



Comune di Torri di Quartesolo
Provincia di Vicenza

PIANO COMUNALE DELLE ACQUE

All. B Relazione idraulica

CIG: ZCE1A0B980

codice commessa
102-16

codice elaborato
102-16PA_reidr_Rev00.doc

PROGETTAZIONE



Bonollo s.r.l.
studio d'ingegneria
e architettura

Contrà Porta S. Croce 12
36100 Vicenza - Italia
e-mail: studio@bonolloingegneria.it

arch. Monica Bonollo



Viale Riviera Berica 453
36100 Vicenza - Italia
e-mail: info@studioprogea.eu

dott. for. Cesare Cariolato

GRUPPO DI LAVORO

ing. Gaspare Andreella
ing. Marika Righetto
dott. for. Michele Carta
ing. Luca Andretto
geom. Walter Consolaro
dott. trt Marco Panozzo

Sindaco:
Ernesto Ferretto

Responsabile struttura tecnica:
arch. Roberto Grisolia

data
Aprile 2017

revisione
00

emesso
ing. Marika Righetto

verificato
ing. Gaspare Andreella

INDICE

INTRODUZIONE	1
1. IL TERRITORIO	3
1.1 Inquadramento geografico ed amministrativo	3
1.2 I bacini idrografici	4
1.2.1 Sottobacino Quintarello	4
1.2.2 Sottobacino Caveggiara	6
1.2.3 Sottobacino Tergola	7
1.2.4 Sottobacino Tesinella	9
1.2.5 Sottobacino Scolo Settimo	11
2. ANALISI IDROLOGICA E DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA	13
2.1 Analisi morfologica	13
2.2 Analisi idrologica	15
2.3 Idrogrammi del Fiume Tesina	26
3. ANALISI IDRAULICA	29
3.1 Modellazione matematica	29
4. DESCRIZIONE DEL MODELLO BIDIMENSIONALE	37
4.1.1 Opere idrauliche	41
4.1.2 Scabrezza dell'alveo	41
4.1.3 Condizioni al contorno	41
5. CRITICITÀ INDIVIDUATE MEDIANTE APPLICAZIONE MODELLISTICA	45
5.1 Criticità areali – aree allagabili	45
5.2 Scolo Regazzo	46
5.3 Scolo Tribolo	47
5.4 Roggia Caveggiara e Bertesinella	48
5.5 Roggia Tesinella	52
APPENDICE A: IL MODELLO HEC RAS	55
APPENDICE B: IL MODELLO TUFLOW	63
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	75

INTRODUZIONE

Il Piano delle Acque è uno strumento previsto dal Piano Territoriale di Coordinamento Regionale, approvato con variante a valenza paesaggistica DGR427/2013 e dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale approvato con DGR 708/2012, in cui al suo interno contiene le “*Direttive generali per le aree a pericolosità idraulica e/o rischio idraulico, geologico e da valanga*”, con cui vengono individuati gli obiettivi che il Piano deve perseguire.

Il presente **Piano delle Acque** intende porsi come strumento prevalentemente ricognitivo, dello stato di fatto della rete delle acque superficiali, delle criticità presenti in essa e delle ipotesi risolutive delle stesse, al fine di una pianificazione territoriale intelligente, mirata a risolvere le problematiche esistenti e garantire la sicurezza idraulica del territorio mediante l’attuazione di nuovi interventi.

Al proprio interno sono puntualmente sviluppati ed approfonditi i seguenti:

- **quadro di riferimento**, elenco delle normative vigenti, relative all’area oggetto di studio, dettate dalla pianificazione territoriale e di settore;
- **verifica delle conoscenze disponibili**, che raccoglie tutte le informazioni, territoriali, climatologiche, idrologiche, idrauliche, geologiche, pedologiche e paesaggistiche, indispensabili ai fini di una corretta pianificazione, progettazione e realizzazione, degli interventi progettuali;
- **criticità**, contenente un’analisi sui principali effetti che, urbanizzazione, impermeabilizzazione delle superfici, ed errate pratiche di manutenzione del territorio, hanno prodotto sulla risposta idraulica della rete;
- **interventi di piano**, dove vengono esposte e sviluppate le ipotesi degli interventi strutturali, a medio e lungo termine, finalizzati alla mitigazione del rischio idraulico nonché, gli interventi sulle criticità individuate e gli interventi sulle criticità di rete;
- **programmazione della manutenzione**, contenente le prime indicazioni sulle attività necessarie per ottimizzare e quantificare la manutenzione della rete idrografica;
- **linee guida operative**, contenente le linee guida di intervento del Piano, la filosofia e la metodologia di progetto, ed i metodi e i mezzi necessari per la corretta gestione e manutenzione dei fossati.

A conclusione del presente paragrafo, va messo in evidenza che tutte le informazioni contenute nel piano, con particolare riferimento alla suddivisione delle varie competenze, ancorchè verificate con puntuali sopralluoghi in sito, sono la sintesi dell’esame della mappatura catastale fornita dal Comune di Torri di Quartesolo.

1. IL TERRITORIO

1.1 Inquadramento geografico ed amministrativo

Il Comune di Torri di Quartesolo è ubicato nella porzione mediana della Provincia di Vicenza avente una popolazione di circa 11.809 abitanti esteso su una superficie complessiva di 18.68 km².

Il territorio comunale è posto a cavallo del fiume Tesina, che scorre con un direzione principale Nord - Sud, e gli insediamenti maggiori, oltre al capoluogo posto in destra idrografica al fiume Tesina, sono le località di Lerino e di Marola poste in sinistra idrografica del fiume Tesina e rispettivamente a Est e a Nord rispetto al Capoluogo.

Torri di Quartesolo confina inoltre rispettivamente con i Comuni di: Vicenza, Quinto Vicentino, Gazzo (PD), Grumolo delle Abbadesse e Longare.

Le principali arterie stradali che interessano il territorio comunale sono: l'autostrada A4 Milano - Venezia che attraversa il territorio comunale a Sud in direzione Ovest-Est, l'autostrada A31 Rovigo - Piovene Rocchette che attraversa in direzione Nord-Sud al centro del territorio comunale e la S.S. 11 Padana Superiore che transita in direzione Sudovest-Nordest nella parte meridionale. È presente inoltre a pochi chilometri al di fuori del confine comunale il casello di Vicenza Est, che permette l'inserimento sull'autostrada A4 e sull' A31 Valdastico, grazie alla presenza dello svincolo di interconnessione presente all'interno del territorio comunale.

Il territorio Comunale presenta una altitudine media di 30 m slm e una digradazione uniforme verso SE, infatti le quote maggiori, attorno ai 34 m slm circa, si hanno in corrispondenza delle porzioni di territorio settentrionali e decrescono man mano che si procede verso Sud-SudEst, dove le quote prevalenti oscillano tra 25 e 27 m slm.

1.2 I bacini idrografici

Per una fissata sezione trasversale di un corso d'acqua, si definisce bacino idrografico, o bacino tributario apparente, l'entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla suddetta sezione. Nel linguaggio tecnico dell'idraulica fluviale la corrispondenza biunivoca che esiste tra sezione trasversale e bacino idrografico si esprime affermando che la sezione "sottende" il bacino, mentre il bacino idrografico "è sotteso" alla sezione. L'aggettivo "apparente" si riferisce alla circostanza che il bacino viene determinato individuando, sulla superficie terrestre, lo spartiacque superficiale senza tenere conto del fatto che particolari formazioni geologiche potrebbero provocare in profondità il passaggio di volumi idrici da un bacino all'altro.

L'intero territorio comunale si inserisce all'interno del bacino del fiume Bacchiglione e i vari canali principali, ad eccezione del Tesina gestito dal Genio Civile di Vicenza, sono gestiti in piccola parte dal Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta e per la maggior parte dal Consorzio di Bonifica Brenta.

I principali sottobacini idrografici che si originano dai numerosi corsi d'acqua presenti all'interno del territorio Comunale, sono rappresentati nella *Tav.3 Carta dei Sottobacini* allegata al presente Piano e vengono di seguito elencati:

1.2.1 Sottobacino Quintarello

Il bacino Quintarello fa parte del Bacino Astico-Tesina, si tratta di un bacino di estensione limitata, circa 596 ha, ed interessa una piccola porzione di territorio posta a Nord del territorio Comunale e che si sviluppa per la maggior parte esternamente al territorio Comunale.

Il bacino è posizionato in destra idrografica al fiume Tesina, ha uno sviluppo che si estende in direzione nord-sud ed è gestito dal consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta.

Il sottobacino è delimitato a Est e Sud-Est dal corso del fiume Tesina e a Ovest e Sud-Ovest dal corso del fiume Tribolo.

Le acque drenate dallo scolo Quintarello vengono infine immesse nel Tesina, in modo naturale durante il periodo di magra, e mediante l'impianto idrovoro Monte Santo nei periodi di piena.

Lo scolo Quintarello si suddivide in due rami che costeggiano il rilevato della autostrada della Valdastico uno in destra ed uno in sinistra del suo tracciato per poi riunirsi appena a monte della confluenza in Fiume Tesina.

Bacchiglione indicano per il Bacino del Fosso Quintarello una portata di 1.56 mc/s per Tr 5 anni, 2.15 mc/s per Tr10 anni e 2.76 mc/s per Tr 20 anni (fonte PGBTTR).

Il Consorzio ha già previsto la sistemazione e ripristino del tratto di sponda franato dal ramo Quintarello a seguito degli eventi del Novembre 2010 in prossimità dell'impianto idrovoro di Marola.

1.2.2 Sottobacino Caveggiara

Ricopre a parte più occidentale del territorio comunale con un'estensione totale di 2210 ha, e si sviluppa anch'esso in direzione nord/sud quasi interamente fuori dal territorio Comunale ed è gestito dal consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta.

Il sottobacino confina a Est con il fiume Tesina e a Sud e Ovest con il fiume Bacchiglione.

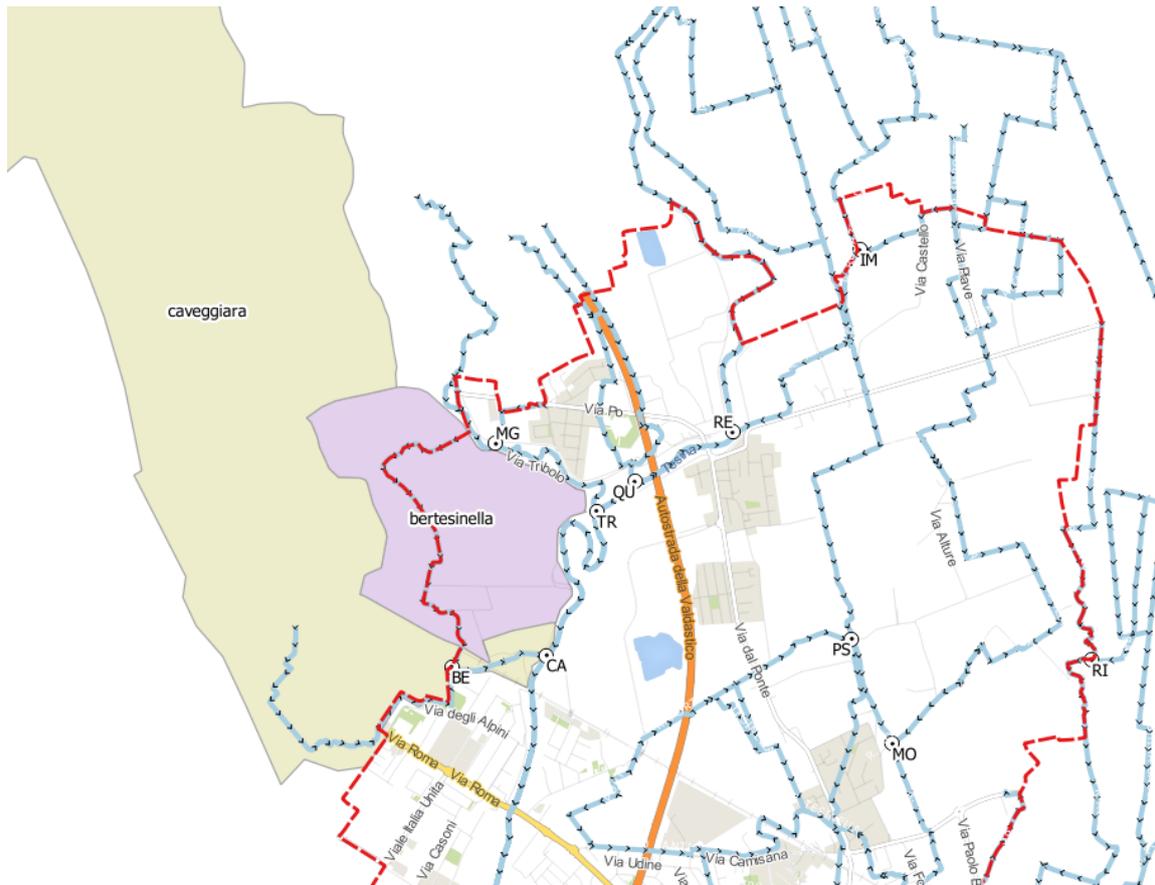
All'interno del bacino sono drenate le acque provenienti dal Capoluogo e dai territori posti a nord della ferrovia, dove inoltre è prevista la realizzazione di una cassa di espansione per la laminazione delle acque del fiume Tesina.

Le sue acque confluiscono infine nel Tesina a nord del Capoluogo lungo la roggia Caveggiara, in modo naturale durante il periodo di magra, e mediante l'impianto idrovoro Settecà nei periodi di piena.

Nel PGBTTR del Consorzio Alta Pianura Veneta viene segnalata l'attivazione di due idrovore, idrovora S. Pietro Intrigogna e idrovora Località Rigon, per una portata complessiva di circa 6 m³/s ed una terza idrovora, idrovora Monte Santo con portata di 2.4 m³/s più recente.

Il bacino Bertesinella tributario della Caveggiara fa anch'esso parte del Bacino Astico-Tesina, si tratta di un bacino di estensione limitata, circa 1440 ha.

Le acque drenate dalla Roggia Bertesinella confluiscono nella Roggia Caveggiara in sinistra idrografica presso la zona industriale al confine del Comune di Torri di Q.



Bacino idrografico Caveggiara e Bertesinella

1.2.3 Sottobacino Tergola

Il sottobacino, di estensione pari a 169 ha, si inserisce in ridotta parte all'interno del territorio comunale ricoprendo una limitata area posta a Nord.

Il sottobacino confina a Est con il sottobacino Armedola-Poina, a Sud con il sottobacino Tesinella e a Ovest con il fiume Tesina

Il sottobacino, gestito dal Consorzio di Bonifica Brenta, drena principalmente le acque provenienti dal comune di Quinto Vicentino, che confluiscono successivamente nel sottobacino Tesinella attraversando l'intero territorio comunale da Nord a Sud.

1.2.4 Sottobacino Tesinella

Il sottobacino di estensione pari a 357 ha, ricopre la maggior parte del territorio comunale posto a est del fiume Tesina ed è gestito dal Consorzio di Bonifica Brenta.

È delimitato a ovest dal fiume Tesina, a Nord dal sottobacino Tergola e Armedola-Poina, a Est dal sottobacino Riazzo e a Sud dal sottobacino Settimo.

Le sue acque, provenienti in gran parte dal sottobacino Tergola, vengono durante il suo corso smistate su varie rogge a scopo principalmente irriguo.

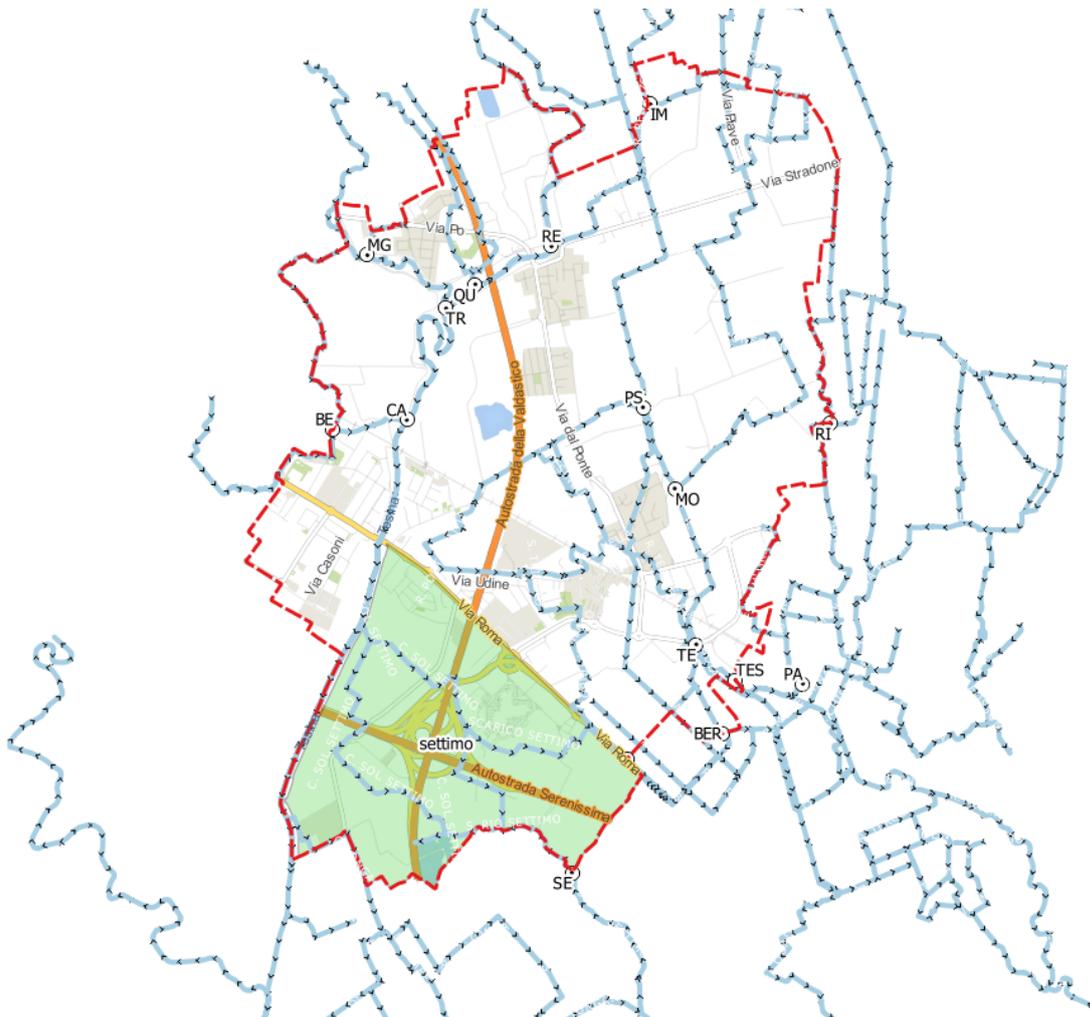
Le principali rogge presenti all'interno del sottobacino sono:

- Roggia Tesinella
- Roggia Vaccari Tesinella, interessa la porzione orientale del territorio e si immette poi nel:
 - Rio Riale, che funge da confine orientale;
 - Rio Porto Santi, attraversa in direzione SW-NE il Comune e dal capoluogo si immette nel Rio Tergola;
 - Canale Longare, fa' da confine SW del Comune;
 - Rio Bergama, attraversa in direzione N-S il centro di Lerino;
 - Scolo Tribolo, attraversa in direzione N-S l'area tra il capoluogo e Lerino.

1.2.5 Sottobacino Scolo Settimo

Si tratta di un sottobacino di superficie pari a 136 ha, situato a sud del territorio comunale e drena le acque poste a sud S.S. 11 Padana Superiore.

Il sottobacino, gestito dal Consorzio di Bonifica Brenta confina a ovest con il Fiume Tesina e a nord con il sottobacino Tesinella.

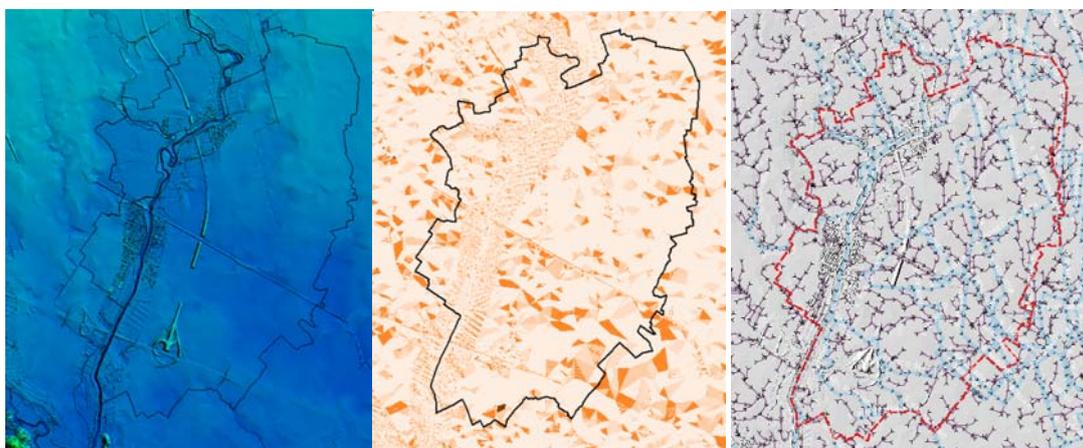


Bacino idrografico Scolo Settimo

2. ANALISI IDROLOGICA E DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

2.1 Analisi morfologica

Al fine di determinare l'effettiva estensione dei bacini idrografici è stata svolta un'analisi morfologica sul DTM ottenuto dalle elaborazioni condotte sul rilievo LIDAR del 2014 fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare integrato dal DTM regionale laddove il dato risulta assente, attraverso il modulo Hydro e Basin 1 di ESRI.



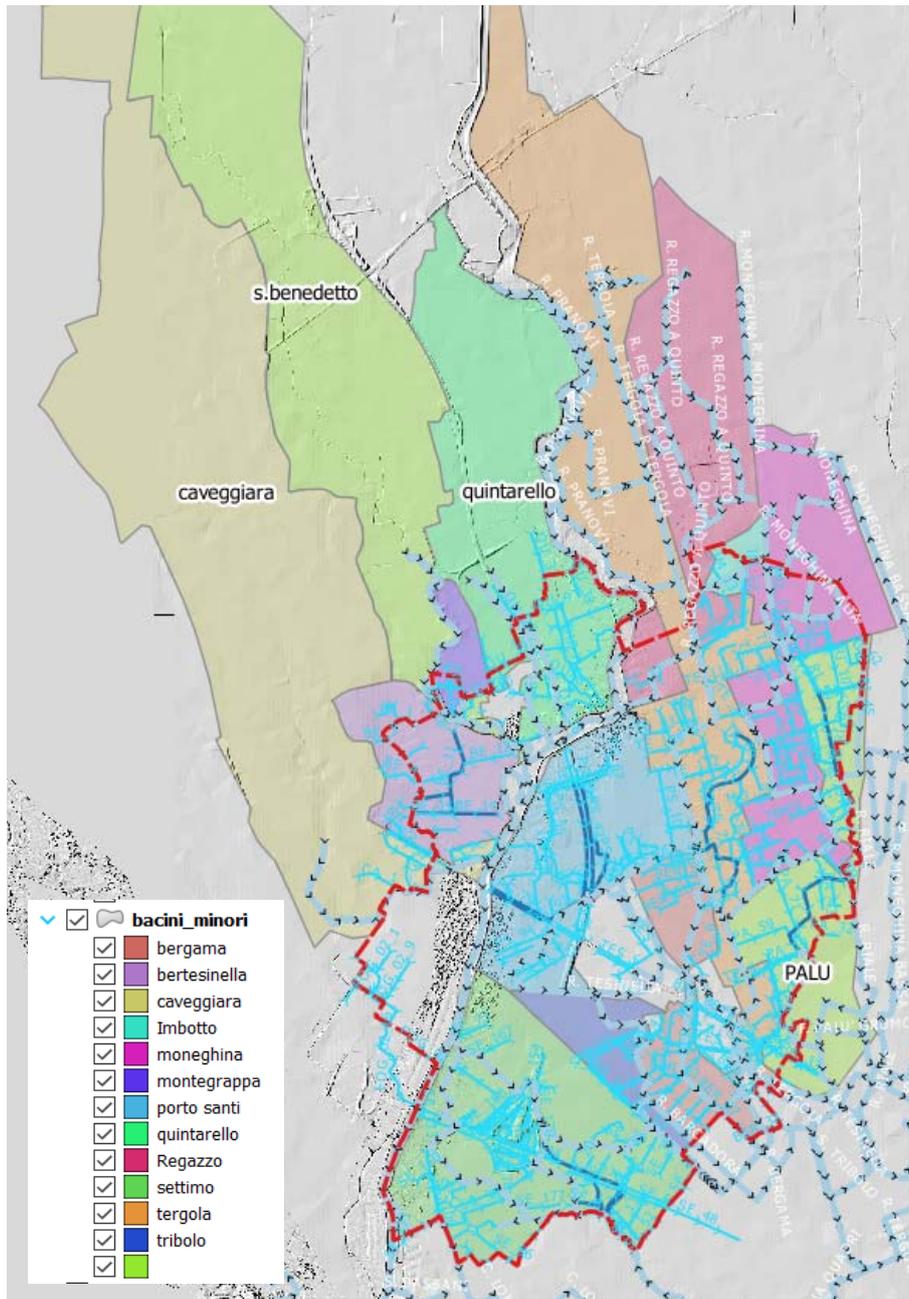
Elaborazione altimetrica del dato LIDAR e DTM in ambiente Global Mapper ed ESRI

Il DEM (Digital Elevation Model) ottenuto dall'unione delle altimetrie disponibili con discretizzazione a 10m viene "idrologicamente rifinito" ovvero viene eseguita la rimozione delle depressioni (pits), necessaria per avere continuità di percorso tra tutte le celle del bacino idrologico e la sezione di chiusura del bacino stesso.

Sul DEM "idrologicamente rifinito" viene quindi eseguito il calcolo dell'area drenata, ovvero viene determinata la direzione dei deflussi da ogni singola cella, si ottiene quindi il reticolo di drenaggio che individua la direzione di deflusso della goccia d'acqua che cade sulla i-esima cella seguendo la massima pendenza rispetto alle celle limitrofe.

Infine, sempre attraverso il DEM depittato e l'identificazione del punto di chiusura, è possibile ottenere l'estrazione dello spartiacque dei bacini definito in funzione delle esigenze di studio, lo spartiacque viene quindi rieditato manualmente al fine di tener conto delle particolarità dei singoli bacini che possono non coincidere con quelli definiti

attraverso l'analisi morfologica del terreno



Estrazione dei bacini idrografici minori (Elaborazione in ambiente GIS)

L'analisi ha condotto all'individuazione dei bacini scolanti del reticolo idrografico minore riportati nel file Sottobacini presente nel geodatabase consegnato nei dati territoriali, di cui si riporta uno stralcio delle caratteristiche morfometriche dei singoli sottobacini indicate nella seguente tabella.

nome	codice	Superficie [kmq]	Quota media [m slm]	Quota minima [m slm]	Quota max [m slm]
imbotto	IM	0.20	32.42	30.84	33.37
regazzo	RE	3.04	33.15	26.58	36.90
moneghina	MO	2.74	32.37	27.97	35.17
bergama	BER	0.51	27.60	26.08	29.25
porto santi	PS	2.53	28.74	25.71	46.65
bergama	BER	0.67	25.87	24.97	28.00
tribolo	TR	0.70	26.97	25.54	28.66
tergola	TE	6.16	33.47	25.57	46.12
montegrappa	MG	0.34	30.91	27.25	36.80
settimo	SE	3.65	28.30	24.42	44.51
bertesinella	BE	1.44	29.22	24.73	33.91
caveggiara	CA	22.10	37.55	28.93	46.17
quintarello	QU	5.96	32.54	21.97	41.56
s.benedetto	SB	10.62	37.71	29.71	45.72
riale	RI	0.81	30.93	28.40	32.07
palu	PA	1.59	26.90	23.58	30.21

2.2 Analisi idrologica

L'analisi idrologica dei corsi d'acqua è stata effettuata principalmente al fine di consentire la valutazione dei deflussi nella rete consortile e nella rete minore comunale e privata.

L'analisi condotta tuttavia non ha potuto prescindere dal prendere in esame anche l'analisi del regime idrologico ed idraulico del Fiume Tesina, pertanto si è proceduto alla valutazione delle portate di piena anche della rete idrografica maggiore di competenza Regionale.

In particolare lo studio pluviometrico ha identificato le curve di possibilità pluviometrica e gli ietogrammi, mentre lo studio idrologico basato sul metodo afflussi/deflussi ha consentito di ricavare gli idrogrammi di piena sui corsi d'acqua avendo come input gli ietogrammi ricavati dalla precedente analisi pluviometrica.

Curve di possibilità pluviometrica

L'analisi idrologica condotta ha ripreso le analisi relative al regime pluviometrico condotte in occasione della redazione della valutazione di compatibilità idraulica del Piano degli interventi del Comune di Torri di Quartesolo.

In particolare nel citato studio per la stima della portata meteorica massima si è fatto riferimento alle precipitazioni di massima intensità registrate nella stazione pluviografica di Vicenza.

La Valutazione di Compatibilità Idraulica citata è stata condotta con riferimento ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno T_r pari a 50 anni (eventi cioè che si verificano mediamente ogni 50 anni, secondo quanto specificato nella D.G.R.V. 2948 del 06/10/2009).

L'elaborazione è stata svolta direttamente sui valori osservati per le piogge brevi e intense (scrosci) cioè quelle con durata da pochi minuti fino ad un'ora e per le precipitazioni di più ore consecutive.

Alle precipitazioni massime di data durata è stata applicata la seguente descrizione statistica, comune a molte serie idrologiche:

$$X(T_r) = X_m + F S_x$$

in cui:

- $X(T_r)$ il valore caratterizzato da un periodo di ritorno T_r , ossia l'evento che viene eguagliato o superato;
- X_m il valore medio degli eventi considerati;
- F fattore di frequenza;
- S_x scarto quadratico medio.

Per il caso in esame è stata utilizzata la distribuzione doppio-esponenziale di Gumbel.

Al fattore F si assegna l'espressione:

$$F = (Y(T_r) - Y_N)/S_N$$

essendo la grandezza $Y(T_r)$, funzione del Tempo di ritorno, la cosiddetta variabile ridotta, e Y_N e S_N rappresentano la media e lo scarto quadratico medio della variabile ridotta: esse sono funzioni del numero N di osservazioni.

La funzione $Y(T_r)$ è legata al tempo di ritorno T_r dalla relazione:

$$Y(T_r) = -\ln(-\ln((T_r-1)/T_r))$$

Con le idonee sostituzioni si ricava l'espressione:

$$X(T_r) = X_m - S_x Y_N/S_N + S_x Y(T_r)/S_N$$

in cui $X_m - S_x Y_N/S_N$ è chiamata moda e rappresenta il valore con massima frequenza probabile ed il fattore S_x/S_N con il termine α .

I valori di questi parametri sono riportati nella tabella seguente. Valori dei parametri Y_N e S_N secondo Gumbel										
MEDIA RIDOTTA Y_N										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5154	0.5177	0.5198	0.5217
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5282	0.5296	0.5309	0.5321	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5403	0.5411	0.5417	0.5424	0.5430
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5472	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5532	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5571	0.5573	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5584
90	0.5586	0.5588	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600	0.5602	0.5603	0.5604	0.5605	0.5606	0.5608	0.5609	0.5610	0.5611
DEVIAZIONE STANDARD RIDOTTA S_N										
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1.0010	1.0148	1.0270	1.0378	1.0476	1.0564	1.0644	1.0717	1.0785	1.0847
20	1.0904	1.0958	1.1008	1.1055	1.1098	1.1140	1.1178	1.2115	1.1250	1.1283
30	1.1314	1.1344	1.1372	1.1399	1.1425	1.1449	1.1473	1.1496	1.1518	1.1538
40	1.1559	1.1578	1.1597	1.1614	1.1632	1.6449	1.1665	1.1680	1.1696	1.1710
50	1.1724	1.1738	1.1752	1.1765	1.1777	1.1789	1.1801	1.1813	1.1824	1.1835
60	1.1846	1.1856	1.1866	1.1876	1.1886	1.1895	1.1904	1.1913	1.1922	1.1931
70	1.1939	1.1947	1.1955	1.1963	1.1971	1.1978	1.1986	1.1993	1.2000	1.2007
80	1.2014	1.2020	1.2027	1.2033	1.2039	1.2045	1.2052	1.2057	1.2063	1.2069
90	1.2075	1.2080	1.2086	1.2091	1.2096	1.2101	1.2106	1.2111	1.2116	1.2121
100	1.2126	1.2130	1.2135	1.2139	1.2144	1.2148	1.2153	1.2157	1.2161	1.2165

Parametri Y_N e S_N secondo Gumbel (fonte VCI del PI di Torri di Quartesolo).

Per ciascun tempo di ritorno si è provveduto a calcolare l'equazione pluviometrica mediante interpolazione.

I risultati ottenuti forniscono i valori di a e n nell'equazione $h = a t^n$:

Coefficients dell'equazione pluviometrica per $T > 1$ ora		
Tr (anni)	a	n
50	68,30	0,21

Coefficients dell'equazione pluviometrica per $T < 1$ ora		
Tr (anni)	a	n
50	67,21	0,40

Coefficients dell'equazione pluviometrica a e n per $T > 1$ ora e per $T < 1$ ora.

Le curve di possibilità pluviometrica assunte come precedentemente descritto sono state inoltre confrontate con quelle dello "Studio idrologico-idraulico del Fiume Bacchiglione a monte della confluenza dell'Orolo" commissionato dal Genio Civile di Vicenza e dal "Commissario Delegato nell'ambito del progetto preliminare "Realizzazione di un opera di invaso sul Fiume Bacchiglione a monte di Viale Diaz del Comune di Vicenza" nonché con le LSPD dello studio di regionalizzazione, al fine di essere sicure di considerare le condizioni a favore di sicurezza.

Modello afflussi/deflussi

La determinazione delle portate si basa sulla costruzione di un modello matematico di trasformazione afflussi - deflussi capace di correlare l'intensità dell'evento meteorico con l'idrogramma di piena generato.

L'utilizzo di un modello matematico possiede anche il vantaggio di restituire non solo la massima portata al colmo, ma anche il completo andamento temporale del fenomeno, la forma dell'idrogramma ed il volume complessivo. Il problema della trasformazione afflussi - deflussi viene generalmente scomposto in due fasi successive. La prima si propone di determinare la precipitazione efficace ovvero la frazione di pioggia totale (coefficiente di deflusso) che defluisce effettivamente attraverso la rete idrografica mentre la seconda simula la propagazione dei deflussi così ottenuti lungo la rete idrografica fino alla determinazione dell'andamento temporale delle portate transitate attraverso la sezione di chiusura del bacino.

Attualmente esiste un numero elevato di modelli concettuali in grado di simulare il comportamento idrologico del suolo. La pioggia efficace viene determinata attraverso la valutazione del coefficiente di deflusso che può essere ipotizzato costante nel tempo, nei modelli più semplificati, o variabile con il procedere dell'evento meteorico.

Molto utilizzati sono i modelli basati sulla ricostruzione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) caratteristico che rappresenta la risposta del bacino ad impulso di precipitazione efficace perfettamente distribuita sull'intera superficie del bacino e avente volume unitario. Una volta definito l'IUH la ricostruzione dell'idrogramma reale avviene discretizzando lo ietogramma in ingresso in impulsi elementari e sommando le risposte ottenute da ciascuno di essi (integrale di convoluzione).

Una volta definito il valore dei parametri richiesti dal modello la sua attendibilità viene verificata, quando possibile, attraverso la procedura di taratura. Nel caso in esame l'impossibilità di procedere con questa procedura, a causa dell'assenza di misurazioni contemporanee pluvio-idrometriche che non ha permesso la ricostruzione di eventi di piena reali, è consigliato di escludere l'utilizzo di quei modelli basati su grandezze non misurabili direttamente o indirettamente e la cui determinazione può avvenire esclusivamente dal confronto delle simulazioni con l'andamento degli eventi reali. Pertanto si è data preferenza ai modelli cosiddetti "fisicamente basati" che consentono di sfruttare le caratteristiche morfometriche, litologiche e pedologiche del bacino per la determinazione delle grandezze fisiche significative.

Nella presente analisi, per quanto riguarda la determinazione dello ietogramma efficace ci si è avvalsi della metodologia proposta dal Soil Conservation Service (1972) nota come il metodo del Curve Number. Per la successiva determinazione dell'idrogramma di piena è stato utilizzato il noto modello di Nash. Entrambi gli algoritmi sono meglio descritti nei paragrafi seguenti.

Il metodo del Curve Number

La determinazione della pioggia efficace, ovvero della frazione di pioggia che defluisce direttamente alla rete idrografica, viene condotta con il metodo del Curve Number (CN) che determina tale volume di deflusso tenendo conto della variazione del grado di saturazione del terreno durante l'evento meteorico. Questo metodo è stato scelto tra quelli disponibili, per la maggiore consistenza fisica dei suoi parametri che lo rende applicabile anche nel caso di assenza di osservazioni di fenomeni reali.

Il metodo prevede un progressivo aumento del coefficiente di deflusso da un valore nullo, dovuto alle perdite iniziali che assorbono completamente la precipitazione, ad un valore tendente a 1 seguendo una precisa legge dipendente dalle caratteristiche di permeabilità del suolo e del sottosuolo.

Il volume di deflusso V viene calcolato, a partire dalla precipitazione netta P_n in base all'equazione:

$$V = \frac{W}{S} \cdot P_n$$

dove W rappresenta il contenuto idrico del suolo e S la capacità idrica del suolo a saturazione.

P_n viene espressa dalla:

$$P_n = P - IA$$

dove P è la pioggia totale mentre IA rappresenta le perdite iniziali per intercettazione.

Tenendo conto che W può essere così espresso:

$$W = P_n - V$$

$$V = \frac{(P-IA)^2}{P+S-IA}$$

Il parametro S è caratteristico delle condizioni del terreno e viene calcolato come:

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

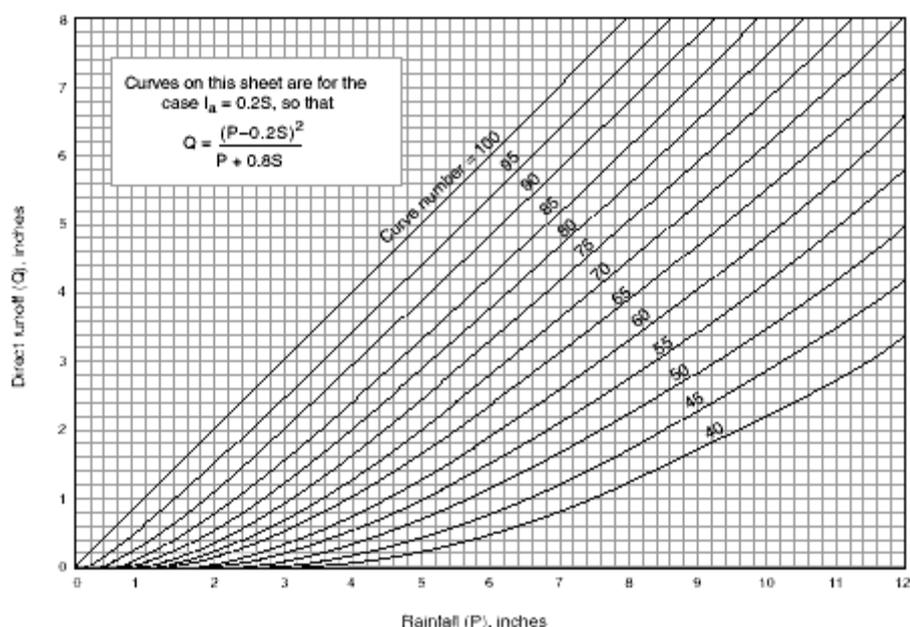
a partire dal numero di curva CN .

Questo è un parametro che può venire determinato rifacendosi ad apposite tabelle predisposte dal Soil Conservation Service, in base alle caratteristiche pedologiche, vegetazionali e di uso del suolo, e alle precipitazioni del periodo immediatamente precedente a quello considerato.

Il secondo parametro da introdurre per applicare questo metodo è il valore delle perdite iniziali IA ; queste possono essere stimate anche mediante la relazione empirica:

$$IA = 0.2 \cdot S$$

La quantità di deflussi diretti verso la rete idrografica può essere ricavata dalla lettura del grafico riportato in Figura 22 a partire dalla precipitazione totale.



Correlazione tra apporti meteorici e deflussi nella rete

Come si può notare, al procedere del fenomeno meteorico e quindi con l'aumento del volume d'acqua complessivamente caduto al suolo il rapporto tra precipitazione e deflussi è destinato ad aumentare.

Il metodo del Curve Number è stato messo a punto con pratiche applicazioni su bacini di modesta pendenza di versante e pertanto adatto ad essere utilizzato nell'ambito in esame. La sua applicazione in bacini alpini italiani ha evidenziato la validità del metodo, ma ha consigliato di associare diversi valori del CN alle tipologie di suolo rispetto a quelli consigliati dal SCS.

In particolare l'entità delle perdite iniziali si ritiene più corretto assumere $I_A = (0.05 \div 0.10) S$.

Il metodo del SCS consente di calcolare la pioggia efficace mediante l'uso di un singolo parametro (CN) che caratterizza la risposta idrologica del sistema suolo-soprasuolo. Il CN può variare da 0 a 100: i valori bassi di CN identificano situazioni poco favorevoli alla formazione dei deflussi superficiali, mentre il valore 100 caratterizza le superfici completamente impermeabili USDA-SCS (1985).

I valori di CN vengono quindi assegnati alle diverse combinazioni suolo-soprassuolo mediante incrocio delle informazioni relative all'uso del suolo e ai tipi idrologici di suolo. Il metodo del SCS classifica i suoli in quattro gruppi idrologici (A, B, C, D) caratterizzati da infiltrabilità decrescente. Ricordando quanto riportato nel capitolo dedicato alla descrizione della morfologia del bacino, in particolare alla costituzione litologica dei versanti, allo sviluppo vegetazionale e all'uso del suolo, le caratteristiche idrologiche medie del bacino possono essere assimilate a quelle elencate nelle tabelle standard proposte dallo stesso SCS ai gruppi idrologici dei suoli di bassa infiltrabilità.

Tale combinazione di suolo-soprassuolo suggerisce di attribuire al parametro Curve Number un valore pari a 50 per i bacini maggiori, 70 per i piccoli bacini.

Al parametro IA (perdite iniziali) viene assegnato il valore di 5 mm rappresentativo di una condizione iniziale di media saturazione del suolo. Si ipotizza, quindi, che il fenomeno meteorologico che alimenta il processo idrologico presenti una fase iniziale nella quale l'afflusso viene completamente assorbito dal terreno aumentando il grado di saturazione del suolo, e una seconda fase in cui ha inizio la produzione del deflusso superficiale. Si noti che in questo modo le precipitazioni di debole intensità e di modesta durata non sono in grado di innescare alcune deflusso superficiale.

Infine, per tener conto degli effetti del deflusso profondo, si è assunto che il 10% della precipitazione totale contribuisca ad alimentare tale componente.

Il modello di Nash

La pioggia efficace, determinata attraverso il metodo descritto, viene trasformata in deflusso nella rete idrografica utilizzando la tecnica dell'idrogramma unitario che rappresenta la risposta idrologica di un bacino ad un impulso di pioggia efficace unitario di durata istantanea.

Se l'idrogramma unitario è ipotizzato invariante con il progredire della precipitazione (idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno idrogramma qualsiasi può essere determinato come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari.

Un idrogramma che rispetta queste ipotesi è descritto da una funzione $U(t)$ per la quale si possono dare alcune definizioni. L'idrogramma presenta una fase di risalita di durata t_p (tempo di picco) al termine della quale raggiunge la massima intensità di picco h_p . La

durata dell'idrogramma unitario (t_B , tempo di base) coincide con il tempo necessario affinché la precipitazione caduta nel punto più lontano del bacino faccia sentire i suoi effetti alla sezione di chiusura (tempo di corrivazione) e rappresenta la memoria del sistema. Il momento del primo ordine (baricentro) dell'idrogramma identifica il tempo di ritardo t_L (time lag).

Tra i numerosi modelli matematici realizzati per la determinazione di questo idrogramma uno dei più riconosciuti è quello proposta da Nash (1957). Il modello descrive il comportamento di un bacino idrografico mediante un numero n (parametro di forma) di invasi disposti in serie ciascuno dei quali caratterizzato da una stessa costante k (parametro di scala) di invaso.

La funzione che descrive l'andamento dell'idrogramma è la seguente:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{n-1} e^{-t/k}}{k (n-1)!}$$

Ricorrendo a un'astrazione matematica, il modello di Nash può essere esteso al caso in cui il numero di serbatoi disposti in serie sia un numero reale. In tal caso la funzione fattoriale $(n-1)!$ viene sostituita con la funzione Gamma $\Gamma(\alpha)$ e la funzione $U(t)$ diventa:

$$U(t) = \frac{(t/k)^{\alpha-1} e^{-t/k}}{k \Gamma(\alpha)}$$

Il tempo di ritardo e il tempo di picco risultano pari a:

$$t_L = \alpha k \quad e \quad t_P = (\alpha - 1)k$$

La definizione dell'idrogramma unitario adimensionale di Nash richiede la conoscenza dei due parametri α (parametro di forma) e k (parametro di scala) legati al tempo di ritardo mediante l'equazione precedente

Per la stima di questi parametri è possibile ricorrere alle espressioni che li correlano al tempo di corrivazione del bacino. Imponendo la coincidenza tra i tempi di ritardo (intervallo temporale in cui transita il baricentro dell'idrogramma unitario) tra l'idrogramma triangolare e quello di Nash è possibile giungere alla correlazione tra i parametri. Per il bacino in esame è stato assunto un valore $n = 2.5$. Di conseguenza la sopracitata correlazione porta ad assumere il parametro di scala pari a $k = T_c/6$.

Il tempo di corrivazione, ovvero il tempo necessario perchè una particella d'acqua

caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino possa far sentire il suo effetto nella sezione di chiusura, è il parametro che influenza maggiormente l'andamento dei deflussi di piena in quanto imponendo la durata del fenomeno impone anche l'entità delle portate al colmo.

Questo parametro viene a dipendere da numerosi fattori anche se le espressioni empiriche, di uso più comune, reperibili in letteratura che permettono la sua determinazione fanno riferimento in modo particolare a quelli morfometrici ovvero all'estensione del bacino, alla pendenza dei versanti e dell'asta fluviale principale. Tali espressioni differiscono notevolmente tra loro sia per le diverse grandezze considerate che per le diverse caratteristiche dei bacini esaminati. Tra queste, date le caratteristiche e la dimensioni del bacino, si ritiene molto rappresentativa quella proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

dove con H_0 si è indicata la quota della sezione di chiusura e con H_m la quota media del bacino.

Il deflusso profondo

La frazione di precipitazione assorbita da terreno, normalmente considerata inefficace dal punto di vista dei deflussi superficiali, in realtà non è completamente persa ai fini degli apporti alla rete idrografica. Una sua parte, sebbene dopo un processo di propagazione più lento, giunge al fondovalle fornendo il cosiddetto "deflusso profondo". L'entità di questi apporti nel tempo è notevolmente ridotta in termini di valori di picco, ma risultano non trascurabili in termini di volume complessivo e forniscono la cosiddetta curva di esaurimento del bacino.

Tra i diversi metodi esistenti in letteratura per giungere alla loro quantificazione, alcuni ipotizzano un comportamento stazionario e lineare in modo simile a quanto ipotizzato per i deflussi superficiali e quindi mirano a ricostruire un idrogramma unitario "profondo" rappresentativo del tempo di propagazione di questi apporti ricostruendo l'idrogramma finale mediante la risoluzione di un integrale di convoluzione.

Essendo diversa la velocità di propagazione verso la sezione di chiusura del bacino rispetto alla velocità che caratterizza il deflusso superficiale, non è consentito utilizzare

lo stesso idrogramma unitario utilizzato per i deflussi superficiali. Nel caso in questione è stata ipotizzata la similitudine dei parametri di forma dei due idrogrammi unitari mentre il tempo di risposta dell'idrogramma profondo è stata amplificata di tre volte amplificando opportunamente il relativo parametro di scala.

La frazione di precipitazione destinata ad alimentare il deflusso profondo è stata ipotizzata costante durante l'intero fenomeno.

I corsi d'acqua oggetto di analisi nel presente piano si trovano tutti a sud della linea inferiore delle risorgive, pertanto considerando il coefficiente di deflusso profondo pari a 0,1 possiamo tener conto anche degli apporti delle acque di risorgiva.

La trasformazione degli idrogrammi di assegnata frequenza di accadimento possono essere trasformati nei corrispondenti deflussi lungo la rete idrografica mediante la stessa tecnica seguita per la ricostruzione degli eventi reali; agli idrogrammi di piena ottenuti è possibile assegnare la stessa frequenza probabile del fenomeno meteorico che lo ha generato. Queste simulazioni sono state condotte per un fenomeno meteorico aventi frequenze di accadimento pari a 50 anni, considerando diverse durate di pioggia in modo da evidenziare il fenomeno più critico per il bacino.

A tal proposito è bene evidenziare che, adottando il metodo del Curve Number, il tempo di pioggia critico non coincide con il tempo di corrivazione come previsto dalla nota ipotesi alla base del metodo razionale.

Il progredire della precipitazione e il conseguente aumento del grado di saturazione del terreno portano a un aumento del coefficiente di deflusso e, di conseguenza, i fenomeni prolungati nel tempo tendono a diventare più gravosi.

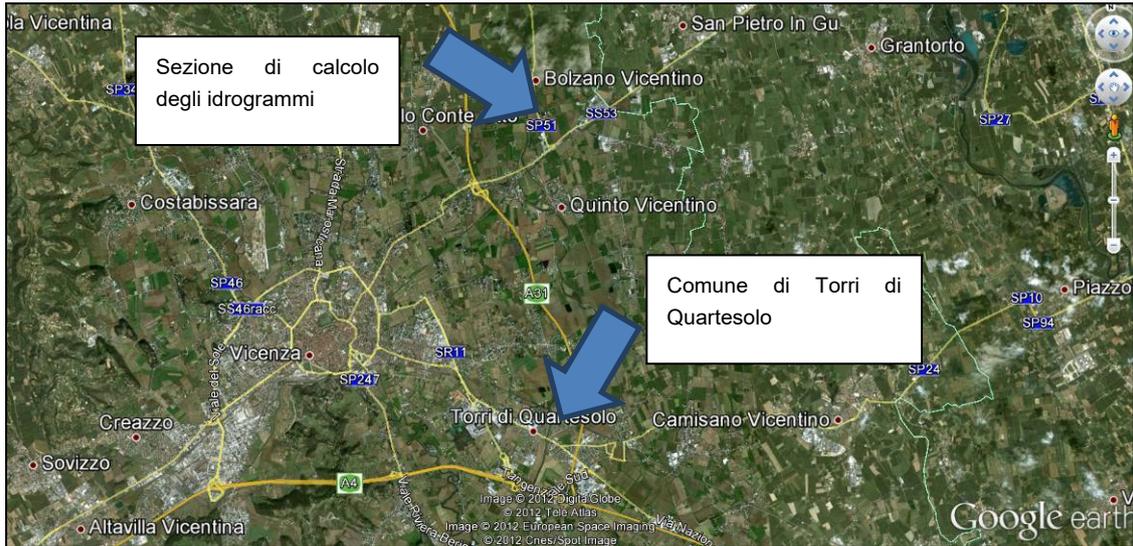
Nella seguente tabella si riporta inoltre una sintesi dei dati ottenuti nell'analisi idrologica condotta per la determinazione delle portate dei sottobacini con Tr 50 anni.

nome	codice	Superficie [kmq]	Quota media [m slm]	Quota minima [m slm]	Quota max [m slm]	Lenght [m]	Tc [ore]	Q Tr50 [mc/s]
imbotto	IM	0.20	32.42	30.84	33.37	693.00	0.62	1.16
regazzo	RE	3.04	33.15	26.58	36.90	4 634.00	3.02	7.19
moneghina	MO	2.74	32.37	27.97	35.17	6 238.00	3.51	5.90
bergama	BER	0.51	27.60	26.08	29.25	2 029.00	1.40	1.87
porto santi	PS	2.53	28.74	25.71	46.65	2 151.00	2.24	7.16
bergama	BER	0.67	25.87	24.97	28.00	1 805.00	1.47	1.87
tribolo	TR	0.70	26.97	25.54	28.66	2 164.00	1.59	2.42
tergola	TE	6.16	33.47	25.57	46.12	7 949.00	4.72	11.07
montegrappa	MG	0.34	30.91	27.25	36.80	1 764.00	1.12	1.45
settimo	SE	3.65	28.30	24.42	44.51	2 760.00	2.77	9.07
bertesinella	BE	1.44	29.22	24.73	33.91	2 029.00	1.81	4.61
caveggiara	CA	22.10	37.55	28.93	46.17	2 788.00	3.66	24.89
quintarello	QU	5.96	32.54	21.97	41.56	1 806.00	2.39	11.39
s.benedetto	SB	10.62	37.71	29.71	45.72	2 213.00	3.33	23.68
riale	RI	0.81	30.93	28.40	32.07	2 077.00	1.51	2.87
palu	PA	1.59	26.90	23.58	30.21	2 220.00	2.02	4.80

Portate massime e tempo di precipitazione critico

2.3 Idrogrammi del Fiume Tesina

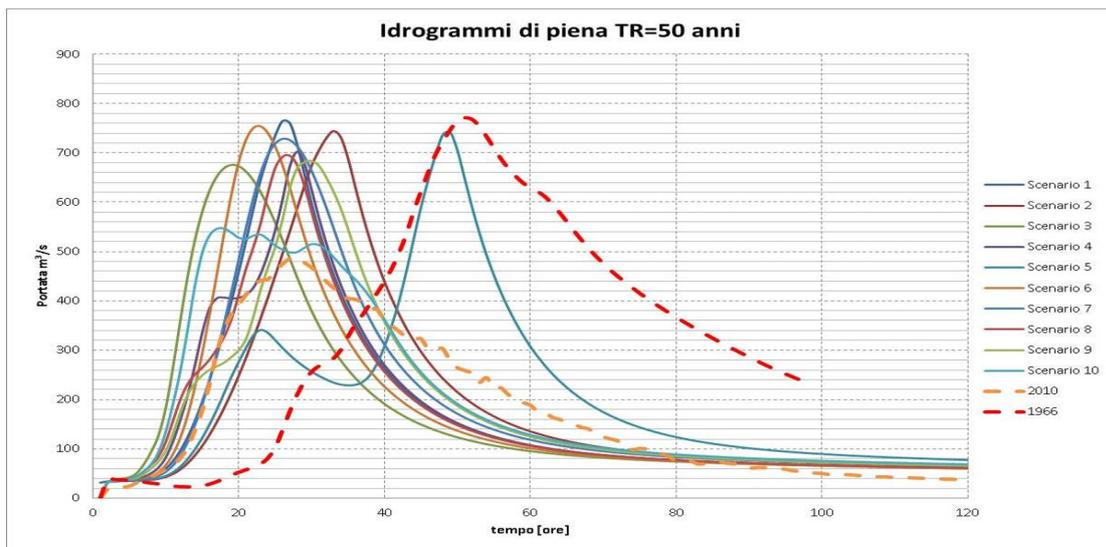
In analogia con gli studi condotti in occasione della "Progettazione di un'area di laminazione dei deflussi di piena del fiume Tesina a Torri di Quartesolo (VI)" commissionata dalla Regione del Veneto e condotta dallo scrivente, per il calcolo delle portate di piena si è fatto riferimento agli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico, relativi al fiume Tesina nella Sezione di Bolzano Vicentino.



Sezione di calcolo degli idrogrammi e ubicazione della cassa di espansione in progetto.

Complessivamente per lo studio citato vennero forniti 9 idrogrammi di piena con tempo di ritorno 100 anni e 10 idrogrammi con tempo di ritorno 50, 25 e 10 anni.

Per le valutazioni relative al Piano delle Acque si è considerato l'evento di piena con Tr 50 anni nello scenario n.3, in quanto si è scelto di considerare la situazione maggiormente gravosa per il sistema idraulico allo studio dal punto di vista dei columi di acqua transitanti nella rete. Gli idrogrammi forniti vengono riportati nella seguente figura dove è possibile un confronto con l'idrogramma dell'evento del 1966, fornito dalla stessa Autorità di Bacino, e quello dell'evento del 1 novembre 2010 reperito presso l'ARPAV.



Sezione di Bolzano Vicentino - TR 50 anni- Idrogrammi di progetto

3. ANALISI IDRAULICA

3.1 Modellazione matematica

L'analisi idraulica ovvero lo studio della propagazione della portata di piena finalizzata all'individuazione di possibili criticità idrauliche del sistema è stata condotta attraverso l'applicazione modellistica monodimensionale e mono-bidimensionale.

Lo studio idraulico dei corsi d'acqua in esame è stato effettuato mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico monodimensionale a moto permanente (HEC-RAS).

Il modello idraulico HEC-RAS prodotto dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers viene utilizzato diffusamente nelle applicazioni idrauliche di vario genere data la sua versatilità e la relativa facilità di gestione e organizzazione delle informazioni oltre che la sua affidabilità. HEC-RAS, le cui modalità di utilizzo sono illustrate nel dettaglio nell'Appendice A della Relazione Idraulica, consente, sulla base delle informazioni geometriche del corso d'acqua (sezioni trasversali e opere che insistono sullo stesso), di effettuare delle simulazioni sia a moto permanente che a moto vario.

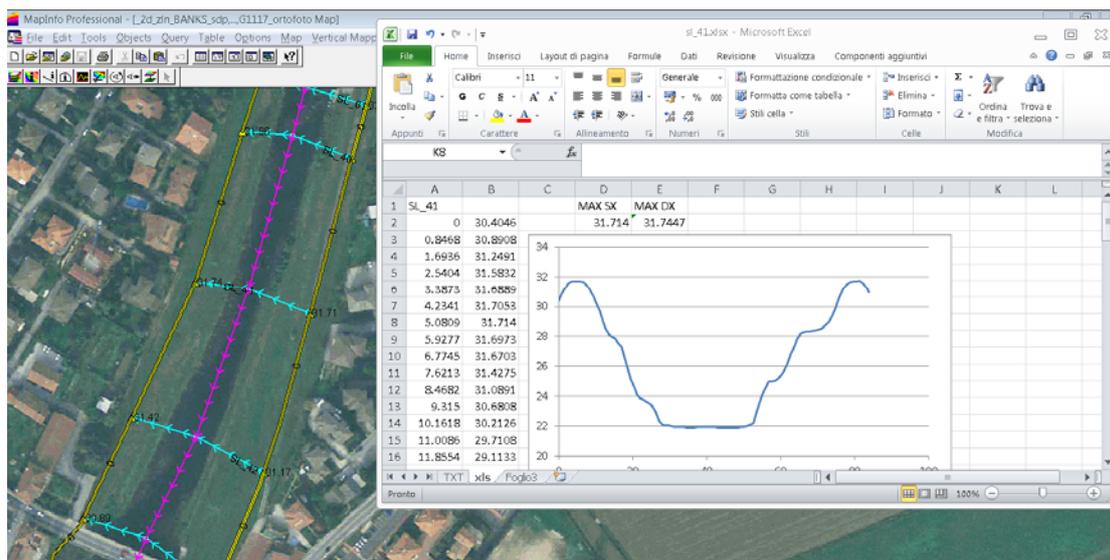
Le impostazioni del modello consentono di definire le caratteristiche principali della sezione: oltre alla geometria della stessa descritta mediante coppie di valori progressiva-quota, è possibile indicare la posizione degli eventuali argini presenti, le zone di non-deflusso, le eventuali ostruzioni al flusso, i valori della scabrezza dell'alveo in diverse zone della sezione.

Per eseguire una simulazione è necessario specificare le condizioni al contorno: possono essere assegnati i valori delle portate presso la sezione iniziale e nelle sezioni in corrispondenza all'ingresso di affluenti, ed inoltre il valore dei livelli a valle. Il programma, al termine della simulazione, fornisce come risultato il valore delle diverse grandezze idrauliche (altezza d'acqua, altezza della linea dell'energia, velocità media, ecc.) in ogni sezione. I risultati possono essere visualizzati graficamente sotto forma di profilo longitudinale o in forma tabellare ed essere quindi facilmente esportati ed utilizzati in altri applicativi per successive analisi.

I modelli idraulici di tipo monodimensionale permettono di simulare con precisione le aree soggette ad allagamento in casi particolari:

1. alvei arginati in cui la piena è contenuta all'interno degli argini;
2. corsi d'acqua non arginati ma che scorrono in valli strette, per cui, anche in caso di esondazione, il moto può assumersi come monodimensionale.

Nel caso in cui la piena non sia contenuta all'interno del corso d'acqua, è necessario ricorrere a modelli idraulici di tipo bidimensionale che permettono di simulare con precisione le modalità con cui l'onda di piena tracima ed inonda le aree circostanti.



Modellazione dell'alveo in ambiente TUFLOW

Per meglio indagare tali circostanze per lo studio del Fiume Tesina è stato applicato anche un modello matematico mono - bidimensionale a moto vario TUFLOW (WBM Australia). Le caratteristiche del modello sono riportate nel sito www.tuflow.com.

Per la struttura delle directories di lavoro e per le convenzioni sul tipo di files e per la loro nomenclatura e si è fatto riferimento a quanto indicato nel sito dedicato:

http://wiki.tuflow.com/index.php?title=Naming_Convention

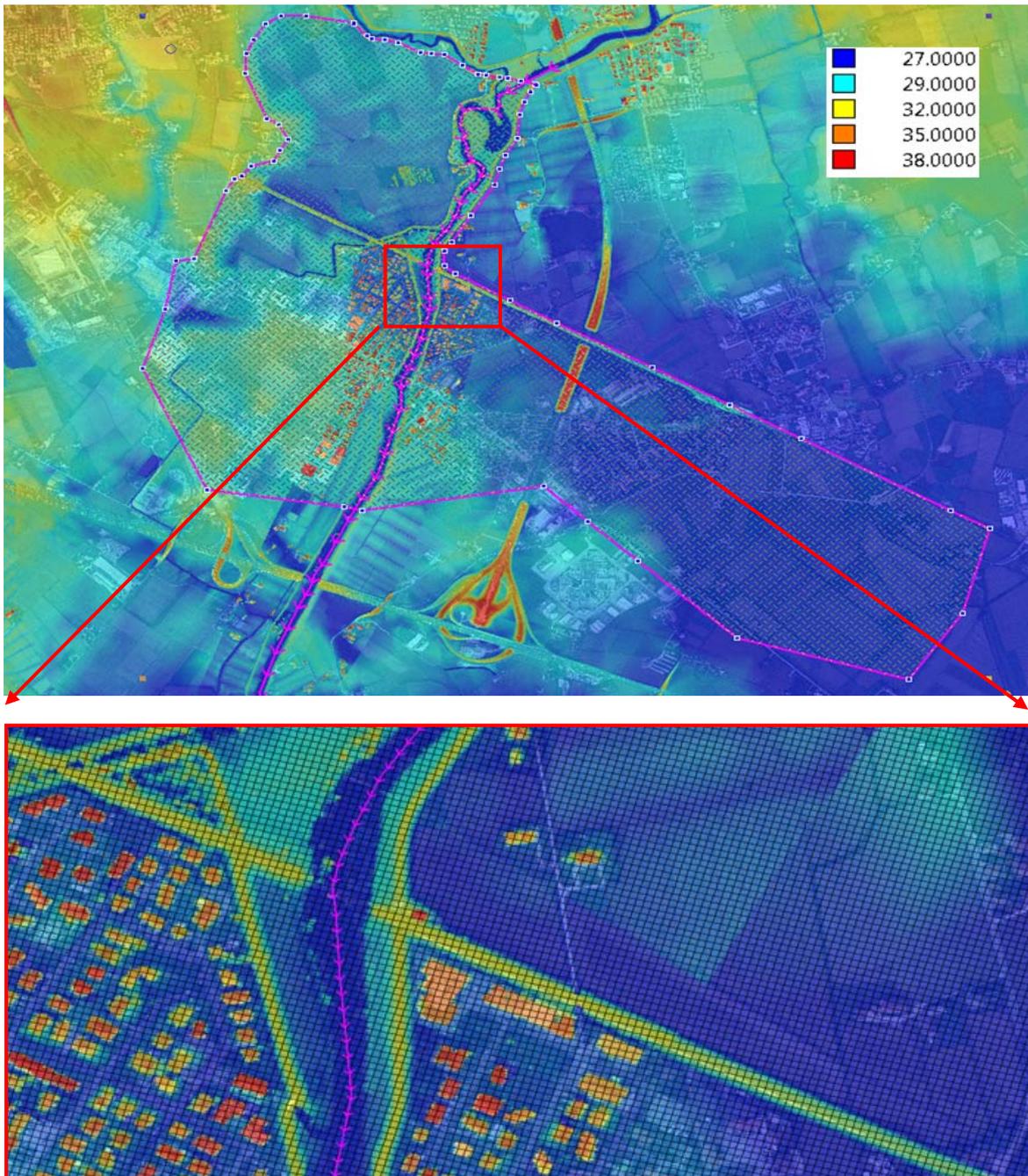
http://wiki.tuflow.com/index.php?title=TUFLOW_file_types

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:

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

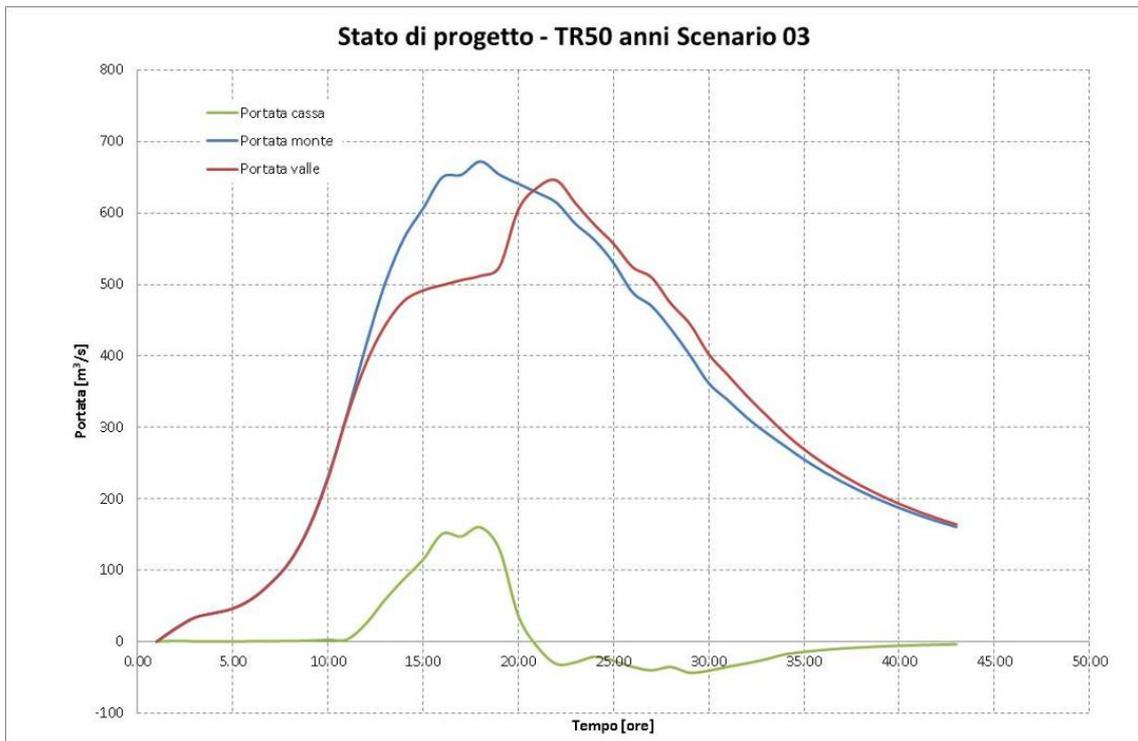
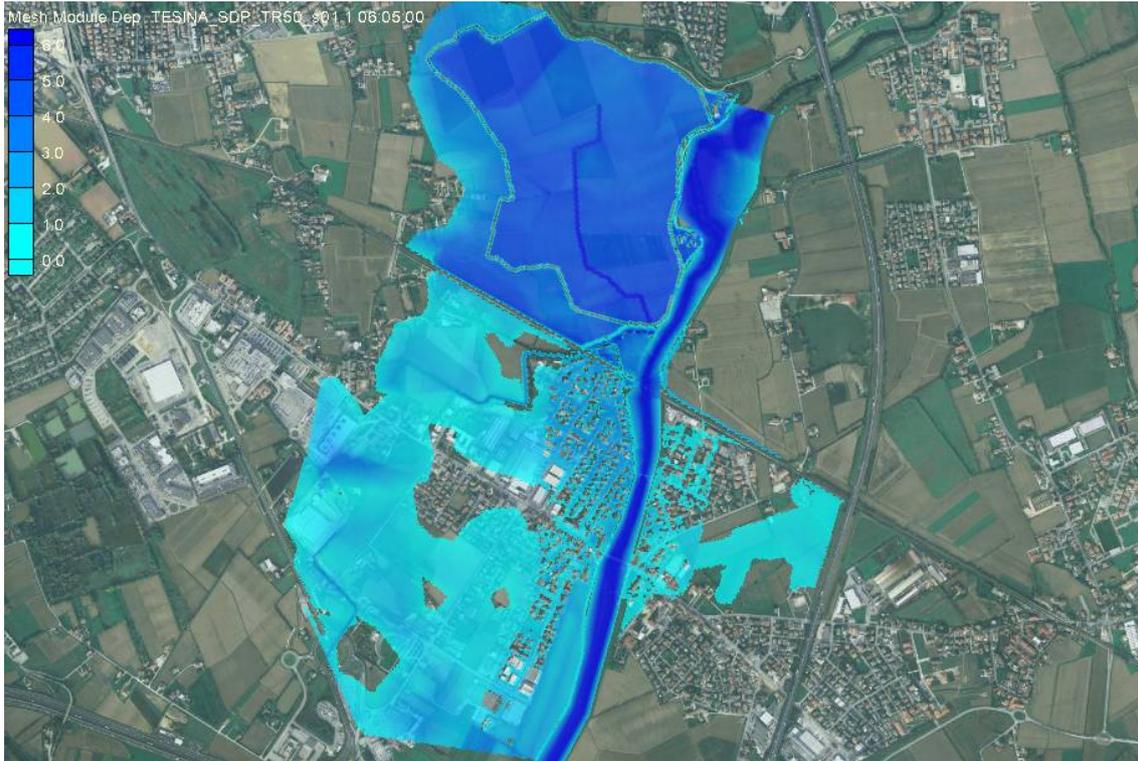
L'impostazione metodologica adottata per lo studio idraulico tiene conto sia delle caratteristiche idrauliche e morfologiche del corso d'acqua (modello monodimensionale) sia di quelle del territorio circostante (modello bidimensionale) come meglio descritto in Appendice B della Relazione idraulica della presente relazione che riporta la descrizione del modello utilizzato.

Innanzitutto è stata valutata l'estensione dell'area di applicazione del modello sulla base delle informazioni disponibili e si è quindi costruito il DTM per la modellazione dell'alveo e delle intere aree allo studio tenendo conto delle caratteristiche del territorio di indagine quali la presenza di golene, di argini, di opere idrauliche, di rilevati stradali, ecc.



Definizione del dominio di calcolo e discretizzazione delle informazioni altimetriche in griglia con maglia 7.5mX7.5m

Mediante l'applicazione del modello TUFLOW sono state quindi calcolate le principali grandezze idrauliche, quali i tiranti idrici e le velocità di deflusso e l'estensione delle aree interessate alla piena nello stato attuale e nello stato di progetto ovvero nella configurazione che prevede la schematizzazione degli interventi di protezione idraulica dell'alveo.



Esempio dei risultati ottenuti attraverso l'applicazione del modello bidimensionale del Fiume Tesina a Torri di Quartesolo.

Per quanto riguarda la rete minore invece è stato implementato il modello

monodimensionale HeC RAS dei corsi d'acqua di competenza Consortile.

Il modello è stato applicato separatamente per i corsi d'acqua che recapitano in Fiume Tesina quali:

- Scolo Regazzo
- Scolo Quintarello;
- Scolo Tribolo;
- Roggia Bertesinella;
- Roggia Caveggiara

E per i corsi d'acqua della parte meridionale del Comune che recapitano fuori dal territorio Comunale, quali:

- Scolo Settimo
- Roggia Tergola
- Roggia Tesinella

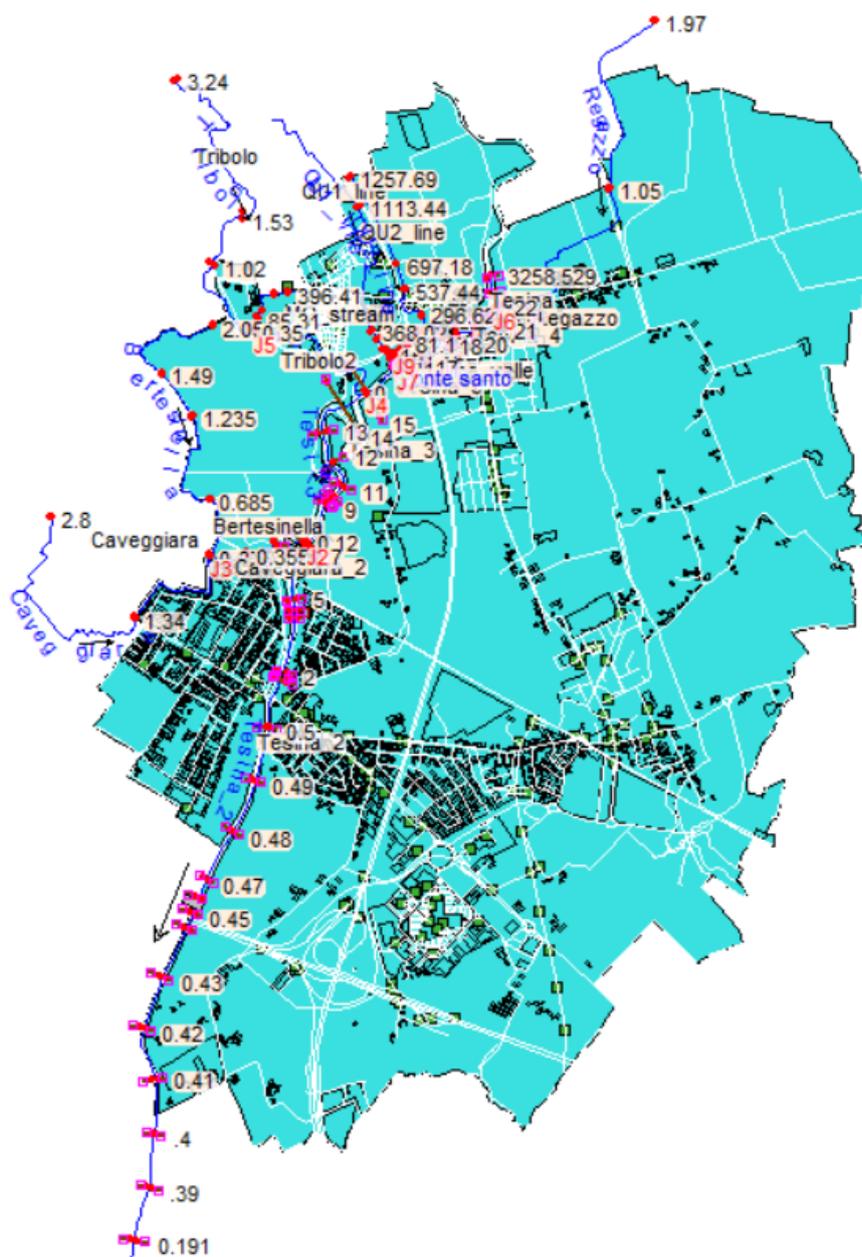
Le campagne di rilievi condotte nel corso della redazione del Piano Comunale delle Acque hanno consentito di disporre delle sezioni batimetriche e delle principali opere idrauliche necessarie all'implementazione del modello.



Schema del modello monodimensionale HEC RAS Scolo Settimo.

Le condizioni al contorno derivano dallo studio idrologico ed idraulico condotto in occasione del presente Piano e sono state confrontate con le informazioni contenute nei PGBTTR dei Consorzi e nello "studio idrologico ed idraulico del comune di Grumolo" a cura di Ipros Ingegneria Ambientale srl (2002).

Si è assunta come riferimento la piena con Tr 50 anni, si sono attribuiti idrogrammi in ingresso alle rogge come condizione al contorno di monte e a favore di sicurezza il livello a piene rive come condizione al contorno di valle.



Schema del modello monodimensionale HEC RAS zona NORD-OVEST del territorio Comunale, corsi d'acqua che recapitano in Fiume Tesina.

4. DESCRIZIONE DEL MODELLO BIDIMENSIONALE

Per indagare gli effetti della piena nelle aree limitrofe ai corsi d'acqua in caso di esondazione è stata condotta un'analisi idraulica utilizzando il modello matematico mono - bidimensionale a moto vario TUFLOW (WBM Australia). Le caratteristiche del modello sono riportate nel sito www.tuflow.com.

Per la struttura delle directories di lavoro e per le convenzioni sul tipo di files e per la loro nomenclatura e si è fatto riferimento a quanto indicato nel sito dedicato:

http://wiki.tuflow.com/index.php?title=Naming_Convention

http://wiki.tuflow.com/index.php?title=TUFLOW_file_types

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:

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

L'impostazione metodologica adottata per lo studio idraulico dei tratti esaminati tiene conto sia delle caratteristiche idrauliche e morfologiche dei corsi d'acqua (modello monodimensionale) sia di quelle del territorio circostante (modello bidimensionale) come meglio descritto in Appendice B della presente relazione che riporta la descrizione del modello utilizzato.

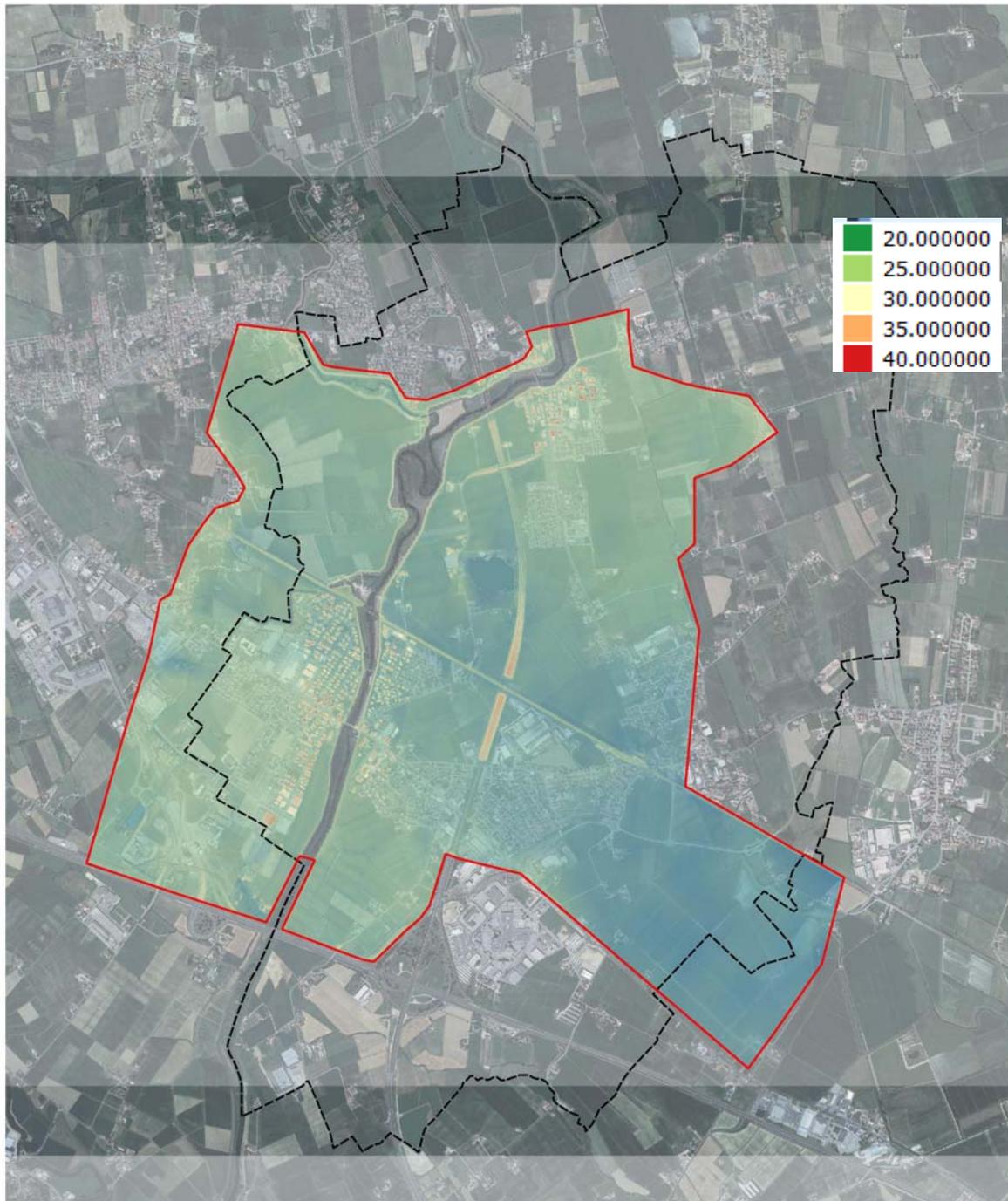
Innanzitutto è stata valutata l'estensione dell'area di applicazione del modello sulla base delle informazioni reperite presso gli uffici comunali relativamente alle aree storicamente allagate in occasione degli eventi estremi.

Si è quindi costruito il DTM per la modellazione dell'alveo e delle intere aree allo studio tenendo conto delle caratteristiche del territorio di indagine quali la presenza di golene, di argini, di opere idrauliche, di rilevati stradali, ecc.

Mediante l'applicazione del modello TUFLOW sono state quindi calcolate le principali grandezze idrauliche, quali i tiranti idrici e le velocità di deflusso e l'estensione delle aree interessate alla piena nello stato attuale e nello stato di progetto ovvero nella configurazione che prevede la schematizzazione degli interventi di protezione idraulica dell'alveo.

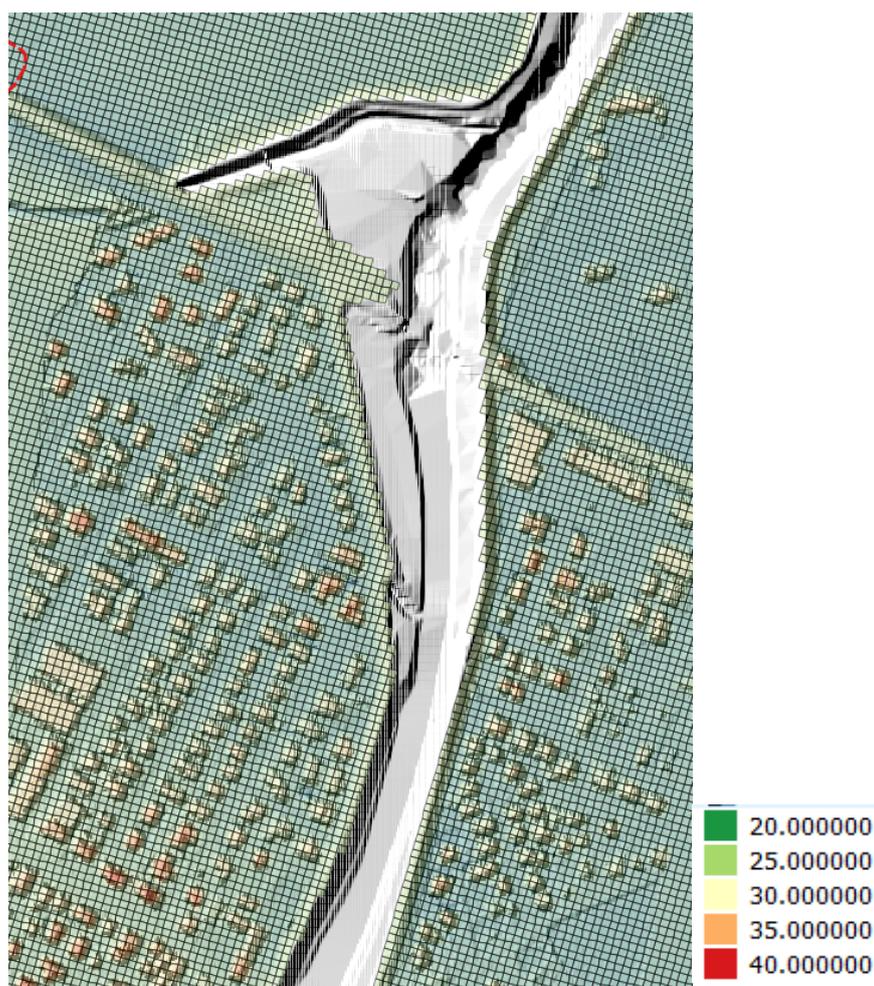
■ Implementazione del modello

L'applicazione del modello di calcolo uni-bidimensionale ha richiesto la costruzione di un reticolo di calcolo sufficientemente dettagliato di tutta l'area in esame che si estende tra Melara e la confluenza del Torrente Tesina in Bacchiglione in direzione Nord-Sud, tra l'abitato di Torri di Quartesolo e quello di Grumolo delle Abadesse in direzione Est – Ovest per complessivi 700 ha



Dominio del modello idraulico mono-bidimensionale TUFLOW

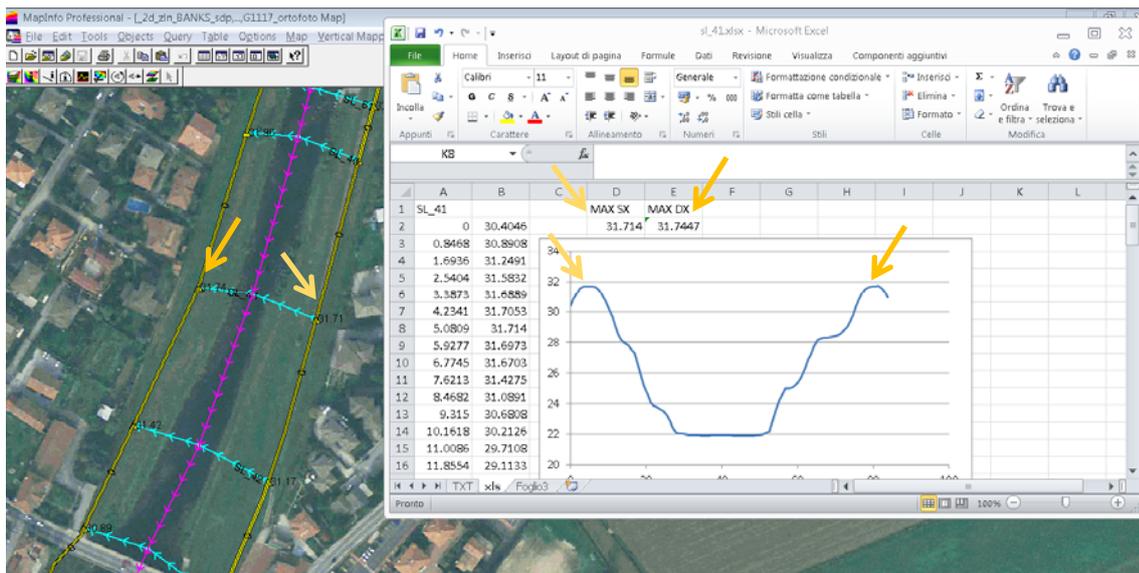
Con l'ausilio degli strumenti di pre e post processing presenti nel sistema GIS in uso, il territorio allo studio è stato discretizzato con una griglia di celle quadrate di lato 7.5 m, di cui si rappresenta uno stralcio nella seguente figura.



Implementazione del modello mono-bidimensionale TUFLOW - griglia di calcolo

Per simulare con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari, quali argini, rilevati stradali o manufatti che possono modificare apprezzabilmente l'evoluzione di un fenomeno di allagamento e la cui dimensione è tale da essere confrontabile con la dimensione del passo spaziale del reticolo di calcolo, sono state inserite le cosiddette "Breaklines".

Le breaklines consentono di alzare le celle dove ricadono gli elementi morfologici o completamente, oppure, qualora il volume dell'elemento morfologico sia di dimensioni trascurabili, esse vengono rese semplicemente insormontabili senza sottrarre volume all'evolversi della piena. In corrispondenza delle sezioni d'alveo utilizzate nella modellazione monodimensionale, le breaklines hanno puntualmente lo stesso valore di quota della sezione d'alveo, per garantire il corretto link tra i due modelli.



Link tra il modello 1D e 2D - Breaklines

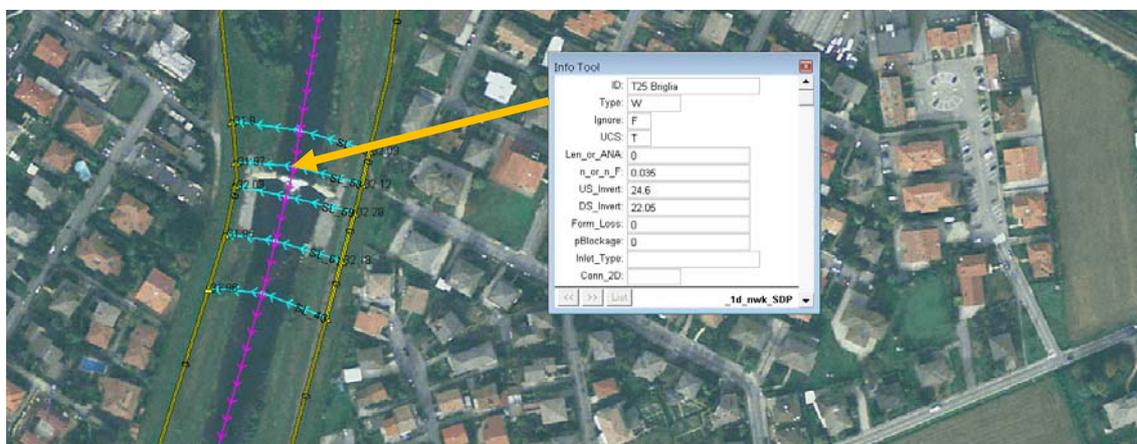
Con questo sistema sono state inserite le breaklines relative alle arginature del Tesina.



Implementazione del modello mono-bidimensionale TUFLOW – in giallo sono evidenziate le breaklines delle arginature

4.1.1 Opere idrauliche

Le opere idrauliche quali ponti e briglie sono state inserite nel modello come elementi della rete monodimensionale. In si riporta un dettaglio della maschera di inserimento in ambiente GIS



Inserimento delle opere idrauliche nel reticolo idrografico monodimensionale ESTRY

4.1.2 Scabrezza dell'alveo

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, R_H 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. Relativamente alla rete monodimensionale, tale attività ha condotto all'assegnazione di un coefficiente di Strickler K_s pari a $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ($n=0.055$ di Manning).

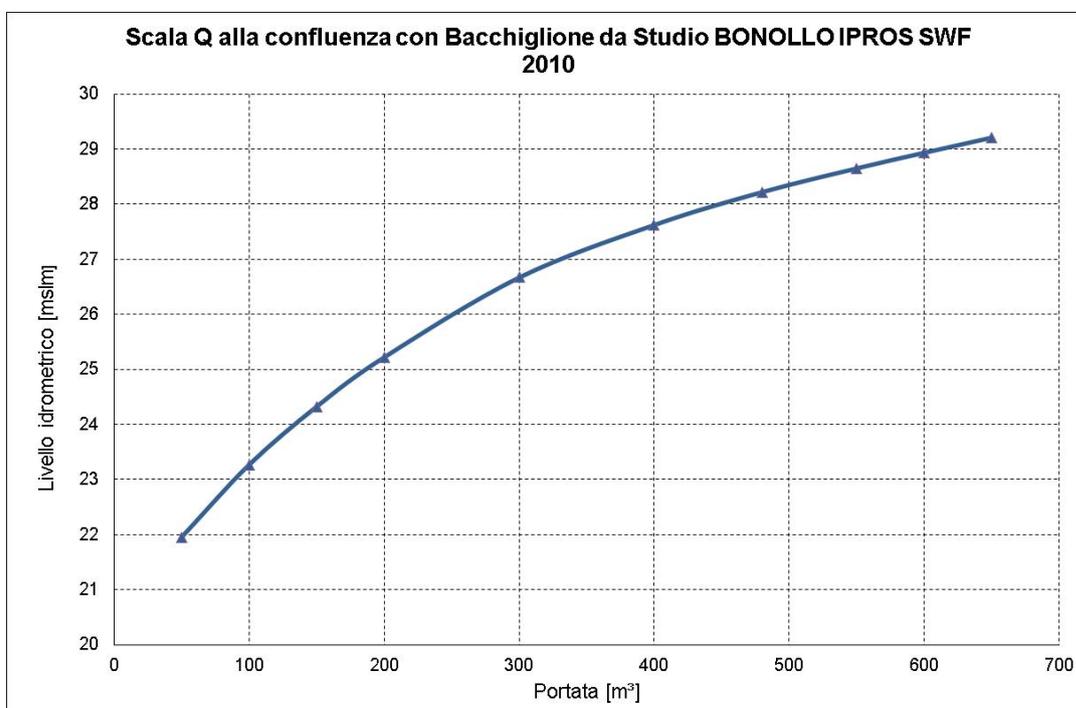
Per quanto riguarda le zone esterne all'alveo, è stato assunto un coefficiente di scabrezza n pari rispettivamente a 0.10 ($K_s=10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) per le aree ricoperte da vegetazione e 0.5 ($K_s=2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) limitatamente alle parti urbanizzate interessate dalla presenza di insediamenti in accordo con le indicazioni normalmente reperibili in letteratura (U.S. Department of Agricultur 1929, 1934; Ven Te Chow, 1973, M. Hanif Chaudhry, 1993) e nel wiki tutorial di [TUFLOW](#)

4.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni di mote utilizzate nella modellazione a moto vario coincidono con gli

idrogrammi di piena di diversa forma e di diverso tempo di ritorno forniti dall'Autorità di Bacino dell'Alto adriatico descritti nel precedente paragrafo 2.2.1.

Come condizione di valle è stata assunta la scala delle portate indicata nella seguente figura, calcolata nell'ambito dello studio Bonollo – Ipros - SWF (2010).



Scala delle portate del fiume Tesina alla confluenza con il fiume Bacchiglione

Essa assume la seguente espressione:

$$h = 13.741 \times Q^{0.1161}$$

Di seguito si riporta la descrizione delle indagini svolte in tal senso, tratte dalla relazione idraulica allegata allo studio:

“L’operazione di ricostruzione della scala delle portate alla confluenza Tesina-Bacchiglione è resa possibile a partire da un evento di piena non estrema, registrato in due diverse sezioni del fiume Tesina ed avvenuto il 28 Novembre 2003. La prima delle sezioni in esame è la stazione storica di Longare, sul Bacchiglione.

La stazione si trova immediatamente a valle dell’immissione del Tesina nel Bacchiglione, ha zero idrometrico posto a 20,70 m s.m.m. ed ha registrato le quote idrometriche dei maggiori eventi del secolo.

In occasione dell’evento ricordato si è inoltre provveduto alla misurazione di portata lungo il Tesina presso il ponte sulla Strada Statale 11 registrando la relativa quota fatta segnare

dall'asta idrometrica sulla sponda sinistra del ponte stesso, che ha zero idrometrico posto a 21,69 m s.m.m.

La tabella seguente riassume i dati relativi all'evento.

	Zero idrom.	Max quota idr.	Vel. media	Portata
	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m/s)	(m³/s)
Longare	20.70	26.16	-	-
ponte SR 11	21.69	28.79	0.70	264

Il livello idrometrico di 26,16 m s.m.m. registrato a Longare è stato quindi assunto come livello idrometrico di valle del tratto modellato dal codice di calcolo Hec-Ras, nell'ipotesi di moto permanente. Tale condizione di valle, per una portata di 264 m³/s ha permesso quindi di tarare i valori dei coefficienti di scabrezza di Manning ottimali, al fine di avvicinare il più possibile la quota in corrispondenza del ponte della S.R. 11, giungendo infine ad assegnare un valore di 0,05 m^{-1/3}s in alveo di magra e 0,06 m^{-1/3}s nelle aree golenali.

Con questa scelta, infatti, la simulazione in condizioni di moto permanente ha fatto registrare nella sezione del ponte la quota di 28,71 m s.m.m., sufficientemente prossima al valore registrato di 28,79 m s.m.m.”

5. CRITICITÀ INDIVIDUATE MEDIANTE APPLICAZIONE MODELLISTICA

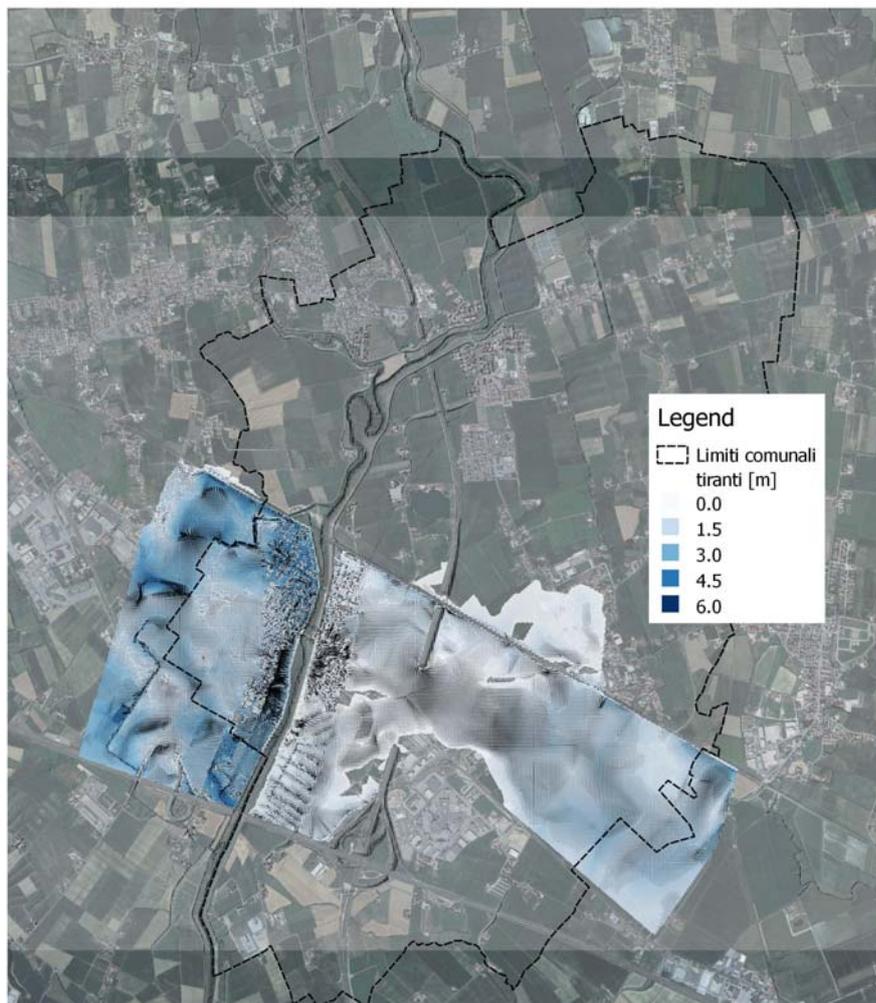
L'applicazione della modellazione matematica idraulica ha consentito la simulazione di eventi probabilistici critici e la determinazione di potenziali punti critici della rete di scolo e di aree di potenziale allagamento.

Di seguito si descrivono le possibili criticità per l'evento cinquantennale che i risultati modellistici hanno consentito di rilevare.

5.1 Criticità areali – aree allagabili

L'applicazione del modello bidimensionale TufLOW ha consentito di ottenere le aree allagabili per lo scenario di piena considerato (scenario n.3 in riferimento agli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino) per Tr 50 anni.

Le aree ottenute sono state indicate nel datacase del Piano delle Acque come "criticità di tipo areale".

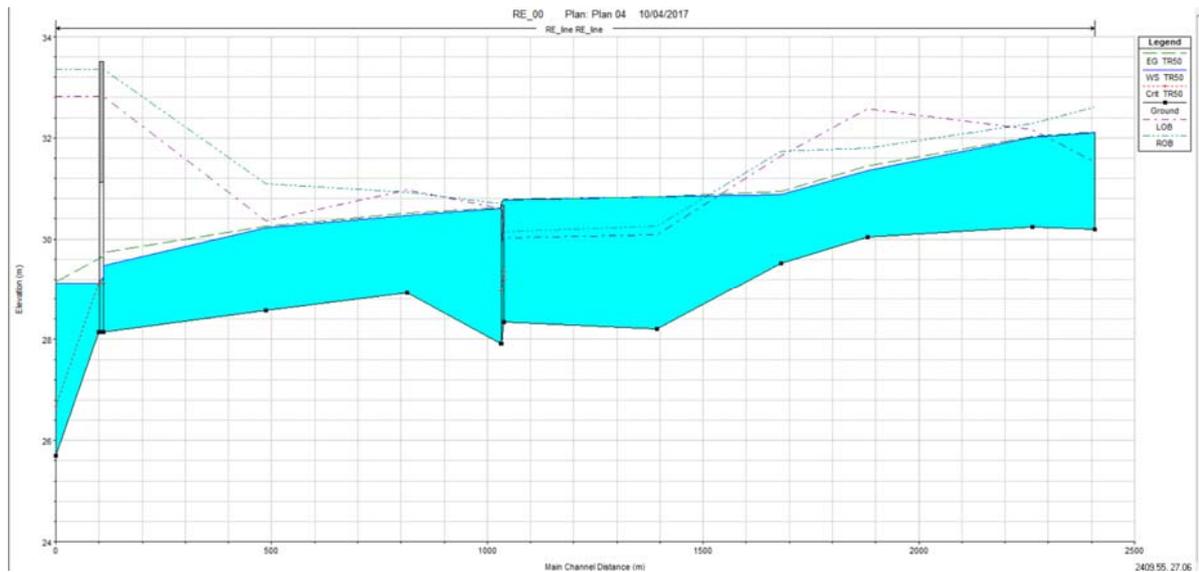


TR 50 Scenario 03- inviluppo dei massimi tiranti idraulici calcolati

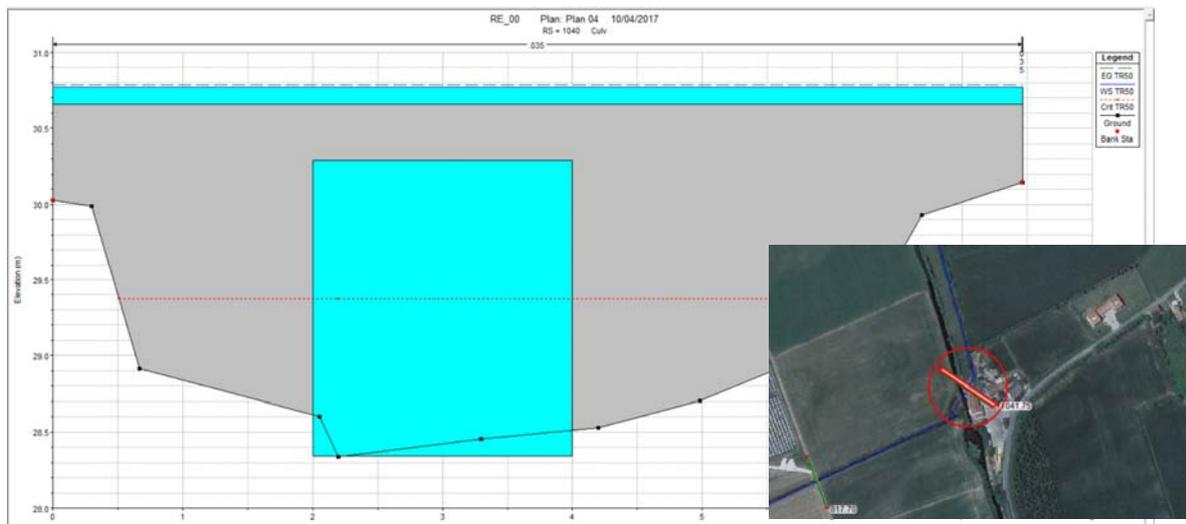
5.2 Scolo Regazzo

Lo Scolo Regazzo presenta una pendenza media molto bassa compresa tra lo 0.1% e lo 0.2%. Presso la botte a sifone il manufatto di attraversamento presenta la sezione parzialmente ostruita e comunque tale da creare un profilo di rigurgito che crea il superamento del franco a monte dell'attraversamento stesso.

Nel tratto di monte in occasione dell'evento cinquantennale si rilevano criticità dovute principalmente all'insufficienza della sezione di deflusso con il conseguente rischio di allagamenti nelle zone poste sia ad est che ad ovest.



Profilo di piena dello scolo Regazzo – Condizioni al contorno Tr 50 anni.



Sezione botte a sifone- Condizioni al contorno Tr 50 anni.



Sezione botte a sifone – Inquadramento fotografico

5.3 Scolo Tribolo

Lo scolo Tribolo recapita una parte importante dei deflussi dell'area a nord del Comune di Torri di Q. in Fiume Tesina.

Presenta una sezione nel tratto terminale piuttosto ampia e delimitata a sinistra e destra da arginature che garantiscono il contenimento delle piene esaminate.

Il modello monodimensionale implementato conferma la difficoltà del sistema Roggia Monte Grappa a recaptare i deflussi in caso di sistema gravato dalla piena con Tr 50 anni, con conseguenti possibili allagamenti presso l'adiacente omonimo Villaggio Montegrappa.



Tracciato planimetrico dello scolo Tribolo – modello monodimensionale Hec Ras.



Sezione Manufatto Roggia Monte Grappa – Scarico in Scolo Tribolo a monte della confluenza con il Fiume Tesina

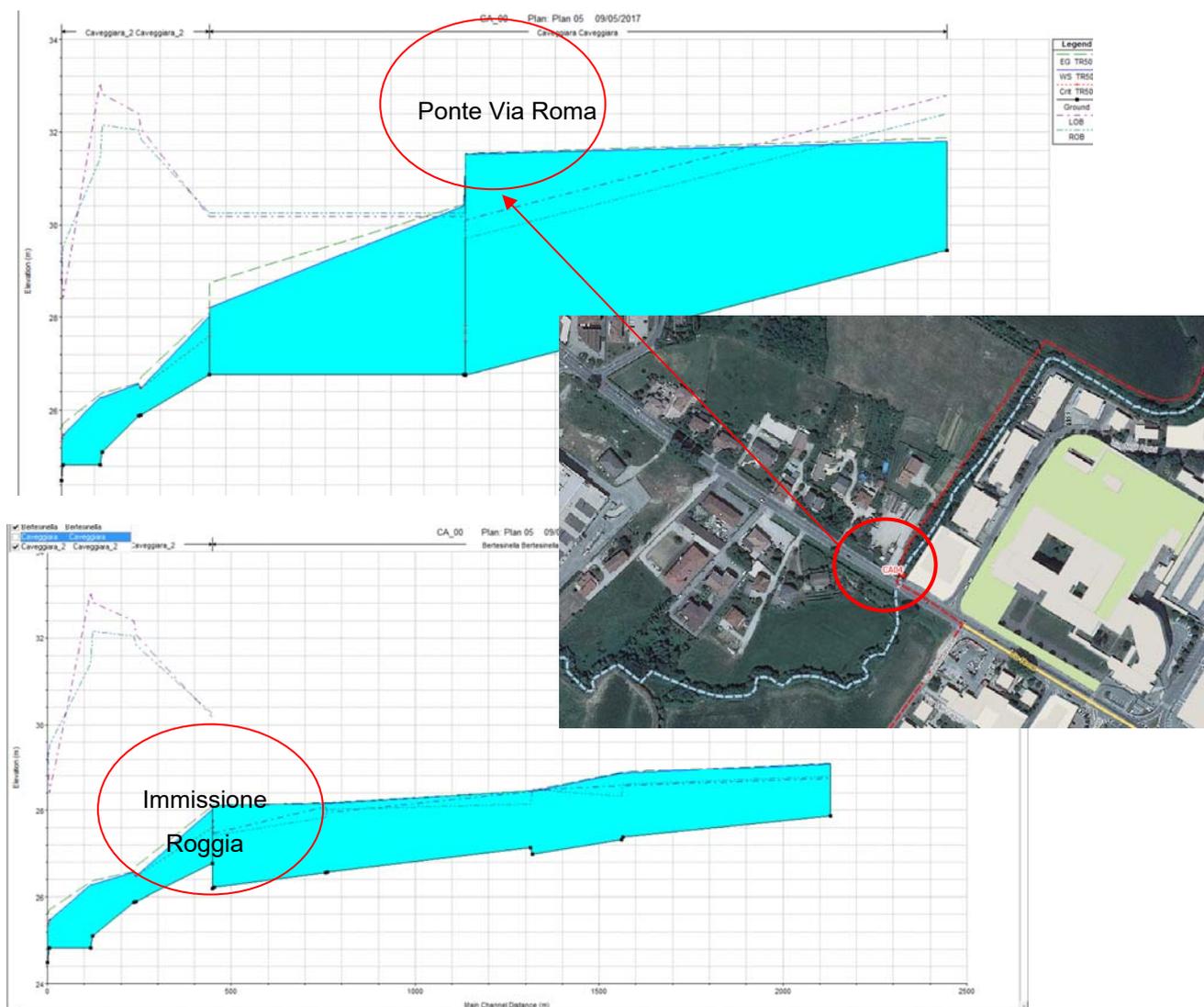
5.4 Roggia Caveggiara e Bertesinella

La Roggia Caveggiara presenta una variazione di pendenza tra la parte a monte della confluenza con la Roggia Bertesinella e la parte a valle della confluenza stessa.

Nella parte di monte la pendenza media è dello 0.1% mentre a valle aumenta allo 0.5%

La presenza inoltre di un manufatto di attraversamento su Via Roma con una luce non sufficiente al deflusso comporta il superamento dei livelli idrici della piena con Tr50 anni a monte dell'attraversamento stesso sia in destra che in sinistra idraulica.

Il modello conferma l'insufficienza della sezione di deflusso al contenimento della piena cinquantennale, come rappresentato nei profili dei seguenti grafici.



Profilo di piena della Rognia Caveggiara e dell'affluente Rognia Bertessinella– Condizioni al contorno Tr 50 anni.

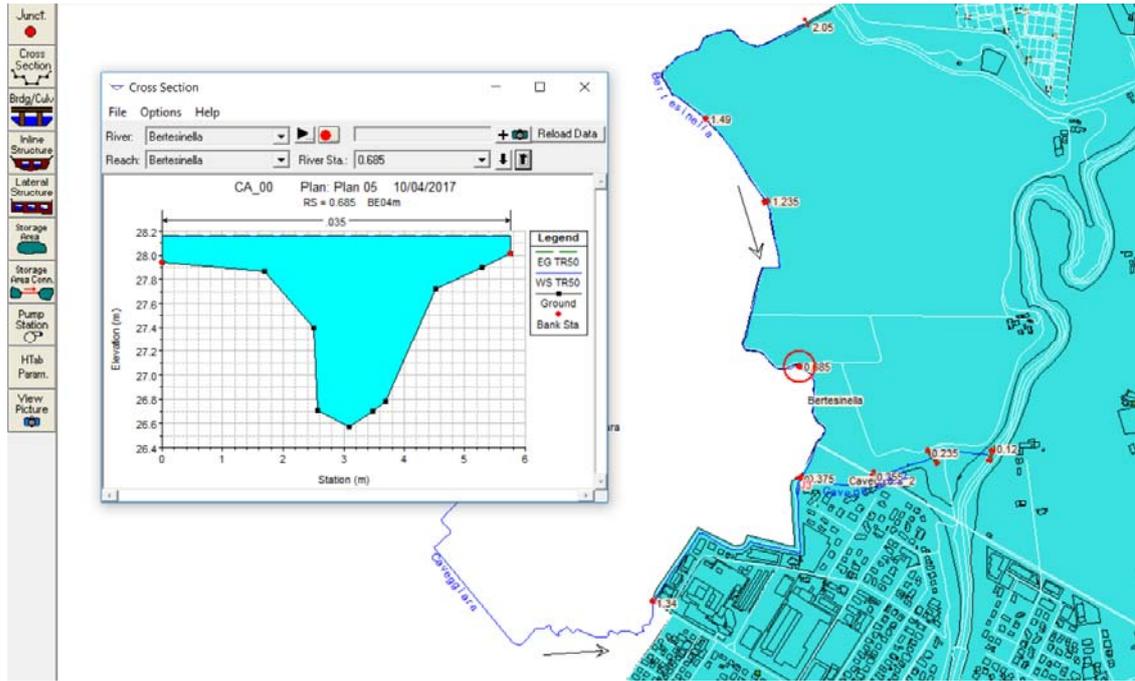
Il ponte stradale di Via Roma sulla Rognia Caveggiara risulta essere composto, presumibilmente da un successivo allargamento della carreggiata, da due diverse sezioni ad arco. In particolare, la sezione inferiore consente solamente un minimo passaggio per lo smaltimento delle acque nel regime ordinario. Di conseguenza, in condizioni di piena si

producono elevati tiranti a monte del manufatto con conseguente allagamento dei terreni circostanti.



*Sezione Manufatto Ponte via Roma sulla Roggia Caveggiara (sez. monte e valle dell'opera) –
Rilievo fotografico*

La Roggia Bertesinella che recapita nella Roggia Caveggiara a valle dell'attraversamento suddetto presenta una sezione di deflusso insufficiente al contenimento della piena cinquantennale.

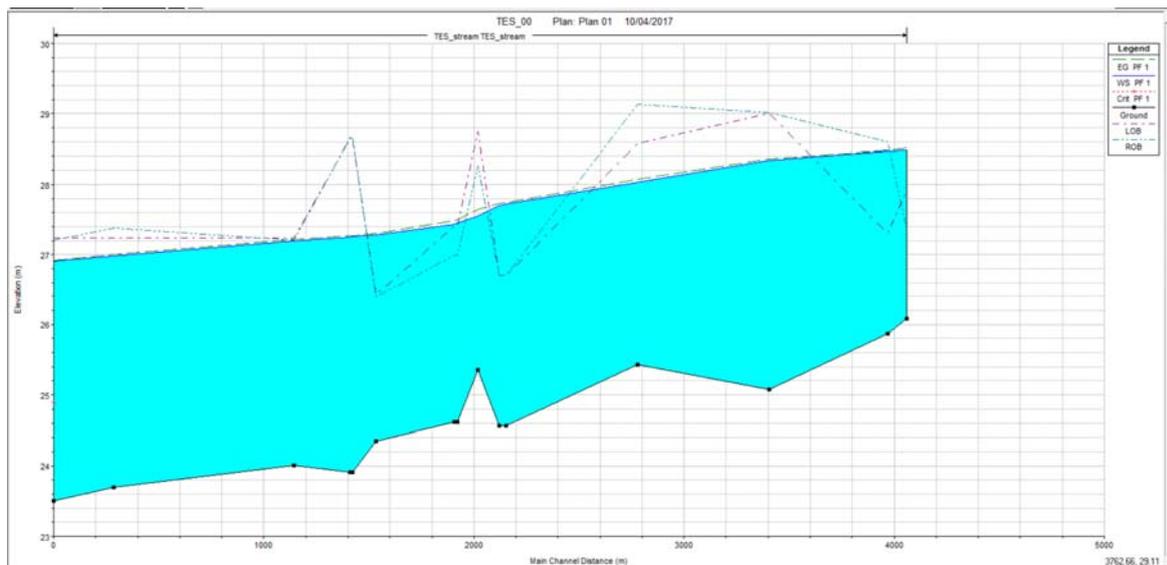


Roggia Bertesinella – Modello monodimensionale Tr 50.

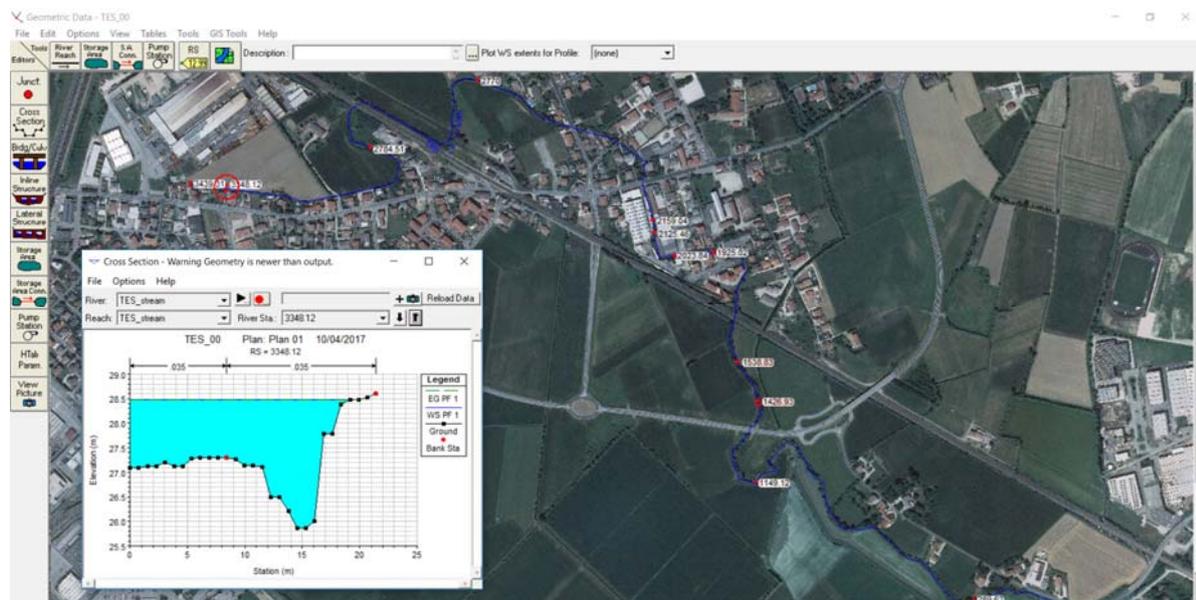
5.5 Roggia Tesinella

La Roggia Tesinella presenta una pendenza media compresa tra lo 0.1% e lo 0.05%.

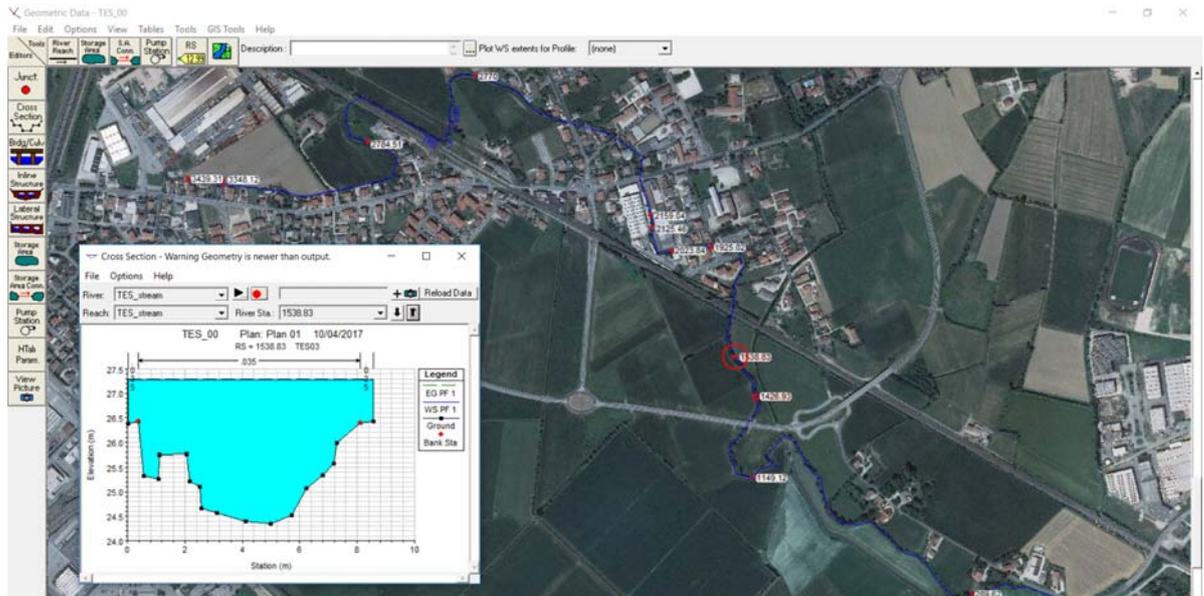
In alcuni tratti in adiacenza alle aree edificate di via Camisana e a valle della linea ferroviaria la sezione di deflusso si presenta insufficiente al contenimento dell'evento di piena cinquantennale.



Profilo di piena della Roggia Tesinella –Tr 50 anni.



Sezione del tratto di monte della Roggia Tesinella presso via Camisana - Tr 50 anni.

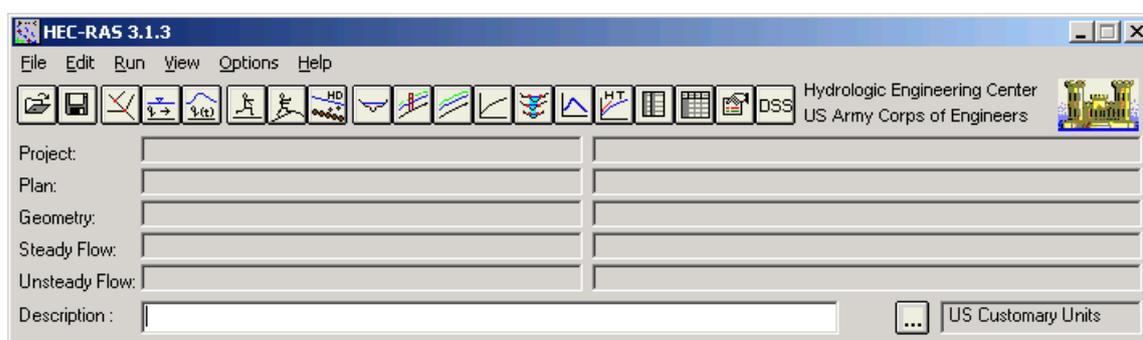


Sezione del tratto a valle della linea FFSS della Roggia Tesinella - Tr 50 anni.

APPENDICE A: IL MODELLO HEC RAS

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso. Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 (HEC, 1991) con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi nonché di una sofisticata interfaccia grafica operante in ambiente Windows.

In seguito, a partire dalla versione 3.0 (HEC, 2001), HEC-RAS è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico *UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels* (Robert L. Barkau, 1992 and HEC, 1997) che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico.



Finestra principale del modello HEC-RAS (vers. 3.1.3 Maggio 2005)

L'integrazione dei due modelli è avvenuta previa realizzazione di una particolare versione del modello UNET capace di condividere i medesimi algoritmi di analisi delle strutture idrauliche presenti nella libreria di HEC-RAS. In questo modo è stato possibile unificare la struttura dei dati che provvede alla definizione geometrica del corso d'acqua rendendo condivisibile la stessa interfaccia grafica sia per l'inserimento dati che per la visualizzazione dei risultati.

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti. Nonostante ciò la simulazione dei due fenomeni, essendo notevolmente diversi tra loro, avviene sfruttando principi teorici e schemi di calcolo differenti e pertanto si farà loro riferimento come a due distinti modelli idraulici.

A.1 Ipotesi di funzionamento e capacità di calcolo

Obiettivo principale del modello, utilizzato ipotizzando un regime di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene. Il suo utilizzo

nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni di propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di dispositivi artificiali.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo si basa sulle seguenti ipotesi semplificative:

moto gradualmente vario;

moto monodimensionale;

perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;

arginature e geometria del fondo fisse;

Nonostante la prima ipotesi è possibile valutare anche i fenomeni di moto fortemente variato a condizione di inserire opportune condizioni al contorno interne come descritto più avanti. L'errore dovuto all'imposizione di una perdita di fondo costante nel tratto compreso tra due sezioni adiacenti può essere limitata mediante l'introduzione di ulteriori sezioni ottenute per interpolazione.

Il modello simula il moto gradualmente vario monodimensionale in una rete di canali a pelo libero e può essere applicato per la soluzione di sistemi dalla geometria complessa che includono congiunzioni, biforcazioni, reti chiuse, ecc... Inoltre è consentita l'implementazione di numerose condizioni interne ed esterne che consentono la simulazione degli effetti dovuti alla presenza di paratoie, sistemi di pompaggio, ponti, salti di fondo, ecc..

Il modello è dotato di ulteriori algoritmi che permettono di indagare in dettaglio alcuni fenomeni di interesse nell'ingegneria idraulica. Possono essere studiati i fenomeni erosivi intorno alle pile e alle spalle dei ponti non plateati, valutati gli effetti della parziale ostruzione di una sezione di deflusso a causa dei depositi alluvionali (ipotizzati costanti durante una simulazione) e può essere considerata l'eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie liquida valutando i suoi effetti sul profilo idraulico. Inoltre, pur operando nell'ipotesi di monodimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Si descrivono di seguito i principali fondamenti teorici su cui si basa il modello limitandoci al modulo dedicato alla soluzione del problema del moto permanente.

A.2 Definizione dei parametri fondamentali

Il modello utilizza, all'interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell'idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.

A.2.1 Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile "tempo". Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata

sezione di un corso d'acqua, il moto è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un'onda di piena lungo un tronco d'alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui un modello di moto permanente può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un'onda di piena, sta nella lentezza con cui l'onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d'acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell'onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

A.2.2 Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell'acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l'area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D'altra parte è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell'energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto "gradualmente vario" quando le variazioni nell'altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo "rapidamente vario" se le variazioni sono brusche.

Quest'ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

A.2.3 Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico.

La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell'utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d'alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico.

Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell'indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (\text{Eq.1})$$

dove:

V = velocità media Q/A [m/s]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

D = raggio idraulico [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente.

Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

A.2.4 Altezza critica

L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato, rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto.

Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello.

L'energia specifica H di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità y e del termine $V^2/2g$:

$$H = y + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Eq.2})$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore α di Coriolis. Si ha quindi:

$$H = y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Eq.3})$$

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica.

La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo al quale ne consegue un valore di energia specifica dato dalla (3), che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H.

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione.

Se si verifica il caso di avere la presenza dei due regimi nel tronco oggetto di studio, diventa necessario suddividere il tronco in tratti in cui si abbia presenza di un solo regime di moto. Nel punto in cui avviene il passaggio tra un regime e l'altro, infatti, HEC-RAS non effettuerà il calcolo attraverso l'altezza critica, ma assumerà al limite un'altezza pari a quella critica.

A.3 Procedure di calcolo per simulazioni in moto permanente

Come già anticipato il regime di moto permanente ipotizza l'invariabilità nel tempo t della portata Q che attraversa una sezione d'alveo di area A. Di conseguenza tutti i parametri idraulici che definiscono le caratteristiche di una corrente risultano invariabili nel tempo. Il regime di moto resta comunque libero di modificarsi lungo la dimensione spaziale non escludendo la possibilità di assegnare portate diverse ai differenti tratti del corso d'acqua e di studiare gli effetti delle immissioni di portata laterali concentrate e distribuite.

La determinazione del profilo idraulico avviene risolvendo l'equazione del bilancio dell'energia espresso secondo la formulazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (\text{Eq.4})$$

S_f = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;

R = raggio idraulico;

n = coefficiente di scabrezza di Manning.

L'equazione (4) viene risolta per ogni tratto delimitato da due sezioni trasversali consecutive utilizzando lo "standard step method", tecnica numerica che, una volta nota l'energia in corrispondenza di una sezione, permette il calcolo della velocità e del tirante idraulico della sezione adiacente.

A.3.1 Determinazione della distribuzione del moto in una sezione trasversale

E' stato precedentemente introdotto il significato del coefficiente di Coriolis utilizzato per tener conto della non uniforme distribuzione spaziale della velocità all'interno di una stessa sezione trasversale d'alveo. Per la determinazione del suo valore nel caso di una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (\text{Eq.5})$$

$$Q = VA = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \quad (\text{Eq.6})$$

Ponendo quindi:

$$K = \text{trasporto} = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (\text{Eq.7})$$

si ha che:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (\text{Eq.8})$$

che viene scritta per ognuna delle i-esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico R di una subarea è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due subaree viene trascurato.

Tramite alcuni passaggi si trova che:

$$\alpha = \frac{(\sum A_i)^2 (\sum K_i^3 / A_i^2)}{(\sum K_i)^3} \quad (\text{Eq.9})$$

A.3.2 Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

A.3.3 Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

A.3.3.A Bilancio dell'energia

La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se θ rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Eq.10})$$

Il termine $\cos \theta$ è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata, $\cos \theta$ è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e \quad (\text{Eq.11})$$

o in altri termini:

$$E_1 = E_2 + h_e \quad (\text{Eq.12})$$

L'energia totale nella sezione di monte H_1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H_2 più il termine di perdita di energia h_e . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

A.3.3.B Perdite di energia

In HEC-RAS la perdita totale di energia h_e è considerata composta da due componenti: una componente di attrito h_f , dovuta alla scabrezza delle superfici e calcolata secondo l'equazione di Manning, e una componente h_o , che rappresenta le altre perdite, soprattutto dovute a contrazioni ed espansioni.

Il programma determina se il flusso è in contrazione o espansione sottraendo il termine cinetico $V^2/2g$ alla sezione a valle dal termine cinetico alla sezione a monte. Se la differenza risulta un numero negativo, il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Il programma, sulla base di questo controllo, applica un coefficiente appropriato.

Se consideriamo ora un tratto di canale, la pendenza S_f della linea dell'energia in corrispondenza a una determinata sezione può essere determinata con l'equazione di Manning, inserendo la quota del pelo libero, la portata, il coefficiente di rugosità n e la geometria della sezione. L'energia persa a causa dell'attrito tra le sezioni a monte e a valle è calcolata con il seguente integrale:

$$\int_{x_2}^{x_1} S_f dx = \bar{S}_f L \quad (\text{Eq.13})$$

dove \bar{S}_f è la perdita specifica per attrito e L è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito h_f può essere ottenuta moltiplicando il termine \bar{S}_f per la lunghezza L del tronco tra le due sezioni.

Ci sono quattro equazioni in HEC-RAS per l'approssimazione delle perdite tra due sezioni e sono le seguenti:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad \text{trasporto medio} \quad (\text{Eq.14})$$

$$\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2} \quad \text{attrito specifico medio} \quad (\text{Eq.15})$$

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}} \quad \text{media geometrica attrito specifico} \quad (\text{Eq.16})$$

$$\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}} \quad \text{media armonica attrito specifico} \quad (\text{Eq.17})$$

se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

A.3.4 Standard step method

Per illustrare il metodo "standard step method" utilizzato da HEC-RAS si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell'energia fra le sezioni U di monte e D di valle:

$$WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e \quad (\text{Eq.18})$$

$$WS_u = Z_u + y_u \quad (\text{Eq.19})$$

$$WS_d = Z_d + y_d \quad (\text{Eq.20})$$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono WS_u , V_u e h_e . V_u è desumibile direttamente dal valore di WS_u , per cui le incognite possono essere ridotte a due.

Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da $h_e = h_f + h_o$, per poter ottenere una soluzione. L'irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo "trail and error", per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

Viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi, $DWS = (Q/K)^2 L$, dove DWS rappresenta la variazione nella quota del pelo libero, Q è la portata, K il termine di trasporto e L la distanza dalla sezione a monte;

Sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;

Con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di h_e ;

Con il valore calcolato di h_e , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;

Viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche (passaggio tra regime di moto subcritico e supercritico).

APPENDICE B: IL MODELLO 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.

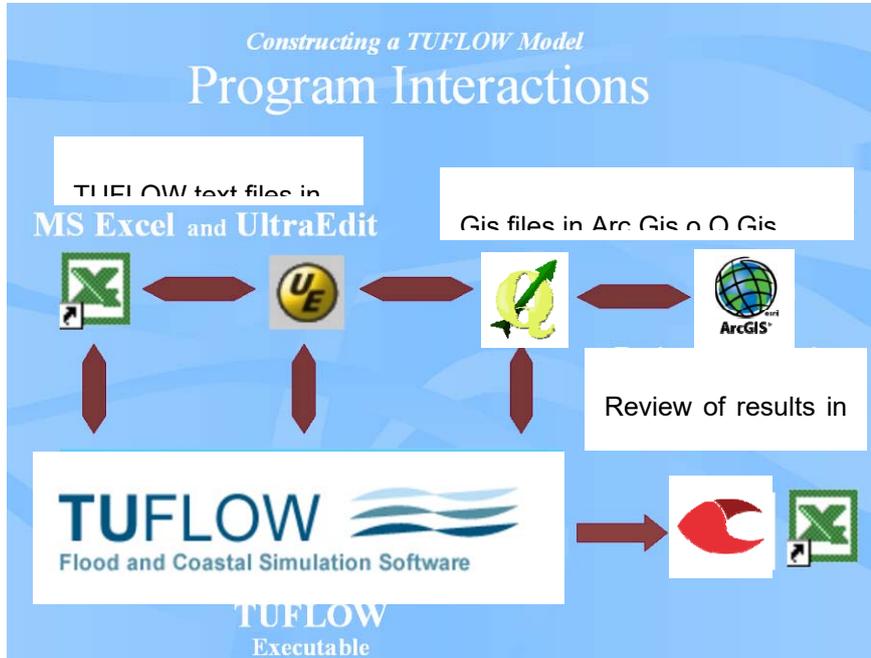
Più precisamente, nel caso in cui la capacità di deflusso dell'alveo schematizzato in modo monodimensionale si dimostri insufficiente a contenere la portata in arrivo, il volume in eccesso viene trasferito mediante opportuni link, istante per istante, al territorio latitante che viene rappresentato attraverso 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 .shp 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 tipo il software gis Qgis.
- La plugin di Q gis Crayfish per la visualizzazione dei risultati e la creazione di animazioni.
- Un editor di testi
- Un foglio di calcolo elettronico del tipo di Microsoft Excel.

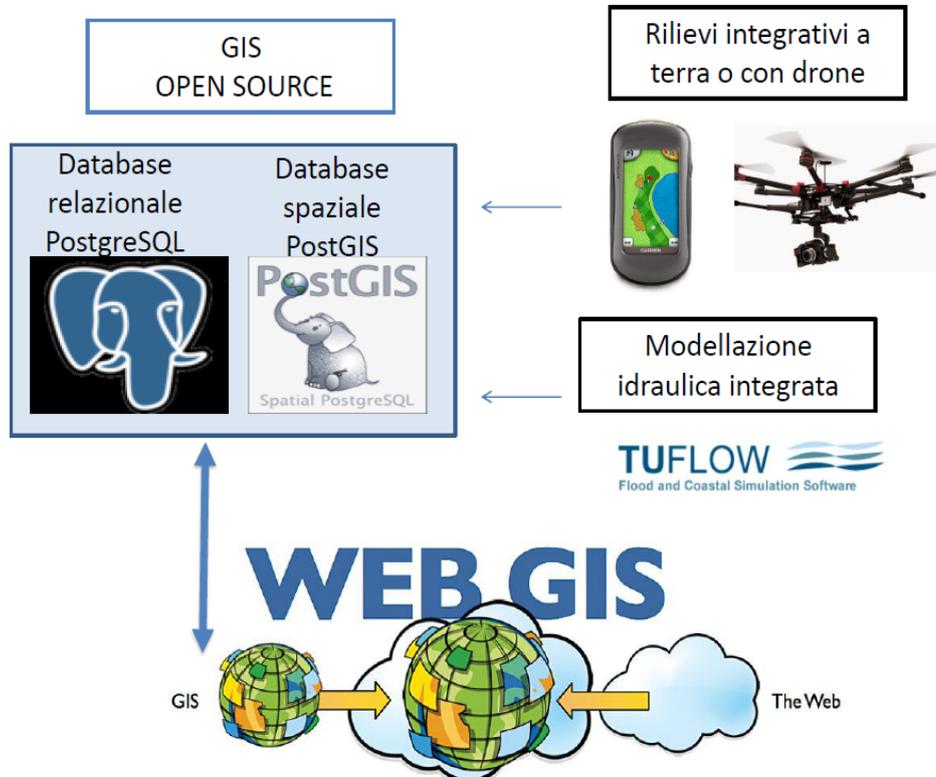
La combinazione dei programmi sopra descritta offre un sistema per la modellazione idraulica 2D/1D molto potente. L'approccio di tipo GIS offre molti benefici, alcuni dei quali sono di seguito elencati:

- La possibilità di lavorare direttamente in un ambiente "aperto" come il GIS e il Web 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;
- Maggior facilità di comprensione del processo di modellazione da parte del modellista, del cliente e dei portatori di interesse;
- Possibilità di fornire al cliente tutti i dati e i risultati in formato GIS, Database spaziale o Web gis;



Schema delle interazioni tra i programmi utilizzati per l'implementazione del modello



Schema delle interazioni tra i programmi utilizzati per la pubblicazione dei dati

B.1 TUFLOW

TUFLOW è un programma per la simulazione di deflussi mono e bi dimensionali 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 della 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;

c_f = coefficiente di Coriolis;

C = coefficiente di Chezy

μ = coefficiente di diffusione orizzontale della quantità di moto;

p = pressione atmosferica;

ρ = densità dell'acqua;

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

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;

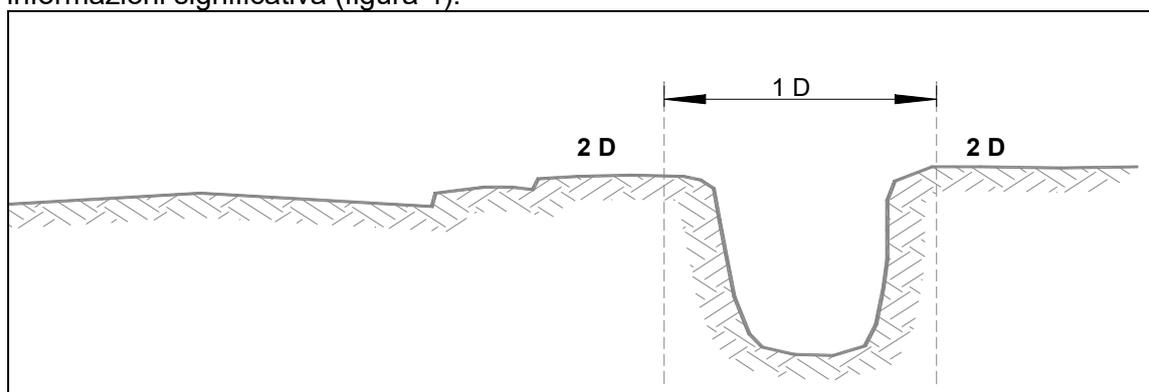
t = tempo;

- x = distanza;
 A = area della sezione di deflusso;
 B = larghezza della lama d'acqua;
- $$k = \text{coefficiente per le perdite continue} = \frac{gn^2}{R^{4/3}}$$
- n = coefficiente di scabrezza di Manning;
 R = raggio idraulico
 g = accelerazione di gravità;

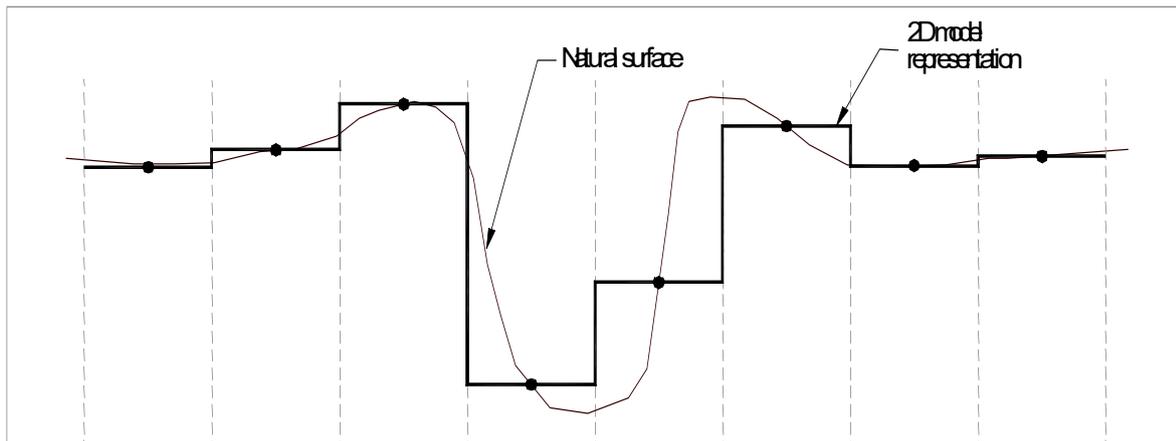
La soluzione monodimensionale in TUFLOW usa la tecnica di soluzione alle differenze finite, di secondo ordine, di RungeKutta (Morrison and Smith, 1978) per le equazioni 1D SWE di continuità e conservazione della quantità di moto come mostrato dalle seguenti equazioni. In aggiunta ai canali a pelo libero,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

B.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 (figura 3). 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 4).

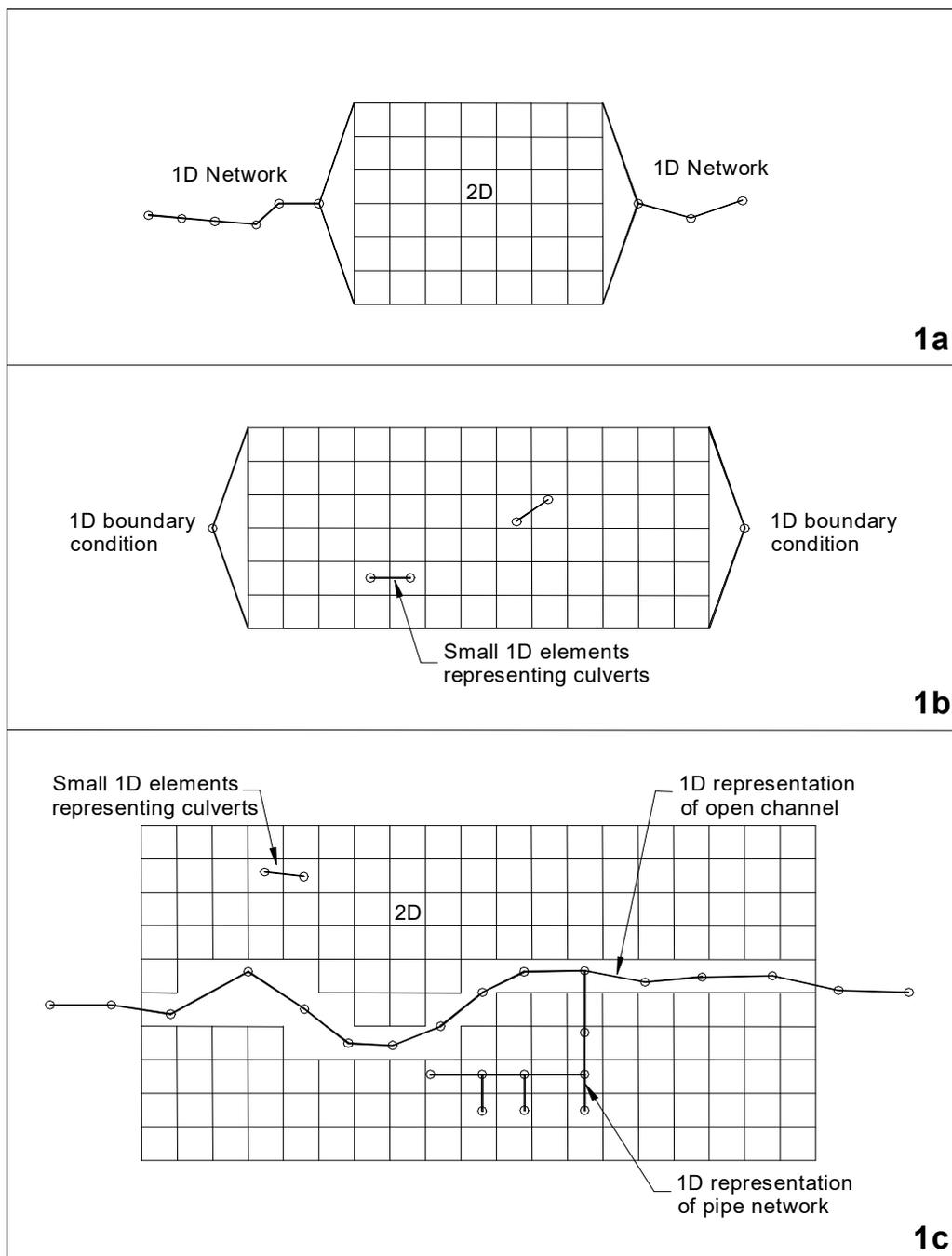


Esempio di modellazione mono-bidimensionale



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

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 5 sono riportati gli schemi dei possibili meccanismi di link per l'accoppiamento dei due modelli (1D/2D).

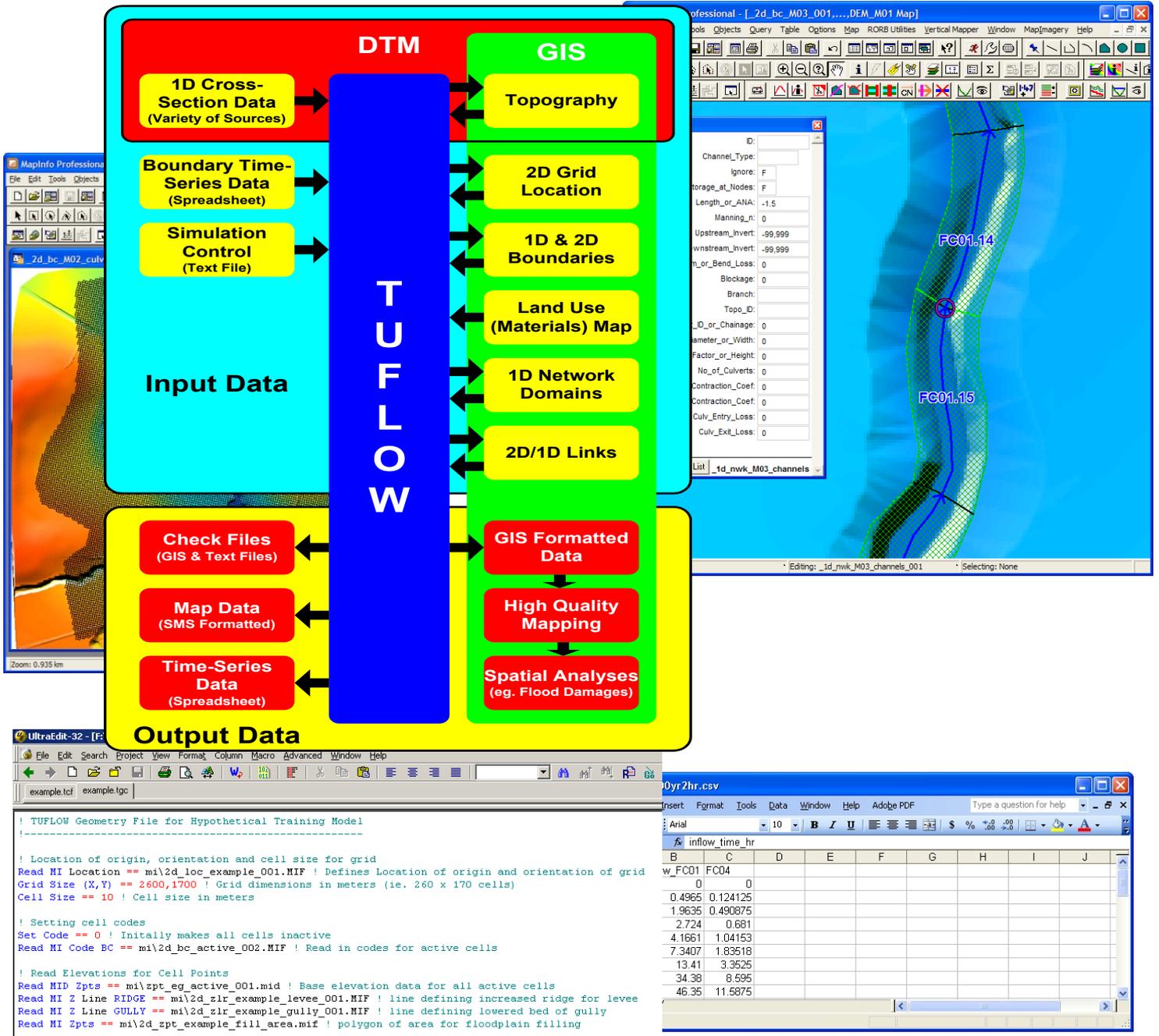


Schemi di link tra il modello bidimensionale TUFLOW ed il modello monodimensionale ESTRY

B.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.



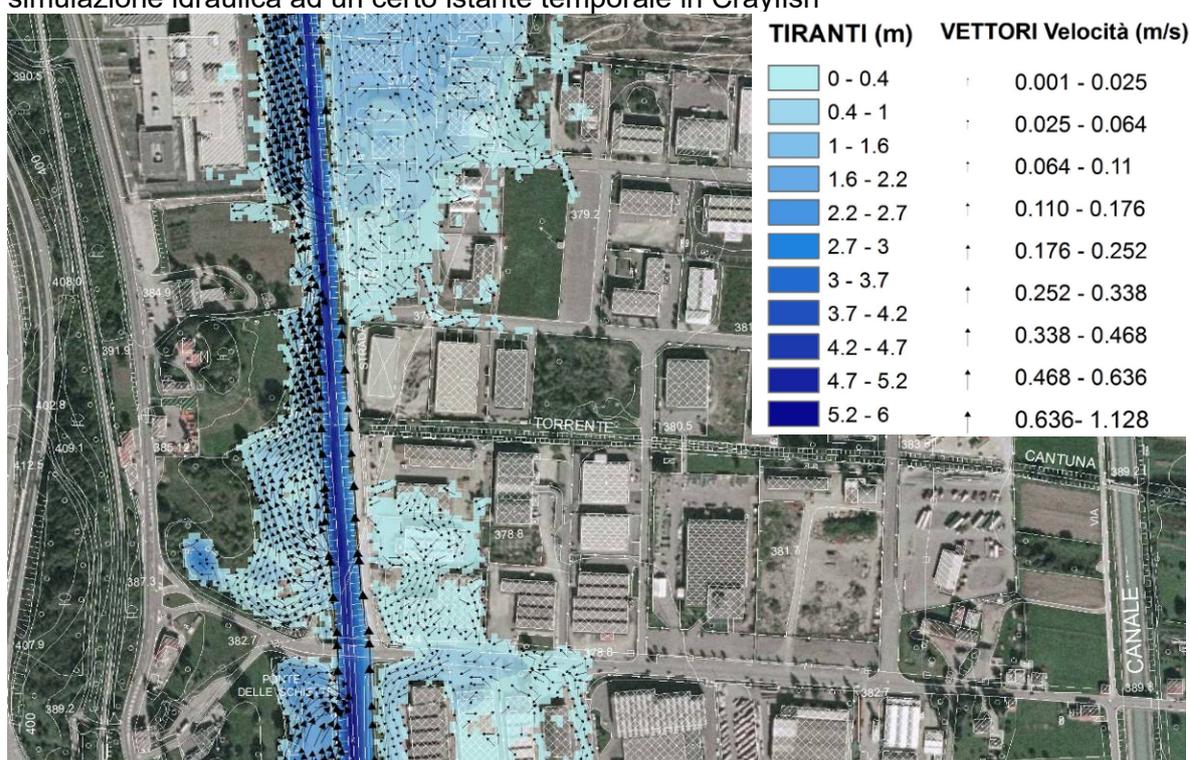
Struttura del software

B.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 dalla plug in Crayfish¹ di Q Gis in ambiente Gis Open Source per visualizzare i risultati. Le animazioni vengono generate da Crayfish.
- Files .csv per le serie temporali che possono essere visualizzati in Microsoft Excel.
- Files .shp 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 Crayfish



Esempio di visualizzazione dei risultati di simulazione idraulica mono-bidimensionale

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

B.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

¹ <http://www.lutraconsulting.co.uk/products/crayfish/>

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.

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.

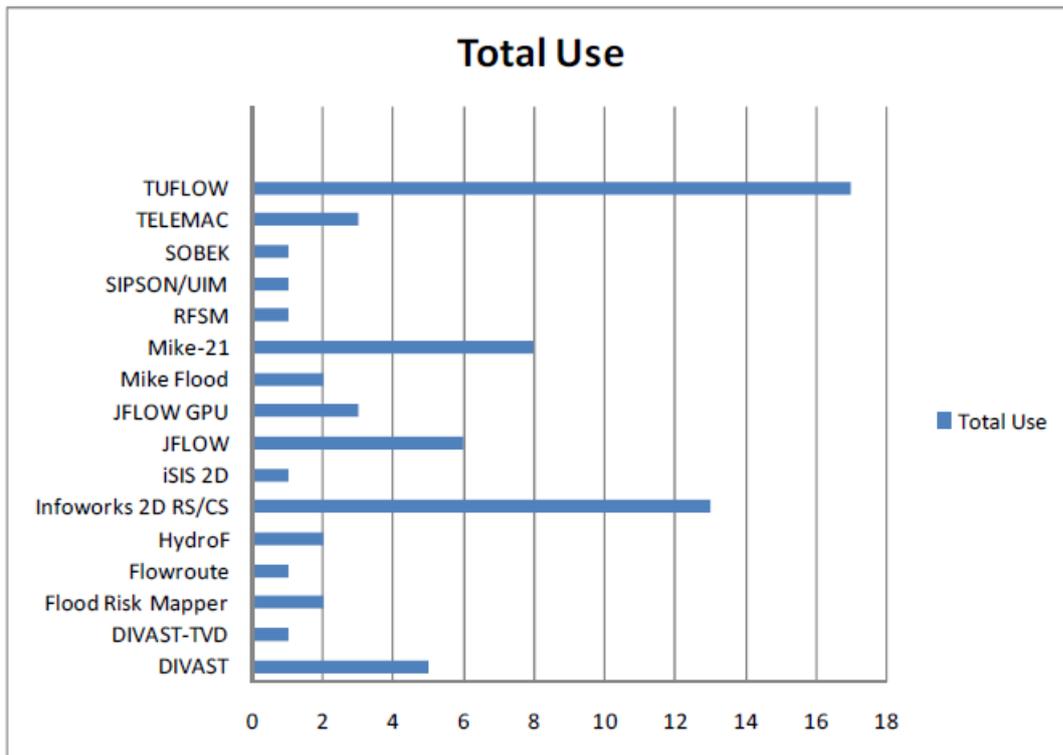


Figure 3.1: Number of respondents using each 2D flood inundation modelling package identified by questionnaire survey

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.

B.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%20D%20and%20I%20Hydrodynamic%20Modelling,%20Syme,%201991.pdf>
2. <http://www.tuflow.com/Downloads/Flow%20Through%20an%20Abrupt%20Constriction%20-%20%20D%20Hydrodynamic%20Performance%20and%20Influence%20of%20Spatial%20Resolution,%20Barton,%202001.pdf>
3. <http://www.tuflow.com/Downloads/Modelling%20of%20Bends%20and%20Hydraulic%20Structures%20in%20a%20D%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.Lis%20more.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-%20D%20or%20Not%20D%20-%20An%20Australian%20Perspective.Syme.UK%20DEFRA%202006.pdf>
9. <http://www.tuflow.com/Downloads/Publications/2008.09%20-%20D%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://www.tuflow.com/Download/Publications/2012.06%20UK%20EA%20D%20Benchmarking%20Results.TUFLOW%20Products.pdf>

Inoltre si può fare riferimento alla serie di modelli demo presentati alla Flood Managers Association (FMA) Conference in Sacramento, USA, nel 2012. L'obiettivo dell'evento era quello di stabilire la differenza sui risultati in termini di aree allagabili utilizzando diversi modelli idraulici 2D. WBM ha presentato 3 demo scaricabili dai seguenti link

[Challenge 1](#): An urban environment with the main channel concrete lined with numerous structures.

[Challenge 2](#): A coastal river and floodplain with two exits to the ocean during a flood.

Challenge 3: A levied river within an alluvial fan in an arid, irrigated area.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2007) – Progetto di Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione - Comitato Istituzionale 09.11/2012;

Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione del Veneto nel giorno 26 settembre 2007: *Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*"

P.T.R.C. della Regione Veneto, B.U.R. n. 93, anno XXIII, del 24 settembre 1992.

Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) della Provincia di Treviso , 2010.

Piano di Tutela delle Acque (P.T.A.)

Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio Rurale" Consorzio di Bonifica Piave.

Soil Conservation Service (1972): National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. U.S