che si prenda atto anche negli atti di pianificazione, che attualmente vincolano le aree di valle alla realizzazione di tali opere di contenimento, secondo le procedura che saranno definite dagli uffici regionali in aggiornamento alle previsioni di piano di bacino.

Alla luce di quanto sopra esposto pertanto il presente studio ha per oggetto la definizione del quadro del dissesto a valle dello scatolare di via Romana alla data attuale, che di fatto è dovuto all'inadeguatezza delle sezioni idrauliche di imbocco e immediatamente a monte dello scatolare della Romana. Le verifiche in moto



permanente di cui all'allegato As-Built infatti evidenziano in modo definitivo come a valle dello scatolare e fino alla foce non vi siano più situazioni di esondabilità.

4. AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEL DISSESTO

Alla luce delle precedenti considerazioni pertanto il presente lavoro ha l'obiettivo di redigere l'aggiornamento del quadro del dissesto alla luce in primo luogo delle opere realizzate alla data odierna e anche tenendo conto delle precedenti considerazioni contenute nel progetto preliminare.

L'approccio metodologico adottato, illustrato nel seguito, è consistito nell'elaborazione di un modello bidimensionale in moto vario atto a definire una nuova perimetrazione delle aree esondabili a partire dall'imbocco dello scatolare della Romana, che tiene conto dell'esondabilità residua dovuta alle criticità a monte dello scatolare stesso.

E' opportuno precisare fin d'ora che l'approccio adottato e dettagliatamente descritto nel seguito risulta difficilmente confrontabile in modo diretto con quello utilizzato nel 2006 per la redazione delle perimetrazioni di PdB; in primo luogo perchè in questi 12 anni la modellistica ha avuto un'evoluzione estremamente rapida, consentendo oggi l'utilizzo di software ufficiali e certificati, di uso diffuso e ormai consolidato, mentre l'approccio del 2006, sia pur estremamente rigoroso e certamente idraulicamente corretto, utilizzava software "autoprodotti" a livello universitario; in secondo luogo perchè lo stato dei luoghi è profondamente mutato, per cui non è possibile neppure realizzare una simulazione di taratura basata su eventi di oltre 10-15 anni fa, (eventuali elementi noti, quali livelli misurati in alcune aree o superfici esondabili raggiunte sono appunto relativi agli eventi di circa 12 anni fa e oggi lo stato dei luoghi è profondamente mutato, anche in parte esternamente all'alveo; inoltre anche gli elementi topografici di base utilizzati attualmente sono completamente diversi (Lidar, DTM rilievi Laser Scanner di As-Built, etc.); infine le sezioni dell'alveo risultano completamente modificate a seguito degli interventi realizzati.

Nel seguito si procede all'illustrazione dettagliata delle elaborazioni svolte.

5. ANALISI IDRAULICA

5.1. ASSETTO IDROLOGICO

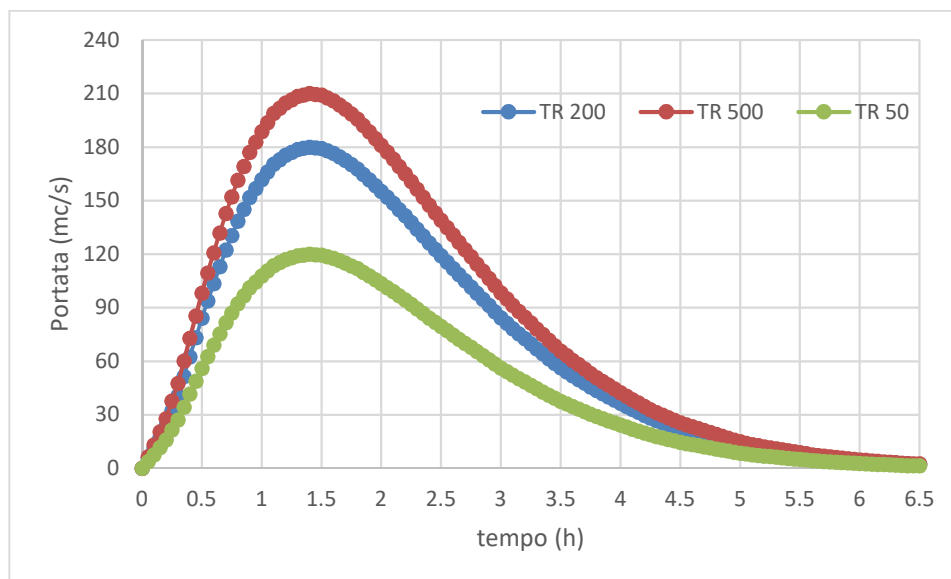
Il piano di bacino riporta i seguenti valori per le portate di massima piena del T. Borghetto:

Tempo di ritorno (anni)	2.9	30	50	100	200	500
Portata (mc/s)	40	100	120	150	180	210

Nel caso in esame i dati idrologici di base (piogge, tempo di corrivazione, morfologia e coefficienti di deflusso) sono già stati assunti e condivisi nel Piano di Bacino e pertanto possono essere direttamente forniti come elementi di input all'analisi 2D.

È stato possibile definire gli idrogrammi in ingresso a partire dalla forma dell'idrogramma utilizzato nel piano di bacino per il quale il colmo, per tempo di ritorno di 200 anni, arriva 1.4 ore dopo l'inizio dell'evento.

La digitalizzazione dell'idrogramma assume quindi la seguente forma:



Tali idrogrammi rappresentano i tre scenari idrologici in input al modello 2D sviluppato ed illustrato nel seguito.

5.2. DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO

Il problema idraulico consiste nel calcolo delle grandezze idrauliche corrispondenti all'assegnata portata di piena, lo schema di calcolo adottato è quello bidimensionale di moto vario recentemente implementato dal codice HECRAS "River Analysis System" Versione 5.03 (U.S. ArmyCorps of EngineersHydrologic Engineering Center).

In modello in questione risolve le equazioni costitutive dei fluidi note come equazione di continuità e della quantità di moto (equazione dei momenti).

L'equazione di conservazione della massa (equazione di continuità) assume la seguente forma differenziale:

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

(Dove H il carico totale h è il tirante locale, u e v le velocità mediate sull'altezza lungo una delle direzioni x o y, t il tempo, q l'intensità degli eventuali afflussio sottrazioni).

L'equazione dei momenti assume la forma :

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

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

Dove g è l'accelerazione di gravità, v_t rappresenta il coefficiente dell'eddyviscosity orizzontale C_f rappresenta coefficiente d'attrito di fondo ed f il parametro di Coriolis.

La bidimensionalità è data dal fatto che le variabili sono calcolate su due dimensioni cartesiane x ed y e mediate invece sulla profondità e che le componenti lungo z delle grandezze idrauliche vettoriali sono trascurate.



Il modello 2d adottato infine risulta a fondo fisso senza componenti di trasporto solido. Nella configurazione adottata il risolutore numerico utilizza uno schema di risoluzione esplicito ai volumi finiti trascurando l'eddy viscosity ed f il parametro di Coriolis.

5.3. ASSETTO GEOMETRICO BIDIMENSIONALE

Il modello 2D utilizzato, basa la simulazione su un DTM che fornisce la geometria di base al modello.

Il sistema di riferimento adottato risulta il Monte Mario - Transverse Mercator Italy zone 1.

Il DTM utilizzato risulta composto da diverse fonti di dati. In particolare, a più riprese, è stato eseguito un rilievo laser scanner dell'eseguito che rappresenta con la migliore precisione tutti gli elementi caratterizzanti le lavorazioni eseguite per il T. Borghetto oggetto di intervento. Tale rilievo oltre che estremamente dettagliato risulta molto recente (2015-2016), realizzato ad opere completate e facente parte della documentazione di As-Built, e pertanto è la fonte principale di dato per il modello per quanto riguarda l'alveo e le aree prossime allo stesso. Il suddetto rilievo è stato campionato dalla nuvola dei dati acquisiti ripulita del "rumore" costituito dalla vegetazione, dalle auto ed altri ostacoli puntuali, con un passo pari a 0,1 m. Tale topografia, come detto, è disponibile in prossimità del Borghetto, sia in alveo, sia sulla viabilità adiacente. Oltre a tale fonte primaria di rilievo, vi sono poi i rilievi topografici di dettaglio realizzati, in coerenza, con GPS tradizionale, per alcune parti d'alveo o per alcune vie in punti specifici ove non era possibile o significativo utilizzare la tecnologia laser scanner; inoltre, esternamente all'area del Borghetto, sono stati utilizzati dei punti sparsi di rilievo che caratterizzano la quota di alcuni elementi significativi relativi alla viabilità, acquisiti mediante GPS. Sempre esternamente al Borghetto è disponibile il DTM Lidar del Ministero dell'Ambiente con risoluzione 1 m che costituisce un ottimo termine di riferimento per tutte le zone ove non sia presente topografia rilevata ed infine sono state utilizzati i dati della carta tecnica regionale che, risultando in formato vettoriale, risulta utile per l'inserimento nel modello della presenza dei principali fabbricati e palazzi.

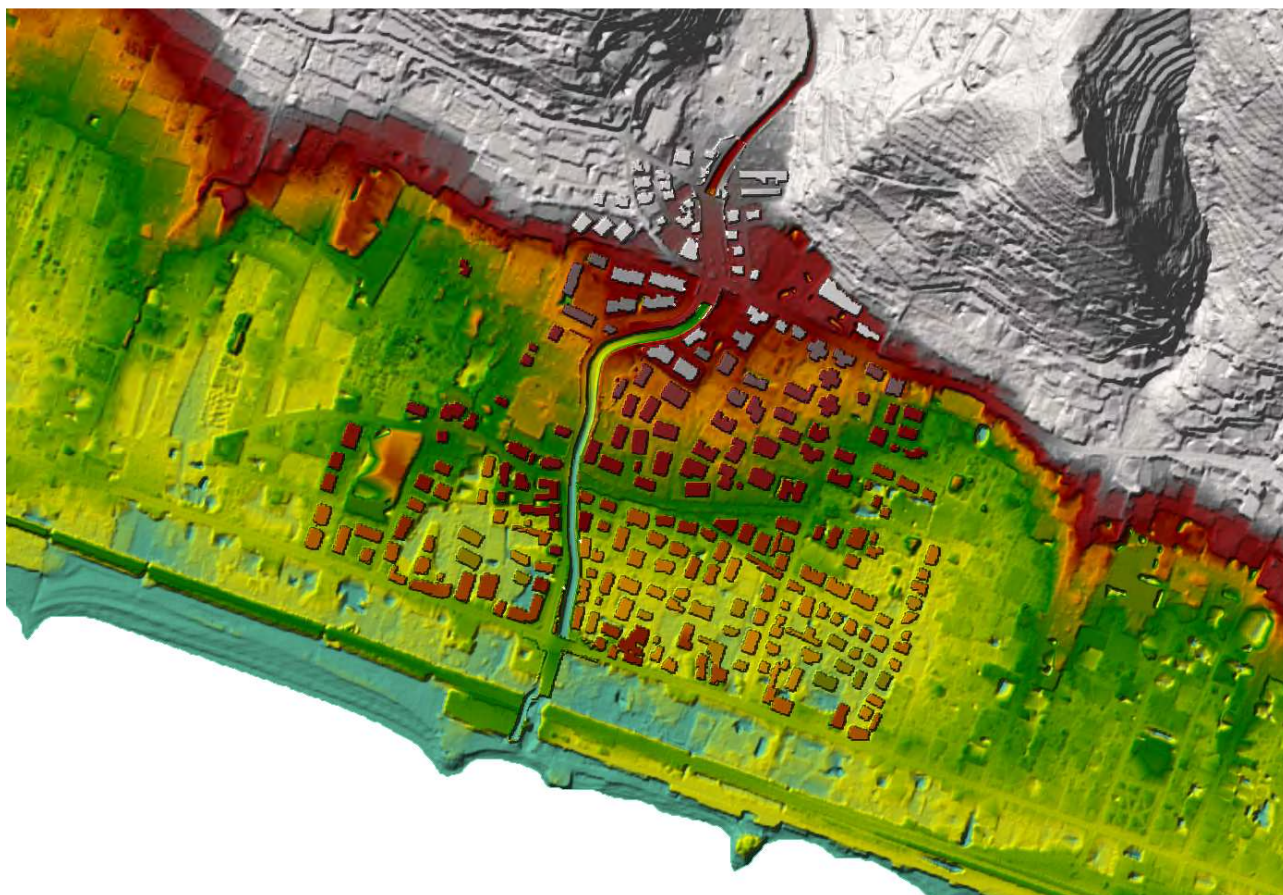
Integrando i dati laser scanner con i rilievi a terra e con la cartografia è stato pertanto possibile comporre un unico DTM utilizzando, di volta in volta, i migliori dati disponibili, chiaramente tutti rapportati al medesimo sistema di coordinate.

Per le vie cittadine, quando adiacenti al T. Borghetto, la risoluzione di 0,1 m è effettiva ed è possibile individuare tutti gli elementi geometrici caratterizzanti le zone di deflusso quali dossi, marciapiedi, cordoli e muretti di confine; per le aree più distanti è invece evidente che la risoluzione effettiva è superiore ed è connessa con quella del DTM disponibile.

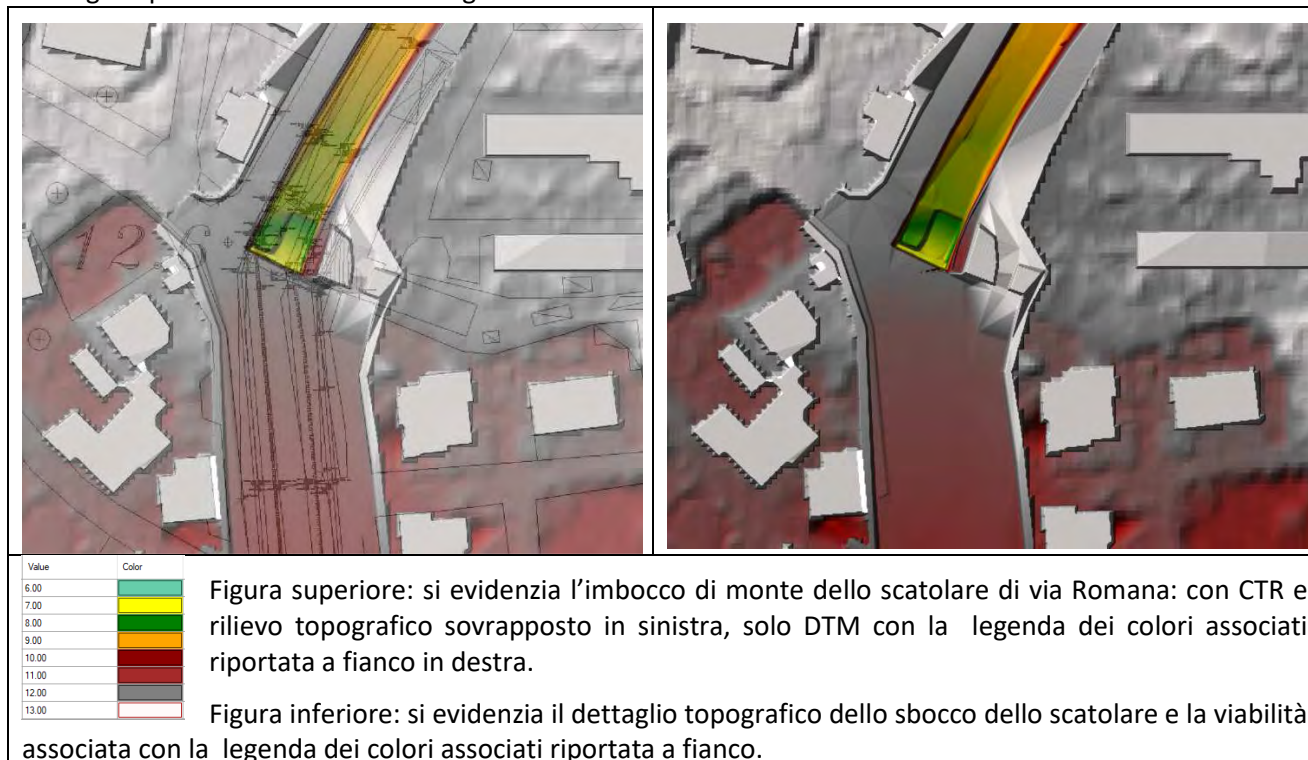
Tale risoluzione esterna, sebbene molto buona, comunque non è sufficiente per caratterizzare in automatico la presenza di cordoli, marciapiedi e muretti di confine che, nello specifico, hanno invece una certa influenza idraulica, specialmente in condizioni di acque basse, come è quella in oggetto nel tratto mediano dell'abitato.

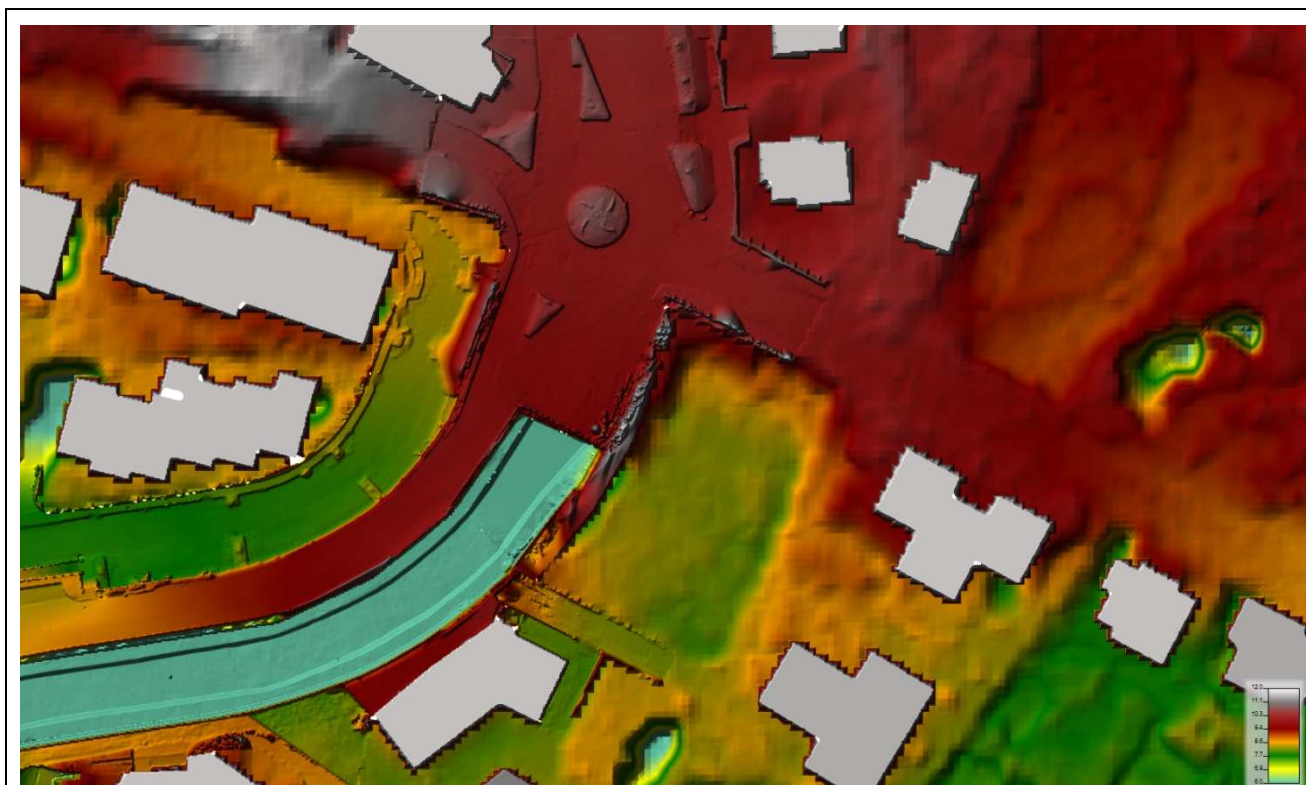
Per quanto riguarda infine il raccordo in quota di tutti i dati topografici, il rilievo a terra (GPS o laser scanner) è restituito in coordinate orizzontali omogenee al dato Lidar del MATTM (Monte Mario), tuttavia le quote topografiche presentano una costante di traslazione legata al fatto che il rilievo topografico iniziale era stato predisposto in coordinate locali e solo successivamente georiferito. Nella scelta del riferimento di quota da adottare si è dunque optato per mantenere le quote locali del rilievo topografico in modo che i risultati fossero coerenti con tutta la topografia di progetto. Al Lidar del MATTM è stata dunque sottratta una costante di traslazione di 86 cm che ha reso di fatto le due fonti di dato coerenti in quota.

Tutti i dati topografici sono poi stati integrati, mediante GIS, in un file geotiff con risoluzione 0,1 m. Il dominio topografico è così rappresentabile:



L'immagine evidenzia come in prossimità del torrente ed in particolare in corrispondenza dell'imbocco di monte dello scatolare e per tutto il tratto dove si sviluppa la principale esondazione la precisione topografica introdotta nel modello sia molto elevata e completa dell'edificato principale. Nel seguito alcuni dettagli di particolare rilevanza della geometria adottata:





Lo scenario geometrico modellato è rappresentato quindi dalla geometria dettagliata delle opere effettivamente realizzate; l'assetto geometrico illustrato e completato pare dunque soddisfacente ai fini della modellazione in quanto, come verrà illustrato, una parte del dettaglio necessario ad una corretta modellazione potrà essere inserito direttamente all'interno della mesh di calcolo.

Dalle precedenti considerazioni in merito alla ricostruzione del DTM, è opportuno evidenziare come questo sia da ritenersi molto attendibile dove risulta disponibile il rilievo laser scanner o comunque il rilievo topografico di precisione, ed in particolare in corrispondenza dell'imbocco dello scatolare; questo consente di quantificare in modo molto preciso le fuoriuscite dal Borghetto, elemento essenziale nelle successive valutazioni.

In definitiva in corrispondenza dell'imbocco dello scatolare e per la zona di maggior "sensibilità" idraulica prossima allo stesso, il DTM utilizzato è da ritenersi molto accurato poiché basato su rilievi topografici diretti e aggiornati al post-opera; per le aree immediatamente esterne all'alveo la disponibilità di elementi specifici rilevati mediante GPS ha permesso di ricostruire in modo adeguato la topografia e la morfologia della viabilità e delle aree interessabili dalle esondazioni (via Bigarella, via Rastello - Via degli Ulivi, etc.); per le aree più distanti la maglia utilizzata invece ha fornito elementi "mediati" che consentono tuttavia di evidenziare le modalità di propagazione del deflusso. Come si vedrà nel seguito tale approccio è da ritenersi adeguato anche tenuto conto degli effetti dei fenomeni simulati, che risultano significativi in prossimità del punto di fuoriuscita e via via meno rilevanti allontanandosi dello stesso.

5.4. IMPLEMENTAZIONE DELLA MESH

Il dominio di calcolo è stato implementato come mesh del tipo "2D area" che comprende l'intera area di interesse, alveo ed aree esterne incluse, definendo lo scenario di "stato di fatto".

La risoluzione generale della cella di calcolo del mesh è stata assegnata pari a 5 x 5 m e successivamente infittita e dettagliata in corrispondenza del corso d'acqua e dei limiti significativi aventi funzionalità idraulica sino ad una risoluzione di 1.25 m circa o anche inferiore dove necessario. Esternamente al rilievo topografico dove risultano disponibili solo alcuni punti isolati forniti dalla cartografia di base, la mesh è

stata assegnata pari a 20 x 20 m. Complessivamente si sono ottenute le seguenti caratteristiche medie del dominio:

```
Mesh contains: 11510 cells
max cell(10835) = 1005.55(m2)
min cell = 0.33(m2)
avg cell = 43.86(m2)
```

Si ricorda come la dimensione delle celle non rappresenta per il modello HEC RAS 5.03 il limite della risoluzione. Il calcolo del risolutore in termini di area liquida, volume di invaso e raggio idraulico si basa infatti sulla geometria e sulla risoluzione del DTM originale (0.1 x 0.1 m).

Il dominio di calcolo è arricchito innanzi tutto da una serie di "Break Lines" che rappresentano limiti fisici della geometria sui quali possono essere infittite ed allineate le celle di calcolo. Utilizzando tali opzioni si sono descritti nel dettaglio i limiti fisici esistenti nel DTM, case, rilevati, strade ecc... nel seguito un esempio di break line utilizzata per allineare le celle di modello alla viabilità di Via degli Ulivi.



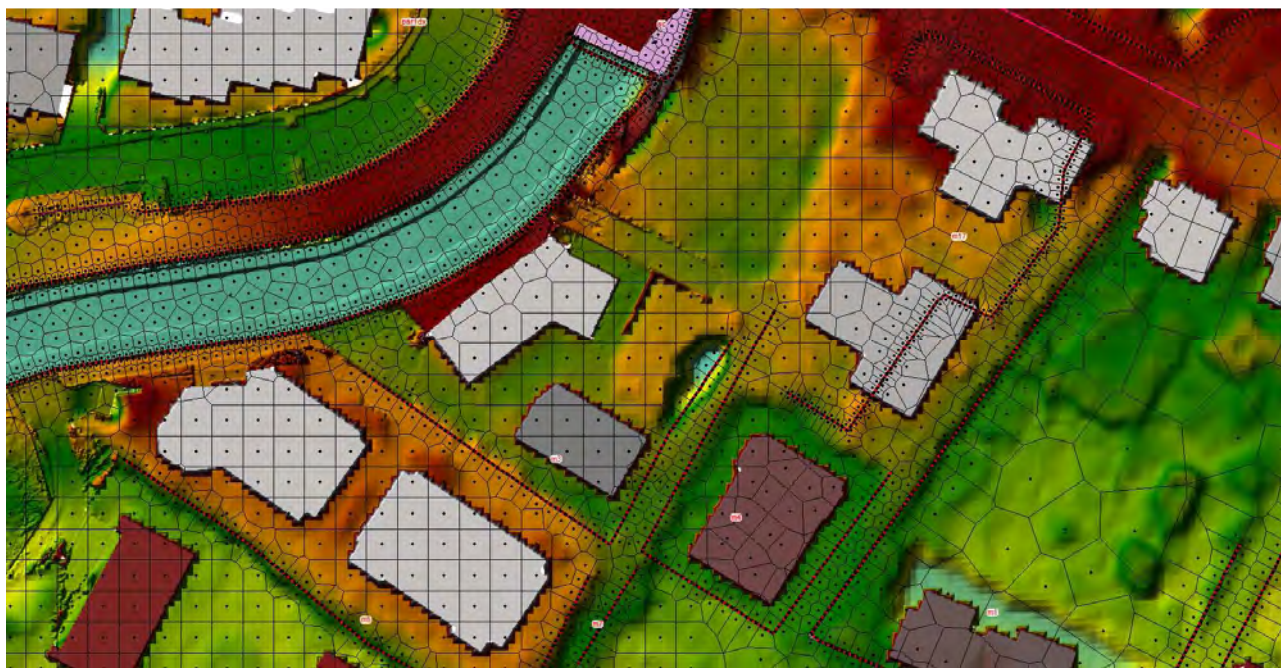
il modello Hec Ras 5.03 consente inoltre di introdurre all'interno di un dominio totalmente bidimensionale ulteriori particolari elementi numerici chiamati "internal connection" che consistono appunto in connessioni particolari che avvengono tra celle attigue all'interno del dominio. In questo modo è possibile imporre che tra due celle sia presente per esempio un muro, un muro con paratoie oppure un muro con collegamenti di tipo "culvert" ovvero canalizzazioni.

Le precedenti modalità di collegamento del tipo "weir", "weir and gate" oppure "weir and culvert" utilizzano le classiche routines risolutive implementate in HEC ovvero la "Normal 2d eq" oppure l'equazione dello stramazzo a larga soglia per modellare l'idraulica dei muri; l'equazione delle luci sotto battente modellerà le paratoie, mentre l'equazione delle canalizzazioni modellerà i collegamenti di tipo culvert.

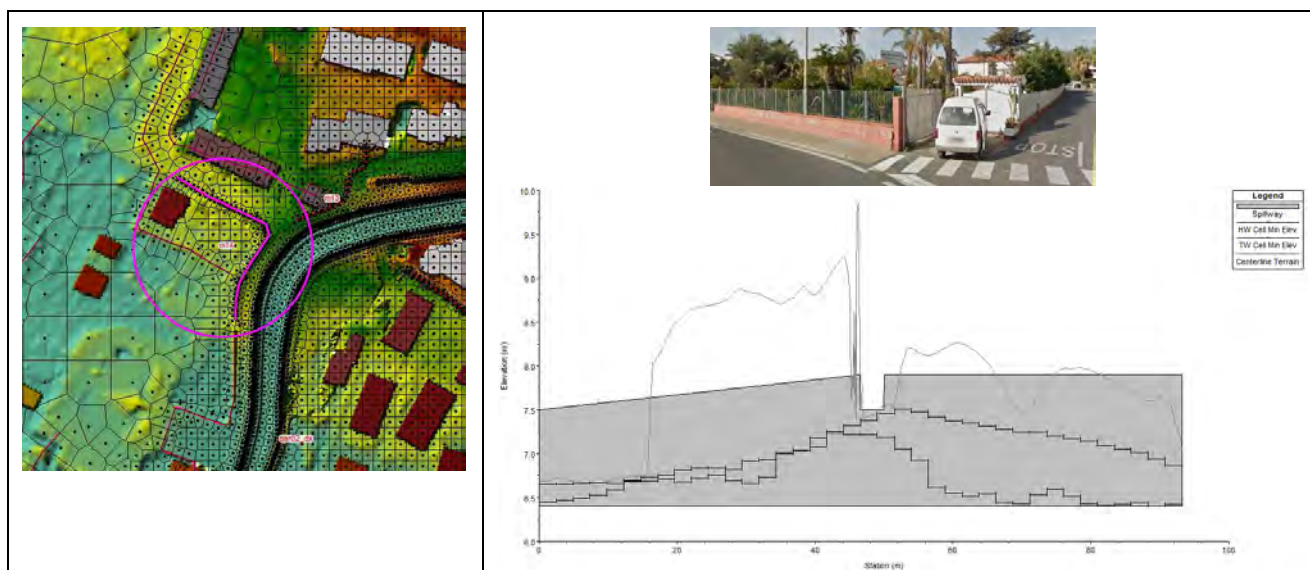
Per la modellazione del tipo Culvert è possibile fornire le dimensioni della sezione di imbocco, e di sbocco, i parametri di perdita localizzata di imbocco e sbocco, la scabrezza della fognatura e la quota di imbocco e sbocco, la progressiva di imbocco e di sbocco; la forma del culvert è standardizzata secondo dimensioni preimpostate es: box, circle, arc ecc... pertanto la capacità di convogliamento è calcolata all'interno del modello analogamente a quanto farebbe il modello hec 1D per un normale culvert con la sola differenza che il collegamento (imbocco/sbocco) avviene tra celle 2d. La limitazione attuale del modello Hec Ras 5.03 è che le internal connection collegano appunto una o più celle attigue ma non è possibile collegare tra loro due celle che non abbiano un lato in comune.

L'unica modalità ad oggi possibile per superare tale limitazione è costituita dal disporre, con una forma ad "S" o a "Z", l'internal connection e conseguentemente realizzare l'imbocco ad una certa progressiva della connessione e lo sbocco ad una progressiva differente, su celle che possono risultare anche piuttosto lontane da quelle di imbocco.

La tecnica di implementazione descritta è stata applicata al modello in modo che la portata principale che riesce ad entrare nello scatolare alla sezione di monte viene "istantaneamente trasportata" attraverso la sezione di imbocco dello scatolare (che è la sezione ristretta) verso l'uscita ovvero la sezione di sbocco di valle dello scatolare. La parte del flusso invece che, per insufficienza dell'imbocco, non riesce ad entrare, esonderà al di sopra del piano stradale andando a costituire l'effettiva esondazione e la sorgente del dissesto residuo. Sotto esempi di "internal connection" utilizzate per modellare parapetti, cordoli e muretti



Complessivamente sono state implementate nella mesh 23 “break lines” e 28 “internal connection” differenti.



Un esempio di internal connection tipo “weir” con muretto di circa 1 m e cancellata con potenziale ingresso nella proprietà.

Per ciascuna connessione sono disponibili in output gli idrogrammi.

La mesh così implementata terrà conto, per quanto possibile, di un elevato dettaglio della geometria cittadina costituita prevalentemente di cordoli alti circa 50 cm, ai bordi delle strade, che costituiscono i confini delle aree private. Idraulicamente tali limiti sono una barriera ed anche una via preferenziale di scorrimento. Normalmente sono presenti dei varchi in corrispondenza degli ingressi carrai e pedonali dei quali si è tenuto conto abbassando localmente l’altezza del muro.

Considerata l’importanza del manufatto una connessione interna molto particolare è stata elaborata per simulare il comportamento dello scatolare. Nella mesh tale manufatto è implementato con le seguenti caratteristiche:

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa



Culvert Data Editor

Add ... Copy Delete ... Culvert ID Culvert #1

Solution Criteria: Computed Flow Control Rename ...

Shape: Box Span: 10.45 Rise: 3.65

Chart: 8 - flared wingwalls

Scale #: 1 - Wingwall flared 30 to 75 deg.

Upstream Invert Elev: 6.75

Culvert Length: 138 Downstream Invert: 5.31

Entrance Loss Coeff: 0.1 # identical barrels: 1

Exit Loss Coeff: 1

Manning's n for Top: 0.025

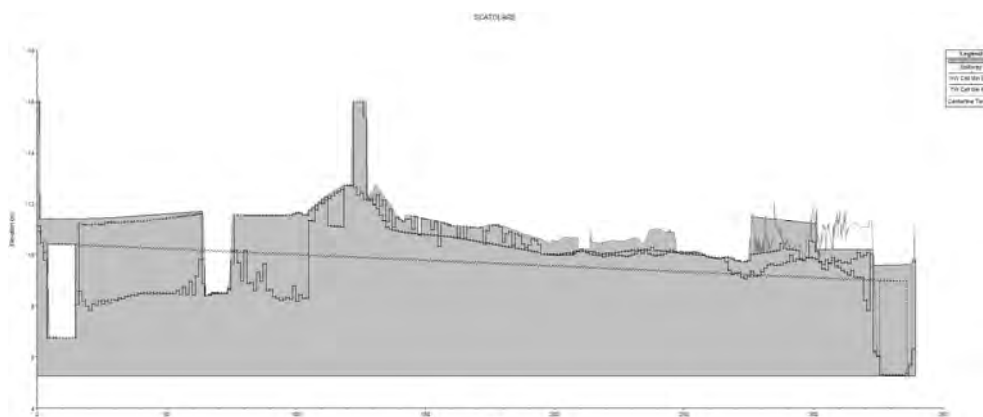
Manning's n for Bottom: 0.025

Depth to use Bottom n: 0

Depth Blocked: 0

Centerline Stations		
	Upstream	Downstream
1	9.4	330.8
2		
3		
4		

Internal connection tipo "weir and culvert" scatolare del T Borghetto sotto via Romana.



A tale riguardo si osserva che la forma adottata per tale manufatto risulta quella più simile alla geometria di imbocco che rappresenta la causa dell'esondazione residua. In particolare la dimensione della luce è rettangolare, 10.45 x 3.65 m che rappresenta le dimensioni di imbocco. Quali assunzioni cautelative della simulazione vi è il fatto che la canalizzazione risulta a dimensioni costanti e pertanto non risente del richiamo di imbocco causato dal brusco allargamento di sezione collocato a valle della sezione ristretta; questa assunzione è a favore di sicurezza per le simulazioni, poichè sovrastima la portata che effettivamente esonda; l'assunzione è giustificata dal fatto che non potendo variare la sezione all'interno dell'"internal connection" si è assunta l'ipotesi più cautelativa, corrispondente alla sezione minore. La sezione adottata di forma costante fa sì che lo scatolare risulti impostato tutto sulla dimensione minima.

Le internal connection sono state utilizzate anche per simulare un parziale scarico del sistema fognario; non essendo nota a priori lo sviluppo della rete (nè il presente lavoro consente di giungere a tale dettaglio di analisi), tale scarico è stato implementato in misura molto limitata per non sovrastimare la riduzione di deflusso su piano campagna, nella parte di valle del tessuto cittadino, per effetto del funzionamento delle canalizzazioni sotto le strade. Sono stati inseriti sulla sponda destra un solo scarico D 500, praticamente in piano, la cui capacità di scarico è risultata di pochi l/s. In sponda sinistra sono state collocate 4 tubazioni analoghe, nelle zone depresse, che scaricano complessivamente al massimo 1,9 mc/s circa (per TR 500). Il loro inserimento in particolare è giustificato dal fatto che, il modello restituisce a monte dell'Aurelia una situazione di "allagamento", connesso con un effetto barriera dovuto alla maggiore quota dell'Aurelia, in



questo caso il ristagno era correlato a valori di portata estremamente ridotti (qualche l/s) ma che portavano a livelli in alcuni casi anche ultradecimetrici, ritenuti poco plausibili proprio perché un efficiente drenaggio urbano potrebbe ridurre di molto tale fenomeno, nella dinamica di diffusione areale complessiva dell'esondato.

5.5. CONDIZIONI AL CONTORNO

Scabrezza

In generale trattandosi di tratti d'alveo pavimentati la scabrezza adottata è stata assunta complessivamente pari a $0.025 \text{ m}^{-1/3}$ s di manning. Anche per la viabilità e l'asfalto tale valore di scabrezza pare corretto. Il valore di scabrezza è stato incrementato solo in corrispondenza di alcune zone specifiche per tenere in conto della presenza di ostacoli puntuali non altrimenti modellabili. In particolare per poter simulare meglio la presenza del guard rail all'imbocco scatolare è stata assunta una striscia con manning pari a $0.07 \text{ m}^{-1/3}$ s lungo lo sviluppo del guard rail. Infine anche allo sbocco dello scatolare, la presenza di elementi di guard rail è stata considerata adottando il medesimo valore di scabrezza. La presenza di grossi bidoni dei rifiuti, automobili posteggiate, blocchi dissuasori sull'asfalto ed altri ostacoli puntuali è stato trascurato in quanto installazioni o ostacoli non permanenti. A riguardo dell'adozione dei valori di scabrezza tali valori sono coerenti con quelli adottati in alveo per la verifica e la progettazione degli interventi; tali valori sono stati confermati sia dalle simulazioni di modello fisico dell'alveo sia dalla buona norma progettuale; il modello così come proposto non può ad oggi essere tarato su eventi reali in quanto non si sono verificati eventi di piena che abbiano comportato una esondazione a monte dello scatolare da quando la presente nuova geometria dello stato di fatto si è venuta a realizzare.

Condizioni di ingresso ed uscita dal modello

A monte in ingresso al modello è stato assegnato un idrogramma di portata con una pendenza dell'energia per la distribuzione del flusso lungo la connessione di ingresso pari alla pendenza media dell'alveo nel tratto in oggetto ovvero pari a 1,3%. Tale pendenza è stata adottata per i 3 profili di piena adottati (Tr 50-200-500 anni). Allo sbocco è stata imposta una "normal" condition ovvero una pendenza della linea dei carichi dedotta in corrispondenza dell'imbocco del ponte Aurelia dal modello di as built pari al 1,4% (vedi sezione 120 modello as built).

Nel modello sono state implementate altre due uscite di flusso relative ai potenziali scarichi fognari. Anche Per tali uscite è stata imposta una "normal" condition ovvero una pendenza della linea dei carichi dedotta dalla pendenza media della spiaggia pari a circa il 2%.

Si intende precisare che Il modello è stato implementato per risentire il meno possibile delle imprecisioni legate alla assegnazione delle condizioni al contorno. In particolare verso monte il tratto di validità effettiva si ritiene che possa essere considerato a partire dallo spigolo di valle del distributore di benzina sito su via Pasteur, a valle del quale sono disponibili comunque delle sezioni topografiche battute.

Le presenti assunzioni risultano coerenti con le valutazioni di carattere idraulico effettuate nell'ambito della progettazione preliminare del tratto di monte e con gli elementi desumibili dalla perimetrazione delle aree esondabili a monte della Romana.

6. RISULTATI DELL'ELABORAZIONE IDRAULICA

Come detto, precedenti verifiche in moto permanente e le attuali elaborate con modello 2D, evidenziano l'insufficienza in termini idraulici dell'imbocco dello scatolare della via Romana sito all'incrocio della via Cesare Augusto con la via Pasteur. A valle della rotonda della via Romana non si evidenziano ulteriori situazioni di criticità per esondazione. Per questo tratto pertanto si assume che le opere realizzate abbiano raggiunto il livello di protezione previsto nel progetto approvato così come comprovato dalle verifiche di As-Built, e quindi la proposta di ripermetrazione del dissesto non entra ulteriormente in merito.



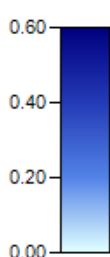
Nel seguito si procede ad un'illustrazione di dettaglio degli esiti della modellazione eseguita, procedendo all'analisi di dettaglio degli elementi salienti anche mediante l'utilizzo di alcune immagini; il risultato finale è sintetizzato nella carta di proposta di ripermimetrazione del dissesto allegata al presente documento.

E' evidente, per il tipo di approccio, che l'illustrazione più efficace ed immediata dell'esito della simulazione risulta quella del "filmato" a video, che permette di apprezzare la dinamica dell'evento, gli effetti temporali e areali dello stesso e interrogare in qualsiasi istante ogni punto del dominio per ricavare i valori dei tiranti idrometrici e delle velocità

Per tale rappresentazione vengono forniti i file sorgenti, mentre gli scriventi offrono la propria disponibilità in sede di eventuale analisi del lavoro da parte dei tecnici e degli enti preposti.

Le simulazioni sono state elaborate per TR 50, TR 200 e Tr 500. Nel primo caso il modello conferma come la portata sia interamente contenuta in alveo; il secondo caso risulta quello significativo per l'aggiornamento del quadro del dissesto proposto, in particolare per la presenza della criticità all'imbocco dello scatolare della Romana, che comporta un rischio residuo di esondazione; infine è stata elaborata come richiesto anche la simulazione con TR 500 anni per completezza di indagine.

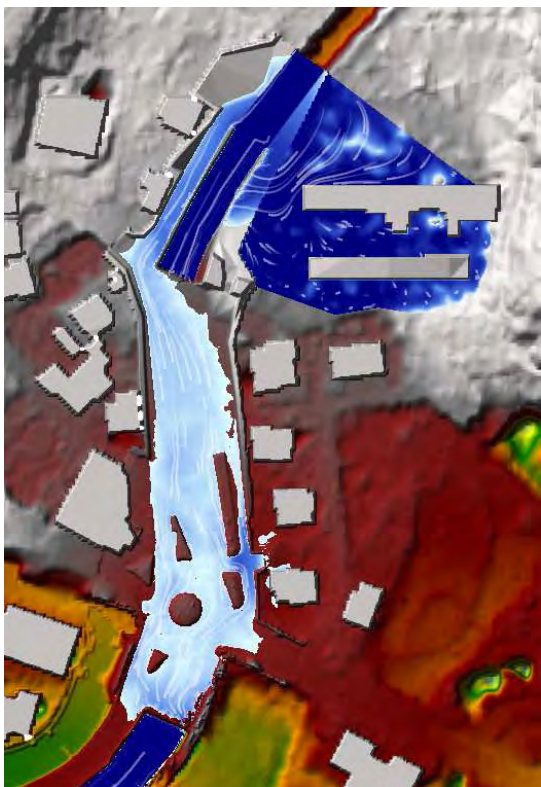
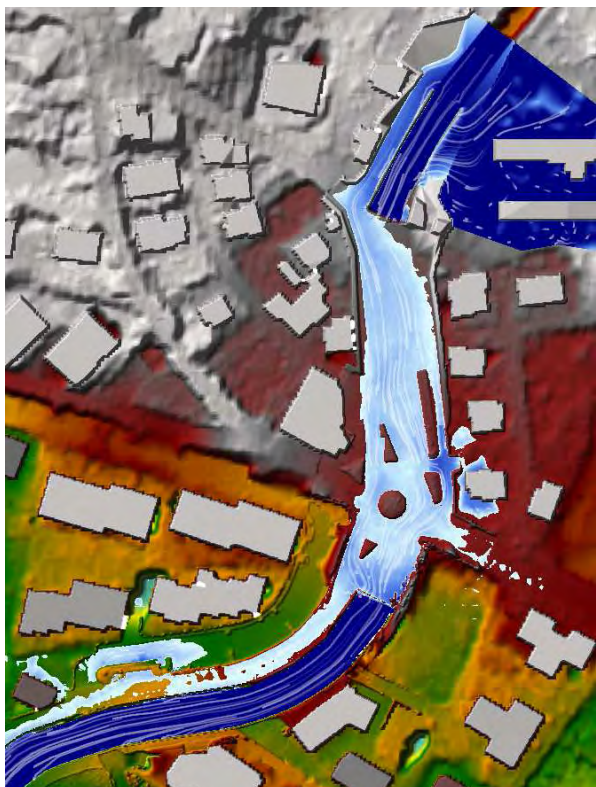
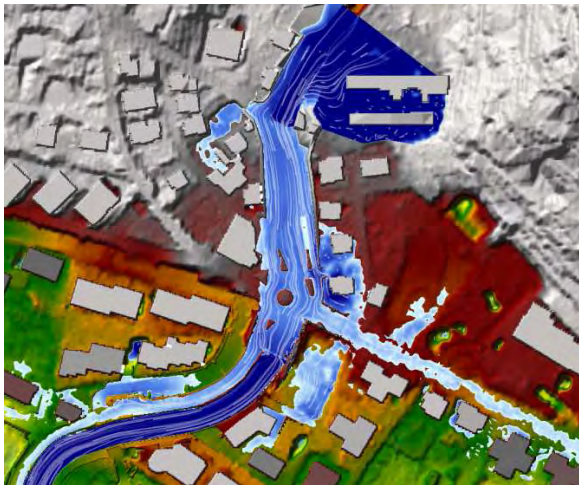

6.1. ANALISI DELL'AVANZAMENTO TEMPORALE DELL'EVENTO

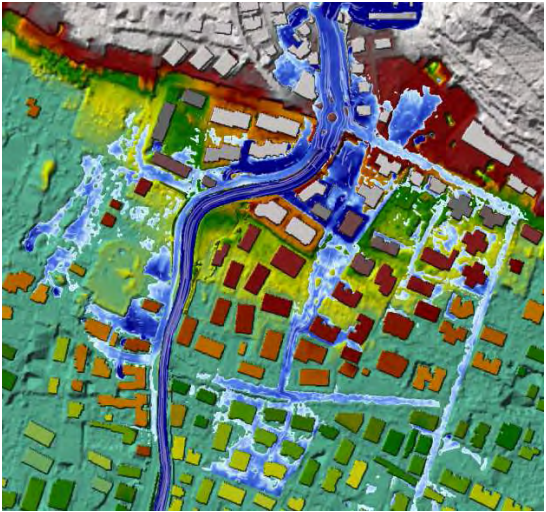

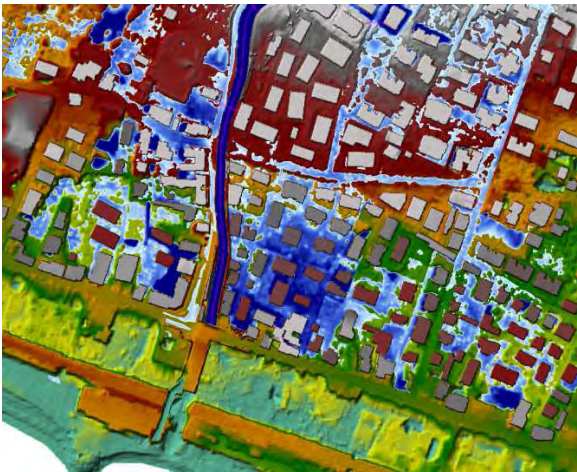
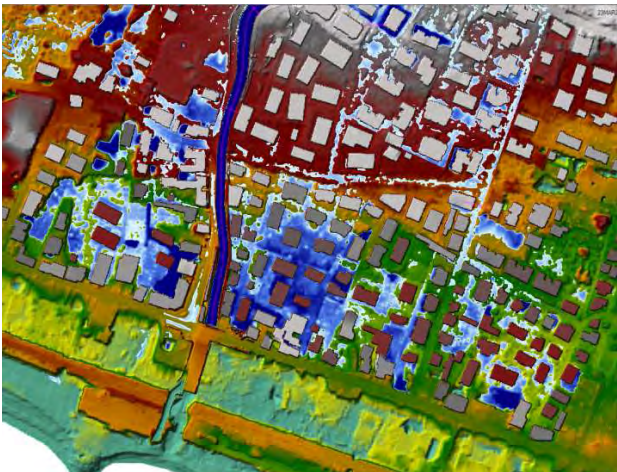


Risulta particolarmente chiaro illustrare nel seguito l'andamento temporale dell'evento. Nella scelta le condizioni più significative paiono quelle duecentennali in quanto le portate connesse con TR 50 sono comunque completamente contenuto in alveo, quelle con TR 500 presentano dinamiche simili a TR 200 maggiormente accentuate.

Nelle seguenti immagini si riporta una sintesi dell'avanzamento dell'evento per tr 200 anni. La scala del colore a variazione continua in metri è stata impostata per esaltare la lettura dei tiranti sino a 60 cm, pur rappresentando tutti i valori di tirante

<p>18 min da inizio evento; 50 mc/s in alveo, portata contenuta anche a monte dello scatolare</p>	<p>28 min da inizio evento; 77 mc/s in alveo, iniziano la fuoriuscita in sinistra a monte scatolare</p>

	
<p>58 min da inizio evento, 158 mc/s in ingresso, 3.5 mc/s sulla via Romana riscaricato solo parzialmente in alveo, inizio superamento del dosso di Via Pasteur..</p>	<p>1h 2 min da inizio evento, 164 mc/s in ingresso, 7.9 mc/s sulla via Romana. Inizio allagamento lungo via Romana, via Rastello e ingressi pedonali via dei Giacinti.</p>
	
<p>1 h 4 min da inizio evento, 166 mc/s in ingresso, 10 mc/s sulla via Romana. ruscellamento lungo via Romana, via Rastello, ingressi via dei Giacinti, via della Scala, ingresso tra via C Augusto e via dei Gerani.</p>	<p>1 h 14 min da inizio evento, 173 mc/s in ingresso, 16 mc/s sulla via Romana. ruscellamento lungo via Romana, da qui verso, Via Bigarella, via Ascanio Sobrero, Via San Bernardo, Via Girolamo Rossi .</p>

	
<p>1 h 24 min da inizio evento, 180 mc/s in ingresso, 19.9 mc/s sulla via Romana. Il ruscellamento prosegue in destra lungo via Pasteur ed alcuni varchi verso le aree a tergo. In sinistra invece sono progressivamente interessate, Via Bigarella, via Ascanio Sobrero, Via San Bernardo, Via Girolamo Rossi. Le viabilità portano acque verso via Aldo Moro e le abitazioni a valle.</p>	<p>1 h 34 min da inizio evento, 177 mc/s in ingresso, 18.4 mc/s sulla via Romana. Sviluppo dell'esondazione anche a valle di Via Aldo Moro.</p>
	
<p>2 h da inizio evento, 155 mc/s in ingresso, 4.2 mc/s sulla via Romana. Progressione in accumulo nelle depressioni a monte via Aurelia</p>	<p>2 h 30 min da inizio evento, 119 mc/s in ingresso, nessuna esondazione sulla via Romana. Massimo accumulo nelle depressioni a monte via Aurelia. Lento esaurimento con sistema fognario.</p>

6.2. CARATTERIZZAZIONE PUNTUALE DEGLI IDROGRAMMI DI EVENTO

La modellazione implementata consente di leggere i valori di portata e le principali variabili idrauliche in ogni punto o sezione del dominio di calcolo pertanto è possibile stabilire l'entità della portata circolante nel tessuto cittadino considerato che i soli eventi che generano dissesto residuo sono quelli del TR 200 e 500.

La tabella seguente riassume i dati principali di flusso per la parte fuoriuscita dal T Borghetto.

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
 Relazione illustrativa



Sezione	Portata al colmo TR 200 e durata idrogramma	Portata al colmo TR 500 e durata idrogramma	Localizzazione	Idrogramma
Esondato solo su via Pasteur a monte scatolare in destra	10.8 mc/s (1 h 10 min)	20.5 mc/s (1h 40 min)		
Esondato totale proveniente da T Borghetto monte scatolare	19.9 mc/s (1 h 10 min)	36.9 mc/s (1h 40 min)		
Rientro in alveo sopra la soletta di valle	10.0 mc/s (1 h 10 min)	20.0 mc/s (1h 40 min)		
Via Romana a sinistra scatolare	4.8 mc/s (1 h)	11.5 mc/s (1h 20 min)		
Via Bigarella	2.5 mc/s (45 min)	11.5 mc/s (1h 20 min)		
Via S Bernardo	1.1 mc/s (1h 15 min)	3.1 mc/s (1h 40 min)		
Via Sobrero	0.2 mc/s (50 min)	2.3 mc/s (1h 30 min)		

Sezione	Portata al colmo TR 200 e durata idrogramma	Portata al colmo TR 500 e durata idrogramma	Localizzazione	Idrogramma
Via Rossi	0.6 mc/s (1h 20 min)	1.8 mc/s (1h 50 min)		
Via Pasteur a destra parapetti	3.6 mc/s (1h)	7.7 mc/s (1h 30 min)		
Via Genova	1.3 mc/s (1h)	4.1 mc/s (1h 30 min)		

Nel seguito un bilancio totale tra gli ingressi e le uscite del modello e sul Borghetto. Le differenze algebriche riscontrabili sono dovute ad invasi sul piano campagna e laminazioni

Sezione	TR 50	TR 200	TR 500
Portata complessiva	120 mc/s	180 mc/s	210 mc/s
Interno scatolare	120 mc/s	160.1 mc/s	173.1 mc/s
Scarico al ponte Aurelia	119.9 mc/s	171.4 mc/s	189.4 mc/s
Scarico a mare sponda sinistra	0.0 mc/s	0.17 mc/s	0.24 mc/s
Scarico a mare sponda destra	0.0 mc/s	0.2 mc/s	1.9 mc/s

6.3. SINTESI DEI RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO

La dinamica di esondazione, così come evidenziato in precedenza, è determinata esclusivamente dall'insufficienza delle sezioni del Borghetto a monte dell'imbocco dello scatolare della Romana. Tale condizione è dovuta alla presenza di un restringimento significativo in prossimità dell'imbocco di monte dello scatolare stesso in prossimità di Via Cesare Augusto angolo via Pasteur che, come noto, è in parte limitato dalla presenza in sinistra di muri e di una abitazione che riduce sensibilmente la sezione di imbocco.

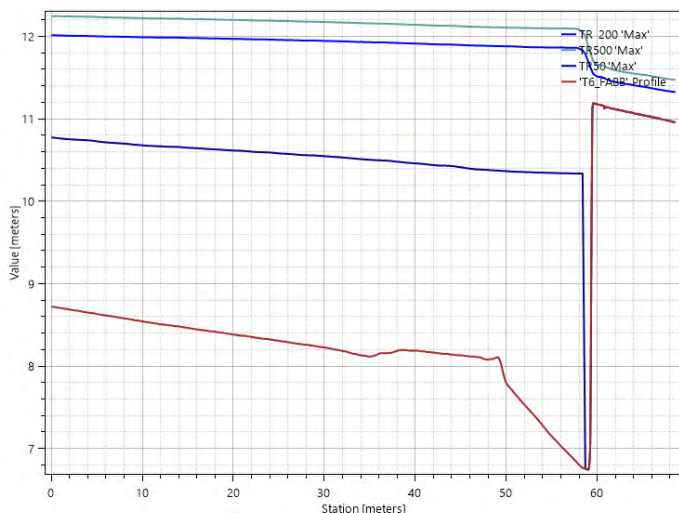
Una parte dell'esondazione proviene dalla via Pasteur stessa in quanto, a monte del suddetto imbocco, l'alveo risulta di dimensioni ridotte e tende ad esondare in sinistra verso un incolto e, soprattutto, in destra lungo la viabilità. E' opportuno precisare che l'esondazione in sinistra viene contenuta per ragioni

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa

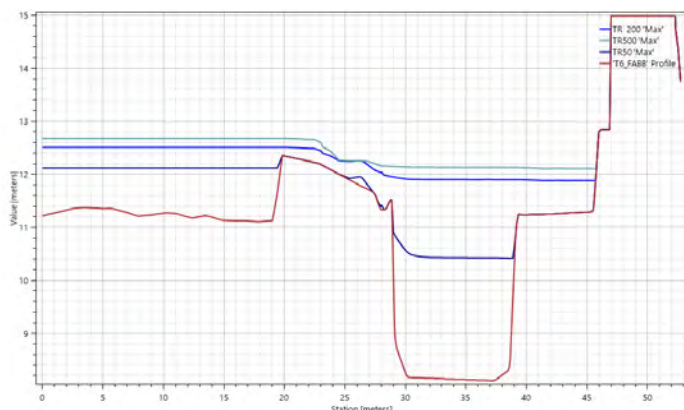


morfologiche evidenti tra via del Fabbro e via del Confine e anche per la presenza di edifici che impediscono il passaggio delle acque.

Nel seguito si analizzano nel dettaglio le condizioni di imbocco per i vari tempi di ritorno:



Sopra il profilo in asse Borghetto che va da 60 m a monte dello scatolare (prog 0,0) sino alla fuoriuscita su piano campagna al disopra dello scatolare stesso (prog 60).



Sezione del T. Borghetto poco a monte dell'imbocco scatolare con esondazione su via Pasteur in destra. La figura consente di valutare in circa 60-70 cm il tirante atteso su via Pasteur in corrispondenza dell'imbocco dello scatolare. Inoltre si vede l'effetto di rientro dalla zona delle serre in sinistra per effetto dell'edificio presente a valle e delle baracche lungo sponda.

La fuoriuscita in corrispondenza dello scatolare è stata quantificata in termini di idrogramma mentre Il volume complessivo fuoriuscito risulta pari a circa 52 000 mc per TR 200 anni, e 138 000 mc per TR 500 anni a fronte di un idrogramma in ingresso al modello superiore rispettivamente a 1 550 000 mc e 1 812 000 mc per Tr 200 e 500.

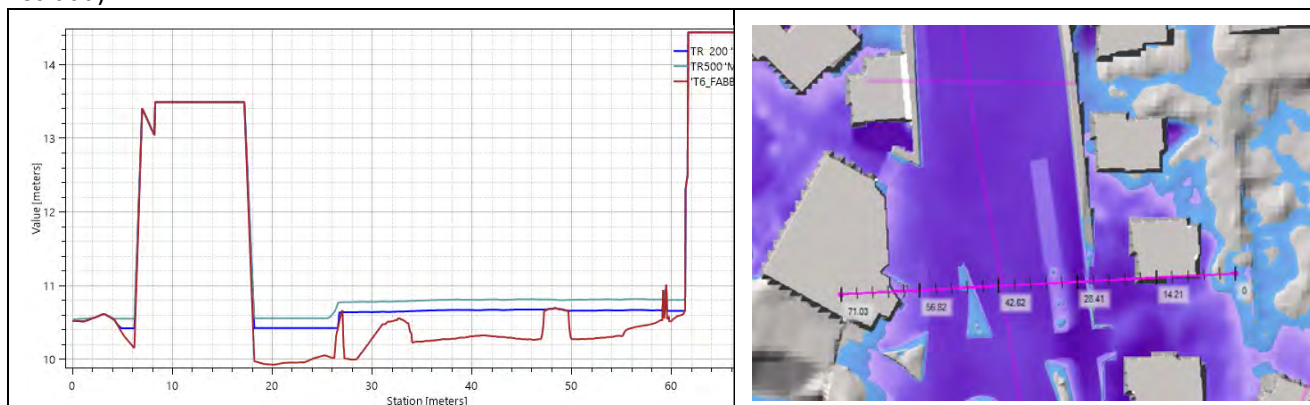
Una prima rilevante conclusione pertanto è che le esondazioni residue sono attese in presenza di valori di portata maggiori a quelli con TR 100 anni (il cui valore al colmo è individuato in 150 mc/sec) e comunque i volumi esondati sono ragionevolmente limitati.

Al di sopra della viabilità dello scatolare, all'incirca poco a monte di Via dei Gerani, si ha la seguente sezione rappresentativa delle condizioni di deflusso (la sezione per ragioni di rappresentazione del modello non

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
 Relazione illustrativa



consente di visualizzare il sottostante scatolare e rappresenta quindi solo la porzione superiore sulla strada):

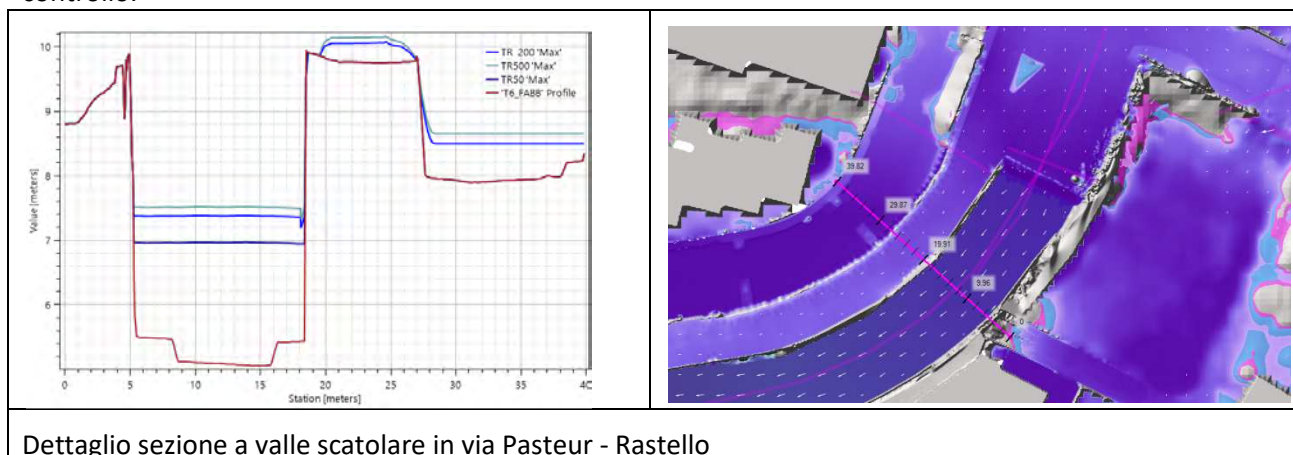


Si osservano dunque dei tiranti massimi nell'ordine dei 30 cm circa con velocità di deflusso comprese tra 1,6 e 2 m/s.

La portata fuoriuscita passa al di sopra dello scatolare e in parte rientra in alveo in corrispondenza dello sbocco dello scatolare, favorita anche dalla presenza del dosso lungo via Pasteur, e in parte si distribuisce sulle viabilità esistenti in destra e sinistra come già evidenziato nelle immagini di ricostruzione della cronologia di evento.

In particolare si osserva che la viabilità in destra è interessata, soprattutto nella parte a valle dello scatolare e nella zona posteggi della sottostante via Rastello - Via degli Ulivi. Via Pasteur convoglia una parte residua della portata fuoriuscita; una terza parte residua del flusso infine imbecca il primo tratto di via Romana verso levante per defluire poi lungo la via Bigarella e le successive traverse in direzione sud. Per ragioni morfologiche via Romana presenta quote in salita solo oltre via Rossi e per tale ragione il flusso trasversale si arresta a tale incrocio

Le seguenti immagini sono relative a profili di dettaglio in corrispondenza delle sezioni significative di controllo.



Dettaglio sezione a valle scatolare in via Pasteur - Rastello



In via Pasteur le acque defluiscono pensili rispetto al Borghetto e confluiscono lentamente verso il posteggio a destra della via Rastello - Via degli Ulivi in quanto i cordoli ed i parapetti presenti riducono la possibilità di rientro in alveo. La rete fognaria e le bocche di deflusso presidiate con paratoie nei parapetti sono state considerate parzialmente nel modello, ma il loro influsso è risultato trascurabile. Il modello consente di stimare altezze idrometriche di 10-15 cm su via Pasteur e di 30-50 cm su via Rastello - Via degli Ulivi, con modesti valori di velocità.

Nel tessuto cittadino la tempistica di allagamento è stimata in circa 2 - 3 ore complessive, e di poco meno di un'ora per i valori massimi.

In definitiva quindi dei circa 20 mc/sec che fuoriescono a monte per TR200 circa 10 mc/s tendono a rientrare nel Borghetto a valle dello scatolare, i restanti si ripartiscono in parte verso via Pasteur e in parte verso via Bigarella.

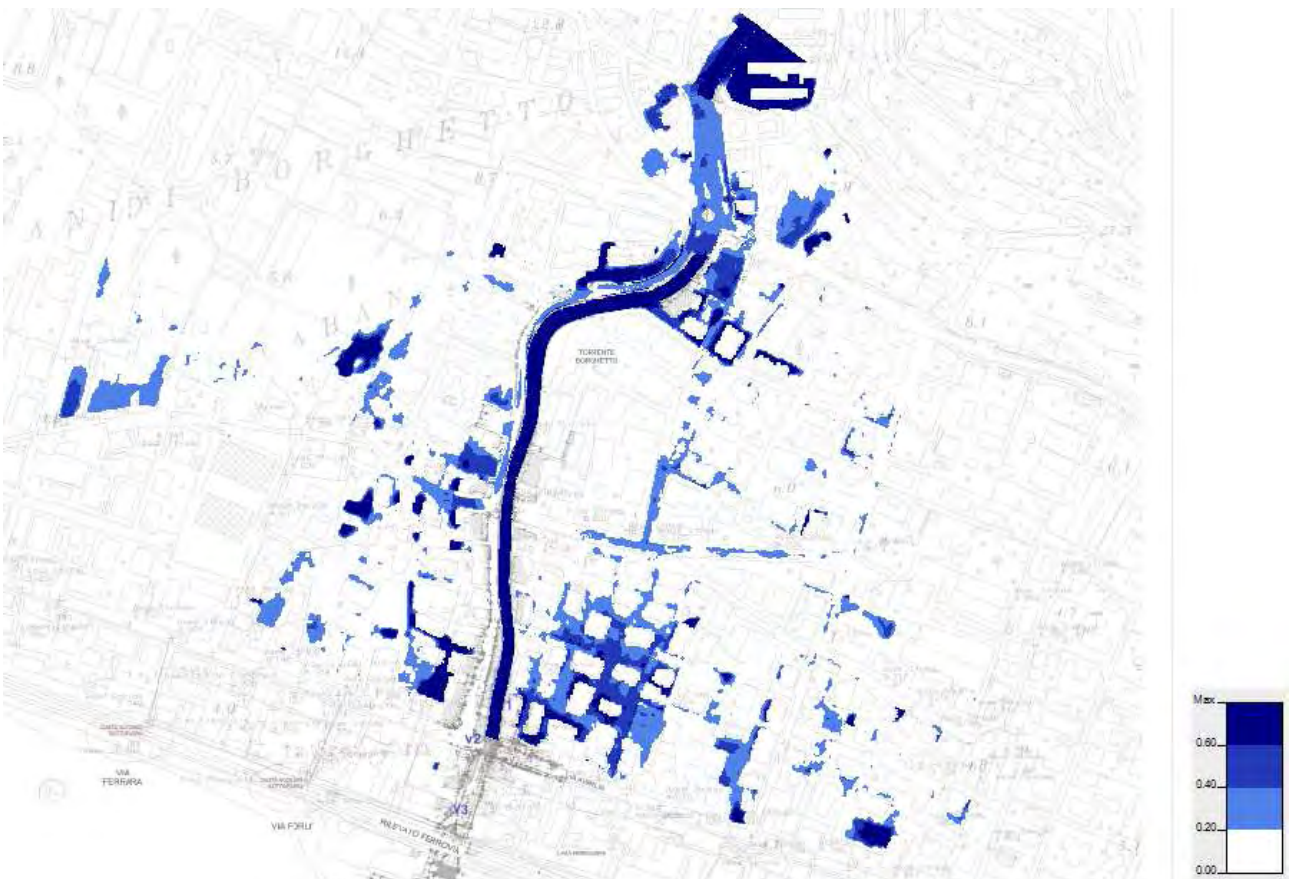
Una prima considerazione è che i valori di portata così valutati sono paragonabili ad eventi estremi di carattere temporalesco, che tipicamente mettono in crisi il sistema fognario; i volumi complessivi, i tiranti e le velocità risultano generalmente limitati, per cui è ragionevole fare una prima considerazione che le opere realizzate hanno evidentemente un effetto rilevante in termini di riduzione del quadro del dissesto potenziale, e sono generalmente caratterizzabili con situazioni di debole allagamento anche se diffuso.

La simulazione mostra comunque come i valori di portata riscontrati verso valle risultano in ogni caso non trascurabili ai fini della perimetrazione del dissesto residua e del possibile interessamento delle aree di esondazione, sebbene si verifichino per un tempo generalmente molto limitato. Il modello pertanto viene sviluppato ancora verso valle, per le due componenti che non rientrano in alveo, per definire il campo di esondazione residuo e le sue caratteristiche in termini di tiranti e velocità.

Il modello evidenzia come l'esondazione a valle di Via Aldo Moro si ripartisce quindi, esternamente all'alveo, come evidente nelle immagini riportate nel seguito, tendendo a colmare le depressioni rilevabili con il DTM. Nel seguito carta complessiva delle aree inondabili per TR 200 anni (tiranti in m - inviluppo dei massimi):



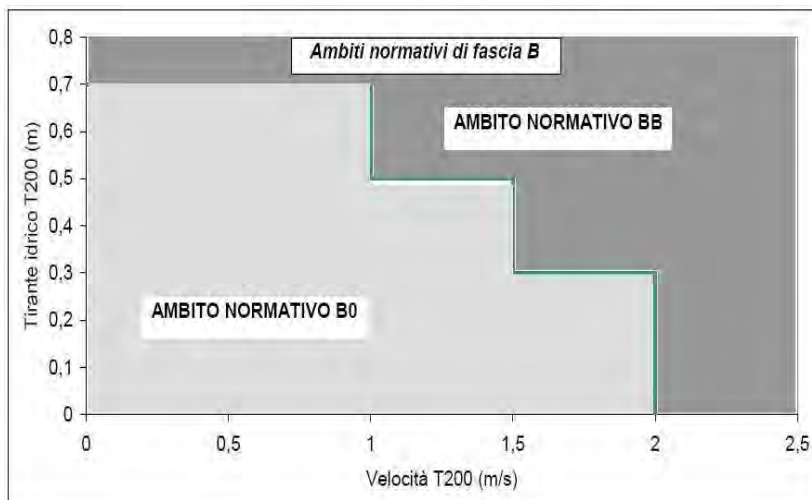
Nel seguito la medesima carta complessiva delle aree inondabili per TR 200 anni classificata per intervalli di 0,2 m con esclusione dei primi 20 cm (in bianco)





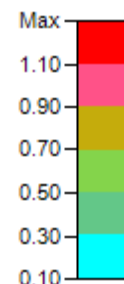
Come si può notare si riscontra la presenza di tiranti superiori a 30 cm soltanto in corrispondenza dello scatolare e in prossimità di via Rastello - Via degli Ulivi, che risulta ad una quota inferiore rispetto a via Pasteur; si ribadisce ulteriormente che i livelli risultanti dal modello a valle di via Aldo Moro, anche se arealmente piuttosto diffusi, sono localizzati in corrispondenza di zone depresse e viabilità.

Nella successiva figura sono riportati rispettivamente i valori di esondazione e di velocità secondo gli intervalli discretizzati coerenti con i criteri utilizzati dall'Autorità di Bacino per la definizione degli ambiti normativi:

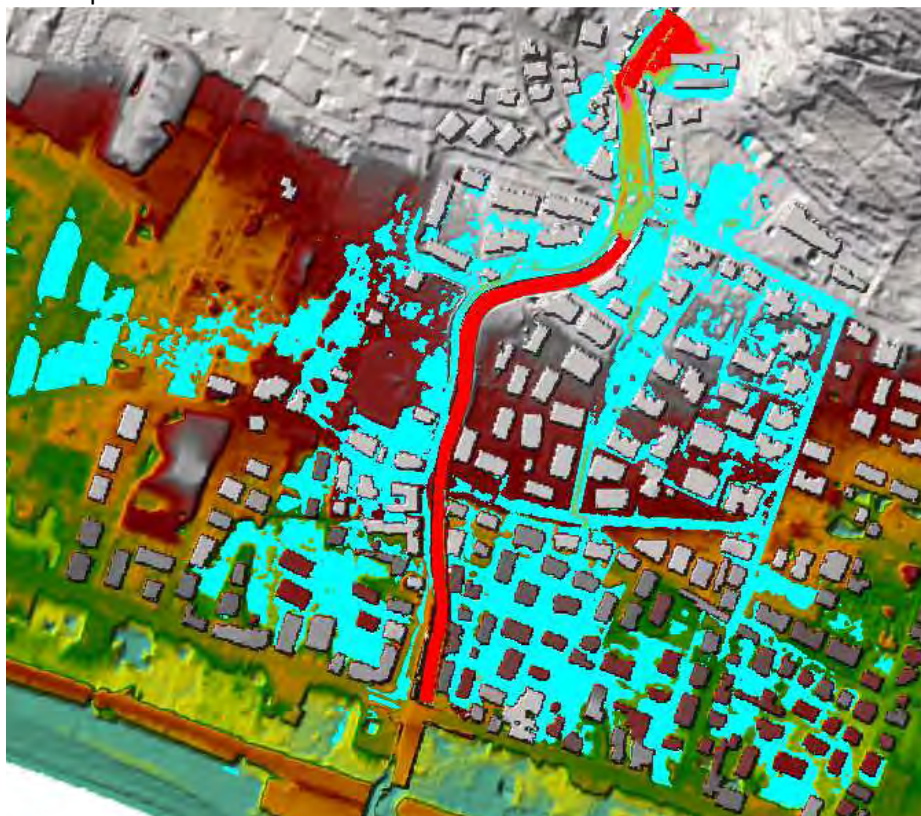


Utilizzando funzionalità GIS applicate ai risultati della simulazione è stato calcolato il prodotto tra il tirante e la velocità; tale prodotto rispetta la precedente indicazione quando risulta inferiore a 0.5-0,7 m²/s.

La scala dei colori di rappresentazione è riportata in destra mentre la vista del campo risultante dal dominio di calcolo e rappresentato nella



seguente Immagine. si osserva che il prodotto $D \cdot V$ è sempre inferiore a 0,7 ad esclusione della prossimità di imbocco di monte della via Romana angolo via G Cesare e via Pasteur ed al di sopra dello scatolare stesso.



Carta complessiva delle velocità per TR 200 anni (inviluppo dei massimi):



Anche in termini di velocità si riscontrano moduli superiori a 1.50 m/s soltanto in corrispondenza dello scatolare e all'imbocco di via Pasteur e via Bigarella; valori compresi tra 1.00 m/s e 1.5 m/s sono presenti lungo le vie Pasteur e Bigarella, dove il modello caratterizza una potenziale concentrazione dei deflussi; a valle di via Aldo Moro anche per quanto riguarda le velocità valgono le considerazioni precedenti, e cioè che i valori del modulo velocità sono prossimi allo zero.

In ultima analisi si rappresenta per TR 200 anni anche la carta dei livelli assoluti (inviluppo dei massimi msm): da cui risulta evidente che l'area oggetto d'analisi presenta una serie di "invasi" in cascata dovuti alla presenza di muretti di recinzione interconnessi dalle viabilità e progressivamente superati o influenzati dalla presenza degli accessi carrai.

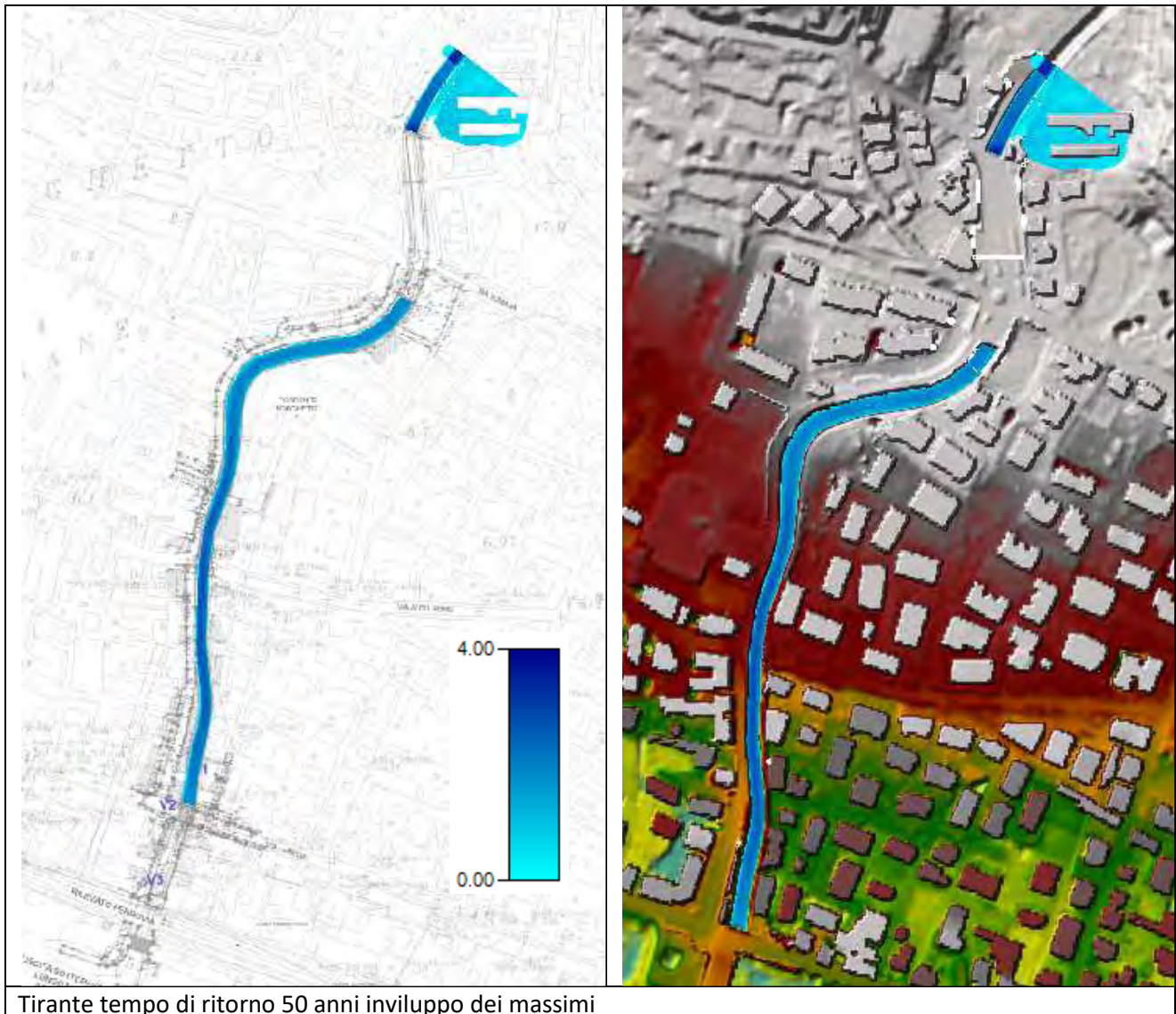
Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa



Infine nel seguito la durata dell'inondazione per TR200 anni in ore da inizio evento sino a fine simulazione (4 ore in tot)



Oltre alle precedenti immagini relative alle risultanze idrauliche prevalentemente dedicate all'evento duecentennale nel seguito si riportano analoghe immagini per gli altri due eventi analizzati ovvero TR 50 e 500.

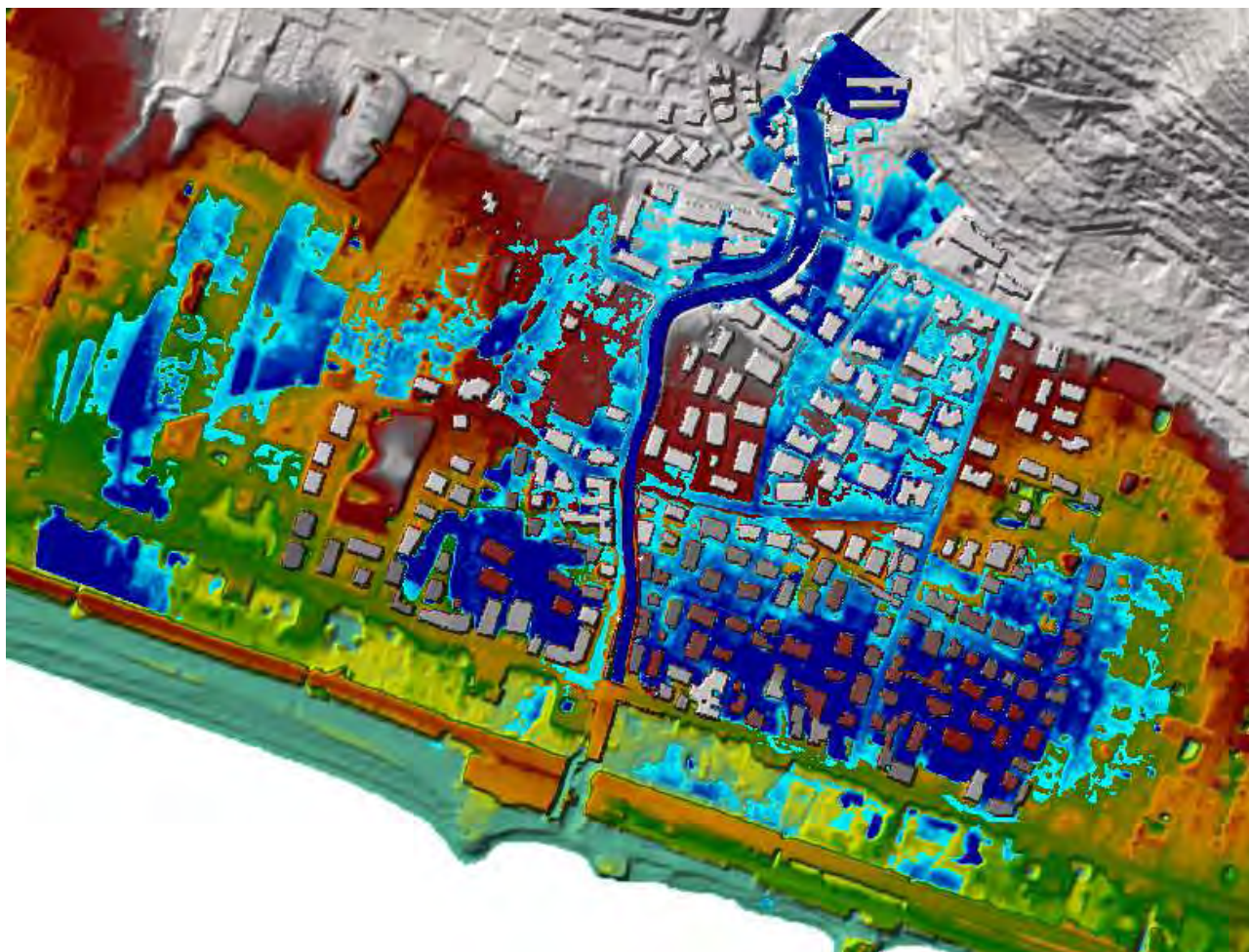


come si osserva per TR 50 la portata è contenuta sempre in alveo con esclusione della zona a monte dell'imbocco scatolare ove si verifica esondazione in sinistra.

Nella successiva figura si riporta il tirante per Tr 500. (scala colori da 0 a 0.6 m – i tiranti massimi possono essere localmente maggiori di 0,6 m)

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa





Per quanto riguarda la simulazione per TR 500

Le aree sono interessate da maggiori tiranti, e maggiori estensioni coinvolte, in particolare, per effetto della maggiore portata fuoriuscita; la precedente immagine che rappresenta l'inviluppo dei massimi tiranti per TR 500 indica maggiori allagamenti per accumulo a monte Aurelia con livelli che, solo localmente, sono in grado di scavalcare tale viabilità ed interessare limitatamente anche le aree a valle.

Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa



anche la presente immagine relativa al livello assoluto indica che in sinistra a monte Aurelia si stabilizza un accumulo con livello pari a circa 4 m (aree gialle). In destra invece la zona di accumulo risulta leggermente più depressa intorno a 3,6 m (area verde chiaro)



7. CONCLUSIONI E PROPOSTA DI AGGIORNAMENTO DEL QUADRO DEI DISSESTI

In definitiva pertanto le conclusioni che emergono dal presente lavoro sono le seguenti:

- Alla data attuale le condizioni di dissesto per esondazione da parte del torrente Borghetto nel tratto interessato dalla perimetrazione degli ambiti normativi sono profondamente mutate rispetto alla data di redazione di tale perimetrazione, in particolare per l'avvenuta realizzazione degli interventi di messa in sicurezza nel tratto compreso tra la via Romana e la foce;
- Le verifiche idrauliche di As-Built dimostrano che le opere previste e ad oggi realizzate rispondono agli obiettivi di messa in sicurezza per cui erano state progettate, e non si riscontrano più situazioni di esondazione diretta in tutto il tratto compreso tra lo sbocco dello scatolare di via Romana e la foce stessa;
- Ulteriori approfondimenti progettuali redatti sia dall'Autorità di Bacino sia dal comune hanno evidenziato una situazione di pericolosità residua connessa con l'insufficienza dell'imbocco di detto scatolare, con possibili ripercussioni a valle che interessano l'area perimetrata in termini di ambiti normativi;
- Il presente studio evidenzia come la situazione di pericolosità sia connessa con fenomeni caratterizzati da TR superiore a 100 anni e in particolare che lo scatolare consente il deflusso di portate fino a circa 160 mc/sec;
- La portata residua fuoriuscita dall'alveo (TR 200 anni) viene valutata in circa 20 mc/sec; di questi, per conformazione orografica e presenza di ostacoli fisici fissi, circa 10 mc/sec rientrano in alveo in corrispondenza del tratto terminale dello scatolare;
- La porzione rimanente si suddivide circa al 50% lungo le due sponde sinistra e destra del torrente, defluendo in prevalenza lungo le vie Romana (e da questa verso mare lungo le traverse presenti fino a via Rossi) - e le vie Bigarella e Pasteur (e da quest'ultima verso la sottostante via Rastello - via degli Ulivi);
- L'entità stimata in termini di tiranti e velocità di scorrimento delle esondazioni residue risulta molto limitata;
- Infine si prende atto che il comune ha conseguito il finanziamento delle opere previste come primo lotto nel progetto preliminare redatto nel mese di luglio 2016 e aggiornato nel mese di aprile 2017, che prevedono tra l'altro la sistemazione del nodo di imbocco dello scatolare di via Romana e del tratto d'alveo di monte;
- Nel citato progetto preliminare inoltre si evidenzia come siano presenti considerazioni in termini di trasporto solido, associate alla presa d'atto dell'avvenuta realizzazione di una prima vasca di trattenuta già realizzata, che fanno ritenere non prioritarie le opere di trattenuta in precedenza previste per completare gli interventi di riduzione del rischio della zona a valle di via Romana.

Sulla base delle precedenti considerazioni pertanto è stata redatta una nuova carta di perimetrazione delle aree esondabili avente valore di aggiornamento del quadro del dissesto e una coerente proposta di ripermimetrazione degli ambiti normativi.

Si precisa che il tracciamento delle aree esondabili è stato effettuato sulla base degli esiti del modello, modulando arealmente gli stessi secondo valutazioni effettuate anche sulla base di sopralluoghi specifici in loco, in termini di inviluppo di aree a pari pericolosità. A questo proposito in particolare, tenuto conto delle esondazioni residue a monte, si è ritenuto in via cautelativa, nelle more della realizzazione degli interventi di monte, perimetrare le aree comprese tra via San Bernardo e il Borghetto, in sinistra del torrente, in fascia B, anche se le evidenze "areali" del modello non interessano globalmente l'intera area; questa assunzione, a favore di sicurezza e tutela, è dovuta alla geometria di dettaglio che riesce a tenere conto in termini puntuali della presenza di cortili, depressioni, cordoli, recinzioni, che creano simulazioni molto dettagliate ed ovviamente tiranti disomogenei come accade in un tessuto cittadino. In ogni caso si tratta di allagamenti caratterizzati da ridotti tiranti e basse velocità.

La simulazione naturalmente non tiene conto di eventuali ostacoli che possano modificare in vario modo la dinamica illustrata; in particolare per quanto riguarda l'effetto di "rientro" ben evidenziato nelle simulazioni

*Torrente Borghetto - Tratto tra via Romana e foce - Istanza di aggiornamento del quadro del dissesto
Relazione illustrativa*



in corrispondenza dello sbocco di valle dello scatolare della Romana, evidentemente favorito dal dosso presente sulla via Pasteur, le simulazioni non possono tenere conto dell'eventuale presenza di "ostacoli" temporanei quali bidoni, blocchi di calcestruzzo, etc.; nello specifico tali situazioni possono essere gestite con diversa allocazione di tali elementi, e con interventi di rimozione in situazioni di allerta meteo.

Inoltre come già indicato in precedenza, la proposta di ripermimetrazione assume che le opere relative alla sistemazione del Borghetto nel tratto dalla Romana a foce, preso atto dell'avvenuto collaudo delle stesse (o dell'effettivo completamento delle sezioni idrauliche dei due ponti Aurelia e RFI) e delle verifiche di As-Built abbiano raggiunto i livelli di protezione ritenuti adeguati in sede di approvazione del progetto; a questo proposito si ribadisce che tale progettazione è stata supportata da modello fisico, realizzato presso il laboratorio di idraulica del Politecnico di Torino, che ha consentito di simulare le condizioni di deflusso nella configurazione di progetto in presenza dei ponti e dei manufatti, valutando pertanto i franchi idraulici da adottare quale "involuppo" tra i massimi stimati con simulazione numerica (e tenuto conto dell'altezza cinetica) e i valori emersi con la simulazione di modello fisico.

Infine con riferimento alla residua presenza lungo le case argine in sponda destra di aperture lato torrente più basse della quota dell'argine in sinistra, è noto che tale situazione è oggetto di ordinanza di chiusura/demolizione da parte dell'ex Provincia, in qualità di ente competente sul corso d'acqua (ora Regione); già in sede di stesura del progetto definitivo di sistemazione del torrente si era definito come tale situazione fosse presente e comunque da rimandare alla gestione delle competenze dell'Ente in rapporto con i privati proprietari.

In ogni caso il mantenimento di una perimetrazione con fascia B riconducibile ad una B0 in termini di ambiti normativi tiene conto anche di questi fattori.