REGIONE DEL VENETO

PROVINCIA DI BELLUNO

COMUNE DI FELTRE

VARIANTE AL PIANO DEGLI INTERVENTI VIGENTE PER L'AREA STRATEGICA ASt/06 - Testata urbana di accesso per il Centro Storico, con funzioni terziarie a Piazzale della Lana

Firmato digitalmente da
GASPARE ANDREELLA
CN = ANDREELLA GASPARE
O = Ordine degli Ingegneri della Provincia di Padova/80015440284
C = IT

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA (DGRV 2948 / 2009)

Firmato da:
Paolo Perenzin
Motivo:

ELABORATO N.

2

SCALA

-

CODICE DOCUMENTO

G1713_R02_00

FILE

G1713_R02_00.pdf

TITOLO

Data: 28/03/2017 08:57:01

RELAZIONE SPECIALISTICA IDRAULICA

COMUNE DI FELTRE

Firmato da:
OLIVIERO DALL'ASEN
Valido da: 27-06-2016 08:31:31 a: 27-06-2019 02:00:00
Certificato emesso da: InfoCert Firma Qualificata 2, INFOCERT SPA, IT
Riferimento temporale 'SigningTime': 28-03-2017 08:44:35

PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Gaspare Andreella
Viale Pedavena 46 - 32032 Feltre (BL)
tel. e fax 0439 302404
email info@studioandreella.com

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PADOVA
GASPARE ANDREELLA
INGEGNERE
SEZ. A n° 4028
SETTORI CIVILE E AMB. - INDUSTR. DELL'INFORMAZ.

REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	MARZO 2017	PRIMA EMISSIONE	G. ANDREELLA	G. ANDREELLA	G. ANDREELLA

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1 PREMESSA 3
2 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI 5
2.1 Inquadramento territoriale 5
2.1 Descrizione del tratto fluviale oggetto di studio 5
3 REALIZZAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO 7
4 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE MASSIME ATTESE NEL TORRENTE COLMEDA E NEL TORRENTE UNIERA 11
5 ANALISI IDRAULICA 13
5.1 Geometria del modello 13
5.2 Scabrezza delle superfici 15
5.3 Condizioni al contorno 16
5.4 Analisi dello stato di fatto 18
5.1 Analisi dello stato di progetto 19
6 CONCLUSIONI 21
APPENDICE A – IL MODELLO MATEMATICO TUFLOW 23
A.1 TUFLOW 24
B.2 ESTRY 26
A.3 Accoppiamento dei modelli 27
A.4 Inserimento dati 29
A.5 Visualizzazione dei risultati 30
A.6 Applicazioni e utenti 31
A.7 BIBLIOGRAFIA 33

1 PREMESSA

La presente relazione specialistica idraulica fa parte della valutazione di compatibilità idraulica (VCI) relativa alla Variante al Piano degli Interventi vigente per l'area strategica "*ASt/06 – Testata urbana di accesso e sosta per il Centro Storico, con funzioni terziarie a Piazzale della Lana*" nel comune di Feltre (BL), composta dai seguenti elaborati:

ELAB. NUMERO	Titolo 1	Titolo 2
02	Relazione specialistica idraulica	
0301	Modello idraulico del torrente Colmeda a valle di Ponte delle Tezze	Inviluppo dei massimi livelli idrometrici e delle massime altezze d'acqua al suolo in occasione dell'evento con tr=100 anni allo stato di fatto
0302	Modello idraulico del torrente Colmeda a valle di Ponte delle Tezze	Inviluppo dei massimi livelli idrometrici e delle massime altezze d'acqua al suolo in occasione dell'evento con tr=100 anni allo stato di progetto

In tale area, l'Amministrazione Comunale prevede di realizzare un intervento di recupero edilizio che prevede la ristrutturazione di un volume esistente, la riqualificazione della piazza, la realizzazione di nuovi edifici fuori terra e due parcheggi di cui uno interrato, come descritto nell'elaborato 1 della presente VCI

Dopo aver acquisito il rilievo aerofotogrammetrico svolto con drone aereo dall'Amministrazione Comunale, realizzato nell'ambito dell' "Indagine idrogeologica a Mugnai, nell'area ricompresa tra il Torrente Stizzon ed il torrente Musil finalizzata all'individuazione della causa degli allagamenti nell'area con individuazione delle possibili soluzioni tecniche" nell'anno 2014 e le portate massime attese nei torrenti Colmeda e Uniera dallo studio idraulico allegato alla VCI del PI 2010 C, Ato n.9 "Feltre Centro", al fine di valutare l'entità di possibili fenomeni di allagamento che potrebbero coinvolgere le aree oggetto di intervento, è stato implementato il modello numerico del torrente Colmeda a valle di Ponte delle Tezze.

Tale approccio ha permesso di verificare la possibilità di realizzazione del parcheggio interrato previso dal presente piano degli interventi e di individuare una quota di sicurezza al di sopra della quale sarà possibile sviluppare il piano d'imposta degli edifici in progetto conformemente alla normativa di settore.

2 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI

2.1 Inquadramento territoriale

L'area oggetto di studio, di cui si riporta l'ubicazione in figura 1, interessa il torrente Colmeda e il torrente Uniera in comune di Feltre. Essa ricade nella tavola 06215 della Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R. 1:5000).

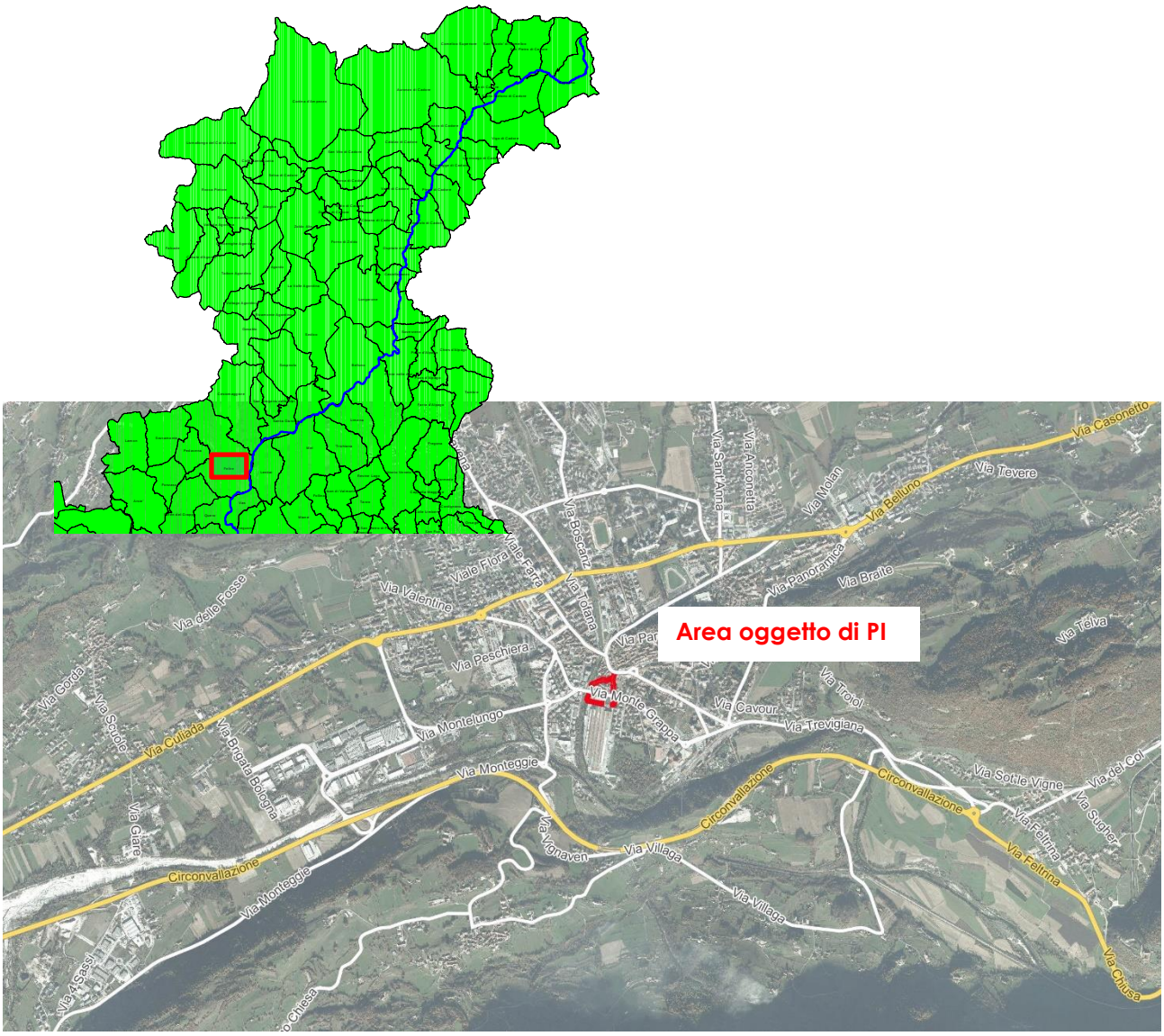


Figura 1 – Inquadramento territoriale

2.1 Descrizione del tratto fluviale oggetto di studio

Il tratto fluviale oggetto di indagine riguarda il torrente Colmeda ed il torrente Uniera dalla loro confluenza ubicata immediatamente a monte del Ponte delle Tezze fino alla confluenza dello stesso torrente Colmeda nel torrente Sonna, circa 0.7 km a valle, sempre in comune di Feltre.

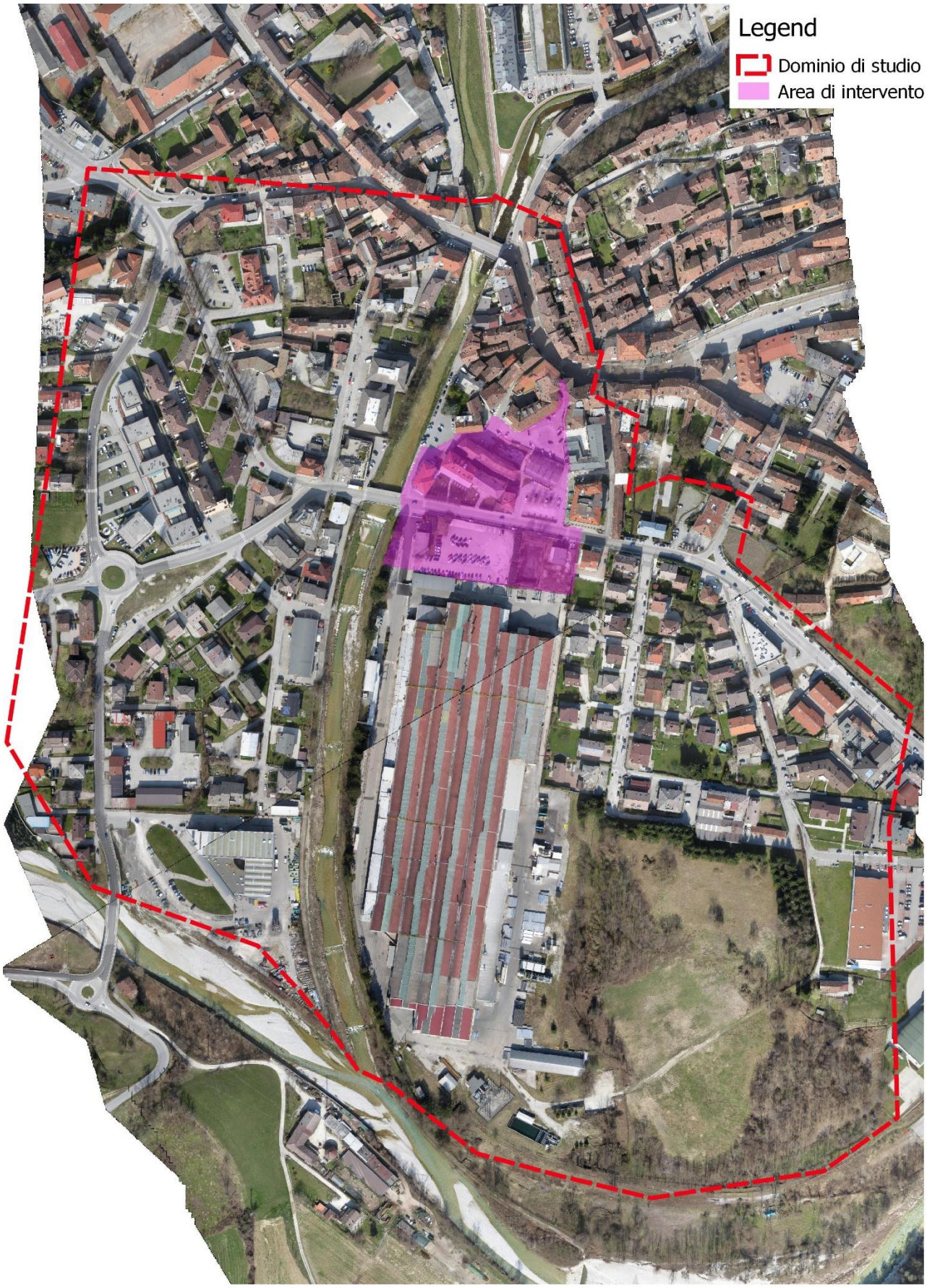


Figura 2 – Area di studio

3 REALIZZAZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

La base topografica utilizzata per la modellazione dell'area di intervento è costituita da un rilievo eseguito attraverso prodotti di alto contenuto tecnologico che si avvalgono di U.A.V. (Unmanned Aerial Vehicle), ovvero piccoli aerei senza pilota controllati elettronicamente a distanza, comunemente chiamati "drone"), che fungono da vettore per sostenere una fotocamera digitale calibrata preposta all'acquisizione di immagini con criterio fotogrammetrico.

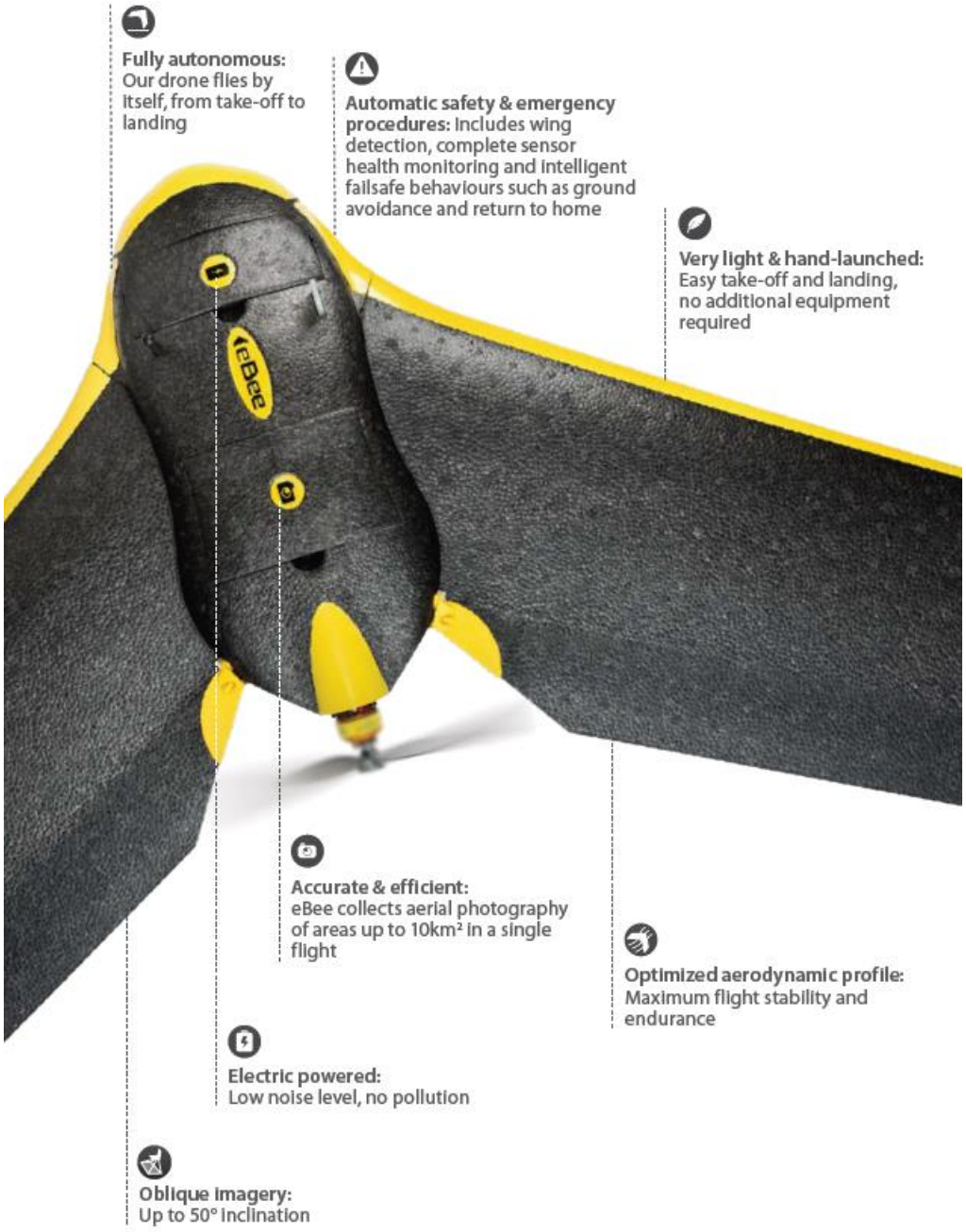


Figura 3 – Drone UAV utilizzato

Tale rilievo è stato svolto dall'Amministrazione Comunale nell'ambito dell'"Indagine idrogeologica a Mugnai, nell'area ricompresa tra il Torrente Stizzon ed il torrente Musil finalizzata all'individuazione della causa degli allagamenti nell'area con individuazione delle possibili soluzioni tecniche" nell'anno 2014.

I drone sono mezzi elettrici, ecologici, silenziosi, sicuri, flessibili e personalizzabili, che volano a bassa quota (dai 20 m fino ai 500 m di altitudine) e possono raggiungere in pochi secondi l'area da rilevare. Essi sono provvisti di sistema automatico di posizionamento G.P.S. e stabilizzazione che li rendono a tutti gli effetti delle piattaforme inerziali.

La fotogrammetria aerea con drone consente di produrre, attraverso software specifici e postazione fotogrammetrica: D.T.M., D.S.M., Ortofotocarta ad altissima risoluzione (1-10 cm/pixel) con relative Curve di livello, Sezioni, Cartografia vettoriale (con scala da 1:5000 fino a 1:100), Modelli 3d per rendering. Nel caso in esame sarà utilizzato un drone ad ala fissa indicato per rilievi ad ampio raggio con volo prevalentemente orizzontale.

L'ortofotocarta ottenuta, di cui si riporta uno stralcio nella seguente Figura 4, è stata restituita nel sistema di riferimento cartografico regionale (EPSG 3003 Gauss Boaga Fuso Ovest) con risoluzione massima del singolo pixel pari a 4 cm. Nella seguente Figura 5 si riporta uno stralcio del DSM ottenuto. Sulla base del rilievo sono state definite le linee di discontinuità caratteristiche degli elementi morfologici che interferiscono con il regime idraulico dei corsi d'acqua oggetto di indagine, generando il DTM di calcolo.

Figura 4 – Stralcio dell'ortofotocarta restituita

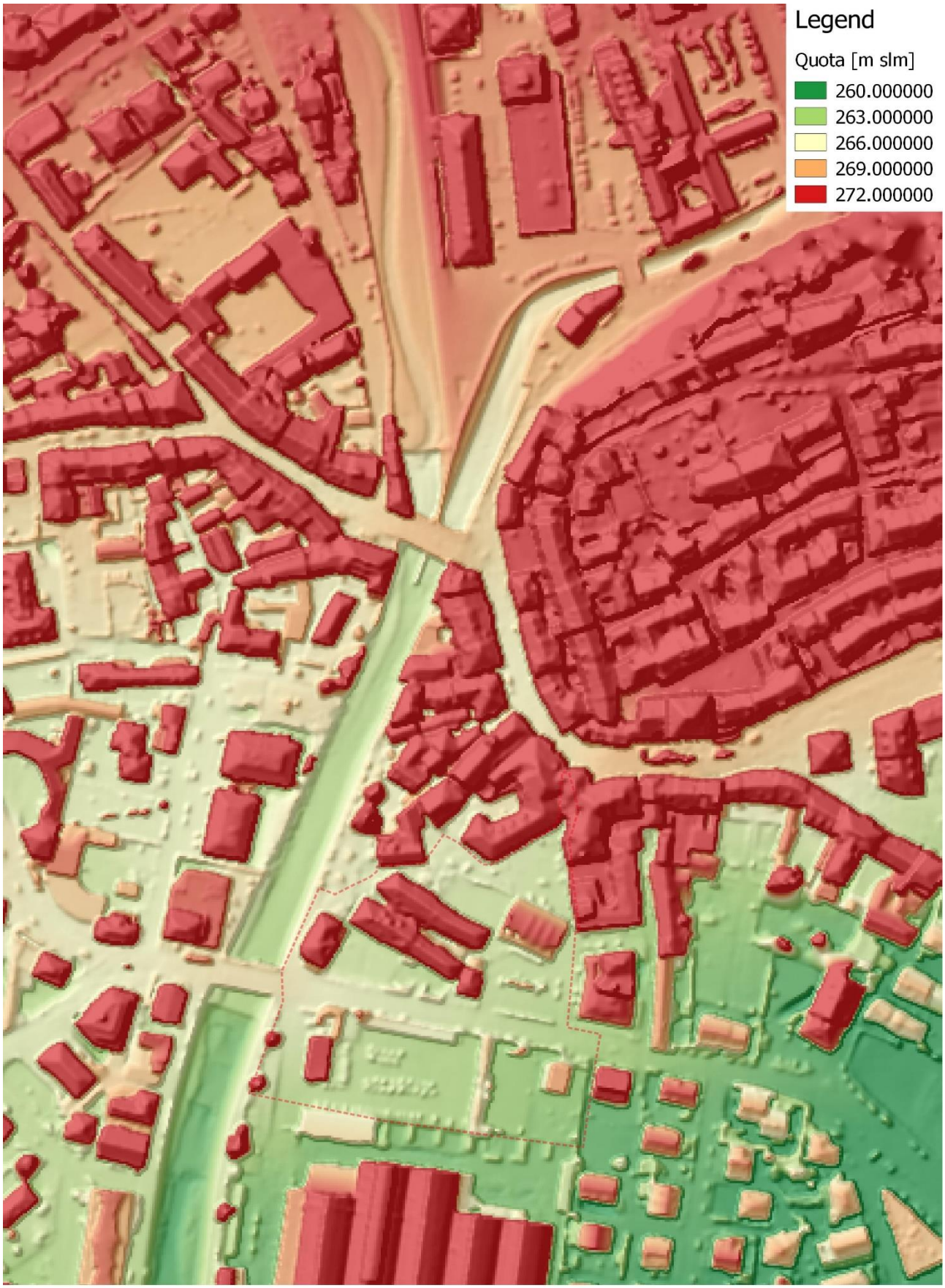


Figura 5 – Piano quitato dell'area di intervento ottenuto da elaborazione del rilievo fotogrammetrico acquisito

4 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE MASSIME ATTESE NEL TORRENTE COLMEDA E NEL TORRENTE UNIERA

Come precedentemente accennato, le portate utilizzate per la redazione della presente analisi di rischio sono state desunte dallo studio idraulico allegato alla VCI del PI 2010 C, Ato n.9 "Feltre Centro". Lo studio riporta gli idrogrammi di massima piena ottenuti da modello afflussi deflussi di seguito riportati:

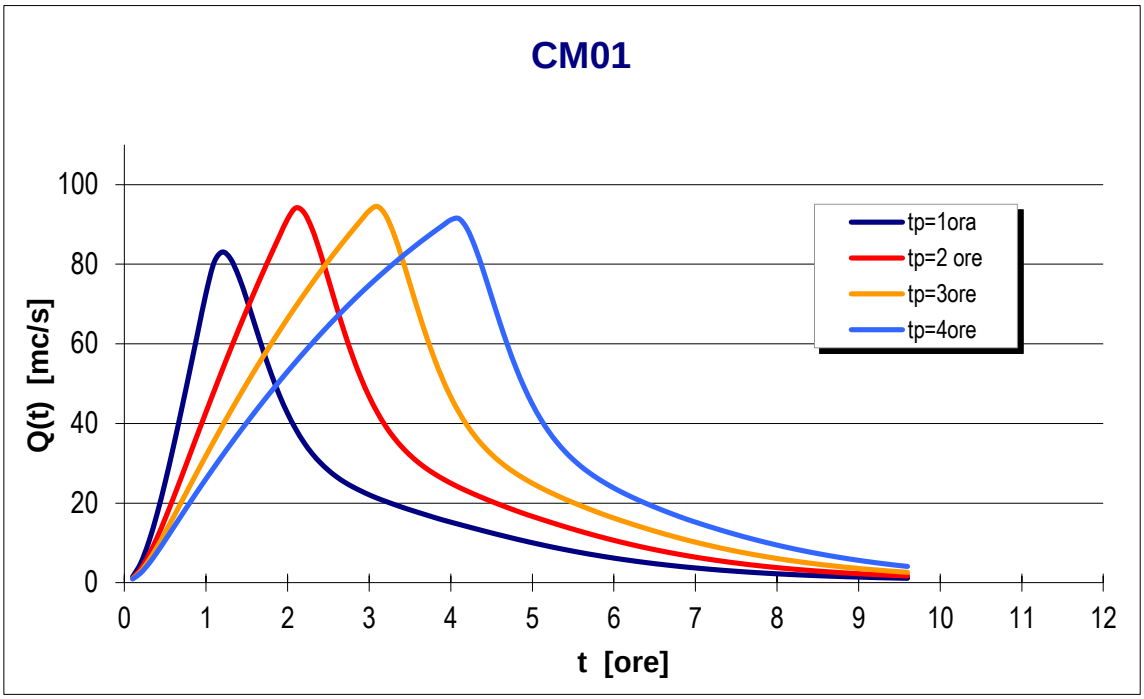


Figura 6 – sezione CM_01 - Idrogrammi di piena generati da precipitazioni di diversa durata con tempo di ritorno pari a 50 anni

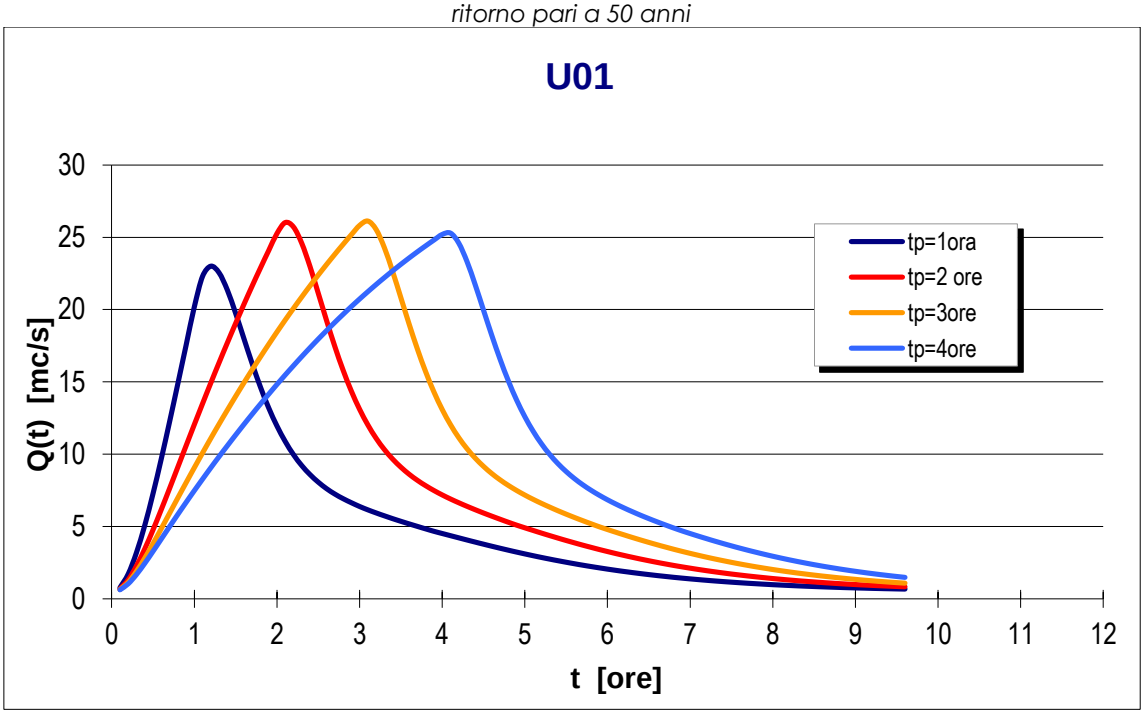


Figura 7 – sezione U01 - Idrogrammi di piena generati da precipitazioni di diversa durata con tempo di ritorno pari a 50 anni

I valori ottenuti nel citato studio sono stati riportati all'evento centenario mediante l'applicazione dello stesso modello, ottenendo gli idrogrammi di portata di seguito riportati che corrispondono a portate massime di 110 m^3/s per il T. Colmeda e 30 m^3/s per il torrente Uniera.

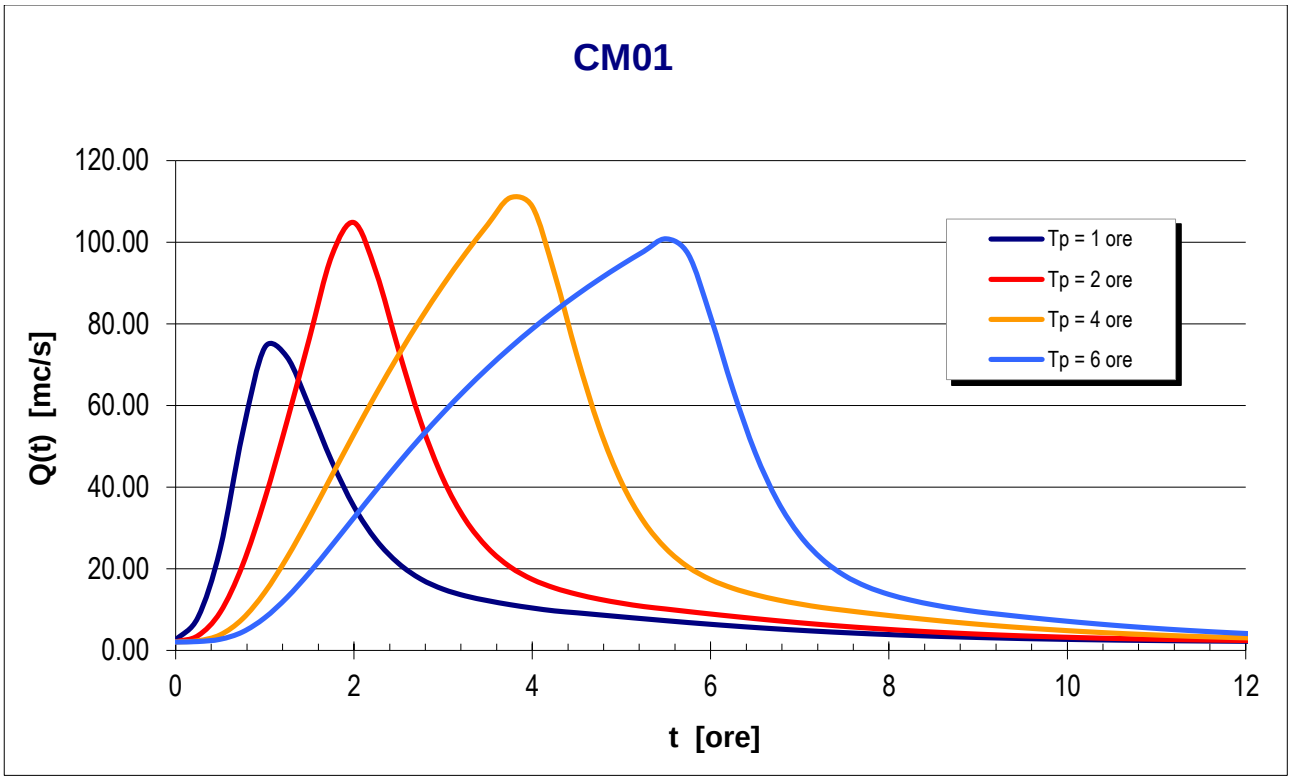


Figura 8 – sezione CM_01 - Idrogrammi di piena generati da precipitazioni di diversa durata con tempo di ritorno pari a 100 anni

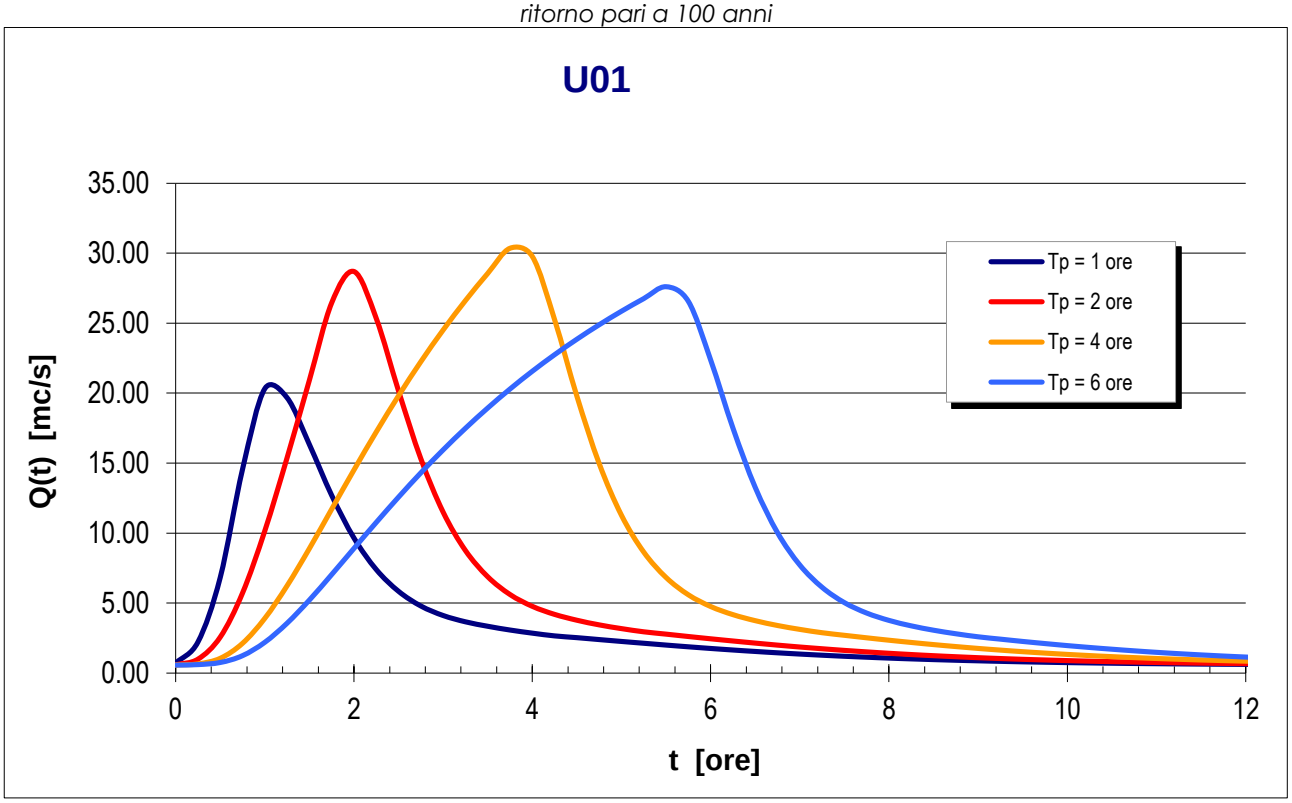


Figura 9 – sezione U_01 - Idrogrammi di piena generati da precipitazioni di diversa durata con tempo di ritorno pari a 100 anni

5 ANALISI IDRAULICA

Per individuare le interferenze tra l'area oggetto di intervento e il regime idrometrico che caratterizza i corsi d'acqua esaminati in occasione degli eventi di piena eccezionale è stata condotta un'indagine secondo il criterio idrodinamico con modello bidimensionale a moto vario.

L'obbiettivo dell'attività è quello di individuare la quota di sicurezza al di sopra della quale sarà posta la giacitura delle opere in progetto.

Pertanto, in analogia con quanto riportato nella relazione tecnica di PAI (Comitato Istituzionale 9 Novembre 2012), le aree di pericolosità idraulica sono state perimetrate mediante l'applicazione del criterio idrodinamico in occasione dell'evento con tr=100 anni.

I risultati delle elaborazioni condotte sono riportati negli elaborati 3.1 e 3.2 in termini di altezze d'acqua al suolo in scala cromatica e di livelli idrometrici massimi attesi mediante curve di livello.

Le caratteristiche del modello sono riportate nel sito www.tuflow.com e in Appendice A alla presente relazione.

Per la validazione del modello si può fare riferimento ai test sui vari software di modellazione idraulica bidimensionale disponibili sul mercato eseguiti dall'agenzia governativa del Regno Unito "UK Environmental Agency" nell'anno 2012 (Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling), scaricabili dal seguente link: cliccare qui

5.1 Geometria del modello

Come accennato, è stato messo a punto un modello idraulico bidimensionale a moto vario del tratto dei torrenti Colmeda e Uniera dal Ponte delle Tezze fino alla confluenza con il torrente Sonna, circa 700 m a valle.

Con l'ausilio degli strumenti di pre e post processing presenti nel sistema GIS in uso, è stato implementato il modello idraulico del tratto fluviale oggetto di studio.

Il dominio indagato è stato discretizzato con una griglia di 855 000 celle quadrate di lato 1.0 m, rappresentato in Figura 10.

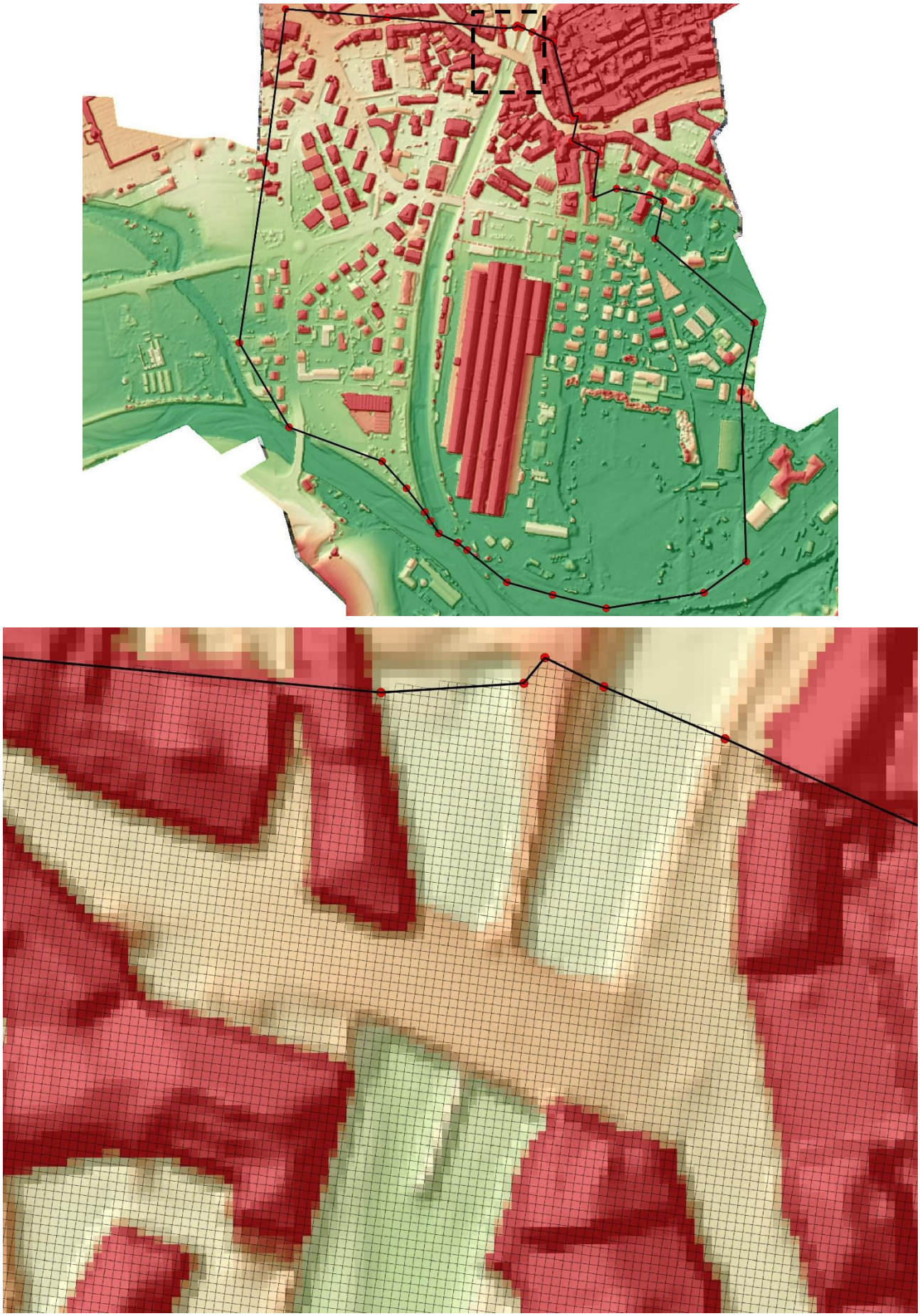


Figura 10 – Modello bidimensionale del torrente Colmeda – Vista generale e particolare

5.2 Scabrezza delle superfici

La scabrezza del corso d'acqua è espressa attraverso il coefficiente di Manning n e rappresenta uno dei parametri fondamentali dell'equazione del moto:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

con A area della sezione di deflusso, RH raggio idraulico e i pendenza del fondo. In mancanza di specifici valori sperimentali dedotti sulla base di apposite indagini, si è fatto riferimento ai dati di letteratura e a quelli utilizzati con soddisfacenti risultati in uguali simulazioni numeriche condotte su ambienti fluviali di analoghe caratteristiche. Tale attività ha condotto all'assegnazione di un coefficiente di Manning n=0.022 nelle zone pavimentate (strade) e, mentre per le zone edificate è stato assunto un coefficiente n=3 in accordo con le indicazioni presenti nel wiki tutorial di TUFLOW. Alle rimanenti aree (alveo, prato e bosco) è stato assegnato un coefficiente di Manning pari a 0.06 Tale criterio ha condotto alla redazione della carta delle scabrezze riportata nella seguente Figura 11.

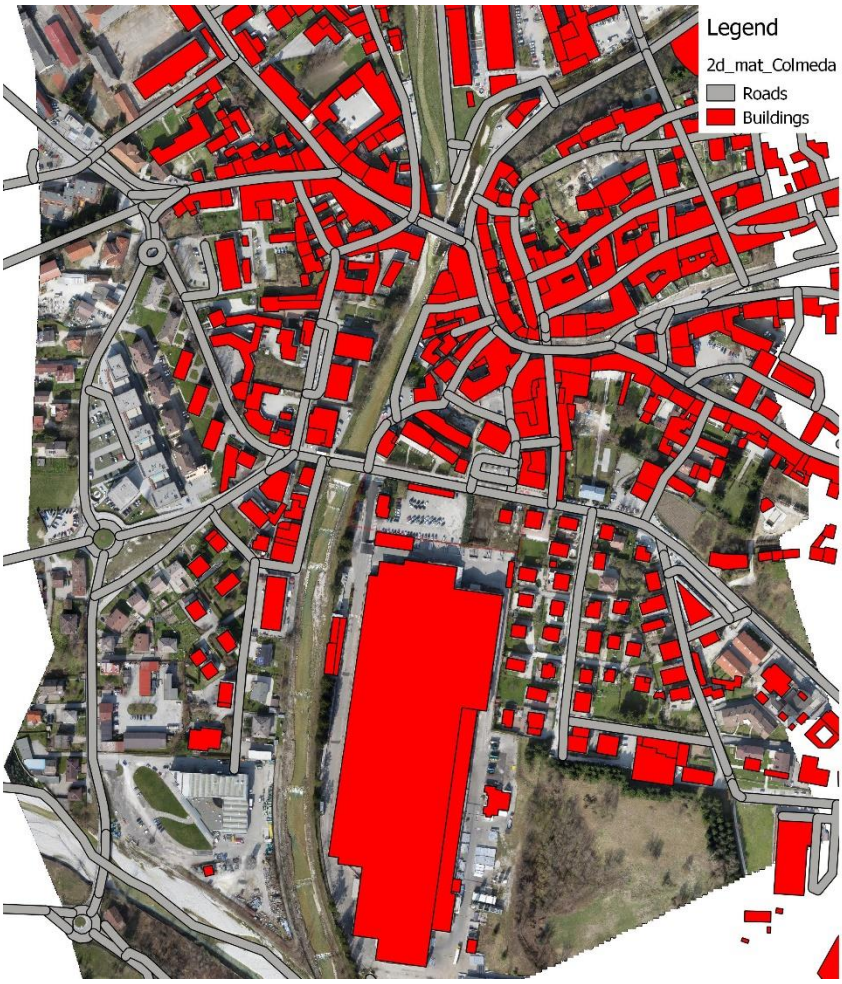


Figura 11 – Mappa delle scabrezze

5.3 Condizioni al contorno

In analogia con quanto indicato nell'Allegato A alla DGR 2948/2009 e con quanto descritto nella relazione tecnica del PAI[1] allegata alla delibera n.3 del CI del 9 novembre 2012, l'evento preso come riferimento per la verifica di sicurezza dell'area è la piena con tempo di ritorno 100 anni.

Le portate in ingresso nel modello del sono state schematizzate con tre idrogrammi di portata in ingresso relativi al torrente Colmeda ed al torrente Remuglia, calcolati mediante l'applicazione del modello afflussi deflussi descritto nel precedente capitolo e indicati nella seguente Figura 12.

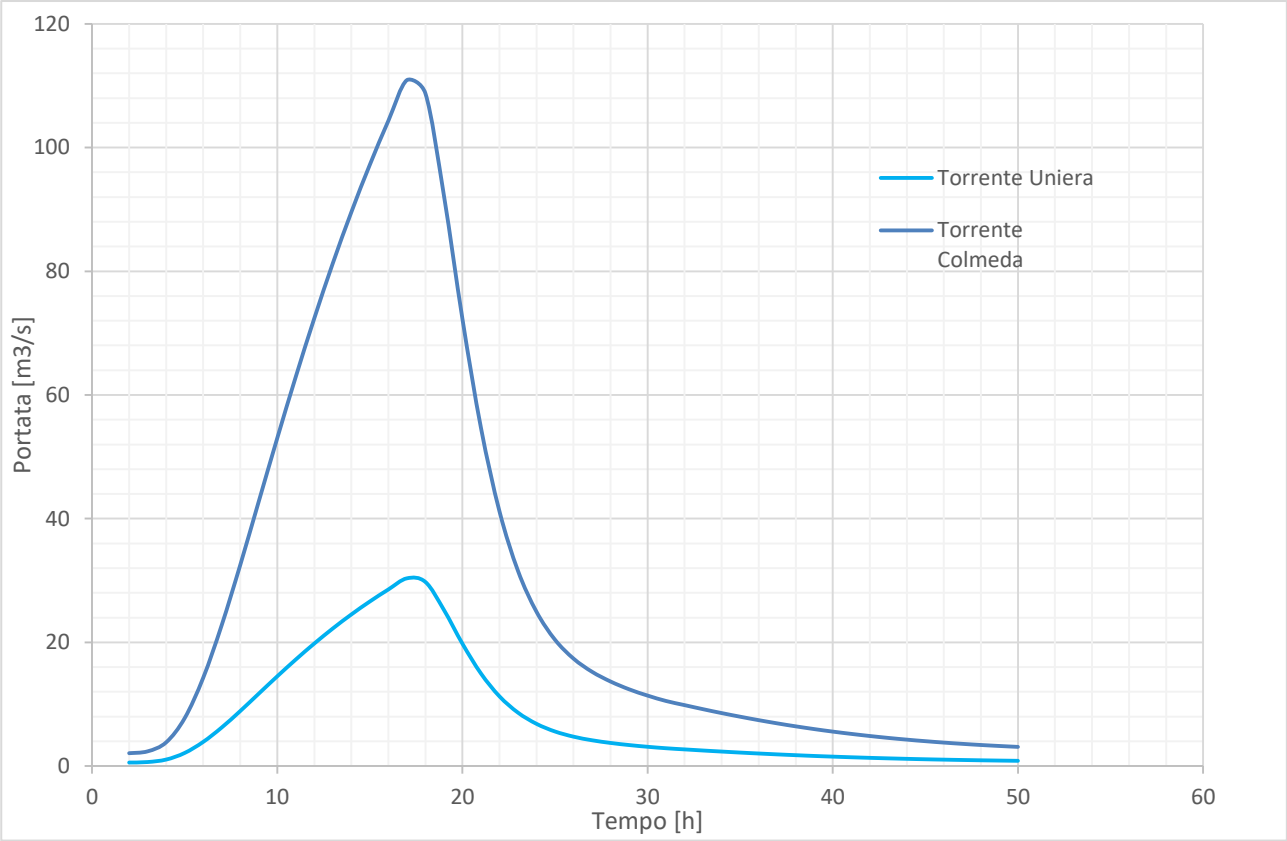


Figura 12 – Idrogrammi di piena utilizzati come condizione al contorno di monte (Qmax Colmeda = 110 m³/s; Qmax Uniera =30 m³/s)

Come condizione di valle è stato preso il livello idrometrico a moto uniforme in corrispondenza della confluenza nel torrente Sonna nella condizione di livello a piene rive.

Il confine di valle del dominio di calcolo è stato schematizzato come una soglia con pendenza dell'1%, in modo tale che le portate che raggiungono il bordo possano fuoriuscire dal modello senza provocare effetti di rigurgito che influirebbero sul risultato finale nelle aree interne.

Nella seguente Figura 13 si riporta la sintesi delle condizioni al contorno applicate

[1] paragrafo 2.1.1.1 "la piena di riferimento"

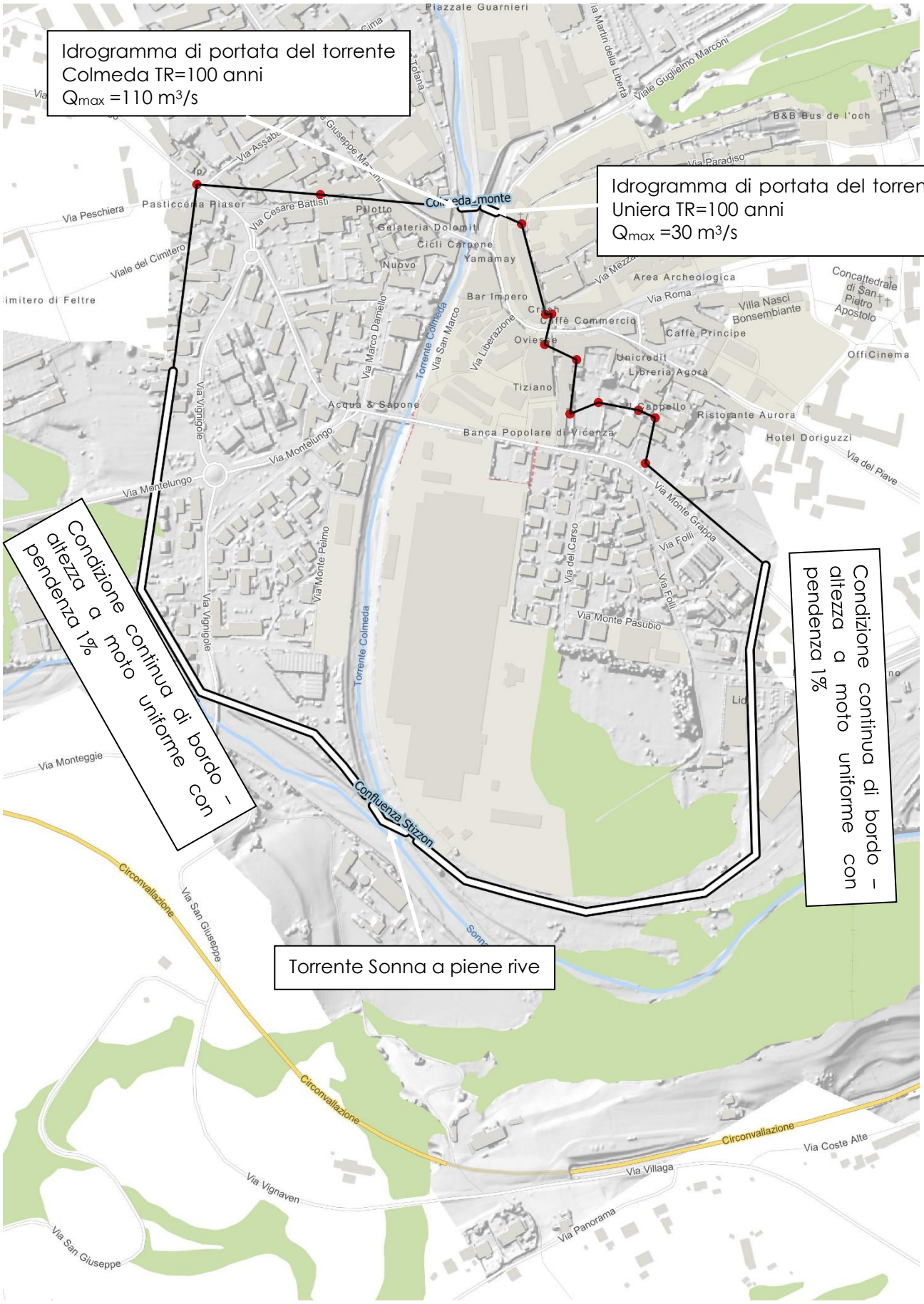


Figura 13 – Sintesi delle condizioni al contorno applicate

5.4 Analisi dello stato di fatto

Le applicazioni modellistiche condotte hanno consentito di individuare le interferenze tra l'area destinata ad ospitare gli interventi di PI, con la possibilità di visualizzare per ogni istante di calcolo la mappa delle altezze d'acqua, velocità, portate e livelli idrici nel tempo.

A tale proposito, si può seguire l'evolversi della simulazione nel tempo in termini di aree allagate e velocità di deflusso cliccando sul seguente link.

Allo stato attuale, il torrente Colmeda manifesta un'insufficienza generalizzata tra ponte delle Tezze e il ponte su Via Monte Grappa, che si manifesta con delle fuoriuscite di portata sia in destra che in sinistra idrografica.

Come indicato nell'elaborato grafico 3.1 e nella seguente figura, l'area di piazzale della Lana viene coinvolta dagli allagamenti attraverso Via S. Marco e da Via 31 ottobre con altezze d'acqua al suolo che variano tra i 10 e i 40 cm. In particolare, in questa zona il livello idrometrico riferito al rilievo topografico in uso si attesta ad una quota variabile tra i 265.00 e 264.5 m slm, che si realizzano per effetto dell'a presenza della ex officina, che costituisce un ostacolo al libero deflusso delle acque.

In corrispondenza dell'attuale parcheggio gli allagamenti presentano massime altezze d'acqua tra i 10 e i 20 cm per poi assumere valori inferiori ai 10 cm lungo Via Monte Grappa.

A Sud di Via Monte Grappa gli allagamenti si sviluppano lungo l'infrastruttura e lungo la viabilità esistente con tiranti idraulici dell'ordine del centimetro.

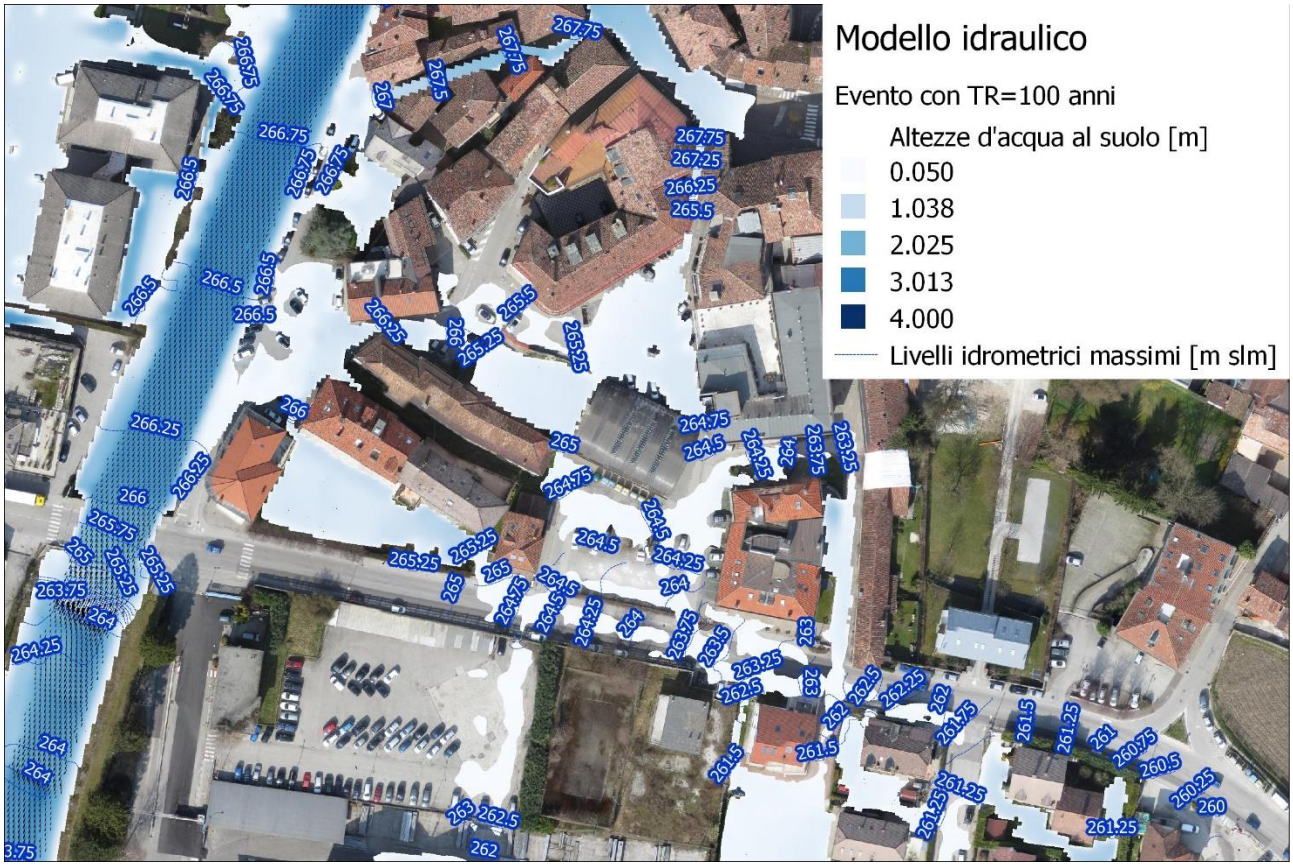


Figura 14 – Stralcio dell'elaborato 3.1 - Inviluppo dei massimi livelli idrometrici e delle massime altezze d'acqua al suolo in occasione dell'evento con TR=100 anni allo stato di fatto

5.1 Analisi dello stato di progetto

Analogamente a quanto descritto per lo stato di fatto, le applicazioni modellistiche condotte hanno consentito di visualizzare per ogni istante di calcolo la mappa delle altezze d'acqua, velocità, portate e livelli idrici nel tempo.

A tale proposito, si può seguire l'evolversi della simulazione nel tempo in termini di aree allagate e velocità di deflusso cliccando sul seguente link.

Rispetto allo stato attuale, è stata inserita nel dtm in usa la sagoma degli edifici in progetto alla quale è stato assegnato un coefficiente di Manning pari a 3, in accordo con le indicazioni presenti nel wiki tutorial di TUFLOW. All'area in cui è presente l'edificio in demolizione è stato assegnato un coefficiente 0.06.

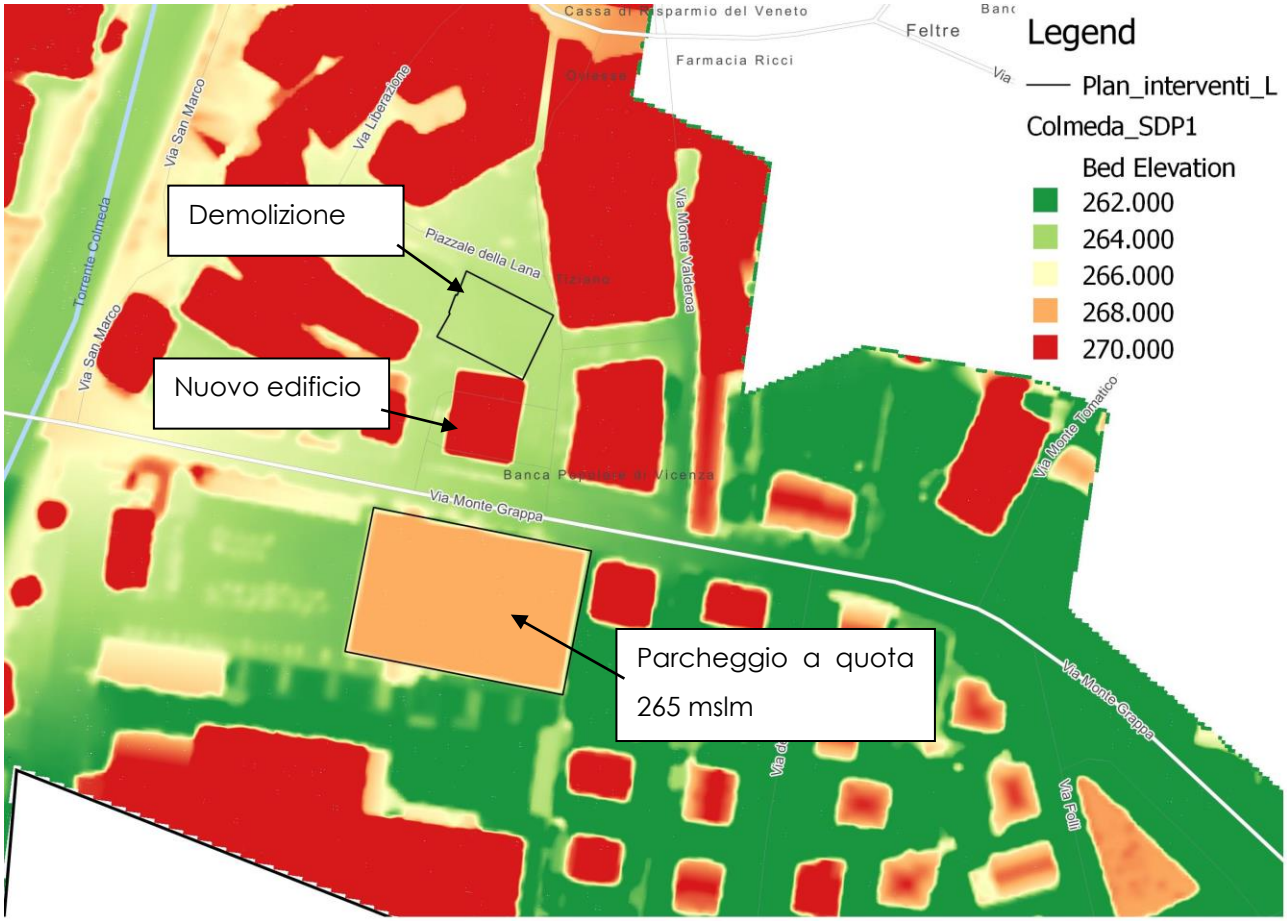


Figura 15 – DTM modificato con gli interventi di progetto

Come indicato nell'elaborato grafico 3.2 e nella seguente figura, la configurazione di progetto appare migliorativa rispetto allo stato attuale in quanto, come precedentemente accennato, l'ex officina costituisce un ostacolo alla divagazione delle acque superficiali.

Essendo prevista la sua demolizione, l'area di piazzale della Lana viene coinvolta dagli allagamenti attraverso Via S. Marco e da Via 31 ottobre con altezze d'acqua al suolo mai superiori ai 20 cm. In particolare, in questa zona il livello idrometrico riferito al rilievo topografico in uso si attesta ad una quota variabile tra i 265.00 e 264.25 m slm.

In corrispondenza dell'attuale parcheggio gli allagamenti presentano massime altezze d'acqua tra i 10 e i 20 cm per poi assumere valori inferiori ai 10 cm lungo Via Monte Grappa, analogamente a quanto accade allo stato di fatto.

A Sud di Via Monte Grappa gli allagamenti si sviluppano lungo l'infrastruttura e lungo la viabilità esistente con tiranti idraulici dell'ordine del centimetro.

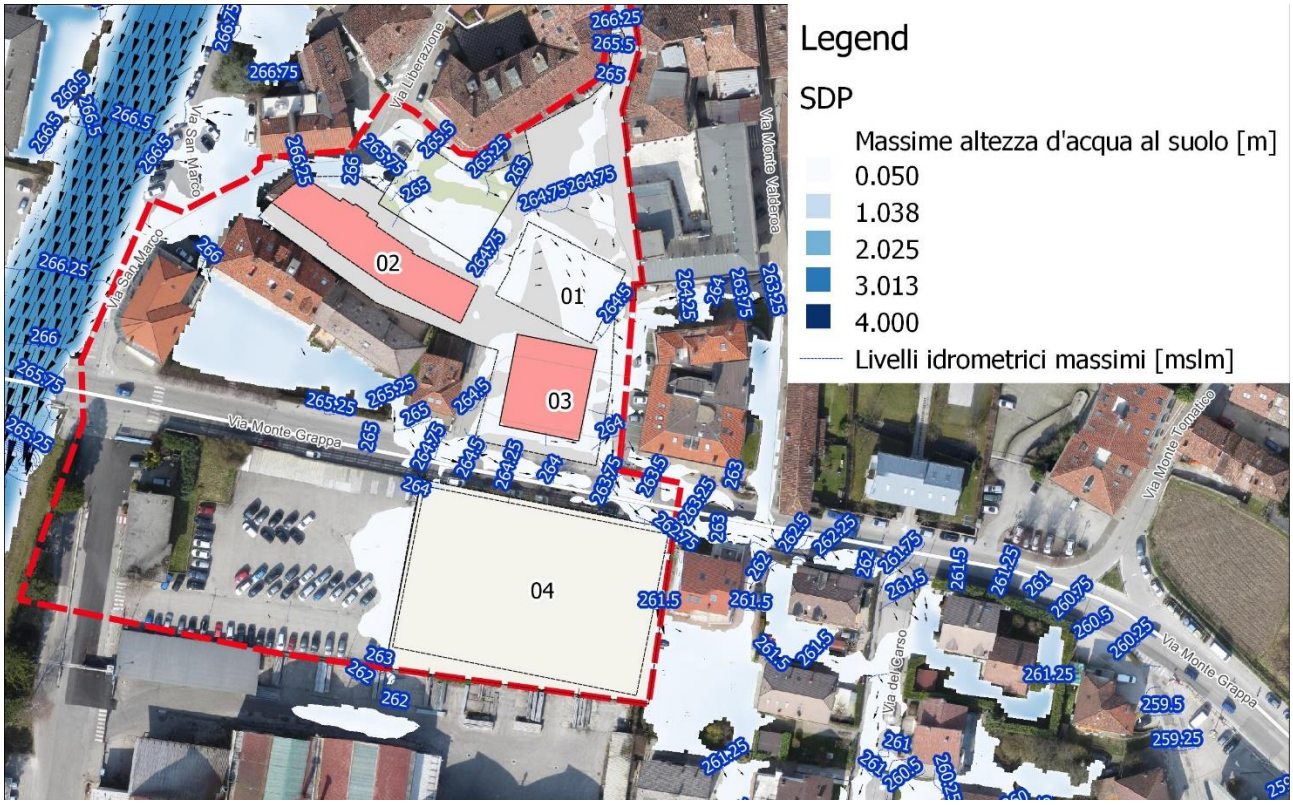


Figura 16 – Stralcio dell'elaborato 3.2 - Inviluppo dei massimi livelli idrometrici e delle massime altezze d'acqua al suolo in occasione dell'evento con TR=100 anni allo stato di progetto

Si precisa che tali livelli appaiono sovrastimati, in quanto non si tiene conto della possibilità che parte del volume di piena che fuoriesce dal torrente Colmeda verrà invasato nei piani interrati degli edifici esistenti o allontanato verso valle dalle fognature esistenti.

6 CONCLUSIONI

Alla luce delle indagini condotte, è stato possibile appurare che l'aera destinata ad accogliere l'intervento in variante risulta interessato da fenomeni di allagamento in occasione della piena centenaria.

Sulla base delle applicazioni modellistiche eseguite, è stata stabilita la quota di sicurezza idraulica per l'intervento n. 4 "Realizzazione di un nuovo parcheggio con un piano interrato"

Per l'accesso alla rampa dell'interrato e quota dell'imposta di eventuali bocche di lupo è prevista una quota minima di sicurezza di 265.20 mslm.

Relativamente agli altri interventi, essi dovranno essere realizzati compatibilmente con i livelli idrometrici massimi attesi desunti dalla cartografia allegata.

APPENDICE A – IL MODELLO MATEMATICO TUFLOW

Il modello idraulico TUFLOW per lo studio della propagazione delle onde di piena è prodotto da WBM Oceanics Australia (http://www.tuflow.com/).

Esso è costituito dal modello numerico TUFLOW 2D integrato con il modello monodimensionale ESTRY ed è stato progettato per la simulazione idraulica delle onde di piena in un dominio geometricamente complesso, costituito da porzioni in cui è appropriato schematizzare la rete idrografica mediante una rete monodimensionale e porzioni in cui le assunzioni di monodimensionalità del moto vengono a cadere. In questo caso il moto idraulico viene simulato mediante un modello matematico bidimensionale.

Più precisamente, nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostri insufficiente a contenere la portata in arrivo, il volume in eccesso viene trasferito mediante opportuni link, istante per istante, al territorio latistante che viene rappresentato attraverso uno schema a griglia. Il deflusso attraverso le aree esterne all'alveo viene calcolato dal modello TUFLOW 2D, bidimensionale puro.

TUFLOW 2D e ESTRY, integrati nel pacchetto TUFLOW, costituiscono un potente strumento per studi di previsione e propagazione delle onde di piena, l'ottimizzazione di reti di drenaggio, la progettazione di sistemi fognari, gli studi di qualità dell'acqua.

TUFLOW non dispone di una propria interfaccia grafica, ma utilizza programmi GIS e altri software, anche open source, per la creazione, elaborazione e visione dei dati. Questi software sono:

- un GIS che può importare/esportare. mif/.mid files;
- un programma per la modellazione 3D delle superfici per la creazione e interrogazione di un DTM, e per importare superfici 3D riguardanti i livelli, le profondità,etc. dell'acqua;
- SMS (Surfacewater Modelling System – www.emsi.com) oppure WaterRIDE (www.waterride.net) per la visualizzazione dei risultati e la creazione di animazioni.
- Un editor di testi
- Un foglio di calcolo elettronico del tipo di Microsoft Excel.
- Un software come MIKE 11, ISIS o Hec Ras per gestire e creare sezioni 1D (TUFLOW e ESTRY leggono i dati delle sezioni elaborate da questi programmi sottoforma di files testo).

La combinazione dei programmi sopra descritta offre un sistema per la modellazione idraulica 2D/1D molto potente.

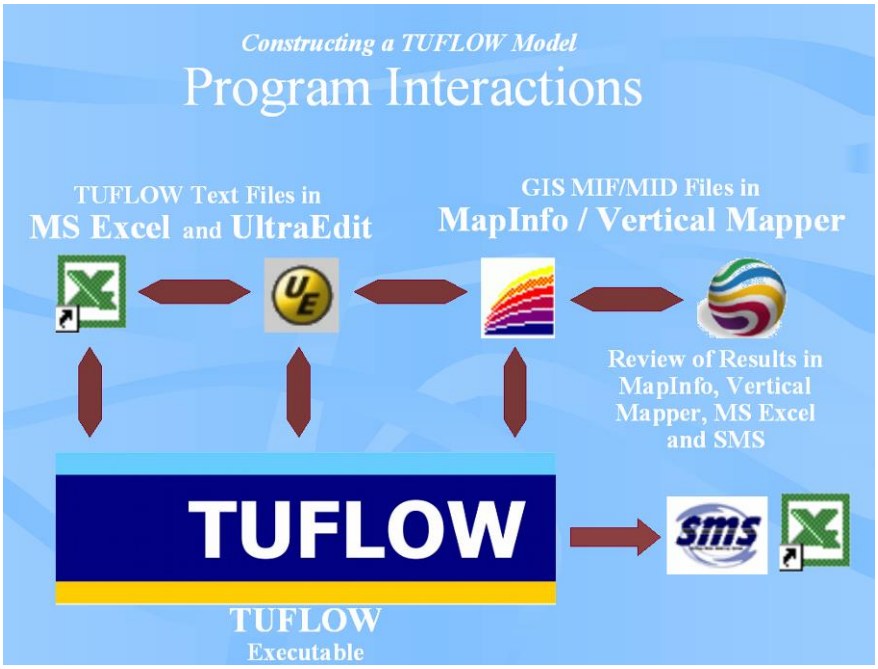


Figura 1– Schema delle interazioni tra i programmi utilizzati

L'approccio di tipo GIS offre molti benefici, alcuni dei quali sono di seguito elencati:

- La possibilità di lavorare direttamente in un ambiente "aperto" come il GIS;
- La presenza di una gran quantità di strumenti per la gestione dei dati, direttamente utilizzabili nella fase di costruzione del modello;
- Georeferenziazione di tutti i dati, con la possibilità di cambiare le dimensioni delle celle 2D in modo immediato;
- Maggior efficienza nella produzione di mappe, report, brochure, filmati etc;
- Possibilità di fornire al cliente tutti i dati e i risultati in formato GIS;
- Maggior facilità di comprensione del processo di modellazione da parte del modellista, del cliente e dei portatori di interesse.

A.1 TUFLOW

TUFLOW è un programma per la simulazione di deflussi mono e bidimensionali per lo studio di piene e maree. TUFLOW, è stato originariamente sviluppato per flussi bidimensionali (2D) ,il suo anagramma sta per **T**wo **d**imensional **U**nsteady **F**LOW. Esso incorpora tutte le funzioni di ESTRY 1D sia monodimensionale che quasi2D, basato sulle equazioni monodimensionali del moto a pelo libero.
Il completo algoritmo di soluzione 2D, creato da Stelling 1984 sviluppato da Syme 1991, risolve equazioni bidimensionali di continuità e conservazione della quantità di moto per superfici libere. Il software è stato sviluppato come progetto di ricerca dalla WBM Oceanics Australia e dall'Università di Queensland nel 1990. Il progetto è stato successivamente ampliato aggiungendo una connessione dinamica 2D/1D (Syme 1991). I successivi miglioramenti dal 1998 ad oggi si sono focalizzati sulle strutte idrauliche, modellazione del flusso, connessione tra le strutture 2D/1D e l'utilizzo

del GIS per la gestione dei dati (Syme 2001a, Syme 2001b). TUFLOW è anche stato oggetto di numerosi tests da parte della WBM Pty Ltd e altri (Barton 2001, Huxley, 2004).

TUFLOW è sostanzialmente orientato a stabilire il percorso del flusso delle acque lungo coste, estuari, rive, aree soggette ad allagamenti e urbanizzate dove i percorsi del flusso in natura sono essenzialmente 2D e non è possibile o sarebbe complicato rappresentarle utilizzando una modellazione 1D.

Una notevole potenzialità di TUFLOW è la sua capacità di connettersi dinamicamente con il programma idrodinamico 1D (quasi2D) ESTRY. L'utente configura un modello come una combinazione di domini monodimensionali 1D connessi con un domini bidimensionali 2D. Vale a dire che i domini 2D e 1D sono collegati per formare un unico modello. TUFLOW risolve le equazioni delle acque basse (SWE). Le SWE sono equazioni di flusso utilizzate per modellare le onde lunghe come ad es. flussi, maree e moti ondosi. Esse sono state ottenute utilizzando le ipotesi di velocità verticale ed orizzontale uniforme ed accelerazione verticale trascurabile (cioè una distribuzione idrostatica di pressione). Queste semplificazioni sono valide dove la lunghezza d'onda è molto più grande della profondità dell'acqua. Nel caso di onde oceaniche le SWE sono applicabili ovunque. Le 2D SWE nel piano orizzontale sono descritte dalle seguenti equazioni differenziali di conservazione della massa e del conservazione della quantità di moto in direzione X e Y in un piano cartesiano di riferimento.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0$$ (Continuità 2D)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - c_f v + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + g\,u\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{C^2 H} - \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = F_x$$ (Conservazione della quantità di moto x)

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + c_f u + g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + g\,v\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{C^2 H} - \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} = F_y$$ (Conservazione della quantità di moto y)

Dove:

u e v = velocità specifiche medie in direzione x e y;

ζ = livello idrometrico;

H = tirante idraulico

t = tempo;

x e y = distanza in direzione x e y;

cf = coefficiente di Coriolis;

C = coefficiente di Chezy

μ = coefficiente di diffusione orizzontale della quantità di moto;

p = pressione atmosferica;

ρ = densità dell'acqua;

Fx e Fy = risultante delle forze esterne (ad esempio il vento) applicate in direzione x e y.

Le celle di calcolo sono composte da 11 punti di calcolo ciascuna, un punto ZC per il calcolo del livello idrometrico, 2 punti ZU per calcolo delle velocità lungo x, 2 punti ZV per le velocità lungo y e 4 punti ZH con significato esclusivamente grafico per la restituzione dei risultati (Figura 17 e Figura 18).

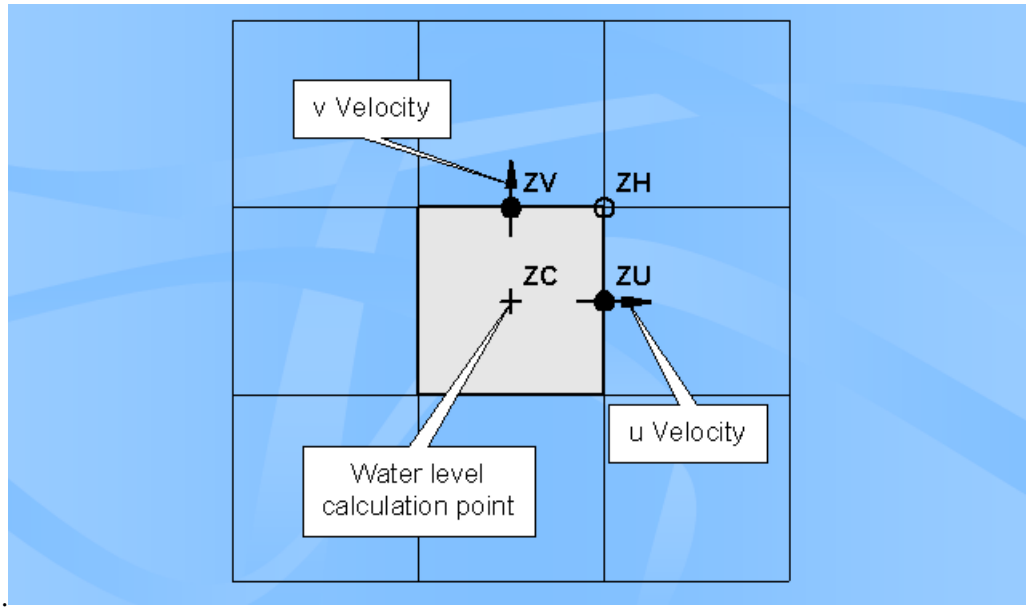


Figura 17 – Schema di una cella di TUFLOW

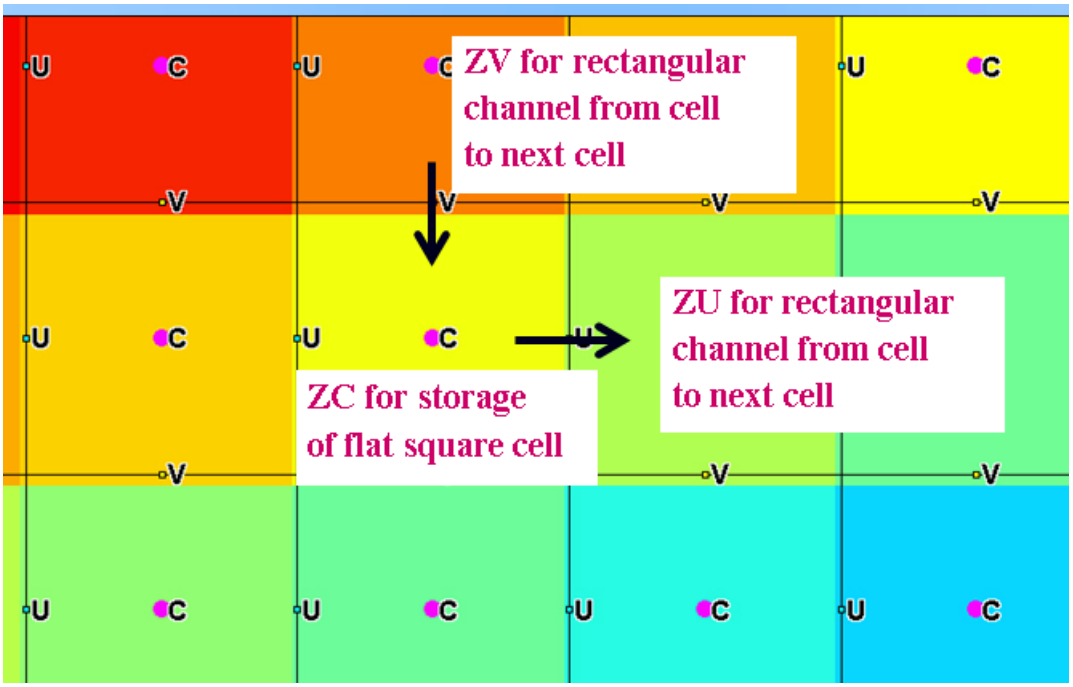


Figura 18 – Link tra le celle

B.2 ESTRY

ESTRY è un potente programma a moto vario adatto per la modellazione matematica di flussi e maree (e/o moti ondosi). Il programma è stato sviluppato dalla WBM Oceanics Australia da più di

trentacinque anni ed è stato successivamente applicato in centinaia di studi partendo dalle applicazioni ad un canale singolo per arrivare fino alle più complesse quasi2D.

Il modello si basa sulla soluzione numerica delle equazioni di moto vario dei fluidi (conservazione della quantità di moto e continuità), e include i termini inerziali.

$$\frac{\partial(uA)}{\partial x} + B\frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0$$ (Equazione di continuità)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} + k|u|u = 0$$ (Conservazione della quantità di moto)

Dove:

u = velocità specifica media;

ζ = livello idrometrico;

t = tempo;

x = distanza;

A = area della sezione di deflusso;

B = larghezza della lama d'acqua;

k = coefficiente per le perdite continue = $\frac{gn^2}{R^{4/3}}$

n = coefficiente di scabrezza di Manning;

R = raggio idraulico

g = accelerazione di gravità;

La soluzione monodimensionale in TUFLOW usa la tecnica di soluzione alle differenze finite, di secondo ordine, di RungeKutta (Morrison and Smith, 1978) per le equazioni 1D SWE di continuità e conservazione della quantità di moto come mostrato dalle seguenti equazioni. In aggiunta ai canali a pelo libero, sono disponibili per la modellazione le seguenti opere idrauliche:

- Scatolari multipli circolari o rettangolari;
- Ponti, pile da ponte;
- Briglie, canalette di scolo lato strada, arginature etc.;
- Strutture definite dall'utente.

A.3 Accoppiamento dei modelli

TUFLOW risolve simultaneamente la rete monodimensionale (mediante ESTRY) e uno o più domini bidimensionali fornendo un'accurata simulazione idrodinamica dei fenomeni di piena e dell'allagamento delle aree adiacenti ai corsi d'acqua.

Il modello fornisce inoltre informazioni non solo sui volumi esondati e sulle altezze d'acqua raggiunte sul piano campagna, ma anche la stima delle velocità raggiunte durante il fenomeno alluvionale e dei tempi di sussistenza della piena.

In particolare la modellazione dell'alveo del corso d'acqua avviene secondo uno schema monodimensionale implementato in ESTRY.

In questo modo le caratteristiche dell'alveo di morbida sarà rappresentato con la necessaria precisione laddove una modellazione bidimensionale pura comporterebbe una perdita di informazioni significativa (figura 2).

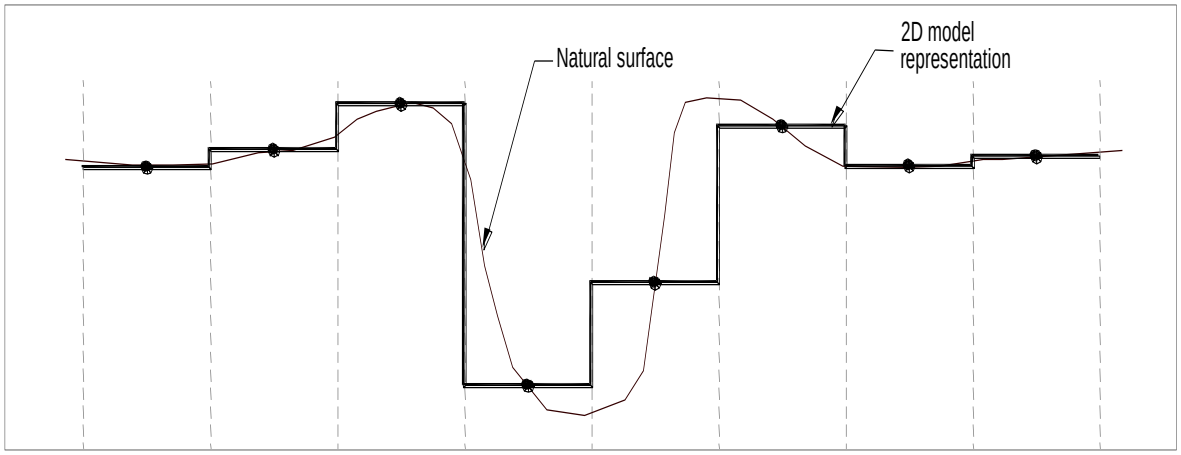


Figura 2 - Esempio di una rappresentazione bidimensionale poco accurata di un corso d'acqua

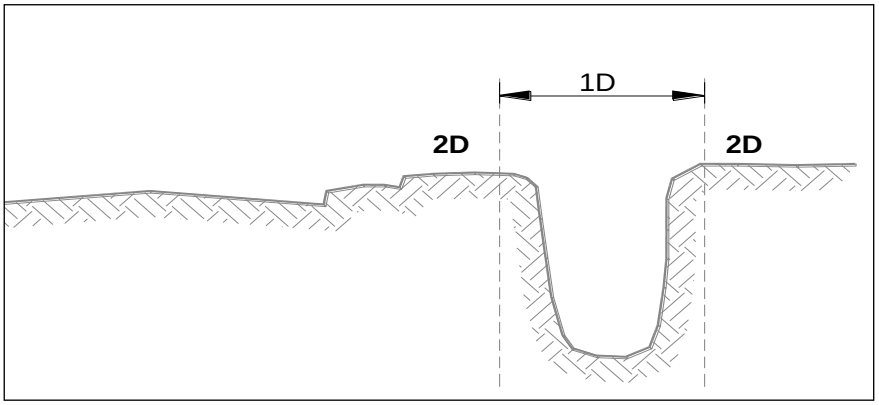


Figura 3– Esempio di modellazione mono-bidimensionale

Nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostrasse insufficiente a contenere la portata in arrivo, mediante opportuni link il volume in eccesso viene trasferito, istante per istante, al territorio latistante che viene rappresentato attraverso uno schema a griglia ricavato da opportune elaborazioni condotte sul DTM. Il deflusso attraverso tali aree viene calcolato dal modello TUFLOW, bidimensionale puro. In Figura 4 sono riportati gli schemi dei possibili meccanismi di link per l'accoppiamento dei due modelli (1D/2D).

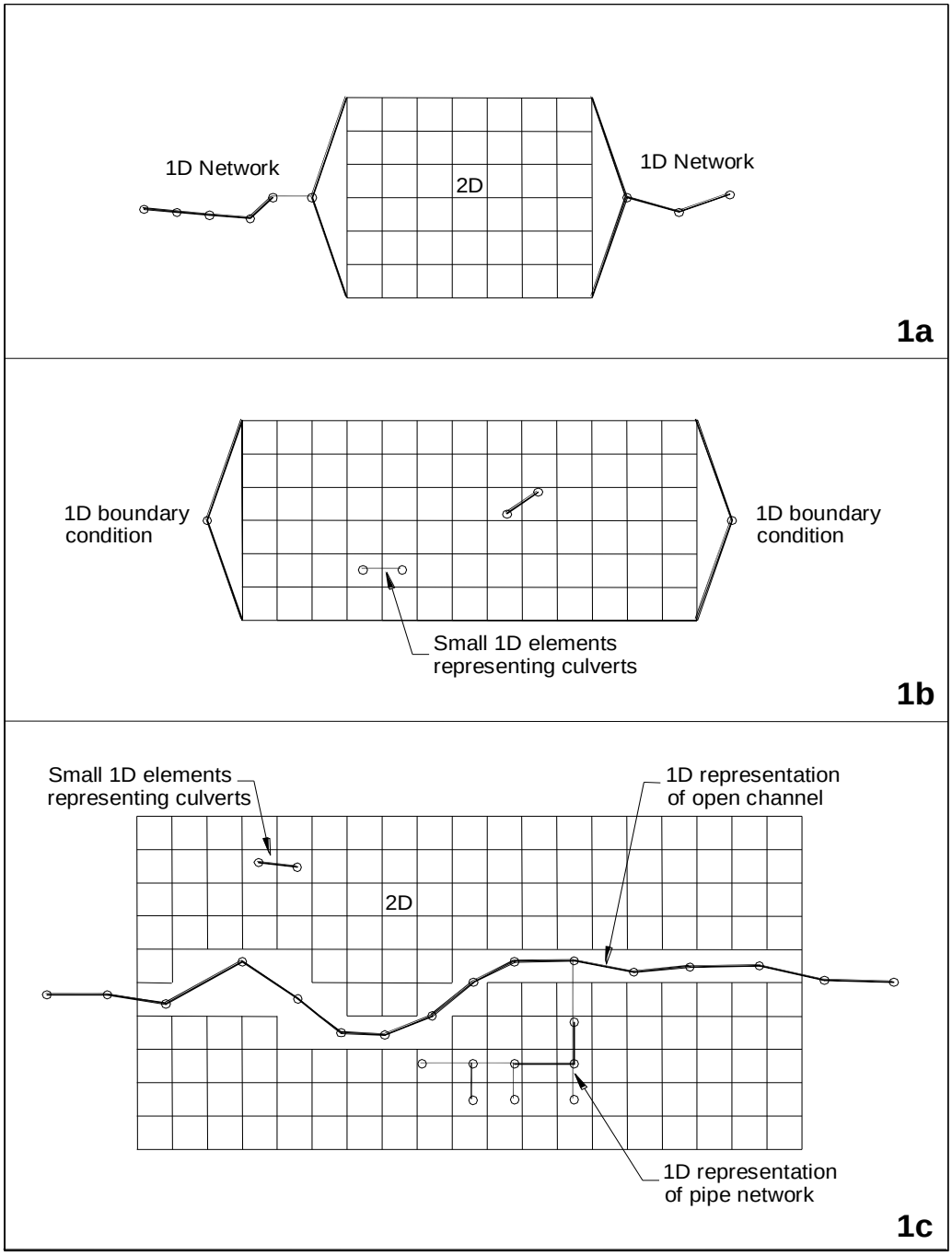


Figura 4 – Schemi di link tra il modello bidimensionale TUFLOW ed il modello monodimensionale ESTRY

A.4 Inserimento dati

La successiva figura illustra il funzionamento del software per quanto riguarda l'inserimento dei dati e la restituzione dei risultati. Tutti i dati riguardanti la topografia e le grandezze idrauliche caratteristiche degli oggetti sono contenute in tematismi GIS. Per le serie temporali come gli idrogrammi e per i dati non georiferiti come la geometria delle sezioni d'alveo o le caratteristiche delle opere idrauliche, si utilizzano files di testo. Per collegare i dati GIS, i dati non georiferiti e le serie temporali e per gestire le simulazioni vengono utilizzati files di testo.

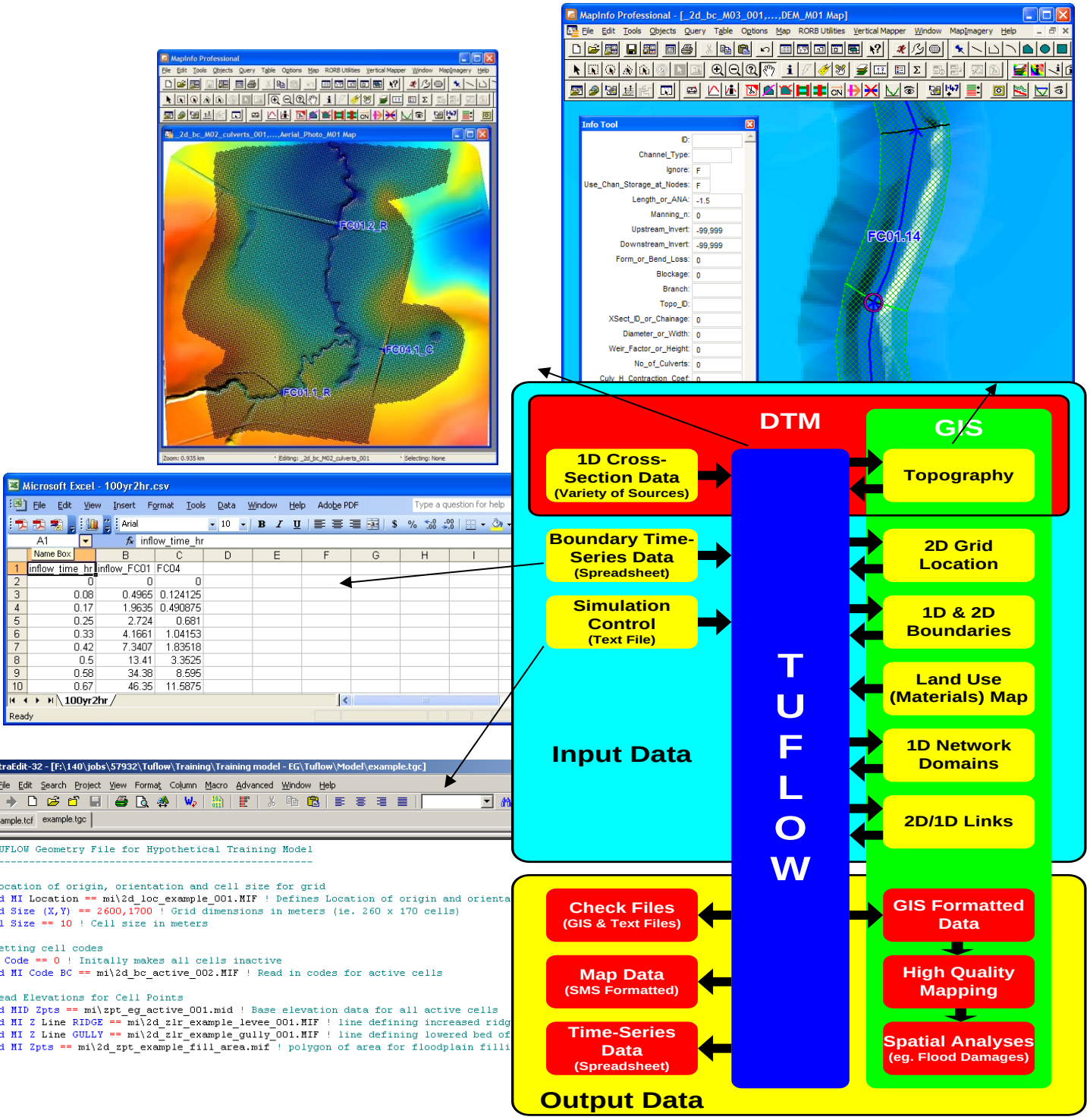


Figura 6– Struttura del software

A.5 Visualizzazione dei risultati

Tuflow restituisce i risultati delle simulazioni nei domini mono e bidimensionale nelle seguenti tipologie di files:

- Files binari che vengono letti da SMS per visualizzare i risultati. Le animazioni vengono generate da SMS.

- Files .csv per le serie temporali che possono essere visualizzati in Microsoft Excel.
- Files .mif/.mid per visualizzare i risultati in formato GIS e produrre le mappe tematiche.
- files di testo per le segnalazioni di errore o di avvertimento.

Nella successiva figura si riporta un esempio di visualizzazione dei risultati di una simulazione idraulica ad un certo istante temporale in SMS. Si nota la zona modellata con il modulo monodimensionale in cui valori di altezza d'acqua sul piano campagna sono indicati in scale di blu; la stessa scala è stata adottata nell'area modellata in modo bidimensionale, dove sono visualizzati anche i vettori velocità

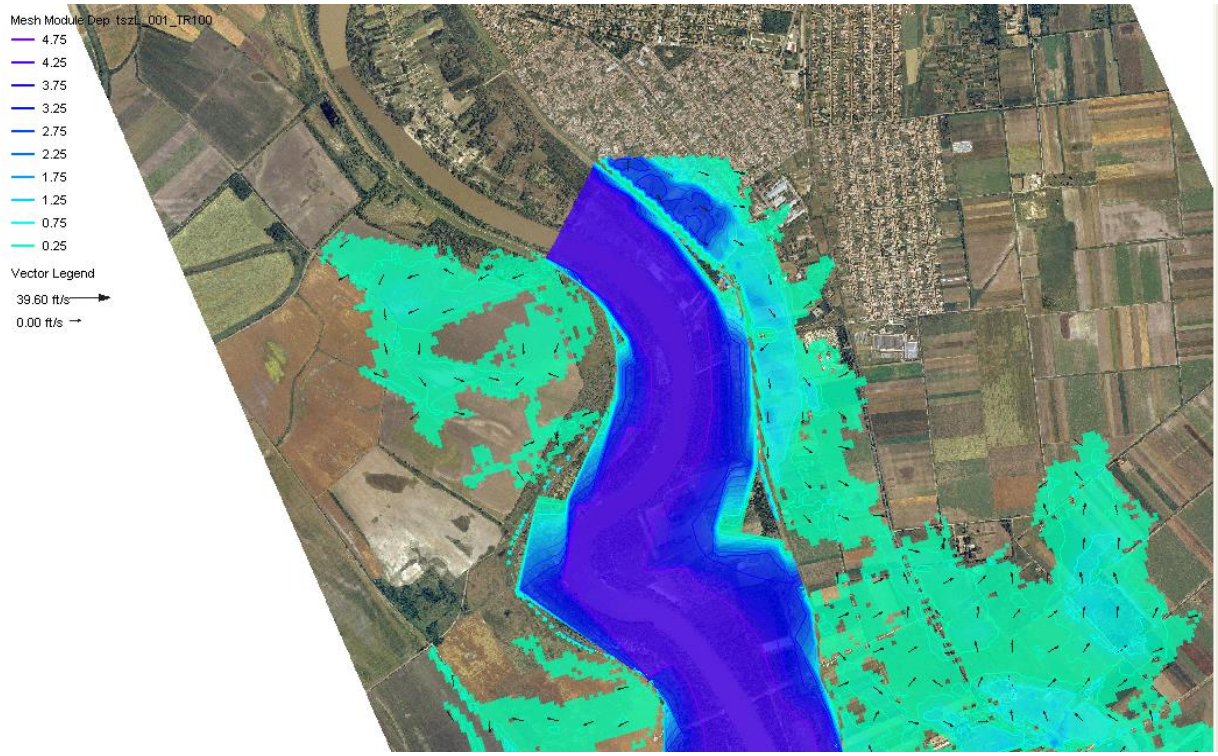


Figura 7 Esempio di visualizzazione dei risultati di simulazione idraulica mono-bidimensionale[2]

A.6 Applicazioni e utenti

Australia: TUFLOW è stato largamente applicato in Australia dal 1990, inizialmente per la modellazione idraulica di estuari/coste e avvezione/dispersione, successivamente per la modellazione di flussi e inondazioni .Non è stato commercializzato fino al 2001, ma veniva solo utilizzato dagli autori di TUFLOW (Water and Environmental Consultants WBM Pty Ltd). Dal 2001 (quando è stato commercialmente disponibile) è stato largamente utilizzato dalle agenzie pubbliche e consulenti australiani fino al punto da farlo diventare, probabilmente, il più utilizzato software di modellazione del flusso 1D/2D. In termini di progetti TUFLOW è stato selezionato e successivamente applicato per un numero di studi ad alto profilo. In Australia ci sono in totale più di trenta organizzazioni che utilizzano TUFLOW.

[2] Ing. G. Andreella per OGS Osservatorio Geofisico Sperimentale (TS) (2007) - Environmental hydrological and ground management for the CADSES area - Project No. 5D154 – Pilot Project in the Tisza – Marosszogi area (Hungary)

Regno Unito: TUFLOW è il software di modellazione del flusso e delle piene più utilizzato nel Regno Unito, come evidenziato nella seguente figura tratta da un'indagine dalla UK Environmental Agency del 2010.

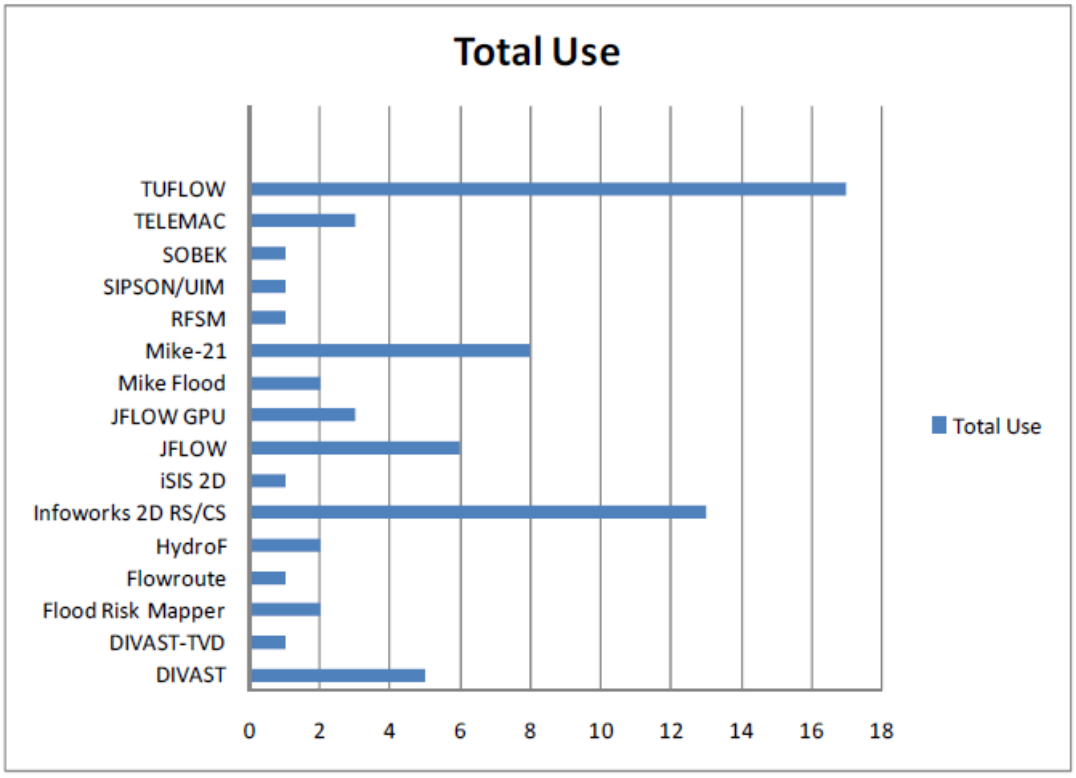


Figure 3.1: Number of respondents using each 2D flood inundation modelling package identified by questionnaire survey

.

Probabilmente l'applicazione più importante riguarda lo studio delle aree a rischio idraulico del Tamigi a Londra e nelle aree limitrofe (Thames Embayments Inundation Study)). Lo studio è stato sviluppato da Halcrow e Hr Wallingford dal 2003.

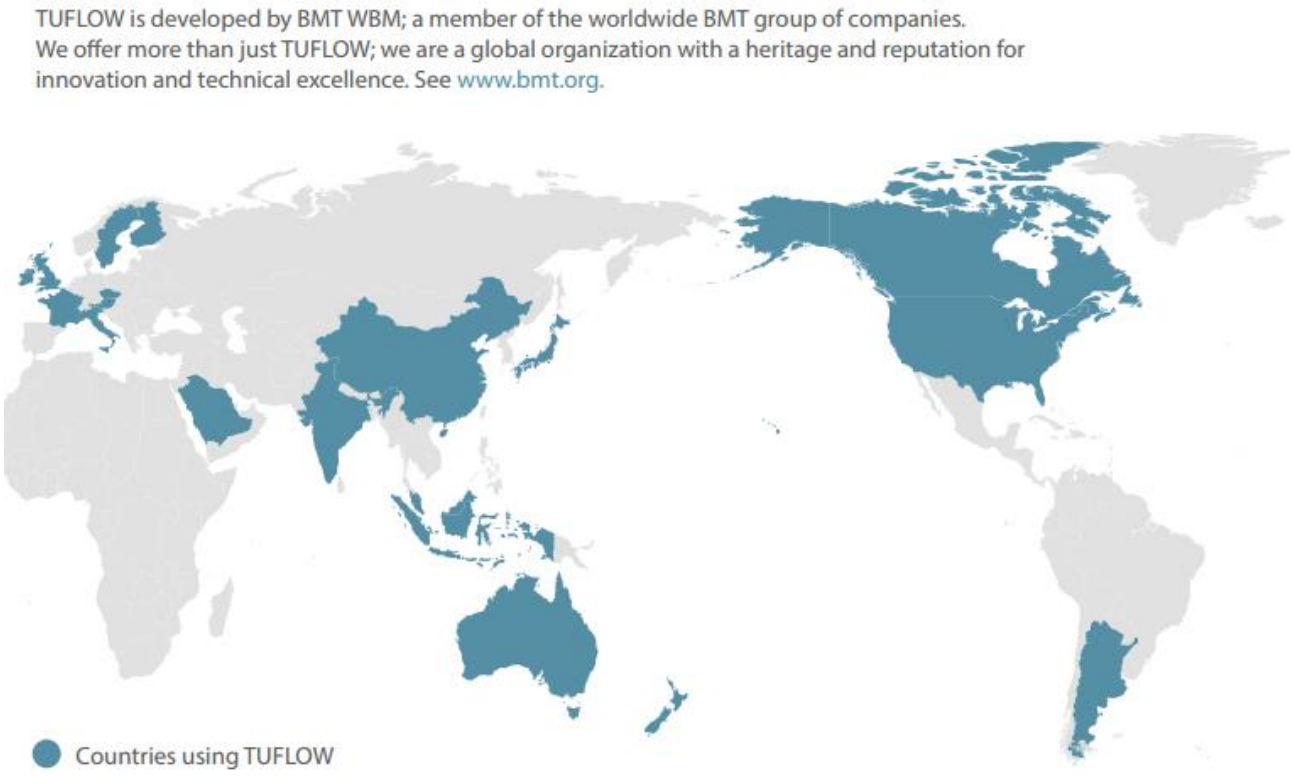
Un altro studio inglese molto interessante è la deviazione dell'intero Fiume Trent (il terzo più grande bacino idrografico del Regno Unito) , realizzato da Capita Symonds .

TUFLOW è anche stato utilizzato come software di modellazione per il sito olimpico di Londra 2012. Il modello è stato sviluppato alla fine del 2003 da Capita Symonds come parte della gara d'appalto per i giochi olimpici.

Quasi tutti i maggiori consulenti del regno Unito,un numero di consulenti minori e l'agenzia per lo sviluppo dell'UK hanno acquistato TUFLOW, e in tutto rappresentano più di 40 differenti organizzazioni. Gli utenti più importanti sono: Halcrow, Capita Symonds, HR Wallingford, Atkins, URS, Jacobs, JBA Consulting, Faber Maunsell, Arup, Mott MacDonald, Bureau Veritas, Buro Happold, Golder, Black and Veatch, Mouchel Parkman. Diverse Università del Regno Unito hanno licenze accademiche di TUFLOW, le principali sono: Bristol e Glasgow e l'Università del Galles.

Europa: Tuflow è utilizzato dall'Università di Praga, dal Politecnico di Vienna, dall'Università di Trieste e da alcune società di ingegneria in Italia, Spagna, Germania e in Austria (in particolare, la DonauConsult, importante società di consulenza austriaca con sede a Vienna).

USA/Asia: Ci sono più di 30 utenti in USA e a più di 30 in Asia. Nel Nord America la USA Federal HighWays utilizza TUFLOW come software per la risoluzione delle interferenze idrauliche.



A.7 BIBLIOGRAFIA

Molte pubblicazioni sono disponibili nel sito

http://www.tuflow.com/Downloads_Publications.htm

in particolare, le più significative sono di seguito elencate:

1. http://www.tuflow.com/Downloads/Dynamically%20Linked%202D%20and%201D%20Hydrodynamic%20Modelling,%20Syme,%201991.pdf
2. http://www.tuflow.com/Downloads/Flow%20Through%20an%20Abrupt%20Constriction%20-%202D%20Hydrodynamic%20Performance%20and%20Influence%20of%20Spatial%20Resolution,%20Barton,%202001.pdf
3. http://www.tuflow.com/Downloads/Modelling%20of%20Bends%20and%20Hydraulic%20Structures%20in%20a%202D%20Scheme,%20Syme,%202001.pdf
4. http://www.tuflow.com/Downloads/TUFLOW%20Validation%20and%20Testing,%20Huxley,%202004.pdf
5. http://www.tuflow.com/Downloads/Modelling%20Flood%20Inundation%20of%20Urban%20Areas%20in%20the%20UK,%20Syme,%202004.pdf
6. http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.02%20-%20Meeting%20the%20Challenge%20in%20Newcastle,%20Syme%20and%20Gibbins.Lismore.pdf

7. http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.05%20-%20Bruce%20Highway%20Eudlo%20Ck%20Hydraulic%20Investigations%20-%20A%20Turning%20Point.Syme.ASFPM%202006.pdf
8. http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2006.05%20-%202D%20or%20Not%202D%20-%20An%20Australian%20Perspective.Syme.UK%20DEFRA%202006.pdf
9. http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2008.09%20-%202D%20Modelling%20Approaches%20for%20Buildings%20and%20Fences.Syme.pdf

A8 - VALIDAZIONE

I test eseguiti dalla UK Environmental Agency sui vari software di modellazione idraulica disponibili sul mercato sono scaricabili dai seguenti link:

http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/SCHO0510BSNO-e-e.pdf

http://publications.environment-agency.gov.uk/PDF/SCHO0510BSNP-E-E.pdf (sintesi)

e nel recente aggiornamento datato 2012:

http://www.tuflow.com/Download/Publications/2012.06%20UK%20EA%202D%20Benchmarking%20Results.TUFLOW%20Products.pdf