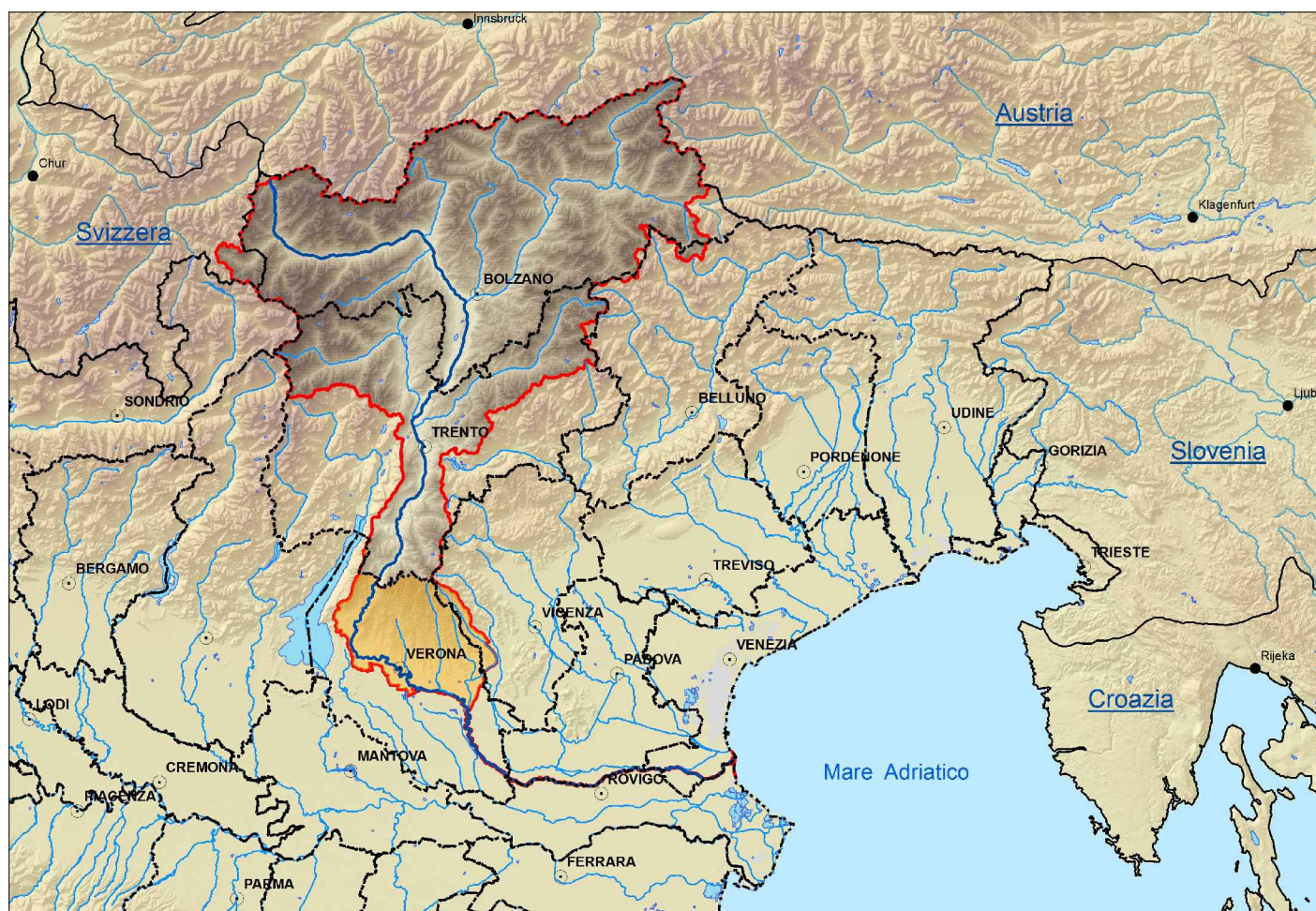




Autorità di Bacino del Fiume Adige

PIANO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO BACINO DELL'ADIGE - REGIONE DEL VENETO

Adottato dal Comitato Istituzionale con deliberazione n. 01/2005 del 15 febbraio 2005
Approvato con D.P.C.M. 27 aprile 2006 - G. U. n. 245 del 20 ottobre 2006



2ª VARIANTE

RELAZIONE TECNICA

AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA PER IL TORRENTE SQUARANTO (VR)

revisione	data	file	motivo
0	giugno 2012	relazione_tecnica.doc	esamissione per esame del Comitato Tecnico
2	novembre 2012	relazione_tecnica.doc	adozione del Comitato Istituzionale con delibera n. 1/2012 del 09/11/2012
3	dicembre 2014	relazione_tecnica.doc	adozione definitiva del Comitato Istituzionale con delibera n. 1/2014 del 22/12/2014



INDICE

1. PREMESSA	1
2. IL SISTEMA SQUARANTO - FIBBIO	4
2.1 INQUADRAMENTO	4
2.2 VINCOLI ESISTENTI ED ESIGENZA DELLA VARIANTE	5
2.3 EVENTI DI PIENA STORICI	6
3. DATI DI BASE	8
3.1 RILIEVO TOPOGRAFICO	8
3.1.1 <i>Strumentazione utilizzata</i>	8
3.2 DTM	8
3.2.1 <i>DTM del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare</i>	8
3.2.2 <i>Integrazione DTM del MATTM</i>	10
3.3 IDROLOGIA	12
4. ELABORAZIONI	14
4.1 MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	14
4.1.1 <i>Modello monodimensionale</i>	14
4.1.2 <i>Modello bi-dimensionale</i>	15
4.1.3 <i>Parametri significativi del modello</i>	15
4.2 RISULTATI	15
4.2.1 <i>Modello mono-dimensionale</i>	15
4.2.2 <i>Modello bi-dimensionale sintesi per T_r 30 anni</i>	18
4.2.3 <i>Modello bi-dimensionale sintesi per T_r 100 anni</i>	19
4.2.4 <i>Modello bi-dimensionale sintesi per T_r 200 anni</i>	20
5. PERIMETRAZIONE PROPOSTA	21
5.1 CRITERI VIGENTI PER LE PERIMETRAZIONI	21
5.2 INTEGRAZIONE CRITERI PER LE "ZONE DI ATTENZIONE"	22
5.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI	22
5.3.1 <i>Output del modello di calcolo</i>	22
5.3.2 <i>Simulazione di una rotta arginale</i>	25
5.3.1 <i>Raccordo con la perimetrazione esistente</i>	28
5.4 PERIMETRAZIONE PROPOSTA	29
6. PROPOSTE DI INTERVENTO	30
APPENDICE	35
FONTI STORICHE	35
CONTROLLI DI ACCETTABILITÀ DEL DTM UTILIZZATO	40
IL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	43
<i>Modello monodimensionale</i>	43
<i>Modello bi-dimensionale</i>	48
<i>Parametri significativi del modello</i>	51



1. PREMESSA

L'Autorità di Bacino del Fiume Adige, ai sensi del D.L. 180/98 (Decreto Sarno) convertito con modificazioni e integrazioni con la Legge n. 267/98 più volte modificata, ha redatto e quindi adottato, nell'anno 2001, il *Progetto di Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del bacino del fiume Adige - Regione del Veneto* (di seguito anche PAI). Nell'agosto 2002 è stato anche adottato il *Progetto di Variante del Piano* stesso che estendeva l'ambito di pianificazione a corsi d'acqua minori in destra e sinistra orografica.

Detto Progetto di Piano è stato definitivamente adottato, dopo le conferenze programmatiche, dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige con delibera n. 1 del 15/02/2005 ai sensi dell'art. 1, comma 1, della legge 3 agosto 1998, n. 267, e della legge 11 dicembre 2000, n. 365.

Tale Piano Stralcio, infine, al termine del suo iter amministrativo è stato approvato con D.P.C.M. 27 aprile 2006.

Gli obiettivi del PAI nelle aree perimetrate sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- evitare l'aumento degli esistenti livelli di pericolo o di rischio ed impedire interventi capaci di compromettere la sistemazione idrogeologica a regime del bacino;
- tutelare i beni e gli interessi riconosciuti come vulnerabili;
- regolare le attività antropiche in modo da mantenere coerenza con le finalità di cui al punto precedente, subordinando normalmente a studi di compatibilità idrogeologica tutti gli interventi consentiti nelle aree a rischio maggiore;
- ricercare un coordinamento adeguato con gli strumenti adottati o approvati di pianificazione territoriale nella Regione del Veneto, recependo a tal fine anche le indicazioni provenienti dalla Conferenza programmatica di cui all'articolo 1-bis, comma 3, del decreto legge n. 279/2000 convertito dalla legge n. 365/2000;
- costruire una base informativa ed istruttoria per i piani urgenti di emergenza di protezione civile ai sensi dell'articolo 1, comma 4, del decreto legge n. 180/1998 convertito dalla legge n. 267/1998, e successive modifiche ed integrazioni, ed inoltre per i piani di previsione e prevenzione previsti dall'articolo 108 del decreto legislativo n. 112/1998 e successive modifiche ed integrazioni.

I contenuti del PAI, per il territorio considerato, sono sintetizzabili nei seguenti punti:

- ✓ l'individuazione delle aree vulnerabili per esondazioni, frane o colate detritiche;
- ✓ gli elementi a rischio rilevati in ciascuna area vulnerabile, nonché la valutazione dei relativi danni potenziali con riferimento particolare all'incolumità delle persone, alla sicurezza delle infrastrutture e delle altre opere pubbliche o di interesse pubblico, allo svolgimento delle attività economiche, alla conservazione del patrimonio ambientale e culturale;
- ✓ la perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica;

- ✓ la perimetrazione delle aree a rischio idraulico, da frana e da colata detritica;
- ✓ le opportune indicazioni relative a tipologia e programmazione preliminare degli interventi di mitigazione o eliminazione dei rischi;
- ✓ le norme di attuazione e le prescrizioni per le aree di pericolosità idraulica e di pericolosità da frana e da colata detritica.

Le modalità e le procedure per l'aggiornamento del PAI e la elaborazione di varianti sono indicate all'articolo 28 delle norme di attuazione che di seguito si trascrive:

ARTICOLO 28 *Aggiornamento e varianti del piano*

1. **Fermo restando quanto previsto dall'articolo 5 (NB: qui è prevista la possibilità di disporre varianti non formali di piano che sono adottate, previo parere favorevole del Comitato tecnico, con atto del Segretario Generale e si prevede anche che tale atto, in attesa della ratifica del Comitato istituzionale, ha effetto di variante del piano stralcio)** la perimetrazione delle aree di rischio e di pericolo idrogeologico operata dal piano stralcio può essere modificata ed integrata in variante, con aumento o diminuzione del numero di aree perimetrate ovvero con revisione dei perimetri delle singole aree, con le modalità impiegate per l'adozione e l'approvazione del piano.

2. Le varianti del piano stralcio possono essere richieste tra l'altro da:

- a) indagini a scala di maggior dettaglio;
- b) istanze di soggetti pubblici e privati corredate da documentazione tecnico-scientifica e rappresentazione cartografica idonea;
- c) nuovi eventi idrogeologici;
- d) nuove emergenze ambientali;
- e) nuove conoscenze provenienti da studi scientifici, tecnici e storici ovvero dai risultati delle attività di monitoraggio del piano;
- f) variazioni significative delle condizioni di rischio o di pericolo, anche in funzione del completamento degli interventi di messa in sicurezza delle aree interessate.

...

Dopo l'approvazione con D.P.C.M. 27 aprile 2006 sono già state adottate le seguenti varianti del Piano:

- modifica delle perimetrazioni di aree di pericolosità in Comune di San Martino Buon Albergo (VR) afferenti al torrente Fibbio per il tratto compreso tra l'immissione del torrente Squaranto e l'attraversamento dell'autostrada A4 Milano-Venezia (delibera C.I. n. 03/2008 del 24 novembre 2008 – VARIANTE NON FORMALE);
- modifica perimetrazione di aree di pericolosità lungo il torrente Tasso, afferenti al torrente Tasso per il tratto

compreso tra il Ponte delle Acque in Caprino e l'attraversamento dell'autostrada A22 del Brennero nei Comuni di Affi, Caprino Veronese, Costermano e Rivoli Veronese, in provincia di Verona (delibera del C.I. n. 07/2008 del 24 novembre 2008 – VARIANTE NON FORMALE);

- “Variante al piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico, approvato con DPCM 27 aprile 2006, per le aree in dissesto da versante”, adottata con Delibera del C.I. n. 2/2010 del 21 dicembre 2010 ed approvata con DPCM 13 dicembre 2011, e contenente:
 - l'individuazione e la perimetrazione di aree a pericolo da frana e da colata detritica;
 - le opportune indicazioni relative a tipologia e programmazione preliminare degli interventi di mitigazione o eliminazione del pericolo;
 - le norme di attuazione e le prescrizioni di piano.

Con tale variante, si è ritenuto opportuno affinare anche per i fenomeni di dissesto da versante le elaborazioni del piano individuando azioni strategiche nonché prescrizioni di piano di natura preventiva e connessi al riconoscimento e alla perimetrazione di aree in cui - a prescindere dalla presenza, dalla consistenza e dal valore di elementi a rischio - esistono comunque pericoli di natura idrogeologica di vario grado.

Con la variante che si propone nel presente progetto si considera ora il sistema Squaranto – Fibbio per il quale la possibilità di svolgere indagini con maggior dettaglio, unitamente a nuove conoscenze provenienti da studi tecnici e storici, hanno evidenziato la necessità di un approfondimento secondo i criteri e con le finalità del PAI.

Si ricorda, a tal proposito, che la scelta saliente del piano è stata quella di inquadrare - ove possibile in funzione dello stato di avanzamento delle analisi - l'individuazione e la disciplina delle aree di pericolosità. In particolare il piano ha delimitato e normato quattro classi di aree di pericolosità idraulica e di pericolosità da frana e colata detritica.

Nelle aree di pericolosità idraulica, in particolare, il piano persegue l'obiettivo di evitare la nascita di nuove condizioni e situazioni di rischio attraverso misure di carattere preventivo relative alle modalità di utilizzazione del territorio.

Per quanto riguarda la metodologia per la perimetrazione delle aree allagabili si fa riferimento:

- ai risultati ottenuti in relazione alla configurazione idraulica in alveo per effetto degli eventi di piena di 30, 100 e 200 anni;
- alla morfologia del piano campagna nella regione prospiciente il corso d'acqua.

Relativamente a questi due punti, il modello matematico di propagazione utilizzato ha consentito di effettuare simulazioni di eventi di piena accoppiando elementi monodimensionali, che schematizzano i corsi d'acqua, con elementi bidimensionali, cui corrispondono le superfici latitanti i corsi d'acqua in cui si spagliano le acque considerando la sola ipotesi di sormonto arginale.

2. IL SISTEMA SQUARANTO - FIBBIO

2.1 INQUADRAMENTO

Il vajo Squaranto è il collettore di un bacino collinare avente una superficie pari a circa 100 km², collocato tra i monti Lessini di Roverè Veronese e la pianura fra Verona e San Bonifacio, presso Montorio. Confina a ovest con il bacino del Progno di Valpantena e a est con il Progno di Mezzane e il Progno d'Illassi. Tutti questi bacini sono disposti da nord a sud e raccolgono le acque della Lessinia convogliandole in Adige tramite collettori pensili nel loro tratto di pianura. Il bacino dello Squaranto appartiene a questa tipologia, accentuando la caratteristica forma stretta ed allungata. La rete di scolo è costituita essenzialmente dall'asta principale, che si sviluppa per circa 30 km dalla vetta del bacino ubicata presso il monte Sparavieri (quota 1797 m).

La caratterizzazione geomorfologica del bacino si basa sulla cartografia a disposizione, procedendo innanzitutto all'individuazione del bacino imbrifero e delle curve di livello di quota pari a multipli di 100 m. Quindi si individuano le classi altimetriche e si traccia la curva ipsografica, ovvero il diagramma che riporta in ordinata le quote e in ascissa le aree sopra la quota stessa. Tale curva, che descrive l'andamento altimetrico del bacino, mostra una omogenea distribuzione fra la vetta e la sezione di chiusura (ubicata a 50 m s.l.m.), con l'assenza di zone pianeggianti. Il valore medio del grafico, l'altitudine media del bacino, risulta pari a 804,9 m su 50.

TORRENTE SQUARANTO. TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI GEOMORFOLOGICI			
Superficie bacino	S	100	km ²
Quota max bacino	H _{MAX}	1797	m s.l.m.
Quota Sezione di chiusura		50	m s.l.m.
Altitudine media (risp. sez. chiusura)	H _m	804,9	m
Larghezza massima del bacino	B _{MAX}	5	km
Perimetro del bacino	P	70	km
Lunghezza dell'asta principale	L	30	km
Pendenza media " "	i = H _i /L	5%	
Tempo di corrivazione (formula di Giandotti).	$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m}}$	4	ore
coefficiente di forma (=1 bacino circolare)	$F = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$	1.96	

Il profilo longitudinale dello Squaranto individuato sulla base del recente **Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale** del *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare* è rappresentato in Figura 1. I 18 Km investigati mostrano pendenze iniziali dell'ordine del 5% che si riducono al 2% nell'inizio del tratto che sarà oggetto di modellazione. Il tratto modellato presenta pendenze che vanno da un massimo del 2% fino allo 0,5%.

Il tratto di studio è stato quasi completamente pedonato preliminarmente alla fase di modellazione e in tale occasione sono state rilevate (soprattutto nei tratti a pendenza più elevata) numerose briglie a testimonianza dei lavori di

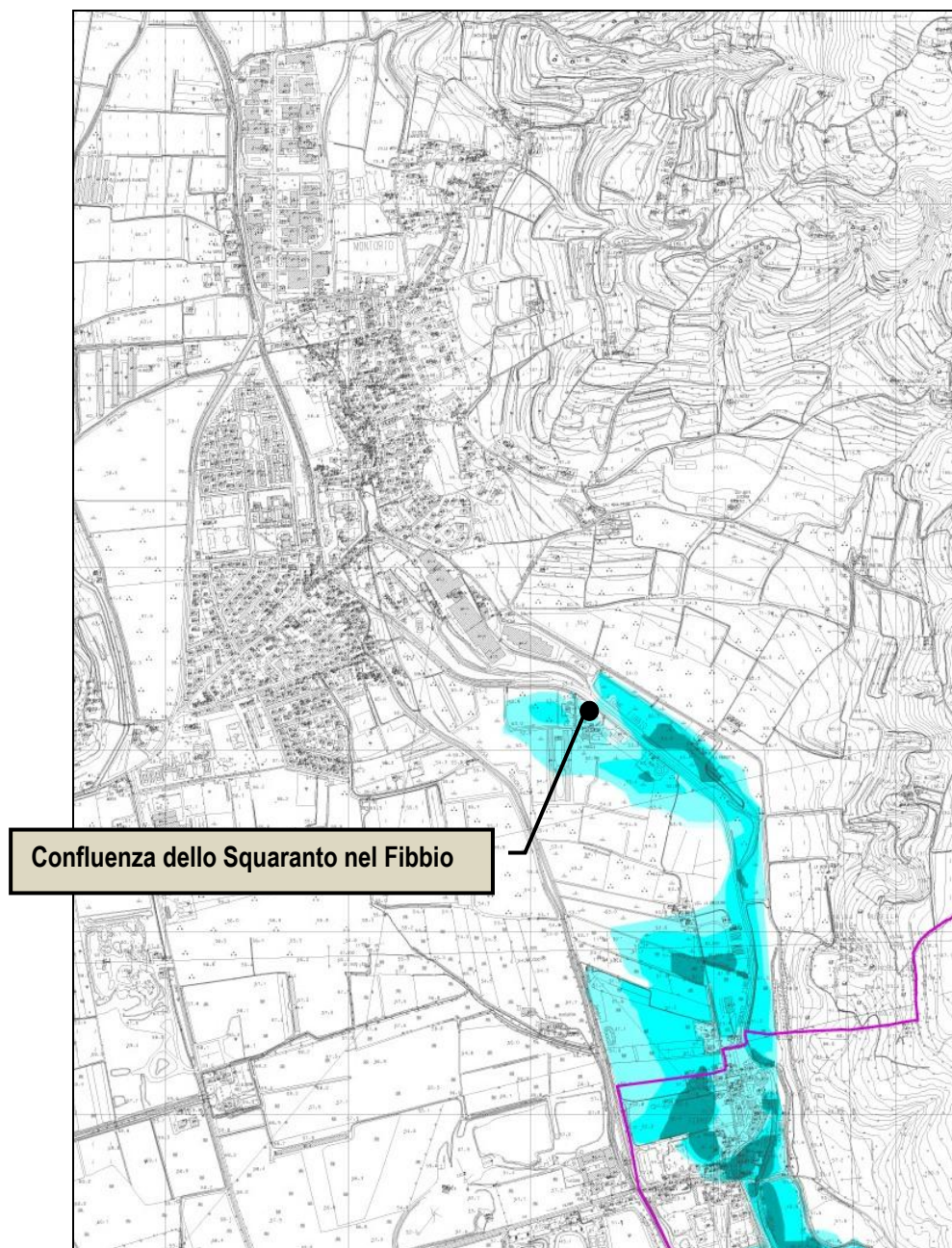


Figura 2 - stralcio della Tavola A.4.36/I del P.A.I.

2.3 *EVENTI DI PIENA STORICI*

La ricerca mirata recentemente svolta su accadimenti verificatisi nel passato ha consentito la ricostruzione di un quadro aggiornato rispetto a quanto considerato nel PAI del 2005.

Si riporta qui di seguito una lista dei principali eventi di piena di cui è stato possibile avere notizie.

Eventi di piena più antichi registrati sullo Squaranto:

- Anno 1536



- Anno 1573
- Anno 1613
- Anno 1845

Nel XX secolo:

- Anno 1906 collasso argine destro a Montorio con inondazioni a Mizzole e Pigozzo
- Anno 1911 (6 giugno) rotta argine sinistro a Montorio con notevole deposito di sedimenti
- Anno 1934 (24 agosto) una grande piena cambiò il volto di Montorio - sormonto arginale e numerose rotte
- Anno 1951 (15 novembre) disastrosa alluvione nel vajo di Squaranto
- Anno 1953 (12 luglio) esondazioni a Pigozzo con trasporto di sedimenti
- Anno 1986 (20 giugno) rotta argine sinistro a Montorio con notevole deposito di sedimenti

Purtroppo di nessuno di questi eventi estremi si dispone di alcun dato, né di pioggia, né di portata.

Per un dettaglio maggiore di rimanda all'appendice al presente documento che riporta un estratto del libro "Le acque di Montorio...un patrimonio da conoscere – Comitato Fossi di Montorio".

3. DATI DI BASE

3.1 RILIEVO TOPOGRAFICO

Per costruire un modello matematico del corso acqua il più possibile rispondente alla realtà del territorio è stato pianificato un rilievo topografico finalizzato all'inserimento delle sezioni nel modello di calcolo.

Il rilievo è stato effettuato dal personale della segreteria tecnica dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige con l'ausilio della strumentazione GPS in dotazione.

3.1.1 Strumentazione utilizzata

La strumentazione GPS utilizzata è stata il TOPCON HiPer II con il controller FC250 che hanno consentito la rilevazione dei punti per la successiva elaborazione di sezioni e superfici.



Figura 3 – strumentazione GPS

L' HiPer II è un ricevitore GNSS doppia frequenza facilmente utilizzabile fornendo agli utenti la massima flessibilità per scegliere le opzioni di sistema di cui necessitano.

3.2 DTM

3.2.1 DTM del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Il DTM (**D**igital **T**errain **M**odel) utilizzato per le modellazioni è stato fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e realizzato nell'ambito del **Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale** (PST-A). Il PST-A, ai sensi della legge 179 del 31 luglio 2002 art. 27, è un Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Ministero della Difesa (MD) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome ed ha l'obiettivo generale di generare e rendere disponibili e condivisibili, all'intero comparto della Pubblica Amministrazione, le informazioni

territoriali indispensabili per la creazione di elaborati ad alto valore aggiunto. I dati sono ottenuti da processi di telerilevamento, ovvero dall'acquisizione a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente.

In particolare, il progetto ha previsto l'acquisizione, da parte del Ministero, di dati prodotti da Telerilevamento con tecnica Laser-scanning LiDAR (da piattaforma aerea) e con tecnica interferometrica (da piattaforma satellitare) e la conseguente catalogazione di tali dati nella Banca Dati del Geoportale Nazionale (GN).

I dati messi a disposizione dal MATTM hanno una risoluzione spaziale di 1 m e sono disponibili per buona parte del territorio d'interesse.

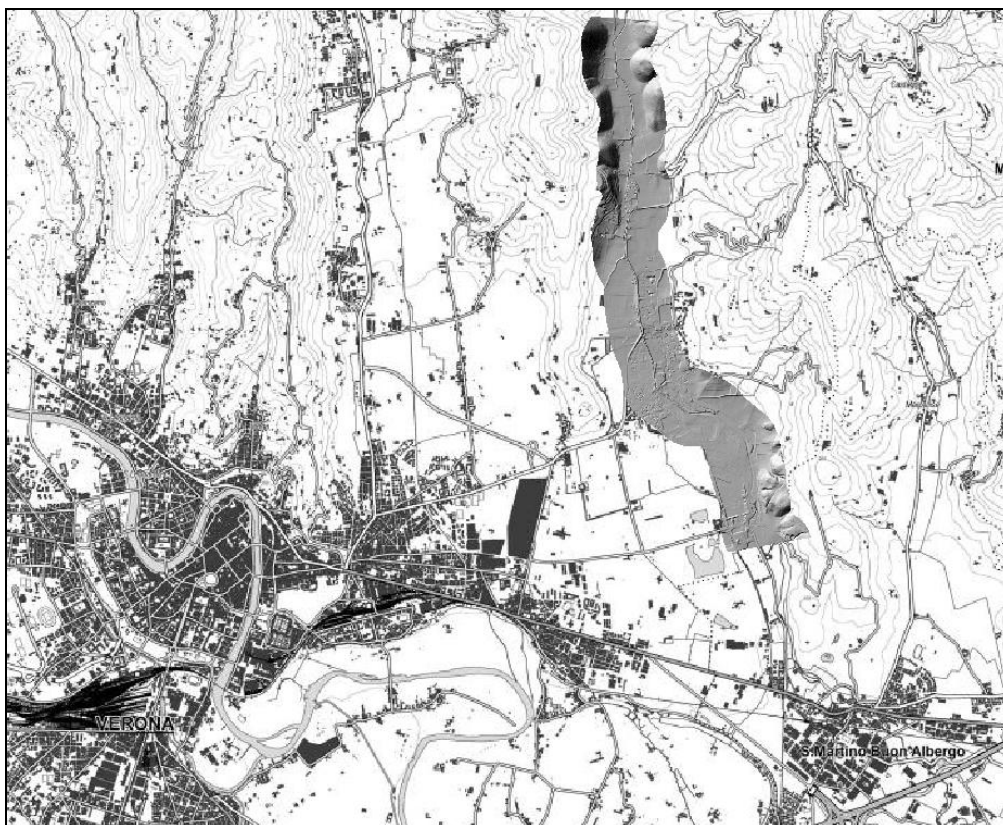


Figura 4 – stralcio del DTM su base 25'000

Nella Figura 4 è mostrato lo stralcio del DTM MATTM utilizzato.



Figura 5 – particolare del DTM su base ortofoto

Nella Figura 5 si mostra la sovrapposizione del DTM all'ortofoto di una area interessata.

3.2.2 Integrazione DTM del MATTM

Dopo una prima valutazione sulle possibili aree di pericolosità è subito emersa l'esigenza di ampliare il DTM perché, come mostrato in Figura 6, la superficie fornita dal MATTM non è sufficientemente ampia per consentire la simulazione completa del libero deflusso delle acque.

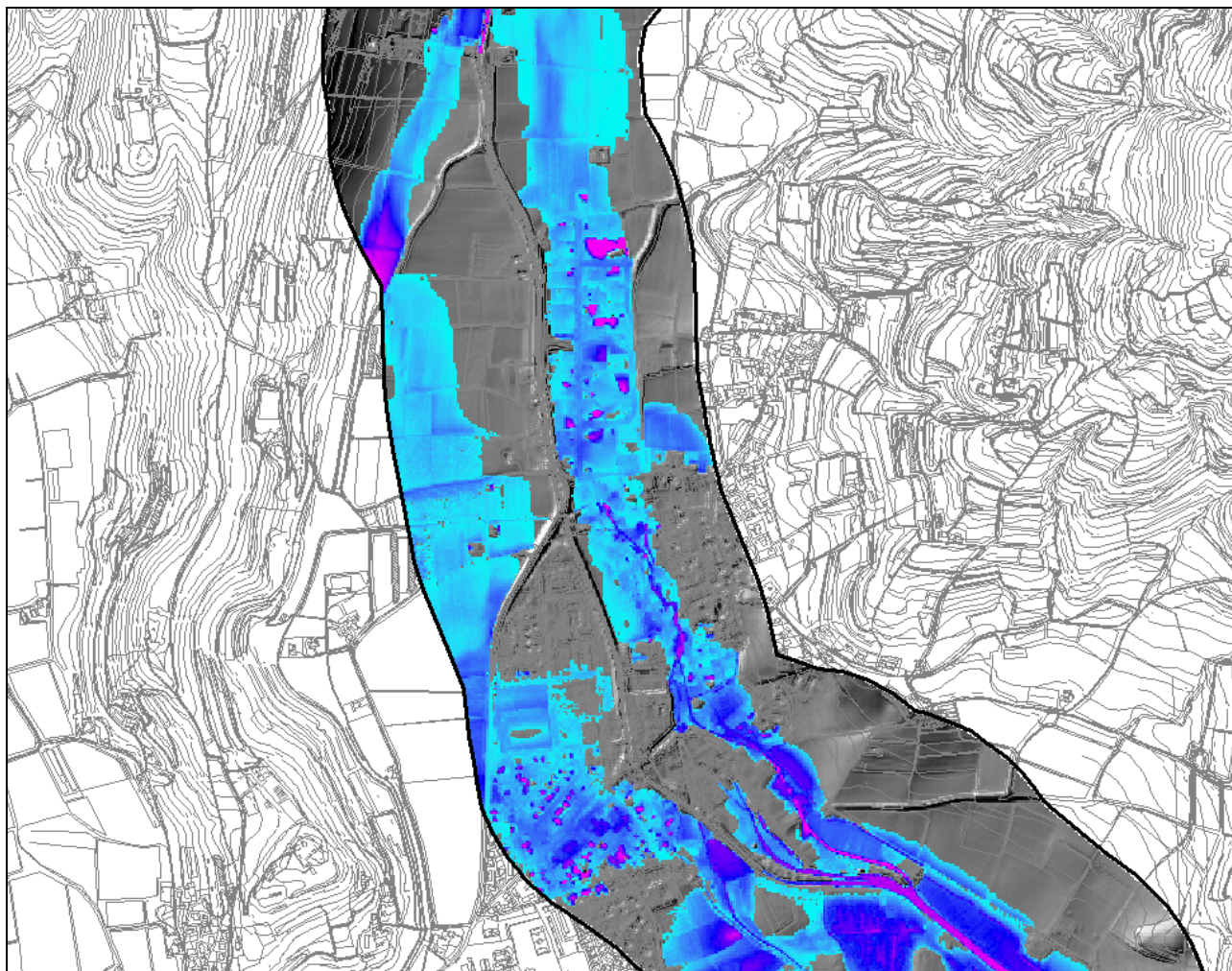


Figura 6 – Tiranti della prima simulazione su stralcio del DTM e base CTR

Per integrare il DTM si è proceduto a scaricare dal Portale Cartografico Nazionale i dati grezzi del rilievo LIDAR e successivamente a filtrare tutti i punti identificati come GROUND.

Il rilievo effettuato nell'ambito del PST-A è difatti molto più ampio della superficie elaborata dai tecnici del Ministero e pertanto tramite l'utilizzo dei punti rilevati ma non elaborati si è potuto procedere all'ampliamento del DTM.

Nella Figura 7 è mostrata l'area interessata dall'ampliamento.

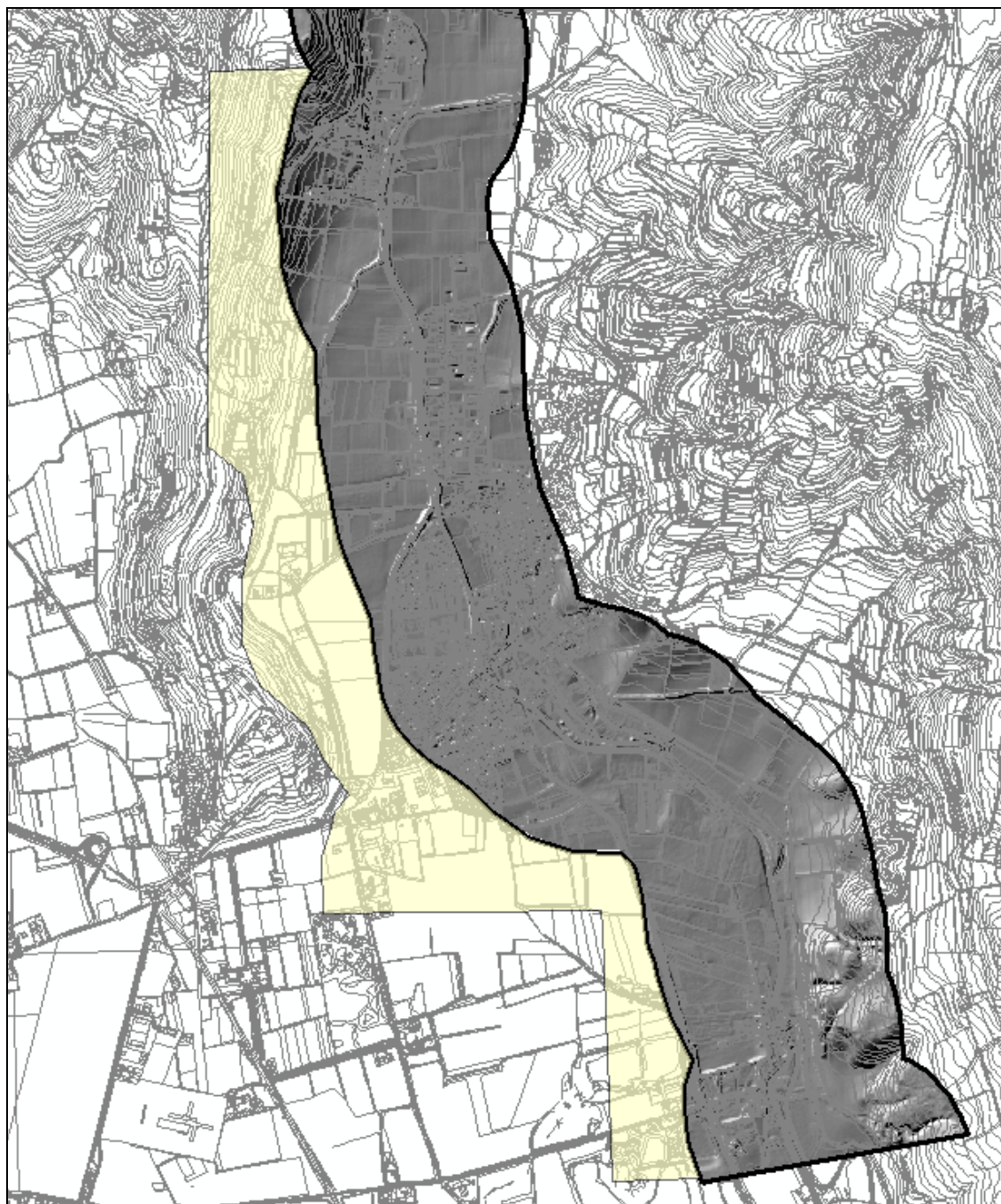


Figura 7 – DTM con indicazione delle zone di espansione

Successivamente alla acquisizione dei punti della zona di espansione del DTM si è provveduto a creare la nuova superficie utilizzando:

- ✓ Nella fascia elaborata dal Ministero i punti originali;
- ✓ Nella zona di espansione i punti GROUND del rilievo grezzo.

In appendice sono meglio descritte le attività e le verifiche svolte su questo aspetto.

3.3 IDROLOGIA

Per le analisi idrologiche ci si è riferiti agli studi effettuati in sede di redazione dei P.A.I. relativamente al torrente Fibbio. Di seguito si riporta uno stralcio della Relazione Tecnica in cui viene esplicitata la metodologia di elaborazione degli idrogrammi considerati per i tempi di ritorno 30, 100 e 200 anni. Nel presente progetto, tali idrogrammi sono stati decurtati della portata di risorgiva del Fibbio, considerata pari a 15 mc/s.

Per quanto riguarda la valutazione dei colmi di piena di assegnato tempo di ritorno nei bacini della Lessinia centrale e centro occidentale sono stati esaminati criticamente i valori ottenuti in "Studi per la pianificazione degli interventi di sistemazione idraulica. Bacino della sinistra Adige in provincia di Verona".

Alla luce dell'esame effettuato e delle argomentazioni emerse presso il Consorzio di Bonifica Zerpano Adige Guà, i valori al colmo di piena stimati per il bacino del Vaio Squaranto sono stati considerati troppo elevati; tale sovrastima è probabilmente dovuta al fatto che, in mancanza di dati per la taratura diretta del modello al bacino in esame, i valori dei parametri c , λ , K , sono stati fissati sulla base delle tarature del modello afflussi-deflussi effettuate nel bacino contermina dell'Agno-Guà che presenta caratteristiche litologiche diverse da quelle del Vaio Squaranto, come del resto da quelle dell'intera regione della Lessinia.

Si è proceduto allora, per bacini della Lessinia centrale e centro occidentale compresi tra la valle dell'Adige ed il bacino del Tramigna escluso, alla valutazione dei colmi di piena utilizzando il metodo razionale descritto dalla:

$$Q = 0,278 \varphi h S / T_c$$

dove:

Q = portata al colmo di assegnato tempo di ritorno;

φ = coefficiente di deflusso;

h = altezza di pioggia di assegnato tempo di ritorno;

S = superficie del bacino;

T_c = tempo di corrivazione stimato con la formula di Giandotti:

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

In relazione al tempo di pioggia (T_p) utilizzato, date le superfici dei bacini da analizzare si è posto

$$T_p = 1.5 T_c \text{ (Datei et al. 1995).}$$

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso sono stati adottati i valori riportati nella tabella che segue.

tipo suolo	copertura		
	coltivi	pascoli	boschi
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0,20	0,15	0,10
suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla); terreni di medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
suoli poco permeabili; suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie; suoli poco profondi sopra roccia impermeabile	0,50	0,45	0,40

Le grandezze morfometriche di interesse per l'applicazione della metodologia sono state ricavate utilizzando le specifiche funzioni del GIS adottato. La procedura utilizzata ha permesso innanzitutto di stimare il colmo di piena con tempo di ritorno pari a 50 anni, utilizzando i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica desunti dalla regionalizzazione effettuata nello studio succitato. La tabella seguente riporta i risultati conseguiti.

Corso d'acqua	Sezione	A	a	n	L	H _m	H ₀	T _c	T _p	φ medio	Q ₅₀
		[km ²]	[mm]		[km]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[h]	[h]		[m ³ /s]
T. Fibbio	V. confl. Squaranto	97,34	53,65	0,3	27,7	877	53	3,53	5,29	0,13	90

Successivamente i valori delle portate al colmo per i tempi di ritorno di riferimento dello studio sono stati ricavati scalando il valore della portata al colmo con tempo di ritorno di 50 anni, con i rapporti tra i coefficienti probabilistici di crescita KT dello studio "Stima delle portate di piena di assegnata frequenza nel Triveneto – Progetto VAPI".

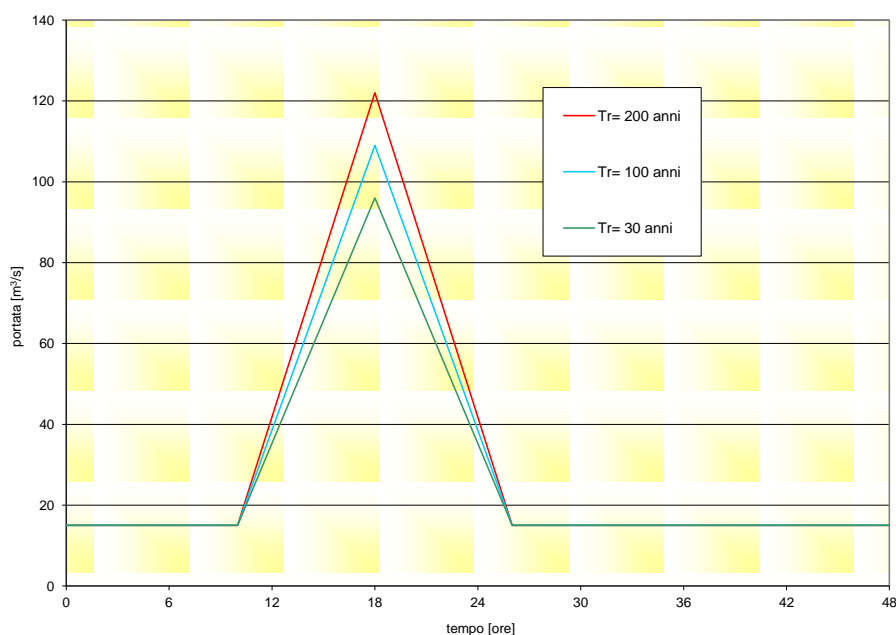


Figura 8 – idrogrammi considerati per le elaborazioni del PAI

4. ELABORAZIONI

4.1 MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Per le elaborazioni alla base delle individuazione e perimetrazione delle aree di pericolosità idraulica si è fatto ricorso a modelli matematici specifici, in particolare stante la complessità del fenomeno fisico da descrivere e facendo riferimento alla più comune prassi tecnica si è adottato un modello monodimensionale a fondo fisso in alveo accoppiato ad modello bidimensionale fuori alveo.

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti. MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- ✓ portate laterali;
- ✓ condizioni di corrente veloce o lenta;
- ✓ flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- ✓ differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- ✓ resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- ✓ casse d'espansione;
- ✓ condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- ✓ nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHIMIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

4.1.1 Modello monodimensionale

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.

- Approccio dell'“onda dinamica”. Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati sia reti idrauliche con maglie chiuse.

In Appendice alcuni approfondimenti su questa attività.

4.1.2 Modello bi-dimensionale

Il codice di calcolo MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile approssimare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero “21” che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano (“2”) e la monodimensionalità lungo la verticale (“1”).

In Appendice alcuni approfondimenti su questa attività.

4.1.3 Parametri significativi del modello

Il modello matematico monodimensionale ha uno sviluppo di 6340 m e parte circa 1000 m prima dell'inizio del tratto arginato fino alla confluenza del Fibbio, e il primo ponte è alla progressiva 1530. Per implementare il modello sono state considerate 78 sezioni tutte rilevate con strumentazione GPS. Il valore della scabrezza utilizzato (n di Manning) è stato considerato pari a $0,03 \text{ m}^{-1/3}\cdot\text{s}$, concorde con quanto utilizzato nelle modellazioni sul Fibbio per la redazione del P.A.I. e concordemente con i valori di letteratura per la tipologia di alveo in questione.

Lungo il percorso del torrente Squaranto sono stati riscontrati numerosi ponti. Tali strutture sono state puntualmente rilevate e considerate nel modello di calcolo monodimensionale. Una prima ricognizione del numero, della tipologia e delle caratteristiche geometriche è stata effettuata prendendo a riferimento il catasto delle opere idrauliche disponibile presso dell'Autorità di Bacino del fiume Adige. Successivamente è stato effettuato un rilievo puntuale di ogni singolo ponte e sono state definite le dimensioni caratteristiche da inserire nel modello di calcolo. Tutti i dettagli sono contenuti negli elaborati grafici a corredo nei quali i ponti seguono la numerazione originale del catasto delle opere idrauliche.

Per il modello bidimensionale è stato considerato il DTM come descritto nel paragrafo 3.2 ricampionato con una risoluzione $5 \times 5 \text{ m}$.

4.2 RISULTATI

4.2.1 Modello mono-dimensionale

I risultati del modello mono-dimensionale sono esplicitati in Figura 9 in cui sono riportati tutte le grandezze significative nelle sezioni di controllo quali il tirante al variare dei tempi di ritorno. Si riportano di seguito i grafici riassuntivi in cui si mostrano le portate in ingresso e in uscita dal modello mono-dimensionale per i diversi tempi di ritorno.

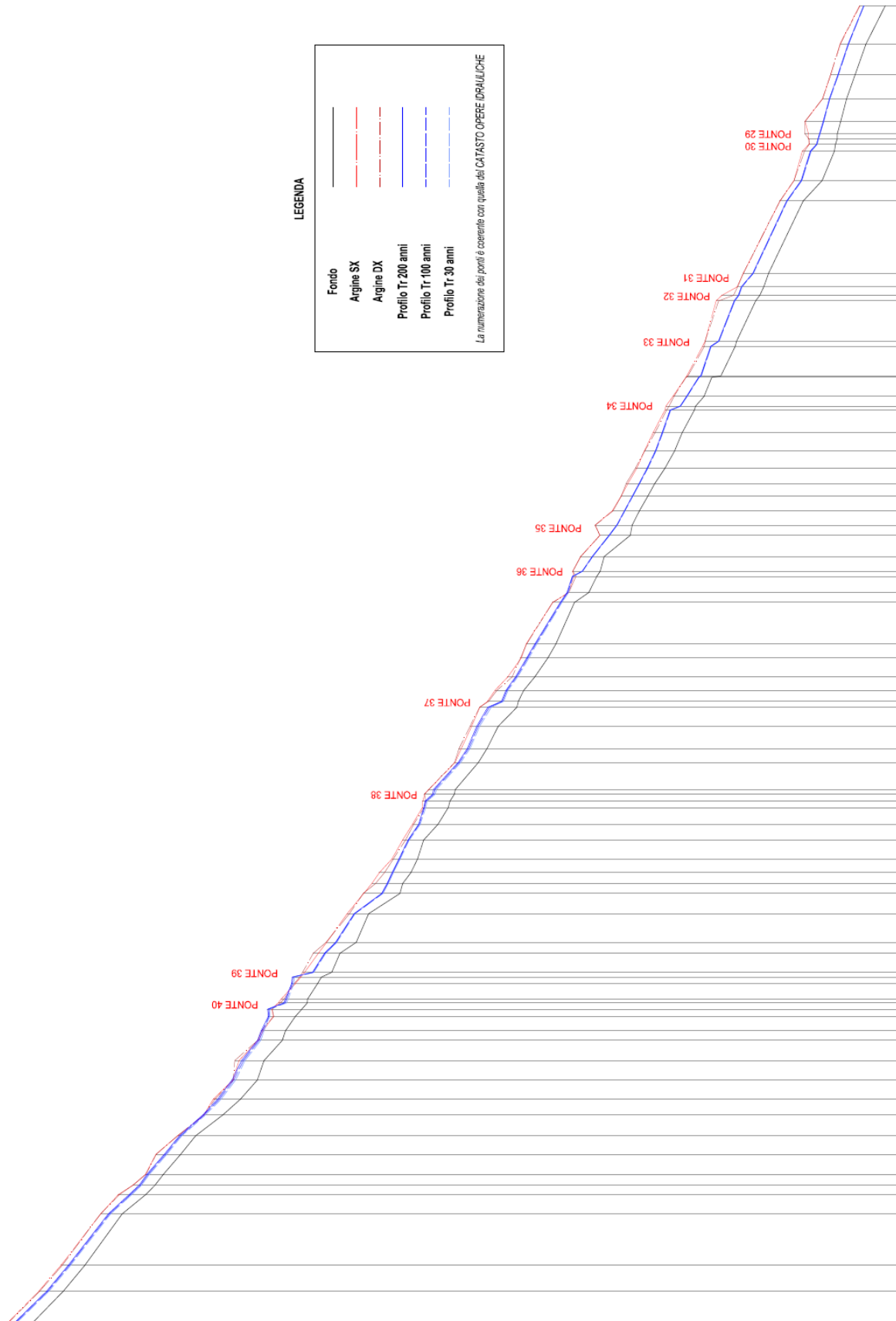


Figura 9 – Profilo elaborato con i diversi tempi di ritorno

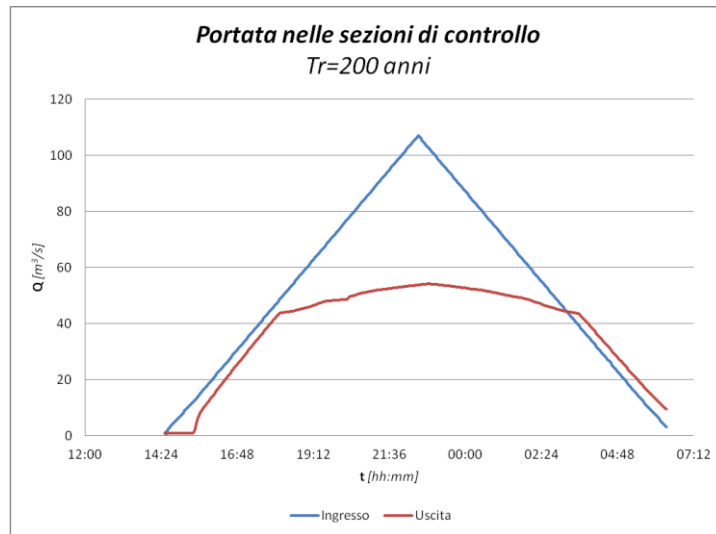


Figura 10 – Portata nelle sezioni di controllo per $Tr = 200$ anni

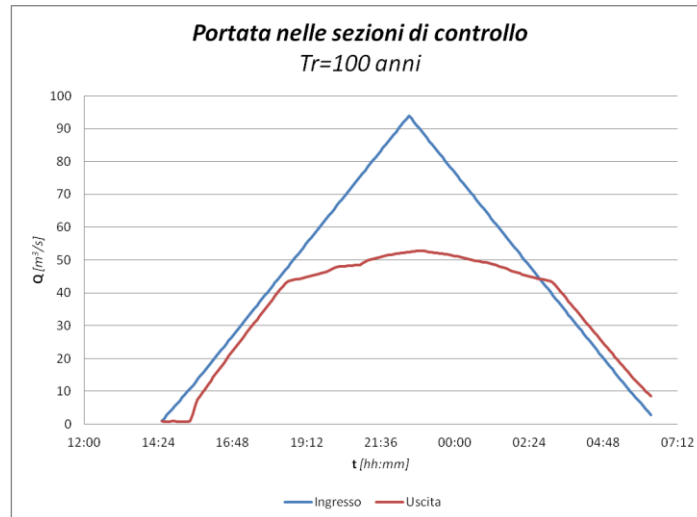


Figura 11 – Portata nelle sezioni di controllo per $Tr = 100$ anni

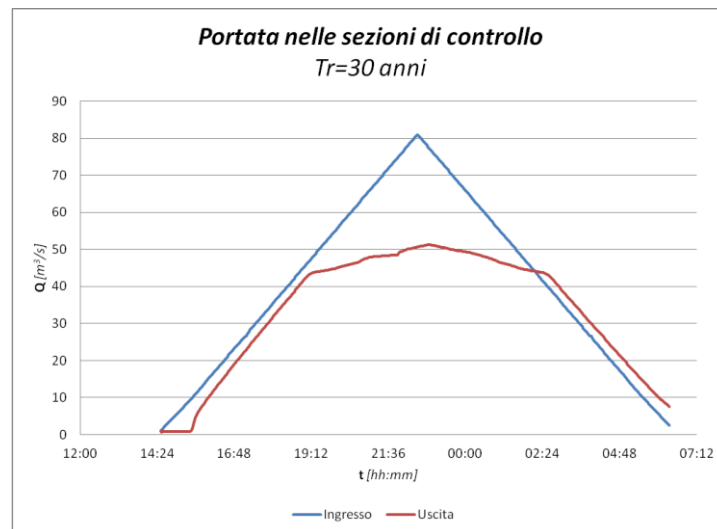


Figura 12 – Portata nelle sezioni di controllo per $Tr = 30$ anni

4.2.2 Modello bi-dimensionale sintesi per T_r 30 anni

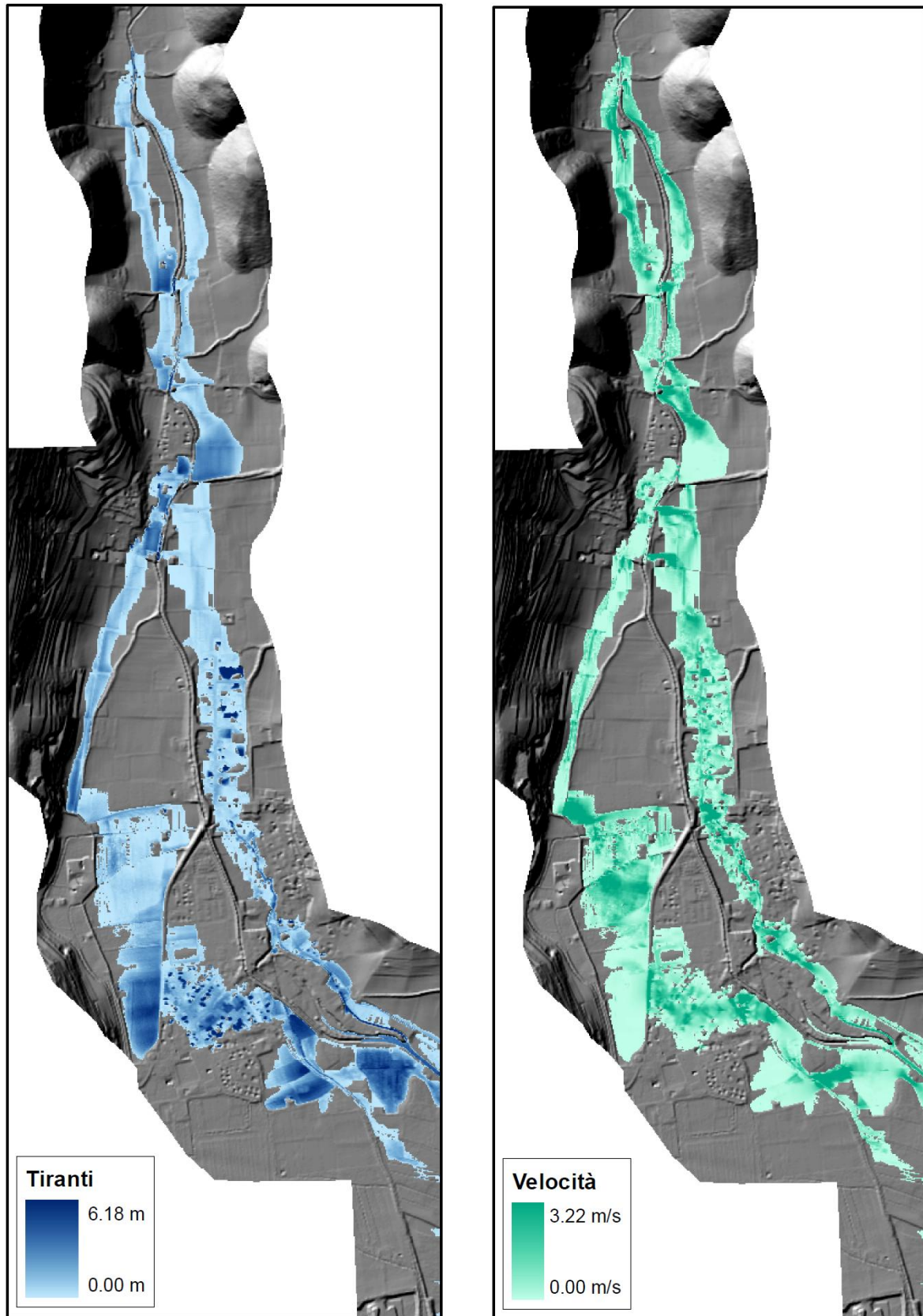


Figura 13 – risultati MIKE-FLOOD per tr 30 anni

4.2.3 Modello bi-dimensionale sintesi per Tr 100 anni

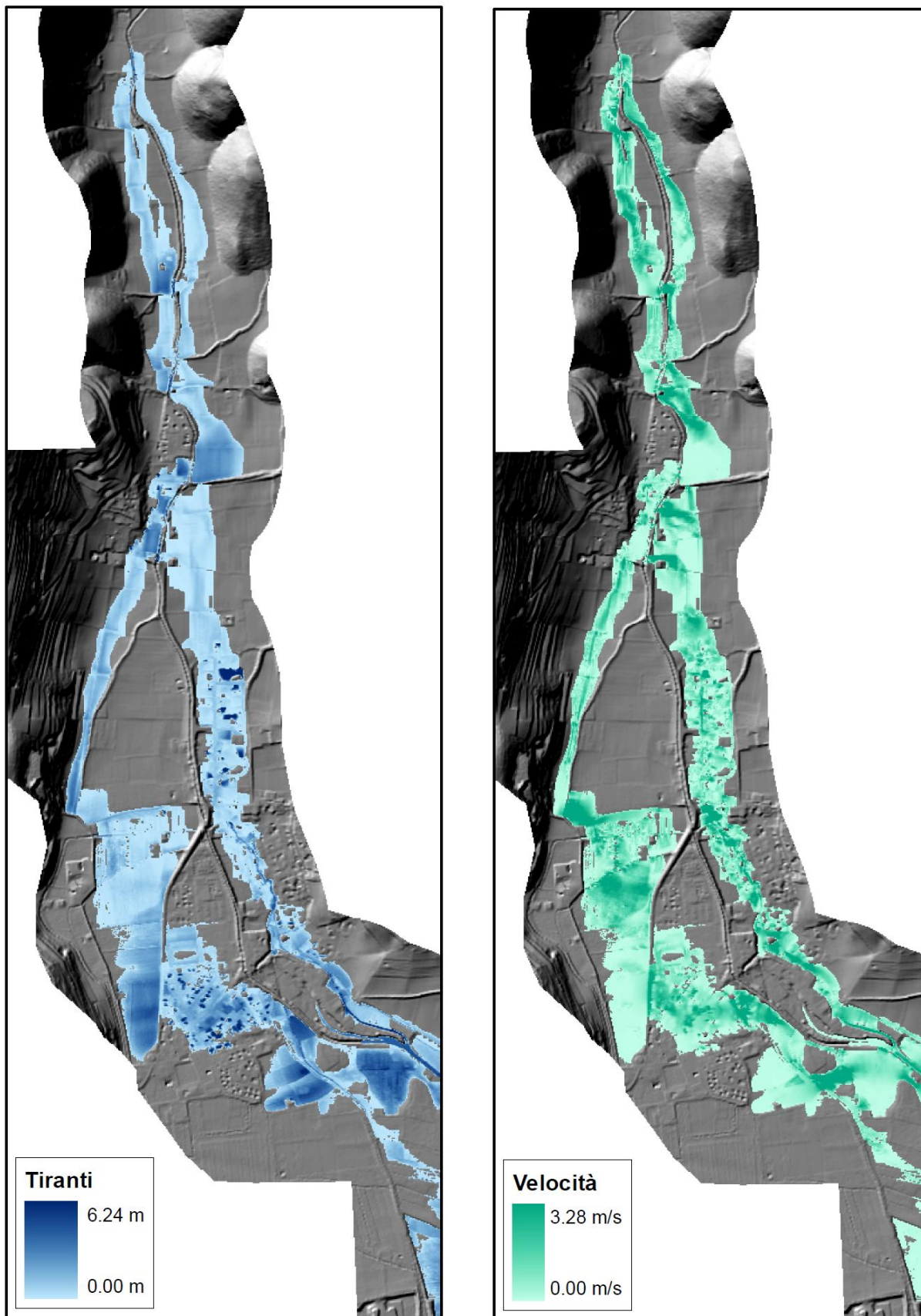


Figura 14 – risultati MIKE-FLOOD per tr 100 anni

4.2.4 Modello bi-dimensionale sintesi per T_r 200 anni

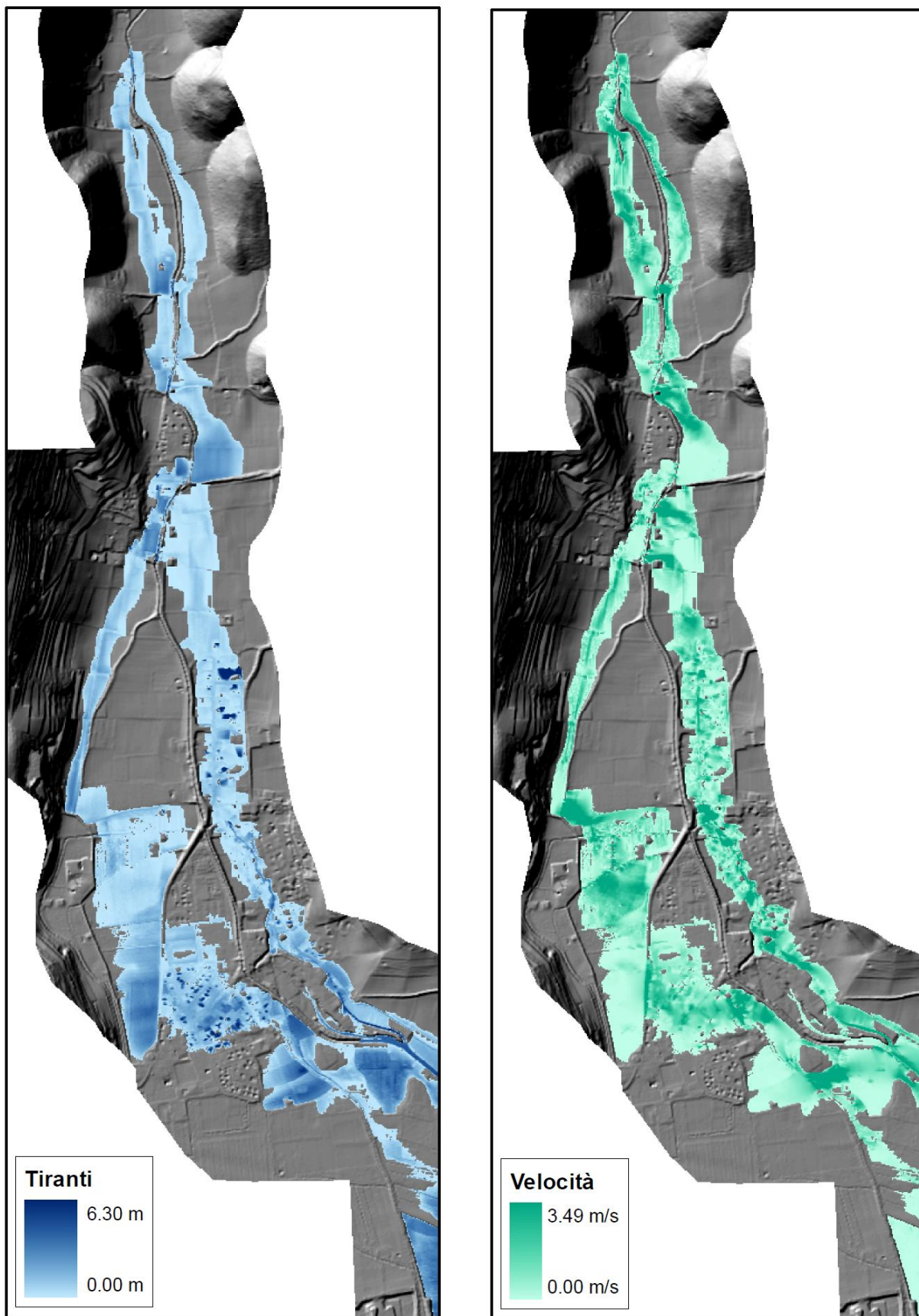


Figura 15 – risultati MIKE-FLOOD per t_r 200 anni

5. PERIMETRAZIONE PROPOSTA

5.1 CRITERI VIGENTI PER LE PERIMETRAZIONI

La pericolosità idraulica relativa ad un'area è stata assunta in funzione della probabilità di allagamento dell'area stessa ed in base alle caratteristiche dell'onda di sommersione conseguente che la invade (cioè livelli idrici e velocità dell'acqua).

Con il **Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del bacino idrografico del fiume Adige - Regione del Veneto**¹ sono state individuate 4 tipologie di aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata), in base allo schema seguente:

aree di pericolosità idraulica molto elevata (P4): aree allagate in occasione dell'evento di piena con un tempo di ritorno di 30 anni nelle quali risulti o la presenza di una lama d'acqua sul piano campagna superiore ad 1 m o una velocità massima di trasferimento superiore a 1 m/s;

aree di pericolosità idraulica elevata (P3): aree allagate o in occasione di un evento di piena con tempo di ritorno di 30 anni e condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 50 cm ed 1 m, o per un evento più raro ($Tr = 100$ anni) con condizioni come quelle stabilite per la pericolosità molto elevata (lama d'acqua massima maggiore di 1 m oppure velocità maggiore di 1 m/s);

aree di pericolosità idraulica media (P2): aree allagate per un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni nelle quali si instaurino condizioni di lama d'acqua massima sul piano campagna compresa tra 0 cm ed 1 m;

aree di pericolosità idraulica moderata (P1): aree esondabili con eventi di piena meno frequenti ($Tr = 200$ anni) in qualunque condizione di lama d'acqua e di velocità sul piano campagna.

PERICOLOSITÀ IDRAULICA	CONDIZIONI IDRAULICHE
(P4) Molto elevata	evento di piena con $Tr = 30$ anni $h_{30} > 1m$ oppure $v_{30} > 1m/s$
(P3) Elevata	eventi di piena con $Tr = 30$ anni e con $Tr = 100$ anni $1m > h_{30} > 0.5m$ oppure $h_{100} > 1m$ oppure $v_{100} > 1m/s$
(P2) Media	evento di piena con $Tr = 100$ anni $h_{100} > 0m$
(P1) Moderata	evento di piena con $Tr = 200$ anni $h_{200} > 0m$

Le 4 tipologie di aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata) sono utilizzate anche per le aree di pericolosità individuate con il presente Progetto di variante e valgono quindi i relativi riferimenti alle Norme di Attuazione già elaborate per il PAI.

¹ Adottato ai sensi dell'articolo 18 della legge 18 maggio 1989, n. 183, dal Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Adige con deliberazione n. 01/2005 del 15 febbraio 2005 – approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 aprile 2006

5.2 INTEGRAZIONE CRITERI PER LE “ZONE DI ATTENZIONE”

Una considerazione va svolta per quanto riguarda la pensilità dello Squaranto nel tratto terminale dove sono individuate le aree di pericolosità e dove le modellazioni eseguite mettono in evidenza l'esistenza anche di aree intercluse tra zone di pericolosità idraulica e il corso d'acqua pensile (maggiori considerazioni sono contenute nel paragrafo 5.3.2).

Non si dispone attualmente di idonee indagini che descrivano la condizione delle strutture arginali ma si ritiene che in ogni caso si debba considerare un livello di pericolosità idraulica riconducibile ad una virtuale possibilità di esondazione, in relazione all'eventualità di un aleatorio cedimento, anche parziale, delle difese arginali, e comunque supponendo che l'onda di piena si propaghi secondo un meccanismo di tipo conservativo, che trascura disalveazioni a monte.

In queste ipotesi, si è ritenuto di individuare l'area (classificazione Zone di attenzione) contigua alle difese arginali e interclusa tra zone di pericolosità idraulica per la quale va riconosciuta una specifica disciplina.

5.3 METODOLOGIA DI ELABORAZIONE DEI RISULTATI

5.3.1 Output del modello di calcolo

Il passaggio dall'output del modello matematico alla perimetrazione non è né immediato né determinabile in maniera totalmente automatizzata. Facendo riferimento ai risultati esposti nei paragrafi precedenti, si mostra in Figura 16 l'elaborazione della pericolosità facendo eseguire all'elaboratore l'unione dei poligoni ricavati secondo i criteri vigenti.

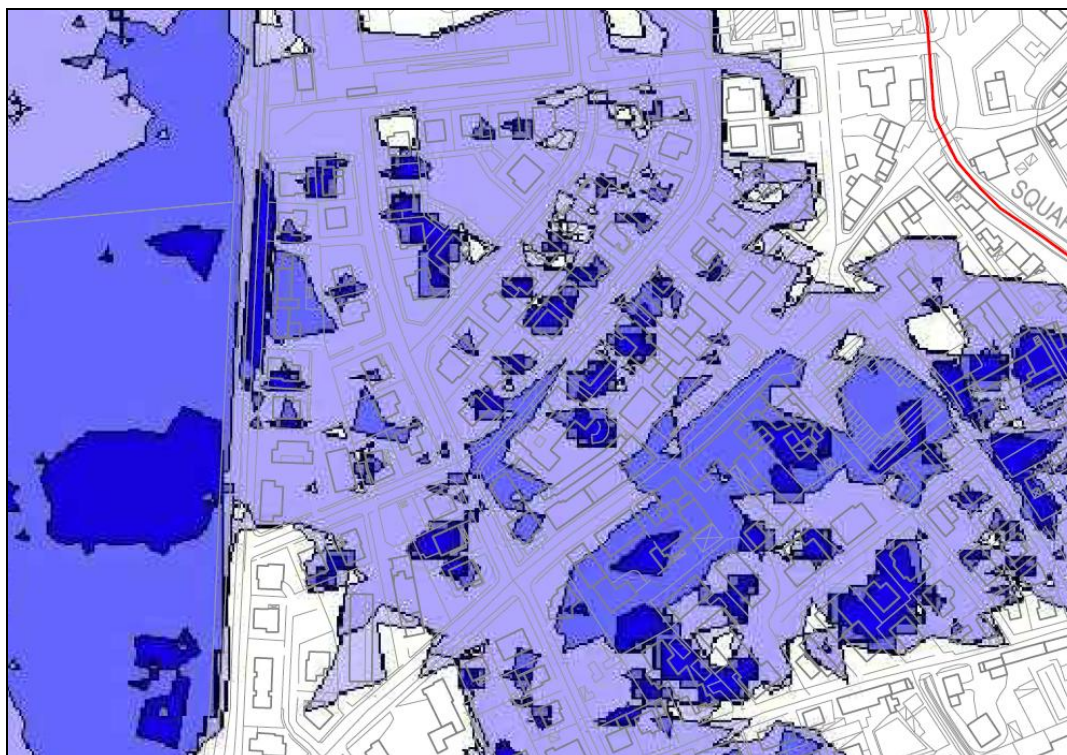


Figura 16 – stralcio della elaborazione automatica delle aree di pericolosità

La figura mette in risalto l'esigenza di effettuare un post-processing sui dati in maniera da eliminare tutti i possibili difetti dovuti all'elaborazione in automatico, quali:

- ✓ piccoli poligoni isolati dovuti a irregolarità puntuali del DTM;
- ✓ insieme di piccoli poligoni molto ravvicinati tra loro;
- ✓ estrema frastagliatura dei bordi.

Per elaborare la pericolosità si è proceduto a sovrapporre i seguenti livelli informativi:

- Immagine del DTM ombreggiata con le altezze leggermente esaltate (SHADE);
- Ortofoto recente dell'area interessata;
- Poligoni degli edifici ricavati dalla CTR;
- Shape della pericolosità da considerare.

Di seguito sono mostrate alcune figure esemplificative del lavoro svolto relativo a un area di particolare complessità.

In Figura 17 è mostrato il DTM sul quale risulta evidente la presenza di “**pit**” ovvero di depressioni locali causate da problemi di interpolazione in corrispondenza di manufatti non riconducibili a punti terreno.

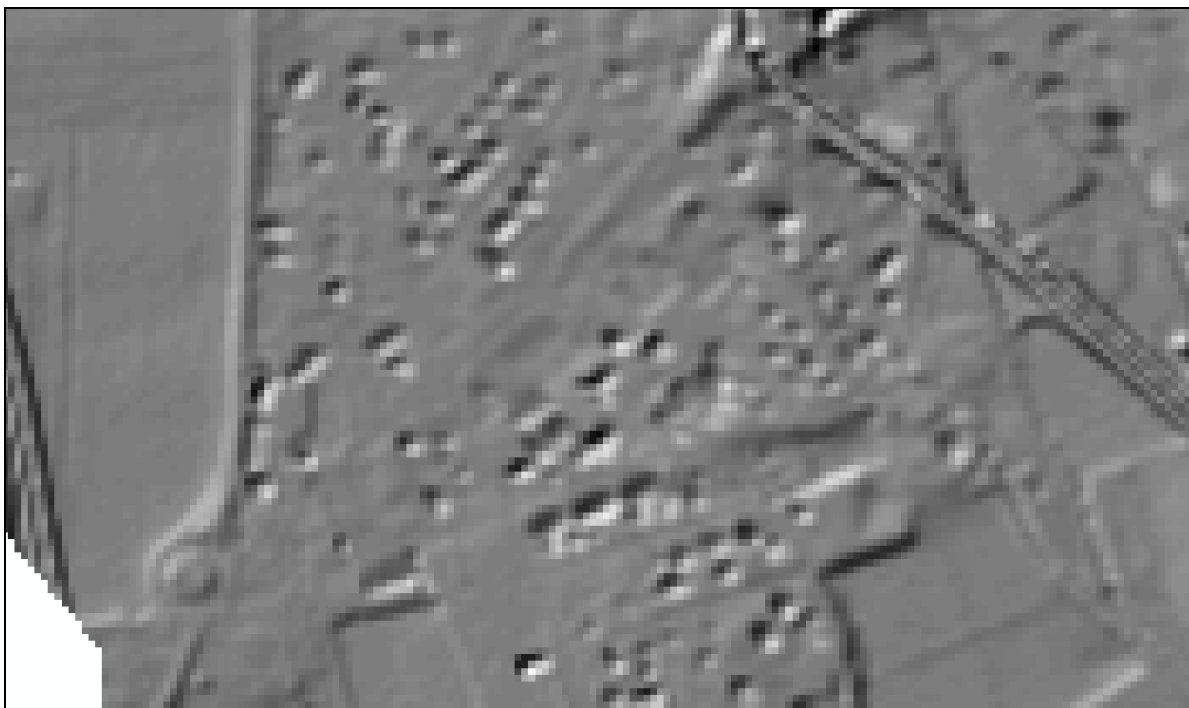


Figura 17 – stralcio del DTM

In Figura 18 è mostrata la sovrapposizione dell'Ortofoto satellitare con il livello informativo **edifici** ricavato dalla CTR e si mostra che la rispondenza tra i due livelli è estremamente affidabile.



Figura 18 – ortofoto con evidenziati gli edifici riportati nella CTR

In Figura 19 si mostra il livello informativo **edifici** sovrapposto al DTM e si evidenzia come in molti casi i *pit* si manifestino in corrispondenza degli edifici. Tali imprecisioni sono riconducibili ai limiti di interpolazione del DTM che, dovendo rappresentare esclusivamente l'andamento del terreno, nelle zone densamente urbanizzate mostra alcune lacune.



Figura 19 – sovrapposizione DTM con gli edifici riportati nella CTR

In Figura 20 il DTM è sovrapposto alla pericolosità elaborata e in particolare sono mostrati i bordi dei livelli **P1** e **P2** e

bordi e campiture dei livelli **P3** e **P4**.

Si riscontra chiaramente che alcune aree classificate **P3** e **P4** aventi dimensioni ridotte (*superfici minori di 1000 mq*) si palesano in corrispondenza dei **pit**.

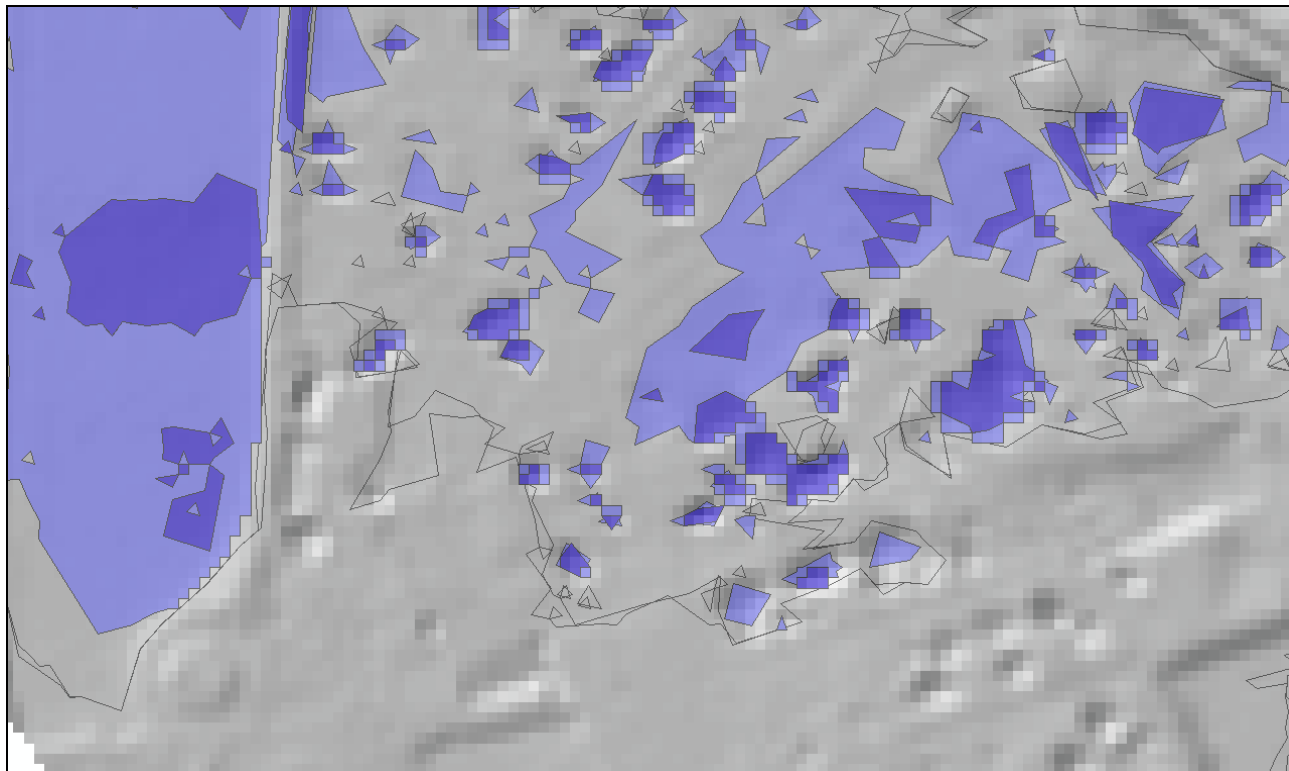


Figura 20 – DTM con sovrapposti alcuni poligoni P3 e P4 e i contorni delle P1 e P2

La procedura seguita è consistita in:

1. Eliminazione di tutti i poligoni che scaturiscono da evidenti imprecisioni del DTM in particolare in corrispondenza degli edifici;
2. Eliminazione di tutti i poligoni isolati di superficie inferiore ai 1000 mq;
3. Raccordo a mano delle discontinuità evidenti nei bordi con l'ausilio della carta tecnica che è stata utilizzata come riferimento.

5.3.2 Simulazione di una rotta arginale

Come già precisato, le modellazioni secondo i criteri del P.A.I. mettono in evidenza l'esistenza di aree intercluse tra zone di pericolosità idraulica.

In Figura 21 sono mostrati i risultati relativi al tempo di ritorno 100 anni e sono evidenziate le zone in questione.

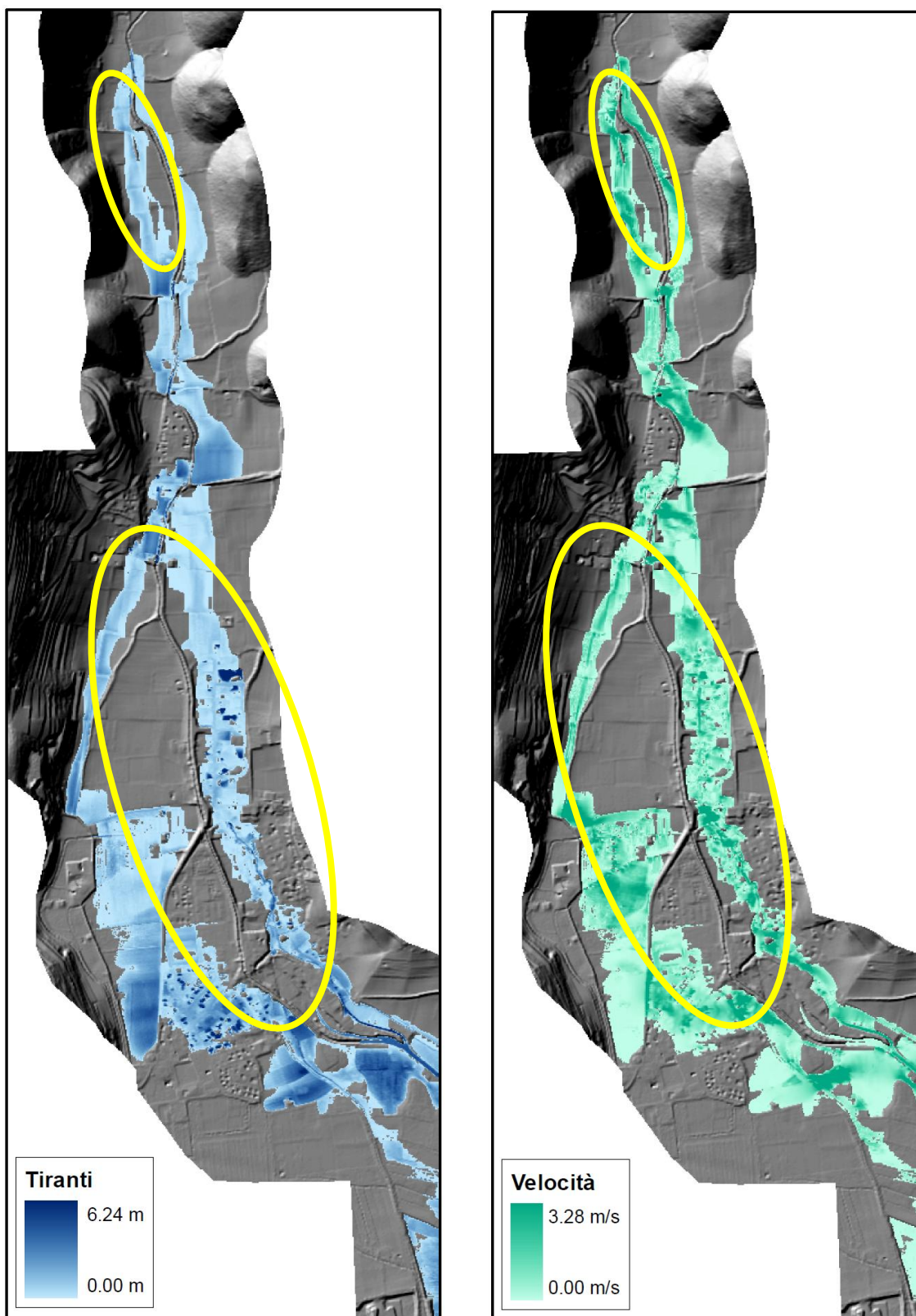


Figura 21 – Risultati del modello di calcolo con evidenziate le “aree intercluse”

In considerazione della forte pensilità che presenta il torrente Squaranto nei tratti di studio e nell'intento di investigare sulle possibili conseguenze di una rottura arginale, si è predisposta una modellazione in cui si è simulato il cedimento dell'argine destro (quello sinistro è un rilevato stradale) in corrispondenza del punto indicato in Figura 22. In tale figura

sono mostrate sulla base sia del DTM che della CTR : le aree allagate (gradazione crescente dei blu proporzionale ai tiranti), il perimetro della modellazione per Tr 100 anni senza la rottura (giallo) e il punto di rottura ipotizzato.

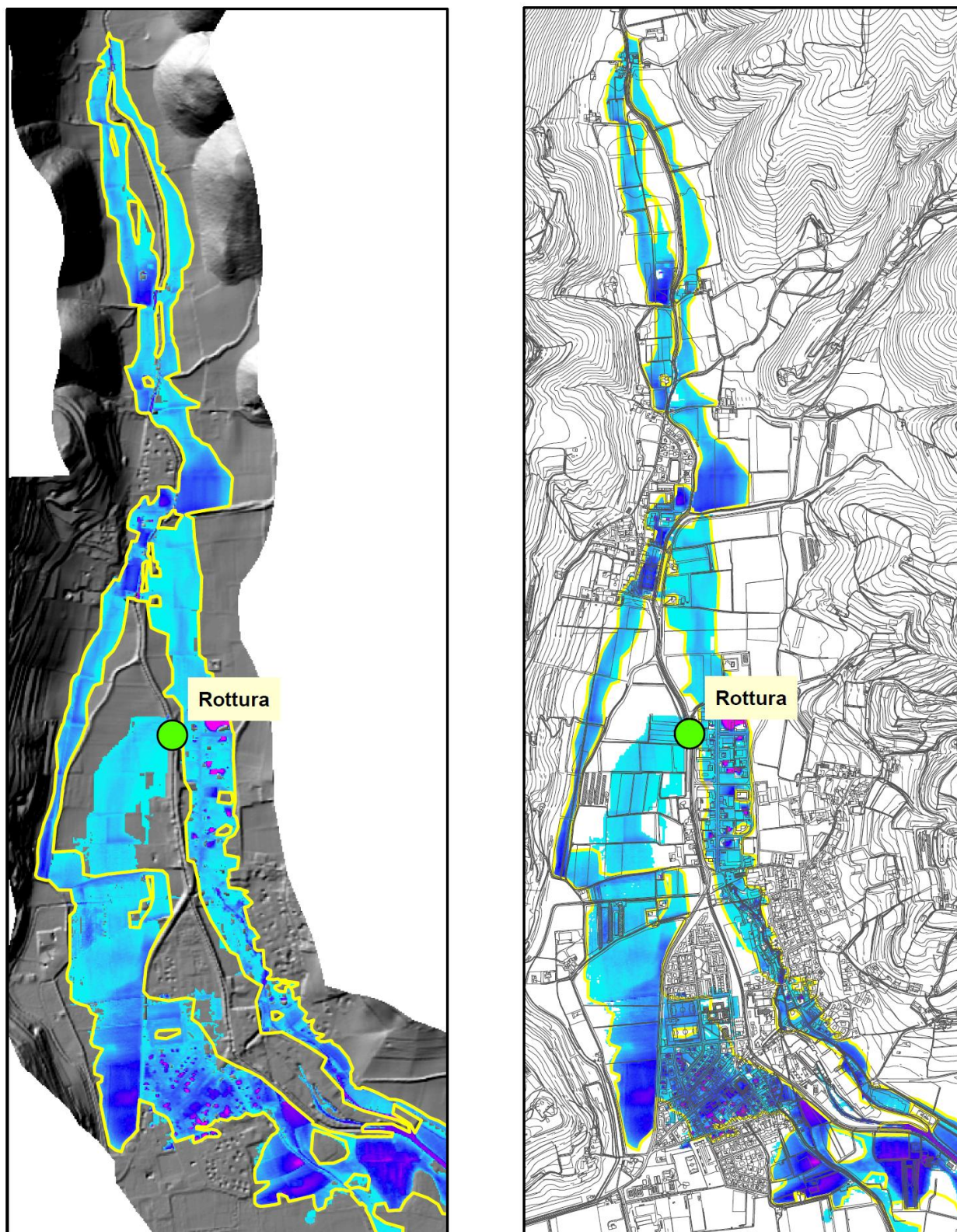


Figura 22 – sintesi della simulazione degli effetti di una rottura arginale

I risultati delle modellazioni mostrano che a parità di Idrogramma, il perimetro più esterno della modellazione resta

sostanzialmente confermato, mentre per le aree originariamente intercluse si ha una sostanziale espansione. Pertanto si ritiene opportuno considerare tutte le aree intercluse come “**ZONE DI ATTENZIONE**” e applicare ad esse una disciplina specifica.

5.3.1 Raccordo con la perimetrazione esistente

Il PAI ha già individuato le aree di pericolosità idraulica connesse con il Fibbio e sono rappresentate nelle tavole A.4.36/I e A.4.37/I.

Stante la parziale sovrapposizione fra le aree precedentemente perimetrare e le aree individuate con il presente progetto, si è proceduto ad un opportuno raccordo fra le due perimetrazioni collocando le porzioni del piano campagna che soddisfano le condizioni di appartenenza di più classi di pericolosità idraulica nella classe a pericolosità maggiore.

Il tratto considerato per tale raccordo è rappresentato nella figura che segue.

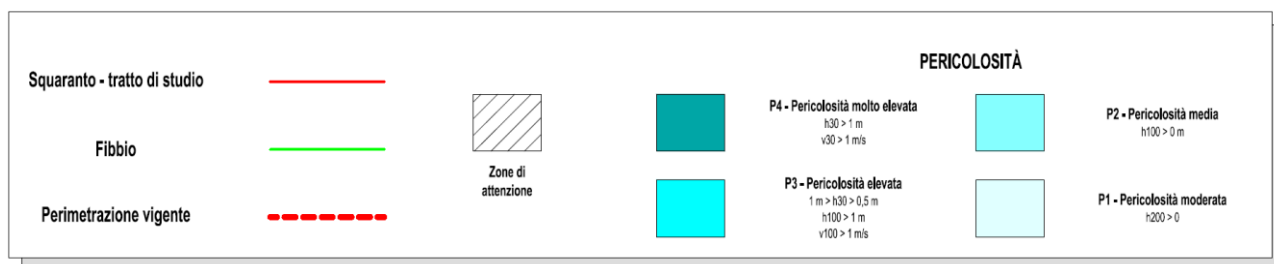
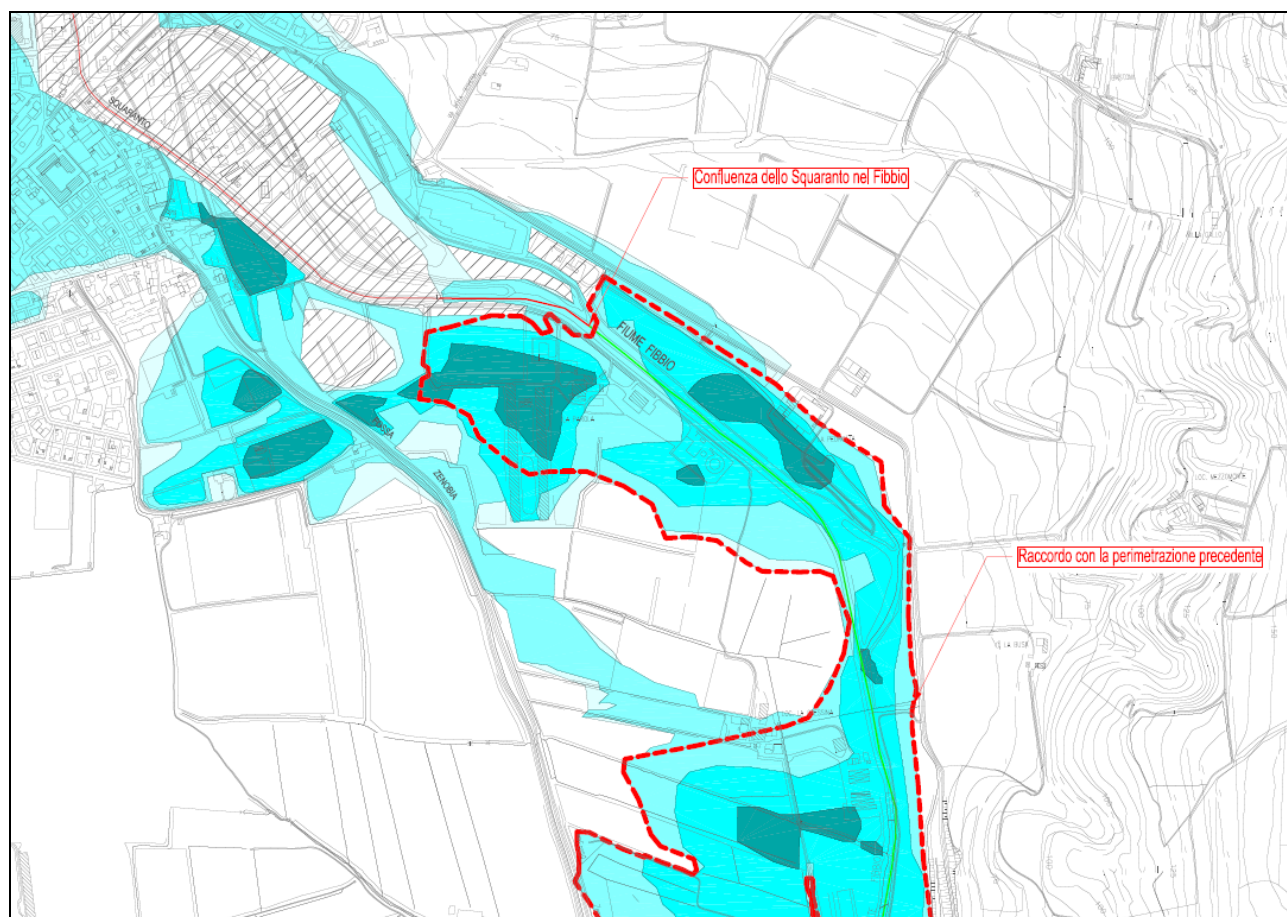


Figura 23 – Raccordo tra la perimetrazione esistente e quella proposta

5.4 PERIMETRAZIONE PROPOSTA

La perimetrazione proposta elaborata secondo i criteri contenuti nei capitoli precedenti è riportata con dettaglio nell'elaborato grafico A.4.39 e dell'aggiornamento della tavola esistente A.4.36/I. Si riporta nella figura seguente una vista di insieme della pericolosità idraulica proposta.

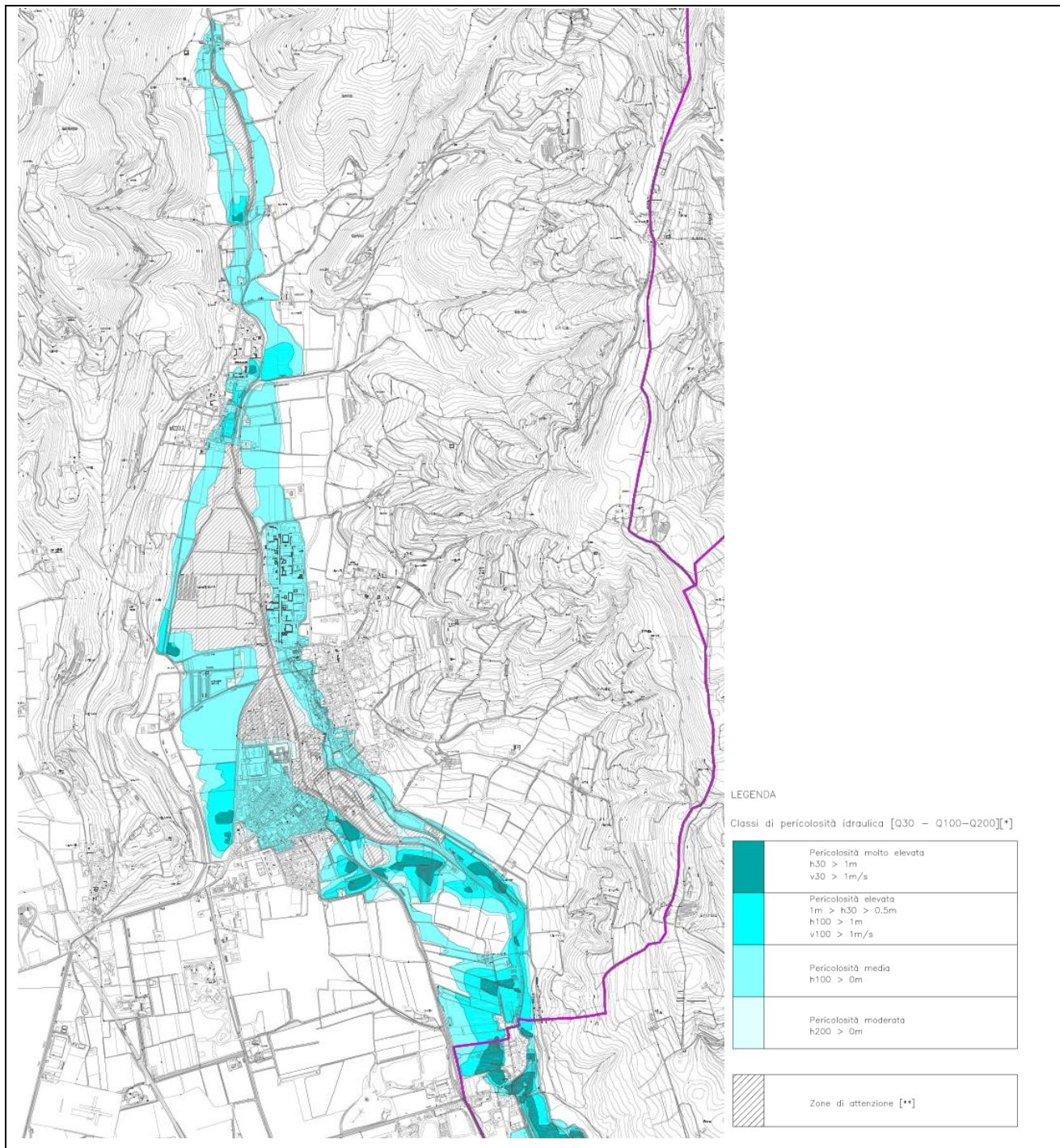


Figura 24 – Pericolosità idraulica proposta

6. PROPOSTE DI INTERVENTO

Come mostrato dalle simulazioni con modello matematico, l'alveo del torrente Squaranto a valle di Pigozzo non è sufficientemente ampio per far transitare le piene senza esondazioni. Oltre a questo non bisogna dimenticare la forte pensilità dell'alveo rispetto alla campagna circostante, che rende il torrente particolarmente pericoloso in caso di rotta arginale.

Per mitigare la pericolosità idraulica si ritiene necessario quindi prevedere opere in grado di trattenere a monte il materiale solido e flottante trasportato dalla corrente e destinare un volume di invaso per la laminazione delle piene.

Riguardo alle prime una soluzione efficace potrebbe essere quella di prevedere la rifunzionalizzazione e/o integrazione della serie di briglie esistenti in modo da ottenere delle briglie a fessura.

Le briglie a fessura hanno il compito non di correggere la pendenza dell'alveo in cui sono inserite, ma di trattenere il materiale di granulometria più grossolana proveniente da monte in caso di piena. Per assolvere a tale funzione alla gaveta si sostituisce un'apertura le cui dimensioni dipendono dalla granulometria del materiale che si intende trattenere. L'apertura può essere realizzata in modi differenti; può essere costituita da una semplice fessura piuttosto che da una griglia (orizzontale o verticale) in acciaio.

Il loro dimensionamento, la tipologia (fessura verticale, pettine, griglia etc etc.) e la loro distribuzione lungo il tracciato dovrà essere oggetto di approfonditi studi che tengano debitamente conto delle dinamiche del trasporto solido in atto nel torrente.

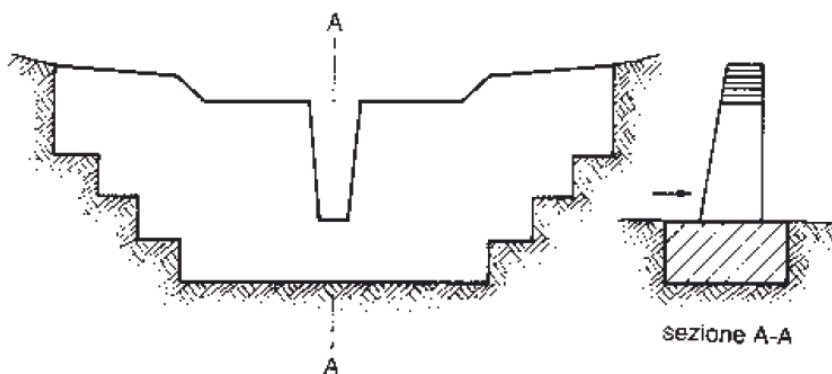


Figura 25 – Esempio di briglia a fessura

Segue una prima stima approssimativa del volume di invaso necessario, ottenuta ipotizzando di lasciar transitare a valle di Pigozzo una portata massima pari a 50 m³/s. Si sottolinea che gli idrogrammi utilizzati per tale stima sono quelli utilizzati per il P.A.I., ottenuti con modelli afflussi-deflussi estremamente semplificati.

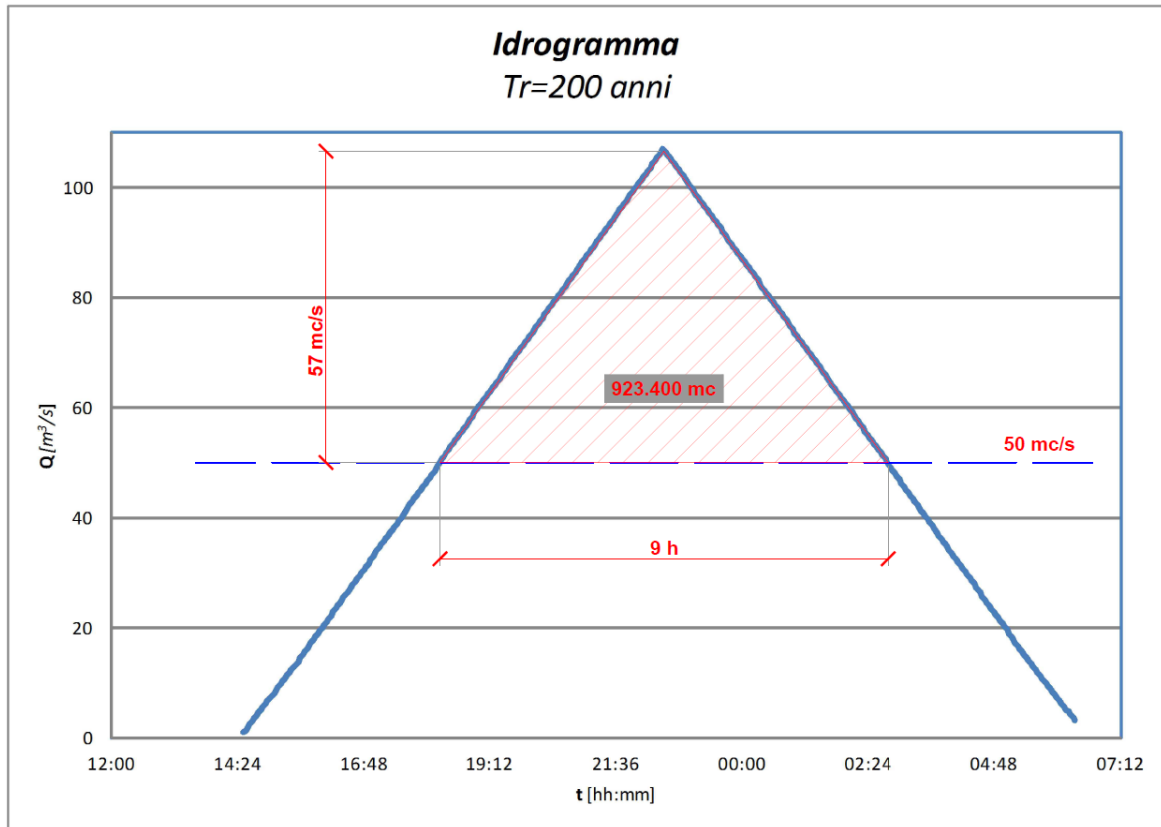


Figura 26 – Stima del volume da invasare sull'idrogramma Tr 200 anni

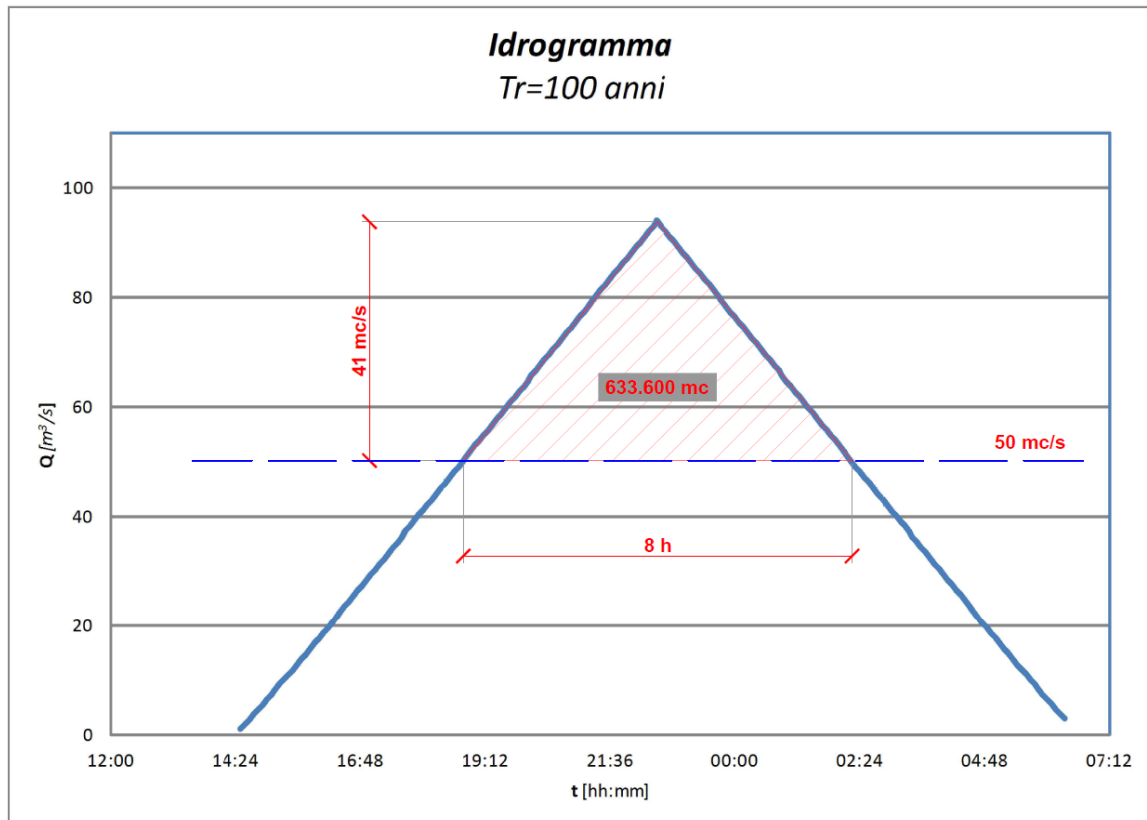


Figura 27 -- Stima del volume da invasare sull'idrogramma Tr 100 anni

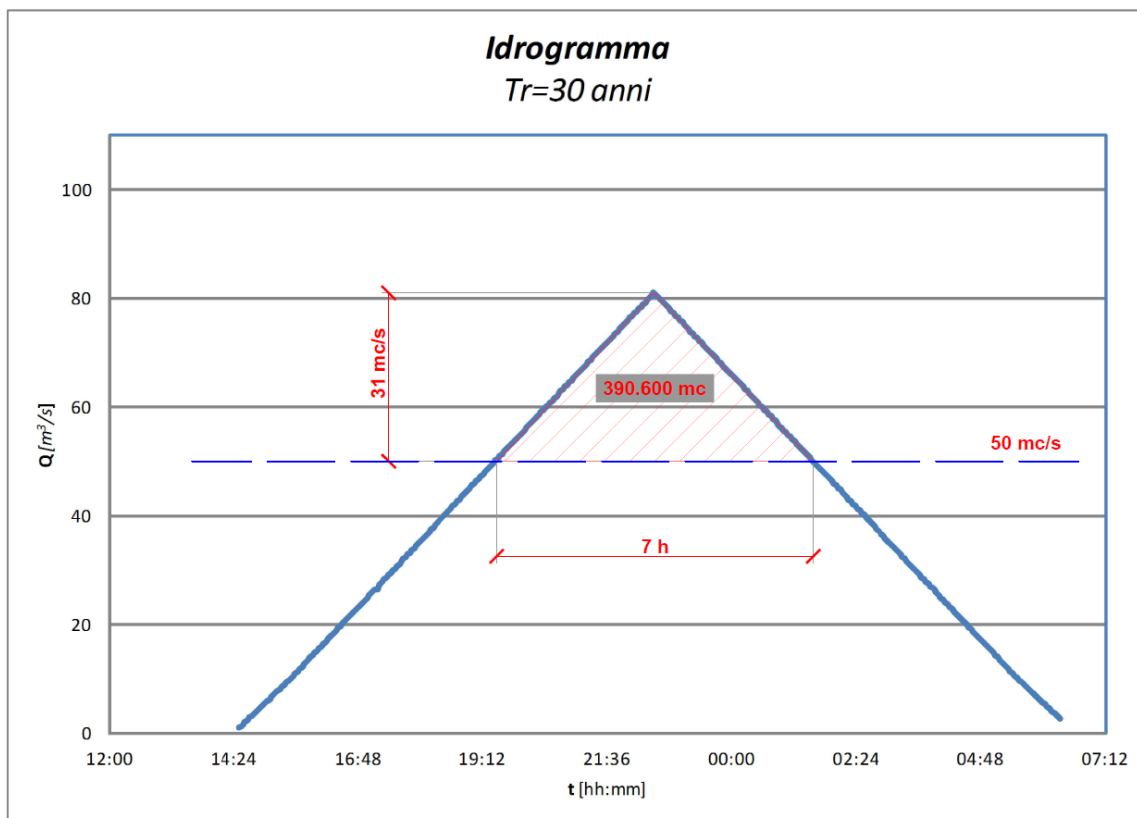


Figura 28 – Stima del volume da invasare sull'idrogramma Tr 200 anni

La portata di 50 m³/s è un valore compatibile con le capacità attuali del torrente Squaranto, infatti con riferimento a Figura 10, Figura 11 e Figura 12, dove sono riportati gli idrogrammi in ingresso e in uscita dal modello al variare dei tempi di ritorno, è evidente che il valore massimo della portata convogliabile si attesta intorno a tale valore. Anche dai profili che sono visibili in Figura 9 si vede che i franchi in corrispondenza del tratto finale sono contenuti.

In Figura 29 è riportata una prima ipotesi approssimativa di localizzazione di una cassa di espansione del torrente Squaranto in prossimità dell'abitato di Pigozzo, dove hanno inizio le esondazioni evidenziate dal modello matematico.

La superficie individuata è pari a circa 20 ettari che potrebbero fornire, con tirante medio di 3 m, un volume di circa 600 mila mc. La soluzione potrebbe essere integrata con ulteriori volumi a valle per ridurre ulteriormente la pericolosità.

È attualmente in fase di appalto il progetto esecutivo dei "Lavori di adeguamento dell'alveo e regimazione delle piene del fiume Fibbio" da parte del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta. A conclusione dei lavori sarà possibile determinare con maggior precisione la portata che in ingresso al Fibbio minimizza la pericolosità idraulica ed eventualmente prevedere ulteriori volumi di laminazione opportunamente dislocati.

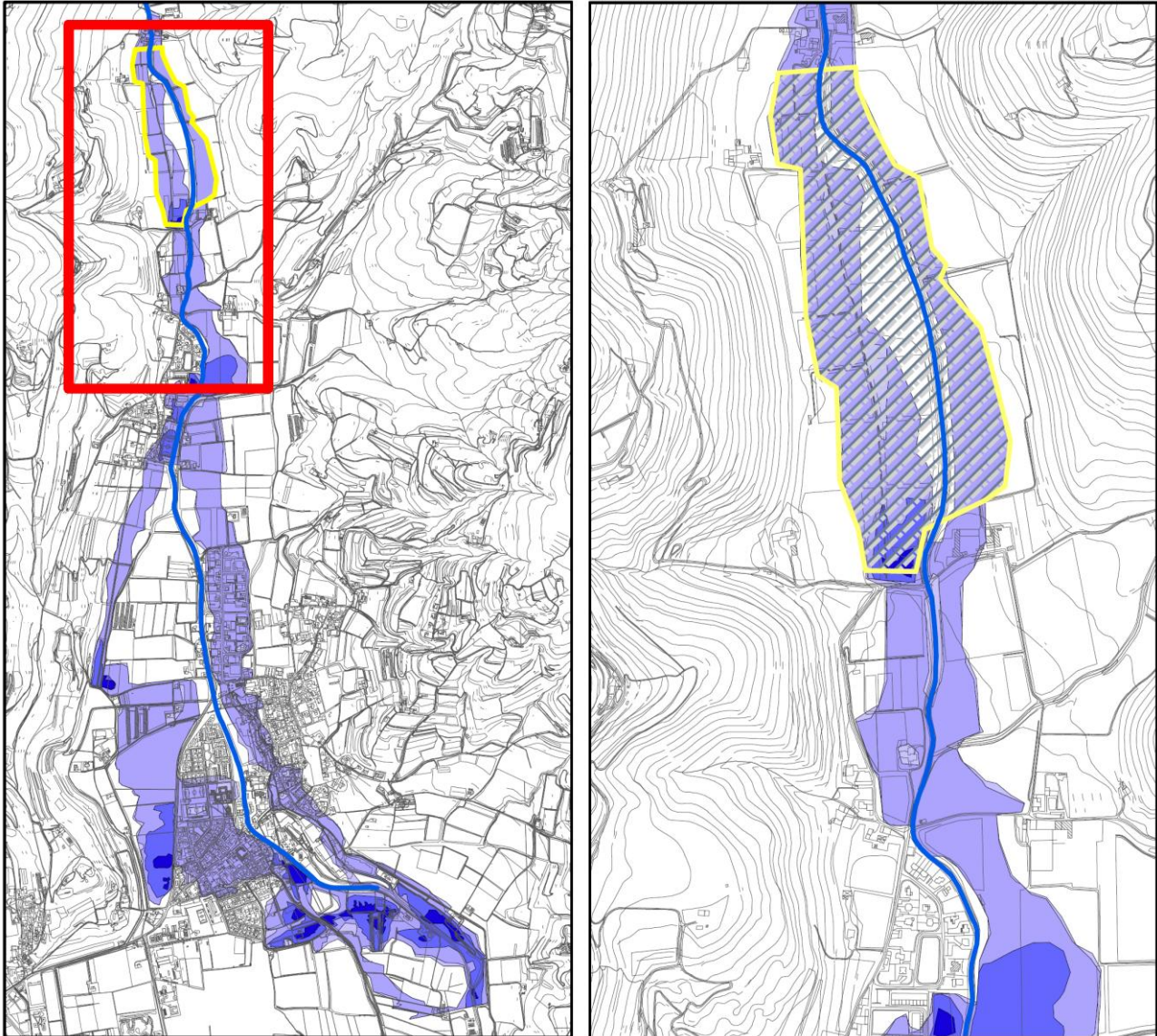


Figura 29 – Identificazione dell'ubicazione della cassa di espansione



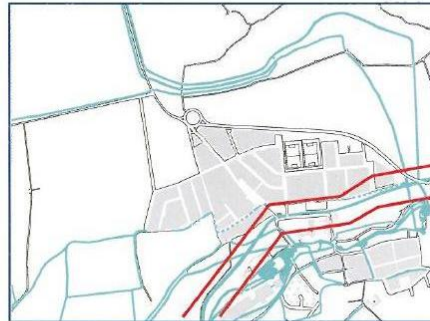
APPENDICE

FONTI STORICHE

PROGNO SQUARANTO

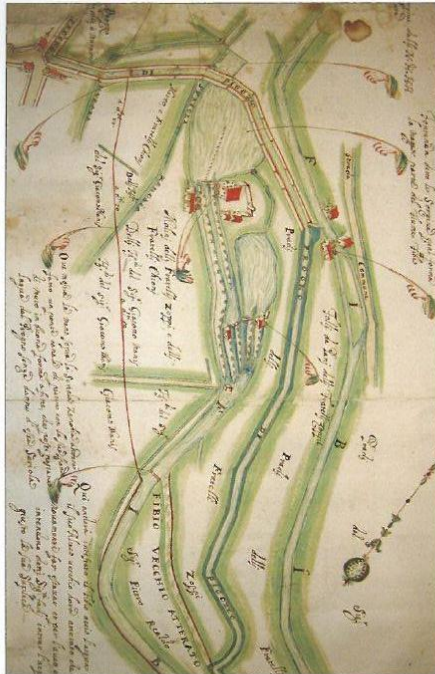
Il Progno Squaranto è un torrente che scorre in un territorio carsico: il suo letto è di solito asciutto poiché le acque piovane normalmente sono assorbite dalle cavità del terreno e appaiono solo in occasione di abbondanti e violente precipitazioni.

Questo torrente dà il nome all'intera Valle Squaranto. Secondo lo studioso di idiommi Giovanni Rappelli, questo nome deriverebbe da due toponimi: uno cugano "skarant" ed uno retico "perantur", entrambi con significato di torrente sa-

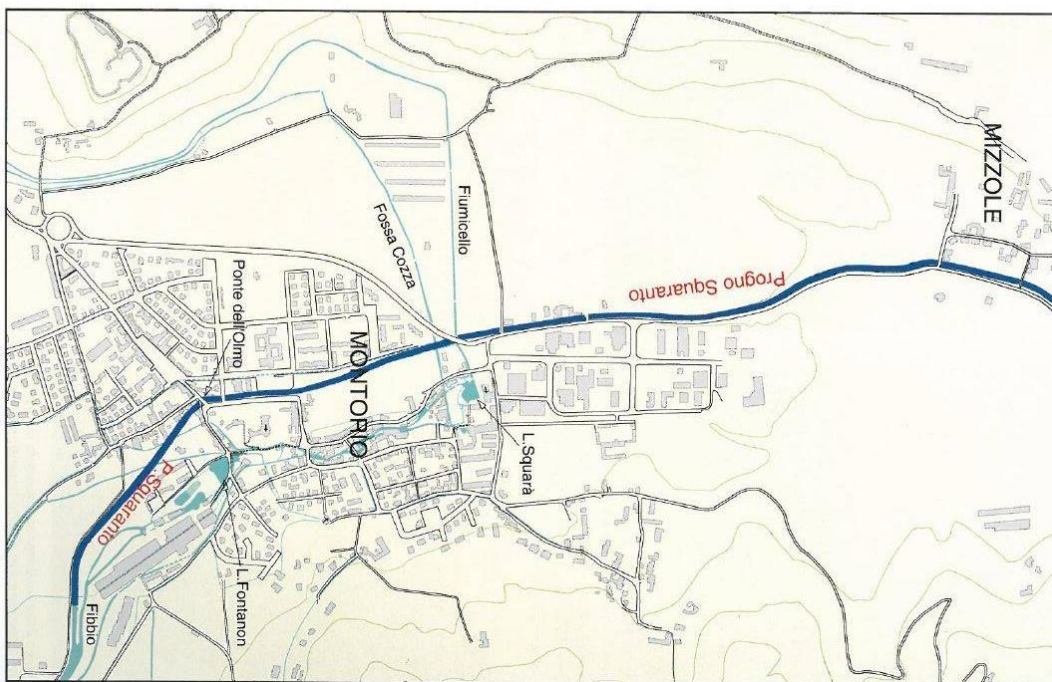


so o pieno di macigni.

Il torrente si origina dal Valon del Malera, una piccola valle glaciale della Lessi-



Particolare del disegno di F. Cuman del 1685 raffigurante l'area del Fontanon con il progetto di rettificata del Progno Squaranto nella parte terminale (per gentile concessione di Remo Artolli)





In località *Confin* una briglia di rallentamento e un muro di contenimento



Il *Progno* nel *Vajo Squaranto* poco prima della *Rochetta* bassa



Tipico attraversamento seguendo il corso della corrente con *risalita* in senso inverso

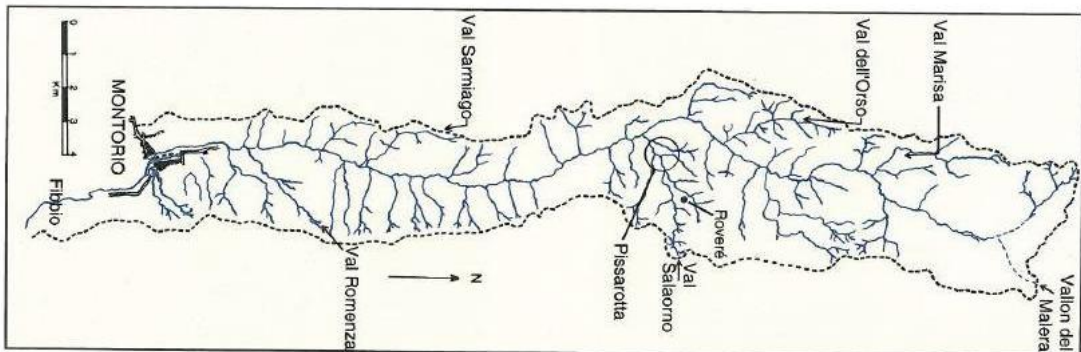
nia situata tra il *Castel Garbana* (1806 m slm) e il *Monte Malera* (1772 m slm). Il suo percorso si snoda tra gole selvagge e fitti boschi.

Allo sbocco in pianura incontra il primo nucleo abitato, *Pigozzo*, circa 4 km prima di finire nel *Fibbio* a *Montorio* dopo aver percorso poco più di 30 km.

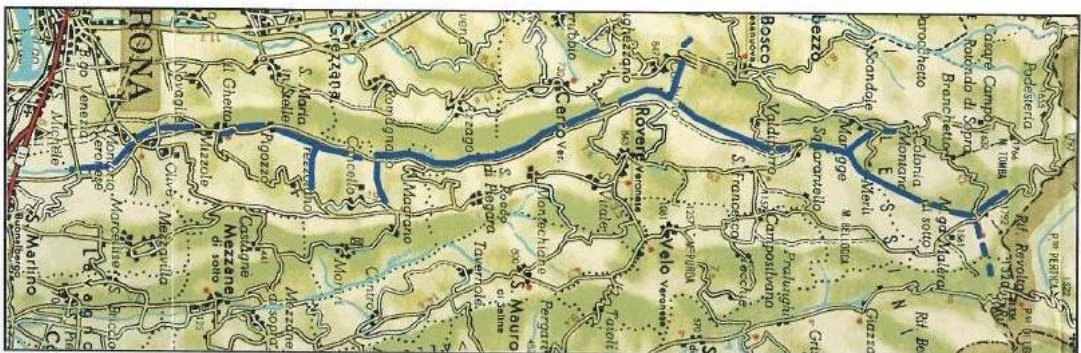
Dalla località *Pissarota*, sotto *Roverè*, il letto del torrente è imbrigliato per rallentare la corsa delle sue acque e in località *Confin*, alle briglie si aggiungono le sponde di contenimento in pietra, che si fanno più massicce e rinforzate man mano che si scende verso valle.

Nei momenti di piena la forza delle sue acque può diventare molto pericolosa e fin dai tempi antichi gli uomini hanno imparato a temerla.

Le cronache infatti ci parlano di numerose rotte facilitate da argini poco consi-



Schema idrografico con i nomi dei valli più conosciuti



Particolare della mappa stradale delle località lambite dal *Torrente Squaranto*

sienti, dall'inesistenza di briglie a monte, da boschi radi e deperperati dal taglio e dalla raccolta di legna.

L'acqua trovando scarsi ostacoli piombava a valle con estrema velocità, travolgendo tutto al suo passaggio e portandosi via anche la terra fertile che i contadini con fatica avevano trasportato a spalla per migliorare la resa dei loro campi. L'opera di protezione del territorio, inteso come nucleo abitato e cenno di fioriti attività artigianali nel settore molitorio e laniero, fu certamente affrontata fin dal Medio Evo.

Essendo però la costruzione delle opere di difesa, prima del periodo napoleonico, sempre a carico dei frontisti, queste erano fatte in economia e pertanto di scarsa durata. Venivano scavati numerosi piccoli canali che, diramandosi per la campagna, avevano il duplice scopo di at-



Argini del torrente all'altezza di Villa Piatì a Pigozzo



Ponte ottocentesco sul Torrente Squaranto all'ingresso dell'abitato di Pigozzo

nuare la forza distruttiva delle acque di piena e di fertilizzare il terreno depositando il limo.

Nel 1556 la furia delle acque del Prognò fu talmente violenta, che divise le chiese dello Squarà, danneggiò il corso del Fiumicello e scavò un nuovo letto nella piana di Montoro.

Alcuni anni dopo i fratelli Bonetti, che stavano procedendo allo scavo delle fosse Zenobria e Murara, deviarono il corso del Prognò, creatosi spontaneamente, facendolo passare tra il Fontanon e il Tondello, inglobando nel suo letto le Sorgive Basse e scaricandolo sulla sinistra del Fibbio, circa 300 metri a valle del Fontanon.

Questa soluzione arrecò però danni ingenti alle attività economiche locali, poiché i canali su cui sorgevano mulini e folli venivano riempiti dalle ghiaie che si depositavano durante le piene.

Nel 1573 la furia delle acque sfondò la porta della Pieve di Santa Maria Assunta raggiungendo l'altezza di m. 1.75 come ricorda una lapide ivi murata.

Nel 1613 la porta della chiesa fu nuovamente danneggiata da un cumulo di sassi e detriti portati dalle acque di piena. Al momento del rifacimento la si volle proteggere alzandola con tre gradini.

Nel 1688, un sopralluogo del magistrato sopra i Beni Inculti, nella zona delle Sorgenti Basse, accertò il gravissimo degrado degli edifici da mulino ed un diffuso inghatamento dovuto alle piene del torrente. I periti sollecitarono i proprietari dei terreni adiacenti a ratificare il corso del Prognò per allontanarlo dalle sorgenti.

Dopo varie liti e vicissitudini nel 1710 fu data esecuzione ad un progetto di modifica del corso del torrente: il Prognò dalla chiesa di San Giuseppe vicino al pon-

te dell'Olmo, da allora avrebbe portato le acque direttamente in Fibbio evitando la zona delle sorgenti.

Con l'espansione urbanistica si rese necessaria una maggior sicurezza delle zone abitate che erano sempre più minacciate dal progressivo innalzamento del letto del torrente sul piano di campagna per la mancata asportazione delle ghiaie portate a valle a cui si pensava di far fronte con l'innalzamento degli argini che così diventavano però sempre meno sicuri. Nel 1845 si registrò un'altra rovinosa piena del torrente che danneggiò gravemente il letto del Fiumicello.

Nel 1861 i proprietari del grande stabilimento di filatura sorto a valle del Fontanon prolungarono fino alla località Gressina il corso del torrente per evitare possibili danni alla fabbrica, nonostante l'opposizione del Consorzio.



Il torrente nei pressi di Mizzole con le opere di contenimento



Porte sulla tangenziale di Montorio a nord dell'abitato all'altezza del Laghetto Squarà visto dalla località Ponte Verde

Sotto il dominio austriaco, con l'istituzione del Genio Civile, si pose una maggior attenzione alle opere di difesa idraulica che cominciarono ad essere considerate globalmente lungo tutto il tracciato dei corsi d'acqua.

Nonostante questa nuova attenzione, il problema dell'asportazione delle ghiaie del torrente si aggravò all'inizio del XX secolo: nel 1906 collassò l'argine destro del torrente poco a nord dell'asilo Regina Margherita e la piena si riversò nella grande prateria.

In quell'occasione vi furono inondazioni anche a Mizzole e Pigozzo dove fu abbattuto anche il ponte sulla strada per Roverè.

Nel 1911 fu l'argine sinistro che cedette poco a monte dell'asilo riversando in gran quantità massi, ghiaia e acqua nel centro del paese. Significativo l'articolo

apparso il giorno successivo sul giornale L'Arena che riportiamo più avanti.

Il 24 agosto del '34 una grande piena cambiò il volto di Montorio: il Prognotraccio superando gli argini a Ponte Verde, allagando la piazza antistante l'antica Pieve. Più a valle, lungo la Strada Nova attuale via Olive, poco sotto l'asilo Regina Margherita si aprì nella sponda sinistra una grande breccia di oltre cinquanta metri che riversò nel prato della Mandria un'enorme quantità di massi e ghiaie.

Una terza rottura si verificò appena a valle dei Camillioni e spazio vi gli oriti delle case operate.

Il Genio Civile avviò allora una serie di lavori per la messa in sicurezza del paese impiegando diverse centinaia di operai per oltre due anni: il letto del torrente fu abbassato fino al piano di camp-

gna, da Montorio a Mizzole, asportando due metri e mezzo di ghiaia.

Il materiale asportato fu accumulato nel grande prato della Mandria, oggi piazza delle Penne Nere, contemporaneamente fu abbassata di due metri la Pontara dell'Olimo, il cui ponte settecentesco fu demolito per rifarne uno in cemento più in basso.

Il percorso del Prognò venne nuovamente accorciato anticipandone l'immissione in Fibbio all'altezza della contrada Parola.

Alla confluenza con il Fibbio si realizzò un grande bacino.

La recente rotta del 1986 ci rammenta che il torrente è sempre in agguato e pronto a colpire: occorre quindi sorvegliare e mantenere pulito tutto il suo corso.



Porte dell'Olimo a Montorio rifatto nel 1935 dopo la disastrosa alluvione



La confluenza del Torrente Squaranto in Fibbio nei pressi della contrada Parola dopo la sistemazione del 1934-36

L'ARENA - 07/08.06.1911

**La rotta del Progno di Squaranto
Danni a Montorio - Una vecchia storia di paura**

Il temporale di venerdì ha rovesciato un diluvio d'acqua nella valle di Squaranto di Roverè di Velo. Verso le ore sette il Progno, che passando da Pigozzo a Mizzole giungeva a Montorio, correva gonfio in modo spaventoso. A Pigozzo l'altezza delle acque giungeva sopra il parapetto e le due spalle del ponte furono asportate. Il Progno corre fra gli argini attraversando il paese di Montorio. L'argine rimpietto alla Cooperativa di consumo non resistette alla furia delle onde e fu rovesciato. L'acqua che aveva una grandissima velocità invase i magazzini ed il negozio della Cooperativa ed il vicino negozio di generi alimentari del sig. Fraccolari. Il personale dei negozi tentò di porre in salvo le merci, ma senza riuscirci. La corrente trasportò fuori sacchi di generi alimentari e perfino i banchi. Anche le case vicine ebbero i pianterreni allagati ed i mobili asportati. Il Progno si scarica nel Fibbio perciò molte masserizie andarono a finire nei canali del Fibbio che attraversano il paese. A mattina del 7 agosto si trova la segheria Venturi ed anche questa fu danneggiata per i pezzi di legname che, spinti dalla corrente, andarono a cozzare contro le ruote del movimento. Una vittima dello spavento si ebbe purtroppo in contrada Pigoz. In una di quelle case abita certa Merlo Maria d'anni 70 appartenente a famiglia di contadini. Allo scoppio dell'uragano la Merlo era in casa. Lo scrosciare delle acque che invadevano il pianterreno sconvolgendo i mobili, lo scoppio dei tuoni, turbano talmente la Merlo, che stava al primo piano, da farla cadere per lo spavento svenuta al suolo. I suoi famigliari accorsi la rialzarono e la posero a letto, ma la Merlo era già spirata per sincopa cardiaca causata dallo spavento. La Merlo si era spaventata perché anni or sono, in causa di eguale disastro, ebbe la casa inondata. L'uragano durò due ore, quindi le acque del progno andarono abbassandosi e durante la notte corsero solo sul letto del torrente. Sammare a Montorio si lavora a ricuperare le masserizie galleggianti nel Fibbio ed a pulire i pianterreni ed i negozi pieni dal fango. I danni si calcolano a qualche migliaio di lire.



1934-36: lavori in prossimità della confluenza in Fibbio per la sistemazione del torrente Squaranto dopo la disastrosa rotta (Per gentile concessione di Remo Artioi)



25 agosto 1934: la grande breccia aperta nella sponda sinistra del torrente presso l'asilo infantile R. Margherita; fu spazzata via anche la strada isolando il paese (foto Bruno Zamboni)



25 agosto 1934: ecco come era ridotta la piazza della chiesa dopo la piena. Sullo sfondo il Laghetto Squarà (foto Bruno Zamboni)

CONTROLLI DI ACCETTABILITÀ DEL DTM UTILIZZATO

Successivamente alla creazione della superficie si è provveduto al controllo di accettabilità della stessa attraverso una serie di verifiche atte a testarne l'utilizzabilità per le finalità oggetto della presente relazione.

Il primo controllo è stato quello di verificare che l'immagine della superficie nelle zone di giunzione non mostrasse discontinuità evidenti. Nella Figura 30 è mostrata la nuova superficie con in evidenza il contorno dell'integrazione, da un primo riscontro visivo è evidente che non sussistono discontinuità macroscopiche.

Una successiva e più approfondita verifica è stata quella di tracciare in alcuni punti di controllo dei profili longitudinali del DTM per controllare che non ci fossero discontinuità tali da ostacolare il deflusso delle acque e falsare i risultati della modellazione.

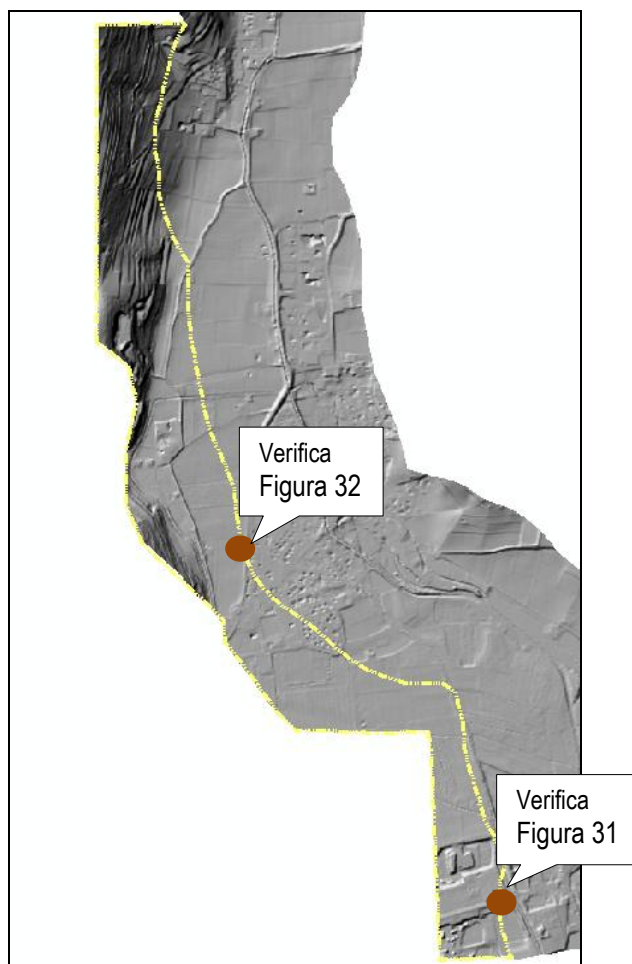


Figura 30 – Planimetria con indicazione dei punti di verifica del DTM

In Figura 31 e Figura 32 sono mostrati i profili longitudinali del terreno in corrispondenza dell'integrazione della superficie. Per brevità di esposizione sono stati riportati esclusivamente queste due verifiche ma prima di utilizzare la superficie sono state realizzate numerosi ulteriori profili campione.

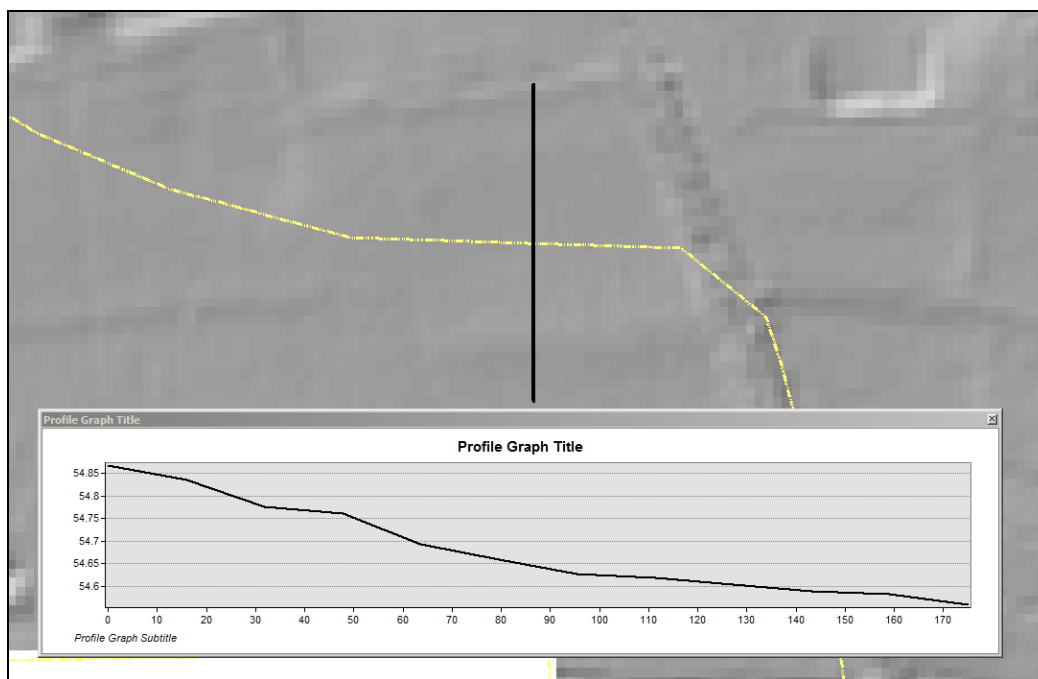


Figura 31 – Verifica Sezione del DTM

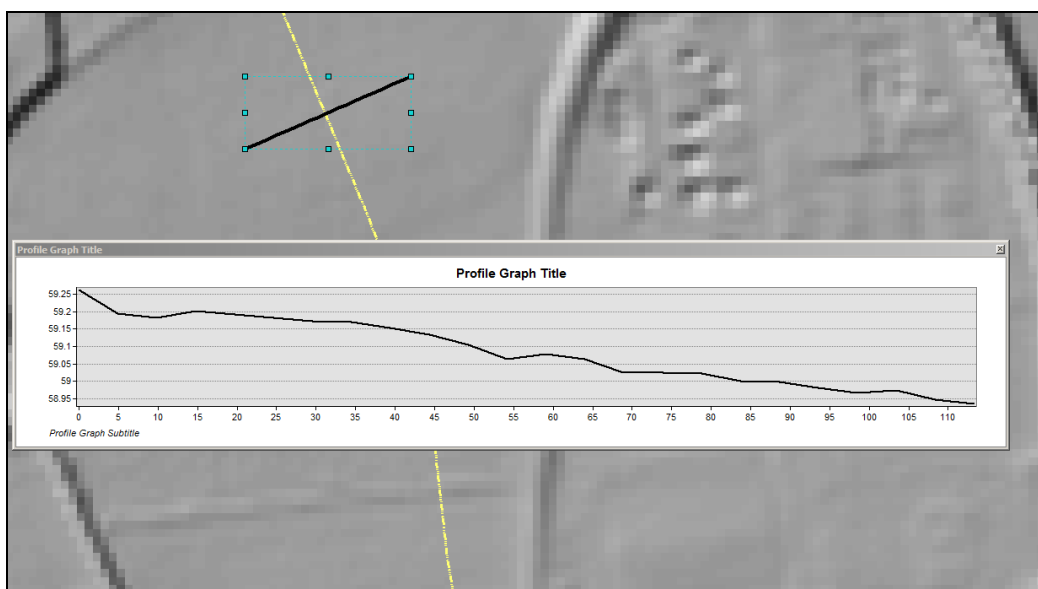


Figura 32 - Verifica Sezione del DTM

L'ultima ma più significativa verifica ha riguardato il controllo delle quote tra il DTM del Ministero e il rilievo effettuato dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige. Nelle Figura 33 e Figura 34 sono riportati in blu i punti rilevati e in rosso la maglia regolare di punti del DTM entrambi con la quota contrassegnata in altro a destra.

La verifica di Figura 33 è stata eseguita in corrispondenza di una strada asfaltata dove è noto che il DTM raggiunge precisioni elevate e paragonabili a quelli di un rilievo topografico, difatti riscontrabili gli scarti sono nell'ordine del centimetro e rassicurano sulla coerenza del DTM con il rilievo eseguito per le sezioni trasversali dello Squaranto.

Nella Figura 34 è stata eseguita la stessa verifica ma in corrispondenza di un vigneto e anche in questo caso gli scarti

sono assolutamente compatibili con le finalità prefissate.

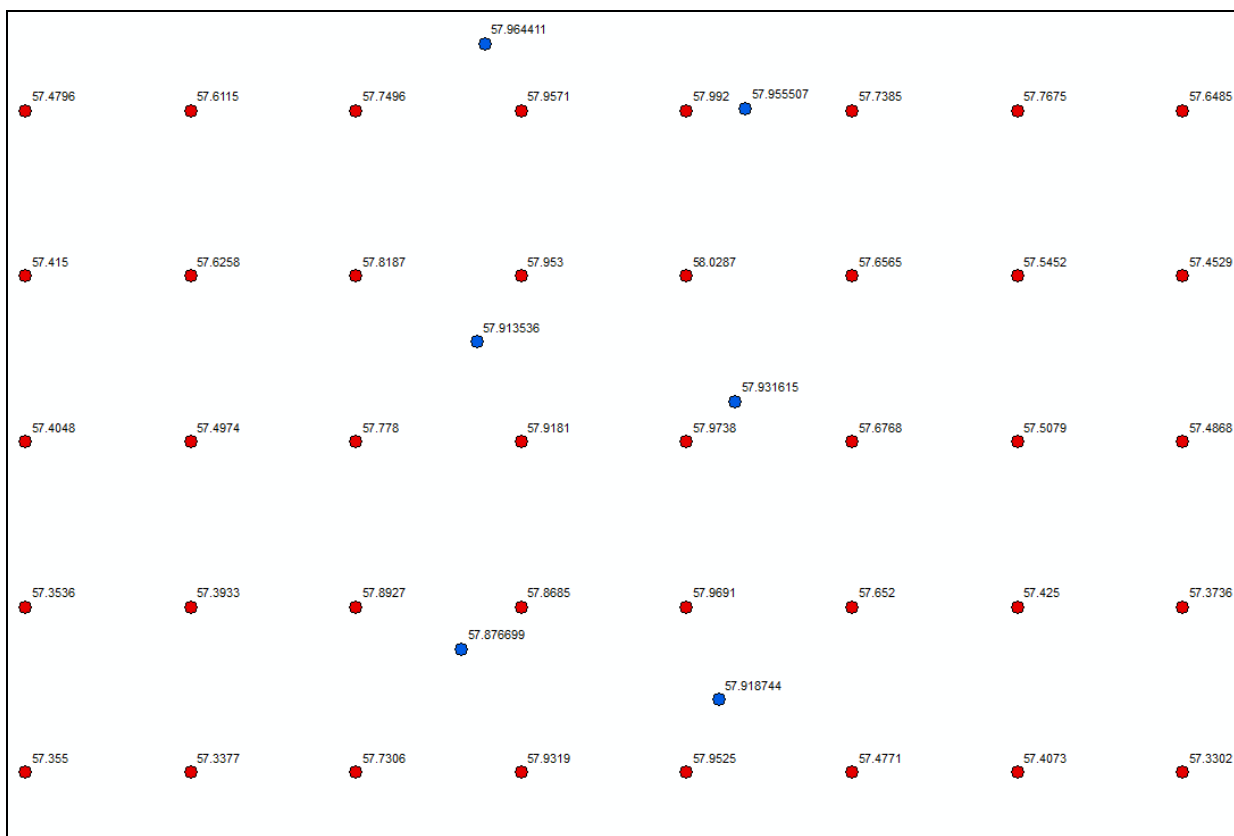


Figura 33 – Punti del Rilievo sovrapposti alla griglia del LIDAR in campagna



Figura 34 – Punti del Rilievo sovrapposti alla griglia del LIDAR su strada

IL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- ✓ portate laterali;
- ✓ condizioni di corrente veloce o lenta;
- ✓ flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- ✓ differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- ✓ resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- ✓ casse d'espansione;
- ✓ condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- ✓ azione del vento;
- ✓ nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHIMIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

Modello monodimensionale

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle, cioè simulare i fenomeni di rigurgito.
- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle

tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati sia reti idrauliche con maglie chiuse.

Equazioni generali di de Saint Venant

MIKE 11 mediante il terzo tipo di formulazione risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- La pendenza del fondo è piccola.
- Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m³ s⁻¹);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m² s⁻¹).

Simulazione delle correnti veloci con l'approccio dell'onda dinamica

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

Approssimazione dell'onda diffusiva

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare tutti i termini legati alla quantità di moto nelle equazioni generali di De Saint Venant:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine $\frac{\partial h}{\partial x}$. Per ragioni di stabilità questo termine nella soluzione viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

Descrizione in corrispondenza di strutture

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo

pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_1) \cdot Z_1^2$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

Resistenza d'attrito

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{C^2 A R}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{g Q Q}{M^2 A R^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

Condizioni iniziali

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso

viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

Metodo di soluzione

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;

la distanza tra due punti h può essere variabile;

ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;

ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

Condizioni al contorno

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

Definizione dei passi di calcolo

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d} + V}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;

V = velocità media della corrente;

g = accelerazione di gravità;

Dt, Dx =passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

Criterio della velocità

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

In osservanza ai sovraccitati criteri è possibile definire unicamente intervalli di valori per Dx e Dt e non valori univoci per ogni simulazione.

Modello bi-dimensionale

Il codice di calcolo MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile approssimare il comportamento con l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei: il numero "21" che contraddistingue il codice sta proprio ad indicare la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il modulo idrodinamico risolve le equazioni complete del moto di de St.Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema di de St.Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fV V_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fV V_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a \\ & + \frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$ = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$ = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$ = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$ = coefficiente di scabrezza di Chezy;

g = accelerazione di gravità;

$f(V)$ = fattore d'attrito del vento;

$V, V_x, V_y(x,y,t)$ = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$ = parametro di Coriolis;

$p_a(x,y,t)$ = pressione atmosferica;

ρ_w = densità dell'acqua;

x,y = coordinate spaziali;

t = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$ = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio τ che compaiono nelle equazioni di conservazione della

quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddyviscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h E \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

tali due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale, Δ è la dimensione spaziale della griglia e c_s è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(h E \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{2} h E \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m³/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m³/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

La condizioni iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" si verifica che la situazione ottenuta sia di effettiva stazionarietà.

Le equazioni del modello sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (AlternatingDirectionImplicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).



Parametri significativi del modello

Il modello matematico monodimensionale ha uno sviluppo di 6340 m e parte circa 1000 m prima dell'inizio del tratto arginato fino alla confluenza del Fibbio, e il primo ponte è alla progressiva 1530. Per implementare il modello sono state considerate 78 sezioni tutte rilevate con strumentazione GPS. Il valore della scabrezza utilizzato (n di Manning) è stato considerato pari a $0,03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$, concorde con quanto utilizzato nelle modellazioni sul Fibbio per la redazione del P.A.I. e concordemente con i valori di letteratura per la tipologia di alveo in questione.

Lungo il percorso del torrente Squaranto sono stati riscontrati numerosi ponti. Tali strutture sono state puntualmente rilevate e considerate nel modello di calcolo monodimensionale. Una prima ricognizione del numero, della tipologia e delle caratteristiche geometriche è stata effettuata prendendo a riferimento il catasto delle opere idrauliche. Successivamente è stato effettuato un rilievo puntuale di ogni singolo ponte e sono state definite le dimensioni caratteristiche da inserire nel modello di calcolo. Tutti i dettagli sono contenuti negli elaborati grafici a corredo nei quali i ponti seguono la numerazione originale del catasto delle opere idrauliche dell'Autorità di Bacino del fiume Adige.

Per il modello bidimensionale è stato considerato il DTM come descritto nel paragrafo 3.2 ricampionandolo con una risoluzione $5 \times 5 \text{ m}$.