

# **UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

## **Tesi di Laurea**

### **MODELLAZIONE NUMERICA DELLA PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA LUNGO IL TORRENTE MUSON DEI SASSI**

*-Numerical modeling of flood propagation along the Muson river-*

Laureanda: MARIN BARBARA

RELATORE

Carniello Luca

CORRELATORE

Viero Daniele Pietro

**Anno Accademico 2013-2014**



# INDICE

1	INTRODUZIONE .....	1
1.1	Premesse .....	1
1.2	Geografia del torrente Muson dei Sassi .....	2
1.3	Cenni storici.....	4
1.4	Principali eventi di piena e situazione attuale .....	6
1.4.1	L'alluvione del 1998 .....	7
1.4.2	Gli eventi più recenti .....	9
1.4.3	Le condizioni di pericolosità idraulica.....	10
2	MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE .....	13
2.1	Il modello bidimensionale .....	13
2.1.1	Equazioni bidimensionali del moto.....	13
2.1.2	Transizione asciutto-bagnato: la media di fase.....	14
2.2	Gli elementi monodimensionali.....	17
2.2.1	Elementi monodimensionali "canale" .....	17
2.2.2	Elementi monodimensionali "speciali".....	19
2.2.3	Tronchi speciali soglia.....	20
2.2.4	Tronchi speciali idrovora .....	21
2.3	Condizioni al contorno .....	22
3	COSTRUZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO.....	25
3.1	3.1 Inquadramento geografico.....	25
3.2	Creazione della geometria.....	26
3.3	Generazione della mesh.....	28
3.4	Proprietà degli elementi: quote e scabrezze.....	33
3.4.1	Quotatura delle maglie.....	34
3.4.2	3.4.2. Quotatura dei tronchi speciali soglia .....	38
3.4.3	Assegnazione dei coefficienti di scabrezza.....	40
4	OPERE IDRAULICHE RIPRODOTTE NEL DOMINIO .....	43
4.1	Variazioni delle caratteristiche dell'alveo (ponti e salti di fondo).....	43

---

4.2	Confluenze .....	48
4.2.1	Torrente Muson e Roggia Musonello .....	48
4.2.2	“Anello” dell’Avenale .....	49
4.2.3	Fosso Vandura e Fossa Mauri .....	50
4.2.4	Fiume Muson Vecchio e Torrente Muson dei Sassi .....	51
4.2.5	Fiume Tergola e Torrente Muson dei Sassi .....	51
4.2.6	Fiume Tergola e Fiume Tergolader (Tergola Vecchio) .....	51
4.3	Principali nodi idraulici .....	52
4.3.1	Nodo idraulico di Castelfranco Veneto .....	52
4.3.2	Nodo idraulico di Camposampiero .....	57
4.3.3	Nodo idraulico di Torre dei Burri .....	61
4.4	Vasche di laminazione .....	64
4.4.1	Vasche di laminazione sul Fosso Brenton .....	64
4.4.2	Vasche di laminazione sul Torrente Avenale .....	65
4.4.3	Vasca di laminazione di Mussolente (VI) .....	65
4.4.4	Vasca di laminazione di San Zenone degli Ezzelini (TV) .....	67
4.4.5	Vasca di laminazione di Riese Pio X (TV) .....	68
4.4.6	Vasca di laminazione di Spineda (TV) .....	68
5	APPLICAZIONE DEL MODELLO PROPAGATORIO .....	71
5.1	Il file SIM .....	71
5.2	Condizioni al contorno .....	78
5.3	Moto Permanente .....	83
5.4	Analisi di sensibilità .....	88
5.5	Moto Vario .....	97
6	CONCLUSIONI .....	103
	BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA .....	105

# 1 INTRODUZIONE

## 1.1 Premesse

Alluvioni, piene, rischio idraulico, dissesto idrogeologico: terminologie quanto mai attuali e sempre più usate, a volte abusate da giornali, radio, televisione e nuovi social media di ogni genere. Non appena le condizioni meteorologiche si fanno sfavorevoli, l'attenzione si sposta immediatamente sui corsi d'acqua, nasce la paura tra la popolazione per i disagi che si potrebbero verificare poiché da tempo ormai (ma soprattutto negli ultimi decenni con la grande urbanizzazione ed industrializzazione a



Fig. 1.1 Esempio dei disagi legati al dissesto idrogeologico

perturbare gli equilibri originali della natura) abbondano le testimonianze, storiche ma anche tragicamente recenti, di esondazioni, rotte arginali ed allagamenti che si spingono anche fino ai centri abitati; oltre alle acque, quindi, dilaga anche l'incertezza poiché mancano la sicurezza e la tranquillità da parte degli abitanti delle zone colpite e gli addetti al settore si trovano sempre più stretti da una morsa: da un lato le dirompenti piene dei fiumi che si vogliono riappropriare di quanto loro spetta e dall'altro i cittadini, che si vedono poi costretti ad abbandonare la propria casa quando vengono sommersi piani terra e seminterrati. E dalle condizioni di pericolosità idraulica non è esente il torrente Muson dei Sassi, il corso d'acqua di cui si tratterà nel corso del presente elaborato.

In questo contesto nasce "Smart Water"; questo il nome del progetto europeo di cui la provincia di Padova è l'ente capofila, che potrebbe diventare un domani un valido alleato nella gestione di situazioni di emergenza legate alle alluvioni. L'obiettivo è mettere insieme le varie conoscenze europee e ottenere un modello che preveda in tempo reale e con dati diffusi via web le piene del Muson dei Sassi, cioè un'applicazione accessibile che sia in grado di monitorare e prevedere in tempo reale e nel modo più preciso possibile eventuali emergenze derivanti dalle piene dei fiumi.



Fig.1.2 Le Fosse Civiche di Castelfranco Veneto in condizioni di piena

Scopo del presente lavoro è quindi quello di costruire le basi del modello idraulico che si andrà ad utilizzare nel suddetto progetto, partendo da una fase preliminare di raccolta dei dati utili alla ricostruzione della geometria di una porzione sufficientemente estesa di territorio contenente la rete idrografica principale affluente al Muson dei Sassi, fino alla taratura del modello matematico bidimensionale e successiva fase di simulazione della propagazione delle onde di piena lungo il sistema allo scopo di testarne il funzionamento. Sarà quindi possibile, in una fase successiva, aggiungere alla seguente

schematizzazione ulteriori elementi (es: idrovore e rete dei canali di bonifica) per renderla sempre più rispondente alle reali caratteristiche del territorio e, nel momento in cui saranno disponibili, utilizzare come condizioni al contorno gli idrogrammi di piena ottenuti dall'elaborazione, tramite un opportuno modello idrologico di tipo geomorfologico, delle informazioni di precipitazione sul territorio (sia misurate che previste) per ottenere risposte in termini di propagazione sempre più attinenti alla realtà fino all'auspicato raggiungimento dell'obiettivo finale, cioè un'applicazione che combini il modello idrodinamico qui sviluppato a quello geomorfologico in modo da restituire risultati praticamente in tempo reale che permettano di raggiungere gli obiettivi che il progetto Smart Water persegue e consentire agli enti di competenza, in primis la protezione civile, di effettuare con un certo anticipo la messa in sicurezza delle zone a rischio o, con una visione più a lungo termine, di studiare e progettare nuove soluzioni che consentano di ridurre il più possibile il rischio idraulico sul territorio.

## 1.2 Geografia del torrente Muson dei Sassi

Il Muson dei Sassi viene chiamato anche Muson torrente, in quanto è caratterizzato da un andamento impetuoso ed irregolare e la sua portata è fortemente variabile durante l'anno; nasce dalle colline di Monfumo a nord di Asolo (TV), a quota 187 m s.l.m., da un ramo che trae origine dal Gorgo del Tinazzo in località Castelli.



Fig. 1.3 Sorgente del Muson dei Sassi a Monfumo

Nel tratto a nord di Castelfranco Veneto (TV) il torrente, di lunghezza pari a 20 km circa, drena un bacino di estensione pari a 310 km<sup>2</sup>; l'asta principale, dopo aver ricevuto le acque di un secondo ramo sorgentifero che sgorga nel territorio di Castelcuoco, scorre verso valle con andamento NordEst-SudOvest attraverso le colline asolane fino a sfociare nell'alta pianura trevigiana; piega quindi in direzione Sud fino a quando, in località Spineda, riceve in destra il contributo del torrente Lastego che scende dalle pendici sud-orientali del massiccio del Monte Grappa, mentre più a valle confluiscono alcuni torrenti minori, come il Giaretta-

Viazza, che nasce nella parte alta della conoide del Brenta in una zona delimitata ad ovest dal Brentone ed a est dal Lastego.

Dalla confluenza Lastego-Muson il corso d'acqua principale si dirige verso Sud in direzione Castello di Godego; in questa parte del suo corso, il Muson riceve importanti apporti dei suoi tributari di destra, che alimentano in modo consistente l'asta del torrente Brentone-Pighenzio il quale, infatti, drena la parte occidentale del bacino montano del Muson dei Sassi ed in particolari i territori di Crespano del Grappa, Borso del Grappa, Mussolente, Bassano del Grappa, Cassola e Rossano Veneto. A valle di Castello di Godego il corso d'acqua piega ad oriente, verso l'abitato di Castelfranco Veneto, nei pressi del quale il Muson dei Sassi riceve in sinistra orografica la Fossa Avenale che, assieme al fosso Brentone, drena la porzione orientale del bacino a monte di Castelfranco, nei territori di Asolo, Maser, Caerano

di San Marco, Riese Pio X, Loria. Si dirige quindi verso Sud fluendo entro argini sempre più alti e procedendo verso valle fino alla confluenza in Brenta in sinistra idrografica nei pressi di Pontevigodarzere (PD), chiuso da una soglia fissa che ne sostiene opportunamente le quote idrometriche durante gli stati di magra pronunciata; lo sviluppo dell'asta è di 25 km circa.

In quest'ultimo tratto, dove i deflussi del Muson sono praticamente formati e gli ulteriori contributi alla formazione delle sue portate di piena sono modesti, il torrente incrocia il F. Muson Vecchio, che lo sottopassa all'altezza di Camposampiero, ed il F. Tergola, che a sua volta lo supera sottopassandolo all'altezza del sostegno di Torre dei Burri; in particolare, a valle del nodo di Torre dei Burri, solo acque sollevate meccanicamente sono scaricate nel Muson dei Sassi, che va a rappresentare pertanto in questa zona il corpo idrico ricevente di un esteso bacino in destra orografica (34 km<sup>2</sup>).



Fig. 1.4 Soglia di fondo antecedente la confluenza in Brenta

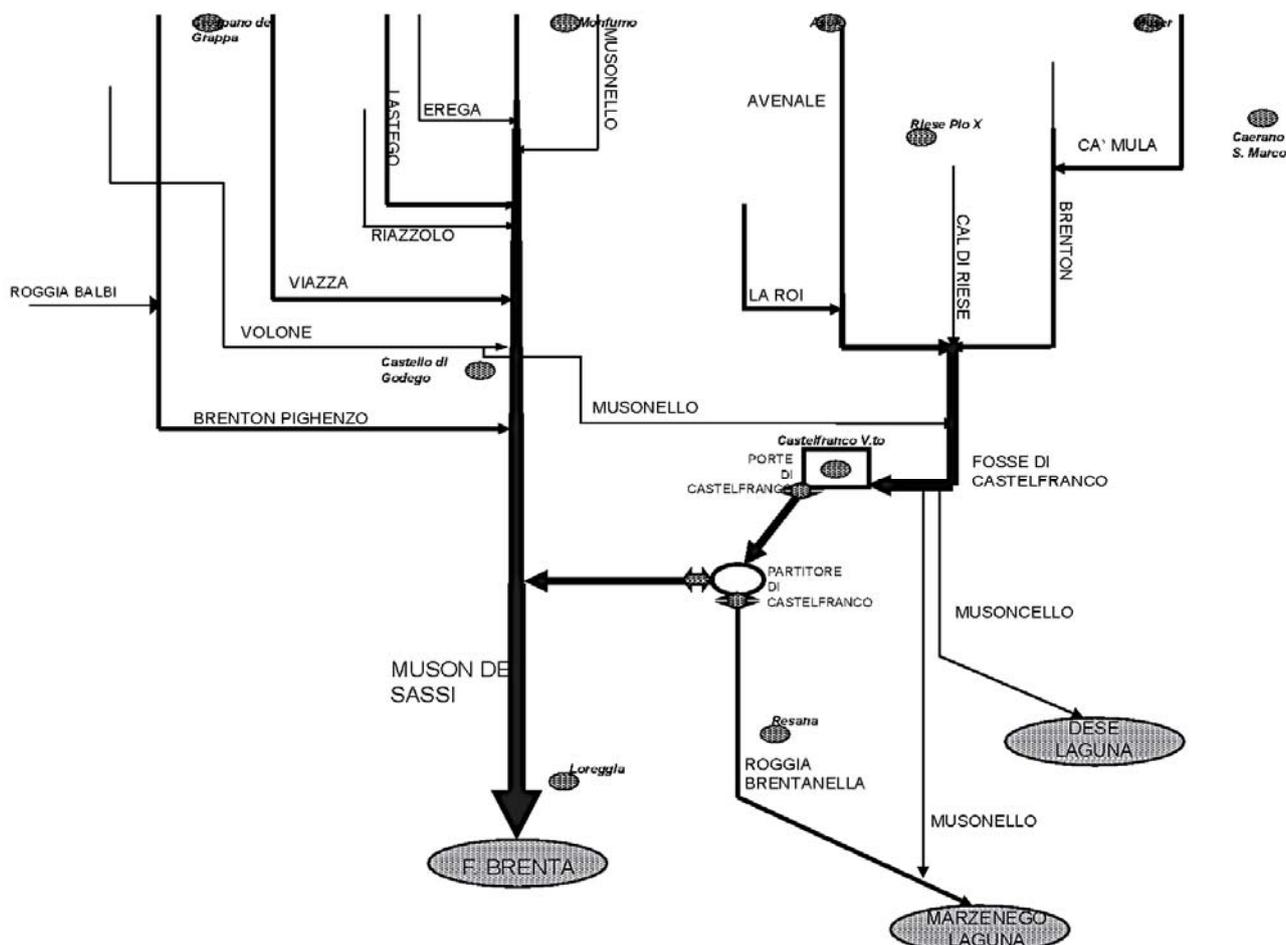


Fig. 1.5 Schema idraulico del bacino del Muson dei Sassi

Solo quando le condizioni idrometriche lo consentono, portate del Tergola possono defluire nel Muson dei Sassi attraverso il Canale Viana. Tuttavia, quasi mai questa circostanza si realizza in fase di piena sostenuta. Gli effetti di rigurgito esercitati dal Muson dei Sassi sul Canale Viana non permettono, infatti, di regolare il sostegno di Torre dei Burri in modo da alleggerire le portate in arrivo dal Tergola, che sono costrette, sottopassando l'alveo del Muson dei Sassi, a proseguire in toto verso valle, defluendo entro l'alveo del Tergola stesso.

### 1.3 Cenni storici

Quello sinteticamente descritto non è però il corso naturale del fiume; l'antico corso del Muson, infatti, dopo aver ricevuto le acque del Lastego e del Volone, si divideva in due rami presso Spineda, i quali andavano poi riunendosi per essere definitivamente separati da un divisorio artificiale: il primo ramo prendeva il nome di Musonello o Marzenego e scorreva attraverso Castelfranco, Resana, Noale, Mestre e da qui in laguna, mentre al secondo veniva dato il nome di Muson o Soprabbondante del Muson e procedeva verso ovest rispetto a Castelfranco, per poi scendere attraverso Camposampiero, Stigliano, Mirano e quindi sfociare in laguna con un tracciato che si identificava con quello dell'attuale rio Rustega fino al suo punto di raccordo col Muson Vecchio; da qui proseguiva infine all'incirca sullo stesso suo tracciato odierno.

Le prime consistenti modifiche del sistema naturale avvennero nel XIV secolo per ragioni militari; il Muson all'epoca costituiva il confine tra i domini di Padova e quelli della Serenissima e venne ad

avere un ruolo strategico nella politica territoriale quando, nel 1370, Francesco da Carrara intraprese un'imponente opera di scavo e sistemazione dell'alveo del corso d'acqua. Egli prescrisse l'approfondimento e l'allargamento del letto del fiume nel tratto compreso tra Camposampiero e Mirano, per potervi inserire al suo interno anche i corsi d'acqua del Vandura ed eventualmente il Rosada; in questo modo sperava che il corso d'acqua, notevolmente ingrossato, fosse in grado di scaricare quanti più detriti possibile in mare, così da poter interrare la laguna e pregiudicare gli sforzi sia commerciali che militari dei veneziani. Stabili inoltre l'innalzamento dell'argine destro del Muson, in modo che le eventuali piene, più frequenti ora che la portata era stata aumentata, potessero sfogare solo dalla parte dei territori sottoposti a Venezia.

Una volta però che l'intero territorio veneto passò sotto il dominio della Serenissima, la priorità per quest'ultima fu quella di procedere con la sistemazione dei corsi d'acqua veneti, animata sempre dall'obiettivo di allontanare, per quanto possibile, i pericoli che il sistema dei fiumi veneti nel suo complesso costituiva per la laguna di Venezia.

Poiché, oltre ai corsi principali, anche il Muson contribuiva col suo trasporto all'interrimento della laguna, i provvedimenti di riorganizzazione riguardarono anche tale corso d'acqua; prima di procedere con una diversione completa fu però in

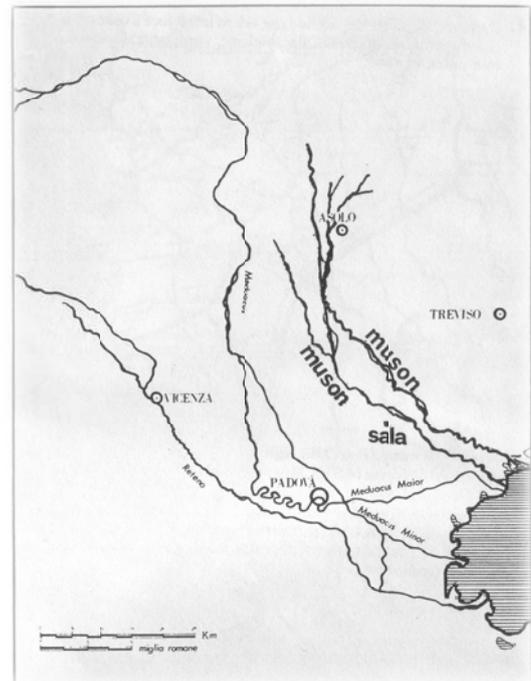


Fig. 1.6 Andamento del fiume Muson all'epoca del dominio romano

genere necessario diminuire la portata che si aveva nell'alveo del corso d'acqua stesso. I primi interventi al sistema idraulico in esame si ebbero nel 1458, quando si decise di scavare un nuovo canale, necessario per alleggerire la portata idrica del Muson; a tale corso d'acqua venne dato il nome di Tergolino, il quale tuttora attraversa Camposampiero e si immette nella Tergola, all'altezza di Torre dei Burri.



Fig. 1.7 Passaggio del Tergolino a Camposampiero

Una seconda operazione di alleggerimento si ebbe nel 1531 andando a provvedere al contributo dato dalla Brentella, la quale si univa nella zona di Castelfranco al corso principale del Muson permettendo ai suoi mulini di avere un maggior approvvigionamento d'acqua per le proprie ruote. Tali acque passavano poi nel Bottenigo e da qui giungevano in mare, contribuendo all'interramento della laguna di Venezia; per questo motivo si stabilì che la Brentella non si unisse più al corso del Muson, sempre al fine di evitare di caricare eccessivamente la laguna con le sue acque dolci.

Fino ai primi anni del 1600 non vennero effettuati altri interventi sostanziali ma si entrò in una fase di stallo, nel corso della quale furono elaborate numerose ipotesi da parte degli esperti dell'epoca in merito alla tanto discussa operazione di diversione del Muson; fu infatti solo nel 1612 che si giunse ad una conclusione sulle opere da eseguire. Tutti i problemi e i progetti relativi a tale argomento furono posti in evidenza durante un sopralluogo congiunto del Magistrato alle Acque e dei delegati eletti dal Collegio delle Acque eseguito il 20 febbraio 1611. Tale commissione si riunì nuovamente a Dolo il 14 aprile 1612, dove redasse un documento definitivo nel quale si stabilì di seguire il progetto proposto dai periti Gallo, Gallesi, Contini e Guberni, che prevedeva di deviare il Muson a valle di Castelfranco e portarlo con un nuovo alveo fino a sotto Camposampiero e da qui condurlo nella Vandura tramite il suo vecchio alveo, per farlo sfociare in Brenta a Pontevigodarzere.

Questo nuovo alveo avrebbe quindi accolto le acque del Muson caratterizzate da un regime torrentizio, da cui sarebbe derivata in seguito la connotazione "dei Sassi", proprio a causa dei detriti trasportati a valle dalla corrente. Per fare in modo che il nuovo alveo potesse scorrere al di sotto del piano campagna fu prevista la costruzione di due stramazzi, uno posizionato nel luogo di derivazione a Castelfranco e il secondo poco più a valle del Muson di Camposampiero. Si rese inoltre necessaria la costruzione di due ponticanali, uno alla Scudellara, lungo il vecchio alveo del Muson, sotto il nuovo alveo, per permettere alle acque di Camposampiero di sostenere la navigazione ed il lavoro dei mulini di



Fig. 1.8 Pontecanale del fiume Muson Vecchio sotto il torrente Muson dei Sassi

Mirano, mentre il secondo sarebbe stato localizzato a Torre dei Burri, all'incrocio con la Tergola; in questo punto sarebbe confluito anche il Tergolino e avrebbe sancito il luogo d'inizio per i lavori di allargamento e approfondimento dell'alveo e del rinforzo dell'arginatura che dava verso est.



Fig. 2.9 Pontecanale della Tergola sotto il torrente Muson dei Sassi

Nasceva in questo modo il nuovo Muson, separato poi definitivamente dal vecchio corso chiamato Muson Vecchio. Nel Muson Vecchio i Veneziani fecero confluire le acque del Rustega e di altri corsi di risorgiva, distolte a loro volta a Mirano dall'originale percorso del fiume e deviate verso Mira per essere scaricate nel ramo del Brenta di Fusina, non più impegnato dalla portate di piena del Brenta stesso, dopo la deviazione di quest'ultimo fiume dalla laguna e lo stabilimento della sua foce a Brondolo nei primi anni del 1500.

#### 1.4 Principali eventi di piena e situazione attuale

In seguito all'escavazione del nuovo corso del Muson dei Sassi, i primi segnali di allarme non tardarono ad arrivare; infatti i lavori erano da poco giunti al termine quando un evento di piena nell'inverno del 1614 mise fortemente sotto sforzo il nuovo alveo delle acque sovrabbondanti del Muson e provocò una rotta al pontecanale di Camposampiero; l'accaduto tuttavia all'epoca non destò alcun stupore dal momento che il terreno dei nuovi argini non si era ancora compattato in modo adeguato e perciò non avrebbe potuto resistere a lungo alla forza di una piena.

Nel novembre del 1649 nella pianura veneta si verificarono numerose piene che misero in crisi il sistema idrico sotto il dominio veneziano; la Serenissima decise quindi di inviare immediatamente i periti e gli ingegneri nei luoghi che avevano subito i danni più gravi conseguenti al fenomeno; con riferimento al bacino idrografico del Muson, nella relazione redatta venne sancita la necessità di riparare e rialzare l'argine della parte inferiore della Vandura, senza però dimenticare di tagliare quegli alberi che erano stati piantati lungo le pareti interne degli argini, ed era stata notata anche l'esigenza di ristrutturare le arginature del Muson a Mirano e regolare quei meccanismi di porte che dovevano regolare il deflusso delle acque. Risale sempre alla seconda metà del XVII secolo l'inizio delle polemiche tra le magistrature veneziane, in particolare tra il Magistrato alle Acque e quello dei Beni Inculti, in disaccordo riguardo alla competenza per la riparazione degli argini del Muson Vecchio e dei Sassi, oltre che per l'approfondimento degli alvei e l'uso delle loro acque. Lo scavo degli alvei avrebbe dovuto infatti essere eseguito una volta ogni cinque anni, tuttavia l'indagine preliminare del 1666 pose in luce come non ci fossero documenti né memoria alcuna di una precedente operazione simile.

Nell'autunno del 1674 una nuova rotta avvenne lungo il Muson dei Sassi, situazione aggravata dal fatto che l'impeto delle acque aveva minacciato la stabilità di un ponte, ormai prossimo alla rottura; la riparazione tuttavia si protrasse a lungo a causa degli ostacoli posti dalla burocrazia: la competenza di tale lavoro passò dal Magistrato alle Acque, al

podestà di Padova e quindi al reggente di Montagnana e ai reggenti di Camposampiero. Non c'è da stupirsi quindi se la rotta sia stata riparata solo nel dicembre del 1674, dopo quasi tre mesi dall'evento e quando ormai le campagne ed i raccolti dell'anno seguente erano stati completamente rovinati. Ad ogni modo le rotte degli argini non erano le sole cause di possibili inondazioni, dal momento che lo stesso risultato si otteneva anche con l'intervento dei privati che creavano abbassamenti e porte non autorizzate per il prelievo dell'acqua.

Con il passare del tempo altri eventi, più o meno rilevanti, si sono succeduti e nuove situazioni di rischio si sono presentate, come le più recenti testimonianze di piena del 1951 e del 1966, quest'ultimo conseguenza dell'esondazione del sistema idrografico del fiume Tergola subito a monte del rispettivo pontecanale; ma si desidera spostare l'attenzione su quanto accaduto nell'ultimo ventennio ed in particolare sull'indimenticato evento dell'ottobre 1998 e sulle esondazioni avvenute nel corso degli ultimi 5 anni.

### 1.4.1 L'alluvione del 1998

Tra il 6 e il 7 ottobre 1998 il Muson dei Sassi è stato la causa di uno dei più gravi eventi alluvionali degli ultimi anni; in tale occasione ha infatti rotto l'argine sinistro del fiume in comune di Loreggia (PD) e, come diretta conseguenza, il corso d'acqua è andato in crisi in funzione dell'improvviso scarico di elevate portate al suo interno, causando un'alluvione di notevole entità (anche in funzione dell'elevata pensilità dell'alveo in tale zona). I problemi del corso d'acqua derivarono principalmente dal fatto che, come già sottolineato precedentemente, presenta regime torrentizio e pertanto va in piena molto rapidamente; in occasione dell'evento in esame, infatti, si susseguirono tre piene consecutive con successivi abbassamenti di livello e conseguenti rilevanti variazioni nella pressione idrostatica, che portarono infine al cedimento arginale. In tale occasione si sono evidenziati diversi punti a rischio di tracimazione, in particolare all'altezza di Massanzago, e in corrispondenza di Mulino Baglioni si sono evitate tracimazioni sia in destra che in sinistra soltanto ricorrendo a saccate diffuse.



Fig. 1.10 6-7 ottobre 1998, dopo decenni di relativa tranquillità, allagamenti a Loreggia e Castelfranco

Gli effetti di questo singolare evento vennero risentiti però anche più a monte, in particolare nell'abitato di Castelfranco Veneto (TV), a causa dell'insufficienza del sistema Avenale – Brenton – Ca' Mula; nonostante prima di tale episodio fossero stati già portati a termine i lavori di risagomatura e pulizia degli alvei e la realizzazione di due casse d'espansione, l'una a monte del centro di Castelfranco (Poggiana) e l'altra nel comune di Caerano S.Marco (TV), la particolare distribuzione delle piogge per la stagione e l'elevato stato di saturazione contribuirono ad elevare l'imbibizione del terreno, il quale non fu più in grado di ricevere ulteriori infiltrazioni durante i successivi impulsi di pioggia ad elevata intensità, che diedero luogo ad estesi allagamenti. Anche qui infatti, come accaduto nel Muson dei Sassi, la particolarità dell'evento è da ricercarsi nella successione di due picchi a breve distanza di tempo; il sistema Avenale – Brenton rese la piena del giorno 6 ottobre fintanto che la nuova cassa d'espansione di Poggiana continuò ad invadere

acqua, ma fu la piena successiva ad essere determinante: circa un'ora dopo il riempimento del bacino di laminazione, ebbe inizio la tracimazione dell'Avenale nel centro di Castelfranco.



Fig. 1.11 Il centro di Castelfranco Veneto durante la piena del 1998

Le conseguenze furono evidenti: estese, prolungate e diffuse tracimazioni in tutta la zona pedecollinare, tra cui esondazioni del Brenton a Vallà di Riese e, come già anticipato, dell'Avenale lungo tutto il proprio corso fino al centro abitato di Castelfranco. Nel corso della suddetta piena, inoltre, gli straordinari apporti dell'Avenale e gli alti livelli idrometrici nel Muson provocarono presso il manufatto cosiddetto "da Barban", ove ha origine la roggia Brentella, il completo superamento delle strutture di regolazione e controllo, con la

propagazione incontrollata di ingenti volumi di piena nelle aree intorno a via San Giorgio e a valle.

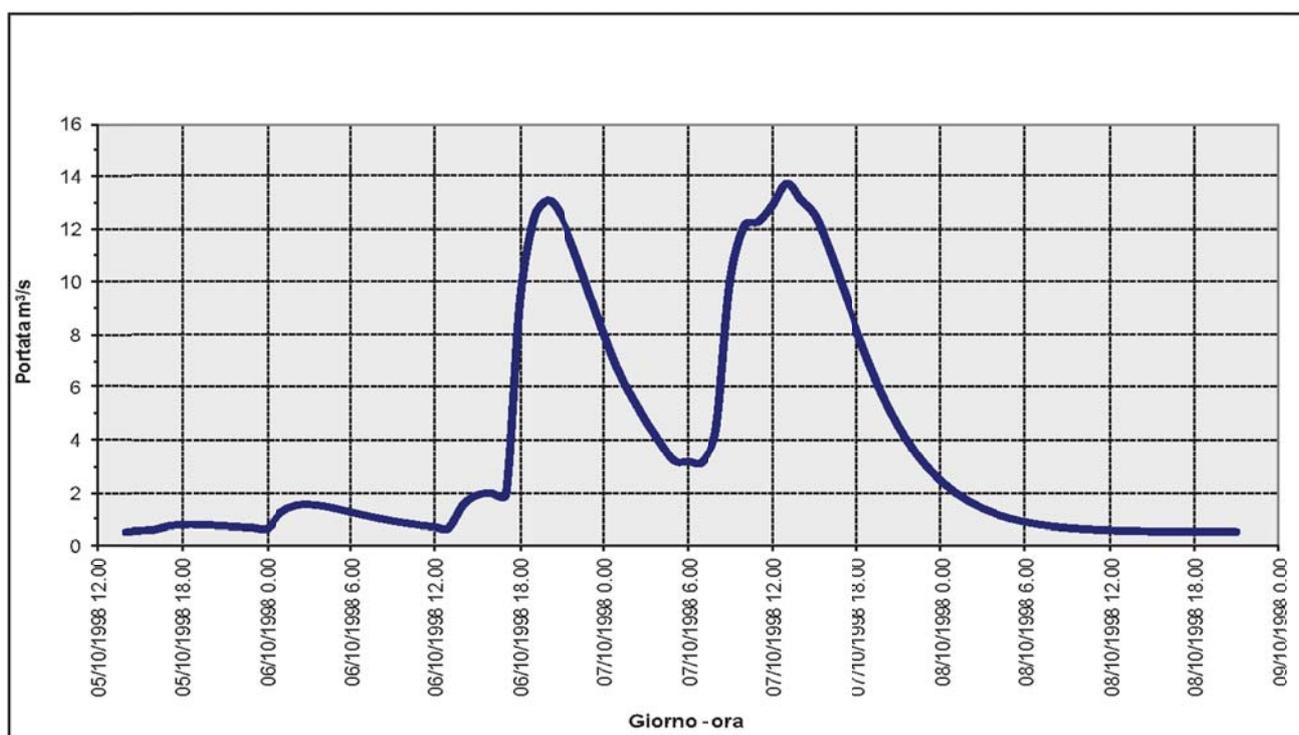


Fig. 1.12 Ricostruzione dell'idrogramma di piena dell'Avenale durante l'evento dell'ottobre 1998

L'evento lasciò dietro di sé numerosi danni in tutti i comuni colpiti, in particolare alle infrastrutture di comunicazione quali strade comunali, provinciali, statali, ponti e viadotti; gravi danni anche ad alcuni centri abitati, soprattutto case sparse poste in prossimità degli argini. Secondo le stime, a Loreggia vennero fatte evacuare 70 famiglie e nel trevigiano altre 20; gli sfollati furono circa 270.

## 1.4.2 Gli eventi più recenti

Nella porzione di territorio interessata dal bacino del Muson dei Sassi seguirono alla piena del 1998 altre situazioni di allagamento minori (2000, 2001, 2002).

La soglia dell'attenzione aumentò poi nel 2009, più precisamente nella notte tra il 21 e il 22 gennaio, quando una breccia



Fig. 1.13 Il crollo dell'argine a Loreggia, 21 gennaio 2009

di circa 20 metri di lunghezza si aprì attraverso l'argine destro del Muson dei Sassi nuovamente a Loreggia, riportando alla memoria tra i cittadini quanto accaduto 11 anni prima; l'abbassamento del livello in alveo al momento del crollo venne stimato a circa 2 metri mentre all'interno delle abitazioni l'acqua raggiunse i 40-50 cm di altezza, con conseguenti danni agli impianti elettrici. Oltre 200 famiglie subirono danni di entità medio-grave, decine di ettari di colture vennero rovinati ed i danni si stimarono attorno

ai 10 milioni di euro. La causa di questa rottura però venne giudicata piuttosto anomala in quanto non collegata ad un evento di piena del Muson, sebbene le precipitazioni del periodo fossero comunque abbondanti; nei giornali locali si può leggere infatti che i cittadini ipotizzassero come possibili cause del crollo le profonde tane scavate dalle nutrie o la realizzazione di due nuove antenne telefoniche poste in prossimità dell'argine stesso.

Il rischio di esondazione venne sfiorato nel novembre 2010 ma fortunatamente, nonostante le forti precipitazioni che portarono il Bacchiglione ad alluvionare Vicenza e la bassa padovana, nel bacino del Muson dei Sassi non si verificarono esondazioni di rilievo e le grosse portate fluenti restarono confinate all'interno degli argini.

Situazione invece decisamente più critica si presentò due anni più tardi, durante la piena dell'11 novembre 2012; gli abitati maggiormente colpiti furono Santa Giustina in Colle, per effetto delle esondazioni del Vandura e dello scolo Orcone, Camposampiero per la tracimazione del Tergolino, Loreggiola, Borgoricco e Massanzago per l'esondazione del Muson Vecchio ed infine San Giorgio delle Pertiche, in particolare nella frazione di Torre di Burri, dove confluiscono il Tergola e il Muson dei Sassi e dove l'acqua entrò nelle abitazioni, nonostante si fosse già provveduto a deviare il corso d'acqua verso il Piovego a Villa del Conte per diminuirne la portata. Numerosi ovviamente anche i danni alle coltivazioni, con almeno 250 ettari di terreno allagato secondo le stime della Coldiretti. Nelle circa 12 ore dalle 3.30 alle 15 di domenica 11 novembre il Muson dei Sassi a Castelfranco Veneto crebbe di più di 3 metri; nello stesso lasso di tempo caddero in zona ben 120 mm di pioggia, arrivando fino a 200 mm nella parte alta del bacino. Inoltre il livello del Tergola, nonostante la quasi totale diversione nel Piovego di Villabozza, salì di ben 215 cm a San Giorgio delle Pertiche e il Vandura, che a Fratte di Santa Giustina in Colle aumentò di 160 cm, a Torre dei Burri in corrispondenza alla confluenza in Tergola vide il suo livello alzarsi di ben 220 cm. Nello stesso mese, solo una quindicina di giorni dopo l'evento sopra citato, una nuova ondata di maltempo colpì il Veneto ed il livello dei fiumi del sistema crebbe pericolosamente, tanto da far scattare nuovamente lo stato "di allarme e criticità elevata"; fortunatamente le situazioni critiche furono limitate alla

parte alta del bacino, con l'esondazione del Muson e del Brenton a Castello di Godego il 28 novembre, mentre negli altri corsi d'acqua il livello si mantenne al di sotto di quello di esondazione e l'allarme rientrò.

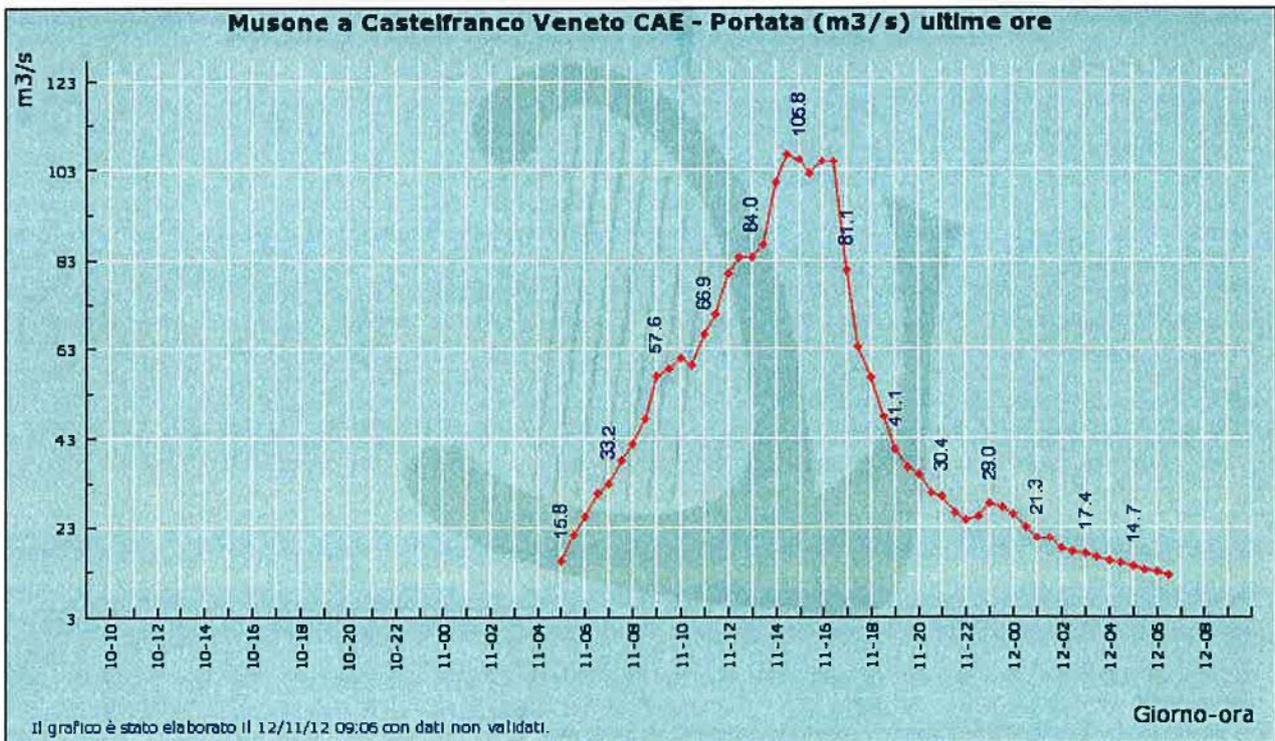


Fig. 1.14 Idrogramma di piena del Muson dei Sassi a Castelfranco Veneto per l'evento dell'11 novembre 2012 -dati ARPAV

### 1.4.3 Le condizioni di pericolosità idraulica

Lungo il Muson dei Sassi non si sono riscontrate, in occasione delle maggiori piene, esondazioni espressamente dovute a tracimazioni degli argini; è da rilevare infatti che le condizioni di pericolosità idraulica del medio e basso corso del fiume sono dovute principalmente all'insufficienza strutturale della rete secondaria e dalle diversioni verso il bacino della laguna veneta che impediscono il convogliamento nel Muson dei Sassi di tutta la portata generata nei sottobacini di competenza. Inoltre, nelle relazioni delle autorità di competenza viene spesso messa in risalto la limitata capacità di portata della rete idrografica superficiale delle zone di alta pianura e pedecollinare, che non sembra essere in grado di addurre al Muson o ai suoi affluenti le acque meteoriche intercettate, causando esondazioni che interessano anche vaste aree urbanizzate.

Importante considerare anche le trasformazioni subite dai corsi d'acqua per dare spazio allo sviluppo urbanistico del territorio e per favorire l'attraversamento delle arterie stradali, con la rete idrografica naturale pesantemente tombata anche per lunghi tratti; questi ostacoli al deflusso generano diffuse ed incontrollate esondazioni, come accaduto ad esempio anche nel corso degli eventi più recenti nell'abitato di Castelfranco Veneto, dove i punti più critici si sono osservati in corrispondenza delle ostruzioni prodotte dai ponti. È importante infatti ricordare come modeste luci di attraversamento, inadeguate anche per eventi meteorici caratterizzati da una non rara frequenza temporale, e lunghi tratti tombinati comportino il ristagno a monte dei volumi d'acqua.

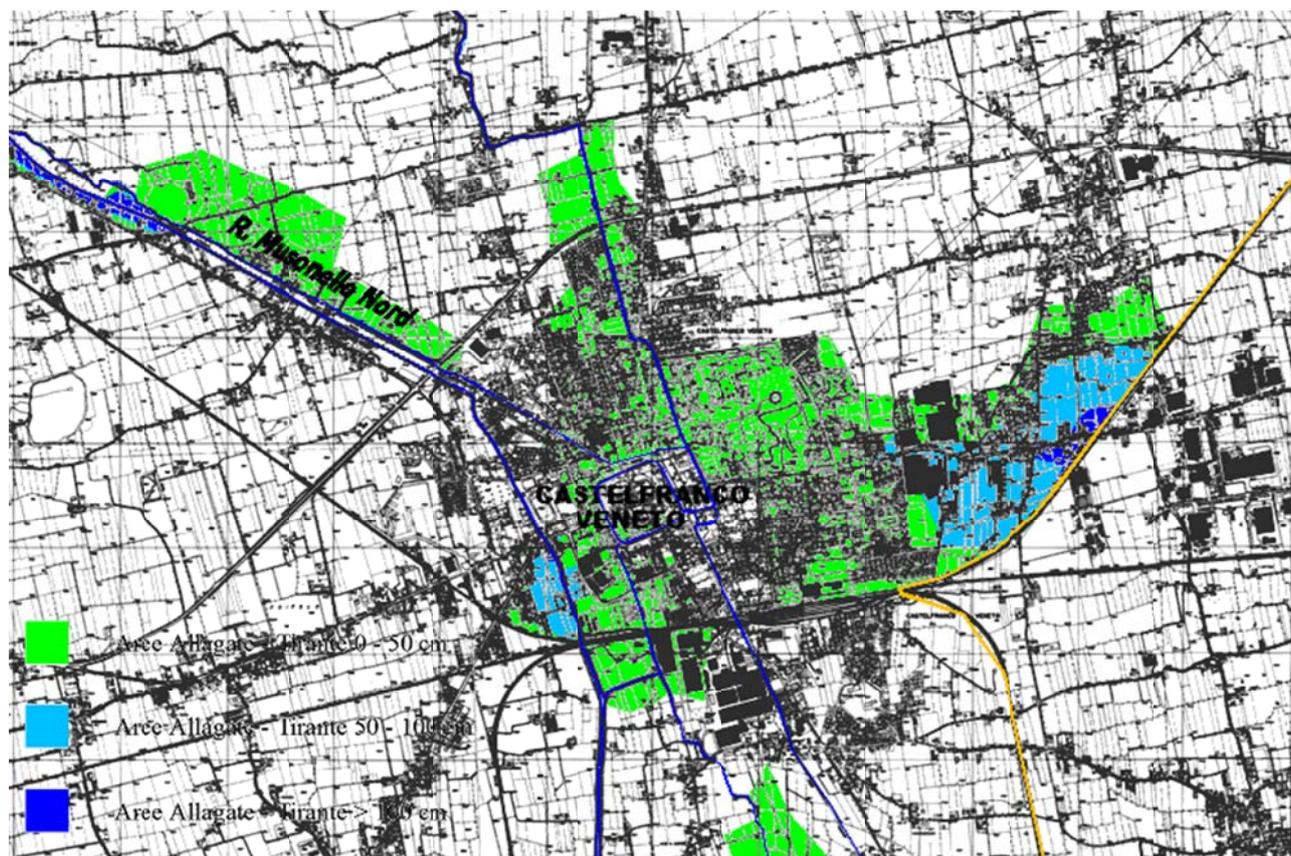


Fig. 1.15 Estratto dello studio del 2006 che evidenzia gli allagamenti nell'abitato di Castel Franco Veneto

Uno studio condotto nel 2006 dall'Università degli Studi di Padova antesignano del progetto Smart Water, volto a studiare la propagazione delle piene nel sistema idrografico del torrente Muson dei Sassi corrispondentemente ad eventi di precipitazione di prefissato tempo di ritorno, evidenziò gli effetti sul territorio, in termini di allagamenti, prodotti dalle diverse piene. Secondo tale analisi, con riferimento all'evento più gravoso con tempo di ritorno centenario ( $130 \text{ m}^3/\text{s}$  a monte di Castel Franco Veneto), procedendo da nord verso sud, allagamenti sono segnalati in adiacenza al Muson dei Sassi a monte e a valle del centro abitato di Castello di Godego; poco a monte di Castel Franco Veneto uno stato di sofferenza idraulica si riscontra in sinistra lungo la roggia Musonello Nord, peraltro con tiranti d'acqua modesti ( $< 50 \text{ cm}$ ); condizioni diffuse di pericolo di allagamenti sono segnalate anche per l'abitato di Castel Franco Veneto, a causa sia del Muson dei Sassi, sia dell'Avenale. Le acque sondate subiscono, secondo il calcolo, un'azione di contenimento da parte del rilevato ferroviario, che ostacola la loro diffusione verso sud. Si producono localmente allagamenti più consistenti nelle zone altimetricamente più depresse, con tiranti d'acqua che, proprio a ridosso del rilevato ferroviario, sono compresi tra i 50 e i 100 cm su superfici piuttosto estese. Nell'intorno dell'area più colpita, come ad est di Castel Franco Veneto, si individuano superfici che sono, sempre secondo il calcolo, sommerse in misura più decisa di quanto non si verifichi per le piene precedentemente esaminate. Proseguendo verso sud, condizioni di sofferenza idraulica sono evidenziate per alcune strisce di territorio poste in adiacenza alla roggia Brentella, dove peraltro la profondità dell'acqua sul terreno resta limitata a valori inferiori ai 50 cm. Più a valle, all'altezza di Camposampiero, problemi di allagamento o di incipiente allagamento si riscontrano in sinistra idrografica a causa del Muson Vecchio. Condizioni critiche, infine, sono segnalate in corrispondenza del nodo di Torre dei Burri, dove Vandura e Tergola confluiscono tra loro per

sottopassare il Muson dei Sassi. In questa parte del territorio gli allagamenti segnalati dal calcolo sono di un qualche rilievo, superando anche il metro di profondità. A valle di Torre dei Burri, superata la confluenza con il canale Viana, non sono invece riscontrabili fenomeni di allagamento e la piena, laminata dalle numerose esondazioni del sistema idrografico a monte del nodo, fluisce contenuta entro le arginature. Il tutto conferma una condizione idraulica generale del sistema particolarmente sofferente, bisognosa di interventi per la messa in sicurezza del territorio contro il pericolo delle alluvioni.

La Regione del Veneto, in collaborazione con i Consorzi di Bonifica presenti sul territorio, ha in programma una serie di interventi, in parte già attuati, per sanare le situazioni di rischio nel bacino del Muson. Tali interventi, alcuni in fase di realizzazione mentre altri semplicemente ipotizzati, si possono riassumere nei seguenti punti:

- Realizzazione di vasche di laminazione previste nel tratto pedemontano del torrente Muson e in adiacenza agli affluenti, per preservare i territori di valle da alluvioni;
- Difese di sponda e ripristino di argini;
- Rimozione delle insufficienze idrauliche locali mediante adeguamento dei manufatti e degli attraversamenti stradali al fine di renderli compatibili anche con le portate di piena in transito;
- Imposizione di severe limitazioni allo scarico;
- Interventi di ricalibratura e manutenzione (recupero di volumi di invaso in rete ed eliminazione delle strozzature attualmente presenti);
- Realizzazione di un canale di gronda pedemontano, in grado di intercettare i corsi d'acqua dell'area compresa tra Mussolente e Maser; detta sistemazione si potrà affiancare ad interventi di eliminazione delle pensilità mediante un generale abbassamento dell'alveo al di sotto del piano di campagna;
- Eliminazione delle pensilità del Muson dei Sassi a Camposampiero, ove i pericoli derivanti dalla limitazione alla capacità di deflusso per la presenza di ponti di sezione insufficiente si sommano a quelli correlati alle situazioni morfologiche critiche, quali appunto la pensilità dell'alveo, interessanti un tratto di oltre 7 km a monte di Camposampiero, fino al confine nord di Loreggia; tale riduzione delle pensilità sarebbe ottenibile mediante un abbassamento generalizzato del fondo del corso d'acqua ed una successione di salti di fondo che consentano il raccordo del tratto in esame con quello di monte e di valle.

Come misure di controllo e salvaguardia si raccomanda comunque di prevedere che le reti di fognatura con recapito nel Muson abbiano la possibilità di scaricare le loro portate anche in presenza di elevati livelli idrometrici nel corpo ricettore.

## 2 MODELLO DI PROPAGAZIONE DELLE PIENE

La propagazione di un'onda di piena in un alveo caratterizzato da tratti con dimensioni trasversali molto ampie, nei quali non è prevedibile a priori la direzione del flusso, può essere affrontata con sufficiente attendibilità utilizzando schemi di calcolo di tipo bidimensionale a fondo fisso. Su tali schemi ci si può basare anche per descrivere la propagazione sul territorio adiacente di eventuali onde di sommersione generate da sormonti o cedimenti arginali, purché le equazioni del moto siano opportunamente adattate e la modellazione delle aree destinate ad essere sommerse sia condotta tenendo conto degli effetti non trascurabili che le diverse strutture presenti sul terreno esercitano sulla propagazione dei fronti di allagamento.

Ciò premesso, nell'allestimento del modello propagatorio del Muson dei Sassi si è proceduto alla messa a punto di uno schema uni-bidimensionale a fondo fisso con il quale è possibile simulare il comportamento idraulico dell'intero territorio modellato, considerando le diverse strutture presenti (argini, rilevati stradali, opere di regolazione, idrovore, ecc...) e anche il reticolo idrografico minore.

### 2.1 Il modello bidimensionale

#### 2.1.1 Equazioni bidimensionali del moto

Il modello matematico, ampiamente descritto in numerosi contributi scientifici (D'Alpaos & Defina , 1993; D'Alpaos et al., 1994; D'Alpaos & Defina , 1995; Defina , 2000; D'Alpaos & Martini, 2003; D'Alpaos et al., 2003; D'Alpaos & Defina , 2007) e che ha trovato in questi anni altrettante numerose applicazioni, si basa sulla soluzione delle equazioni di De Saint Venant, che, come noto, descrivono il moto bidimensionale di una corrente a superficie libera nelle ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni, di velocità uniformemente distribuite lungo la verticale e di fondo inerodibile. Tali equazioni sono risolte adottando uno schema numerico agli elementi finiti su di una griglia triangolare, che viene utilizzata per schematizzare l'area oggetto dello studio.

Come già accennato, il modello risolve le equazioni del moto mediate sulla verticale nelle direzioni orizzontali  $x$  e  $y$  e l'equazione di continuità, esprimibili rispettivamente come:

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x^2}{Y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_x q_y}{Y} \right) - \left( \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{bx}}{\rho} - \frac{\tau_{wx}}{\rho} + gY \frac{\partial h}{\partial x} &= 0 \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{q_x q_y}{Y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q_y^2}{Y} \right) - \left( \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{by}}{\rho} - \frac{\tau_{wy}}{\rho} + gY \frac{\partial h}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} &= 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

nelle quali  $h$  indica la quota della superficie libera,  $x$  e  $y$  sono le ascisse spaziali orizzontali correnti,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\rho$  è la densità del fluido,  $t$  è il tempo,  $\vec{q}$  è la velocità integrata sulla verticale con componenti  $q_x$  e  $q_y$  secondo le due direzioni orizzontali,  $R_{ij}$  sono gli sforzi turbolenti (o di Reynolds) nel piano orizzontale in cui  $i$  e  $j$  indicano le

direzioni  $x$  o  $y$ ,  $\tau_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$  è lo sforzo tangenziale al fondo espresso dall'equazione (2.2) e  $\tau_w = (\tau_{wx}, \tau_{wy})$  è lo sforzo prodotto dall'azione del vento sulla superficie libera espresso dall'equazione (2.3).

$$\frac{\tau_b}{\rho} = gY \left( \frac{|q|}{k_s^2 H^{10/3}} \right) q \quad (2.2)$$

$$\tau_w = \rho \alpha c_d U_{wind}^2 \quad (2.3)$$

Nelle equazioni (2.2) e (2.3) sono indicati con  $k_s$  il coefficiente di scabrezza secondo Strickler, con  $U_{wind}$  la velocità del vento e con  $c_d$  il coefficiente di resistenza, espresso nel modello mediante la relazione semiempirica:

$$c_d = c_{d0} (1 - e^{-\epsilon_w U_{wind}}) \quad (2.4)$$

in cui  $c_{d0}$  e  $\epsilon_w$  sono costanti scelte opportunamente.

I termini  $\eta$ ,  $Y$  e  $H$  che compaiono nelle equazioni (2.1)-(2.2), indicano, rispettivamente, nel tempo generico e per ciascun elemento, la frazione locale di dominio allagato, il volume d'acqua per unità di superficie e una profondità d'acqua equivalente, introdotta per descrivere l'effetto dei termini dissipativi quando il tirante si riduce e diventa confrontabile con le dimensioni delle irregolarità del terreno.

### 2.1.2 Transizione asciutto-bagnato: la media di fase

Pensando alla propagazione di una lama d'acqua sottile su di un terreno naturale, l'esperienza mette in evidenza l'importanza delle irregolarità della superficie, che comportano l'esistenza di un transitorio nel quale, all'interno dell'area in esame, coesistono porzioni di suolo asciutte e altre già sommerse.

Il contributo più innovativo fornito dal Dipartimento IMAGE nella risoluzione delle equazioni descritte al Paragrafo 2.1.1 consiste nell'introduzione di due parametri,  $\eta$  e  $H$ , mediante i quali vengono modificate rispettivamente le equazioni di continuità e del moto. Entrambi i parametri sono dipendenti da una grandezza caratteristica  $a_r$ , avente dimensioni di una lunghezza, che è direttamente legata all'altezza e alla distribuzione delle irregolarità presenti sulla superficie dei singoli elementi con cui è schematizzato il campo di moto.

Al riguardo si osserva che abitualmente la superficie del dominio di calcolo è topograficamente caratterizzata attraverso la quota media degli elementi che lo compongono, trascurando, quindi, il ruolo delle irregolarità del terreno come conseguenza di questa operazione di media. Tale semplificazione è accettabile per tiranti d'acqua elevati rispetto alle irregolarità della superficie, ma è certamente non veritiera per tiranti d'acqua modesti, a causa essenzialmente di una non corretta valutazione delle resistenze al moto e del volume d'acqua contenuto nell'elemento al generico istante di calcolo  $t$ .

Se si mantenesse la rappresentazione di superficie piana per ogni singolo elemento del reticolo di calcolo si avrebbe una istantanea transizione asciutto-bagnato, che comporta tutta una serie di problemi numerici, ben noti in letteratura, che affliggono i classici schemi bidimensionali a griglia fissa.

Per rimuovere questi limiti, nello schema proposto si è ipotizzato che esista un intervallo di profondità all'interno del quale, durante l'evolversi della piena, si verifichino condizioni variabili, comprese tra le due situazioni limite di elementi completamente asciutti e/o completamente bagnati.

L'idea che sta alla base dell'approccio proposto consente di tradurre concettualmente il transitorio asciutto-bagnato, facendo in modo che la capacità di invaso del singolo elemento (vale a dire la possibile estensione della superficie libera al variare della quota sul singolo elemento in rapporto alla superficie totale dell'elemento stesso) vari con continuità da un valore pressoché nullo, quando la quota idrometrica dell'elemento è inferiore alla quota minima delle irregolarità del terreno, al valore che compete all'intera estensione dell'elemento, quando la quota idrometrica è maggiore o uguale alla quota massima del terreno. Come indice dell'ampiezza delle irregolarità si introduce un parametro denominato  $a_r$ , pari alla differenza tra la quota della più alta asperità e la quota media  $\bar{h}_f$ , assunta come quota dell'elemento.

Dal punto di vista matematico, per applicare una operazione di media alle equazioni del moto si può utilizzare la funzione di fase:

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & z > h_f \\ 0 & z \leq h_f \end{cases} \quad (2.5)$$

dove  $h_f$  è l'elevazione locale del fondo e  $x = (x, y, z)$  è il vettore delle coordinate spaziali.

Denotando con  $\langle \rangle$  il processo di media di fase, ad una generica variabile del campo di moto  $f(x, t)$  corrisponde una  $F(x, t) = \langle \varphi(x)f(x, t) \rangle$  mediata in fase con il seguente significato:

$$F(x, t) = \frac{1}{A} \int_A \varphi(x)f(x, t) dA \quad (2.6)$$

essendo  $A$  l'area dell'elemento di calcolo.

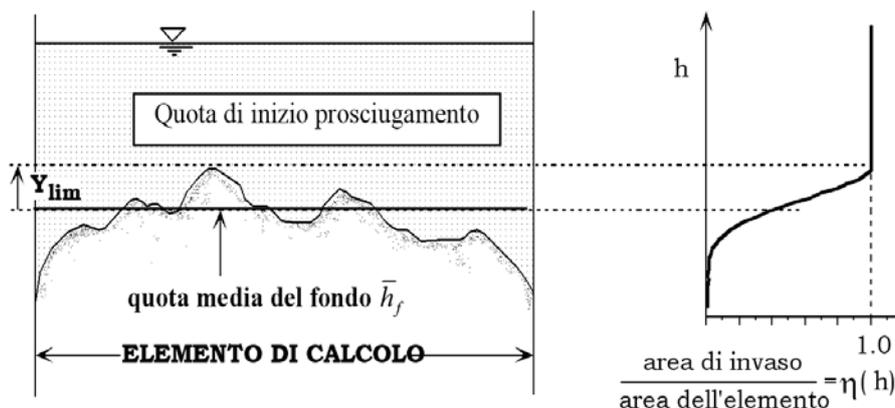


Fig. 2.1 Percentuale di area bagnata  $\eta$  in funzione della quota della superficie libera.

A questo punto, si definiscono le funzioni  $\vartheta(x)$  e  $\eta$ :

$$\vartheta(x) = \langle \varphi(x) \rangle \quad (2.7)$$

$$\eta = \vartheta(x, y, h) \quad (2.8)$$

che rappresentano, rispettivamente, la frazione di area  $A$  che giace sopra la superficie del terreno e la frazione bagnata di  $A$ , indicando con  $h$  la quota della superficie libera. Data la difficoltà che si incontra nella pratica nell'attribuire un valore al parametro  $a_r$ , si è cercata, per esso, un'interpretazione diversa: la funzione  $\vartheta(x)$  può essere considerata come la probabilità  $P$  che l'elevazione locale del fondo  $h_f$  all'interno di  $A$  non ecceda la generica elevazione  $z$ :

$$\vartheta(x) = P(h_f \leq z) \quad (2.9)$$

In questo modo  $\partial\vartheta(x)/\partial z$  è la funzione densità di probabilità dell'elevazione del fondo all'interno dell'area  $A$  e una possibile misura delle irregolarità del terreno è data dalla deviazione standard dell'elevazione del fondo in  $A$ :

$$a_r = 2\sigma_b \quad (2.10)$$

Assumendo che in prima approssimazione l'andamento delle asperità del terreno sia esprimibile con una gaussiana, in queste ipotesi è possibile ricavare un plausibile valore per il parametro  $a_r$  in assenza di stime specifiche.

È interessante notare che il significato della lunghezza caratteristica  $a_r$  può essere fortemente concettualizzato al punto da descrivere anche gli effetti di irregolarità molto profonde del terreno, tali da formare una vera e propria rete di canali minori, che contribuiscono in modo rilevante al convogliamento delle acque e ad incrementare la celerità di avanzamento di eventuali fronti di sommersione.

Studi specifici svolti al riguardo hanno dimostrato come, in alcuni casi, raddoppiare il valore di  $a_r$  porti anche a quintuplicare la celerità media di avanzamento del fronte e come, al contrario, tale celerità risulti fortemente ridotta nel caso di elementi caratterizzati da modeste asperità ( $a_r = 0.01$  m), sui quali con rapidità si passa dalla condizione di superficie asciutta a quella di superficie bagnata.

Sulla base di queste sintetiche considerazioni è immediato comprendere come l'ipotesi di terreno sostanzialmente piatto, adottata dalla quasi totalità dei modelli bidimensionali proposti in letteratura, dia risultati inattendibili riguardo alla velocità di avanzamento dei fronti di allagamento, non appena le irregolarità del terreno assumano un ruolo di una certa importanza sul fenomeno. Di conseguenza, risultano non realistiche le stime fornite da questi schemi relativamente ai tempi caratteristici di avanzamento dell'onda di sommersione in un terreno inizialmente asciutto, soprattutto nelle prime fasi dell'allagamento.

Alla luce di quanto esposto, i termini  $\eta$ ,  $Y$  e  $H$  che compaiono nelle equazioni (2.1)-(2.2) sono esprimibili come (Defina, 2000):

$$\eta = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{2D}{a_r} \right) \right] \quad (2.11)$$

$$Y = \int_{-\infty}^h \eta dz = a_r \left( \eta \frac{D}{a_r} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} e^{-4(D/a_r)^2} \right) \quad (2.12)$$

$$H \cong Y + 0.27\sqrt{Y a_r} e^{-2Y/a_r} \quad (2.13)$$

nelle quali  $\operatorname{erf}()$  è la funzione errore e  $D = h - z_f$  è una profondità media data dalla differenza tra la quota della superficie libera e quella del fondo.

## 2.2 Gli elementi monodimensionali

### 2.2.1 Elementi monodimensionali "canale"

La rete idrografica minore, oltre ad esercitare un ben definito ruolo nel drenaggio del territorio posto in adiacenza alla rete idrografica principale, rappresenta, nel caso di esondazione, una vera e propria via preferenziale per la propagazione dei fronti di allagamento, verso la quale le acque esondate tendono a confluire, accelerando sensibilmente la velocità di avanzamento dei fronti stessi.

La schematizzazione con elementi bidimensionali della rete idrografica minore presenterebbe non poche difficoltà, poiché da una parte essa porterebbe all'utilizzo di elementi di dimensioni così piccole da rendere assai onerosa la fase di costruzione del reticolo, dall'altra potrebbe generare l'insorgere di problemi di stabilità ed accuratezza della soluzione numerica, a meno di non adottare passi di integrazione temporale particolarmente ridotti. Per questa ragione il modello consente l'impiego accoppiato di elementi bidimensionali ed unidimensionali, utilizzando questi ultimi per descrivere il funzionamento dei canali della rete minore che drena porzioni di territorio soggette a prosciugamento o per simulare piccole incisioni profonde in un dominio sostanzialmente bidimensionale come la rete minore di canali di una laguna a marea.

In particolare, nello schema adottato, gli elementi unidimensionali funzionano come canali "in pressione" a sezione costante, fino a quando le zone laterali che li fiancheggiano sono ricoperte dalle acque, e come canali a pelo libero quando il livello scende al di sotto della quota delle zone laterali.

In queste ipotesi una schematizzazione verosimile del campo di moto è quella illustrata nello schema A) di Fig. 2.2, ove per semplicità, si è supposta per il canale una sezione rettangolare. Una schematizzazione alternativa a questa e di più semplice implementazione è quella illustrata nello schema B) della stessa Fig. 2.2, nella quale il canale è egualmente considerato, conglobandone per la parte superiore negli adiacenti elementi bidimensionali, che sono estesi fino al suo asse, ed introducendo, per tenere conto della parte inferiore, un elemento unidimensionale destinato a funzionare come un "canale in pressione" a sezione liquida costante nel caso in cui le superfici laterali siano inondate.

Nello schema proposto, se gli elementi bidimensionali seguono in parte o in toto il contorno della rete di canali che li solcano, questi ultimi, descritti con elementi di tipo monodimensionale, possono essere introdotti o eliminati senza apportare modifiche alla struttura del reticolo di calcolo bidimensionale.

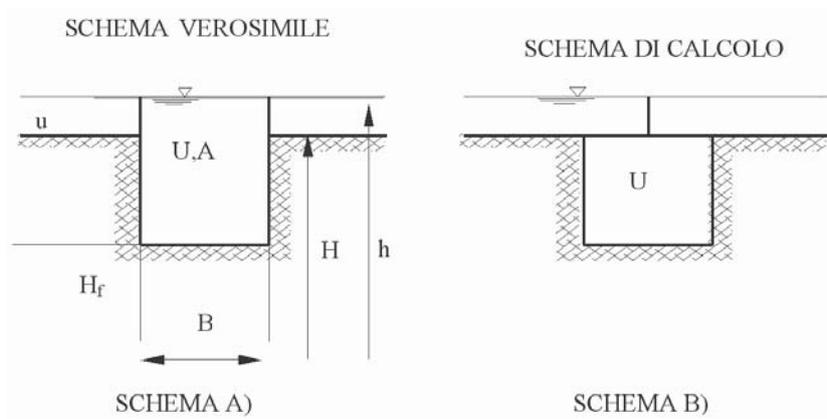


Fig. 2.2 Schema di calcolo dell'elemento monodimensionale "canale"

Le equazioni del modello, in questo caso, si semplificano ulteriormente: si assume innanzitutto che l'inerzia convettiva sia trascurabile (scompaiono nelle equazioni di partenza i termini di accelerazione convettiva) e si considerano solo sezioni trasversali compatte per le quali sia possibile assumere velocità praticamente uniforme sulla sezione. Sotto queste ipotesi l'equazione del moto e l'equazione di continuità diventano:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{k_s^2 R_H^{4/3} A^2} = 0 \quad (2.14)$$

$$\eta(h) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (2.15)$$

dove  $s$  è l'ascissa curvilinea che descrive planimetricamente l'andamento dell'asse del canale,  $A$  è l'area della sezione trasversale,  $Q$  è la portata che transita attraverso la sezione del canale,  $R_H$  è il raggio idraulico.

Il modello si fonda sulla coesistenza di elementi bidimensionali ed unidimensionali che, in alcune zone, possono entrare in sovrapposizione; per tale motivo, nello scrivere il bilancio di massa per ciascun nodo è necessario considerare che parte della portata che fluisce lungo gli elementi unidimensionali è già stata considerata nel calcolo degli elementi bidimensionali.

In particolare la frazione di portata  $\Delta Q$  coinvolta può essere espressa dalla seguente relazione:

$$\Delta Q = B[Y_L(v_L \cdot s) + Y_R(v_R \cdot s)]/2 \quad (2.16)$$

nella quale  $B$  è la larghezza del canale in superficie,  $v$  è il vettore velocità relativo agli elementi bidimensionali adiacenti,  $Y$  è il volume d'acqua per unità di superficie,  $s$  è il versore che individua la direzione dell'asse del canale e i pedici L ed R individuano, rispettivamente, gli elementi bidimensionali a sinistra e a destra del canale.

La portata che deve essere considerata nel bilancio di massa nodale è pertanto la frazione  $Q_a = Q - \Delta Q$  e l'equazione di continuità assume la seguente espressione:

$$\left(1 - \frac{\eta_L + \eta_R}{2}\right) B \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q_a}{\partial s} = 0 \quad (2.17)$$

in cui  $\eta$  rappresenta la frazione bagnata del generico elemento bidimensionale adiacente.

Si noti come se  $\eta_L = \eta_R = 0$  (cioè gli elementi bidimensionali adiacenti sono asciutti o assenti) la portata  $Q_a$  è proprio uguale a  $Q$  e l'equazione di continuità assume la sua forma consueta.

Se invece  $\eta_L$  e  $\eta_R$  sono prossimi ad uno, viene di fatto inibito l'effetto di invaso, che resta confinato alla parte bidimensionale sovrastante. In questo caso dovrebbe comparire nell'equazione di continuità un termine addizionale che descrive il flusso che dal canale entra (o esce) nella parte bidimensionale sovrastante. Analogamente lo stesso flusso dovrebbe essere sottratto agli elementi bidimensionali adiacenti. Con riferimento alla soluzione numerica, che prevede di fatto bilanci di massa nodali, questi contributi, uguali ed opposti, si elidono. Per questo motivo non vengono qui esplicitamente considerati.

### 2.2.2 Elementi monodimensionali "speciali"

Per il territorio adiacente alla rete idrografica principale non meno importante dei canali minori è il ruolo che assumono, nella propagazione, i rilevati (stradali, ferroviari o di altra natura), gli argini e le strutture di regolazione di diverso tipo presenti sul territorio stesso. Nella fase iniziale dell'allagamento gli argini e i rilevati fungono, infatti, da barriere di contenimento, ritardando l'espansione delle acque sul terreno circostante. Una volta sormontati, essi funzionano, invece, come delle vere e proprie soglie e, non infrequentemente, possono cedere, creando delle brecce attraverso le quali le acque possono più facilmente e in quantità rilevante lasciare gli alvei principali per alimentare ulteriormente l'onda di sommersione.

Per simulare con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari (quali argini, rilevati stradali o manufatti che possono modificare apprezzabilmente l'evoluzione del fenomeno) il modello uni-bidimensionale descritto nei paragrafi precedenti prevede l'inserimento di una serie di elementi unidimensionali (tronchi) speciali, che consentono di descrivere correttamente i fenomeni locali e anche le conseguenze di una manovra di regolazione o di un eventuale cedimento del sistema delle numerose opere di difesa presenti.

Mediante l'inserimento di tali elementi è così possibile simulare, in particolare, il funzionamento delle arginature, che non potrebbero diversamente essere descritte correttamente utilizzando soli elementi bidimensionali, a meno di non appesantire considerevolmente gli oneri di calcolo. I rilevati arginali sono perciò schematizzati come soglie sfioranti, per le quali è sufficiente assegnare le caratteristiche geometriche e il valore del coefficiente di portata, perché il modello determini, al variare delle quote idrometriche, l'andamento della portata che eventualmente tracima la soglia, considerando condizioni sia di efflusso libero sia di efflusso rigurgitato. Utilizzando queste strutture è egualmente possibile simulare gli effetti di un eventuale cedimento, che apra sul corpo arginale o sul rilevato stradale una breccia, che si va progressivamente ampliando per l'azione erosiva della corrente effluente.

Altri tronchi speciali inseriti nello schema di calcolo consentono di simulare il funzionamento di soglie o salti di fondo, di brevi tratti di canale in pressione, come sottopassi o botti a sifone; altri elementi ancora permettono di simulare il funzionamento di paratoie, che possono operare automaticamente comandate dai livelli o dalla direzione del flusso (porte vinciane). Sempre mediante questi elementi speciali è possibile, infine, simulare il funzionamento degli impianti idrovori presenti all'interno del dominio di calcolo. Ci consente di semplificare notevolmente la fase di assegnazione delle condizioni al contorno del problema, poiché tali dispositivi, che sono trattati dal modello come condizioni al contorno interne, si attivano automaticamente nel corso della simulazione, quando i livelli idrometrici locali superano le quote di attacco previste per le pompe e si disattivano, quando gli stessi livelli scendono al di sotto delle quote di stacco.

Lo schema implementato permette, infine, di tener conto, volendo, delle portate dovute agli apporti meteorici diretti al suolo, introducendo il relativo idrogramma di piena in corrispondenza ai nodi del reticolo di calcolo deputati a tal fine.

I valori dei parametri che caratterizzano tutti i dispositivi considerati devono essere inseriti nel file dei dati associato a ciascuna simulazione. Gli stessi parametri possono, peraltro, essere fatti variare durante la sessione di calcolo, in modo tale da rendere possibile la simulazione interattiva di situazioni particolari che possono verificarsi nel corso dell'evento simulato, quali i già ricordati eventuali cedimenti di corpi arginali, l'interruzione del funzionamento di impianti idrovori o altro.

### 2.2.3 Tronchi speciali soglia

I tronchi speciali soglia consentono di schematizzare mediante degli elementi mono-dimensionali il funzionamento di un argine e/o di una traversa.

In particolare, ogni tronco speciale connette tra loro due nodi del reticolo bidimensionale e la portata che sfiora al di sopra del tronco è determinata dalle quote idrometriche dei nodi situati a monte e a valle del tronco stesso. Questi elementi speciali possono, pertanto, congiungere o disgiungere le due parti del dominio, a seconda che al di sopra della soglia si instaurino condizioni di flusso nullo, libero o rigurgitato.

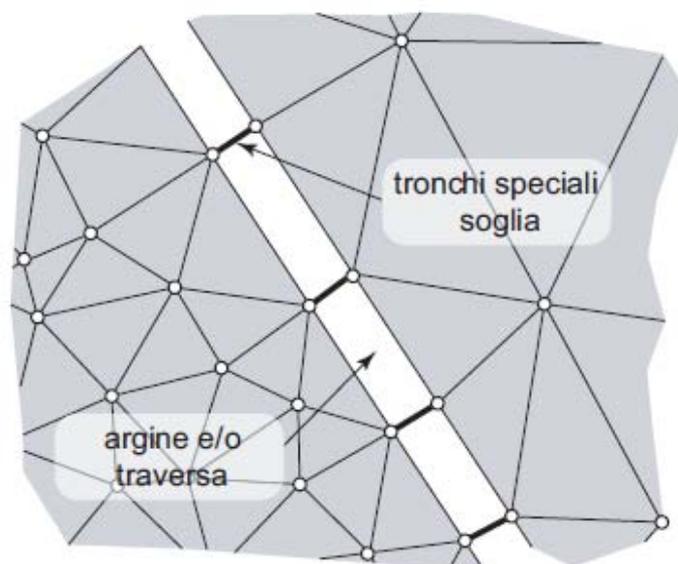


Fig. 2.3 Schema di inserimento dei tronchi speciali soglia.

Il tronco speciale soglia è caratterizzato alle sue estremità da due nodi,  $n_1$  e  $n_2$ . Nell'ipotesi in cui l'efflusso avvenga dal nodo  $n_1$  verso il nodo  $n_2$ , per continuità la portata uscente dal nodo  $n_1$  deve essere uguale alla portata entrante nel nodo  $n_2$  ( $Q_1 = -Q_2$ ).

Supponendo di trascurare i carichi cinetici, l'energia specifica a monte e a valle della soglia può essere determinata considerando solamente il carico gravitazionale  $h$ . In questo caso la portata che sfiora al di sopra della soglia dipende solamente dal coefficiente di portata  $C_q$  della soglia stessa e dalla larghezza  $B$  dello sfioro.

L'efflusso al di sopra della soglia può essere libero oppure rigurgitato. Affinché l'efflusso sia libero il livello liquido a valle deve essere inferiore alla quota di sfioro del tronco speciale incrementata di  $2/3$  del valore del carico idraulico istantaneo. Nel caso contrario l'efflusso risulta rigurgitato.

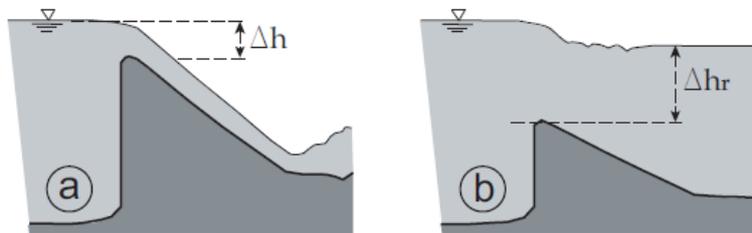


Fig. 2.4 Efflusso al di sopra di una soglia: (a) libero e (b) rigurgitato

Nel caso di efflusso libero (Fig. 2.4a), la portata specifica sfiorata è espressa dalla relazione:

$$q_L = C_{qL} B \sqrt{2g} \Delta h^{3/2} \quad (2.18)$$

mentre nel caso di efflusso rigurgitato (Fig. 2.4b) la portata specifica si può esprimere come:

$$q_R = C_{qR} B \sqrt{2g} \Delta h \left[ \max(\Delta h_R, 0) + \frac{2}{3} \Delta h \right] \quad (2.19)$$

nelle quali  $q_L$  e  $q_R$  rappresentano la portata per unità di larghezza e  $C_{qL}$  e  $C_{qR}$  sono i coefficienti di portata della soglia nel caso, rispettivamente, di efflusso libero e rigurgitato.

Agli elementi speciali soglia, infine, può essere associato un valore della quota di sfioro  $h_{tr}$  costante nel tempo oppure variabile. In questo modo il modello consente di simulare la formazione di eventuali brecce in corrispondenza degli argini, una volta associata al tronco speciale una tabella che descrive l'andamento di  $h_{tr}$  nel tempo.

### 2.2.4 Tronchi speciali idrovora

Un impianto idrovoro altro non è che una stazione di sollevamento il cui scopo è quello di riprendere le acque raccolte in bacini la cui quota media è sensibilmente inferiore alla quota idrometrica del corpo idrico ricettore ed introdurvele. Il modello, in particolare, prevede la possibilità di inserire nel dominio di calcolo appositi "tronchi speciali idrovora", che permettono di descrivere in maniera estremamente verosimile il funzionamento di questi dispositivi.

In particolare, l'elemento speciale idrovora collega due nodi del dominio, appartenenti indifferentemente alla parte bidimensionale o a quella unidimensionale del reticolo di calcolo. Il tronco è quindi caratterizzato da un nodo di monte  $n_1$  e da un nodo di valle  $n_2$  e il sollevamento avviene dal nodo  $n_1$  verso il nodo  $n_2$ . Ad ogni tronco speciale idrovora corrispondono un numero di pompe equivalente a quello dell'impianto di sollevamento che si vuole simulare e, ad ogni pompa, sono associati la portata sollevabile  $Q_p$ , la sua quota di attacco  $h_a$  e la sua quota di stacco  $h_s$ . In pratica, il funzionamento della pompa è simulato sottraendo la portata  $Q_p$  al nodo di monte  $n_1$ , la quale viene poi fornita al nodo di valle  $n_2$ .

Tali dati costituiranno delle condizioni al contorno interne, direttamente legate ai livelli idrometrici dei nodi collegati tramite l'idrovora, la quale entrerà in funzione automaticamente non appena la soluzione, ad un dato istante, produrrà, per il nodo di monte collegato all'idrovora, un livello superiore a quello di attacco della prima pompa.

Il funzionamento di attacco-stacco delle pompe è stabilito dal modello sulla base delle seguenti condizioni:

- se la pompa è a riposo, il livello  $h$  del nodo di monte viene confrontato con la quota di attacco  $h_a$  della pompa; se  $h < h_a$  la pompa viene mantenuta a riposo, altrimenti comincia a funzionare con le modalità descritte.
- se la pompa è in funzione, il livello  $h$  del nodo di monte viene confrontato con la quota di stacco  $h_s$  della pompa; se  $h < h_s$  la pompa viene arrestata, altrimenti continua a funzionare con le modalità descritte.

È prevista, anche, la possibilità di introdurre o di emungere semplicemente della portata da un nodo non recapitandola ad alcun altro nodo della griglia, circostanza che si verifica quando un'idrovora scarica direttamente le sue portate all'esterno del dominio di calcolo in un corpo idrico. È sufficiente, a tal fine, attribuire al nodo di valle un numero convenzionale superiore al numero di nodi della mesh.

## 2.3 Condizioni al contorno

Affinché la soluzione del problema di Cauchy sia unica, è necessario fornire le condizioni iniziali e le condizioni al contorno. Un problema idrodinamico relativo alla propagazione di onde di piena in regime di moto lento richiede l'imposizione a monte di un idrogramma delle portate e a valle l'andamento dei livelli o di una scala delle portate. Nelle simulazioni della propagazione delle onde di piena, la procedura da seguire è quella di fornire una condizione iniziale possibilmente equilibrata, quale può essere, ad esempio, quella rappresentata dal moto stazionario determinato da un valore relativamente piccolo di portata fluente nelle diverse sezioni di ingresso e da un prefissato livello o scala delle portate nella sezione di valle. Tale condizione di moto permanente viene raggiunta imponendo delle condizioni al contorno costanti nel tempo.

La procedura di portare a moto permanente un corso d'acqua su fondo completamente asciutto rappresenta la fase più delicata dal punto di vista numerico: essendo il dominio inizialmente asciutto è necessario adottare un passo di integrazione temporale  $\Delta t$  molto più piccolo di quello che sarà poi utilizzato nella simulazione della propagazione dell'onda di piena.

Un espediente è quello di far propagare sull'asciutto una portata più piccola di quella permanente e quindi, una volta che l'alveo si è "bagnato", incrementare progressivamente la portata fino al valore desiderato, lasciando che il sistema si porti a regime.



## 3 COSTRUZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

### 3.1 Inquadramento geografico

Al fine di poter realizzare il modello matematico di propagazione bidimensionale delle piene è necessario definire innanzitutto il dominio le cui principali caratteristiche morfologiche (corsi d'acqua, rilevati arginali, rilevati ferroviari e stradali) saranno schematizzate all'interno del modello stesso; in particolare, dovrà contenere tutte le aree potenzialmente allagabili dal sistema idrografico oggetto del presente studio e terminare laddove si presuppone che il rischio non si possa presentare, cioè in corrispondenza di quote sufficientemente alte da garantire tale condizione.

Il dominio è stato pertanto scelto in modo da risultare confinato a Nord da Prealpi Venete e Colli Asolani e comprende la zona pedemontana a Sud della SP248 che attraversa, da Est verso Ovest, gli abitati di Maser (TV), Fonte (TV), San Zenone degli Ezzelini (TV) e Mussolente (VI). Chiuso lateralmente lungo arterie principali e ferrovie, il territorio modellato include poi, spostandosi verso Sud, i comuni di Riese Pio X (TV), Castelfranco Veneto (TV), Loreggia (PD), Camposampiero (PD), San Giorgio delle Pertiche (PD), Campodarsego (PD) e termina a Vigodarzere (PD), lungo il confine naturale rappresentato dal corso del fiume Brenta.

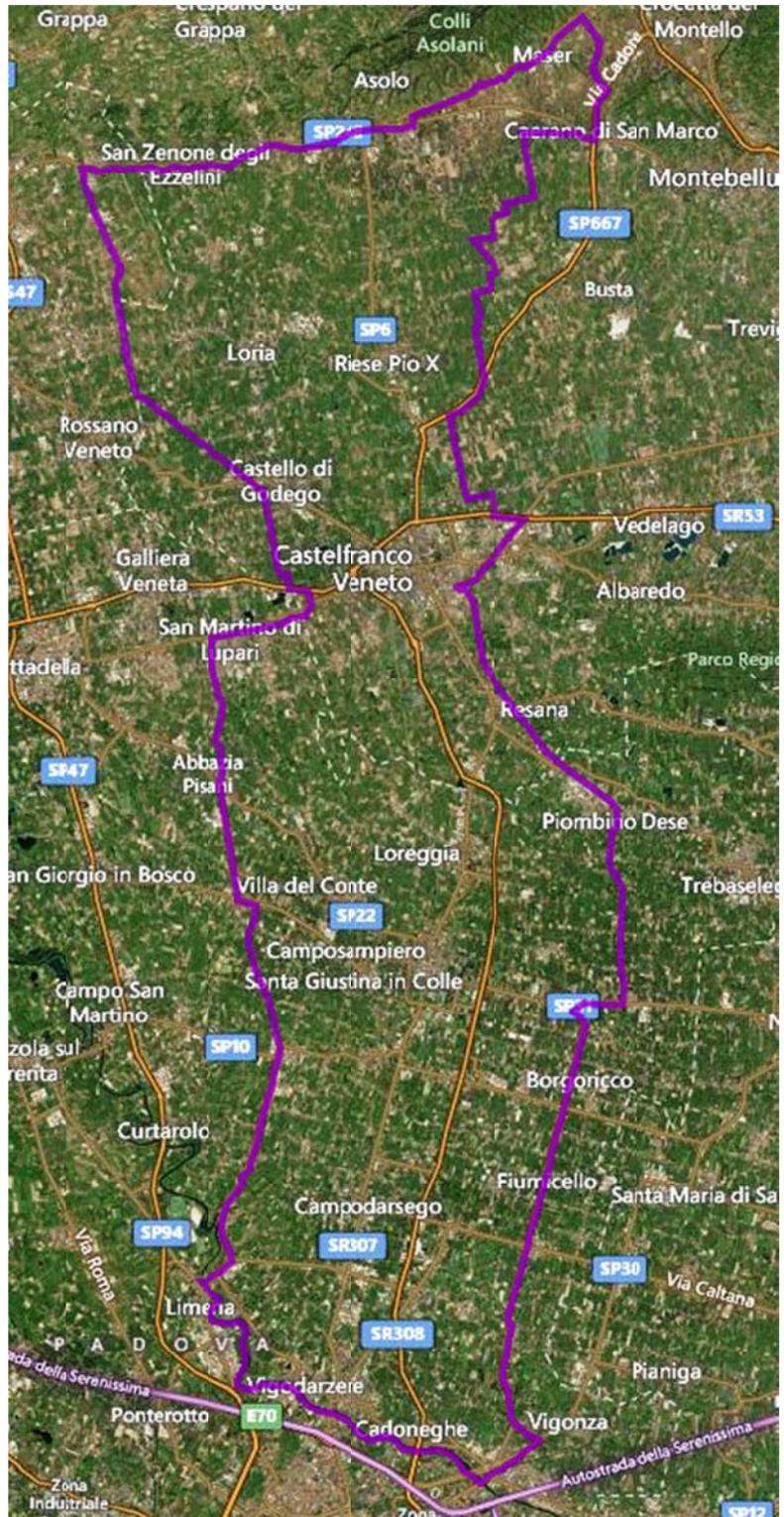


Fig. 3.1 Confini del dominio scelto

### 3.2 Creazione della geometria

Una volta definita l'estensione della porzione di territorio che si vorrà studiare con il modello, il primo passo da compiere consiste nel rappresentarne nel modo più attinente alla realtà possibile le principali componenti caratteristiche, quali arterie stradali, linee ferroviarie, centri abitati, rilevati e, ovviamente, corsi d'acqua; a tale scopo, si dovranno tracciare all'interno del dominio scelto una serie di polilinee che andranno a definire la morfologia del territorio.

Per eseguire questa descrizione schematica del dominio è necessario disporre di un'adeguata cartografia che rappresenti nel modo più dettagliato possibile la zona di interesse; la scelta è pertanto ricaduta sugli elementi in scala 1:5000 della Carta Tecnica Regionale del Veneto, disponibili in formato vettoriale georeferenziato (Gauss Boaga Fuso Ovest), e sulle immagini satellitari della zona in formato raster .ecw per avere anche un riscontro visivo più immediato che facilitasse l'operazione di distinzione di categoria, quale ad esempio quella tra terreno fortemente impermeabile delle zone abitate e terreno adibito invece a prati o coltivazioni.

Questa fase andrà a costituire la base per la successiva realizzazione della mesh ad elementi triangolari cui si accennava al paragrafo 2.1 e deve pertanto essere eseguita in modo tale che la griglia di calcolo risulti il più possibile regolare e non eccessivamente 'pesante' dal punto di vista computazionale, anche nell'ottica dello scopo futuro cui questo modello dovrà servire, cioè la previsione delle piene in tempo reale. A tal proposito, nel realizzare la geometria si sono perseguiti i seguenti obiettivi:

- utilizzare per ogni tipologia di elemento rappresentato un layer diverso, in modo tale che la mesh venga generata dall'unione di tutti i layer suddetti ma che sia sempre possibile 'estrapolarne' le maglie di una particolare categoria di interesse (fondamentale in vista delle successive fasi di assegnazione delle scabrezze e quotatura);
- tracciare le polilinee in modo tale che la distanza tra i vertici non sia inferiore, salvo casi particolari quali strade o zone per le quali è richiesta una certa attenzione, al passo deciso per la mesh; nel caso in esame, si è scelto di utilizzare le maglie più piccole, di lato pari a 50 m, solo nelle ristrette vicinanze dei corsi d'acqua mentre nelle zone che richiedevano un minore grado di dettaglio si sono utilizzate dimensioni maggiori, fino ad un massimo di 200 m di lato;
- regolare la posizione dei vertici delle polilinee nell'ottica di ottenere una mesh il più regolare possibile, con maglie equilatera che ben si adattano a simulare la reale altimetria del territorio, fatta eccezione per i corsi d'acqua nei pressi dei quali invece le maglie risultano allungate nella direzione del moto allo scopo di ridurre l'onere computazionale;
- allineare i vertici delle polilinee che riproducono i corsi d'acqua confinati da rilevati arginali (in modo da facilitare l'inserimento, in una fase successiva, degli elementi speciali soglia introdotti al paragrafo 2.2);
- adottare accorgimenti al fine di ottenere successivamente un reticolo di calcolo con un numero di elementi non spropositato, come ad esempio rappresentare con doppia polilinea solo le strade principali ed in rilevato, limitandosi a schematizzare l'andamento in asse per quelle minori, o tracciare parallelamente ai corsi d'acqua polilinee con distanza minima tra i vertici pari a 100 m in modo da confinare gli elementi più piccoli di lato 50 m nelle immediate vicinanze del canale.

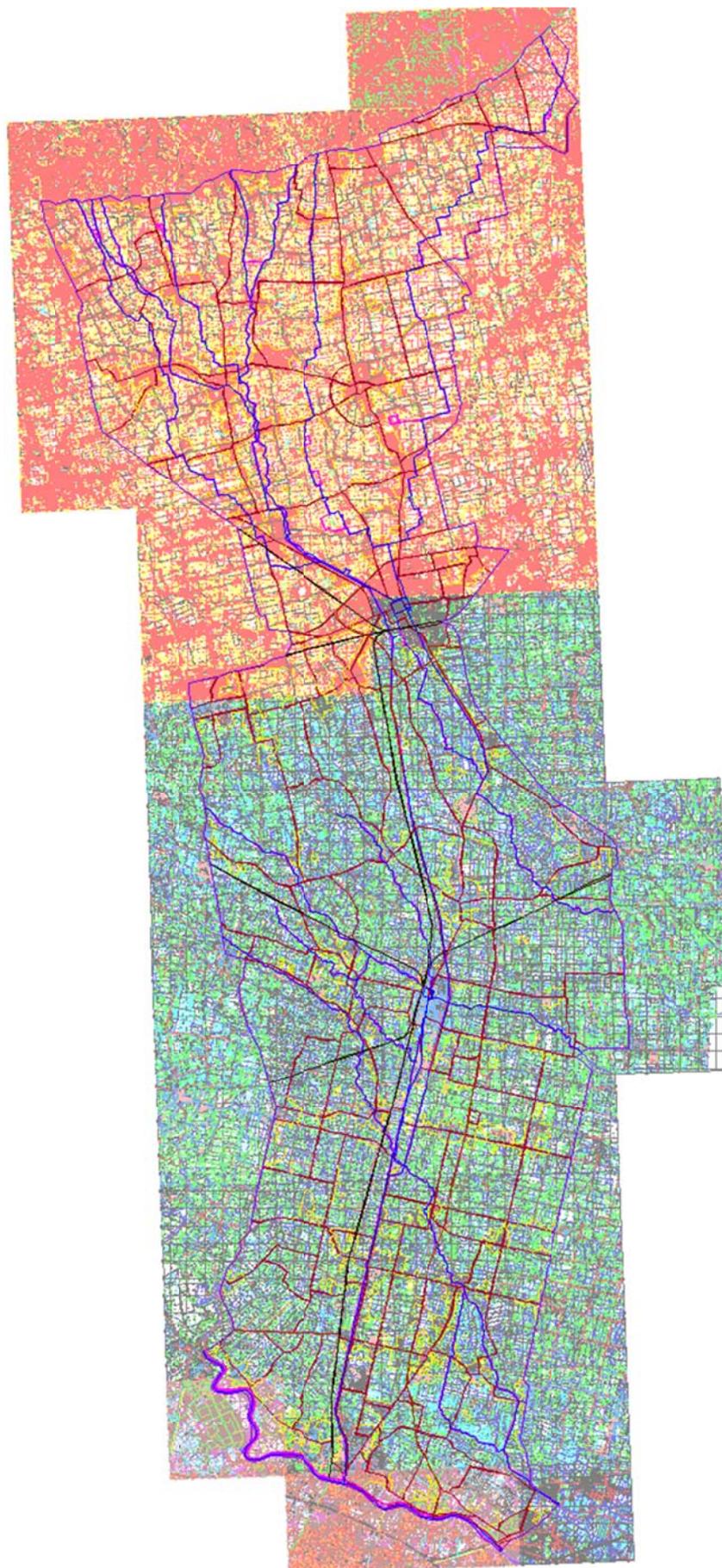


Fig. 3.2 Geometria del dominio generata sulla base della CTR

### 3.3 Generazione della mesh

Completata la fase di definizione della geometria, l'insieme delle polilinee tracciate deve essere salvato in formato vettoriale DXF12. Prima dell'esportazione vengono inoltre assegnate una serie di "etichette", poste in corrispondenza di ogni intersezione presente e laddove si ritenga necessario, che andranno ad imporre il passo della mesh desiderato; ciò significa che, a partire da tutte le polilinee confluenti nel vertice in cui l'etichetta è stata applicata, verranno generati elementi triangolari di lato pari al passo definito.

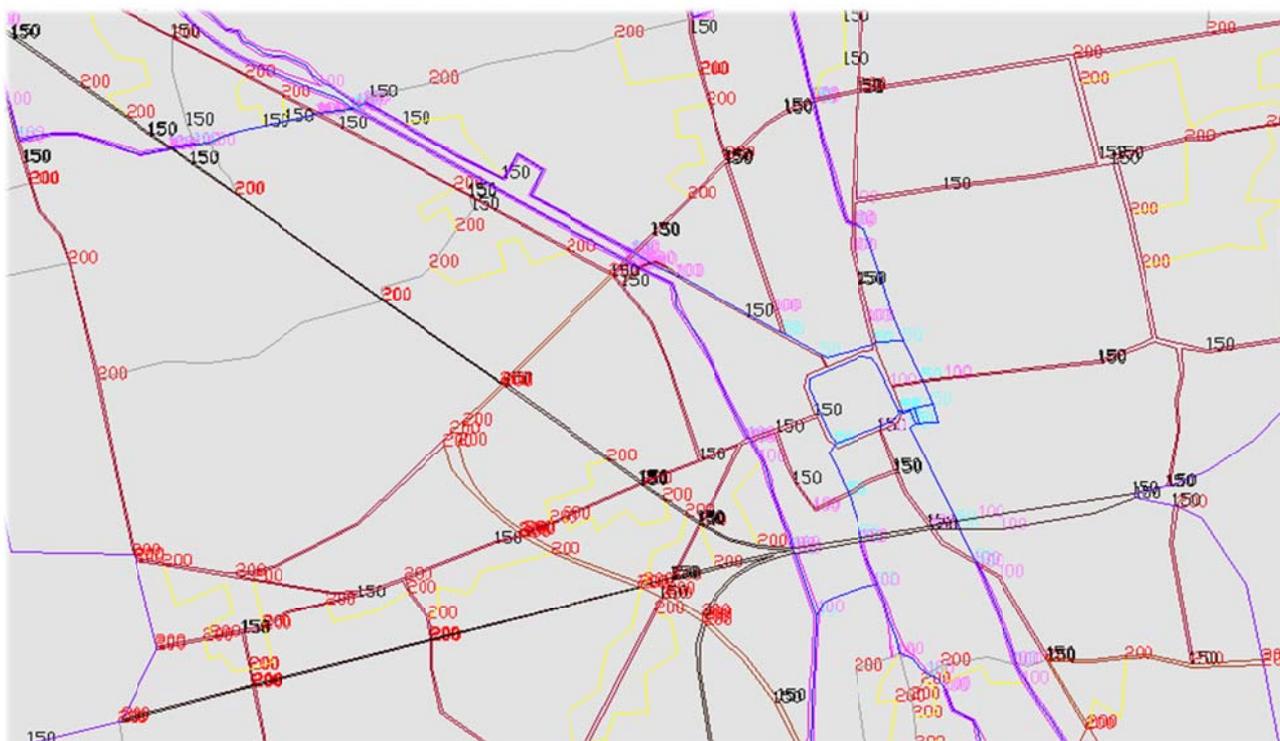


Fig. 3.3 Particolare della geometria con etichette assegnate, nei pressi di Castelfranco Veneto

Il complesso di informazioni viene quindi importato nel software INCIDENZE, programma utilizzato durante tutta la fase di realizzazione del dominio di calcolo, che permette non solo di generare le maglie triangolari compatibilmente con la geometria precedentemente tracciata ma anche di assegnare a tali maglie le proprietà caratteristiche necessarie, quali quota e scabrezza del fondo, e di inserire tutti quegli elementi monodimensionali che serviranno a rappresentare al meglio la zona oggetto di studio.

In primo luogo, le polilinee vengono trasformate da Incidenze in contorni CNT, base di partenza per la triangolazione; una volta verificato che tali contorni non contengano errori (vertici doppi, intersezioni senza etichette assegnate, ecc.), le maglie vengono create a partire dai contorni stessi, rispettando le indicazioni fornite dalle etichette come sopra illustrato. Viene quindi generato un file TIN, dominio temporaneo che permette di visualizzare come si presenterà la mesh; se ritenuto soddisfacente, il TIN viene trasformato in un file GEO, cioè il reticolo di calcolo vero e proprio.

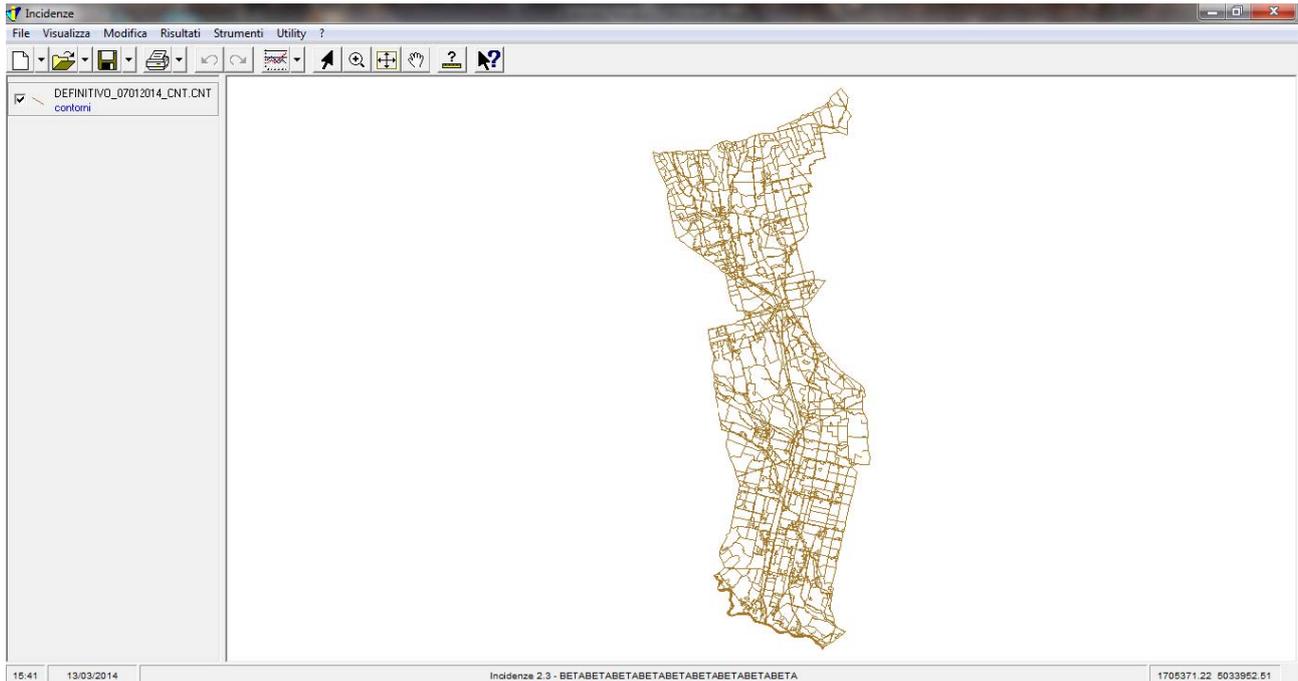


Fig. 3.4 Interfaccia grafica di Incidenze e file CNT

Il file GEO risulta costituito inizialmente solo da nodi e maglie che possono essere visualizzati o meno a discrezione dell'utente, così come qualsiasi altro elemento del dominio all'interno del programma (ogni elemento, infatti, è come se appartenesse ad un diverso layer). Per rendere la mesh più completa e attinente alla realtà è possibile a questo punto aggiungere, come già anticipato precedentemente, le informazioni legate agli elementi monodimensionali, introdotti nel paragrafo 2.2.

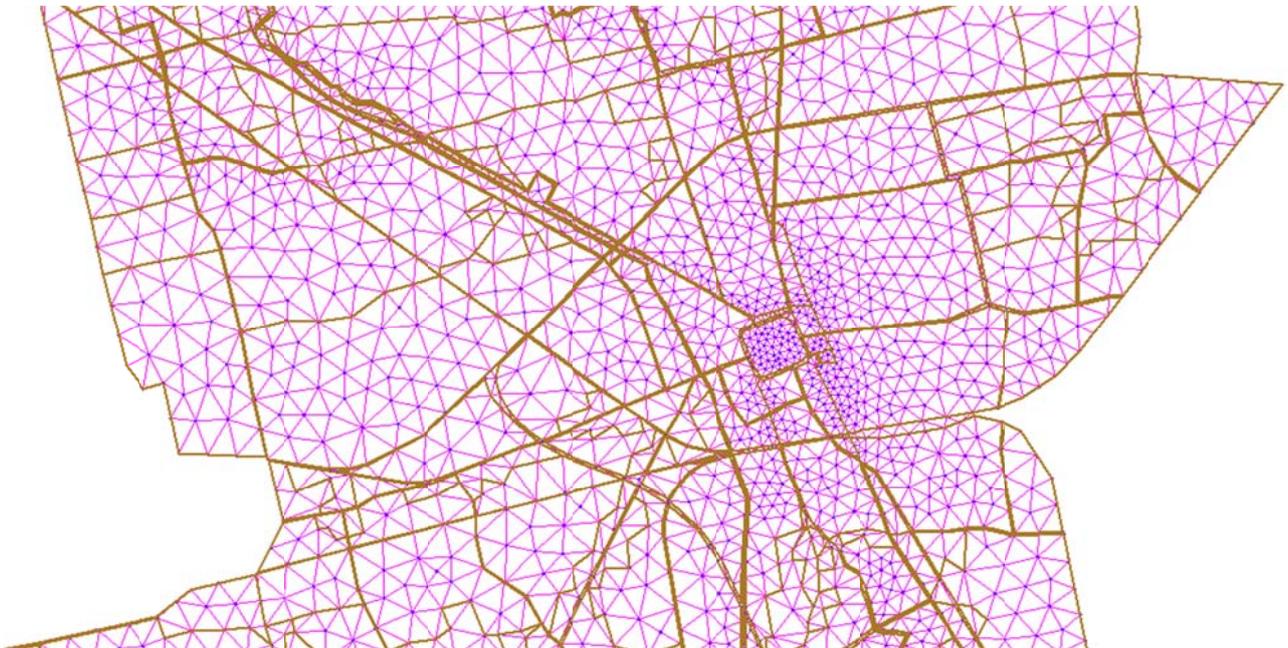


Fig. 3.5 File TIN generato a partire dal CNT, particolare in corrispondenza di Castelfranco Veneto

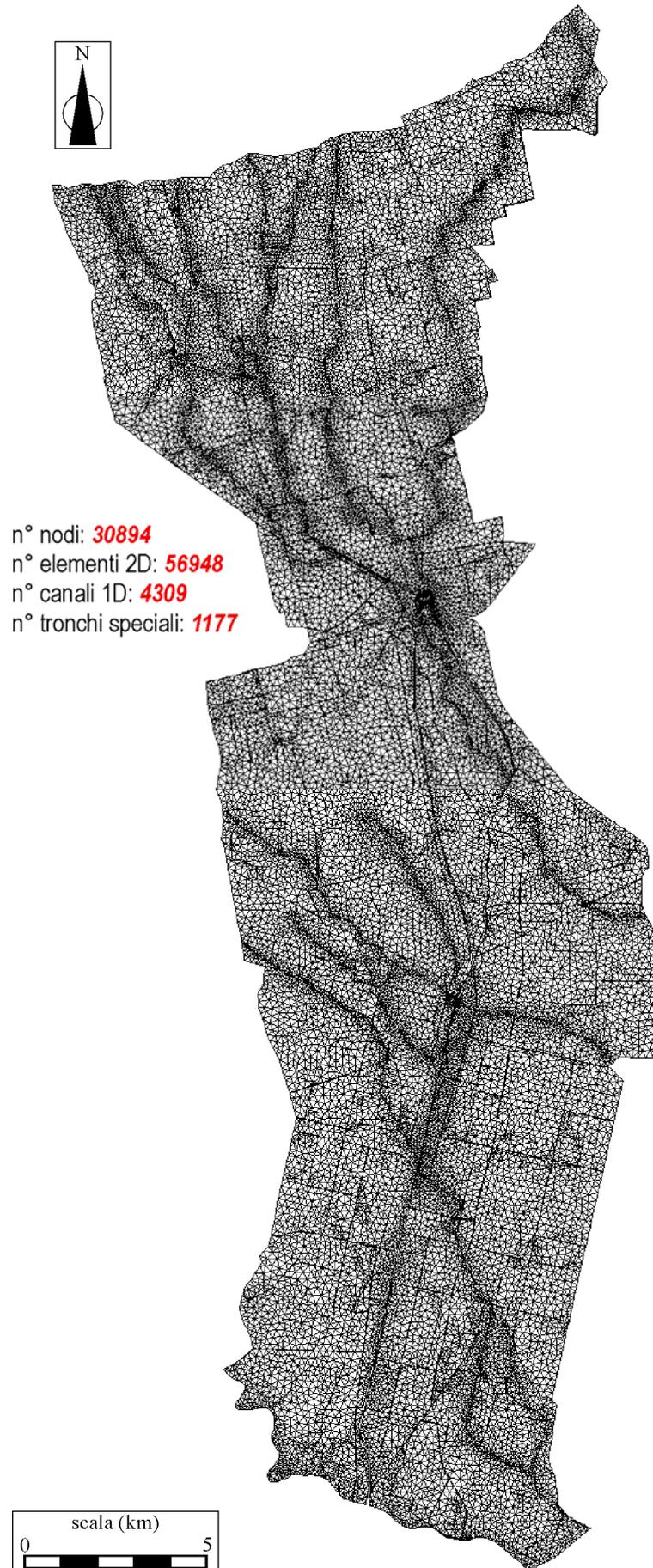


Fig. 3.6 File GEO generato sulla base della geometria definita

L'inserimento degli elementi canale 1D è stato effettuato a partire dalle polilinee tracciate nella fase di definizione della geometria, isolando i layer corrispondenti alla rete idrografica del dominio; per ogni canale ottenuto dovevano essere assegnate caratteristiche di scabrezza, il parametro  $a_r$  per definire la transizione asciutto bagnato di cui al paragrafo 2.1 e, soprattutto, la geometria. Nel corso di questa fase sono state pertanto utilizzate le numerose sezioni a disposizione derivate dai rilievi topografici eseguiti, in tempi diversi, lungo i corsi d'acqua del sistema, ed in particolare:

- n. 57 sezioni che schematizzano l'asta del Muson dei Sassi a valle di Castelfranco, più n. 18 sezioni che schematizzano i ponti, ricavate dai rilievi eseguiti nell'ambito dello studio sulla consistenza delle arginature del Genio Civile di Padova nel 2010 ("Verifica della consistenza delle arginature nel tratto di competenza dell'unità periferica del Genio Civile di Padova" – Colleselli & P. *ingegneria geotecnica* – Genio Civile di Padova – Giugno 2010);
- n. 127 sezioni eseguite per conto dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione, a partire da una campagna di misure topo-batimetriche lungo alcuni corsi d'acqua del bacino idrografico del Muson dei Sassi nel tratto compreso tra Castelfranco Veneto e la S.S. "Schiavonesca-Marosticana" effettuata tra febbraio e marzo 2007;
- n. 765 sezioni che schematizzano nel dominio di interesse le aste dei fiumi Avenale, Brentella, Mauri, Muson dei Sassi, Muson Vecchio, Musonello, Orcone, Tergola, Tergolader, Tergolino, Vandura, Viana e le Fosse Civiche di Castelfranco Veneto, realizzate nel maggio 2001 nell'ambito dello studio sul riordino della rete scolante in laguna attraverso i nodi idraulici di Torre dei Burri, di Castelfranco e di Conche per conto del Magistrato alle Acque, raccolte e riorganizzate nel corso dello studio sulla propagazione delle onde di piena lungo l'asta del Muson dei Sassi effettuato dall'Università degli Studi di Padova, cui accennato nel paragrafo 1.4.3 ("Propagazione delle onde di piena lungo l'asta del Muson dei Sassi mediante modello bidimensionale" - Prof. Ing. Luigi D'Alpaos – Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione – Maggio 2006).

Nei corsi d'acqua principali di cui si disponevano le sezioni la geometria è stata inserita per punti, mentre nei corsi d'acqua secondari, o comunque nei tratti in cui le sezioni non erano presenti, si è schematizzata la geometria come trapezia; la fase di assegnazione per punti ha richiesto in particolare un grande dispendio di tempo, in quanto la quasi totalità delle sezioni non presentava annessi listati delle coordinate dei punti costituenti le sezioni stesse (da poter eventualmente trasformare in formato .XYZ ed importare agevolmente in Incidenze), pertanto l'introduzione delle sezioni è avvenuta principalmente in modo manuale.

Come già accennato, non tutta l'idrografia rappresentata nel dominio di interesse risultava 'coperta' dalle sezioni a disposizione, in particolare alcuni tratti dei corsi d'acqua della zona pedemontana a monte di Castelfranco; a questi canali restanti è stata pertanto assegnata sezione trapezia. Le caratteristiche di base, scarpa e quota del fondo richieste per definire tali sezioni sono state ricavate da una versione aggiornata del dominio utilizzato dall'Università degli Studi di Padova nell'ambito dello studio sopra citato del 2006 sulla propagazione delle onde di piena lungo il Muson dei Sassi.

Numerosi sopralluoghi sono stati infine condotti allo scopo di verificare le reali condizioni sul territorio in corrispondenza a situazioni di particolare interesse e/o carenze di informazioni ufficiali, situazioni che verranno descritte con maggior dettaglio nel corso del quarto capitolo.

Un discorso a se' va fatto inoltre per le sezioni con manufatti, tombini e, soprattutto, tratti in cui i corsi d'acqua sono sovrappassati da ponti; in questi casi si è pensato opportuno semplificare, schematizzando le geometrie come sezioni chiuse rettangolari equivalenti; laddove la schematizzazione risultasse nettamente distante dalla realtà la sezione è stata mantenuta comunque rettangolare, adottando però un adeguato coefficiente di scabrezza  $k_s$ ; di questo si discuterà in modo più dettagliato in seguito nel paragrafo 4.1.

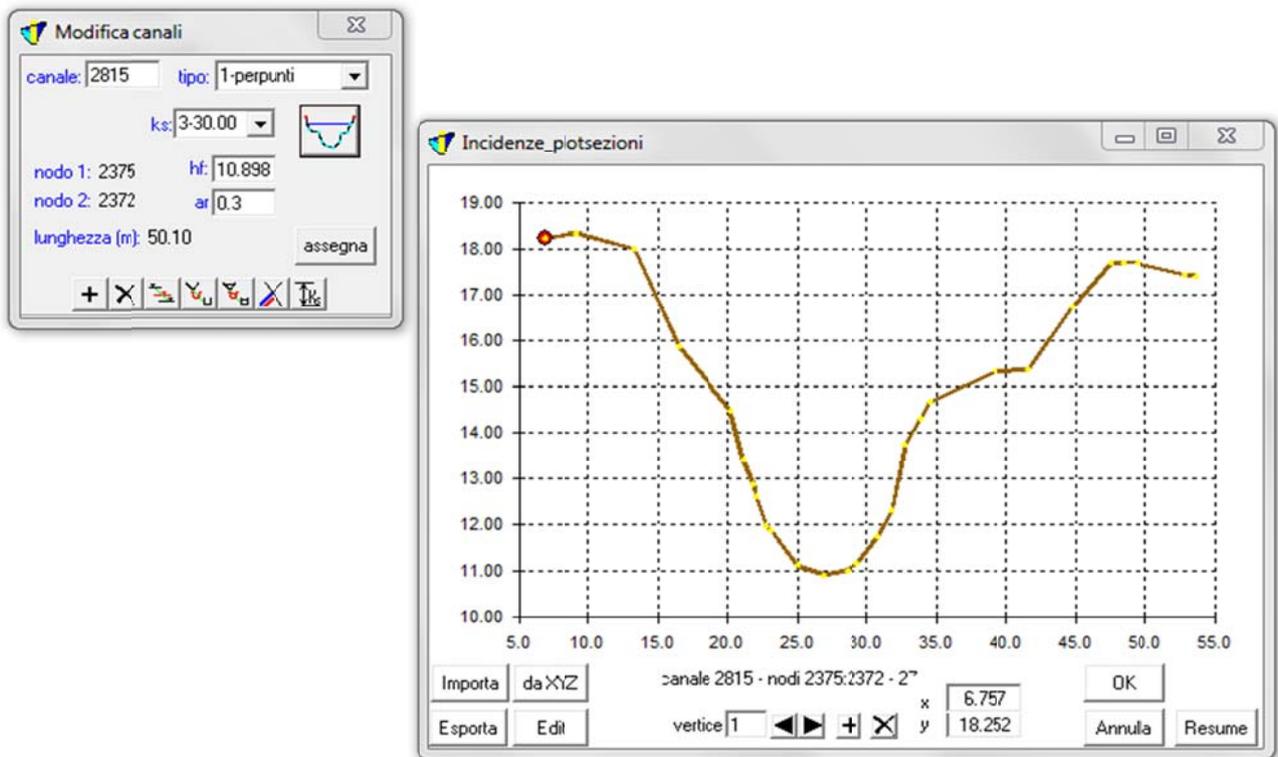


Fig. 3.7 Proprietà dei canali 1D: esempio di sezione per punti del Muson dei Sassi

La fase di inserimento dei tronchi speciali argine si è rivelata invece essere più immediata. Individuate infatti le polilinee della geometria che delimitavano le zone con rilevati arginali, è bastato trasformarle in contorni CNT per estrapolare ed eliminare dal GEO le sole maglie in essi contenute; sulla base degli stessi contorni sono stati prima generati a parte e successivamente uniti al GEO i tronchi speciali in luogo delle maglie eliminate, mediante l'utilizzo di apposite procedure automatizzate in AUTOCAD.

I tronchi soglia sono stati posti generalmente ad una distanza (larghezza sfioro) di 100 m l'uno dall'altro e, laddove necessario, risistemati manualmente con Incidenze in modo da allineare al meglio i nodi o riassegnare le lunghezze qualora visivamente si notasse non rispecchiassero la realtà. Il coefficiente di portata  $C_q$  assegnato ai tronchi speciali soglia/argine è stato imposto pari a 0.4 (a richiamare lo 0.385 dello stramazzo Belanger in parete grossa).

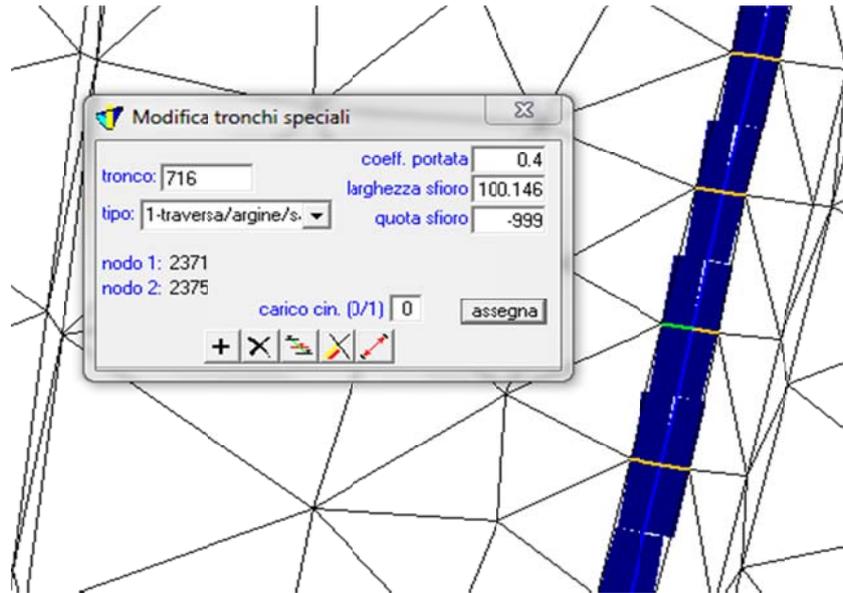


Fig. 3.8 Proprietà tronchi speciali: argini sul Muson dei Sassi allineati con larghezza sfioro assegnata

### 3.4 Proprietà degli elementi: quote e scabrezze

Nel momento in cui il GEO viene generato con Incidenze a partire dal file CNT della geometria, a meno che non venga disposto diversamente il programma assegna in automatico a tutte le maglie quota del fondo arbitraria pari a -999 m; analogamente accade anche quando viene aggiunto un nuovo elemento monodimensionale, come nel caso dei tronchi speciali soglia per i quali viene posta pari a -999 m la quota di sfioro. Per gli elementi monodimensionali canale, la quota del fondo è stata attribuita automaticamente nel momento in cui sono state assegnate le sezioni per punti, cioè nel corso della precedente fase discussa, pertanto si è proceduto con l'operazione di assegnare tale proprietà a maglie e tronchi speciali.

Nel corso della fase di quotatura sono stati utilizzati i seguenti dati a disposizione:

- dati Lidar del Ministero dell'Ambiente, cioè listati delle coordinate dei punti acquisiti tramite rilievo laser e raccolti in formato .ASC e .XYZ, relativi ad una zona a valle di Castelfranco Veneto limitata ad una strisciata larga circa 2000 m effettuata attorno al Muson dei Sassi, con origine tra gli abitati di Loreggiola (PD) e Pelosin (PD) e prolungata fino allo sbocco in Brenta;
- Carta Tecnica Regionale del Veneto 1:5000 (già sfruttata in fase di creazione della geometria);
- quote estrapolabili dalle sezioni per punti assegnate ai canali monodimensionali.

Tra quelli citati, i dati di quota più numerosi e da considerarsi più attendibili sono i Lidar, da utilizzare per primi; per le aree lasciate scoperte dal rilievo laser, invece, sono state estratte le quote dalla cartografia CTR per quanto riguarda le maglie e sfruttate le sezioni dei canali 1D per le quote di sfioro dei tronchi speciali.

### 3.4.1 Quotatura delle maglie

Indipendentemente dal tipo di fonte utilizzato, per l'assegnazione delle quote alle maglie è bene tenere in considerazione l'idea di elaborare in due momenti distinti le zone in rilevato e le aree a quote inferiori a queste annesse; escludendo quindi gli argini, le cui maglie erano già state eliminate per essere sostituite dai tronchi speciali, sono stati trattati separatamente strade in rilevato e rilevati ferroviari, al fine di evitare che le discontinuità localizzate tra questi ed i terreni adiacenti andassero ad influenzare l'operazione di assegnazione di quota alle maglie delle zone non in rilevato. L'accorgimento viene preso in quanto il valore di quota del fondo assegnato ad una maglia non è altro che il risultato di un'operazione di media tra tutti i punti situati all'interno della maglia stessa (nel caso in cui la quotatura viene effettuata da file .XYZ) e se un punto molto più alto degli altri dovesse ricadere in una maglia non in rilevato andrebbe ad inficiare l'operazione di media, assegnando alla maglia stessa una quota non veritiera.

In primo luogo sono stati utilizzati, come già anticipato, i dati Lidar. Visto il numero consistente di punti, l'utilizzo di Incidenze da solo sarebbe risultato poco efficace e pertanto l'operazione di quotatura è stata effettuata, in questa prima fase, con l'aiuto di eseguibili sviluppati appositamente; in sintesi, viene di seguito elencata la procedura seguita:

1. Individuazione delle zone in rilevato (creazione in Incidenze di file CNT a partire dalle polilinee della geometria cui erano stati assegnati i layer corrispondenti ai rilevati, con un offset minimo applicato rispetto alle originali per tenere in considerazione l'eventualità che non ci sia perfetta corrispondenza spaziale tra il rilievo laser e la mesh) ed estrazione dai dati Lidar dei soli punti ricadenti all'interno delle zone stesse;
2. Attribuzione delle quote così estratte alle sole maglie appartenenti alle zone in rilevato, scegliendo solo il 50% dei punti Lidar più alti;

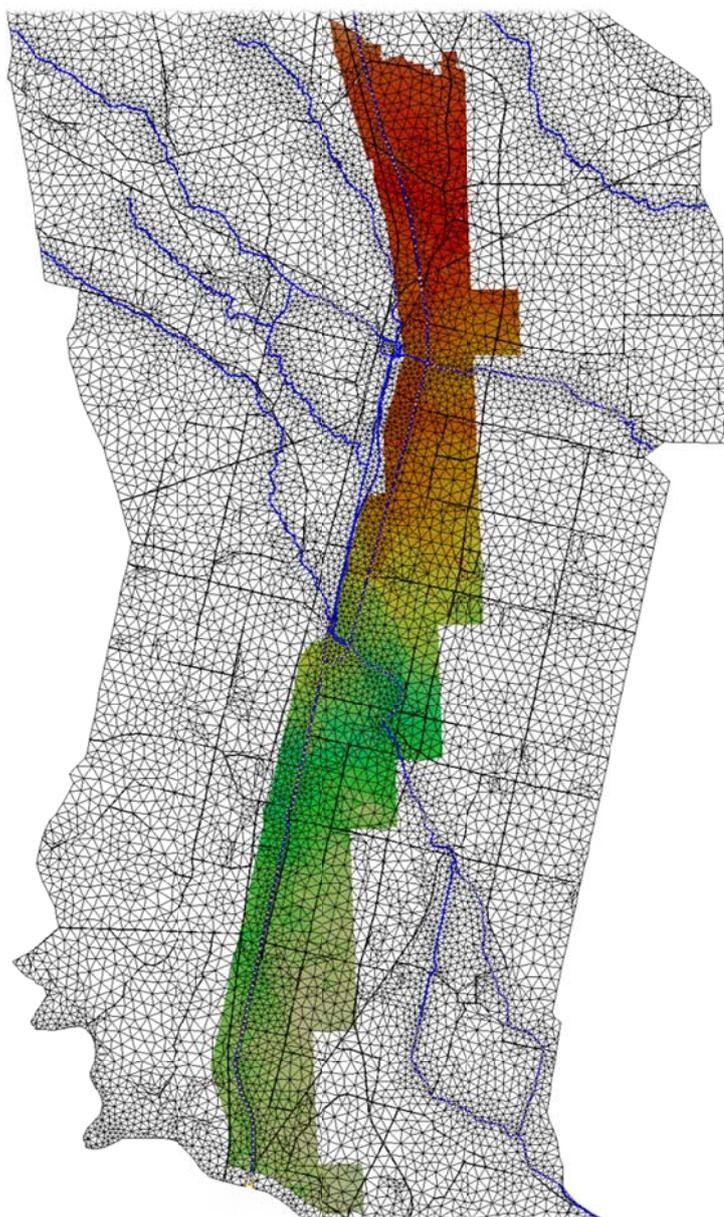


Fig. 3.9 Shaded Relief del rilievo Lidar inserito nel reticolo di calcolo

3. Rimozione dai listati .XYZ dei punti Lidar corrispondenti ad argini e strade in rilevato (operazione effettuata con Incidenze, caricando i file CNT generati al passo 1 ed eliminando i punti xyz interni ai CNT);
4. Creazione di file .ASC "depurati" dalle zone in rilevato, con i quali sono state quotate le restanti maglie del GEO ancora a -999 m.

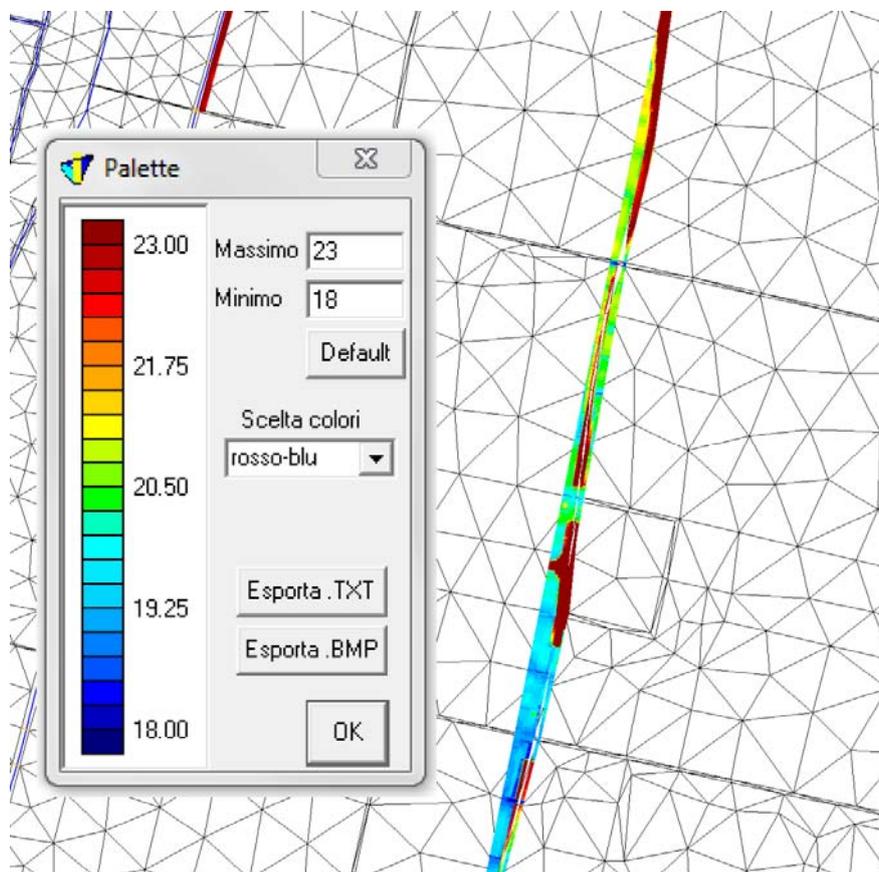


Fig. 3.10 Estratto dati Lidar nell'intorno di una strada in rilevato

La porzione di dominio interessata dal rilievo laser era però, come già accennato, molto limitata e pertanto la parte restante di maglie ancora non quotate in automatico si è dovuta coprire utilizzando gli elementi della Carta Tecnica Regionale del Veneto. Dalle cartografie in formato vettoriale sono stati infatti estratti gli oggetti contenenti:

- Quote di campagna, espresse in metri arrotondate al cm, rilevate direttamente in campagna; secondo codifica CTR corrispondenti al layer 11A1.
- Quote stereo terreno, espresse in metri arrotondate al dm, rilevate in fase di stereorestituzione con densità e distribuzione tali da rendere unitamente alle curve di livello facilmente individuabile la forma del terreno; secondo codifica CTR corrispondenti al layer 11B2.

Per gli elementi più recenti le quote sono state lette direttamente dagli oggetti estratti tramite Incidenze mentre per quegli elementi datati 1997 e anni precedenti si è dovuto effettuare un passaggio intermedio che attribuisse agli oggetti estratti la coordinata z (quota) sulla base del valore contenuto nella stringa di testo posizionata più vicina all'oggetto stesso; quest'ultima operazione non è avvenuta purtroppo senza l'imbattersi in contrattempi, quali stringhe di testo

digitate in modo errato oppure contenenti solo punteggiatura, che risultavano incompatibili con la macro utilizzata per lo svolgimento dell'operazione.

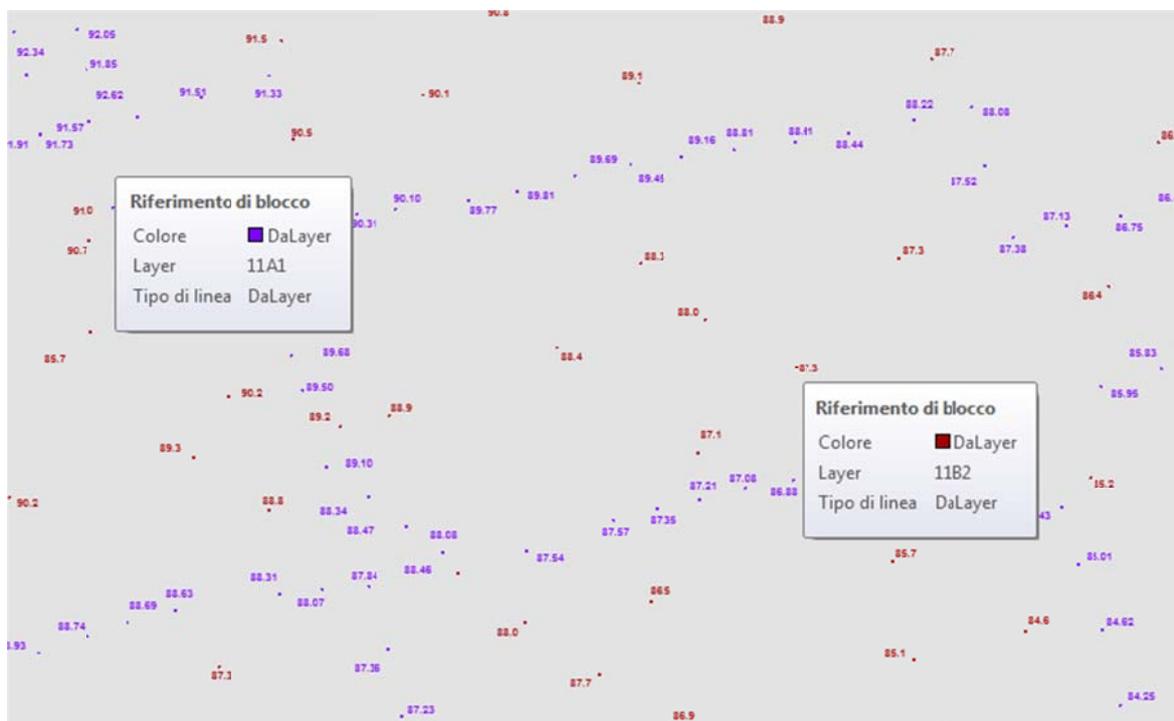


Fig. 3.11 Alcuni oggetti quota estratti dagli elementi della CTR

Una volta ottenuti correttamente tutti i punti quota, sono stati raccolti in un listato .XYZ tramite Incidenze. Il numero di dati così ottenuti non era però sufficiente ad effettuare una quotatura del GEO diretta da XYZ e per ovviare a tale problema ed ottenere un riscontro più veritiero le quote sono state interpolate per triangolazione, generando un TIN a partire dal file .XYZ caricato in Incidenze e quotando successivamente il GEO da TIN. È da specificare però come tale operazione sia stata preceduta, analogamente a quanto già illustrato per le quote Lidar, dalle fasi di quotatura delle maglie in rilevato e successiva rimozione dal listato .XYZ dei punti ricadenti nei pressi di argini, rilevati stradali e ferroviari.

È seguita infine un'ultima fase di controllo, in cui sono state assegnate manualmente per interpolazione le quote alle maglie sporadiche che non erano state coperte dai precedenti passaggi e risultavano ancora possedere quota del fondo pari a -999 m ed infine verificate e corrette zona per zona eventuali maglie troppo alte o eccessivamente basse, risultato, ad esempio, di un'interpolazione "forzata" tra due punti xyz molto distanti tra loro, che non dovessero corrispondere con l'effettivo andamento del terreno.

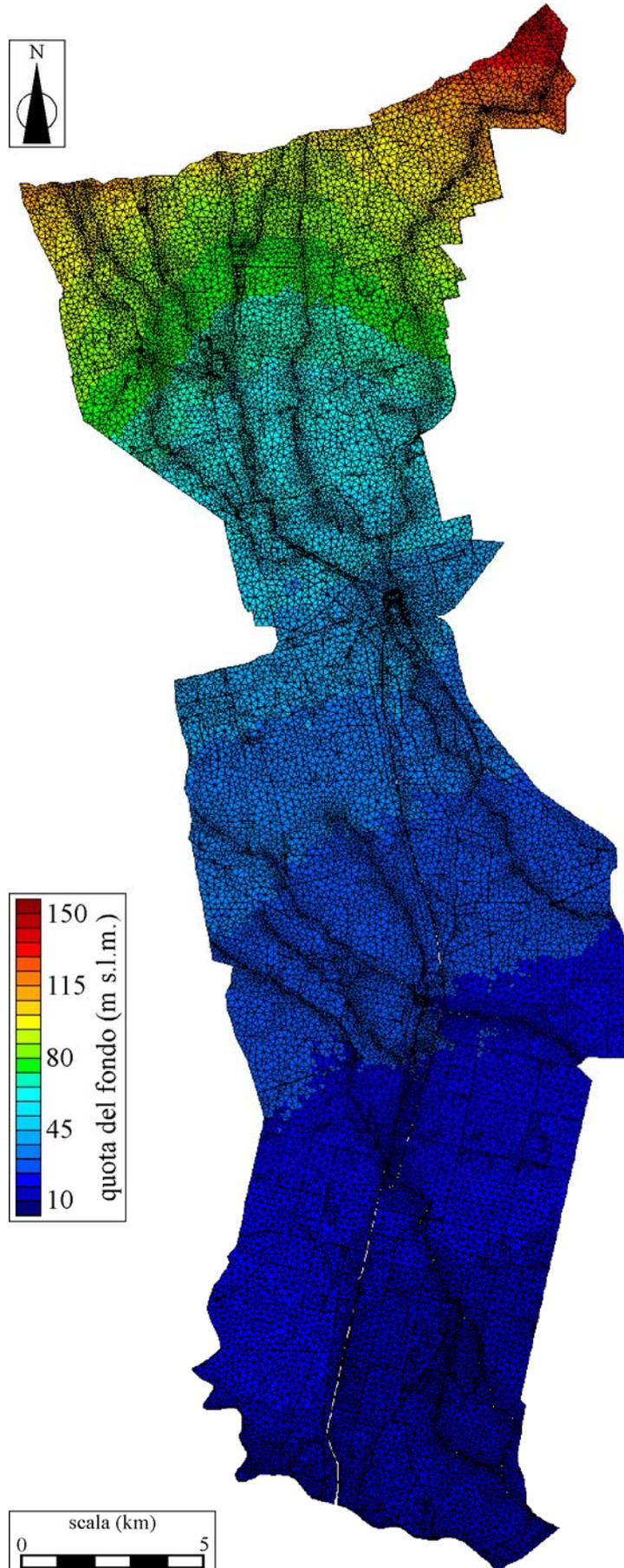


Fig.3.12 Risultato della fase di quotatura delle maglie

### 3.4.2 3.4.2. Quotatura dei tronchi speciali soglia

Anche per la quotatura dei tronchi speciali è stato necessario suddividere il procedimento sulla base della fonte di dati utilizzata per quotare.

Il tratto arginato del Muson dei Sassi a valle di Castelfranco Veneto risultava quasi totalmente incluso nella strisciata del rilievo laser ed è stato quindi quotato prima di tutto usando i dati Lidar, anche in questo caso con l'ausilio degli eseguibili già introdotti nell'operazione di quotatura delle maglie.

Va detto innanzitutto che, prima dell'inserimento dei tronchi speciali, le maglie del GEO che da questi sono state poi rimpiazzate erano state selezionate (creazione di sottomesh da CNT tramite Incidenze) ed esportate in un file GEO a parte, nell'ottica di utilizzarle in seguito in fase di quotatura da Lidar; a tal proposito, l'operazione si è articolata nei seguenti passaggi:

1. Individuazione delle zone arginate (creazione in Incidenze di file CNT a partire dalle polilinee della geometria cui erano stati assegnati i layer corrispondenti ai rilevati arginali, con un offset minimo applicato rispetto alle originali per tenere in considerazione l'eventualità che non ci sia perfetta corrispondenza spaziale tra il rilievo laser e la mesh) ed estrazione dai dati Lidar dei soli punti ricadenti all'interno delle zone stesse (similmente a quanto fatto per le maglie in rilevato);
2. Importazione dei tronchi speciali nel file contenente le sole maglie precedentemente occupanti le aree destinate ai rilevati arginali e attribuzione delle quote estratte ai tronchi stessi, scegliendo solo il 10% dei punti Lidar più alti;
3. Estrazione dei tronchi speciali così quotati e re-importazione di questi ultimi nel GEO principale.

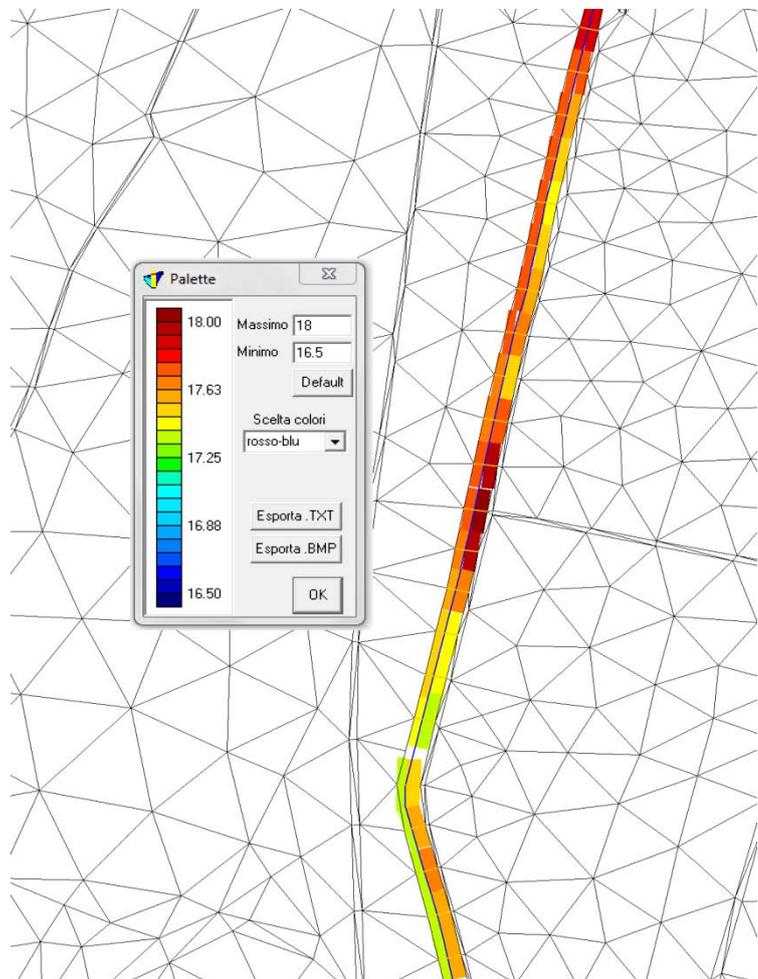


Fig.3.13 Un tratto del Muson dei Sassi a valle di Camposampiero con tronchi argine quotati

I restanti tratti arginati, esclusi dal rilievo laser, si sono dovuti invece quotare manualmente utilizzando le sezioni per punti dei canali monodimensionali, operando una media tra le quote delle sommità arginali, ricavate dalle sezioni stesse,

dei canali antecedente e seguente il tronco soglia in esame e ripetendo questa operazione per tutti i tronchi del dominio con quota non ancora assegnata.

Al termine delle operazioni di quotatura, nella fase di verifica dei risultati così ottenuti, è stato però riscontrato come le quote di sfioro dei tronchi argine del Muson dei Sassi nella fascia corrispondente al rilievo laser fossero, soprattutto in destra idrografica, particolarmente basse, quasi allo stesso livello dei terreni circostanti, cosa non rispondente alla realtà. Questo risultato è stato attribuito al fatto che, malgrado gli accorgimenti presi, il tracciato del corso d'acqua ricostruito nel dominio sulla base della CTR, in quella zona oltretutto decisamente non attuale in quanto datata 1995, fosse di una decina di metri più ristretto rispetto a quello rilevato da laser e pertanto i punti quota xyz che in teoria sarebbero dovuti appartenere alle sommità arginali in realtà ricadevano ancora all'interno dell'alveo. Per ovviare a questo inconveniente l'eseguibile usato per quotare gli argini da Lidar è stato modificato in modo tale da considerare anche i punti più alti collocati esternamente, in un intorno di una decina di metri, rispetto alla posizione dei tronchi speciali ed infine, laddove i valori non fossero risultati comunque soddisfacenti, le quote delle sommità arginali sono state ri-attribuite manualmente ricavandole dalle sezioni dei canali 1D più recenti a disposizione.

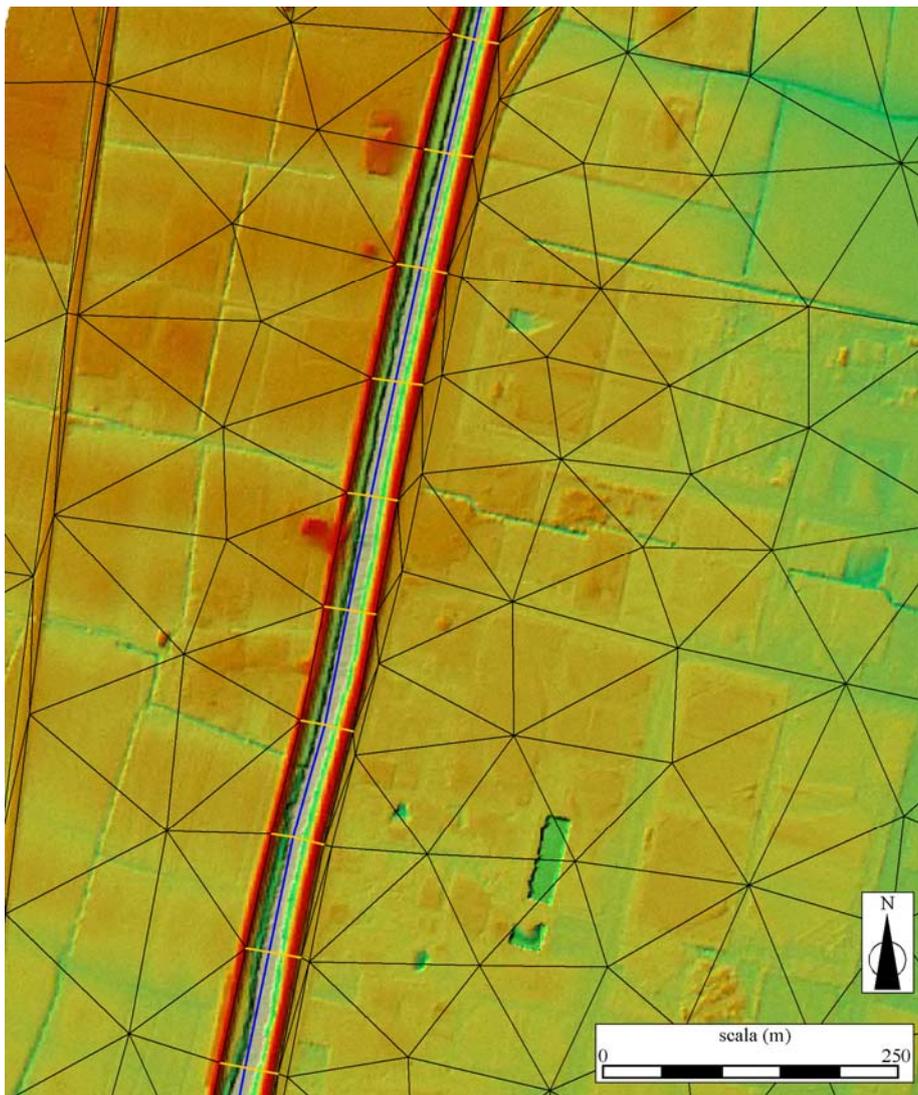


Fig. 3.14 Particolare del rilievo Lidar che evidenzia come in destra idrografica il modello non rispecchi fedelmente la reale posizione delle arginature

### 3.4.3 Assegnazione dei coefficienti di scabrezza

L'attribuzione dei diversi coefficienti di scabrezza  $k_s$  rappresenta la fase ultima di definizione delle caratteristiche geomorfologiche degli elementi della mesh e, di conseguenza, la conclusione delle operazioni di costruzione del dominio. Se gli accorgimenti elencati al paragrafo 3.2 in merito alla realizzazione della geometria sono stati rispettati ed, in particolare, avendo avuto cura di usare polilinee chiuse per delimitare abitati e vie di comunicazione, in modo tale da contenere al loro interno solo le maglie appartenenti a tali categorie, l'assegnazione dei coefficienti  $k_s$  si risolve abbastanza rapidamente e senza particolari intoppi importando tali polilinee in Incidenze, generando i corrispondenti contorni CNT e selezionando le maglie ad essi interne (sottomesh da CNT, interna), attribuendo quindi agli elementi di ogni sottoinsieme la scabrezza desiderata. Per quanto riguarda i canali monodimensionali, invece, i coefficienti  $k_s$  erano stati inseriti in fase di assegnazione delle sezioni.

Viste le tipologie di terreno presenti nel dominio di studio, si è ritenuto opportuno adottare i seguenti valori di coefficienti di scabrezza:

COEFFICIENTI DI SCABREZZA UTILIZZATI ( $k_s$ )[ $m^{1/3}s^{-1}$ ]	
Alveo dei corsi d'acqua	30
Centri abitati	12
Piano campagna	15
Manufatti in calcestruzzo	40
Strade e Ferrovie	20

Tabella 3.1. Coefficienti di scabrezza

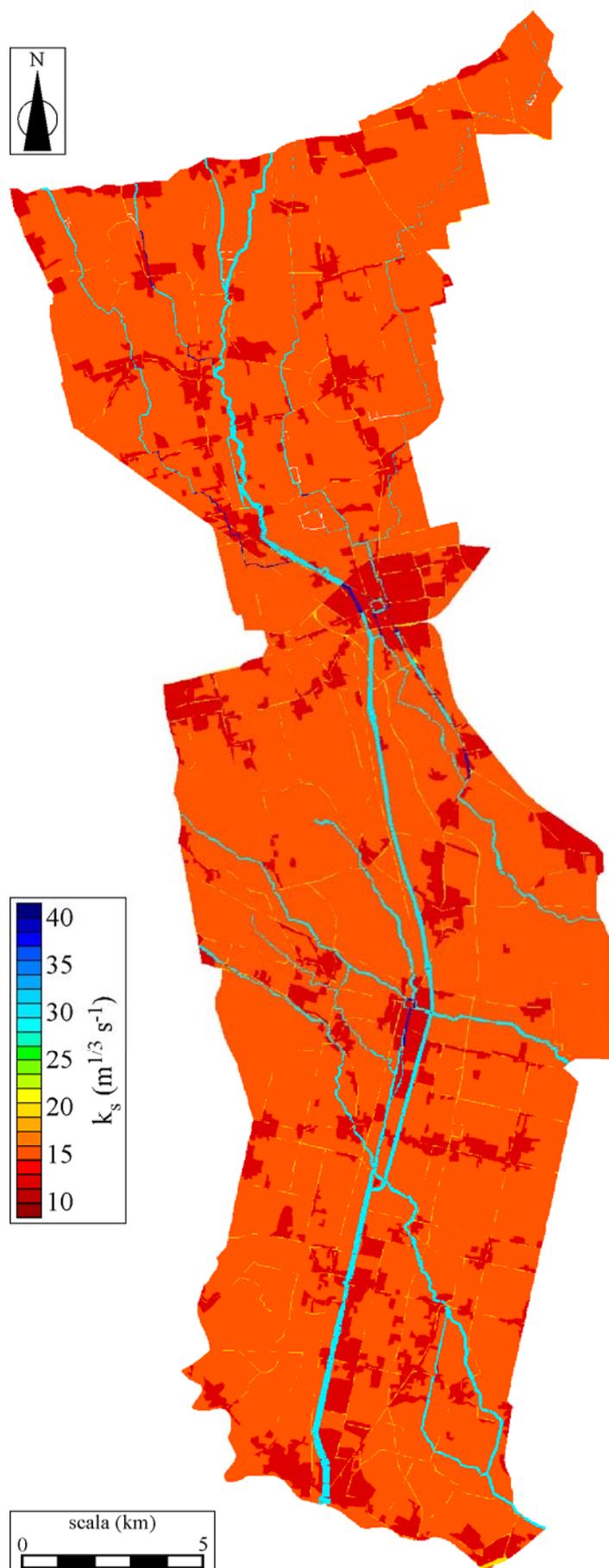


Fig.3.15 Risultato dell'assegnazione dei coefficienti di scabrezza



## 4 OPERE IDRAULICHE RIPRODOTTE NEL DOMINIO

Al fine di rendere il reticolo di calcolo il più rispondente alla realtà possibile, in seguito alle fasi "classiche" di costruzione del dominio precedentemente descritte si è reso necessario apportare alcune modifiche e/o aggiunte al funzionamento idraulico del sistema; in particolare, si è posta l'attenzione su:

- brusche variazioni delle quote di fondo alveo dovute alla presenza di salti di fondo e comportamento idraulico conseguente alla presenza in alveo di pile o spalle di ponti;
- analisi delle confluenze presenti nel dominio;
- nodi idraulici di rilievo collocati sul territorio oggetto di studio;
- vasche di laminazione presenti o in procinto di realizzazione.

### 4.1 Variazioni delle caratteristiche dell'alveo (ponti e salti di fondo)

La presenza di salti di fondo in alveo viene simulata mediante l'inserimento dei tronchi speciali soglia, similmente a quanto già visto nel caso dei rilevati arginali. Anche per tali manufatti è necessario assegnare larghezza e quota di sfioro corrispondenti, avendo cura inoltre di definire il corretto coefficiente di portata; nel caso in esame, si è scelto di assumere per tutti i salti presenti un  $C_q$  pari a 0.6.

Oltre alla soglia di fondo presente in prossimità della confluenza in Brenta del torrente Muson dei Sassi, nel corso dell'analisi dei già citati rilievi topografici, effettuati lungo i corsi d'acqua del sistema in esame, sono stati individuati altri salti di fondo, che vengono pertanto qui di seguito elencati insieme alle loro caratteristiche peculiari.

CORSO D'ACQUA	POSIZIONE			ALTEZZA DEL GRADINO
	COORDINATE GBO		LOCALITÀ	
	E	N		
Brenton Pighenzo	1719292.35	5072369.73	Mussolente (VI), via Cavour	0.80 m
Lastego	1723206.72	5074024.20	Onè di Fonte (TV), via Asolana	2.00 m
Lastego	1723666.44	5072403.07	Fonte (TV), via Levada	1.00 m
Muson	1725007.09	5074208.66	Asolo (TV), via Cà Falier	2.00 m
Muson dei Sassi	1726464.09	5036784.98	Mejaniga (PD), Lungoargine Brenta	2.50 m

Tabella 4.1. Salti di fondo inseriti nella rete schematizzata

Oltre alle suddette sono state riconosciute anche un'altra decina di soglie, di entità però decisamente inferiore che ha pertanto suggerito l'opportunità di non inserirle nel reticolo di calcolo.



Fig. 4.1 Salto di fondo sul torrente Lastego presso Onè di Fonte



Fig. 4.2 Salto di Fondo sul torrente Muson presso Aolo

Con riferimento invece a ponti e manufatti di attraversamento, come già accennato al paragrafo 3.3, la presenza di tali opere è stata schematizzata inserendo localmente, in corrispondenza con l'ingombro trasversale del manufatto stesso, un breve tratto di canale con sezione chiusa rettangolare. In alcuni casi però tale semplificazione è stata considerata eccessiva, in particolare laddove spalle, pile di ponti o altri manufatti (es: mulini) facessero sentire il loro ingombro in alveo influenzando il moto del corso d'acqua; si è ritenuto pertanto opportuno fare riferimento al già più volte citato studio del maggio 2006 effettuato dal dipartimento IMAGE dell'Università degli Studi di Padova, nel quale a tal proposito venivano utilizzati i risultati ottenuti, a sua volta, dallo studio sul "Riordino della rete scolante in Laguna attraverso i nodi idraulici di Torre dei Burri, di Castelfranco e di Conche", redatto dalla Protecno Srl per conto del Magistrato alle Acque; in quest'ultimo lavoro, infatti, era stato individuato per ciascun manufatto un coefficiente  $k_s$  equivalente stimato in modo tale da riprodurre le perdite di carico ottenute con un modello unidimensionale. A differenza del modello utilizzato nel 2006, però, in cui i manufatti erano rappresentati con sezioni aperte e venivano adottati dei coefficienti estremamente bassi in modo tale da simulare l'incremento di resistenza offerto invece da una sezione chiusa, nel presente lavoro i coefficienti di Strickler adottati sono stati incrementati rispetto ai valori di riferimento consigliati dalla Protecno Srl, dovendo solamente riprodurre le perdite a valle per brusco allargamento.

CORSO D'ACQUA	POSIZIONE			$k_s$ EQUIVALENTE [ $m^{1/3}s^{-1}$ ]
	COORDINATE GBO		LOCALITÀ	
	E	N		
Musonello	1724255.01	5064476.91	Castello di Godego (TV), Ponte SP139	15
Avenale	1726054.41	5064858.07	Riese Pio X (TV), Serie di ponticelli	20
Muson dei Sassi	1727676.86	5061056.30	Castelfranco Veneto (TV), Ponte della Ferrovia	17
Muson dei Sassi	1729336.07	5051628.49	Camposampiero (PD), Ponte delle Galle	16
Muson dei Sassi	1729418.98	5051076.40	Loreggia (PD), Ponte della Rustega	12
Muson dei Sassi	1727304.59	5043689.30	Campodarsego (PD), Ponte Pennello	13
Tergola	1723784.14	5051708.58	Villa del Conte (PD), Mulino Villa del Conte	10
Vandura	1728098.97	5047343.55	San Giorgio delle Pertiche (PD), Paratoia Caselle	17

Tabella 4.2. Ponti e manufatti schematizzati mediante l'introduzione di un coefficiente di resistenza equivalente

Nell'analisi delle sezioni infine, oltre a quelli sopra elencati, sono stati rilevati un certo numero di manufatti meno noti ma tali comunque da imporre al flusso in alveo un brusco cambio di sezione; ai corrispondenti canali monodimensionali del reticolo di calcolo si è deciso di imporre un coefficiente di scabrezza  $k_s$  pari a  $12 m^{1/3}s^{-1}$ .



Fig. 4.3 Ponte della Ferrovia, Castelfranco Veneto (TV)



Fig. 4.4 Ponte delle Galle, Camposampiero (PD)



Fig. 4.5 Mulino di Villa del Conte (PD)



Fig. 4.6 Paratoia Caselle, San Giorgio delle Pertiche (PD)

## 4.2 Confluenze

In fase di definizione della geometria del dominio, nella rappresentazione dei corsi d'acqua non si era posta particolare attenzione ai punti in cui tali corsi d'acqua si intersecano tra loro, generando confluenze più o meno articolate; erano state infatti schematizzate in modo basilare, con alvei posti tutti sullo stesso piano, lasciando quindi libertà al modello di far scorrere il flusso sulla base delle caratteristiche geomorfologiche degli alvei stessi, quali pendenza, scabrezza e area della sezione. Perseguendo però al solito lo scopo di ricostruire al meglio quanto accade sul territorio oggetto di studio, le diverse confluenze presenti sono state analizzate e modificate opportunamente nel dominio. Si riportano quindi brevemente le conclusioni alle quali si è giunti in merito a ciascuna delle intersezioni esaminate.

### 4.2.1 Torrente Muson e Roggia Musonello

L'intersezione tra i due corsi d'acqua avviene a Castello di Godego (TV), nelle vicinanze dell'incrocio tra via San Pietro e via Molinare; non è di immediata individuazione in quanto non si presenta come una classica confluenza a raso ma si notano a monte le acque del Musonello riversarsi nel Muson mentre a valle l'alveo del Musonello, in condizioni di magra, completamente asciutto. Si è osservata inoltre la presenza di quella che parrebbe essere una botte a sifone per far sottopassare il Muson al Musonello ma, dato che, come già detto, le acque della roggia parevano confluire interamente nel Muson lasciando a secco l'alveo a valle della confluenza, il funzionamento di tale botte non appare del tutto chiaro, soprattutto poiché l'alveo del Musonello a monte della confluenza non risultava accessibile in quanto situato all'interno di una proprietà privata.



Fig. 4.7 Confluenza della roggia Musonello nel Muson

Si è optato pertanto di schematizzare questa situazione nel reticolo di calcolo sconnettendo il canale rappresentante la roggia Musonello a valle della confluenza, assegnandovi un'opportuna condizione al contorno, di cui si discuterà in modo più approfondito nel paragrafo 5.2.



Fig. 4.8 Botte a sifone in corrispondenza della confluenza Musonello - Muson

#### 4.2.2 “Anello” dell’Avenale

Nel comune di Riese Pio X (TV), lungo la Strada Provinciale 139, il corso dell’Avenale si suddivide in due ramificazioni, destinate poi più a valle a ricongiungersi e formare, quindi, una sorta di “anello”; nell’analizzare il punto in cui tale biforcazione avviene si è riscontrato come l’intersezione sia molto semplice, senza particolari manufatti a regolare il deflusso, con una delle due ramificazioni che, in condizioni di magra, resta in secca (in particolare, la ramificazione che si dirige verso Est, mentre l’acqua defluisce interamente verso Sud).

Alla confluenza nel dominio non sono state quindi apportate modifiche di alcun tipo, lasciando le condizioni di deflusso libere.



Fig. 4.9 Biforcazione dell'Avenale a Riese Pio X (TV)

#### 4.2.3 Fosso Vandura e Fossa Mauri

A Santa Giustina in Colle (PD), in località Fratte, nei pressi di Via Fabris è possibile trovare la confluenza tra il Vandura e la Fossa Mauri, un breve canale che confluisce poco più a valle nello Scolo Orcone; l'intersezione tra i due Fossi non avviene semplicemente a raso ma è regolata da un sifone autolivellante gestito dal Consorzio Acque Risorgive.



Fig. 4.10 Confluenza Vandura - Mauri e sifone autolivellante

Non disponendo però di informazioni precise in merito alle caratteristiche ed al funzionamento del manufatto suddetto e considerando tale contributo irrilevante ai fini dell'apporto al Muson dei Sassi, che è invece il punto focale del presente studio, si è ritenuto di non schematizzare tale manufatto nel dominio e sconnettere la Fossa Mauri eliminando ogni interazione con il Vandura.

#### **4.2.4 Fiume Muson Vecchio e Torrente Muson dei Sassi**

Nel comune di Camposampiero (PD), in prossimità dell'incrocio tra via Albarella e via Cime, è possibile osservare l'incontro tra i fiumi Muson Vecchio e Muson dei Sassi. In realtà, come già specificato nel paragrafo 1.3, le acque dei due fiumi non confluiscono l'uno nell'altro poiché il corso del Muson Vecchio sottopassa quello del Muson dei Sassi mediante un pontecanale, o botte a sifone.

La rappresentazione di tale condizione nel dominio è stata realizzata sconnettendo opportunamente i canali appartenenti ai due corsi d'acqua, in modo tale che non confluiscono nello stesso nodo, e separando localmente il flusso del Muson Vecchio in due canali a sezione chiusa per simulare la reale botte a sifone che risulta effettivamente costituita da due canne distinte. Verificato che le quote di fondo del Muson Vecchio fossero effettivamente più basse di quelle del Muson dei Sassi in modo da simulare il sottopassaggio, ai due canali della botte a sifone è stato assegnato, sulla base dello studio sul "Riordino della rete scolante in Laguna attraverso i nodi idraulici di Torre dei Burri, di Castelfranco e di Conche", della Protecno Srl, un  $k_s$  equivalente pari a  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ .

#### **4.2.5 Fiume Tergola e Torrente Muson dei Sassi**

Anche nel comune di San Giorgio delle Pertiche (PD), in corrispondenza dell'incrocio tra via Pontecanale e via Canarei, è stata realizzata una botte a sifone, regolante in questo caso l'intersezione tra il fiume Tergola e il torrente Muson dei Sassi (anche questa già accennata al paragrafo 1.3); il pontecanale in questione convoglia le acque del Tergola in modo da sottopassare l'alveo del Muson dei Sassi.

Anche in questo caso, i canali nel reticolo di calcolo sono stati opportunamente sconnessi in modo che le acque dei due corsi non defluiscano nello stesso nodo, similmente a quanto precedentemente illustrato per la botte a sifone del Muson Vecchio; il flusso del Tergola non è stato però in questo caso deviato in quanto il pontecanale risulta costituito in questo caso da una sola canna. Alla botte a sifone è stato attribuito come nel caso precedente, sulla base dello studio sul "Riordino della rete scolante in Laguna attraverso i nodi idraulici di Torre dei Burri, di Castelfranco e di Conche", della Protecno Srl, un  $k_s$  equivalente pari a  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ .

#### **4.2.6 Fiume Tergola e Fiume Tergolader (Tergola Vecchio)**

A Campodarsego (PD), in località Sant'Andrea, nelle immediate vicinanze della rotonda di via Caltana, il corso del fiume Tergola si suddivide in due ramificazioni (destinate comunque a ricongiungersi a valle, in comune di Vigonza (PD)): la maggior parte del flusso prosegue nell'alveo a sezione maggiore, che continua ad essere Tergola, mentre una porzione devia verso un corso d'acqua di dimensioni più contenute, denominato Tergola Vecchio. In corrispondenza di tale confluenza è stato possibile osservare come, anche in condizioni di magra, negli alvei di entrambi i fiumi scorra una quantità non trascurabile di flusso.



Fig. 4.11 Confluenza tra Tergola e Tergola Vecchio

Per simulare tale situazione e garantire che l'acqua fluisca nel Tergola Vecchio in qualsiasi condizione, di magra o piena che sia, non lasciandolo in secca, in corrispondenza della confluenza il canale rappresentante il Tergolader è stato sconnesso, assegnando al nuovo nodo così generato una opportuna condizione al contorno (della quale si discuterà nel paragrafo 5.2).

### 4.3 Principali nodi idraulici

All'interno del sistema idrografico oggetto di studio sono presenti numerosi nodi idraulici, realizzati nel corso degli anni allo scopo di regolare i deflussi (in particolar modo in prossimità dei centri abitati) quando due o più corsi d'acqua si intersecano tra loro; vengono pertanto in questo elaborato distinti dalle semplici confluenze a causa della loro complessità e della presenza di manufatti di regolazione.

I principali nodi idraulici presenti sul territorio e di un certo interesse con riferimento al Muson dei Sassi sono stati quindi analizzati e schematizzati all'interno del dominio di calcolo e vengono di seguito descritti.

#### 4.3.1 Nodo idraulico di Castelfranco Veneto

Il fosso Avenale giunge al centro storico di Castelfranco Veneto subito dopo l'immissione in destra idrografica della roggia Musonello, il cui apporto è comunque modesto e limitato alle acque meteoriche di origine locale. Procedo dunque per circa 300 metri fino ad incontrare, in sinistra idrografica, le porte di regolazione del Musonello – Musoncello (o paratoie ENEL): trattasi di due paratoie piane affiancate che consentono di convogliare parte delle acque dell'Avenale verso la roggia Musonello ed il rio Musoncello; mentre il primo dei due canali è tributario del Dese, il secondo si congiunge alla Roggia Brentella a valle di Resana, per confluire successivamente nel Marzenego. E' anche possibile che le portate deviate mediante entrambe le paratoie siano fatte defluire lungo il solo Musonello. Durante gli stati di

piena pronunciata, poiché sia il Dese sia il Marzenego possono trovarsi in condizioni critiche, attraverso ciascuna delle paratoie sono deviate portate modeste pari a circa  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , con benefici per il Muson dei Sassi di scarso rilievo. Sempre in sinistra idrografica, circa un centinaio di metri dopo la derivazione appena descritta, si collocano le porte in corrispondenza dell'ex mulino Revedin, che permette un ulteriore scarico verso le medesime rogge.



Fig. 4.12 Immissione del Musonello in Avenale



Fig. 4.13 Paratoie ENEL (a destra) e porte ex-mulino Revedin (a sinistra)

Superate le due opere sopra descritte, le acque dell'Avenale fluiscono lungo il fossato che circonda le antiche mura della cittadina. In condizioni di magra, l'Avenale si immette nelle Fosse Civiche al vertice sud est e le percorre in senso orario fino a giungere nuovamente al punto di immissione, dove i deflussi in ingresso ed in uscita sono opportunamente separati da una soglia; la portata uscente sottopassa quindi tramite un sifone il fosso Avenale recapitando ulteriori acque alla roggia Musonello ed al rio Musoncello.



Fig. 4.14 Immissione dell'Avenale nelle Fosse Civiche, con soglia separatrice dei deflussi

In corrispondenza del vertice sud-ovest delle Fosse è collocata inoltre una più importante serie di paratoie che consente, in situazione normale, di regolare il livello idrometrico del fossato stesso; tali porte di sud ovest, dette anche "alle Monache" risultano costituite da 3 paratoie piane affiancate cui si aggiunge uno sfioratore di emergenza. In condizioni di piena, a seguito della completa apertura delle paratoie stesse, viene ad instaurarsi, a causa del forte dislivello esistente tra monte e valle del manufatto, un profilo di chiamata che aumenta la capacità di deflusso per un tratto significativo dell'Avenale stesso.

Successivamente un canale artificiale convoglia il flusso idrico a valle del centro abitato, verso un manufatto partitore comunemente denominato "Porte da Barban" mediante il quale la maggior parte delle acque può raggiungere il Muson dei Sassi tramite un canale artificiale e parte può essere scolmata lungo la roggia Brentella, affluente del Marzenego. Il partitore risulta costituito verso il Muson dei Sassi da tre luci a battente mentre verso la roggia Brentella da quattro luci a battente. Normalmente in piena tutte le acque in arrivo sono immesse nel Muson dei Sassi.



Fig. 4.15 Paratoie alle Monache



Fig. 4.16 Porte da Barban che regolano l'immissione nel Muson dei Sassi



Fig. 4.17 Porte da Barban verso la roggia Brentella

Vengono quindi di seguito riassunte in una tabella le opere sopracitate, con le relative caratteristiche e l'indicazione di come sono state riprodotte nel dominio in condizioni di piena.

MANUFATTO	CARATTERISTICHE						RIPRODUZIONE	
	QUOTA [m]		LARGHEZZA [m]	COEFFICIENTE		APERTURA [m]		Q/H DA SOSTENERE
	FONDO	SFIORO		$C_o$	$C_c$			
Paratoie ENEL	40.5	-	2 x 1	-	0.6	1.6	2 m <sup>3</sup> /s	Tronco speciale paratoia, funzionamento tipo 2
Porte ex-mulino Revedin	40.5	-	1 x 0.8	-	0.6	1.2	-	Tronco speciale paratoia, funzionamento tipo 1
Soglia vertice sud est Fosse	-	40.9	11	0.4	-	-	-	Tronco speciale traversa/argine/salto fondo
Porte alle Monache	39	-	3 x 1.6	-	0.6	1.2	-	Tronco speciale paratoia, funzionamento tipo 1
Sfioratore porte alle Monache	-	40.7	2 x 2	0.4	-	-	-	Tronco speciale traversa/argine/salto fondo
Porte da Barban, Muson	37	-	3 x 2	-	0.6	2.5	-	Tronco speciale paratoia, funzionamento tipo 1
Porte da Barban, Brentella	37	-	4 x 2.25	-	0.6	0	-	Tronco speciale paratoia, funzionamento tipo 1

Tabella 4.3. Manufatti del nodo idraulico di Castelfranco Veneto

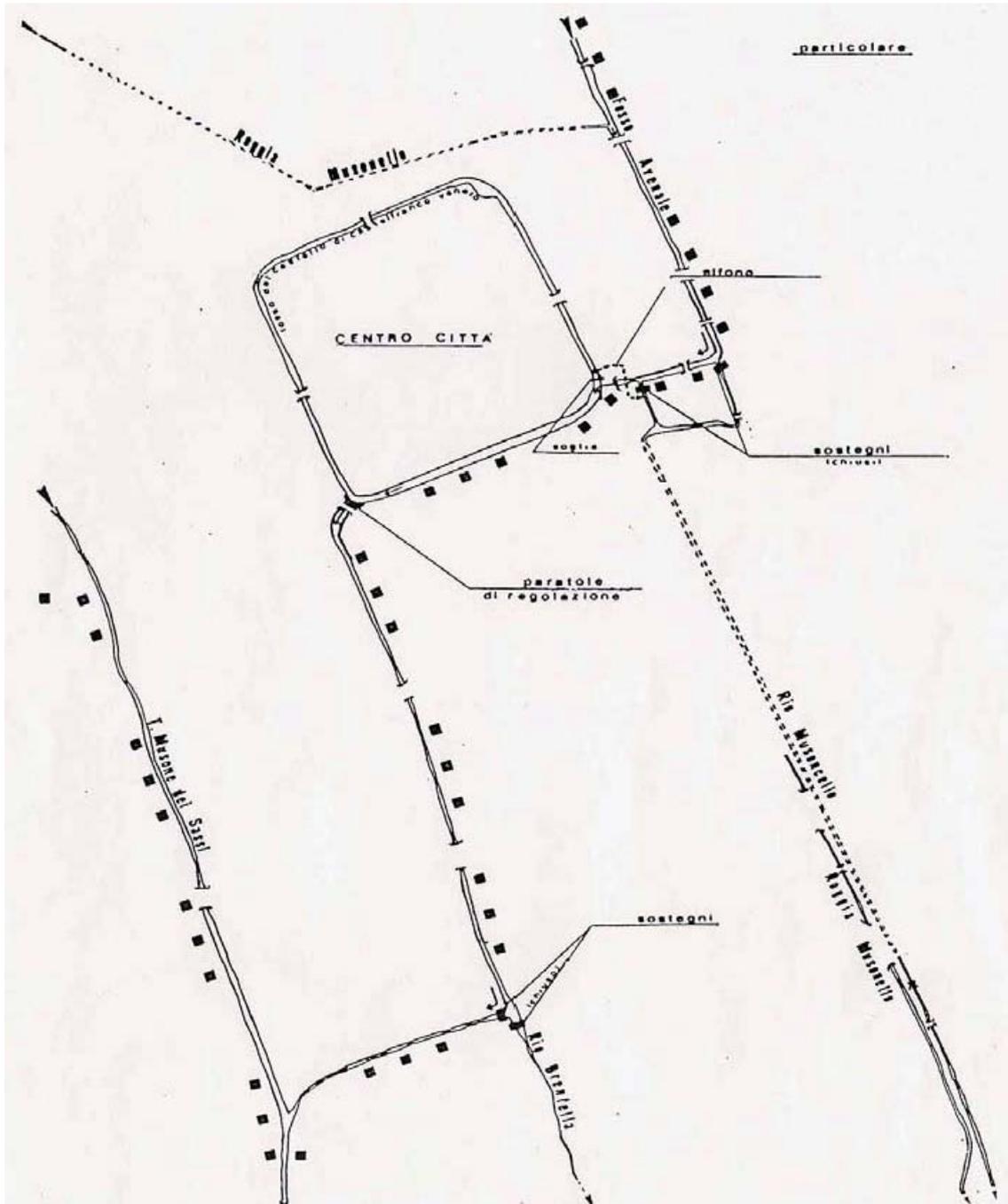


Fig. 4.18 Schema del nodo idraulico di Castelfranco Veneto (TV) tratto dalla Carta Idrografica del Veneto

#### 4.3.2 Nodo idraulico di Camposampiero

Anche il nodo idraulico di Camposampiero è uno dei più articolati e complessi tra quelli che interessano il Muson dei Sassi; tuttavia l'interferenza tra il Muson ed i corsi d'acqua che confluiscono verso tale nodo è solo marginale, non essendoci alcuna immissione di portata nel torrente. Verso Camposampiero si dirigono infatti i fiumi Vandura, Muson Vecchio e lo scolo Barbacan, che costituiscono parte del reticolo idrografico scolante nella Laguna di Venezia, e le portate in arrivo si ripartiscono nei canali che escono dal nodo a seconda delle regolazioni imposte ai sostegni ed alle paratoie che sezionano i vari corsi d'acqua.



Fig. 4.19 Confluenza del fosso Vandura nel canale circondariale di Camposampiero

In particolare, attraverso il sostegno denominato “Antonello” le acque del Muson Vecchio possono essere immesse nel Canale Tergolino e, quindi, nel Tergola – Vandura all'altezza di Torre dei Burri. A monte del sostegno stesso, invece, il Muson Vecchio è collegato al canale circondariale di Camposampiero e al Fosso Vandura attraverso il sostegno Businello che, opportunamente regolato, può far defluire le acque verso il Musone stesso. In piena generalmente il sostegno Businello è chiuso, mentre il sostegno Antonello è mantenuto aperto.

Subito a valle del sostegno Antonello, infine, il Muson Vecchio riceve le acque del rio Barbacan e scorrendo quindi verso est in direzione della Laguna di Venezia sottopassa l'alveo del Muson dei Sassi mediante una botte a sifone, già illustrata al paragrafo 4.2.

In condizioni di piena, la schematizzazione del nodo idraulico di Camposampiero nel dominio di calcolo è stata semplificata adottando i seguenti accorgimenti:

- riproduzione della confluenza tra fosso Vandura e canale circondariale di Camposampiero, sconnettendo uno dei 3 elementi canale 1D afferenti al nodo in modo da assicurare che, già in condizioni iniziali di moto permanente, il deflusso sia presente in entrambe le ramificazioni;
- simulazione della presenza del sostegno Businello sconnettendo il canale che collega il circondariale di Camposampiero con il Muson Vecchio, con nessuna condizione al contorno applicata localmente al nodo, in modo da rappresentare lo stato di sostegno chiuso;
- schematizzazione del sostegno Antonello mediante l'inserimento di un tronco speciale soglia di fondo con quota di sfioro 21.5 m che richiami le acque del Muson Vecchio



Fig.4.20 Camposampiero, sostegno Businello



Fig.4.21 Confluenza tra il Muson Vecchio e le acque che provengono dal sostegno Businello



Fig.4.22 Sostegno Antonello ed acque del Muson Vecchio che confluiscono nel canale Tergolino



Fig.4.23 Muson Vecchio a valle del sostegno Antonello

### 4.3.3 Nodo idraulico di Torre dei Burri

In comune di San Giorgio delle Pertiche è ubicato l'importante nodo idraulico di Torre dei Burri: trattasi di un sostegno dotato di paratoie collocato nei pressi della confluenza tra il fiume Tergola, il fiume Vandura e il canale Tergolino; il manufatto di regolazione risulta costituito da due paratoie manovrabili che chiudono due luci di circa 5 m e che consentono, in caso di piene del Tergola e livelli idrici contenuti del Muson dei Sassi, di scolare parte delle portate del Tergola e del Vandura verso il canale Viana, che poco più a valle confluisce nel corso inferiore del Muson dei Sassi. La necessità di scolare le piene del Tergola è dovuta anche al vincolo della portata massima fluente nel fiume in modo da evitare pericolosi effetti di rigurgito al sottopasso del Muson dei Sassi in corrispondenza della botte sifone denominata Ponte Canale. In alcuni studi il valore di tale portata è stato stimato in  $17 \text{ m}^3/\text{s}$ , molto inferiore rispetto a quello della portata di massima piena del fiume calcolato alla sezione di Torre di Burri.



Fig.4.24 Confluenza Tergola - Vandura a Torre dei Burri (PD)

A tal proposito è opportuno ricordare che una riduzione della portata nell'alto corso del Tergola si ottiene mediante il manufatto denominato "partitore di Villa del Conte". Infatti, tale opera, ubicata poco a monte dell'abitato omonimo, consente di avviare verso il Piovego di Villabozza e quindi in Brenta circa il 40 % della portata del fiume. In condizioni di piena quindi, i valori al colmo della portata nel Tergola sono ridotti considerevolmente per effetto sia della ripartizione eseguita a Villa del Conte, sia della completa apertura delle paratoie del sostegno di Torre di Burri.

In condizioni di piena del Muson dei Sassi, invece, le quote idrometriche del Canale Viana sono generalmente rigurgitate dal Muson stesso. Le fasi di piena del Muson dei Sassi e del Tergola-Vandura quindi sono gestite mantenendo il sostegno aperto fino a quando le quote che si stabiliscono nel canale Viana consentono alle acque del Tergola-Vandura di defluire verso valle. Quando il rigurgito a valle è eccessivo, e le acque del Muson dei Sassi risalgono il Canale Viana per defluire in senso opposto nel Tergola-Vandura, le paratoie del sostegno di Torre dei Burri sono completamente

chiuse e la totalità delle portate in arrivo sottopassa il Muson dei Sassi per proseguire, attraverso l'alveo del Tergola, verso valle. Non esistono inoltre possibilità di alleggerire il Muson dei Sassi scaricando parte delle portate in Tergola senza che ciò comporti degli insostenibili rischi di allagamento lungo il corso del fiume Tergola stesso.

Pertanto, in condizioni di piena, il nodo idraulico di Torre dei Burri è stato riprodotto nel reticolo di calcolo simulando il funzionamento del sostegno inserendo in luogo delle paratoie un tronco speciale porta vinciana che non consenta il riflusso delle acque del Muson dei Sassi mediante il Viana verso il Tergola-Vandura.



Fig.4.25 Il sostegno di Torre dei Burri

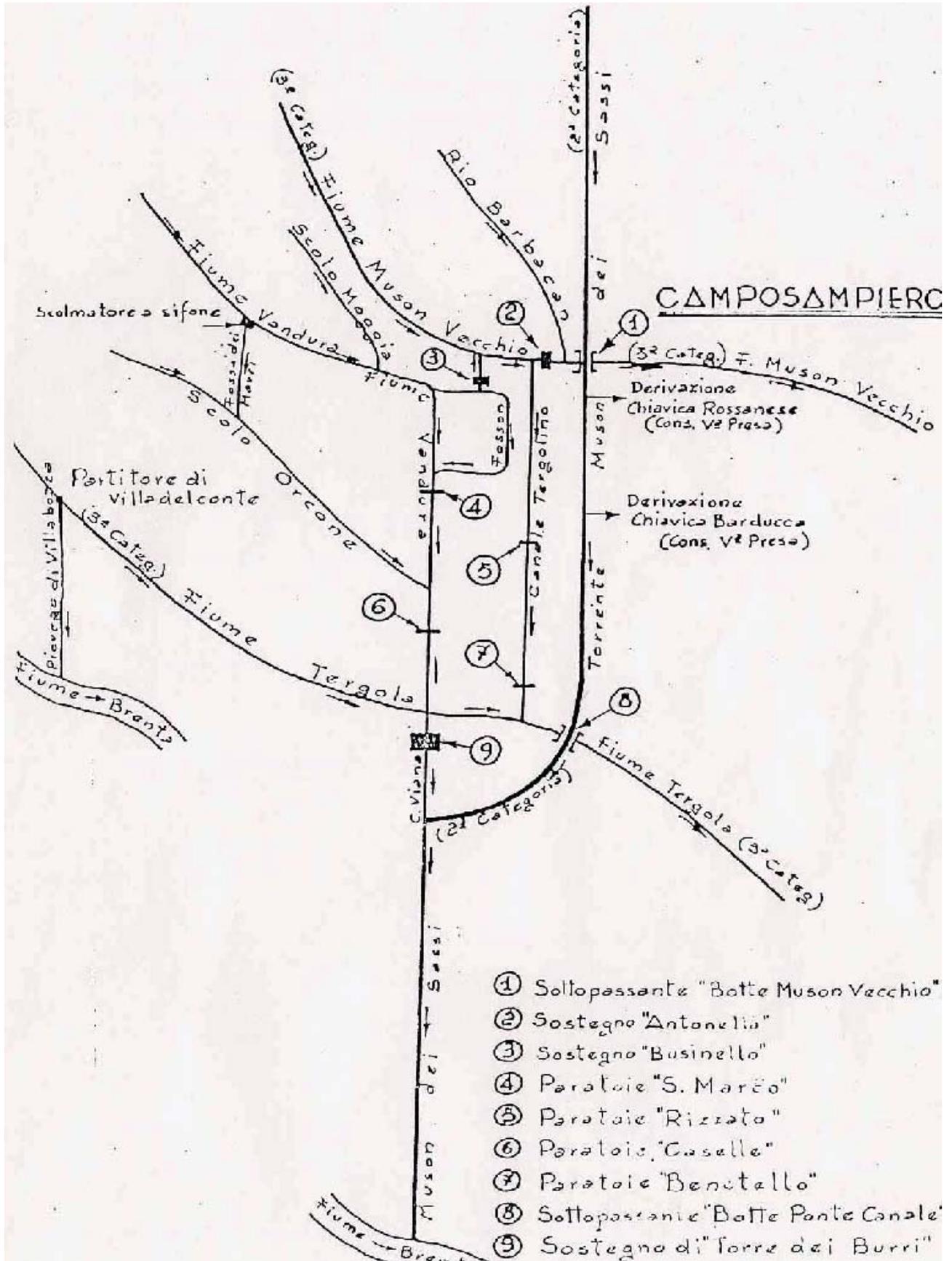


Fig.4.26 Schema dei nodi idraulici di Camposampiero e Torre dei Burri

## 4.4 Vasche di laminazione

Sul territorio riprodotto dal reticolo di calcolo, ed in particolare nella zona pedemontana rappresentata dalla parte nord del dominio, sono presenti alcune casse di espansione realizzate nell'ultimo ventennio con lo scopo di laminare volumi d'acqua più o meno consistenti e riuscire a mitigare così gli eventi di piena e gli allagamenti nei centri abitati più a valle.

Si passa quindi ora ad illustrare sinteticamente le vasche di laminazione considerate nel presente studio.

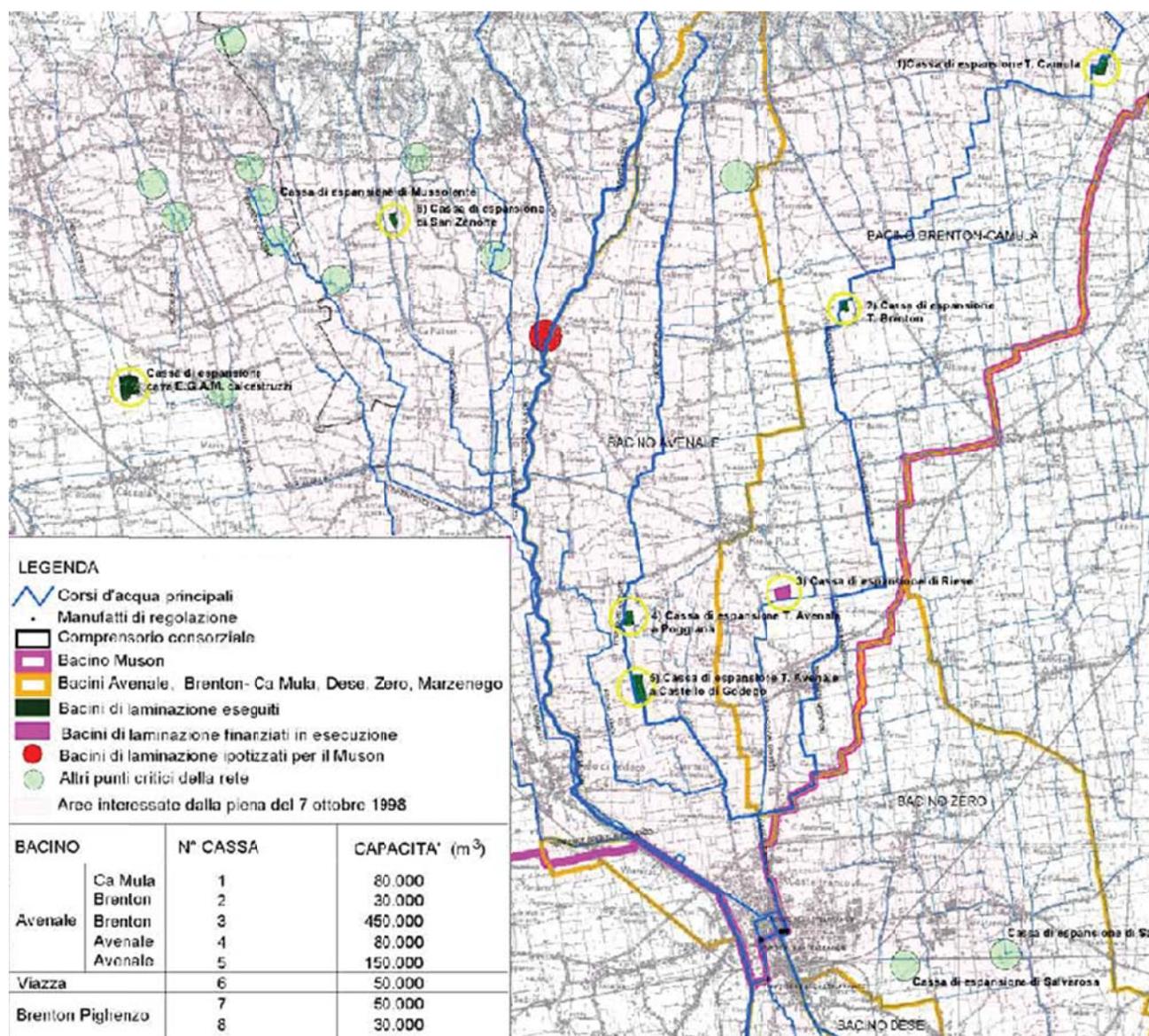


Fig.4.27 Quadro riepilogativo delle casse d'espansione presenti nella parte alta del dominio

### 4.4.1 Vasche di laminazione sul Fosso Brenton

Lungo l'asta del fosso Brenton, a monte di Castelfranco Veneto, sono collocate due piccole casse di espansione, la maggiore delle quali, quella denominata "di Ca' Mula", presente già all'epoca della piena storica del 1998; il bacino di laminazione di Casella d'Asolo (TV) invece, seconda vasca presente sul Brenton, fa parte di quegli interventi realizzati tra il 1998 e il 2003 a seguito degli allagamenti verificatesi nel corso dell'evento di piena. La cassa d'espansione di Ca' Mula ha una capacità di 80000 m<sup>3</sup> ed è ubicato a Caerano San Marco (TV), nei pressi di via Rocca, mentre il secondo

bacino, del volume di circa 30000 m<sup>3</sup>, è stato collocato al confine tra i comuni di Asolo ed Altivole, in adiacenza a via Moraron, con lo scopo di laminare parte delle portate provenienti da scoli locali (Frattalunga) prima dell'immissione nel fosso Brenton.

Le specifiche utili a riprodurre tali bacini sono state ricavate dal noto studio dell'Università degli Studi di Padova del maggio 2006, in quanto inseriti già all'epoca allo scopo di esaminarne gli effetti di laminazione delle piene; in particolare, sono stati ricavati:

- per la vasca di Ca' Mula, quota media delle sommità arginali pari a 127 m s.l.m.m. e quota dello sfioratore 125.45 m s.l.m.m.;
- per il bacino di Casella d'Asolo, quota delle sommità arginali pari a 89.7 m s.l.m.m. e di 88.74 m s.l.m.m. per la soglia sfiorante.

#### 4.4.2 Vasche di laminazione sul Torrente Avenale

Due casse d'espansione di relativamente recente realizzazione si trovano anche lungo il corso dell'Avenale, entrambe ubicate a ovest di Riese Pio X (TV); similmente a quanto già visto per i bacini del Brenton, anche in questo caso una delle due vasche, quella di Poggiana (TV), era stata ultimata poco prima della piena del 1998 mentre la seconda è stata realizzata in seguito a Castello di Godego (TV), tra il 1998 ed il 2003 insieme al bacino di Casella d'Asolo. La prima, collocata al termine di via Alcide De Gasperi (Riese Pio X) presenta una capacità di 80000 m<sup>3</sup> mentre 600 m a valle della stessa è possibile trovare il secondo bacino, che consente di invasare circa 150000 m<sup>3</sup> in un'area depressa, un tempo sede di una cava d'argilla.

In modo del tutto analogo a quanto già visto per le vasche lungo il fosso Brenton, si sono ricavate le caratteristiche utili a rappresentare anche le casse sull'Avenale nel reticolo di calcolo:

- per la cassa di Poggiana, quota media delle sommità arginali a 60 m s.l.m.m. e quota della soglia sfiorante a 58.5 m s.l.m.m.;
- per la cassa di Castello di Godego, quota delle sommità arginali pari a 56.9 m s.l.m.m. e a 55.25 m s.l.m.m. per la soglia sfiorante.

#### 4.4.3 Vasca di laminazione di Mussolente (VI)

La cassa d'espansione collocata in località Borgo Sandri, in comune di Mussolente, sorge in sinistra idraulica attigua al torrente Giaron (corso d'acqua facente parte del bacino del Brenton-Pighenzo); la sua realizzazione risale al periodo compreso tra gli anni 2006 e 2009, conseguente alla necessità di far fronte ad una grave situazione di sofferenza idraulica che ha provocato negli anni diversi fenomeni di esondazione, interessando sia aree ad alta valenza agricola sia aree urbane densamente abitate (in particolare il centro di Bessica di Loria (TV)). Il bacino risulta visibile percorrendo via C.B. Conte di Cavour ed occupa un'area, precedentemente a destinazione agricola, di circa 25000 m<sup>3</sup>.

Planimetria, quote dei rilevati arginali, dei manufatti di sfioro e restituzione ed altre informazioni utili alla corretta riproduzione dell'opera nel reticolo di calcolo sono state gentilmente fornite dal Genio Civile di Treviso; in particolare se ne riassumono di seguito le caratteristiche principali:

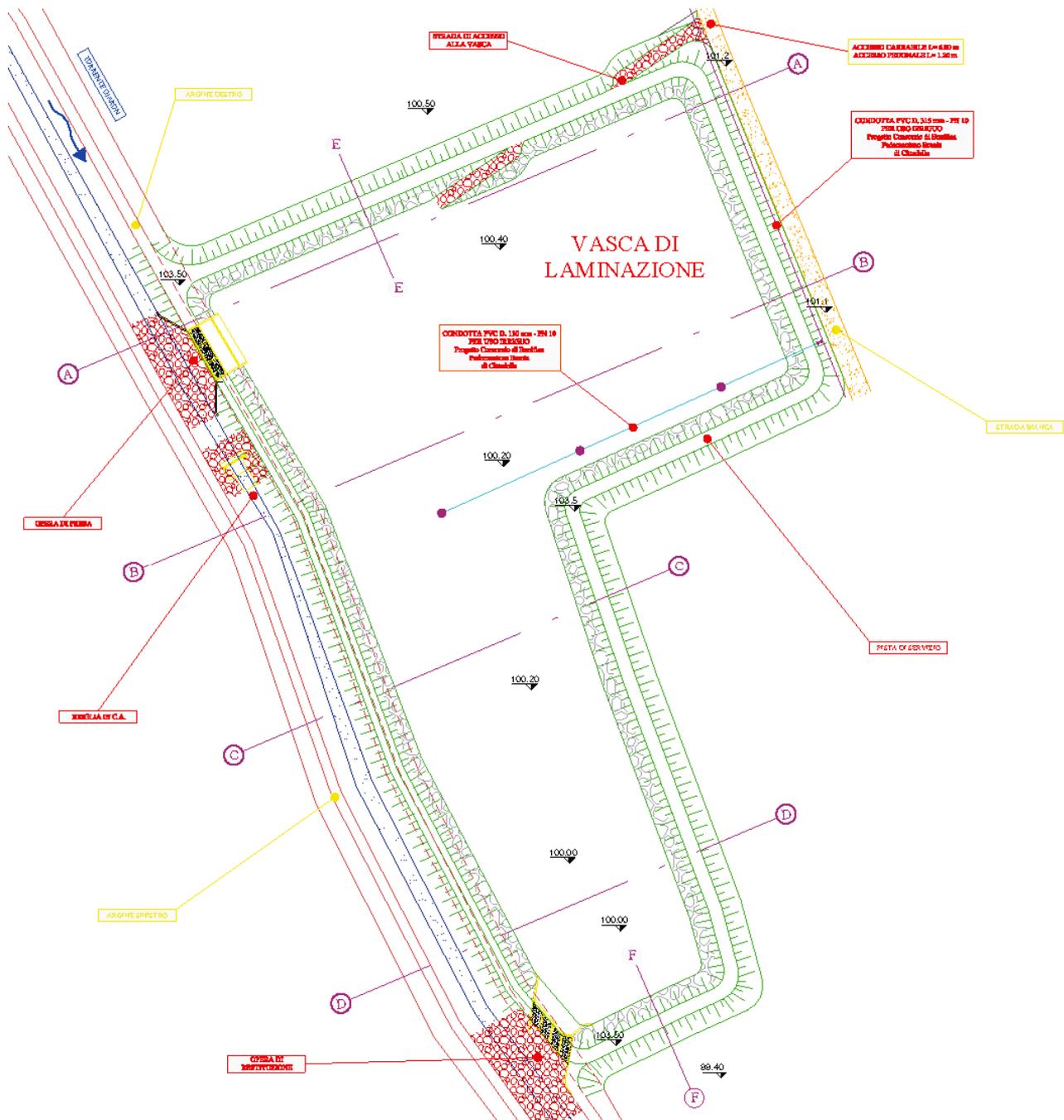


Fig.4.28 Planimetria della vasca di laminazione di Mussolente (VI) sul torrente Giaron

- argini di contenimento di forma trapezoidale, con sommità a quota 103.5 m s.l.m.m., una larghezza di 3.5 m, scarpata interna ed esterna con pendenza pari a 2:3, ospitanti in sommità la pista di servizio.
- opera di presa consistente in uno sfioratore costituito da tre luci della lunghezza netta di 3.5 m (totale 13,50 m) con ciglio sfiorante posto alla quota di 101.7 m s.l.m.m, ossia 1.5 m dal fondo canale posto a 100.5 m s.l.m.m.;
- opera di restituzione caratterizzata da tre luci sfioranti, ciascuna della larghezza di 3.30 m, con funzione di scarico di sicurezza, a quota 102.40 m s.l.m.m., più uno scarico di fondo della larghezza di 2.30 m, presidiato da una paratoia, che permetterà lo svuotamento totale della vasca.
- traversa posta in alveo allo scopo di garantire il corretto funzionamento idraulico del manufatto di presa ed allo stesso tempo, alzando il livello del profilo idraulico, di garantire delle dimensioni limitate per il manufatto di



Relativamente a tale bacino, purtroppo, le informazioni reperite sono limitate a quanto estratto da una presentazione effettuata dal Consorzio di Bonifica Piave relativamente a "Cause e rimedi al «rischio idraulico», applicati nell'alta pianura trevigiana occidentale, avendo presenti gli aspetti ambientali e paesaggistici, oltre che di sostenibilità economica"; in particolare, vengono presentate la planimetria dell'opera e alcune sezioni dei rilevati arginali, potendo dunque ricavare le quote medie del fondo vasca (92.6 m s.l.m.m.) e delle sommità dei rilevati stessi (96.1 m s.l.m.m.), ma nulla è detto in merito alle opere di presa e restituzione, che non sono state per questo motivo inserite nel dominio di calcolo.

#### 4.4.5 Vasca di laminazione di Riese Pio X (TV)

A sud-est del centro di Riese Pio X, più precisamente tra gli abitati di Riese e Vallà (TV), sorge un'altra cassa di espansione, raggiungibile tramite una laterale di via Crosarazze; tale bacino fa parte, insieme alle vasche di Casella d'Asolo e Castello di Godego, di quegli interventi effettuati tra il 1998 ed il 2003 a seguito degli allagamenti avvenuti nel corso della piena storica ed è asservito al tratto terminale del fosso Brenton, localizzato presso una cava preesistente e avente una capacità di circa 450000 m<sup>3</sup>. L'attivazione dell'opera è però avvenuta solo una decina d'anni più tardi, a causa delle difficoltà incontrate legate alla precedente destinazione cui l'area era adibita; nel PAT del comune di Castelfranco Veneto (TV) del 2010 si legge infatti come "A tutt'oggi (...) il bacino di espansione presso la Cava di Riese attende una perizia suppletiva avente lo scopo di completare la vagliatura e lo smaltimento a discarica del materiale rinvenuto oltre quello stimato in fase di progetto."

Come per la vasca di laminazione di San Zenone, relativamente alle caratteristiche necessarie per la corretta riproduzione all'interno del reticolo di calcolo, è stato possibile risalire solamente alle quote di fondo vasca (45 m s.l.m.m.) ed alla quota media della sommità dei rilevati arginali di contenimento (63.2 s.l.m.m.); non disponendo invece di informazioni precise a riguardo dei manufatti di presa e restituzione, si è ritenuto rappresentare nel dominio solo quanto noto, cioè l'ingombro del bacino con annesse relative arginature.

#### 4.4.6 Vasca di laminazione di Spineda (TV)

A seguito dello studio condotto dal dipartimento IMAGE dell'Università degli Studi di Padova nel 2006, nel quale venivano illustrate delle proposte di intervento da attuare sul territorio per mitigare il rischio idraulico, tra le quali anche la possibilità di destinare alcune zone strategiche a nuovi bacini di laminazione, è stata presa in considerazione la possibilità di realizzare una cassa d'espansione alla confluenza tra il Muson dei Sassi ed il torrente Lastego. Tale bacino si collocherebbe a monte dell'abitato di Spineda, in comune di Riese Pio X (TV), e dovrebbe consentire una capacità di invaso di circa 1000000 di m<sup>3</sup>.

L'idea della realizzazione di quest'opera aleggia nell'aria già da molti anni, si è tramutata in progetto (ormai giunto al definitivo) ed è stata finanziata, ma ancora non è stato dato il via alla realizzazione. Al fine di valutarne in futuro gli effetti di laminazione delle piene il bacino è stato comunque rappresentato nel dominio, utilizzando i dati finora a disposizione estratti dagli elaborati del progetto definitivo forniti dal Genio Civile di Treviso, ossia planimetria generale e sezioni tipologiche; da tali documenti è stato possibile estrarre informazioni relativamente a geometria dell'opera, quote del fondo vasca e dei rilevati arginali di contenimento. Per quanto riguarda opere di presa e restituzione non è ancora chiaro

al momento come verranno realizzate, ma il Genio Civile ha comunicato in data 15 novembre 2013 all'Università di Padova che in un prossimo futuro saranno reperibili informazioni in merito nella versione integrale del progetto definitivo, che potrà essere trasmessa in seguito alla sua approvazione, allo scopo di poter consentire all'Università di Padova di proseguire lo studio nell'ambito del Progetto Smart Water.

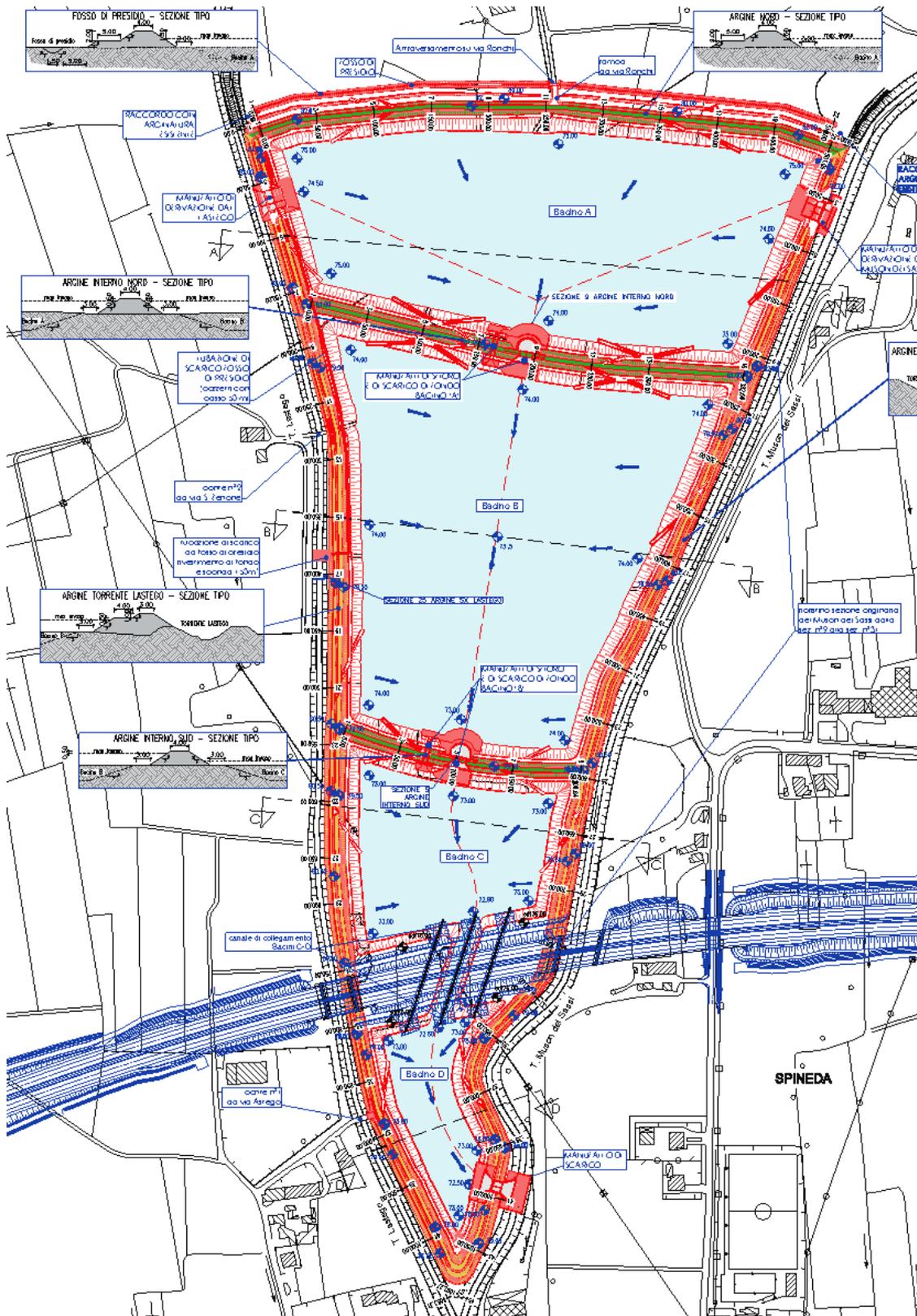


Fig.4.30 Planimetria della vasca di laminazione di Spineda (TV) alla confluenza tra Lastego e Muson

Con riferimento a ciò che è stato finora riprodotto nel modello, la futura vasca di laminazione di Spineda presenterà:

- quattro bacini distinti, separati tra loro da appositi rilevati arginali con manufatti di sfioro e di scarico di fondo per consentire il deflusso dell'acqua da un bacino all'altro;
- tra il bacino più a valle ed il suo confinante la geometria è stata predisposta in modo tale da ospitare i manufatti relativi alla futura strada Pedemontana, che sovrappasserà la vasca in questione;
- quote delle sommità arginali variabili tra gli 82 ed i 78 m s.l.m.m.;
- quote media del fondo vasca pari a 75 m s.l.m.m. per il Bacino A (il più a monte), 73.5 m s.l.m.m. per il Bacino B e 73 m s.l.m.m. per i Bacini C e D.

## 5 APPLICAZIONE DEL MODELLO PROPAGATORIO

Quanto finora illustrato è servito allo scopo di poter, come già anticipato, creare una base sulla quale applicare il modello di propagazione delle piene e risolvere le equazioni del moto cui il modello stesso fa riferimento.

Conclusa quindi la creazione del reticolo di calcolo, il modello è stato utilizzato per effettuare alcune simulazioni allo scopo di verificarne l'attendibilità e confrontare i risultati ottenuti con situazioni di riferimento già note.

### 5.1 Il file SIM

Le istruzioni relative alle modalità di esecuzione delle simulazioni vengono lette dal modello all'interno di quello che viene comunemente chiamato "file SIM"; l'estensione ".sim" deriva appunto da simulazione, poiché tale documento contiene tutte le informazioni necessarie per l'esecuzione della stessa, in particolare relativamente alle condizioni al contorno da applicare per la risoluzione delle equazioni del moto nel dominio scelto. Affinché sia utilizzabile deve essere correttamente compilato, rispettando una struttura tale da essere compatibile con il modello (ossia, affinché il modello legga le informazioni in modo corretto e completo). Una volta generato, è possibile visualizzare a colpo d'occhio le condizioni al contorno applicate aprendo il file SIM insieme al corrispondente GEO in Incidenze.

Viene pertanto brevemente riassunta la struttura del file SIM, indicando tipologia e funzione delle informazioni da inserire, analizzate stringa per stringa.

STRUTTURA FILE SIM	
Titolo	Una stringa con la descrizione lavoro
Versione, titolo	Versione (2.Xxxx) e una seconda stringa con la descrizione lavoro
<b>Dati generali della simulazione</b>	Stringa di separazione
TT, dt, dtprt, dtconvet, dtRey, ivideo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ TT = durata della simulazione [sec]</li> <li>▪ dt = passo temporale di calcolo; indica ogni quanto tempo il modello riproduce soluzioni [sec]</li> <li>▪ dtprt = passo temporale di stampa dei risultati [sec]</li> <li>▪ dtconvet = tempo di attivazione dei termini convettivi [sec]</li> <li>▪ dtRey = tempo di attivazione dei termini di Reynolds [sec], da utilizzare nel caso in cui si voglia riprodurre l'effetto di vortici</li> <li>▪ ivideo = indice per la stampa a video dei risultati con passo dtprt</li> </ul>
poroETA, Csmago, Cverticale	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ poroETA = porosità</li> <li>▪ Csmago = coefficiente di Smagorinsky per la componente orizzontale della viscosità cinematica turbolenta (<math>C_s=0.2</math>)</li> <li>▪ Cverticale = coefficiente per la componente verticale della viscosità cinematica turbolenta (<math>C_v=0.1</math>)</li> </ul>
nomefile.geo	Nome del file della geometria
nomefile.out	Nome del file dei risultati
1/0	Se indice=1, viene calcolata l'idrodinamica, se indice=0 l'idrodinamica non viene calcolata (ad esempio nelle simulazioni della sola propagazione del moto ondoso)

<b>Lista delle variabili da stampare</b>		Stringa di separazione
1/0		Livello $H_0$ , quota della superficie libera (nodale)
1/0		Portate $q_x, q_y$ nelle maglie e portate nei canali e tronchi speciali
1/0		Viscosità cinematica turbolenta (di maglia)
1/0		Sforzi di Reynolds (2 componenti di maglia)
1/0		Quota del fondo (nodale)
1/0		Portate specifiche al fondo (2 componenti di maglia)
1/0		Concentrazione solidi in sospensione (nodale)
1/0		Portata di filtrazione e volume immagazzinato
1/0		Altezza d'onda (di maglia)
1/0		Direzione d'onda (di maglia)
1/0		Radiation stress (2 componenti di maglia)
1/0		Concentrazione tracciante (nodale)
1/0		Accelerazioni convettive (2 componenti di maglia)
1/0		Curvature (di maglia)
1/0		Vuoto
<b>Condizioni iniziali</b>		Stringa di separazione
$H_0$		Valore iniziale della quota della superficie libera (utilizzato solo se non viene letto il file di restart)
iHiniz (1/0)		Eventuale correzione livelli [se iHiniz=1 si inizializzano i livelli a $\max(h_f - Y_{lim}, H_0)$ ]
irestart (1/0)		Se irestart=1 la condizione iniziale viene letta dal file di restart
nomefile.bup		Nome del file di restart
<b>Tabelle dati variabili nel tempo</b>		Stringa di separazione
ntab		Numero di tabelle per l'assegnazione dei dati variabili nel tempo (livelli e portate)
RIPETUTI PER OGNUNA DELLE ntab DA INSERIRE	dtab, nvaltab, tabella jtab	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dtab = passo temporale con cui vengono scanditi i valori (il primo valore si riferisce all'istante <math>t=0</math>)</li> <li>▪ nvaltab = numero di valori contenuti nella tabella</li> <li>▪ jtab = indice della tabella</li> </ul>
	$X_1, X_2, X_3, \dots, X_{N-1}, X_N$	nvaltab dati della tabella riportati per righe, massimo 10 dati per ogni riga

Condizioni al contorno	Stringa di separazione
nh	Numero di nodi con livello assegnato
nodo, jtab, xcost [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI nh NODI]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nodo = indice del nodo (nel file GEO) cui si applica il livello</li> <li>▪ jtab = indice della tabella contenente la serie temporale del livello da imporre</li> <li>▪ xcost = costante moltiplicativa dei livelli (generalmente xcost = 1, usata qualche volta per amplificare serie periodiche di livelli)</li> </ul>
nq	Numero di nodi con portata assegnata (positiva entrante)
nodo, jtab, xcost [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI nq NODI]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nodo = indice del nodo (nel file GEO) in cui entra la portata</li> <li>▪ jtab = indice della tabella contenente la serie temporale delle portate da imporre</li> <li>▪ xcost = costante moltiplicativa delle portate (per applicare solo una percentuale delle portate contenute nelle tabelle, utile quando si vuole frazionare l'idrogramma in più punti per un unico corso d'acqua)</li> </ul>
ns	Numero di nodi con scala delle portate assegnata
$Q_0, h_0, \alpha$ , nodo, jtab [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI ns NODI]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>Q_0, h_0, \alpha</math> sono tre parametri che descrivono la scala delle portate secondo la legge di potenze <math>Q = Q_0(h - h_0)^\alpha</math></li> <li>▪ nodo = indice del nodo (nel file GEO) in cui entra la portata</li> <li>▪ jtab = indice della tabella contenente la serie temporale di <math>Q_0</math> (se jtab&gt;0); se jtab=0, il valore di <math>Q_0</math> resta costante e pari a quello assegnato</li> </ul>
nms	Numero di maglie speciali con tabella associata
m, jtipo, jtab1, jtab2 [DA RIPETERE PER OGNUNA DELLE nms MAGLIE]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ m = indice della maglia (nel file GEO)</li> <li>▪ jtipo = tipo di maglia speciale</li> <li>▪ jtab1, jtab2 = indici delle tabelle</li> </ul> <p>[jtipo=4 (maglia barriera) → jtab1= tabella quote del fondo, jtab2=0; jtipo=7 (maglia propeller) → jtab1= tabella della spinta (N), jtab2=tabella della direzione (gradi) in cui spinge l'elica]</p>
nts	Numero di tronchi speciali con tabella associata
m, jtipo, jtab1, jtab2 [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI nts TRONCHI]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ m = indice del tronco (nel file GEO)</li> <li>▪ jtipo = tipo di tronco speciale</li> <li>▪ jtab1, jtab2 = indici delle tabelle</li> </ul> <p>[jtipo=1 (tronco argine) → jtab1= tabella quote sfioro, jtab2=0; jtipo=2 (tronco barriera) → jtab1= tabella quote fondo, jtab2=0; jtipo=4 (tronco idrovora) → jtab1= tabella shift quote A/S, jtab2=0; jtipo=5 (tronco paratoia) → jtab1= tabella apertura paratoia, jtab2=0]</p>
Dati relativi al vento	Stringa di separazione
jwind	Se jwind>0 viene considerato il vento, altrimenti no. Comunque i parametri di seguito elencati vengono letti dal modello.
$c_d, \varepsilon, jtab1, jtab2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>c_d</math> ed <math>\varepsilon</math> sono due parametri per la stima dello sforzo prodotto dal vento secondo la relazione: <math>\tau = c_d(1 - e^{-\varepsilon W})W^2</math>, con W=velocità del vento</li> <li>▪ jtab1 = indice della tabella contenente la serie temporale delle</li> </ul>

	velocità del vento <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>j_{tab2}</math> = indice della tabella contenente la serie temporale delle direzioni del vento (angolo che il vettore velocità del vento forma con l'asse x)</li> </ul> Questi dati sono utilizzati solo se $j_{wind}>0$ .
<b>Dati relativi all'infiltrazione</b>	Stringa di separazione
$j_{filtra}$	Se $j_{filtra}>0$ viene considerato l'infiltrazione, altrimenti no. Comunque i parametri di seguito elencati vengono letti dal modello.
$filtra_0, filtra_{\infty}, zita_0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>filtra_0</math> = velocità di infiltrazione iniziale</li> <li>▪ <math>filtra_{\infty}</math> = velocità di infiltrazione a terreno completamente saturo</li> <li>▪ <math>zita_0</math> = spessore dello strato di immagazzinamento</li> </ul> Questi dati sono utilizzati solo se $j_{filtra}>0$ .
<b>Dati relativi al trasporto solido</b>	Stringa di separazione
$j_{FONDO}, j_{SOSP}, N_{per}, T_{smooth}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ se <math>j_{FONDO}&gt;0</math> viene considerato il trasporto solido al fondo, altrimenti no</li> <li>▪ se <math>j_{SOSP}&gt;0</math> viene considerato il trasporto solido in sospensione, altrimenti no</li> <li>▪ <math>N_{per}</math>=fattore di amplificazione temporale dei processi di deposito o erosione (interessa solo l'evoluzione del fondo e non il trasporto solido)</li> <li>▪ <math>T_{smooth}</math>=intervallo di tempo con cui si procede a lisciare le ondulazioni prodotte da fenomeni di instabilità.</li> </ul>
Poro, $D_{grain}$ , $Densrel$ , $Ks_{vero}$ , $curv$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Poro=porosità</li> <li>▪ <math>D_{grain}</math>=diametro dei grani in millimetri</li> <li>▪ <math>Densrel</math>=densità relativa del materiale solido</li> <li>▪ <math>Ks_{vero}</math>=coefficiente di Strickler con cui valutare l'effettivo sforzo che produce trasporto</li> <li>▪ <math>curv</math>=parametro per effetto curvature (<math>curv=10</math>)</li> </ul>
$C_{dry}, C_{zero}, perC_{stampa}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>C_{dry}</math>=concentrazione che viene assegnata al nodo asciutto</li> <li>▪ <math>C_{zero}</math>=concentrazione iniziale dei sedimenti in sospensione, utilizzato solo se non si usa un file di restart</li> <li>▪ <math>perC_{stampa}</math>=coefficiente di amplificazione per i valori di concentrazione stampati</li> </ul>
$N_{C_{Ass}}$	$N_{C_{Ass}}$ =numero di nodi con concentrazione assegnata
nodo, $j_{TAB}$ [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI $N_{C_{Ass}}$ NODI]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nodo=nodo in cui si assegna la concentrazione</li> <li>▪ <math>j_{TAB}</math>=indice della tabella contenente la serie temporale delle concentrazioni assegnate</li> </ul>
$N_{fix}$	$N_{fix}$ =numero di nodi con quota del fondo fissa (equilibrio tra deposito ed erosione)
$n_1, n_2, n_3, \dots, n_{N_{fix}}$	Indici dei nodi con quota del fondo fissa (vengono letti solo se $N_{fix}>0$ )
<b>Dati relativi al trasporto e diffusione</b>	Stringa di separazione
$J_{diffusione}$	Se $J_{diffusione}>0$ viene simulato il trasporto e la diffusione di una sostanza conservativa o con decadimento esponenziale. Comunque i parametri di seguito elencati vengono letti

$D_{zero}$ , $D_{dry}$ , Diff, $D_{per\_stampa}$ , Decadi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>D_{zero}</math>=concentrazione iniziale della sostanza, utilizzato solo se non si usa un file di restart</li> <li>▪ <math>D_{dry}</math>=concentrazione che viene assegnata al nodo asciutto</li> <li>▪ Diff=coefficiente di diffusione</li> <li>▪ <math>D_{per\_stampa}</math>=coefficiente di amplificazione per i valori di concentrazione stampati- Decadi=coefficiente di decadimento per la sostanza</li> </ul>
$n_D$ , $n_{FD}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>n_D</math>=numero di nodi con concentrazione assegnata</li> <li>▪ <math>n_{FD}</math>=numero di nodi con flusso di concentrazione assegnata</li> </ul>
nodo, $j_{TAB}$ , $X_{cost}$ [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI $n_D$ NODI, qualora $n_D > 0$ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nodo=nodo in cui si assegna la concentrazione</li> <li>▪ <math>j_{TAB}</math>=indice della tabella contenente la serie temporale delle concentrazioni assegnate</li> <li>▪ <math>X_{cost}</math>=costante moltiplicativa delle concentrazioni</li> </ul>
nodo, $j_{TAB}$ , $X_{cost}$ [DA RIPETERE PER OGNUNO DEGLI $n_{FD}$ NODI, qualora $n_{FD} > 0$ ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ nodo=nodo in cui si assegna il flusso concentrazione (positivo se entrante)</li> <li>▪ <math>j_{TAB}</math>=indice della tabella contenente la serie temporale dei flussi di concentrazioni assegnata</li> <li>▪ <math>X_{cost}</math>=costante moltiplicativa dei flussi di concentrazione</li> </ul>
<b>Dati relativi al moto ondoso</b>	Stringa di separazione
$j_{WAVE}$	Se $j_{WAVE} > 0$ viene simulato il moto ondoso. Comunque i parametri di seguito elencati vengono letti
periodo, $f_{CRAD}$ , $f_{Cvorb}$ , $C_{fricW}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ periodo=periodo dell'onda monocromatica</li> <li>▪ <math>f_{CRAD}</math>=fattore di correzione dei Radiation stress</li> <li>▪ <math>f_{Cvorb}</math>=fattore di correzione delle velocità orbitali al fondo</li> <li>▪ <math>C_{fricW}</math> =coefficiente di attrito per la dissipazione di energia dell'onda che si propaga</li> </ul>
$j_{TABHw}$ , $j_{TABeta}$ , $j_{WaWind}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <math>j_{TABHw}</math>=indice della tabella con l'altezza d'onda al largo</li> <li>▪ <math>j_{TABeta}</math>=indice della tabella con la direzione dell'onda al largo</li> <li>▪ <math>j_{WaWind}=1</math> considero l'effetto del vento, altrimenti (<math>j_{WaWind}=0</math>), non lo considero</li> </ul>
$j_{RS}$ , $dt_{pesoRS}$	$j_{RS}=1$ , calcolo e considero i Radiation stress. Il contributo dei radiation stress è considerato gradualmente in un intervallo di tempo $dt_{pesoRS}$ .
$J_{VO}$ , $dt_{pesoVO}$	$J_{VO}=1$ , calcolo e considero le velocità orbitali al fondo. Il contributo delle velocità orbitali al fondo è considerato gradualmente in un intervallo di tempo $dt_{pesoVO}$ .
$nod_{Wave}$	Numero di nodi con altezza d'onda assegnata
$n_1, n_2, n_3, \dots, n_{nodWave}$	Indici dei nodi con altezza d'onda assegnata (letti solo se $nod_{Wave} > 0$ )
$i_{wave}$ , $dt_{pesoW}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ se <math>i_{wave}=1</math>, leggo da file i Radiation stress</li> <li>▪ <math>dt_{pesoW}</math>=tempo di attivazione dei Radiation stress</li> </ul>
filename <sub>TAU</sub>	Nome del file contenente i Radiation stress
$i_{bedwave}$ , $dt_{pesoH}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ se <math>i_{bedwave}=1</math>, leggo da file le velocità orbitali al fondo</li> <li>▪ <math>dt_{pesoH}</math>=tempo di attivazione delle velocità orbitali al fondo</li> </ul>
Filename <sub>BWA</sub>	Nome del file contenente le velocità orbitali al fondo

```

Simulazione Muson Moto Permanente
2.0 versione
***** DATI GENERALI DELLA SIMULAZIONE *****
86400. 3.0 1800. 999999. 999999. 1 TT,dt,dtprt,dtconvet,dtRey,ivideo
0.005 0.2 0.1 poroETA, Csmago, Cverticale
Muson_8_perm.geo
Muson8_rl.out
1 calcolo l'idrodinamica
***** CONDIZIONI INIZIALI *****
6.00 livello iniziale
0 eventuale correzione livelli
1 eventuale lettura da restart
r0_8.bup nome file restart
***** TABELLE DATI VARIABILI NEL TEMPO *****
17 tabelle per l'assegnazione dei livelli e delle portate
1800. 73 tabella 1 Bacino Montano
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000 2.4000
2.4000 2.4000 2.4000
***** CONDIZIONI AL CONTORNO *****
4 numero di nodi con livello assegnato
254 13 1.0
28 numero di nodi con portata assegnata
19145 4 0.2 Brenton Pighenzo monte
0 numero di nodi con scala portate
0 Numero di maglie speciali con tabella associata
0 Numero di tronchi speciali con tabella associata
***** DATI RELATIVI AL VENTO *****
0 se 0 il vento non è usato
1.62E-06 0.1 3 4
***** DATI RELATIVI ALL INFILTRAZIONE *****
0 se 0 non si considera filtrazione
0.00500 0.00050 10.00000 f0 f00 zita0
***** DATI RELATIVI AL TRASPORTO SOLIDO *****
0 0 2.00000 1800. SI/NO al fondo - SI/NO in sospensione - fattore temporale - Tsmooth
0.400000 0.1 2.65000 50.00 10. Poros,diam,densRel,sksvERO,curv
0.0 0.000000 1.0 Cdry,Co,perCstampa
0 numero di nodi con concentrazione assegnata
0 numero di nodi non erodibili
***** DATI PER IL TRASPORTO E DIFFUSIONE *****
0 calcolo la diffusione (,iOUTesterno) [se iOUTesterno=1 legge il nome del file OUT nella r:
0.0 0.0 6.0 1.000 0.0 DDo,Ddry,Diff,DperStampa,Decadi
0 0 numero di nodi con concentrazione e flusso assegnati
***** DATI RELATIVI AL MOTO ONDOSO *****
0 non calcolo il moto ondoso
7.7 0.7 0.7 0.0015 periodo,fcRAD,fcVorb,CfricW
1 2 0 jTABHw,jTABteta,jWaWind
1 600.0 jjRS,dtpesoRS
1 600.0 jjVO,dtpesoVO
2 numero nodi con altezza e direzione fissa
1
2
0 600.000 se 1 leggi file radiation stress & tempo attivazione
boratau.out

```

Fig. 5.1 Estratto di un file SIM utilizzato nel corso delle simulazioni

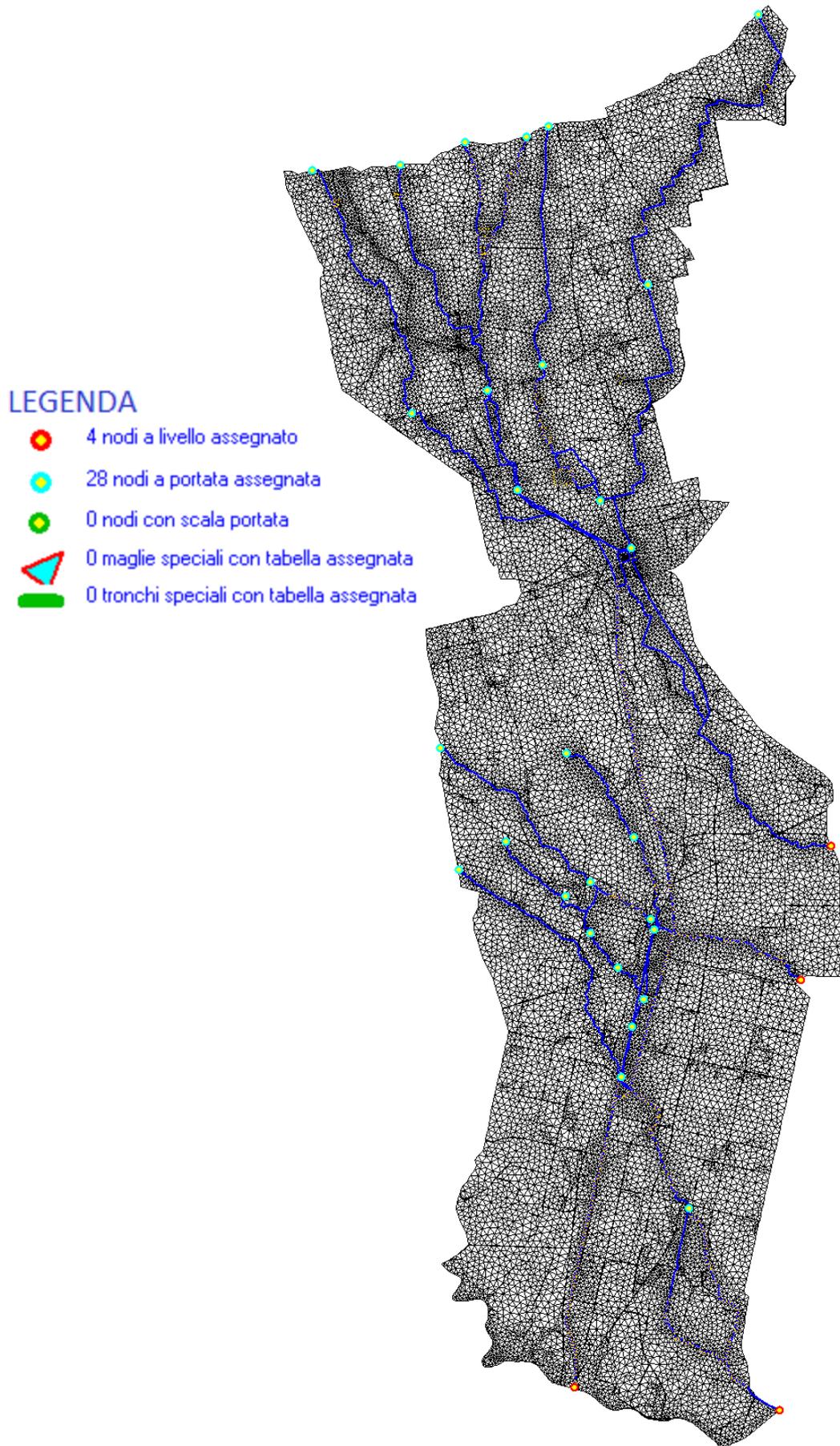


Fig.5.2 File SIM sovrapposto al GEO; sono evidenziati i punti di inserimento delle condizioni al contorno

## 5.2 Condizioni al contorno

Come accennato nel corso del precedente paragrafo, al fine di poter utilizzare il modello propagatorio è necessario definire, compatibilmente con il territorio modellato, le condizioni iniziali e al contorno del problema.

Con riferimento al file SIM, le condizioni iniziali vengono attribuite assegnando un livello di partenza tale da imporre un minimo tirante d'acqua all'interno dei corsi d'acqua, in modo però che il dominio non risulti completamente allagato (dovrà pertanto essere inferiore alla quota del fondo minima assegnata alle maglie); il livello viene inizialmente corretto sulla base delle caratteristiche morfologiche del terreno, considerato il forte gradiente di quote tra la parte alta (quota massima 152.03 m) e la parte bassa (quota minima 8.28 m) del reticolo di calcolo. Le condizioni così definite sono state utilizzate per raggiungere una situazione di regime, a moto permanente, in quanto saranno poi proprio le condizioni di moto permanente, lette dal corrispondente file BUP (file di backup) di restart, a diventare condizioni iniziali al tempo  $t=0$  per le simulazioni a moto vario, come verrà illustrato più dettagliatamente nel paragrafo 5.3.

Una volta imposto lo stato iniziale in cui versa il dominio considerato, si vogliono assegnare le portate ed i livelli desiderati ai corsi d'acqua con lo scopo ultimo di osservare come la situazione si evolve in seguito all'introduzione di tali condizioni. L'entità delle stesse è variabile a seconda dello scenario che si vuole simulare (se moto permanente, moto vario, ecc.) ma in ogni caso le modalità di assegnazione delle condizioni al contorno non cambiano: sulla base della geometria realizzata, per ogni corso d'acqua entrante nel dominio deve essere assegnata almeno una condizione di immissione di portata, sotto forma di idrogramma che verrà riportato nel file SIM come tabella dati variabile nel tempo, mentre in corrispondenza di ogni corso d'acqua uscente dal dominio si dovranno assegnare un definito livello oppure una scala delle portate opportunamente ricostruita nella forma  $Q = Q_0(h - h_0)^\alpha$  (dove  $h_0$  è la quota di Talweg oppure, se presente, la quota dello sfioratore rispetto allo zero IGM di riferimento, mentre  $Q_0$  ed  $\alpha$  sono parametri empirici, coefficienti della curva che al meglio interpola i dati sperimentali di corrispondenza livello – portata).

Incentrando maggiormente l'attenzione al caso in esame, i valori di livelli e portate variabili nel tempo utilizzati, in mancanza di dati recenti a disposizione ed al fine di mantenere una certa coerenza con le fonti principali di dati finora adottate, sono stati estrapolati dallo studio sulla "Propagazione delle onde di piena lungo l'asta del Muson dei Sassi mediante modello bidimensionale" (Università degli Studi di Padova - Prof. Ing. Luigi D'Alpaos – Maggio 2006), cui già più e più volte si è fatto riferimento nel corso del presente elaborato. In particolare, viene considerato l'evento critico generato da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni, utilizzandone i relativi idrogrammi di piena riferiti ai seguenti corsi d'acqua: torrenti del Bacino Montano; Avenale; fiumi cui affluiscono le acque dell'Interbacino di Castelfranco Veneto; Brentone; Brenton; Muson Vecchio; Vandura; Orcone; Tergola; Tergolino.

Sfruttando invece le code degli idrogrammi sopra citati, è stato possibile stimare dei valori attendibili di portata in condizioni di moto permanente, da utilizzare come base per le simulazioni a moto vario; per informazioni più specifiche a riguardo si rimanda comunque al paragrafo 5.3.

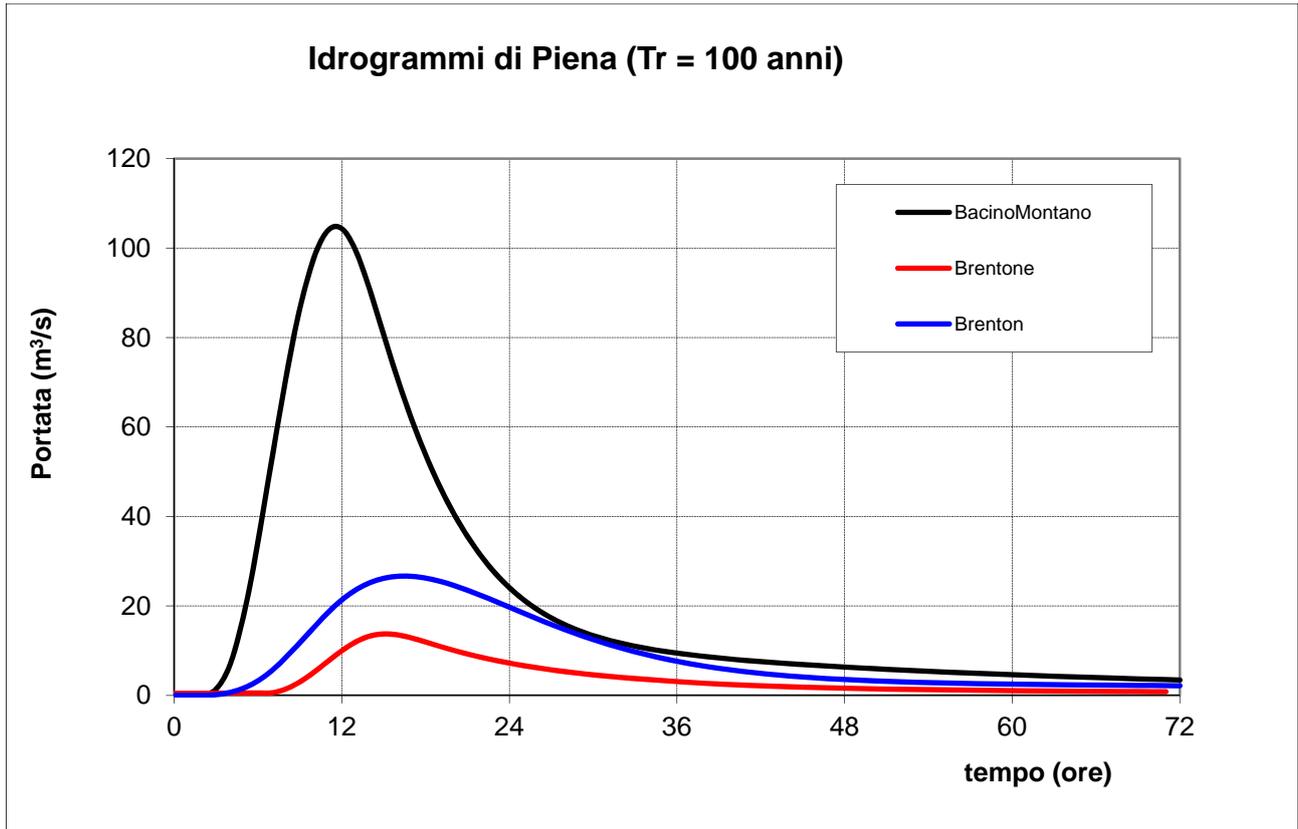


Fig.5.3 Idrogrammi relativi alla parte alta del dominio

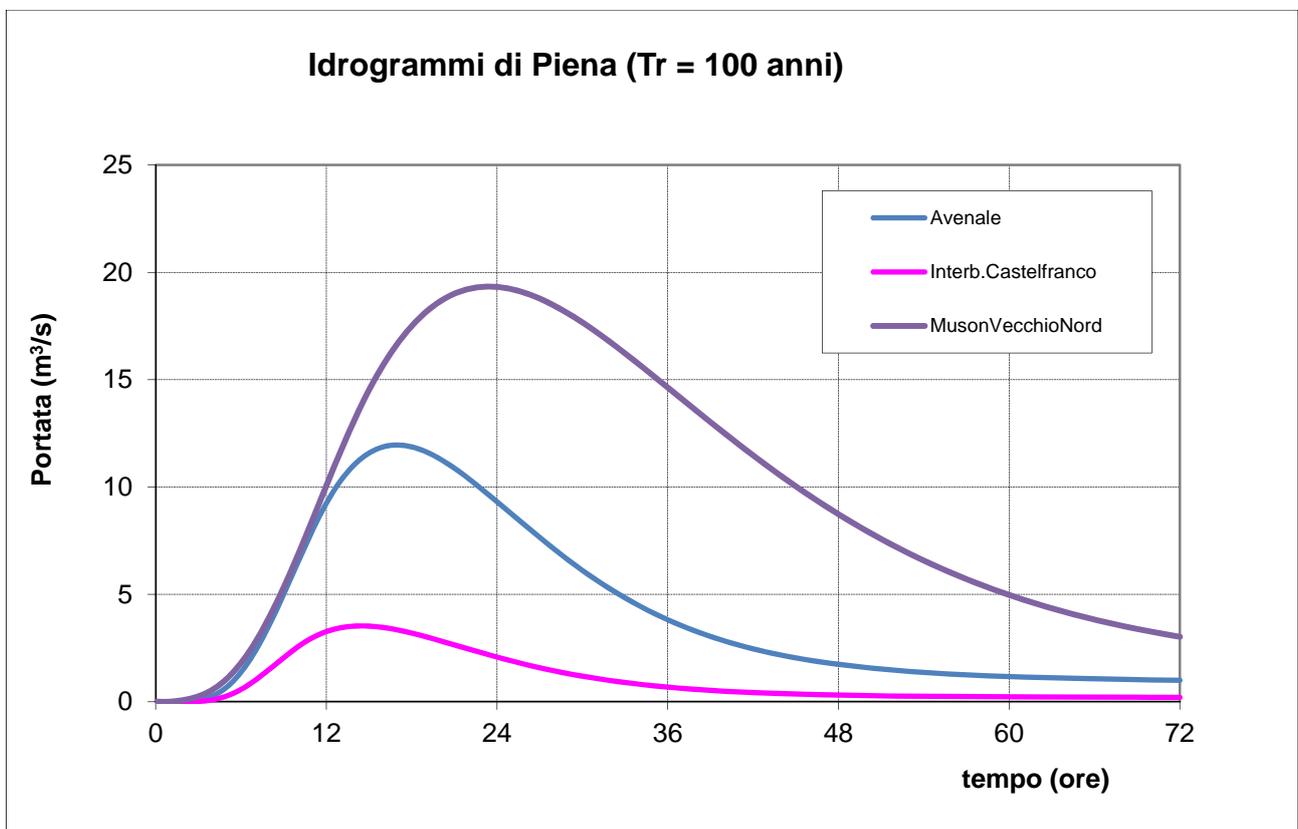


Fig.5.4 Idrogrammi relativi ad Avenale, Interbacino di Castelfranco Veneto (TV) e Muson Vecchio

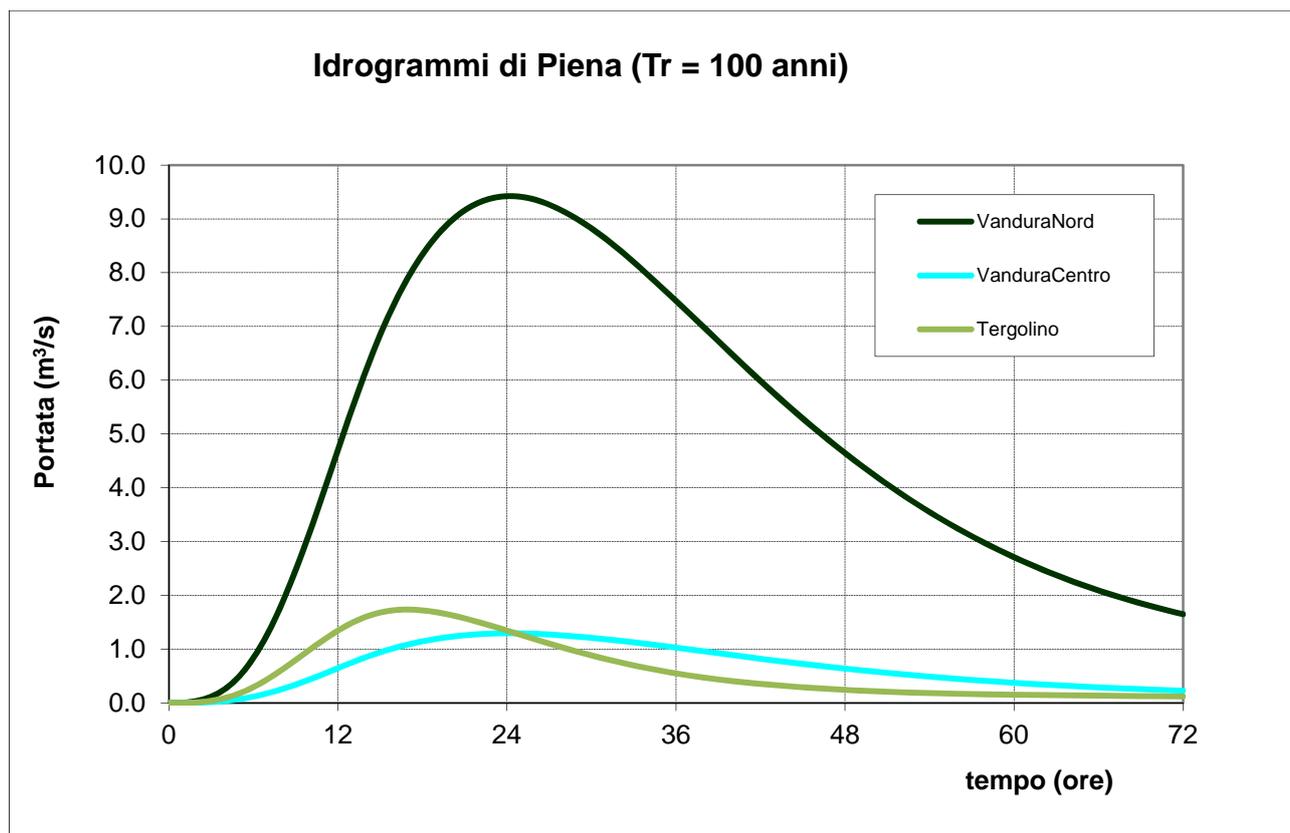


Fig.5.5 Idrogrammi dei corsi d'acqua affluenti a Camposampiero (PD)

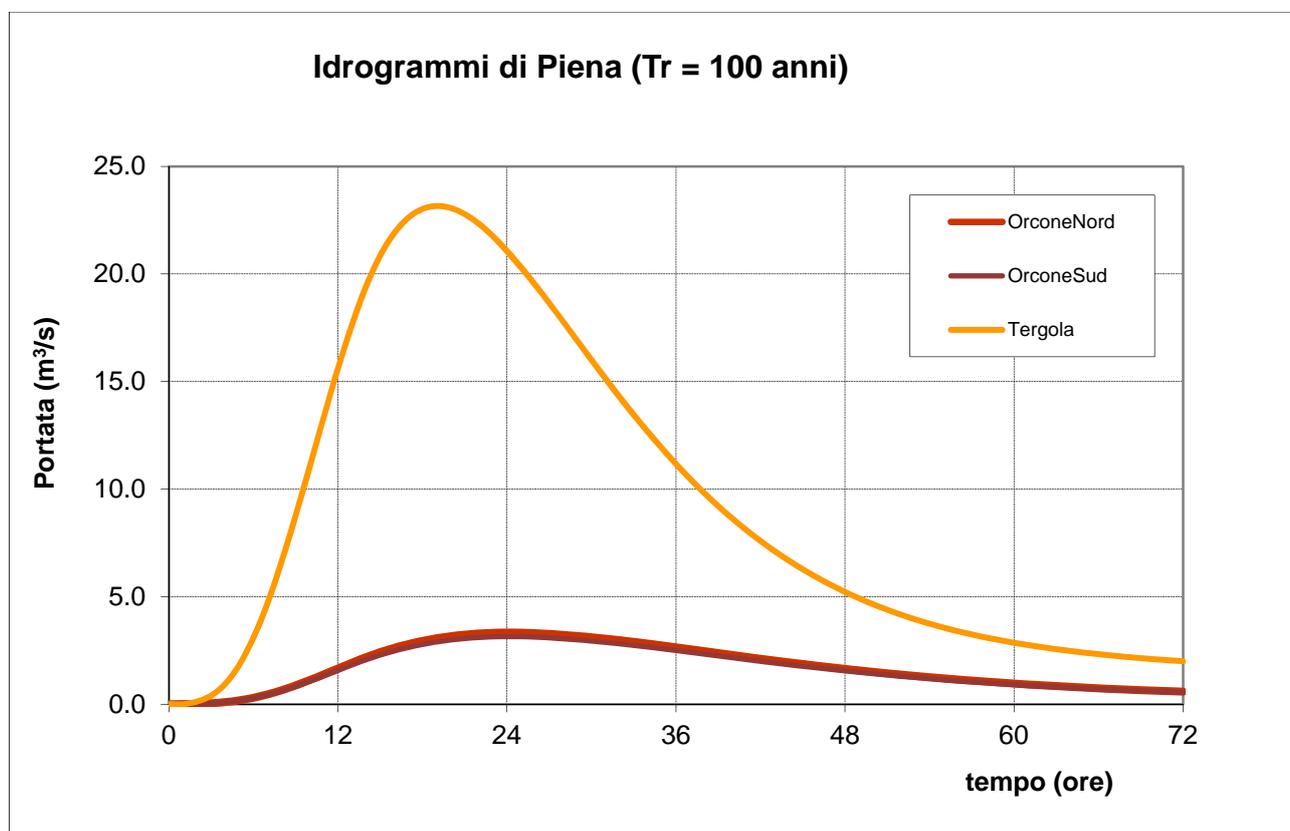


Fig.5.6 Idrogrammi relativi ai corsi d'acqua che scorrono nella parte sud del dominio

Vengono quindi riassunte di seguito le condizioni al contorno applicate con riferimento agli elementi della geometria cui sono state assegnate.

CORSO D'ACQUA	CONDIZIONI AL CONTORNO		INDICE NODALE GEO	
	ENTRANTI	USCENTI	IN	OUT
Brenton - Pighenzo	Brentone, 20%	-	19145	-
	Brentone, 30%		14737	
Viazza	Bacino Montano, 20%	-	19678	-
Lastego	Bacino Montano, 20%	-	19689	-
Muson dei Sassi	Bacino Montano, 50%	Livello imposto: 15 m s.l.m.m. allo sbocco in Brenta	19718	254
Musonello	Bacino Montano, 5%	-	14874	-
	Interbacino Castelfranco, 10%	-	30891	-
Avenale	Avenale, 10%	-	19747	-
	Avenale, 40%		15488	
	Avenale, 50%		13329	
	Interbacino Castelfranco, 90%		12401	
Brenton – Ca' Mula	Brenton, 20%	-	20302	-
	Brenton, 50%		17209	
Brentella	-	Livello imposto: 21 m s.l.m.m.	-	8528
Muson Vecchio	Muson Vecchio Nord, 50%	Livello imposto: 18 m s.l.m.m.	9957	5795
	Muson Vecchio Nord, 50%		8715	
Vandura	Vandura Nord, 50%	-	9899	-
	Vandura Nord, 50%		7884	
	Vandura Centro, 98%		30888	
	Vandura Centro, 2%		30889	
	Vandura Sud, 100%		5114	
Tergolino	Tergolino, 50%	-	6778	-
	Tergolino, 50%		5380	
Orcone	Orcone Nord, 50%	-	8266	-
	Orcone Nord, 50%		7263	
	Orcone Sud, 50%		6720	
	Orcone Sud, 50%		5991	
Tergola	Tergola, 50%	Livello imposto: 7 m s.l.m.m.	7716	100
	Tergola, 50%		4346	
Tergola Vecchio	Tergola, 10%	-	30890	-

Tabella 5.1. Condizioni al contorno: immissioni di portata e livelli assegnati

Per ognuno dei corsi d'acqua considerati, gli idrogrammi a disposizione rappresentano l'entità delle portate sviluppatesi in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino idrografico corrispondente; non sono stati pertanto applicati interamente ai soli nodi disposti lungo i confini del dominio ma, come è possibile osservare, suddivisi lungo l'asta del corso d'acqua di appartenenza, sulla base della porzione di bacino sotteso in corrispondenza dei punti in cui le condizioni al contorno sono state poste.

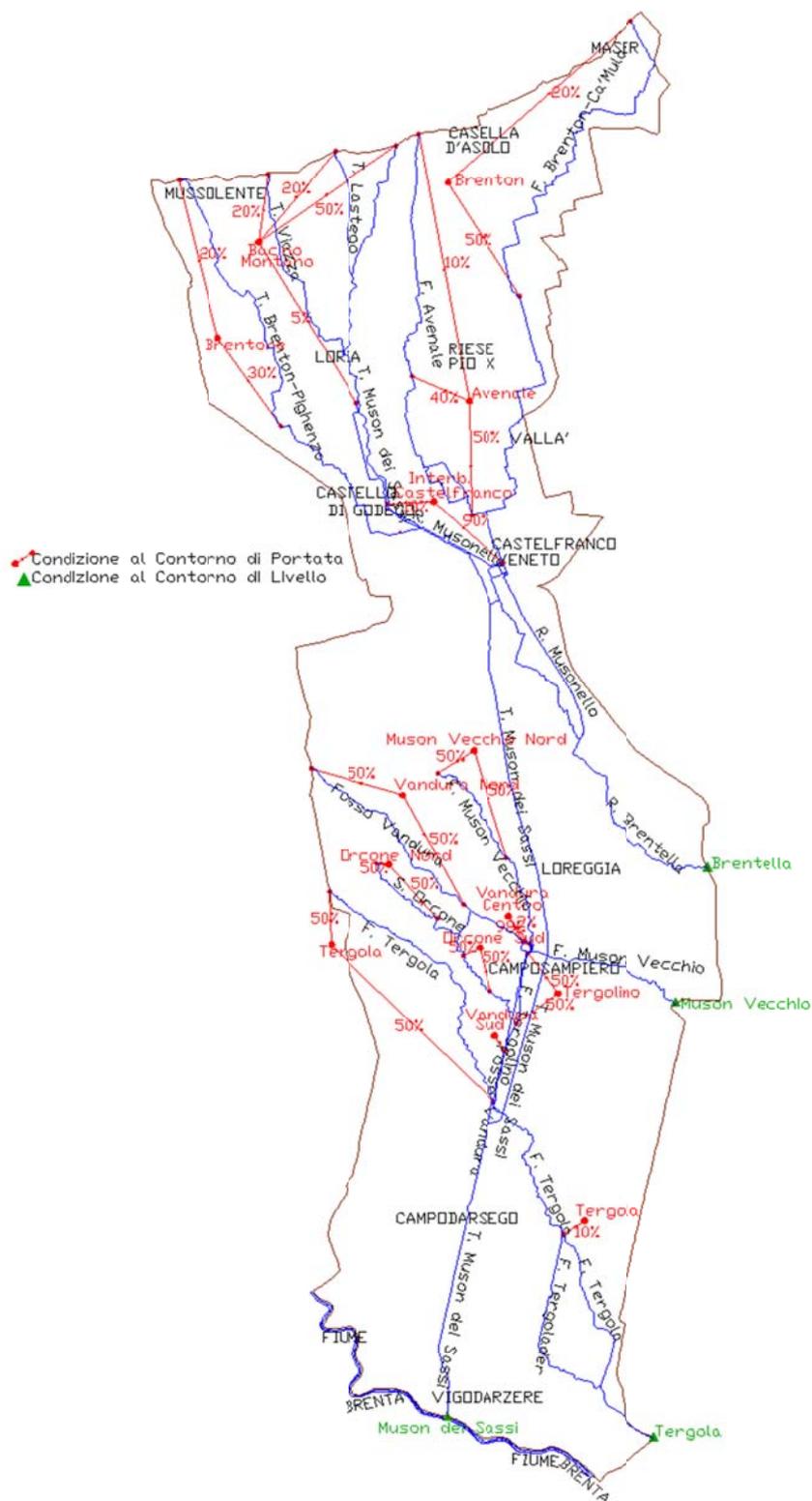


Fig.5.7 Inquadramento delle condizioni al contorno applicate

### 5.3 Moto Permanente

La prima simulazione effettuata è stata quella in condizioni di moto permanente, ossia la riproduzione di uno stato in cui le portate si mantengono pressoché costanti nel tempo. Viene perciò intesa come portata di moto permanente per un corso d'acqua quella che si ripresenta più spesso nel corso dell'anno; può essere quindi considerata come la portata "media" che defluisce nei periodi in cui non si sono riversate al suolo abbondanti precipitazioni e, d'altro canto, in cui non si sia verificata una particolare siccità.

Come già accennato in precedenza, disponendo unicamente degli idrogrammi di piena le portate di moto permanente sono state ricavate utilizzando i valori raggiunti in corrispondenza alle code degli idrogrammi stessi, cui poi si è ritenuto di applicare una riduzione del 30% considerata l'entità dell'evento di piena scelto ( $T_r = 100$  anni). Le portate di moto permanente ottenute sono le seguenti:

IDROGRAMMA	PORTATA di MOTO PERMANENTE [m <sup>3</sup> /s]
Bacino Montano	2.40
Avenale	0.70
Interbacino Castelfranco	0.14
Brentone	0.30
Brenton	1.50
Muson Vecchio Nord	2.12
Vandura Nord	1.15
Vandura Centro	0.16
Vandura Sud	0.16
Orcone Nord	0.41
Orcone Sud	0.38
Tergola	1.40
Tergolino	0.08

Tabella 5.2. Portate di moto permanente

Per ottenere condizioni di moto permanente stabili e sufficientemente sviluppate, la simulazione è stata suddivisa in due fasi distinte:

1. una prima simulazione di breve durata (5 ore), con timestep basso (1 secondo), porosità alta (0.5), correzione dei livelli a partire da un valore iniziale della quota della superficie libera di 6 metri e portate che gradualmente crescono da 0 al valore prefissato di moto permanente, allo scopo di creare un file di backup contenente condizioni iniziali che non siano numericamente instabili;
2. una seconda simulazione di durata 24 ore, con timestep 6 secondi, porosità assunta pari a 0.05, portate di moto permanente costanti nel tempo e condizioni iniziali lette dal file di restart definite nel corso della fase precedente.

Vengono pertanto di seguito illustrati i risultati, in termini di variazione della portata nel tempo, ottenuti durante la seconda fase di simulazione in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei diversi corsi d'acqua.

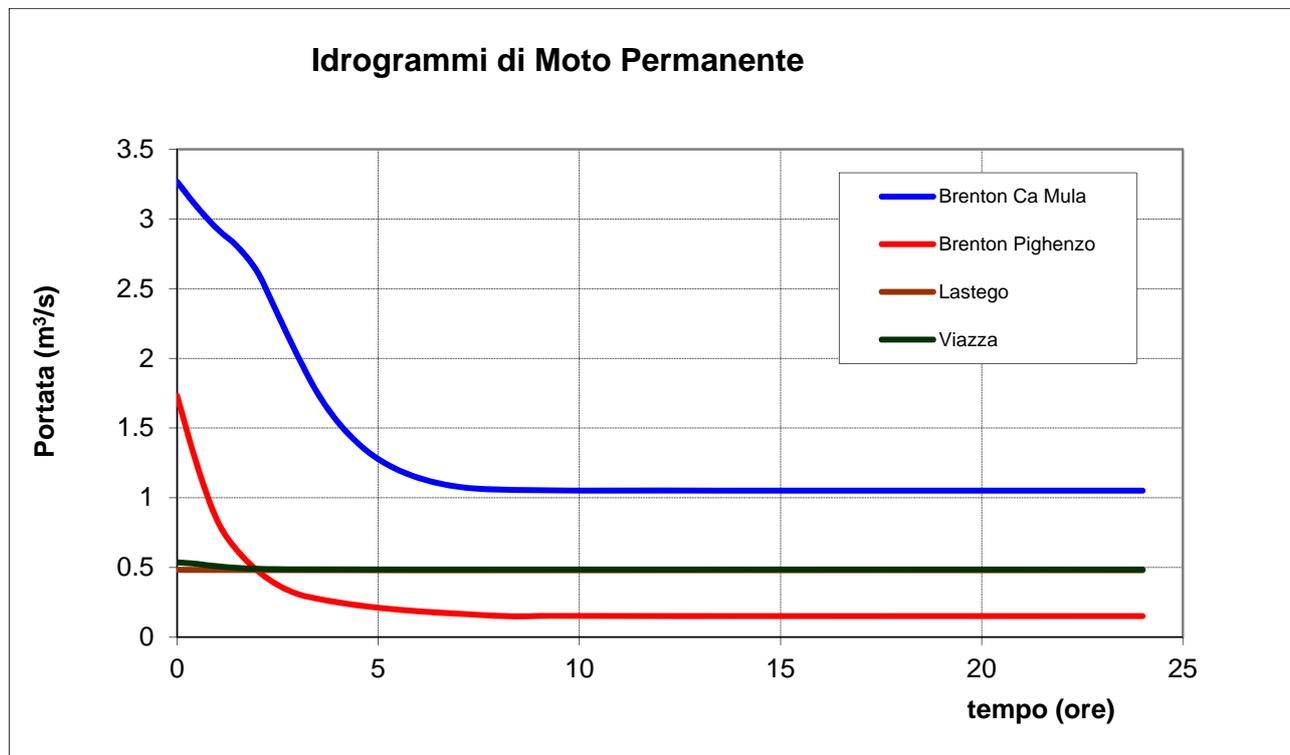


Fig.5.8 Idrogrammi dell'area pedemontana

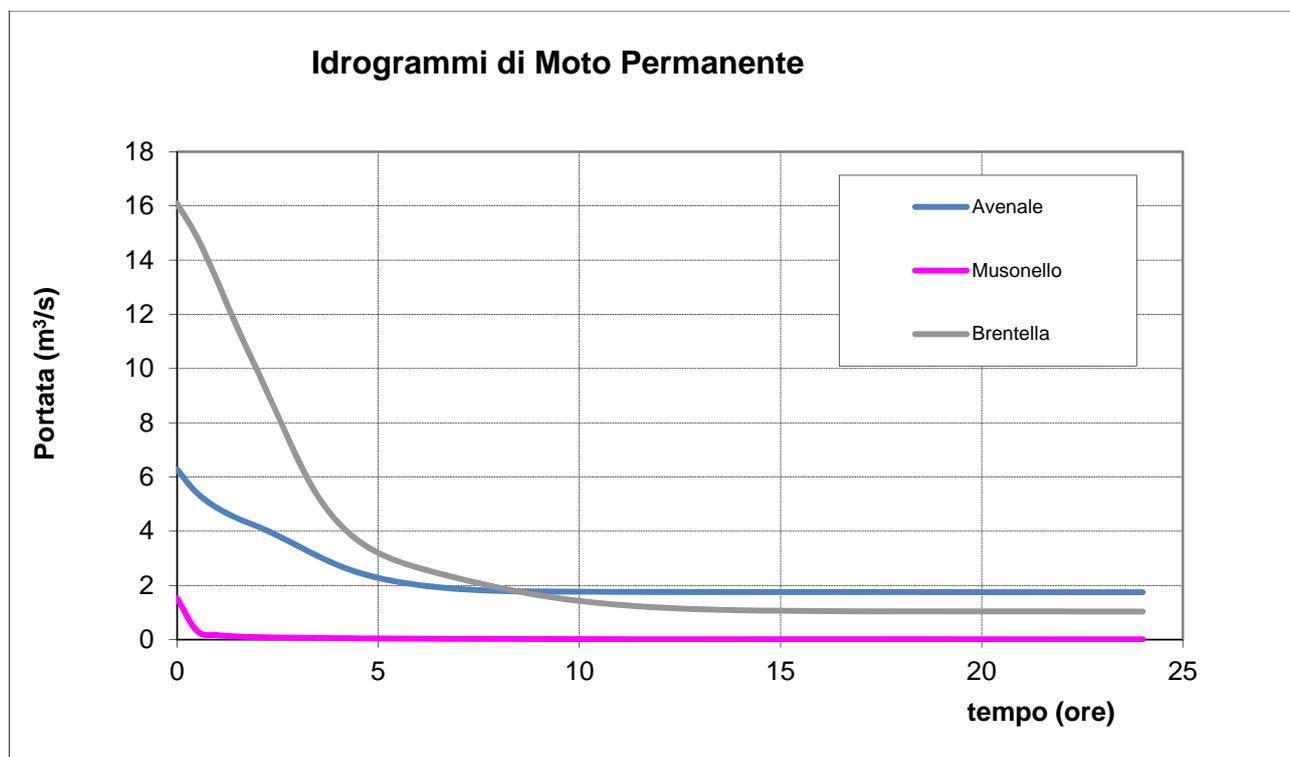


Fig.5.9 Idrogrammi dei principali corsi d'acqua di Castelfranco Veneto (TV)

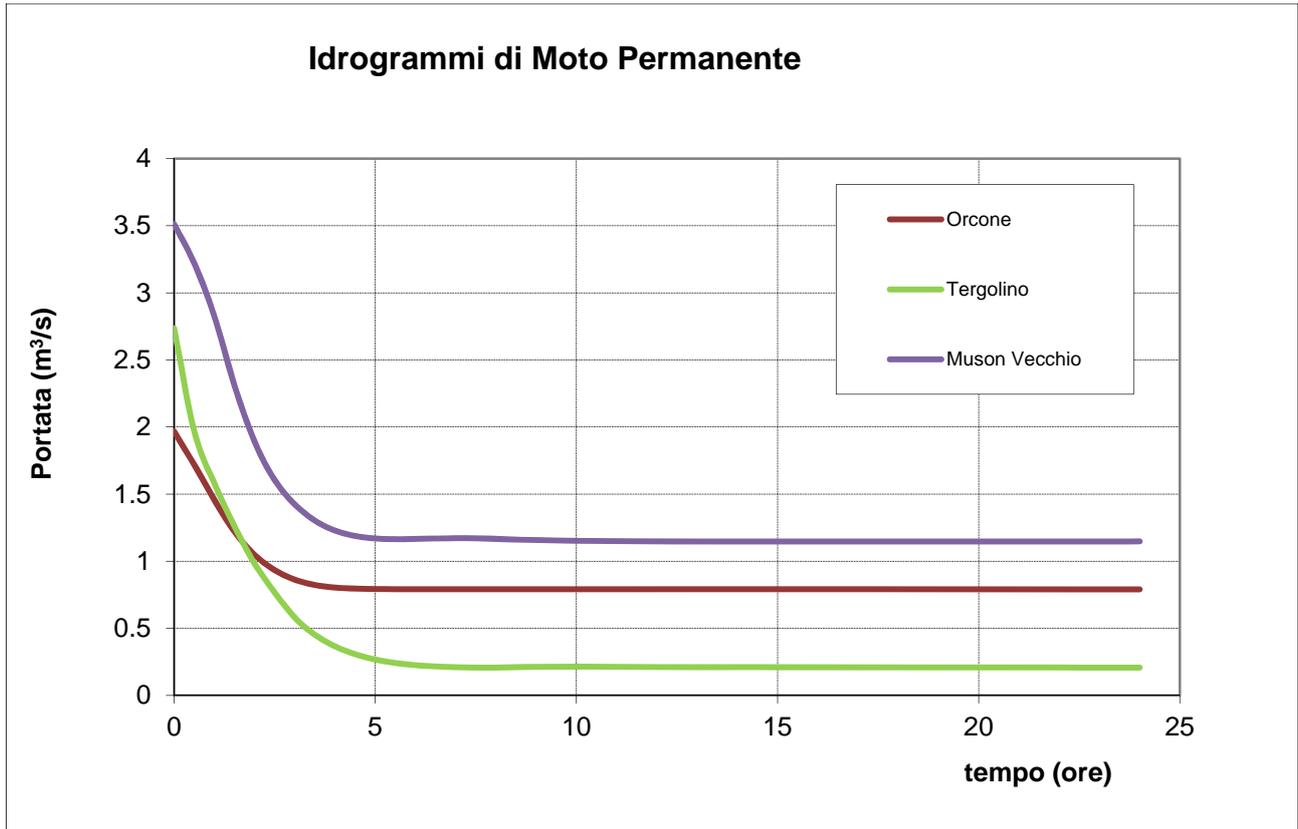


Fig.5.10 Idrogrammi dei principali corsi d'acqua di Camposampiero (PD)

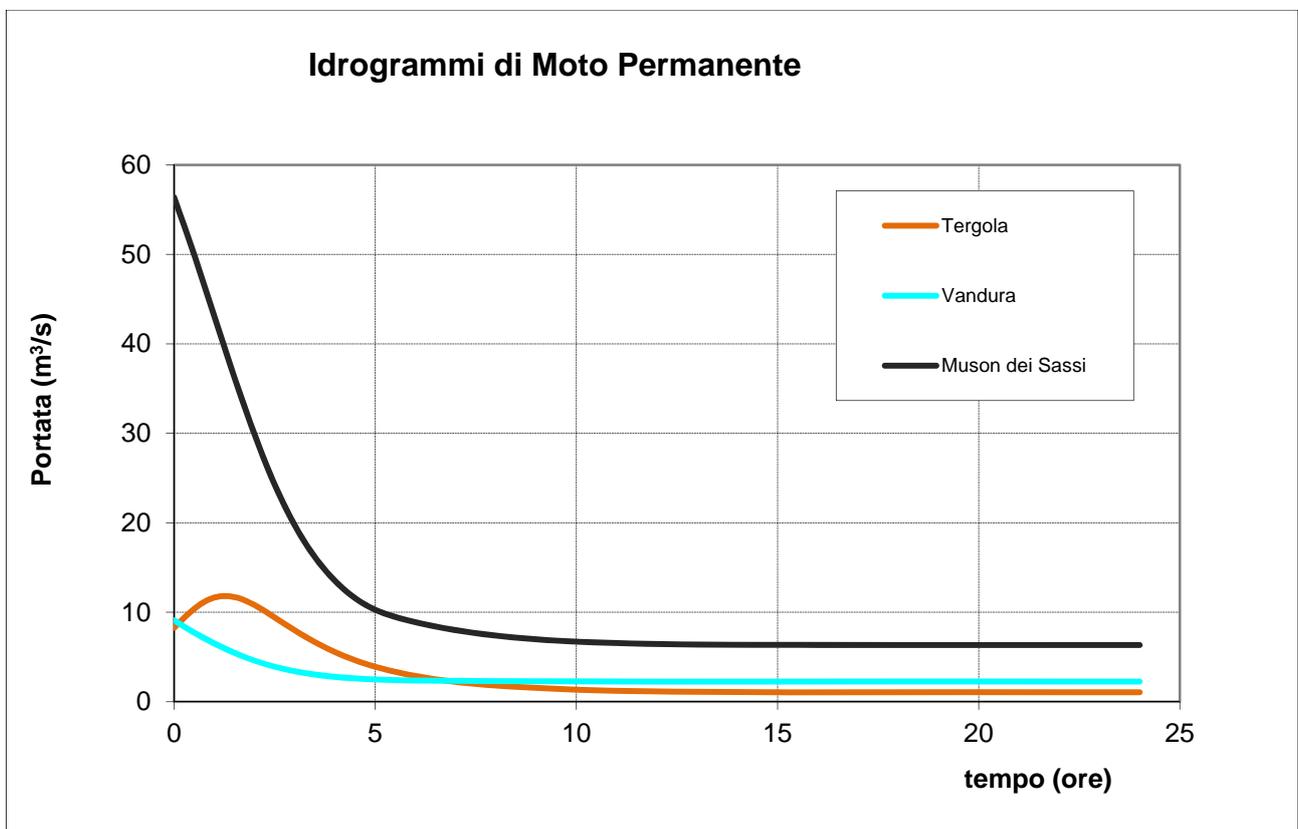


Fig.5.11 Idrogrammi dei corsi d'acqua confluenti nella zona sud del dominio

Si mostrano inoltre i tiranti raggiunti in corrispondenza dei principali nodi idraulici.



Fig.5.12 Tiranti in corrispondenza del nodo idraulico di Castelfranco Veneto (TV)

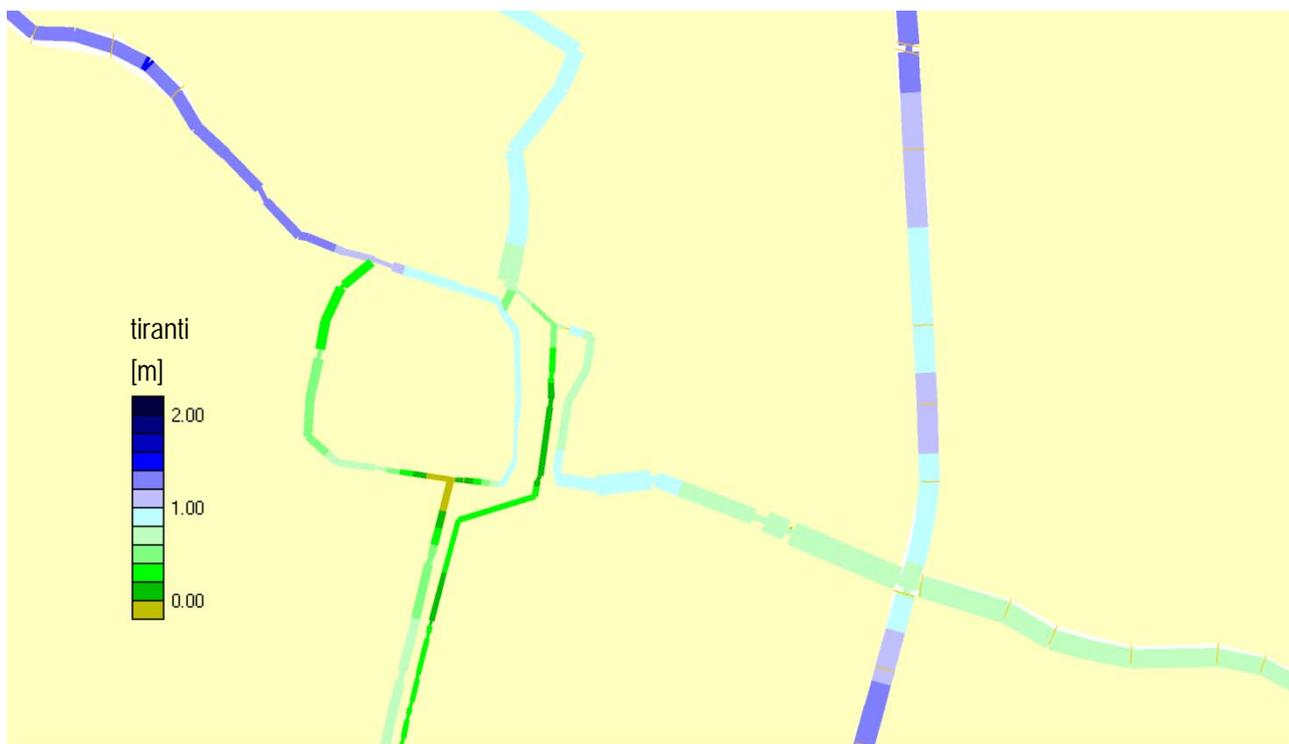


Fig.5.13 Tiranti in corrispondenza del nodo idraulico di Camposampiero (PD)

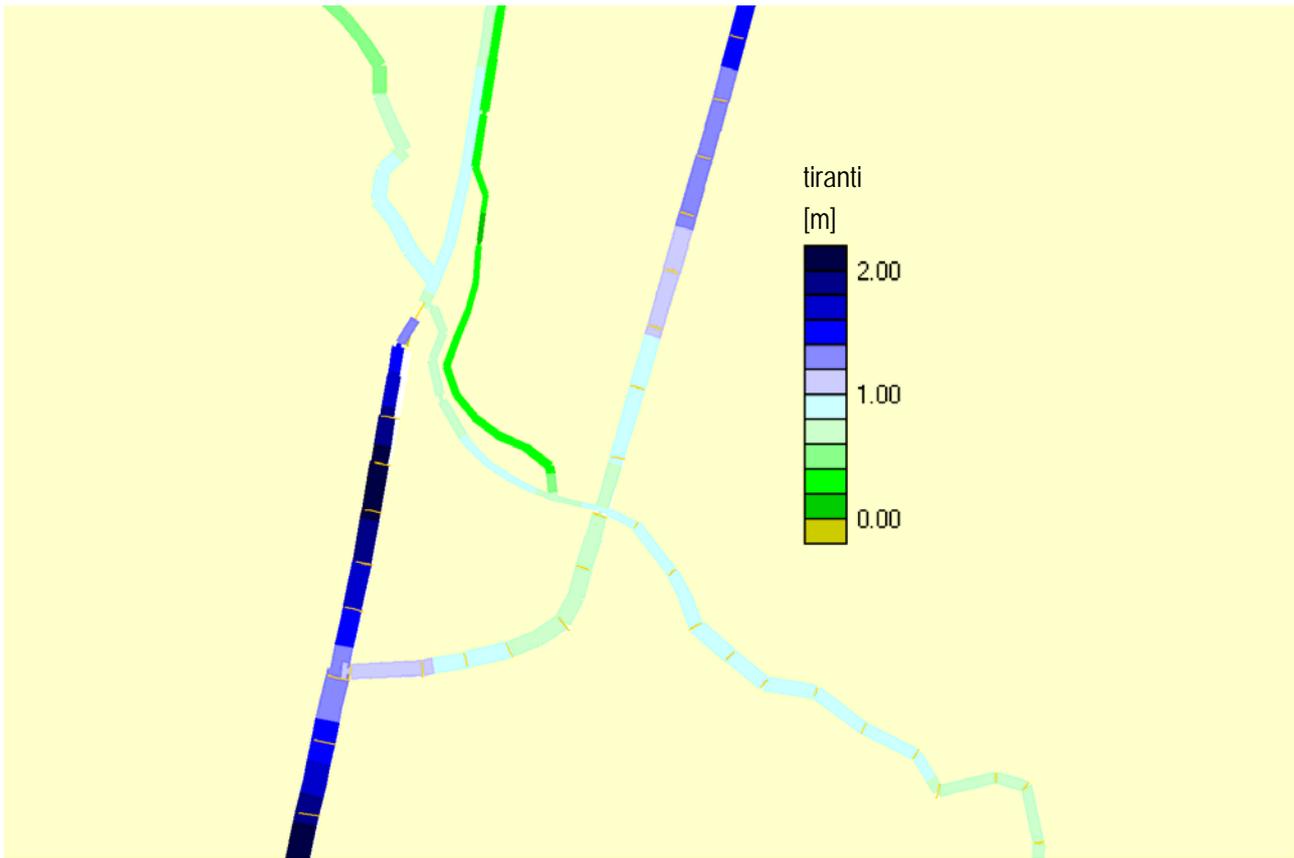


Fig.5.14 Tiranti in corrispondenza del nodo idraulico di Torre di Burri (PD)

È possibile osservare come le condizioni di moto permanente siano soddisfacentemente raggiunte al termine della simulazione, dopo un breve periodo di assestamento dovuto alle condizioni iniziali imposte dalla prima fase. Si può notare inoltre come, in alcuni casi, i valori di portata raggiunti siano superiori a quelli assegnati nelle condizioni al contorno e sopra elencati; ciò è dovuto all'aggiunta dei contributi provenienti dai corsi d'acqua affluenti, avendo scelto come sezioni per la rappresentazione dell'andamento della portata le ultime disponibili all'interno del dominio.

I tiranti, invece, come ipotizzabile, si mantengono intorno a valori molto bassi, inferiori ai 2 m (ad esclusione ovviamente del Muson dei Sassi a sud di Camposampiero).

Gli obiettivi dell'esecuzione di una simulazione a moto permanente sono principalmente due:

- generare delle condizioni iniziali di livello all'interno dei canali 1D da utilizzare per le simulazioni a moto vario;
- evidenziare eventuali errori residui effettuati in fase di realizzazione della geometria e costruzione del reticolo di calcolo.

Infatti, la presenza di maglie allagate nel corso di una simulazione a moto permanente può essere considerata come un segnale d'errore in quanto, considerando le portate contenute, è alquanto improbabile che il livelli così raggiunti possano portare ad allagamenti. Ciò si è verificato anche nel corso del presente studio, dove i risultati sopra illustrati sono stati ottenuti solo in seguito ad un lavoro di rifinitura della geometria, in particolare in corrispondenza delle zone (soprattutto a nord di Castelfranco Veneto) in cui sono stati avvistati degli allagamenti imprevisti; esaminando tali allagamenti è stato riscontrato, in particolare, come le file di maglie adiacenti ai canali 1D presentassero quota inferiore a quella che invece

avrebbero dovuto possedere secondo quanto indicato nelle sezioni dei canali stessi. Questo inconveniente, dovuto sostanzialmente ad una discrepanza tra le quote estratte dalla CTR e quelle riportate nelle sezioni, è stato risolto modificando le quote delle file di maglie adiacenti ai canali 1D laddove necessario (facendole quindi coincidere con quelle ricavate dalle sezioni, molto più precise ed affidabili) ed assegnando a tali maglie un coefficiente  $a_r$  pari a 0.01, in modo tale da non trasmettere acqua alle maglie circostanti quando il livello è effettivamente inferiore rispetto alle quote delle maglie stesse. Essendo infatti queste maglie caratterizzate (per costruzione) da aree ridotte, è ragionevole assumere che l'ampiezza delle irregolarità al loro interno, concettualizzata nel parametro  $a_r$ , sia piuttosto limitata.

## 5.4 Analisi di sensibilità

Una volta ottenute le condizioni iniziali tramite le simulazioni a moto permanente, e noti gli idrogrammi di piena già descritti precedentemente, si dispone di tutte le condizioni necessarie ad effettuare una simulazione a moto vario di un evento di piena. Per avere una conferma riguardo l'attendibilità dei risultati che si andrebbero ad ottenere sarebbe necessario effettuare a priori una calibrazione del modello, confrontando i risultati del calcolo con misure effettuate nel corso di eventi reali e modificando i coefficienti di scabrezza  $k_s$  utilizzati nel modello in modo tale che approssimi al meglio i valori verificatisi negli eventi reali. Nel presente studio una calibrazione di questo tipo non è stata però, purtroppo, realizzabile in quanto non si disponeva di misure recenti di eventi reali, necessarie allo svolgimento della stessa e, in particolare, all'imposizione delle corrispondenti condizioni al contorno. Per definire dunque il grado di precisione dei risultati ottenuti con il modello si è ricorso in questa fase all'esecuzione di un'analisi di sensibilità.

Tale analisi consiste sostanzialmente nell'eseguire una simulazione variando, in aumento ed in diminuzione, i coefficienti di Strickler di una delle caratteristiche geomorfologiche del territorio definite nel dominio mantenendo però fissi i valori delle altre, in modo da evidenziare l'effetto che la modifica del  $k_s$  in esame comporta sul sistema; la simulazione viene quindi ripetuta per ognuna delle scabrezze assunte. Dai risultati dell'analisi sarà possibile quindi definire il range di incertezza dei risultati che si andranno ad ottenere nel corso della simulazione dell'evento di piena.

Per svolgere l'analisi di sensibilità si è scelto di utilizzare come condizioni al contorno gli idrogrammi di piena relativi all'evento critico con tempo di ritorno di 100 anni, applicando però una riduzione percentuale in modo che il deflusso all'interno dei corsi d'acqua sia sufficientemente sostenuto ma non tale da provocare importanti esondazioni ed allagamenti; a tal proposito, la riduzione applicata è stata del 50%. Pertanto, sulla base dell'entità delle portate immesse che consente di assumere la permanenza del flusso d'acqua all'interno dell'alveo per tutta la durata della simulazione, la categoria di coefficienti di scabrezza ritenuta influente ai fini di una variazione consistente dei risultati è stata quella relativa alle superfici costituenti gli alvei, comprendente cioè le classi "alveo dei corsi d'acqua" e "manufatti in calcestruzzo" (in altre parole, le classi di scabrezza assegnate ai canali 1D).

Oltre alla condizione "base" quindi, cui risultano assegnati i coefficienti  $k_s$  discussi al paragrafo 3.4, sono stati ipotizzati altri due diversi scenari:

- una configurazione del dominio "liscia", con coefficienti di Strickler incrementati e pari a  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per l'alveo e  $45 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per i manufatti in cls

- una configurazione del dominio "scabra", con coefficienti di Strickler ridotti e pari a  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per l'alveo e  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per i manufatti in cls

Sono stati invece mantenuti invariati in ciascuna delle simulazioni effettuate i valori dei coefficienti di scabrezza  $k_s$  assegnati ai manufatti riprodotti nel reticolo di calcolo, discussi nel paragrafo 4.1, in quanto opportunamente testati e modificati nel corso della simulazione a moto permanente, verificando come un'errata definizione degli stessi provocasse rigurgiti eccessivi ed allagamenti localizzati; i valori definitivi adottati per riprodurre il funzionamento idraulico di tali manufatti sono quelli già elencati al paragrafo sopra richiamato.

Vengono di seguito mostrati gli idrogrammi utilizzati per lo svolgimento dell'analisi di sensibilità, messi a confronto con le portate originarie a disposizione relative all'evento critico con tempo di ritorno di 100 anni, allo scopo di fornire indicativamente l'entità delle portate al colmo fluenti all'interno dei corsi d'acqua del dominio.

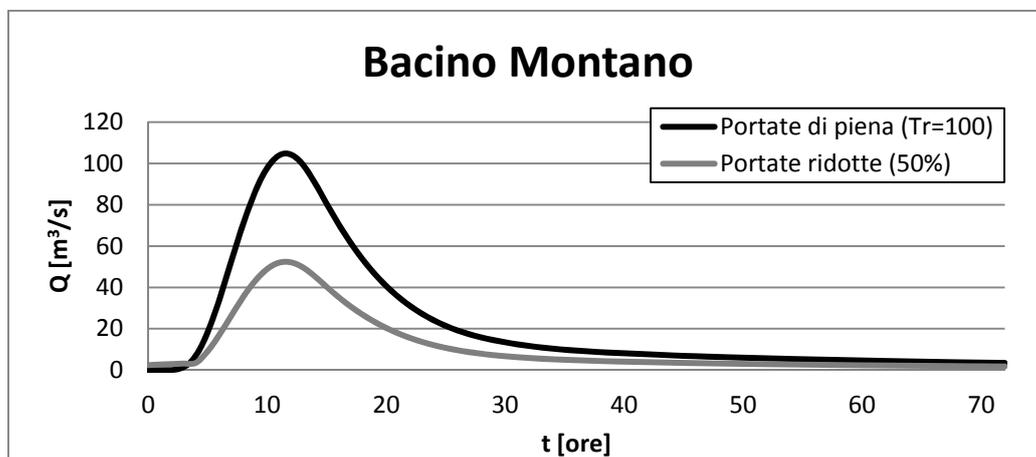


Fig.5.15 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi al Bacino Montano

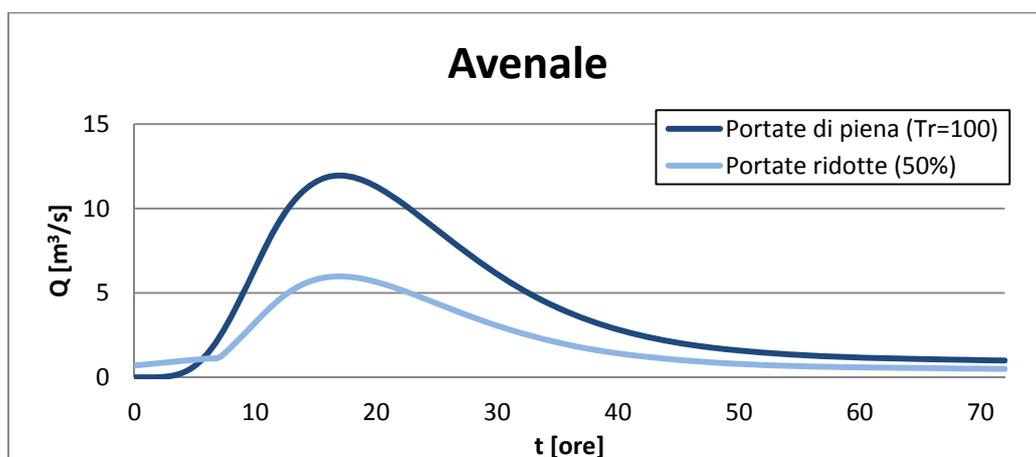


Fig.5.16 Confronto tra gli idrogrammi di piena della Fossa Avenale

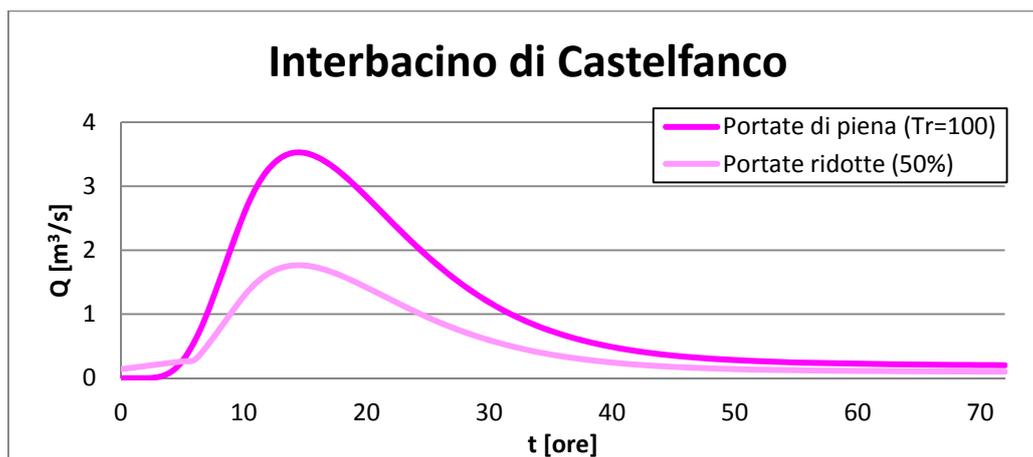


Fig.5.17 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi all'interbacino di Castelfranco Veneto (TV)

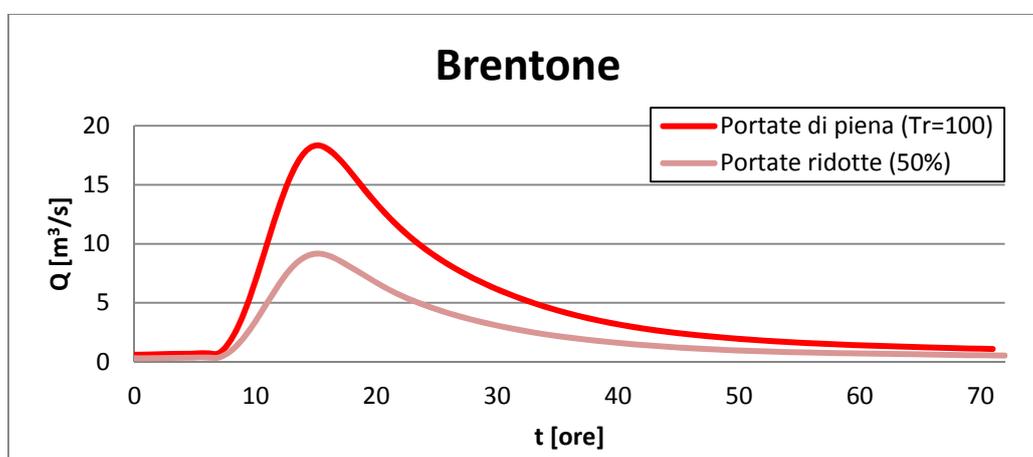


Fig.5.18 Confronto tra gli idrogrammi di piena del Torrente Brenton-Pighenzo

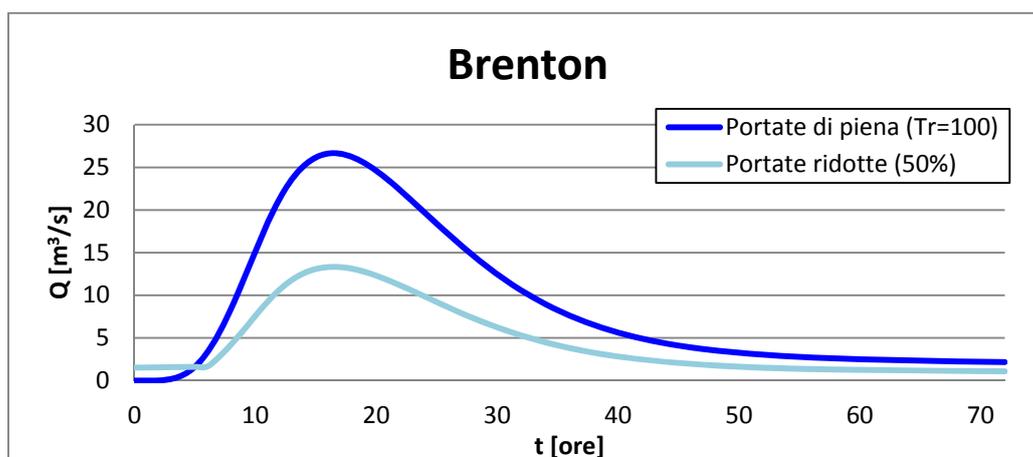


Fig.5.19 Confronto tra gli idrogrammi di piena del Torrente Brenton-Ca' Mula

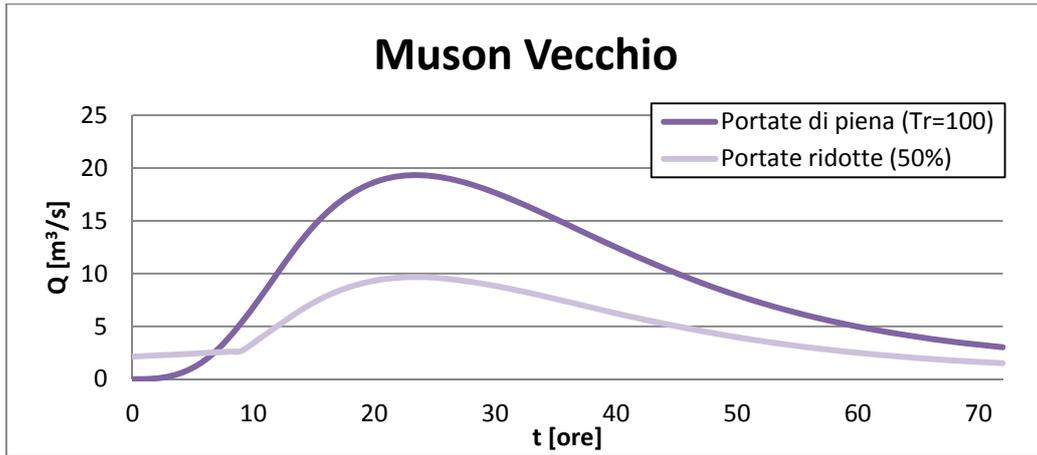


Fig.5.20 Confronto tra gli idrogrammi di piena del Fiume Muson Vecchio

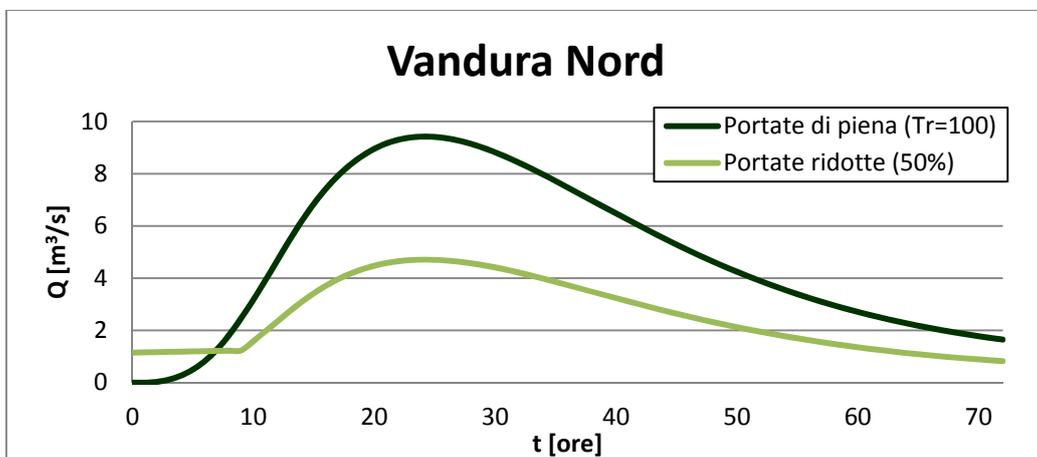


Fig.5.21 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alla parte nord del Fosso Vandura

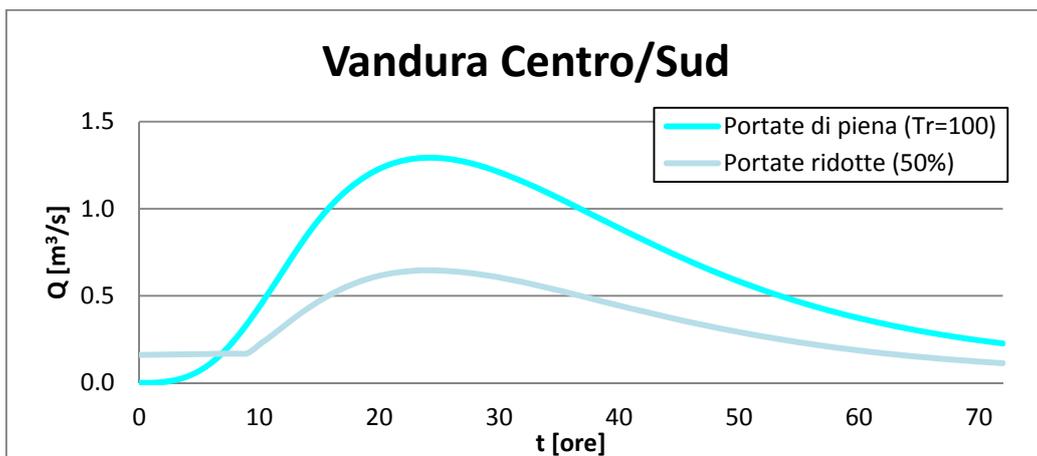


Fig.5.22 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alla parte centro/sud del Fosso Vandura

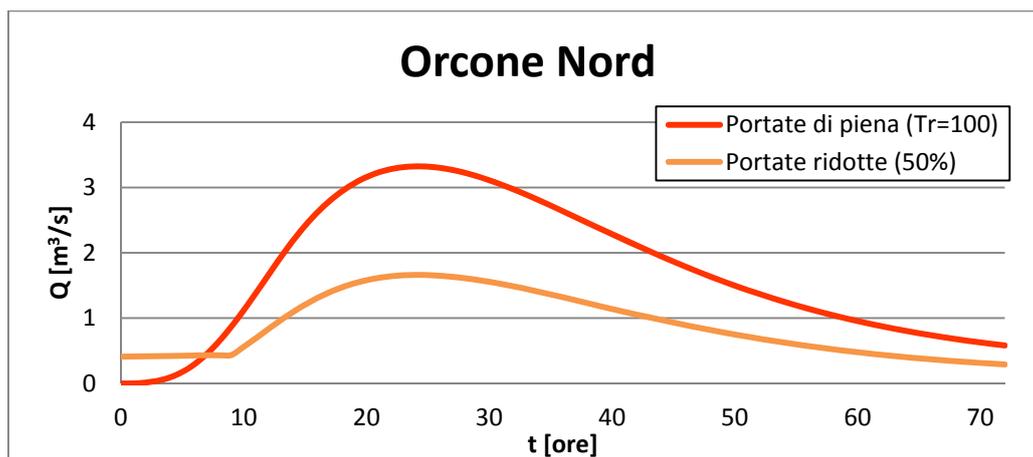


Fig.5.23 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alla parte nord dello Scolo Orcone

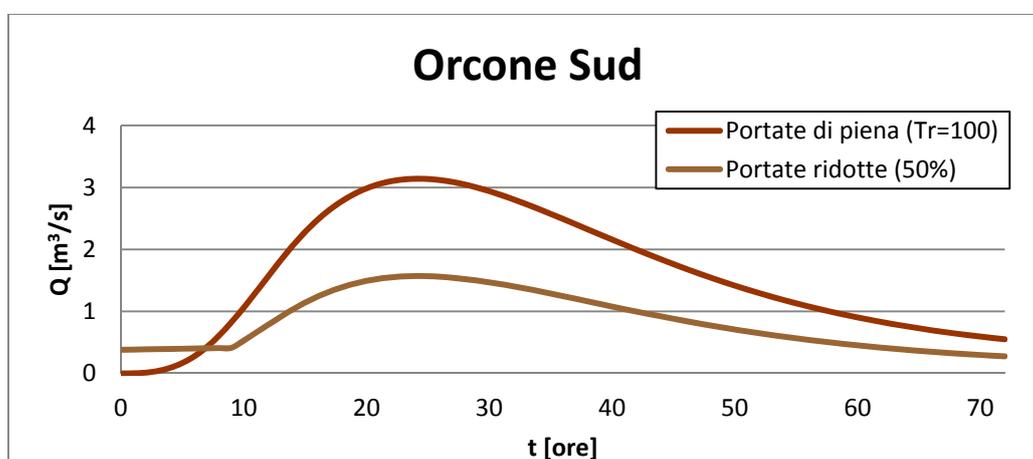


Fig.5.24 Confronto tra gli idrogrammi di piena relativi alla parte sud dello Scolo Orcone

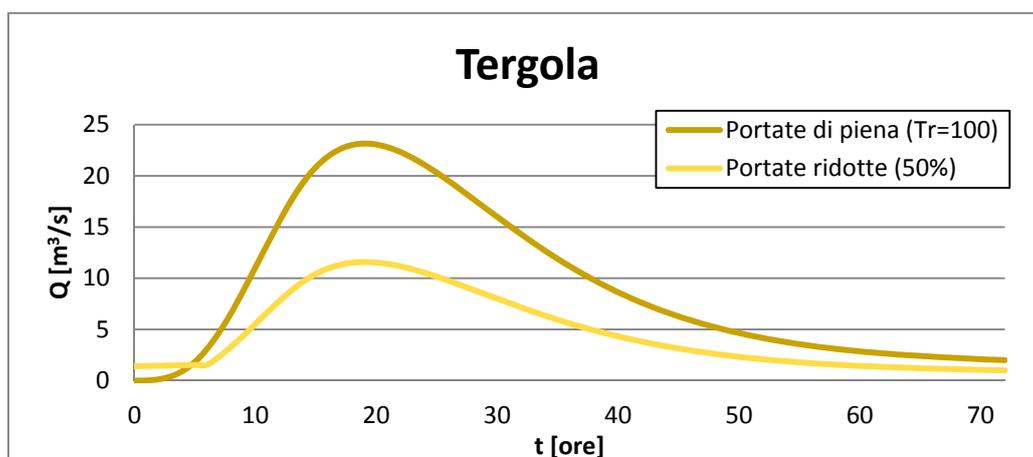


Fig.5.25 Confronto tra gli idrogrammi di piena del Fiume Tergola

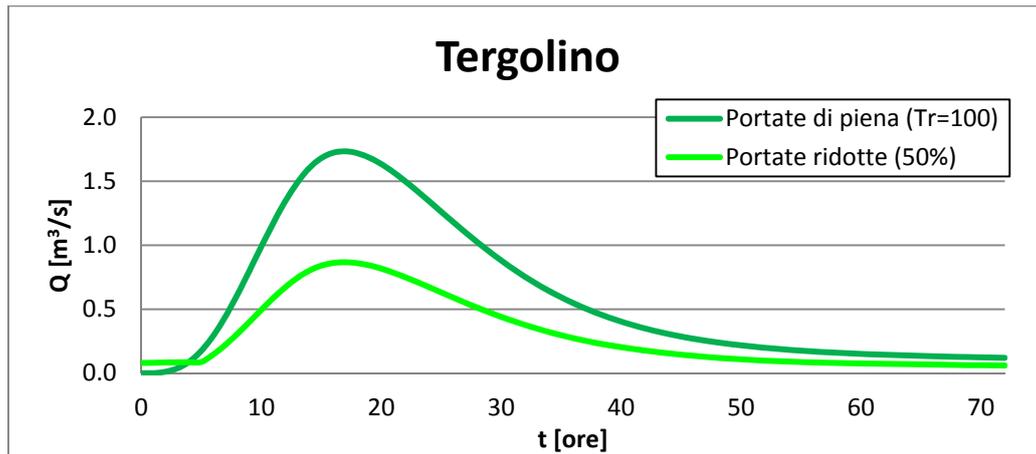


Fig.5.26 Confronto tra gli idrogrammi di piena del Fiume Tergolino

Considerata la complessità e l'estensione della rete idrografica riprodotta nel dominio, si ritiene necessario focalizzare l'attenzione sui risultati, in termini di livelli e portate, ottenuti relativamente al Torrente Muson dei Sassi, il quale rappresenta peraltro il corso d'acqua principe su cui si incentra la presente trattazione. Vengono pertanto di seguito illustrati:

- le variazioni di livello della superficie libera nel corso delle 72 ore simulate, con particolare riferimento a tre sezioni significative individuate all'interno del dominio, ossia:
  - in prossimità dell'idrometro ARPAV ubicato a Castelfranco Veneto (TV) in corrispondenza al ponte di attraversamento della SR245, poco a monte della confluenza con la Fossa Avenale;
  - a Camposampiero (PD), immediatamente a monte del pontecanale con cui il Muson Vecchio sottopassa il Muson dei Sassi, ove risulta collocato uno degli idrometri gestiti dal Consorzio Acque Risorgive (stazione SMB09);
  - a Campodarsego (PD), circa 200 m più a valle del ponte di attraversamento della SP70, in corrispondenza all'idrovora denominata "Moretta" dove risulta ubicato un ulteriore idrometro del Consorzio Acque Risorgive (stazione SMB42).
- gli idrogrammi di piena ottenuti al termine delle tre configurazioni simulate, con riferimento ad una sezione presa immediatamente a monte della confluenza in Brenta del Muson dei Sassi, presso Vigodarzere (PD).
- i profili longitudinali ottenuti dall'involuppo dei massimi livelli raggiunti lungo l'asta del torrente Muson dei Sassi nel corso delle tre simulazioni, con indicazione delle quote dei rilevati arginali nel tratto del corso d'acqua compreso tra Castelfranco Veneto e la confluenza in Brenta.

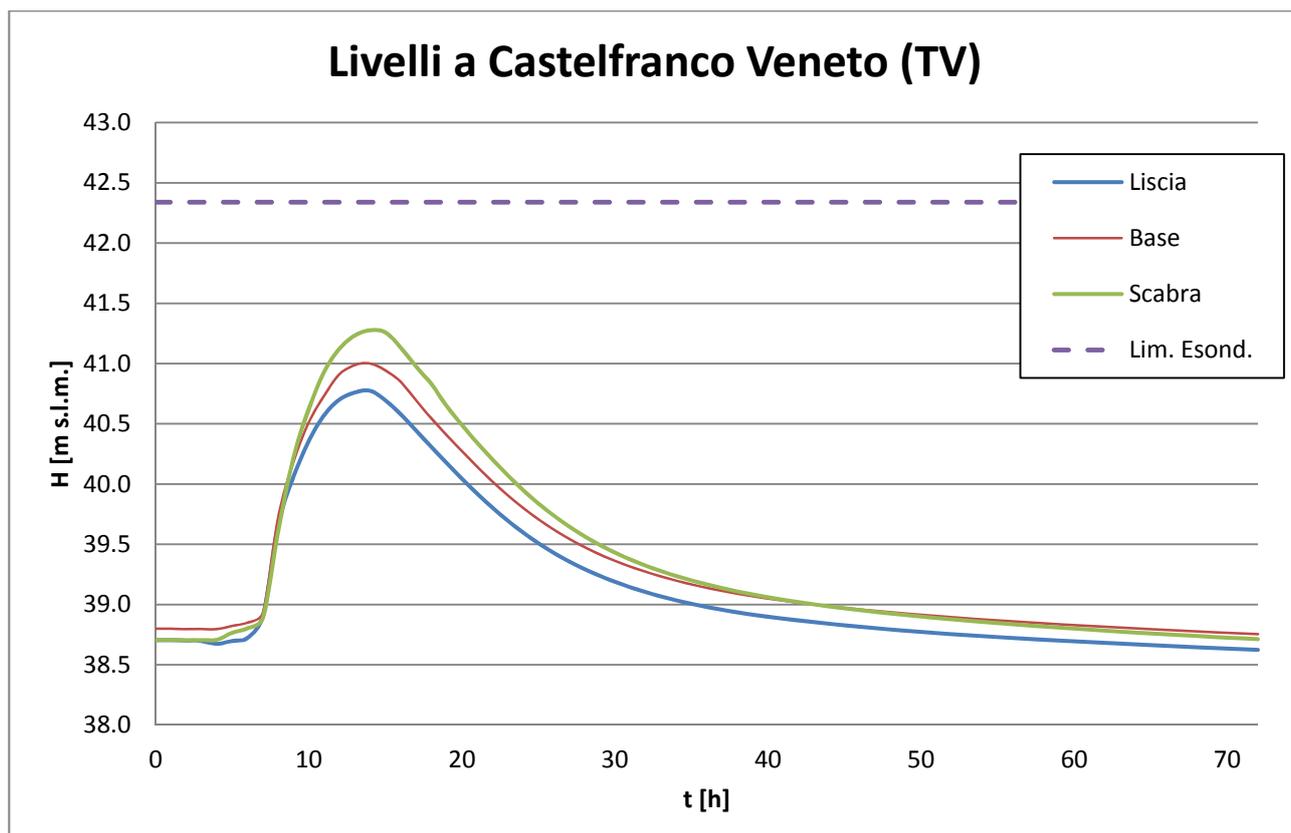


Fig.5.27 Variazione dei livelli in alveo in prossimità dell'idrometro ARPAV di Castelfranco Veneto (TV)

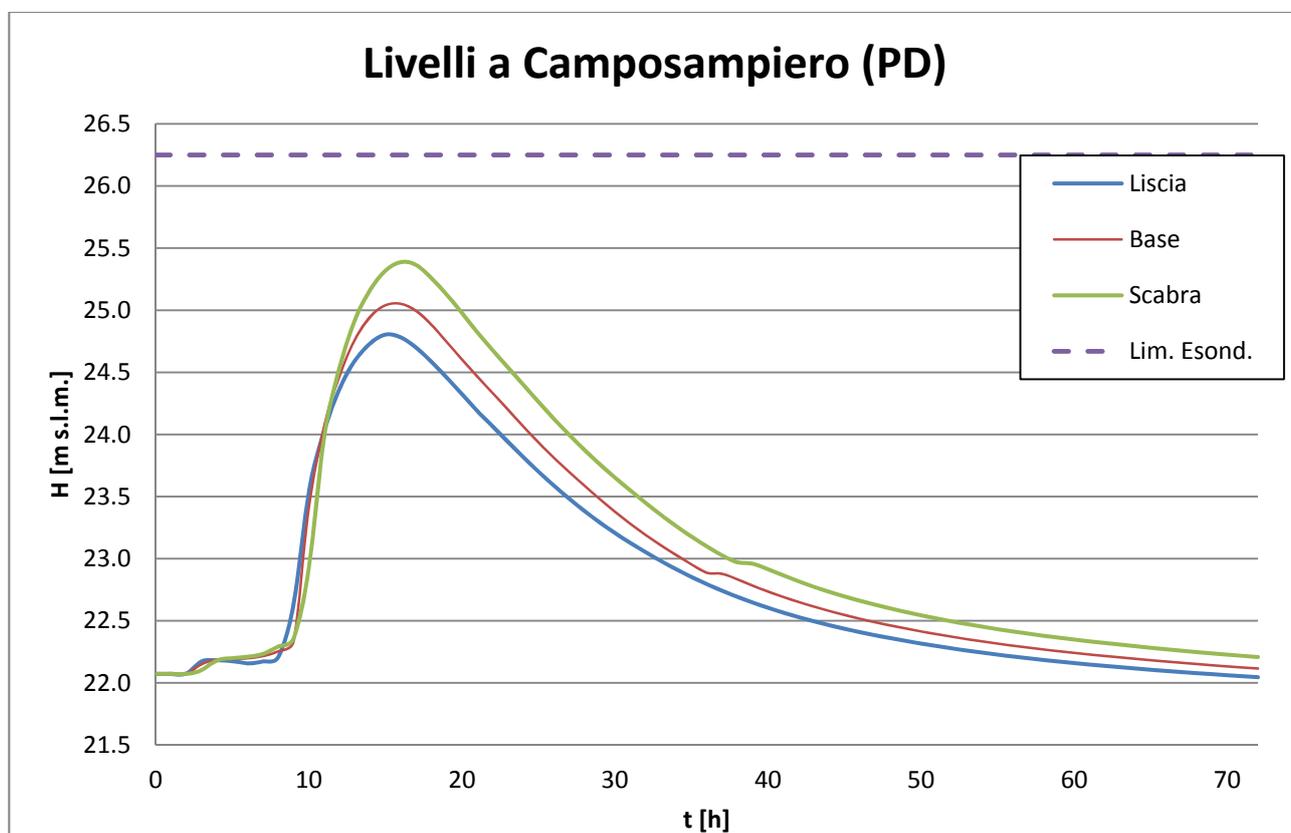


Fig.5.28 Variazione dei livelli in alveo in prossimità dell'idrometro SMB09 di Camposampiero (PD)

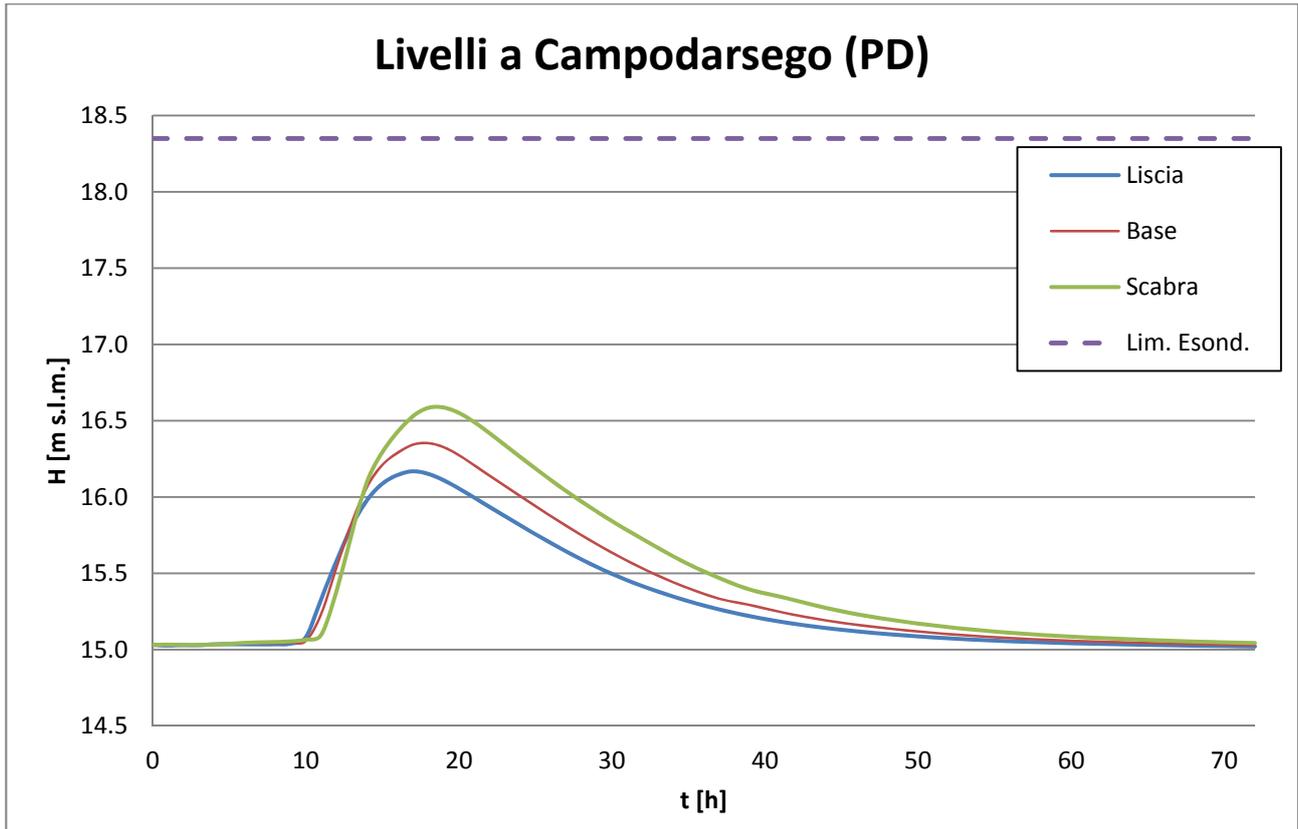


Fig.5.29 Variazione dei livelli in alveo in prossimità dell'idrometro SMB42 di Campodarsego (PD)

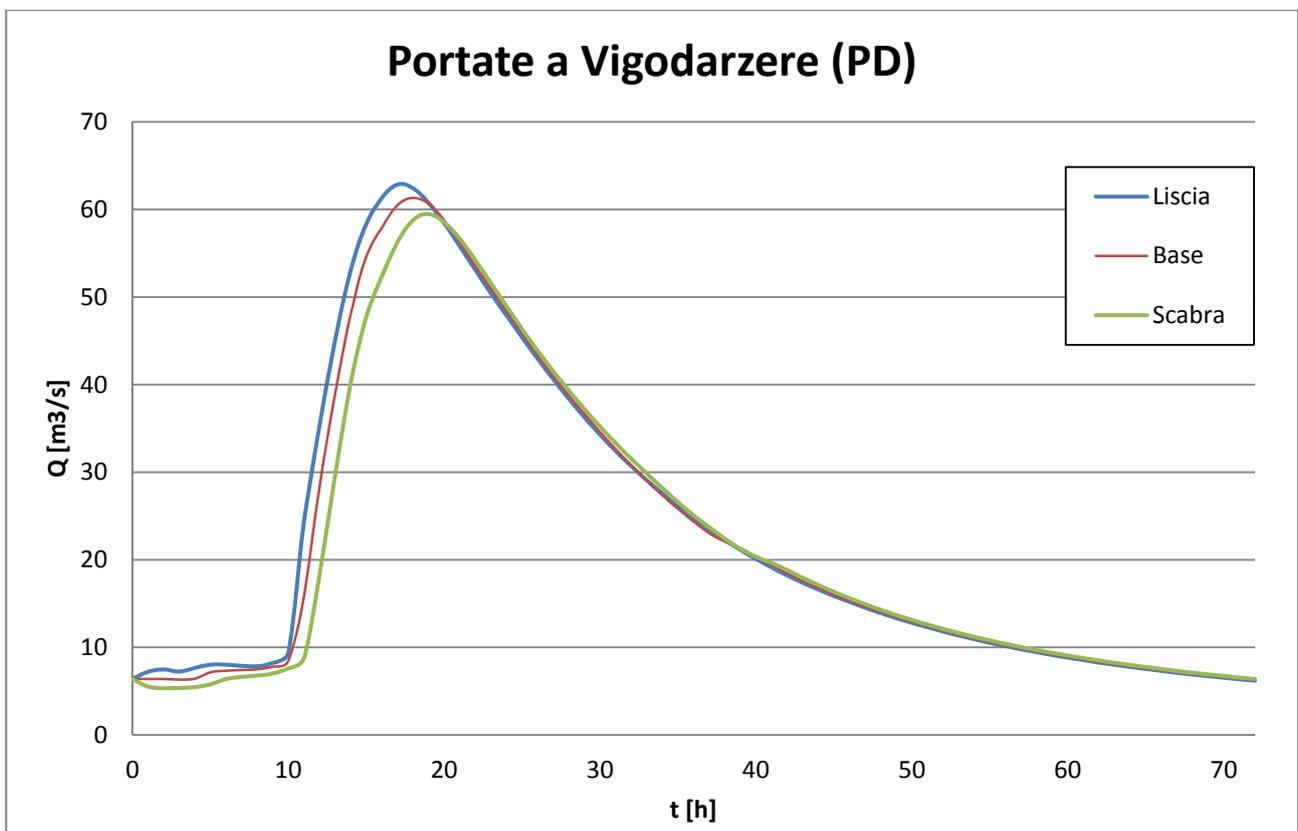


Fig. 5.30 Idrogramma delle portate del Torrente Muson dei Sassi poco più a monte della confluenza in Brenta

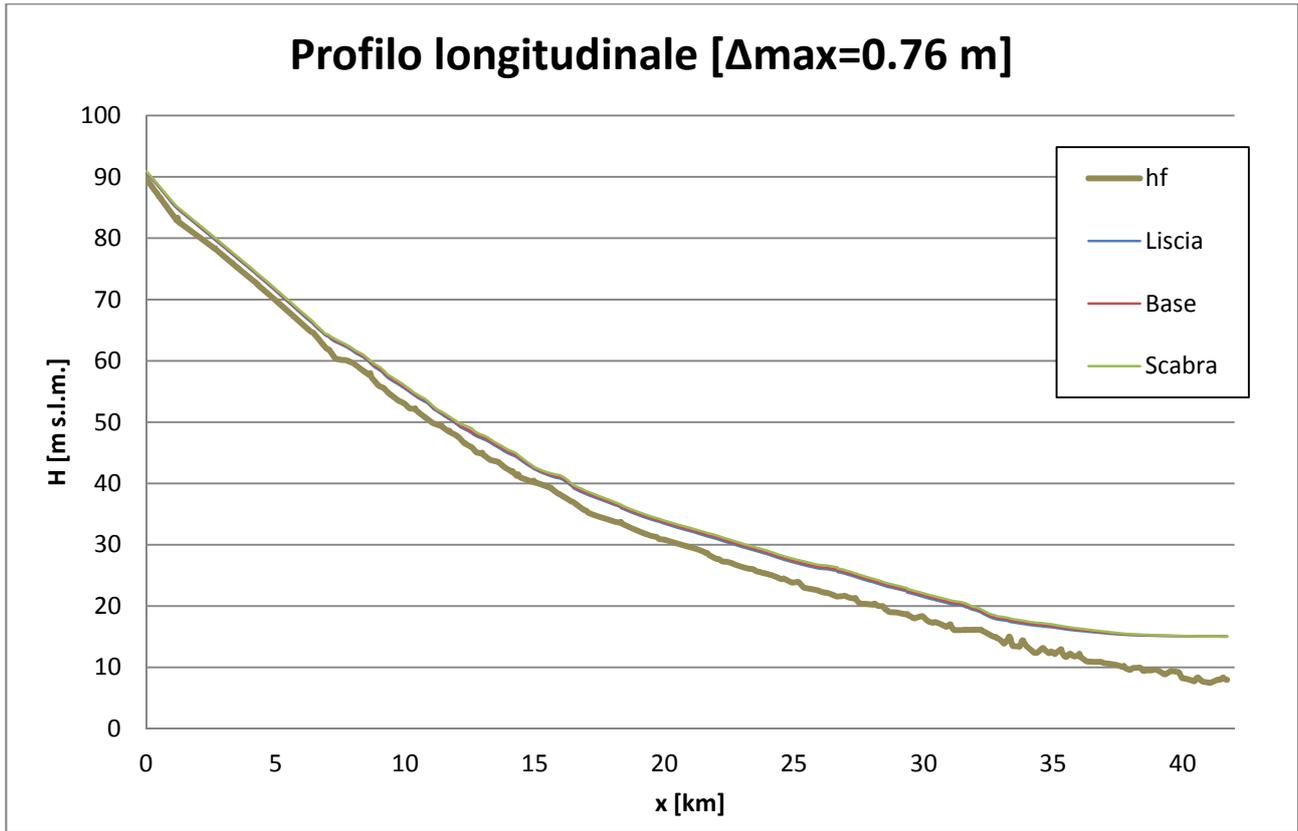


Fig. 5.31 Involuppo massimo dei livelli raggiunti lungo l'asta del Muson dei Sassi nel corso della simulazione

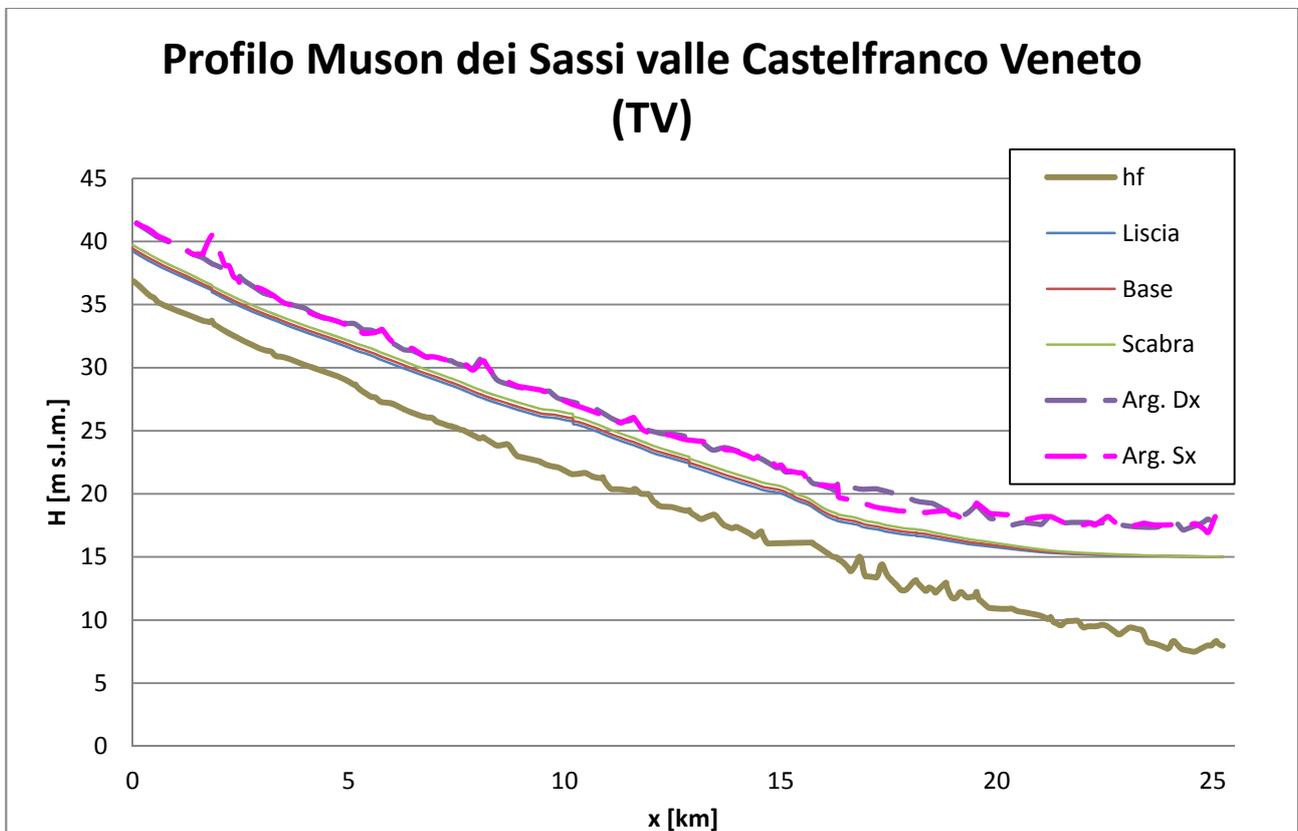


Fig. 5.32 Involuppo massimo dei livelli, con riferimento al tratto arginato del Muson dei Sassi a valle di Castelfranco Veneto (TV)

Alla luce dei risultati ottenuti, è possibile effettuare le seguenti osservazioni:

- dall'analisi dei livelli registrati si riscontra immediatamente come, in tutte le sezioni considerate, gli idrogrammi si mantengano pressoché coincidenti durante le prime ore di simulazione ma si discostino poi all'avvicinarsi del colmo di piena; all'aumentare della scabrezza d'alveo, infatti, i massimi valori di livello ottenuti nelle tre diverse configurazioni divergono non soltanto in termini di valore ma anche di istante in cui tali massimi vengono raggiunti. In particolare, nella sezione di Castelfranco Veneto si verifica solo una differenza di tipo metrico (da 40.77 m s.l.m.m. del caso "liscio" ai 41.28 m s.l.m.m. della configurazione "scabra", raggiunti entrambi a 14 ore) mentre scendendo verso valle le traslazioni dell'istante in cui il massimo viene raggiunto si fanno più evidenti, trovando maggior realizzazione nella sezione di Campodarsego (16.17 m s.l.m.m. a 20 ore in configurazione "liscia" contro i 16.59 m s.l.m.m. raggiunti a 22 ore in condizioni "scabre"). In tutti i casi esaminati, comunque, i livelli si mantengono al di sotto del "limite di esondazione", quota del piano campagna o, dove presenti, delle sommità arginali superate le quali hanno origine gli allagamenti.
- la situazione descritta in seguito all'esame dei livelli viene conseguentemente ritrovata nello studio delle portate, i cui idrogrammi presentano un andamento speculare: agli alti livelli della configurazione "scabra" corrisponde il colmo di piena più basso, pari a 59.49 m<sup>3</sup>/s, raggiunto a 19 ore, mentre la portata più alta viene raggiunta in condizioni "lisce" con 62.86 m<sup>3</sup>/s a 17 ore. Permane quindi la tendenza alla traslazione temporale, che vede anche in questo caso il colmo di piena della configurazione "scabra" giungere in ritardo rispetto alle altre condizioni analizzate; va notato inoltre come non vi sia perfetta corrispondenza tra l'istante in cui si verifica il livello massimo e quello di raggiungimento della portata al colmo, evidenziando la formazione del "cappio di piena", tipica del moto vario.
- l'inviluppo dei livelli massimi raggiunti ha portato alla definizione del più alto scostamento tra i profili delle due configurazioni limite (liscia e scabra), raggiunto nella parte nord del dominio poco più a valle della confluenza con il Rio Musonello, pari a 76 cm; spostandosi più a sud comunque il range d'incertezza diminuisce e difficilmente supera i 50 cm, fino quasi ad annullarsi nelle vicinanze della confluenza in Brenta, dove i livelli sono influenzati dalla condizione al contorno imposta pari a 15 m s.l.m.m..

## 5.5 Moto Vario

La sezione conclusiva del presente studio è incentrata sulla simulazione, effettuata a moto vario, delle conseguenze che si otterrebbero in seguito ad un evento di precipitazione critico con tempo di ritorno di 100 anni, ossia facendo circolare nel reticolo di calcolo la piena centenaria senza alcuna riduzione percentuale. La geometria del dominio è stata mantenuta immutata rispetto alla precedente fase e presenta pertanto le stesse caratteristiche ed incertezze riscontrate nel corso dell'analisi di sensibilità. I risultati ottenuti dalla simulazione così effettuata vengono di seguito descritti.

Le prime 7 ore dell'evento vedono una crescita molto rapida dei tiranti, senza però alcuna esondazione di rilievo; già in corrispondenza della decima ora si manifestano però alcune esondazioni: i punti critici si trovano a sud dell'abitato di Loria (TV), circa 1 km più a valle della confluenza con il Viazza, e lungo il Viazza stesso, qualche centinaio di metri a

monte di Loria; quest'ultimo episodio si espande però rapidamente, raggiungendo già alla dodicesima ora il centro abitato. Lungo il Muson, invece, mentre l'esondazione di Loria sembra mantenersi contenuta, un nuovo punto critico si manifesta a Castello di Godego (TV), a valle della confluenza con il Rio Musonello, con un'esondazione che prosegue fino alla 16esima ora arrivando ad interessare anche l'abitato di Villarazzo, immediatamente a nord di Castelfranco Veneto (TV). Nel corso di queste ore prendono piede altri due allagamenti: uno lungo il Brenton Ca' Mula, in corrispondenza all'abitato di Vallà di Riese Pio X (TV), e l'altra alla confluenza tra Tergola e Vandura in corrispondenza del nodo idraulico di Torre dei Burri (PD), con esondazione del Tergola risalente verso Nord-Est che non raggiunge inizialmente l'abitato di San Giorgio delle Pertiche (PD) poiché gli allagamenti restano confinati grazie allo sbarramento prodotto dal rilevato ferroviario. Mentre proseguono gli allagamenti finora discussi, alla 14esima ora il torrente Muson dei Sassi esonda a Nord Ovest di Camposampiero (PD), in prossimità del ponte della SP44, generando un allagamento che si espande verso ovest raggiungendo la SR308 Nuova Strada del Santo e da quest'ultima viene confinato, senza interessare dunque il centro storico di Camposampiero. Con il trascorrere delle ore, l'allagamento provocato dal Tergola a Torre dei Burri scavalca il rilevato ferroviario e giunge ad interessare l'abitato di San Giorgio delle Pertiche. Infine, intorno alla 20esima ora, si verifica un'esondazione del Muson Vecchio tra l'abitato di Brunati (PD) e quello di Camposampiero, espandendosi verso Sud Ovest ma restando contenuto entro l'arginatura in destra del Muson dei Sassi e il rilevato dell'ex ferrovia Treviso-Ostiglia. Nel corso delle ore successive le portate nei corsi d'acqua diminuiscono e non si verificano più esondazioni, fino al termine della simulazione al raggiungimento delle 72 ore.

Un caso a se' stante è rappresentato dal tratto del fiume Tergola che si sviluppa a Sud Ovest rispetto al Muson dei Sassi; infatti, in prossimità dell'abitato di Sant'Andrea, a Nord della confluenza tra Tergola e Tergolader, si presenta già dalla 15esima ora un allagamento, che si sviluppa espandendosi ed interessando una zona decisamente molto ampia ma che in realtà non trova riscontro con i tiranti in alveo raggiunti nel corso d'acqua, che si presentano sì elevati ma non tali da giustificare un'esondazione, per di più così sviluppata (la maggiore tra quelle verificatesi nel dominio nel corso della simulazione). L'attendibilità di tale allagamento resta quindi dubbia, eventualmente da riconsiderare in seguito ad una verifica più approfondita della geometria, disponendo magari di sezioni dell'alveo e quote del terreno più recenti da poter confrontare con quelle inserite nel reticolo di calcolo.

Un ultimo cenno, infine, viene fatto a riguardo delle vasche di laminazione; tra quelle inserite nel dominio e delle quali erano note le dimensioni della soglia sfiorante, solo una di queste è entrata in funzione nel corso dell'evento di piena, ossia quella di Ca' Mula sul fosso Brenton. In corrispondenza delle altre casse, invece, non sono stati raggiunti i tiranti necessari ad innescare il funzionamento delle stesse. È auspicabile però che con l'introduzione delle informazioni sugli organi di sfioro dei bacini mancanti, ed in particolare quello di Spineda alla confluenza tra Muson e Lastego, la situazione risulti decisamente modificata.

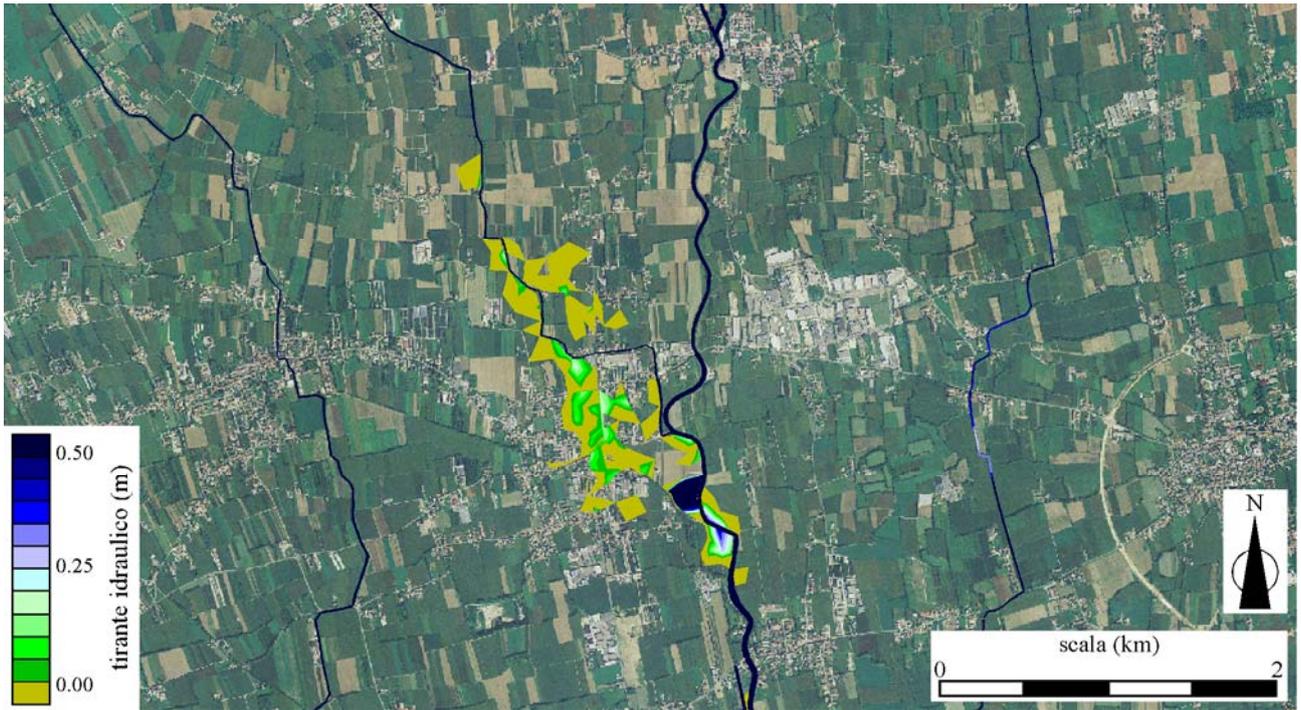


Fig.5.33 Allagamento in corrispondenza dell'abitato di Loria (TV)

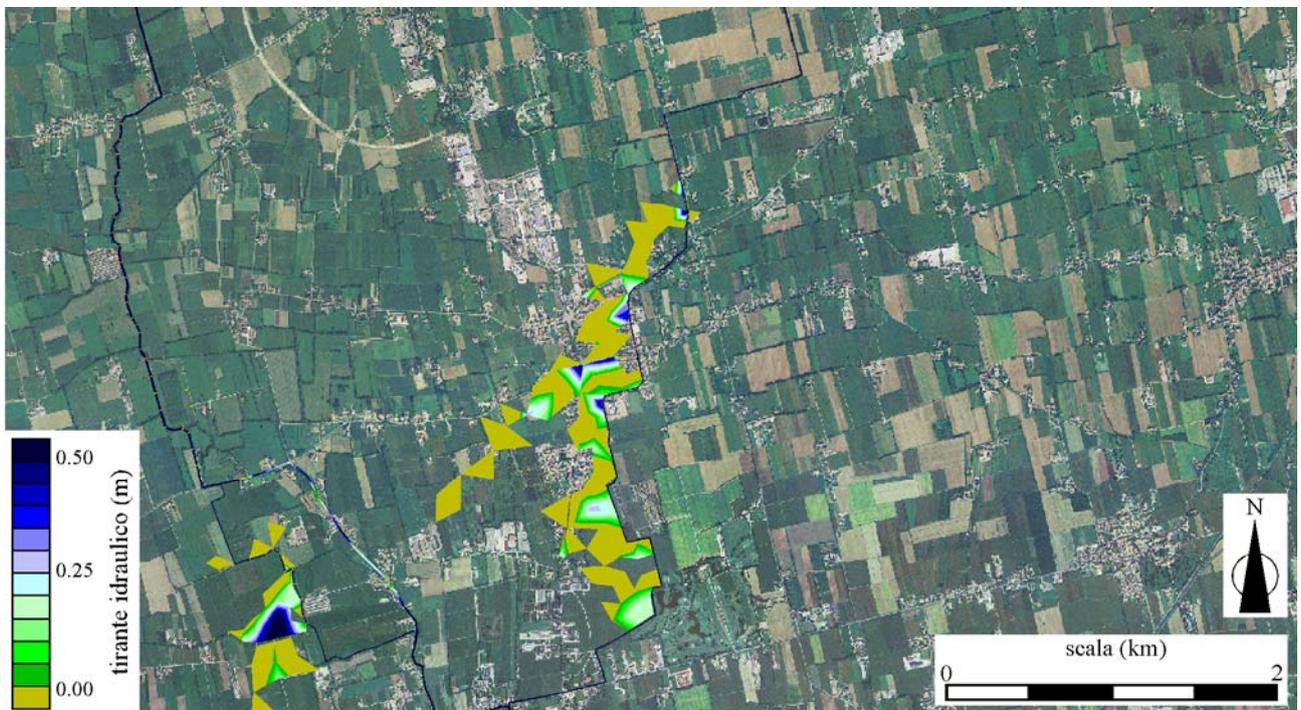


Fig.5.34 Esondazione del fosso Brenton in corrispondenza di Vallà di Riese Pio X (TV)

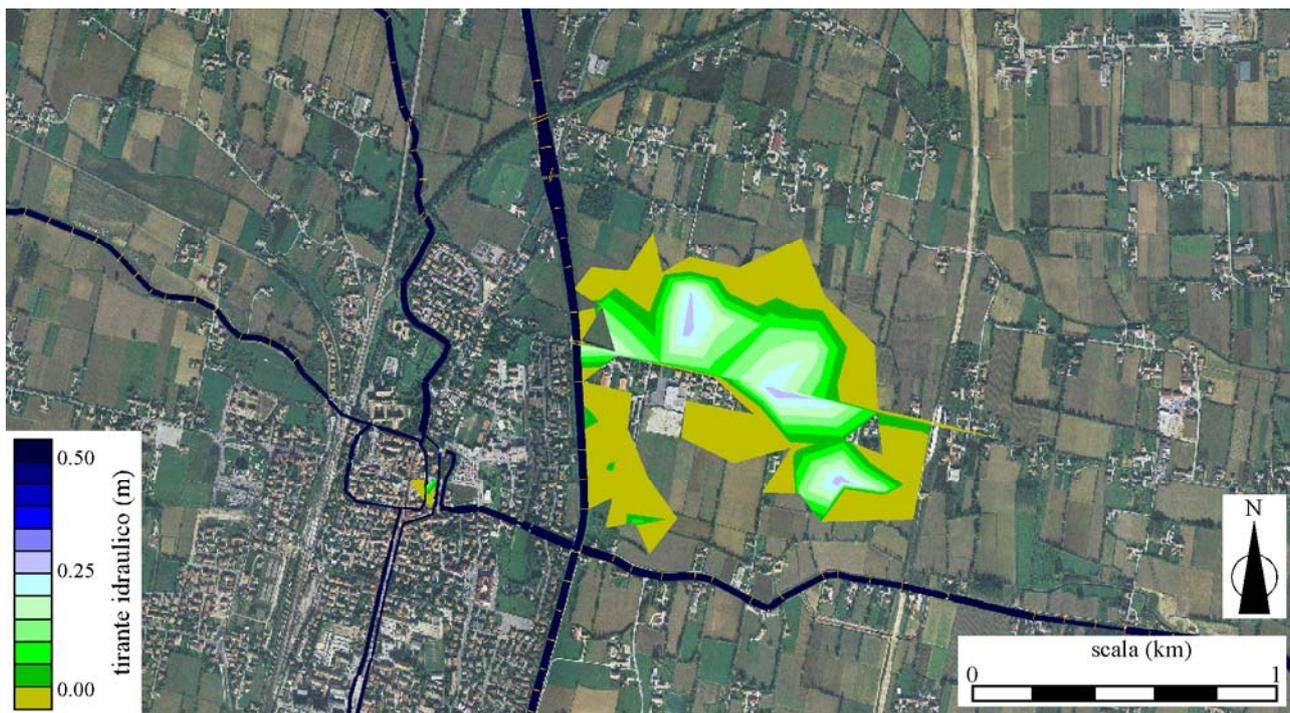


Fig.5.35 Esondazione del torrente Muson dei Sassi in corrispondenza del ponte della SP44

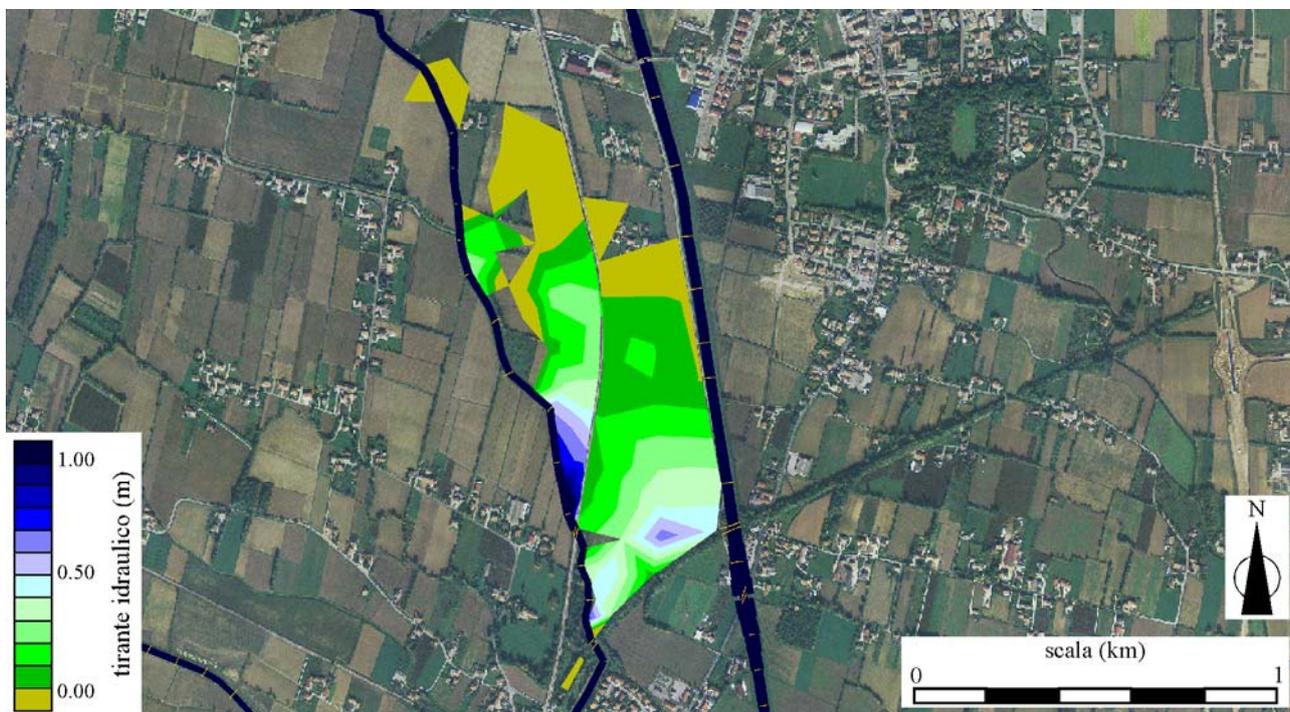


Fig.5.36 Allagamenti a nord di Camposampiero (PD) lungo il corso del Muson Vecchio

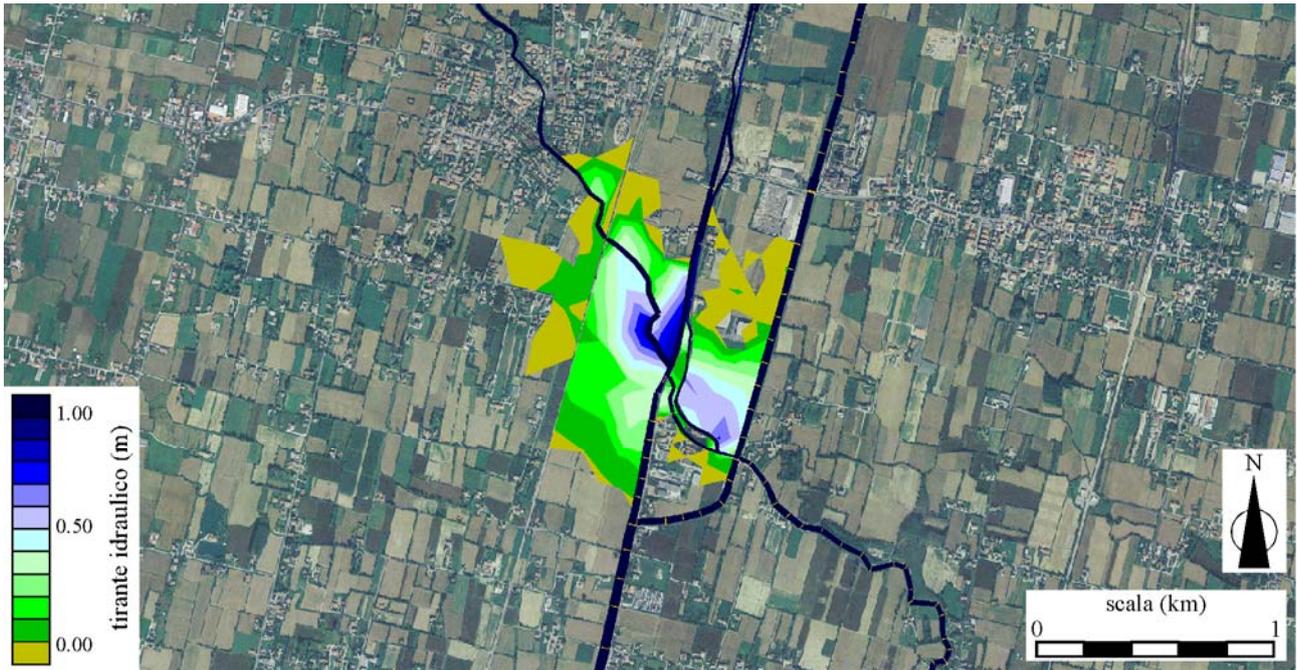


Fig.5.37 Esondazione del Tergola in località Torre di Burri (PD)

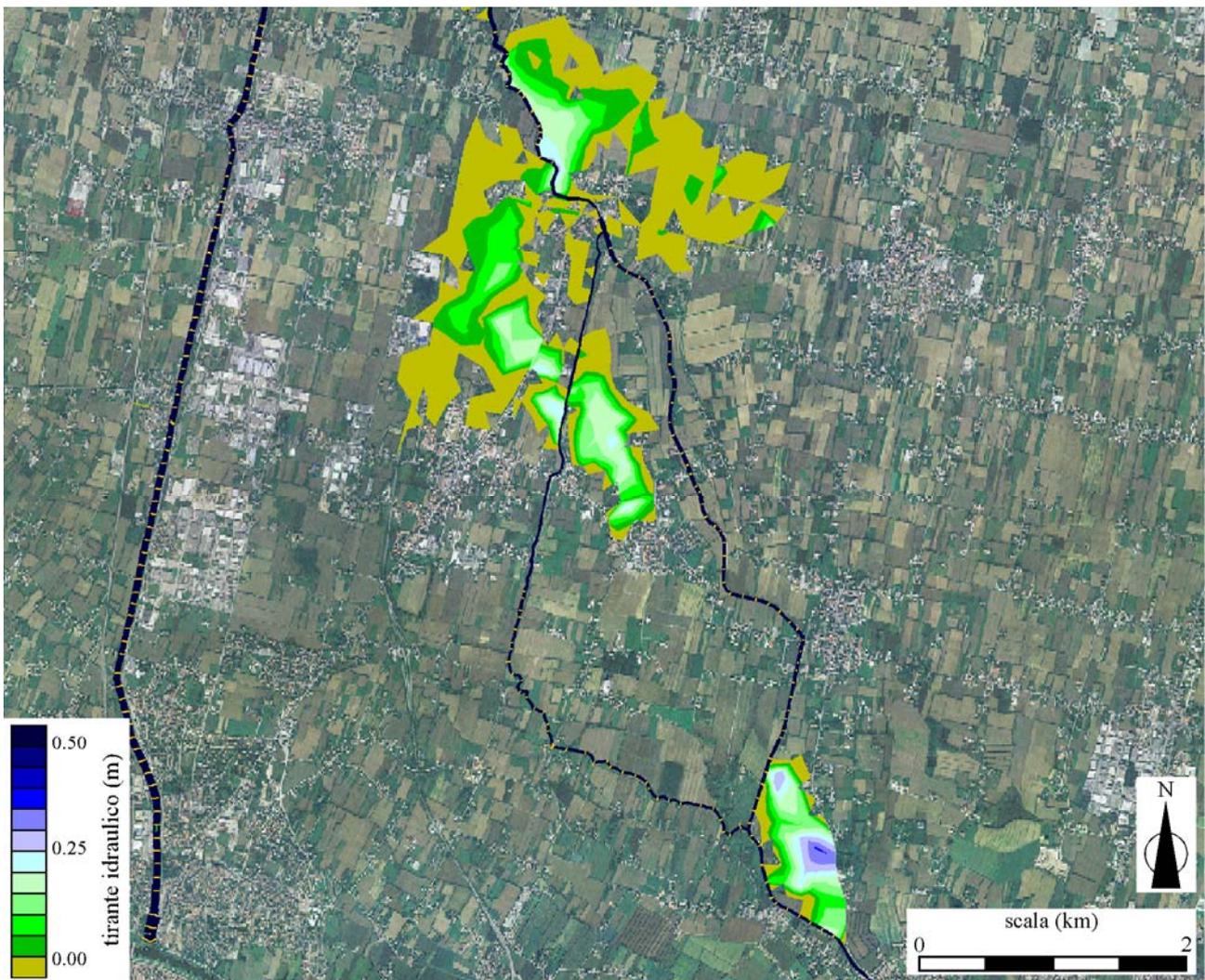


Fig.5.38 Esondazioni del Tergola a SW dell'asta del Muson dei Sassi

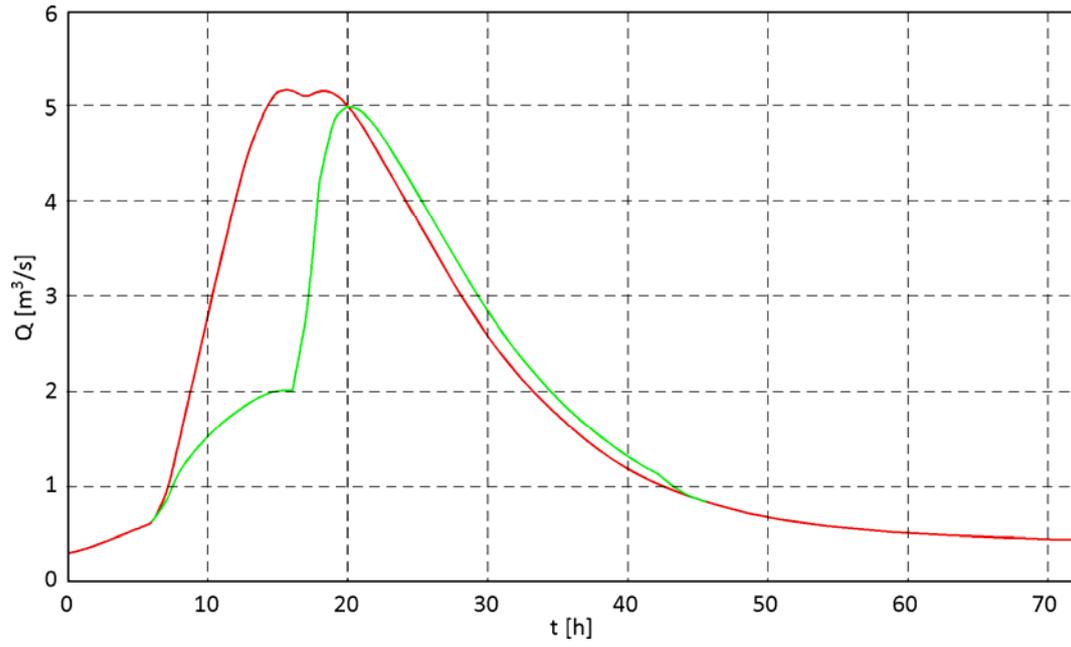


Fig.5.39 Effetto di laminazione prodotto dalla vasca di espansione di Ca' Mula lungo il Brenton

## 6 CONCLUSIONI

Analizzando i risultati ottenuti al termine della simulazione a moto vario è possibile constatare come, in generale, rispetto a quanto ricavato nel corso dei precedenti studi sul torrente Muson dei Sassi citati nel presente elaborato, le criticità del territorio si siano fatte meno numerose, in particolare lungo il Muson dei Sassi stesso il quale, salvo un paio di casi, ben mantiene il flusso contenuto all'interno dell'alveo. Da un lato questo può essere interpretato come un segnale che gli interventi di rinforzo delle arginature portati a termine nel corso dell'ultimo quinquennio hanno fornito un contributo positivo in termini di riduzione degli allagamenti; d'altro canto permane però ancora una certa sofferenza nella rete di canali secondaria afferente al Muson e, soprattutto, continua a ripresentarsi puntualmente il problema del nodo idraulico di Torre dei Burri, come confermano anche le recenti testimonianze di esondazione del novembre 2012.

È importante sottolineare però prima di tutto che il modello attende ancora di essere sottoposto alla fase di calibrazione, attuabile nel momento in cui, nell'ambito del progetto Smart Water, sarà predisposto il modello geomorfologico, attualmente in fase di elaborazione. Va detto inoltre che la rappresentazione del dominio configurata nel corso del presente studio si basa su caratteristiche del territorio che, fatta eccezione per il tratto del Muson dei Sassi a sud di Camposampiero, non si possono considerare sufficientemente recenti in quanto risalenti ad anni precedenti le opere di sistemazione idraulica realizzate di cui si faceva cenno al paragrafo 1.4. Non escludendo infine la possibilità, come si è potuto osservare nel corso delle simulazioni, che la geometria necessiti ancora in alcuni punti di modifiche ed aggiornamenti, si può concludere che il lavoro di modellazione effettuato non si possa certo ritenere definitivo ma rappresenti comunque una solida base di partenza per la realizzazione di uno strumento di previsione delle piene più completo ed efficiente che permetta di raggiungere gli obiettivi prefissati dal progetto europeo Smart Water.



## BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

- [1] Provincia di Padova (2013), "Protezione civile: al via il progetto Smart Water per prevedere le piene del Muson dei Sassi", <http://www.provincia.pd.it/index.php?page=protezione-civile-al-via-il-progetto-smart-water-per-prevedere-le-piene-del-muson-dei-sassi>, 03/03/2014
- [2] Provincia di Padova, "Rischio legato ai maggiori fiumi della Provincia di Padova", [http://www.provincia.padova.it/protezione\\_civile/previsione/rischio\\_id/rischio\\_fiumi.htm](http://www.provincia.padova.it/protezione_civile/previsione/rischio_id/rischio_fiumi.htm), 06/03/2014
- [3] Consiglio Nazionale delle Ricerche, "Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche, The AVI project – Flood Archive", [http://wwwwdb.gndci.cnr.it/php2/avi/piene\\_tutto.php?numero\\_piena=11400007&lingua=en](http://wwwwdb.gndci.cnr.it/php2/avi/piene_tutto.php?numero_piena=11400007&lingua=en), 07/03/2014
- [4] Il Gazzettino (2009), "Maltempo. Padova, fiume rompe gli argini: 40 case finiscono sott'acqua", [http://www.ilgazzettino.it/ITALIA/PRIMOPIANO/maltempo\\_padova\\_fiume\\_rompe\\_gli\\_argini\\_40\\_case\\_finiscono\\_sott\\_acqua/notizie/43078.shtml](http://www.ilgazzettino.it/ITALIA/PRIMOPIANO/maltempo_padova_fiume_rompe_gli_argini_40_case_finiscono_sott_acqua/notizie/43078.shtml), 07/03/2014
- [5] COLDIRETTI (2012), "MALTEMPO: OLTRE 3 MLD DI DANNI DA EVENTI ESTREMI NEL 2012. La Coldiretti fa il bilancio dei danni provocati dall'ultimo nubifragio regione per regione", <http://www.coldiretti.it/News/Pagine/881---13-Novembre-2012.aspx>, 07/03/2014
- [6] Riccardo Bastianello (2009), "Il Muson rompe gli argini, 200 case sott'acqua", Corriere del Veneto, 22/01/2009, pag.7
- [7] Consorzio di Bonifica Acque Risorgive (2012), "Il nostro impegno a fronteggiare l'emergenza", Consorzio di Bonifica Acque Risorgive informa – Edizione Speciale, 19/11/2012, pag.1
- [8] D'Alpaos Luigi (2006), "Propagazione delle onde di piena lungo l'asta del Muson dei Sassi mediante modello bidimensionale"
- [9] Genio Civile di Treviso (2006), "Lavori di ricalibratura e sistemazione dei corsi d'acqua Brenton-Giaretta ed affluenti nel territorio della Pedemontana del Grappa. Interventi in comune di Mussolente. Vasca di laminazione sul T. Giaron – Relazione Generale"
- [10] Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (2008), "Progetto di Piano Stralcio per la Sicurezza Idraulica del Fiume Brenta – Documento Preliminare"
- [11] Comune di Castelfranco Veneto (2009), "Studio di Compatibilità Idraulica del P.A.T."
- [12] Comune di Castelfranco Veneto (2010), "Studio di Compatibilità Idraulica del P.A.T. – Schede Riassuntive"
- [13] Comuni di Castelcuoco, Crespano del Grappa, Paderno del Grappa, Possagno (2009), "Valutazione di Compatibilità Idraulica"
- [14] Genio Civile di Padova (2011), "Studio idraulico dell'asta del Torrente Muson dei Sassi nel tratto di competenza del Genio Civile di Padova da Castelfranco Veneto (TV) alla confluenza nel Fiume Brenta"
- [15] Consorzio di Bonifica Piave (2012), "La Bonifica idraulica, rischio idraulico ed urbanizzazione"
- [16] De Firenze Anna (2012), "Storia e tutela del Muson dei Sassi e del suo bacino"