



REGIONE DEL VENETO

Dipartimento Difesa del Suolo e Foreste

INTERVENTI DIFFUSI DI MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE E DI TAGLIO ALBERATURE SUL FIUME PIAVE PER FAVORIRE LA CAPACITÀ DI DEFLUSSO MIGLIORANDO LA SICUREZZA IDRAULICA

PROGETTO DEFINITIVO

Sezione Difesa Idrogeologica di Treviso e Forestale di Treviso e Venezia
Viale De Gasperi, 1 - 31100 Treviso

TITOLO ALLEGATO:

RELAZIONE IDRAULICA

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Alvisè Luchetta

SERVICE TECNICO:



Via Dall'Armi 27/3
Tel. 0421-307700
30027 S. Donà di Piave
Email: info@ingegneria2p.it

Dott. Ing. Raffaele Picci
Dott. Ing. Nicola Bisetto

DATA

APRILE 2014

SCALA

-

ALLEGATO N.

2

REVISIONE 0

APRILE 2014

VALIDATO IN DATA

APPROVATO IN DATA



REGIONE DEL VENETO

giunta regionale

Dipartimento Difesa del Suolo e Foreste
Sezione Difesa Idrogeologica di Treviso e Forestale di Treviso e Venezia

INTERVENTI DIFFUSI DI MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE E DI TAGLIO ALBERATURE SUL FIUME PIAVE PER FAVORIRE LA CAPACITA' DI DEFLUSSO MIGLIORANDO LA SICUREZZA IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO E PIANIFICATORIO	4
2.1.	Inquadramento normativo	4
2.2.	Inquadramento pianificatorio	5
2.3.	I contenuti dei piani stralcio: le criticità, gli interventi e loro programmazione.....	5
2.3.1.	Le criticità.....	5
2.3.2.	Interventi e loro programmazione.....	6
2.3.3.	Conclusioni e sintesi dei contenuti del Piano Stralcio	8
2.4.	I contenuti del Progetto Preliminare “Lavori di straordinaria manutenzione (taglio alberature, rimozione trovanti, risagomature sponde, dragaggi) e rinforzi arginali nel tratto terminale del fiume Piave, da Ponte di Piave alla foce”	9
2.4.1.	Generalità.....	9
2.4.2.	Sintesi dei risultati ed interventi previsti.....	11
3	INQUADRAMENTO DI BACINO E STORICO CONOSCITIVO	12
3.1.	Le piene del F. Piave	12
3.2.	Le piene anteriori al 1966.....	12
3.3.	Il Piave dal 1966.....	15
4	L'ATTUALE MORFOLOGIA DEL FIUME PIAVE NEL TRATTO TRA PONTE DI PIAVE E LA FOCE	19
4.1.	Generalità	19
4.2.	La geometria dell'asta	19
4.2.1.	L'andamento planimetrico	19
4.3.	Il deflusso delle portate ordinarie e di magra	21
5	GLI INTERVENTI DI PROGETTO	22
5.1.	Interventi di sbancamento in alveo.....	22
5.2.	Interventi di rimozione di depositi alveo.....	23

5.3.	Riepilogo dei volumi da movimentare	25
6	APPLICAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	26
6.1.	Generalità	26
6.2.	Le condizioni al contorno.....	26
6.3.	La schematizzazione geometrica del Fiume Piave	27
6.4.	I benefici idraulici	29
6.5.	I risultati del modello in regime di piena.....	32
6.5.1.	Generalità.....	32
6.5.2.	I profili di piena per tempo di ritorno di 50 anni.....	32
6.5.3.	I profili di piena per tempo di ritorno di 100 anni.....	33
6.5.4.	Effetti degli interventi di progetto sul livelli di piena	35
7	APPENDICE 1 - IL MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA	37
7.1.	Generalità	37
7.1.1.	Componenti idraulici di analisi	37
7.1.2.	Simulazione a moto vario	37
7.2.	Descrizione matematica del modello utilizzato.....	37
7.3.	Le equazioni del moto vario monodimensionale.....	38
7.4.	Metodologia e discretizzazione spazio-temporale.....	40

1 PREMESSA

La presente Relazione Idraulica valuta il comportamento idraulico dell'asta del Fiume Piave nell'attuale assetto e i benefici idraulici derivanti dagli interventi di progetto al variare delle condizioni di deflusso.

Nel dettaglio l'analisi idraulica tratterà i seguenti aspetti:

- Analisi della geometria del fiume Piave;
- Le condizioni al contorno utilizzate nelle simulazioni;
- Applicazione del modello idraulico Hec-Ras (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) per le simulazioni di verifica dello stato attuale e dello stato di progetto;
- Analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate.

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO E PIANIFICATORIO

2.1. Inquadramento normativo

L'attività di legiferazione in materia di corsi d'acqua prese vigore dopo i gravi eventi alluvionali del 1951 e 1966 che interessarono la Regione Veneto e la Regione Toscana. Le norme e le leggi fino ad ora emanate si possono suddividere in due categorie in base alla loro competenza:

1. norme di carattere nazionale;
2. norme di carattere regionale.

In particolare, si ricorda la L.n.183 dd 18.03.1989 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo" il cui scopo principe è quello di assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi. Con tale legge il territorio nazionale viene ripartito in bacini idrografici:

1. di rilievo nazionale (tra cui ricade il bacino del F. Piave);
2. di rilievo interregionale;
3. di rilievo regionale.

Dal 1989 si dà pertanto avvio alla redazione di progetti di piano nell'ambito dei bacini. Vista però la vastità delle aree di intervento e soprattutto le problematiche derivanti da un'analisi a vasta scala il legislatore ha emanato la L.n.493 dd 4.12.1993 "Disposizioni per l'accelerazione degli investimenti a sostegno dell'occupazione e per la semplificazione dei procedimenti in materia edilizia" dove, all'art.12, è prevista la possibilità di parzializzare gli interventi a parte dell'intero bacino redigendo dei Piano Stralcio per la sicurezza idraulica.

Un'ulteriore legge di rilevanza nazionale, connessa alle precedenti è la L.n.267 dd 03.08.1998 e successiva L.n.365 dd 11.12.2000 "Interventi urgenti per le aree a rischio idro-geologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali".

Con esse si ha l'introduzione di alcune rilevanti novità rispetto all'iter procedurale di adozione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico, in precedenza previsto dalla legislazione a suo tempo emanata dopo la disastrosa alluvione di Sarno del 1998 (D.L. n.180/98).

L'aspetto fondamentale rimane comunque che con quest'ultima disposizione di legge prendono avvio i Progetti di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici.

2.2. Inquadramento pianificatorio

Sulla scorta delle disposizioni di legge di cui al punto precedente l'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione ha predisposto due articolati elaborati:

- *“Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE”*;
- *“Progetto di Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del Piave”*.

Il *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE*, predisposto ai sensi dell'art. 1, comma 1, della L.267/98, e della L.365/2000, rappresenta il recepimento delle conoscenze sulla sicurezza idraulica e geologica acquisite dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione e dalle Regioni Friuli Venezia Giulia e Veneto in merito all'identificazione delle zone esposte a pericolo.

Il *Progetto di Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del Piave*, predisposto ai sensi della L.n.183 dd 18.03.1989, vuole essere invece lo strumento attraverso il quale individuare e programmare gli interventi e le azioni pianificatorie necessarie per conseguire un corretto assetto del bacino idrografico inteso quale unità territoriale di riferimento.

Il *Progetto “lavori di straordinaria manutenzione (taglio, alberature, risagomature sponde, dragaggi) e rinforzi arginali nel tratto terminale del Fiume Piave, da Ponte di Piave alla foce”* redatto dalla scrivente ed inquadrato nell'ambito del D.G.R. n.2427 del 06.08.2004.

2.3. I contenuti dei piani stralcio: le criticità, gli interventi e loro programmazione

Si riportano di seguito le criticità evidenziate dagli strumenti pianificatori nella parte di Piave oggetto di intervento nel presente studio.

2.3.1. Le criticità

Secondo quanto riportato nel Piano Stralcio, il tratto di F. Piave compreso tra Ponte di Piave e la foce rappresenta il segmento di fiume che più frequentemente è stato protagonista di esondazioni. Si riporta infatti che “le attività di studio promosse dall'Autorità di bacino nel quadro delle attività

propedeutiche alla redazione del piano hanno sin dalle prime battute focalizzato l'attenzione sul tratto terminale, individuando i siti che si caratterizzano per una maggior pericolosità".

Gli stessi studi hanno tuttavia posto in risalto le notevoli incertezze, che ancora sussistono, sulla effettiva capacità del tratto terminale, dovuta alla sostanziale aleatorietà dei coefficienti di scabrezza da assumere per quelle sezioni, coefficienti che, com'è noto, condizionano in maniera pesante le risposte del modello di propagazione dell'onda di piena".

Gli studi compiuti hanno condotto alla determinazione, oltre che delle caratteristiche geometriche d'alveo, anche della massima capacità portata. Per la tratta compresa tra Ponte di Piave e San Donà di Piave quest'ultima risulta compresa tra 2500 m³/s e 3000 m³/s mentre a valle risulta pari a 2100 m³/s.

Nella tratta in esame inoltre sono presenti n.5 ponti per attraversamenti ferroviari, autostradali e stradali. Tali attraversamenti, in occasione della piena centenaria, risultano avere la quota di intradosso inferiore alla quota di massima piena.

2.3.2. Interventi e loro programmazione

Gli interventi proposti nel piano rappresentano un sistema integrato di interventi strutturali e non strutturali.

Gli interventi da realizzare per la mitigazione della pericolosità idraulica nel bacino del Piave vengono di seguito elencati così come riportati nel *Progetto di Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del Piave*.

Con sfondo grigio e scritte in grassetto sono riportati gli interventi che interessano il tratto di F. Piave a valle della SS Postumia. **Si noti altresì che la finalità degli interventi è quella di far transitare nella parte terminale del Piave una portata di 3000 m³/s.**

PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI NEL BREVE PERIODO

Priorità	INTERVENTI NON STRUTTURALI
1	uso dei serbatoi idroelettrici di Pieve di Cadore e di S.Croce, per la laminazione (e sfasatura) delle onde di piena da attuare mediante svaso preventivo. (vedi art. 11 delle norme di attuazione)
2	campagna di misure idrauliche per la determinazione sperimentale dei coefficienti di scabrezza nel tratto compreso tra Ponte di Piave e la foce
3	studio per l'individuazione dei possibili interventi strutturali per la mitigazione del rischio idraulico nel bacino montano
4	integrazione e potenziamento della rete di monitoraggio idrologico

5	livellazione con metodo topografico o equipollente, per la determinazione dell'esatta quota dei profili arginali
6	misure normative finalizzate al recupero del territorio fluviale con incentivazione alla delocalizzazione di insediamenti antropici
7	misure normative finalizzate a regolamentare l'estrazione di materiale litoide dagli alvei (costi indiretti)
8	misure normative finalizzate a limitare gli afflussi nella rete idrografica superficiale delle acque piovane provenienti dal drenaggio delle superfici impermeabilizzate (art. 12 delle norme di attuazione) (costi indiretti)
9	interventi di miglioramento dell'efficienza idrologica dei versanti nel territorio montano
10	studio sulla fattibilità tecnico-economica della modifica degli scarichi degli sbarramenti idroelettrici presenti nel bacino del Piave al fine della loro possibile utilizzazione per la laminazione delle piene.
11	studio finalizzato a verificare la fattibilità della ricalibratura per portate superiori a 3000 m³/s

Priorità	INTERVENTI STRUTTURALI
1	costruzione di quattro casse di espansione (due in sinistra e due in destra idraulica) fino alla capacità di circa 16 milioni in località Ponte di Piave
2	pulizia e manutenzione dell'alveo attivo per permettere il transito di una portata di 2.500 m³/s; manutenzione dei corpi arginali e dei manufatti idraulici (Intestadura)
3	interventi prioritari per la mitigazione del rischio idraulico nel bacino montano

PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI NEL MEDIO PERIODO

Priorità	INTERVENTI NON STRUTTURALI
1	uso dei serbatoi idroelettrici di Pieve di Cadore e di S.Croce, per la laminazione (e sfasatura) delle onde di piena da attuare mediante svaso preventivo.(vedi art. 11 delle norme di attuazione)
2	integrazione e potenziamento della rete di monitoraggio idrologico
3	misure normative finalizzate al recupero del territorio fluviale con incentivazione per la delocalizzazione di insediamenti antropici
4	misure normative finalizzate a regolamentare l'estrazione di materiale litoide dagli alvei
5	misure normative finalizzate a limitare gli afflussi nella rete idrografica superficiale delle acque piovane provenienti dal drenaggio delle superfici impermeabilizzate (art. 12 delle norme di attuazione);
6	interventi di miglioramento dell'efficienza idrologica dei versanti nel territorio montano

Priorità	INTERVENTI STRUTTURALI
1	costruzione di altre quattro casse di espansione fino alla capacità complessiva (4+4 casse) di circa 38 milioni di m³ in località Ponte di Piave
2	ricalibratura del tratto terminale con esecuzione di ributti arginali ed rettifiche di alcune anse per assicurare il transito di una portata di 3000 m³/s
3	modifica degli scarichi dei serbatoi idroelettrici per l'uso di laminazione delle piene ed eventuale esecuzione delle opere necessarie
4	Interventi per la mitigazione del rischio idraulico nel bacino montano

PROGRAMMAZIONE DEGLI INTERVENTI NEL LUNGO PERIODO

Priorità	INTERVENTI NON STRUTTURALI
1	Integrazione e potenziamento della rete di monitoraggio idrologico
2	misure normative finalizzate al recupero del territorio fluviale con incentivazione per la delocalizzazione di insediamenti antropici
3	misure normative finalizzate a regolamentare l'estrazione di materiale litoide dagli alvei;
4	misure normative finalizzate a limitare gli afflussi nella rete idrografica superficiale delle acque piovane provenienti dal drenaggio delle superfici impermeabilizzate (art. 12 delle norme di attuazione);
5	interventi di miglioramento dell'efficienza idrologica dei versanti nel territorio montano
Priorità	INTERVENTI STRUTTURALI
1	interventi per la laminazione delle piene per una capacità di circa 38 milioni di mc in località Grave di Ciano
2	manutenzione dell'efficienza delle sezioni e dei corpi arginali

2.3.3. Conclusioni e sintesi dei contenuti del Piano Stralcio

La sottrazione per lunghi periodi di estese aree golenali favorisce lo sviluppo di vegetazione effimera con rischio di repentini sradicamenti con conseguente aumento della resistenza al moto e pericolo di ostruzione delle luci dei ponti. Ne deriva che tale situazione non costituisce un processo di rinaturalizzazione in quanto conseguenza soprattutto di un regime artificiale delle portate.

A conclusione dell'esame degli interventi l'Autorità di Bacino prevede l'integrazione delle proposte casse con azioni di ricalibratura del basso corso del Piave per renderlo atto a contenere sino a 3000-3200 m³/s contro i 2100 m³/s valutati attualmente come valore limite.

Un primo risultato indicato dall'Autorità di Bacino, nel breve termine, consegue ad interventi di pareggiamento delle sommità arginali e di dragaggi del tratto terminale a valle del ponte di Eraclea. Si valuta in corrispondenza un incremento di portata da 2100 m³/s a circa 2500-2600 m³/s (Tr =20-30 anni). In merito agli interventi atti ad eliminare le ostruzioni in alveo il criterio seguito dall'Autorità di Bacino, nel sostenerli, privilegia la movimentazione anziché l'asporto dei materiali in considerazione dell'estensione dei litorali interessati dagli apporti terrigeni del Piave. Per il medio termine è prevista la possibilità di un intervento combinato di ricalibratura e sopralzi arginali, dopo l'esito di adeguate misure di portata e quindi di scabrezza del corso d'acqua. Con tali interventi ci si prefigge di raggiungere la portata di 3000 m³/s con tempo di ritorno di 50 anni.

Nel considerare le linee guida per la manutenzione idraulica si evidenzia l'incremento delle condizioni di pericolosità legate a dissesti delle rive ed allo sviluppo incontrollato della vegetazione. Si auspica pertanto un congruo intervento manutentivo che consenta di ripristinare le sezioni libere di deflusso di eliminare le occlusioni dell'alveo, di ripulire le sponde, in un insieme comunque rispettoso dell'ambiente.

L'aumento della portata sino a 3000 m³/s del tronco in esame è raggiungibile eseguendo un'adeguata manutenzione delle zone golenali e del margine dell'alveo attivo, in modo combinato con la realizzazione di sopralzi arginali.

2.4. I contenuti del Progetto Preliminare “Lavori di straordinaria manutenzione (taglio alberature, rimozione trovanti, risagomature sponde, dragaggi) e rinforzi arginali nel tratto terminale del fiume Piave, da Ponte di Piave alla foce”

2.4.1. Generalità

La Regione del Veneto ha predisposto un Progetto Preliminare, “Lavori di straordinaria manutenzione e rinforzi arginali del tratto terminale del F.Piave da Ponte di Piave alla Foce”: nel progetto sono state analizzate opere finalizzate alla salvaguardia idraulica del territorio tra le quali il taglio culturale della vegetazione all'interno dell'alveo e l'allargamento e ricalibratura dell'alveo

inciso a valle della SS Postumia, per un estesa di circa 2500 m. Tale studio conferma quelle che sono le problematiche evidenziate nel Piano Stralcio.

La capacità di deflusso a valle di Ponte di Piave, con annullamento del franco, è quantificabile in 2400 m³/s, determinata sulla scorta delle recenti ed aggiornate informazioni in merito alla scabrezza e geometria dell'alveo.

In tali condizioni anche il franco idraulico in corrispondenza dei ponti non è rispettato.

In particolare la vegetazione è molto fitta e disordinata in prossimità della ripa dell'alveo di magra e per ampi tratti golenali.

Numerosi alberi sono crollati, anche verso l'alveo, o sono in precarie condizioni, con possibilità quindi di caduta in caso di erosioni, anche modeste, al piede della ripa dell'alveo di magra con conseguente rischio di ostruzione delle luci dei numerosi ponti presenti nel tratto considerato.

La fitta vegetazione riduce comunque considerevolmente la portata che può transitare in alveo per l'incremento della scabrezza.

Su alcuni tratti arginali risulta presente vegetazione arborea; al piede degli argini la distanza dal piede prevista dal T.U. del 1904 per la vegetazione non sempre risulta rispettata.

In alcuni tratti esistono erosioni di sponda diffuse che devono essere adeguatamente riprese.

Il Progetto Preliminare ha considerato alcune ipotesi progettuali che consentono di migliorare la sicurezza idraulica del fiume.

Al di là degli interventi localizzati finalizzati alla ripresa delle erosioni di sponda si sono individuati degli interventi strutturali che assumono entità ed efficacia assai differente.

I primi sono rappresentati da una manutenzione straordinaria dell'alveo con riferimento alla presenza della vegetazione sintetizzabili in:

- a. Taglio degli alberi presenti sulla ripa dell'alveo di magra e sulla golenale per una fascia che consideri una distanza da ciascuna ripa di almeno 5-20 m da definire peraltro tratto per tratto; tale valore risulta dall'esigenza di conseguire, con riferimento agli stati di piena, significativi aumenti della sezione interessata dal deflusso e riduzione della scabrezza media specialmente per la parte attiva dell'alveo e garantire la possibilità di accesso alla riva per la fase di manutenzione;
- b. Raccolta degli alberi e ceppaie presenti entro l'alveo di magra;
- c. Estirpazione degli alberi presenti sul corpo arginale;

- d. Taglio degli alberi in golena al piede dell'argine per una fascia di almeno 4 m se in proprietà privata, fascia che può essere congruamente aumentata in area demaniale;
- e. Taglio in golena degli alberi morti o caduti o in pericolo di crollo (sciabolati);
- f. Taglio colturale delle specie vegetali in golena.

Associabile a detti interventi è la rimozione dei depositi ed isole creatisi negli anni al centro dell'alveo i quali, ancorché di pregio ambientale, rappresentano una forte riduzione alla capacità di deflusso dell'alveo.

Gli interventi di cui sopra, a fronte di un investimento relativamente importante, creano un significativo beneficio in termini idraulici.

I secondi interventi strutturali sono rappresentati, nell'obiettivo di garantire il transito della portata di $3000 \text{ m}^3/\text{s}$ con rispetto del franco arginale di 1 m, da importanti e costose opere di innalzamento e irrobustimento degli argini.

Capitolo a parte è infine rappresentato dalla necessità di procedere all'innalzamento di tutti i viadotti esistenti nel tratto oggetto di studio per garantire il franco di 1,5 m nell'ipotesi del transito della portata di progetto di $3000 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.4.2. Sintesi dei risultati ed interventi previsti

Sono stati valutati i seguenti interventi strutturali generalizzati all'intera tratta:

1. Taglio della vegetazione;
2. Sopralzo arginale;
3. Rinforzo arginale;
4. Allargamento dell'alveo nella tratta Ponte di Piave-Salgareda;
5. Modifiche planimetriche a valle di Eraclea.

Tali interventi, in particolare il taglio della vegetazione, il sopralzo arginale e l'allargamento dell'alveo, sono stati valutati come alternative singolari nell'ottica di addivenire alla stima del loro beneficio idraulico per ricolmare l'attuale deficit di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (tra la capacità di portata di $2400 \text{ m}^3/\text{s}$, con annullamento del franco, e l'obiettivo di progetto di $3000 \text{ m}^3/\text{s}$, con franco di 1 m).

Tra le alternative non rientra il rinforzo arginale in quanto si tratta di un intervento che dovrà comunque essere effettuato visto lo stato di consistenza delle arginature.

Appare chiaro comunque che la soluzione progettuale sarà ricercata nella combinazione ottimale degli interventi.

3 INQUADRAMENTO DI BACINO E STORICO CONOSCITIVO

3.1. Le piene del F. Piave

Il Fiume Piave sottende, prima dell' inizio del tratto arginato che principia a Nervesa della Battaglia, un bacino imbrifero $S = 3899 \text{ km}^2$, la lunghezza dell'asta fluviale è di 156 km, e la distanza dalla foce è di circa 65 km, l'altitudine media del bacino è $H = 1276 \text{ m s.m.m.}$ e la quota della sezione di chiusura è $Z = 70 \text{ m s.m.m.}$.

L' evento di piena più gravoso di cui si ha notizia è stato quello del Novembre 1966; numerose sono tuttavia anche disastrose piene del passato di cui si ha citazione.

3.2. Le piene anteriori al 1966

Per una sintesi degli eventi più significativi anteriori al 1966 pare opportuno riportare integralmente il paragrafo relativo al Piave tratto dal volume "La piena dei fiumi Veneti del Novembre 1966" curato dall' Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia.

Notizie di piene disastrose del passato, per quanto frammentarie, risalgono, per il Piave, all' 820, anno in cui si manifestarono alluvioni di eccezionale gravità in tutta la penisola italiana.

In quell'occasione Feltre, in particolare, fu distrutta e completamente spopolata: dalle inondazioni derivarono prima la carestia e poi la pestilenza.

Si deve giungere, dopo lungo periodo di oscurità sulle vicende idrologiche dei fiumi del Veneto, al 1295 per sapere soltanto che in quel anno venne registrata una elevata piena del Piave con gravi interrimenti provocati nella Laguna di Venezia.

Altrettanto incerte sono le notizie di una piena che nel 1304 avrebbe devastato ancora il territorio Feltrino.

Altre piene vennero registrate nel 1313 e nel 1317 e 1330, durante l'ultima delle quali il Piave avrebbe recato danni gravissimi in tutta la vallata percorsa dal medio corso del fiume.

Nel quindicesimo secolo 6 gravi piene furono registrate negli anni 1409, 1419, 1420, 1450, 1467 e 1470. Le notizie sui danni arrecati sono scarse e incerte; emerge però dalle antiche cronache che ad ogni grave intumescenza conseguivano irruzioni di acque del Piave nella Marca Trevigiana.

Nel sedicesimo secolo si ebbero 10 piene elevatissime, la più rovinosa delle quali fu quella del 1512 quando il Piave, straripato a Nervesa, ebbe ad inondare un vastissimo territorio e la città di Treviso.

L'aumentata frequenza dei disastri provocati dalle piene del Piave venne attribuita dalla Repubblica Veneta agli eccessivi disboscamenti che venivano operati nelle montagne.

Pure nel diciassettesimo secolo vennero registrate dieci elevate piene: gravi i danni provocati da quella del 1642 che distrusse il paese di Noventa e da quella del 1664 che distrusse parte del paese di Musile; durante le piene del 1678 e 1681 si apersero ben 48 rotte negli argini costruiti per guidare il Piave a sfociare a S. Margherita.

Sei sono le piene elevate che si annoverarono nel diciottesimo secolo; la prima, avvenuta nel 1708, riguardò principalmente il Boite che investì e semidistrusse il paese di Perarolo.

La cronologia dei disastrosi eventi trova il suo acme nel secolo decorso durante il quale si ebbero ben 15 piene molto elevate tra le quali la massima sino allora conosciuta (1882).

Gli anni in cui si verificarono le 15 maggiori piene del diciannovesimo secolo sono 1811, 1816, 1823, 1825, 1841, 1851, 1858, 1863, 1872, 1877, 1882 (settembre e ottobre), 1885, 1889 e 1896; di queste 12 furono autunnali, 8 delle quali si verificarono nel mese di ottobre.

La piena del 1823 rimase memorabile per la completa distruzione del paese di Perarolo da parte del Boite ingrossato a dismisura da una frana e successivamente scaricatosi a valanga sul centro abitato.

L'anno 1882 rappresenta il triste caposaldo delle più funeste vicende idrauliche dei fiumi veneti; l'evento catastrofico di piena si sviluppò nell' autunno in due successive fasi.

In quell'occasione, il Piave, dopo aver travolto le difese in vari punti, dilagò indisturbato provocando inondazioni che interessarono migliaia di ettari di pianura e sommerse numerosi centri abitati.

Le piogge cominciarono ai primi di settembre ed alla metà del mese si registrarono le più elevate altezze idrometriche che culminarono nei tronchi di pianura il 16 settembre.

A Zenson venne raggiunta l'altezza di m 10,80 e superata di m 0,74 la massima conosciuta.

Nel corso della piena si ebbero 15 rotte in destra e sinistra, da Ponte di Piave a Jesolo, causate tutte da tracimazioni per l'estesa complessiva di un chilometro.

La piena duro' sette giorni impiegando solamente 16 ore per raggiungere il colmo e 147 per discendere al segno di guardia.

Oltre alle rotte si ebbero sormonti delle sommità arginali e con seguenti tracimazioni a valle di Nervesa per l'estesa di ben 30 km.

Il triste bilancio dei danni arrecati si puo' riassumere in queste cifre: 25 Comuni danneggiati; superficie allagata 56.000 ha; altezza media delle acque in campagna 3 m; durata media dell'allagamento 10 giorni; distrutti 12 ponti e crollati 130 fabbricati.

Nella prima meta' del secolo il Piave e' stato soggetto a nove elevate piene verificatesi negli anni 1903, 1905, 1906, 1907, 1914, 1916, 1926 (maggio e novembre), 1928, delle quali, veramente notevoli, quella del 1903 durante la quale il colmo a Zenson raggiunse i metri 11,58 superiore di m 0,78 alla massima registrata nel 1882, e quella del 1928 caratterizzata da notevoli altezze idrometriche nei tronchi montani.

Nel citato volume dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia si legge:

“Carattere di assoluta eccezionalità ha presentato, tra tutte, l'ultima piena del Novembre 1966 durante la quale i fattori meteorologici e pluviometrici che sono stati all'origine del fenomeno hanno prodotto situazioni fino ad ora sconosciute.

L'intumescenza che ne è seguita in tutti i corsi d'acqua ha fatto registrare valori dei livelli idrometrici e delle portate che, nella maggior parte dei casi, hanno superato anche i massimi del settembre 1882.

Il valore massimo della piena a Zenson (Tra Ponte di Piave e San Donà), dove peraltro già si risente dell'effetto della marea, si e' avuto nella notte tra il 4 ed il 5 Novembre 1966. I massimi storici sono stati superati sia a Segusino che a Zenson.

La pubblicazione dell'Ufficio idrografico valuta in $3700 \text{ m}^3/\text{s}$ il valore del colmo a Segusino.

Secondo la relazione della "Commissione interministeriale per lo studio della sistemazione idraulica e la difesa del suolo", nota anche come "Commissione De Marchi", il colmo di piena fu, a Ponte della Priula (Nervesa), di $5000 \text{ m}^3/\text{s}$, con un contributo specifico, quindi, di $5000/3899 = 1,28 \text{ m}^3/\text{s}, \text{km}^2$. Tenendo conto della moderazione arrecata dalla naturale espansione della piena nelle ampie superfici golenali fra Ponte della Priula e Ponte di Piave, si può valutare che in quest'ultima località si abbia una riduzione del colmo di circa $500 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il tempo di ritorno (numero di anni nei quali l'evento e', mediamente, uguagliato o superato) e' stato stimato, per la piena in esame, dell'ordine di 100 - 200 anni.

Alcune recenti rielaborazioni eseguite sulla piena del 1966 per conto dell'Autorità di Bacino Alto Adriatico hanno stimato la piena a S. Donà dell'ordine di 2500-3000 m³/s; stimando anche la piena in assenza di esondazioni in 4500 m³/s, attribuendo tuttavia alla stessa un tempo di ritorno di 800 anni. La piena centenaria e' stata ricostruita con un colmo di 3400 m³/s.

Ancora secondo questo recente studio il franco a S. Donà sarebbe stato nel 1966 di circa 30-50 cm tra il colmo di piena e la sommità arginale che peraltro è non molto regolare. Il franco nel 1965 sarebbe invece stato circa doppio di quello del 1966. E' da ribadire che la quota di piena a S. Donà è influenzata dalle condizioni del mare.

Sottoforma di tabella di seguito si riportano gli eventi di piena del F. Piave più significativi.

COMUNI IN SINISTRA PIAVE	DATA	COMUNI IN DESTRA PIAVE	DATA
Santa Lucia di Piave	1882	Maserada sul Piave	1858 / 1928 / 1951 / 1953 / 1956 / 1965 / 1966
Mareno di Piave	1882	Breda di Piave	1882 / 1926 / 1953 / 1966
Cimadolmo	1825 / 1882 / 1936 / 1951 / 1953 / 1966	San Biagio di Callalta	1823 / 1825 / 1882 / 1953 / 1965 / 1966
Ormelle	1882 / 1926 / 1966	Monastier	1966
Ponte di Piave	1868 / 1882 / 1885 / 1951 / 1953 / 1965 / 1966	Zenson	1825 / 1851 / 1882 / 1903 / 1953 / 1965 / 1966
Salgareda	1825 / 1851 / 1882 / 1885 / 1903 / 1953 / 1966	Fossalta di Piave	1851 / 1966
Noventa	1825 / 1851 / 1882 / 1966	Musile	1851 / 1882 / 1885 / 1889 / 1903 / 1966
Eraclea	1851 / 1882 / 1966	San Donà di Piave	1823 / 1825 / 1828 / 1882 / 1889 / 1903 / 1966

Tabella 1 : Dati storici delle piene del Piave antecedenti il 1966 tratti da "Progetto di Piano Stralcio per la sicurezza idraulica del medio e basso corso del Piave".

Analizzando i Registri delle Osservazioni di Piena messi a disposizione per lo studio eseguito dalla scrivente, citato in precedenza, si osserva che successivamente al 1966 si sono avuti ulteriori 3 eventi di piena datati ottobre 1993, ottobre 1998 e novembre 2002. I livelli idrometrici raggiunti nella tratta Ponte di Piave Eraclea sono stati in tutti i casi superiori ai livelli di guardia.

3.3. Il Piave dal 1966

L'evento alluvionale del 1966 ha comportato la necessità di realizzare dei provvedimenti atti alla salvaguardia idraulica delle aree rivierasche. Tali provvedimenti erano in primo luogo destinati al

ripristino delle strutture, quali argini, che l'onda di piena aveva distrutto o danneggiato; in secondo luogo erano destinati a garantire un maggior grado di sicurezza rispetto alle preesistenti strutture.

Dai provvedimenti "post '66" non sono però stati eseguiti ulteriori interventi, anche di ordinaria manutenzione, cosicchè, in virtù del particolare regime di deflusso delle portate del Piave si è vista mutare in maniera sostanziale la configurazione dell'alveo. La variazione dell'alveo è dovuta anche alla mancanza, in 40 anni, di un evento di piena tale da provocare una pulizia sistematica; a riguardo ha avuto indiscutibile influenza la presenza dei serbatoi artificiali che hanno laminato non solo le piene, ma anche le morbide.

Due immagini rappresentative della variazione dell'alveo tra "ante-'66" e "post-'66" è riportata di seguito.



Figura 1 : Confronto fotografico del tratto di F. Piave a Ponte di Piave negli anni 1954 – 1995 – 1999.

Come si nota dalle immagini, nel 1954, a Ponte di Piave, l'alveo era per la quasi totalità costituito da materiale incoerente senza la presenza di copertura vegetazionale. Attualmente invece si nota come la copertura vegetazionale, altamente densa, si sviluppi sino all'alveo di magra, andando addirittura ad interessare lo stesso.

L'incremento della copertura vegetale rappresenta solo uno degli aspetti che mettono attualmente in crisi il sistema Piave dal punto di vista della sicurezza idraulica.

Si annoverano infatti anche la presenza di depositi al fondo, erosioni più o meno localizzate delle arginature e delle sponde.

Tutti questi fattori, in aggiunta all'effetto di ostruzione generato dalla vegetazione, comportano un elevato rischio idraulico anche nel caso di portate modeste.

4 L'ATTUALE MORFOLOGIA DEL FIUME PIAVE NEL TRATTO TRA PONTE DI PIAVE E LA FOCE

4.1. Generalità

Si riporta di seguito il riepilogo delle caratteristiche geometriche dell'asta del corso d'acqua e le criticità emerse dallo studio "Lavori di straordinaria manutenzione e rinforzi arginali del tratto terminale del F.Piave da Ponte di Piave alla Foce.

4.2. La geometria dell'asta

4.2.1. L'andamento planimetrico

Il F. Piave, tra Ponte di Piave e la Foce, si sviluppa per circa 41 km mutando spesso le sue caratteristiche geometriche (altimetriche, planimetriche e di sezione).

L'analisi morfologica permette la schematizzazione, anche per semplicità di rappresentazione degli elaborati grafici, del corso d'acqua in quattro tratte sostanzialmente omogenee anche dal punto di vista ambientale.

Un primo tratto, tra Ponte di Piave e Zenson di Piave (tratto di interesse del presente studio), in cui l'alveo scorre piuttosto rettilineo o comunque con deviazioni planimetriche a grande raggio di curvatura e grande distanza, dell'ordine del chilometro, tra gli argini maestri.

Un secondo tratto, da Zenson di Piave a San Donà di Piave, è invece caratterizzato da una larghezza dell'alveo inferiore, 600 m circa, alla precedente, e soprattutto dalla presenza di 14 meandri a ridotto raggio di curvatura.

Il terzo tratto, tra San Donà di Piave ed Eraclea, si caratterizza per l'andamento rettilineo del Piave, con larghezze d'alveo costante ed assai inferiore alle precedenti: 170 m circa.

Infine, il quarto tratto, che conduce alla foce, si caratterizza per l'andamento nuovamente irregolare dove si evidenzia, a monte di Revedoli, una brusca deviazione verso sud detta "ansa di Revedoli".

I tratti individuati risultano significativi per il Piave in quanto al loro interno si evidenziano caratteristiche omogenee in merito:

- a. alla tipologia delle sezioni trasversali;
- b. andamento planimetrico dell'asta;
- c. pendenza dell'asta;
- d. copertura vegetazionale;
- e. comportamento idraulico della corrente.

Di seguito si riporta in figura la suddivisione in tratte del Piave.

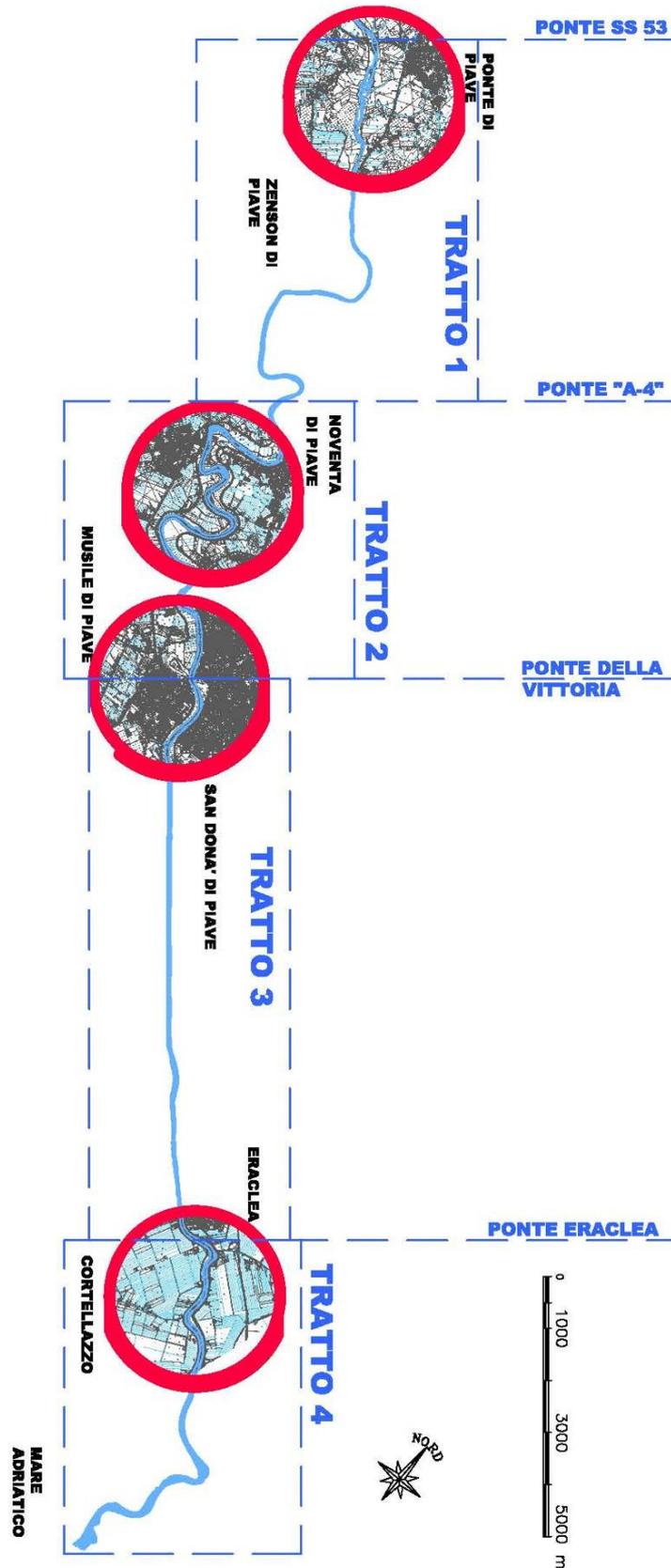


Figura 2: Suddivisione in tratte omogenee del Piave da Ponte di Piave alla foce.

4.3. Il deflusso delle portate ordinarie e di magra

In caso di portate ordinarie e di magra, ovvero per portate inferiori a qualche centinaio di m³/s il meccanismo di deflusso risulta alquanto complesso. Il sistema è, come noto, vincolato dalle condizioni di valle ovvero dalle oscillazioni di marea. Quest'ultime infatti sono presenti quotidianamente e stimate in circa 20-50 cm.

Quando si innalza il livello di marea, con una velocità ordinaria di circa 0.1 cm/min il livello si propaga verso monte generando un profilo di rigurgito con un presunto ingresso di portata dal mare stimato in circa 10 m³/s (dato fornito dall'Arpav). Questo comportamento idraulico comporta un accumulo temporaneo di volume nelle tratte a monte destinato ad essere avviato al mare solo quando la marea si trova in fase calante. In quest'ultima condizione si avrà pertanto il transito di portate nella tratta terminale superiori a quelle ordinarie.

Il deflusso delle portate di magra si presenta come pulsante.

In condizioni di magra l'effetto di marea si estende verso monte fino a Zenson di Piave.

5 GLI INTERVENTI DI PROGETTO

Gli interventi previsti nel presente progetto prevedono in sintesi :

- Interventi di bonifica bellica eseguita in acqua e a secco per strati successivi;
- Interventi di taglio della vegetazione ed estirpazione delle ceppaie nelle aree oggetto di sbancamento in asciutto ed in quelle di stendimento del materiale;
- Interventi di sbancamento in alveo a formazione di una savanella principale, localizzata lungo la sponda sinistra del corso d'acqua, per uno sviluppo di 3.300,00 ml; la sezione prevista presenta una larghezza al fondo variabile da 15,0 a 20,0 ml con sponde inclinate 3/1.5; l'inclinazione delle scarpate deriva da considerazioni sulla natura dei materiali presenti in alveo; tali interventi verranno eseguiti nel tratto di valle per mezzo di natanti tipo pontone e bettolina; mentre nel tratto di monte, in corrispondenza dei depositi presenti in alveo gli interventi verranno eseguiti da terra;
- Interventi di rimozione depositi in alveo, dislocati prevalentemente lungo la sponda destra, e recentemente sottoposti a taglio della vegetazione; la larghezza dell'intervento varia da 50,0 a 100,0 ml;
- Stendimento del materiale oggetto di sbancamento lungo le aree demaniali individuate e interessanti una superficie di circa 210.000 mq.

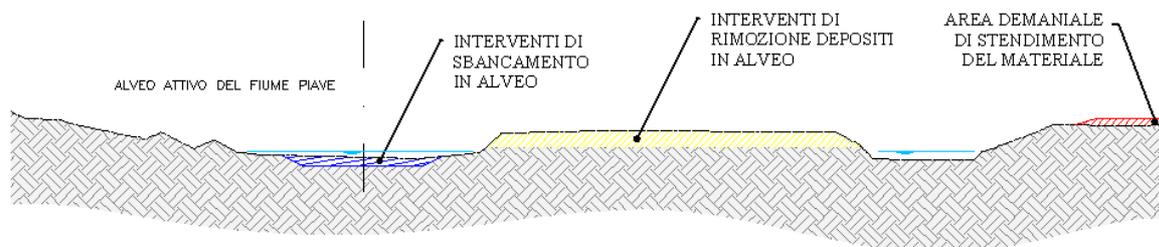


Figura 3 : Sezione tipo rappresentativa degli interventi di sbancamento previsti.

Per maggiori dettagli si rimanda ai contenuti della Tavola di progetto allegata.

5.1. Interventi di sbancamento in alveo

Il volume da movimentare per gli interventi di sbancamento dell'alveo attivo, nel tratto compreso tra la sez. 47 e la sez. 43, si stima nel quantitativo di circa **87.992,0 mc.**

Per il dettaglio dei risultati si rimanda ai contenuti delle tavole grafiche allegate al presente progetto.

Il riepilogo dei volumi da movimentare è riportato nella tabella seguente.

INTERVENTI DIFFUSI DI MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE E DI TAGLIO ALBERATURE SUL FIUME PIAVE PER FAVORIRE LA CAPACITA' DI DEFLUSSO MIGLIORANDO LA SICUREZZA IDRAULICA
PROGETTO DEFINITIVO

Sez.	D. Parz.	D. Prog.	MODALITA' DI INTERVENTO	LARGHEZZA FONDO SAVANELLA	Interventi di sbancamento lungo l'alveo attivo		
					Area Sezione di Scavo	Volume Parziale	Volume Totale
					mq	mc	mc
1	0	0	TRATTO DEL FIUME PIAVE OGGETTO DI SBANCAMENTO ESEGUITO DA TERRA	15	3.80	0	0
2	100	100		15	5.40	460	460
3	100	200		15	5.83	562	1022
4	100	300		15	10.89	836	1858
5	100	400		15	34.55	2272	4130
6	100	500		15	27.90	3123	7252
7	100	600		15	23.80	2585	9837
8	100	700		15	33.76	2878	12715
9	100	800		15	26.20	2998	15713
10	100	900		15	27.74	2697	18410
11	100	1000		15	35.87	3181	21591
12	100	1100	TRATTO DEL FIUME PIAVE OGGETTO DI SBANCAMENTO ESEGUITO DA PONTONE	20	37.36	3662	25252
13	100	1200		20	42.90	4013	29265
14	100	1300		20	42.70	4280	33545
15	100	1400		20	37.90	4030	37575
16	100	1500		20	44.40	4115	41690
17	100	1600		20	58.90	5165	46855
18	100	1700		20	55.90	5740	52595
19	100	1800		20	88.40	7215	59810
20	19	1819		20	87.60	1668	61479
44B	180	1999		20	18.20	9517	70996
44A	216	2215		20	7.90	2819	73815
43B	477	2692		20	18.30	6249	80063
43A	288	2980		20	15.80	4910	84974
43	382	3362	20	0.00	3018	87992	
TOTALE		3362				87992	

Tabella 2 : Volumi di materiale da movimentare lungo la vena attiva del fiume Piave.

L'intervento si sviluppa ad una distanza di circa 100 m a sud del ponte sulla SS 53, al fine di non compromettere la stabilità del rilevato stradale e del ponte stesso.

5.2. Interventi di rimozione di depositi alveo

Con gli interventi di sghiaiamiento del corso d'acqua nel tratto di monte si prevede la movimentazione di depositi per circa **120.259 mc**.

Si riporta di seguito uno stralcio cartografico dell'intervento ed in tabella il riepilogo dei volumi di sbancamento previsti. Il dettaglio dell'intervento è illustrato nella tavola allegata al presente progetto.

INTERVENTI DIFFUSI DI MOVIMENTAZIONE DEL MATERIALE LITOIDE E DI TAGLIO ALBERATURE SUL FIUME PIAVE PER FAVORIRE LA CAPACITA' DI DEFLUSSO MIGLIORANDO LA SICUREZZA IDRAULICA
PROGETTO DEFINITIVO

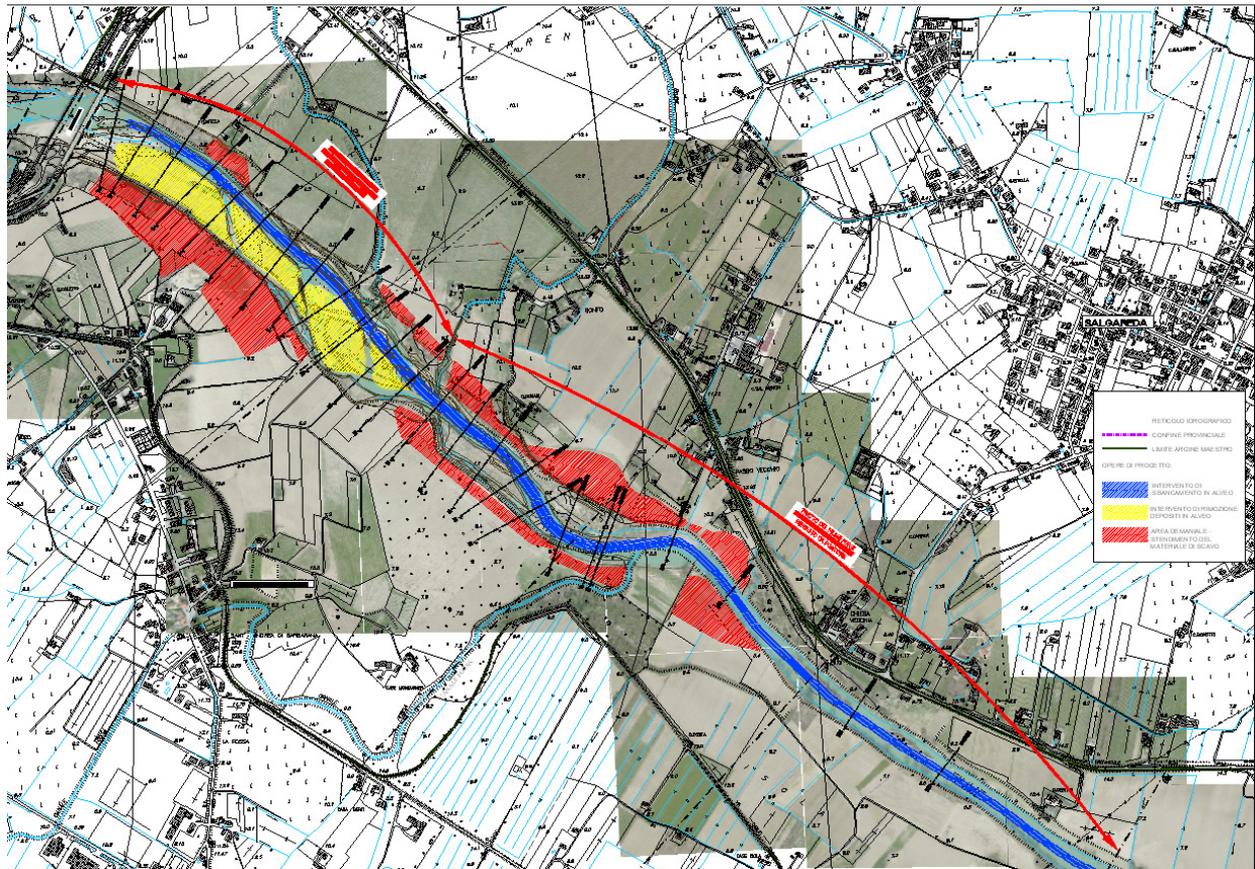


Figura 4 : Estratto della tavola grafica con gli interventi di progetto.

Sez.	D. Parz.	D. Prog.	Interventi di rimozione dei depositi in alveo		
			Area Sezione di Scavo	Volume Parziale	Volume Totale
			mq	mc	mc
1	0	0	0.0	0	0
2	100	100	36.51	1826	1826
3	100	200	73.94	5523	7348
4	100	300	105.96	8995	16343
5	100	400	117.65	11181	27524
6	100	500	43.00	8033	35556
7	100	600	151.42	9721	45277
8	100	700	72.81	11212	56489
9	100	800	147.97	11039	67528
10	100	900	272.46	21022	88549
11	100	1000	177.56	22501	111050
12	100	1100	6.61	9209	120259
TOTALE		3362			120259

Tabella 3 : Stima dei volumi necessari per lo sbancamento del corso d'acqua nell'area di deposito.

5.3. Riepilogo dei volumi da movimentare

Complessivamente gli interventi di progetto prevedono la movimentazione di 87.992,0 mc per interventi di sbancamento lungo l'alveo attivo, e 120.259 mc per interventi di rimozione depositi in alveo (vedi allegato 13/i), pari ad un totale di 208.250,0 mc (87.992,0 mc + 120.259,0 mc).

Dei 208.250,0 mc di materiale complessivo da movimentare, 20.000,0 mc restano di proprietà dell'impresa (applicando i canoni demaniali vigenti), mentre il restante volume pari a 188.250,0 mc verrà steso nell'area demaniale a ridosso dell'alveo attivo nelle zone evidenziate nella planimetria allegata.

Il riepilogo dei volumi da movimentare è pertanto riportato nella tabella seguente.

MOVIMENTI TERRA DI PROGETTO	VOLUMI
A) Interventi di sbancamento in alveo eseguiti da pontone (mc)	63.000,0
B) Interventi di sbancamento in alveo eseguiti da terra (mc)	24.992,0
C) Interventi di sbancamento di rimozione depositi in alveo eseguiti da terra (mc)	100.259,0
D) Estrazione di materiale (applicazione dei canoni demaniali) (mc)	20.000,0
E) TOTALE MOVIMENTI TERRA IN ALVEO	208.250,0
Superficie Demaniale interessata dallo stendimento del materiale(mq)	210.000,0
Volume di materiale da stendere (mc)	188.250,0
Volume di materiale da asportare (mc)	20.000,0
Rialzo medio del piano campagna (m) (188.250,0 mc / 210.000,0 mq)	0,90

Tabella 4 : Riepilogo del volumi di sbancamento previsti.

6 APPLICAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

6.1. Generalità

Al fine di valutare i benefici idraulici degli interventi di sbancamento dei depositi in alveo nel Fiume Piave si è applicato il modello di simulazione idraulica Hec-Ras descritto in Appendice 1.

Il modello utilizzato è quello che è stato implementato per lo studio idraulico del basso corso del Fiume Piave per il Genio Civile di Venezia (Studio a cui si rimanda per maggiori dettagli).

Le simulazioni sono state condotte secondo lo stato attuale, e con gli interventi di sbancamento oggetto del presente progetto e descritti nel paragrafo precedente.

Si riporta di seguito i risultati ottenuti.

6.2. Le condizioni al contorno

Per l'analisi dei benefici idraulici conseguenti alla asportazione di materiale dall'alveo del Fiume Piave in seguito ai fenomeni di piena si è assunto quanto segue:

1. Nella sezione di monte : Per quanto riguarda l'idrogramma di piena in ingresso a Ponte di Piave si è preso come riferimento l'onda di piena avente $T_r=50$ anni e $T_p=24$ ore. Portata la colmo 3.090,0 mc/s.

L'idrogramma viene riportato di seguito.

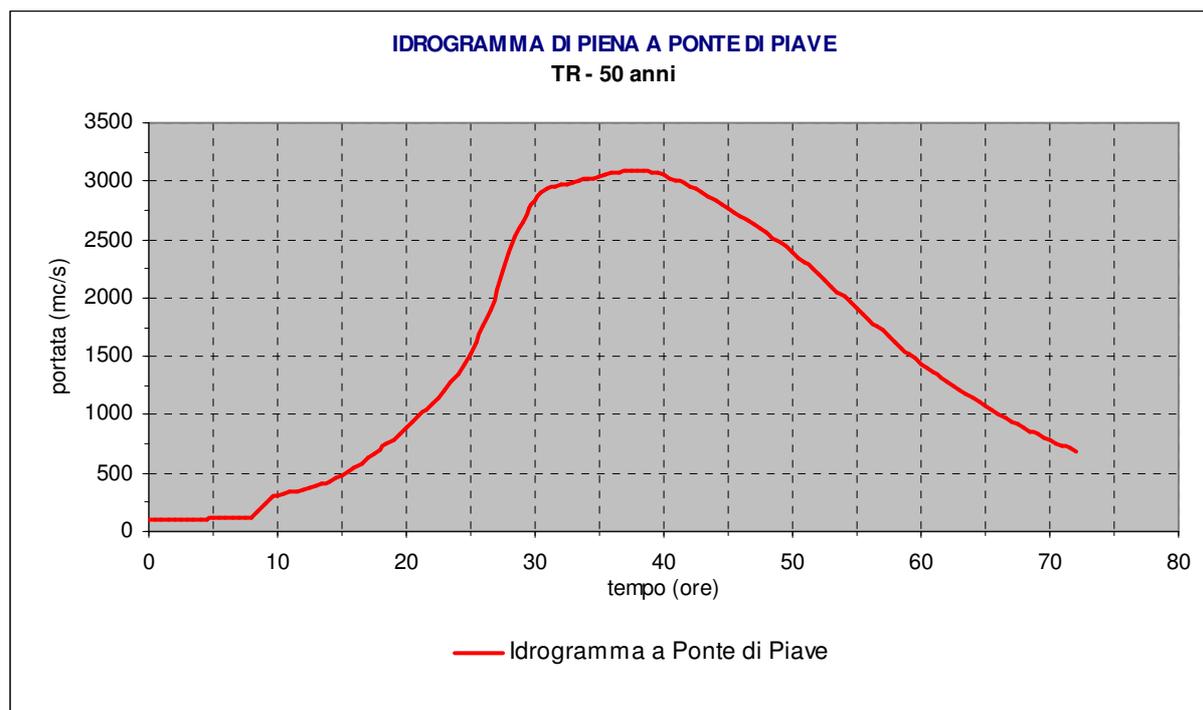


Figura 5 : Onda di piena a Ponte di Piave – Evento Novembre 2006.

2. Nella sezione di valle: l'evento di alta marea assunto fa riferimento ad una registrazione presso la stazione di misura a "La Salute" di Venezia.

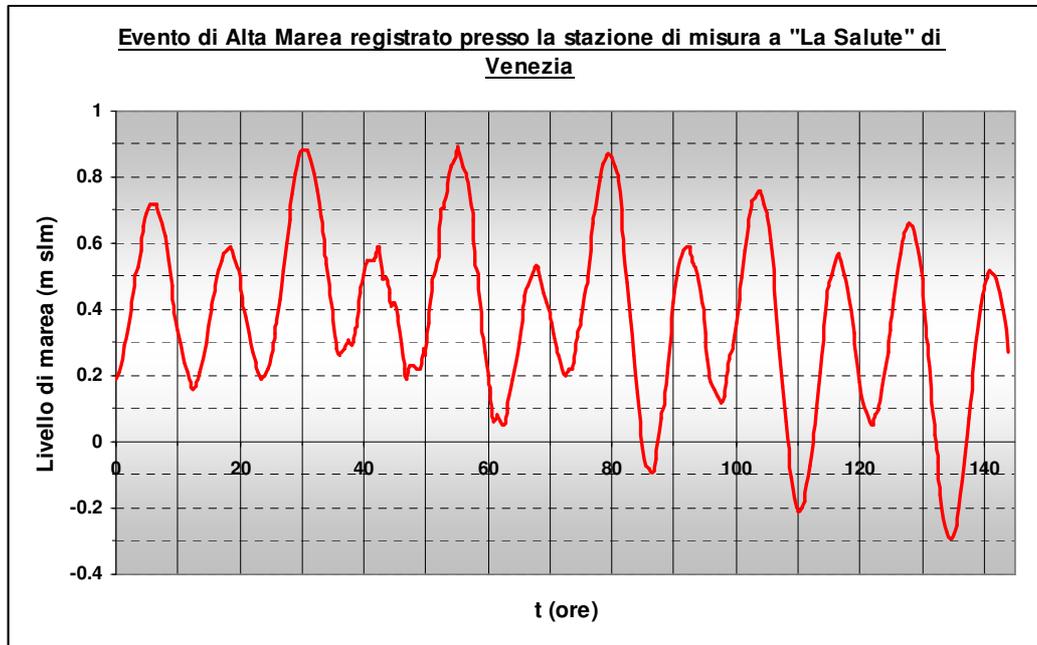


Figura 6 : Andamento di marea registrato presso la stazione di misura a "La Salute" di Venezia.

6.3. La schematizzazione geometrica del Fiume Piave

Al fine della simulazione idraulica del Fiume Piave, sono state inserite 50 sezioni (River Station), opportunamente interpolate, definendo la geometria del corso d'acqua nel tratto compreso tra il ponte ferroviario a nord della SS Postumia e la foce.

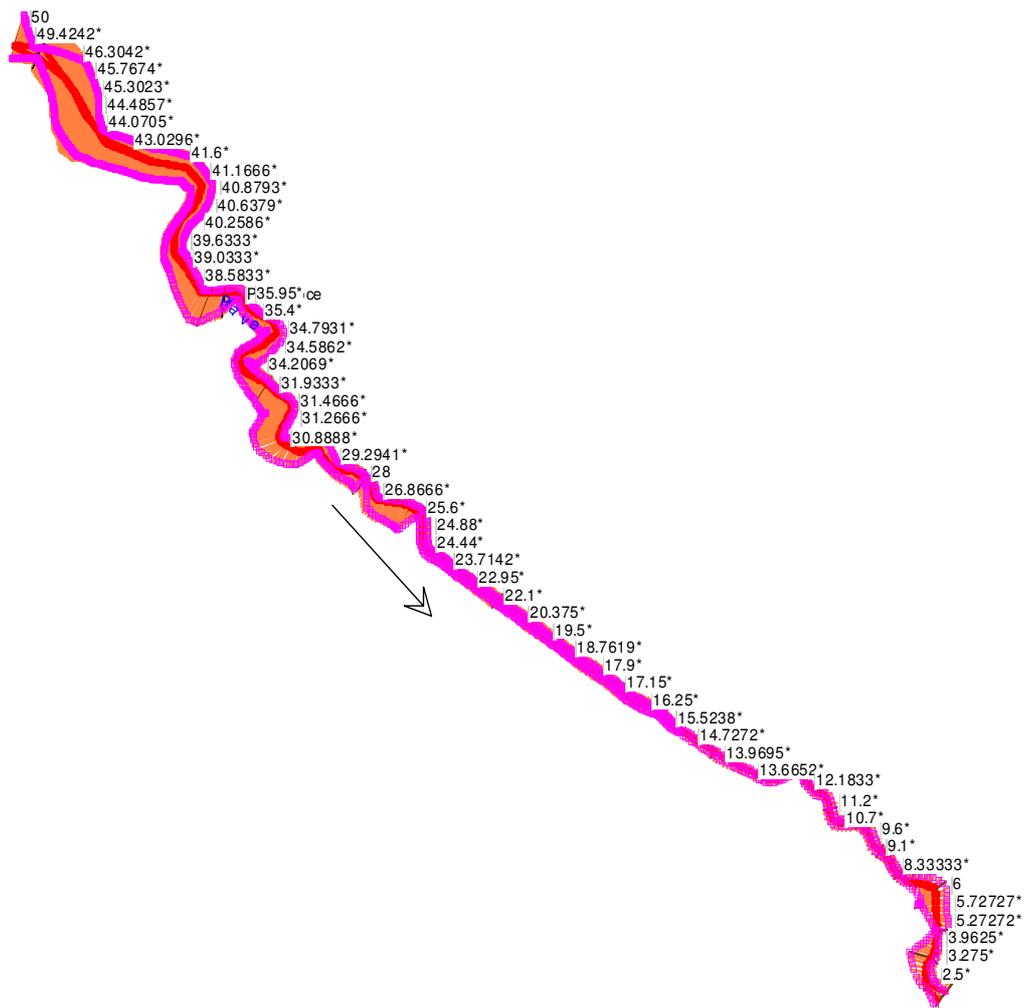


Figura 7 : Schematizzazione geometrica del Fiume Piave.

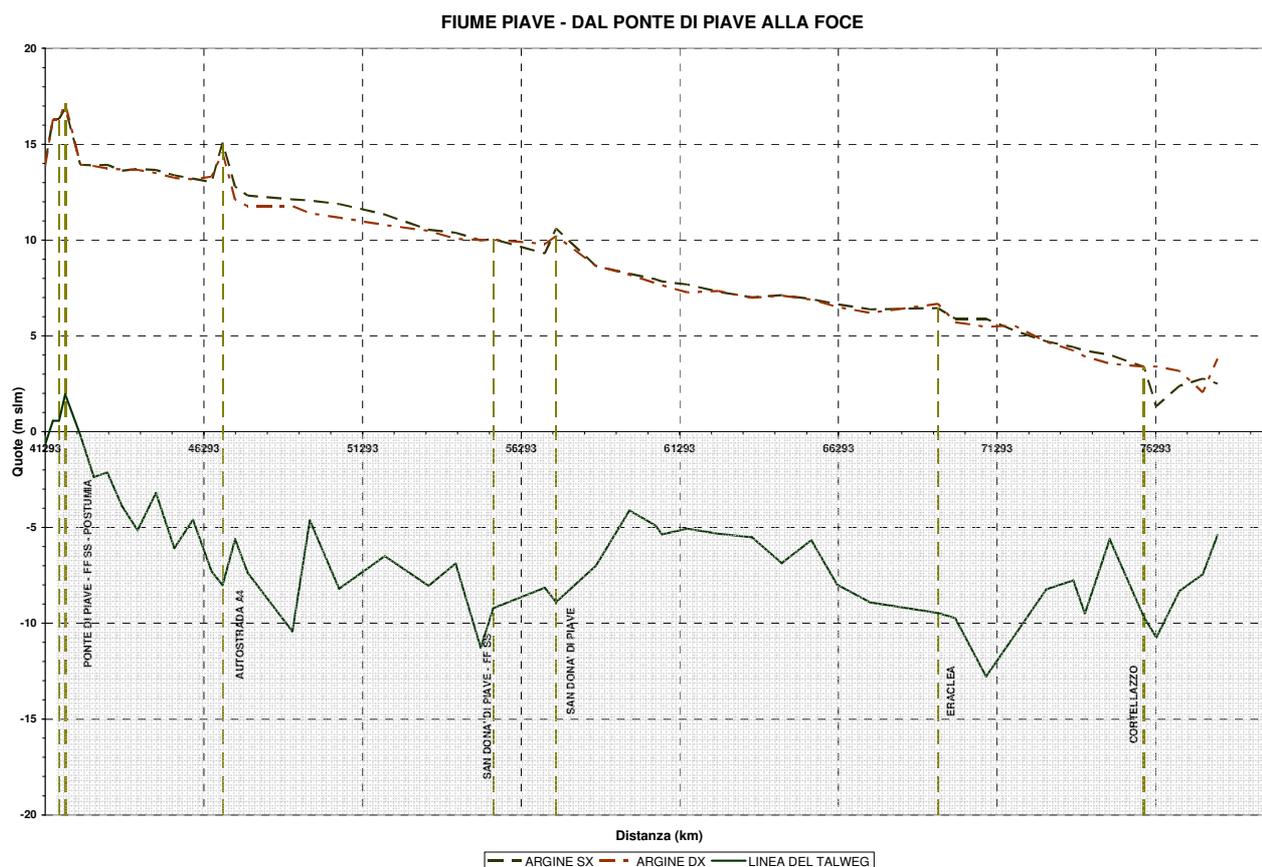


Figura 8 : Profilo allo stato attuale del terreno.

6.4. I benefici idraulici

Nel tratto del Fiume Piave soggetto di sbancamento dell'alveo attivo si sono valutati i benefici idraulici in termini di diminuzione dei tiranti idrici al variare della portata.

I benefici in termini di riduzione dei tiranti idraulici si concentrano nel tratto compreso tra la sez. 43 e la sez. 50.

Al variare della portata si hanno le seguenti riduzioni:

- per portate dell'ordine dei 300 mc/s si ha nel tratto compreso tra la sez. 43 alla sez. 51 un abbassamento medio di 12 cm con un massimo di 42 cm nella sez. 47;
- per portate dell'ordine dei 500 mc/s si ha nel tratto compreso tra la sez. 43 alla sez. 51 un abbassamento medio di 16 cm con un massimo di 29 cm nella sez. 47;
- per portate dell'ordine dei 700 mc/s si ha nel tratto compreso tra la sez. 43 alla sez. 51 un abbassamento medio di 14 cm con un massimo di 24 cm nella sez. 47;
- per portate dell'ordine dei 1100 mc/s si ha nel tratto compreso tra la sez. 43 alla sez. 51 un abbassamento medio di 10 cm con un massimo di 17 cm nella sez. 47;

- per portate dell'ordine di 3090 mc/s si ha nel tratto compreso tra la sez. 43 alla sez. 51 un abbassamento medio di 3 cm con un massimo di 5 cm nella sez. 47;

Si riporta di seguito i principali risultati ottenuti nelle simulazioni di studio.

SEZ.	QUOTA DI FONDO		Q=300 mc/s		DH	Q=500 mc/s		DH	Q=700 mc/s		DH	Q=1100 mc/s		DH	Q=3090 mc/s		DH
			S. FATTO	S. PROGETTO		S. FATTO	S. PROGETTO		S. FATTO	S. PROGETTO		S. FATTO	S. PROGETTO		S. FATTO	S. PROGETTO	
	S. FATTO	S. PROGETTO	Livello	Livello	[m]	Livello	Livello	[m]	Livello	Livello	[m]	Livello	Livello	[m]	Livello	Livello	[m]
n.ro	m slm	m slm	m smm	m smm	[m]	m smm	m smm	[m]	m smm	m smm	[m]	m smm	m smm	[m]	m smm	m smm	[m]
50	-0.67	-0.67	5.65	5.48	-0.17	6.8	6.64	-0.16	7.55	7.41	-0.14	8.85	8.73	-0.12	14.55	14.5	-0.05
49	0.57	0.57	5.32	5.07	-0.25	6.43	6.21	-0.22	7.19	6.99	-0.20	8.55	8.4	-0.15	14.37	14.32	-0.05
48	0.57	0.57	5.16	4.83	-0.33	6.32	6.05	-0.27	7.08	6.86	-0.22	8.47	8.31	-0.16	14.32	14.27	-0.05
47	1.95	1.95	5.06	4.67	-0.39	6.24	5.95	-0.29	7.01	6.77	-0.24	8.41	8.24	-0.17	14.26	14.21	-0.05
46	-0.19	-1.46	3.94	3.52	-0.42	5.58	5.4	-0.18	6.46	6.32	-0.14	7.98	7.89	-0.09	14.06	14.03	-0.03
45	-2.36	-2.44	3.45	3.28	-0.17	5.28	5.22	-0.06	6.19	6.14	-0.05	7.74	7.71	-0.03	13.92	13.9	-0.02
44	-2.13	-2.85	3.01	2.88	-0.13	4.92	4.89	-0.03	5.84	5.82	-0.02	7.39	7.38	-0.01	13.7	13.68	-0.02
43	-3.89	-3.89	2.39	2.37	-0.02	4.42	4.44	0.02	5.36	5.37	0.01	6.91	6.92	0.01	13.36	13.36	0.00
42	-5.15	-5.15	2.1	2.08	-0.02	4.04	4.06	0.02	4.95	4.96	0.01	6.5	6.51	0.01	13.04	13.04	0.00
41	-3.2	-3.2	1.74	1.72	-0.02	3.59	3.6	0.01	4.47	4.48	0.01	6	6.02	0.02	12.6	12.6	0.00
40	-6.08	-6.08	1.49	1.48	-0.01	3.19	3.21	0.02	4.06	4.06	0.00	5.54	5.56	0.02	11.96	11.96	0.00
39	-4.6	-4.6	1.3	1.29	-0.01	2.86	2.88	0.02	3.7	3.71	0.01	5.15	5.16	0.01	11.4	11.4	0.00
38	-7.29	-7.29	1.16	1.15	-0.01	2.57	2.59	0.02	3.36	3.36	0.00	4.72	4.73	0.01	10.92	10.91	-0.01
37	-8.01	-8.01	1.15	1.14	-0.01	2.56	2.58	0.02	3.35	3.36	0.01	4.72	4.73	0.01	10.85	10.85	0.00
36	-5.62	-5.62	1.11	1.1	-0.01	2.46	2.48	0.02	3.24	3.24	0.00	4.58	4.59	0.01	10.64	10.64	0.00
35	-7.37	-7.37	0.99	0.98	-0.01	2.17	2.19	0.02	2.9	2.9	0.00	4.19	4.2	0.01	10.1	10.1	0.00
34	-10.42	-10.42	0.95	0.94	-0.01	2.08	2.1	0.02	2.79	2.8	0.01	4.04	4.05	0.01	9.77	9.77	0.00
33	-4.63	-4.63	0.92	0.92	0.00	2.02	2.04	0.02	2.72	2.72	0.00	3.95	3.96	0.01	9.64	9.64	0.00
32	-8.19	-8.19	0.84	0.84	0.00	1.81	1.83	0.02	2.49	2.49	0.00	3.67	3.68	0.01	9.4	9.4	0.00
31	-6.49	-6.49	0.77	0.77	0.00	1.61	1.63	0.02	2.25	2.25	0.00	3.34	3.35	0.01	9.13	9.12	-0.01
30	-8.04	-8.04	0.72	0.72	0.00	1.47	1.48	0.01	2.07	2.07	0.00	3.08	3.09	0.01	8.72	8.71	-0.01
29	-6.88	-6.88	0.69	0.69	0.00	1.39	1.4	0.01	1.97	1.97	0.00	2.92	2.93	0.01	8.4	8.4	0.00
28	-11.28	-11.28	0.68	0.68	0.00	1.34	1.36	0.02	1.91	1.91	0.00	2.83	2.84	0.01	8.23	8.23	0.00
27	-9.21	-9.21	0.68	0.68	0.00	1.34	1.35	0.01	1.9	1.9	0.00	2.82	2.82	0.00	8.16	8.16	0.00
26	-8.14	-8.14	0.64	0.64	0.00	1.21	1.23	0.02	1.74	1.74	0.00	2.57	2.57	0.00	7.95	7.95	0.00
25	-8.9	-8.9	0.64	0.64	0.00	1.21	1.22	0.01	1.73	1.73	0.00	2.55	2.56	0.01	7.82	7.82	0.00
24	-7	-7	0.62	0.61	-0.01	1.12	1.14	0.02	1.62	1.62	0.00	2.38	2.39	0.01	7.45	7.45	0.00
23	-4.11	-4.11	0.57	0.57	0.00	1	1.01	0.01	1.47	1.47	0.00	2.14	2.15	0.01	7.01	7.01	0.00
22	-4.9	-4.9	0.55	0.55	0.00	0.94	0.94	0.00	1.38	1.38	0.00	2	2	0.00	6.76	6.76	0.00
21	-5.36	-5.36	0.54	0.54	0.00	0.92	0.93	0.01	1.37	1.37	0.00	1.97	1.98	0.01	6.72	6.72	0.00
20	-5.06	-5.06	0.52	0.52	0.00	0.87	0.88	0.01	1.3	1.3	0.00	1.86	1.87	0.01	6.53	6.52	-0.01
19	-5.33	-5.33	0.5	0.5	0.00	0.81	0.82	0.01	1.22	1.22	0.00	1.73	1.73	0.00	6.28	6.28	0.00
18	-5.51	-5.51	0.48	0.48	0.00	0.76	0.77	0.01	1.15	1.15	0.00	1.6	1.6	0.00	6.05	6.05	0.00
17	-6.87	-6.87	0.47	0.47	0.00	0.72	0.73	0.01	1.09	1.09	0.00	1.49	1.5	0.01	5.83	5.83	0.00
16	-5.66	-5.66	0.44	0.44	0.00	0.67	0.68	0.01	1.02	1.02	0.00	1.35	1.36	0.01	5.62	5.62	0.00
15	-7.97	-7.97	0.43	0.43	0.00	0.64	0.64	0.00	0.97	0.97	0.00	1.25	1.25	0.00	5.3	5.3	0.00
14	-8.91	-8.91	0.42	0.42	0.00	0.61	0.61	0.00	0.93	0.93	0.00	1.15	1.15	0.00	4.92	4.92	0.00
13	-9.46	-9.46	0.4	0.4	0.00	0.55	0.55	0.00	0.83	0.83	0.00	0.93	0.94	0.01	4.1	4.1	0.00
12	-9.73	-9.73	0.4	0.4	0.00	0.53	0.53	0.00	0.81	0.81	0.00	0.88	0.88	0.00	3.8	3.8	0.00
11	-12.78	-12.78	0.39	0.39	0.00	0.52	0.52	0.00	0.78	0.78	0.00	0.83	0.83	0.00	3.58	3.58	0.00
10	-10.65	-10.65	0.38	0.38	0.00	0.5	0.51	0.01	0.76	0.76	0.00	0.77	0.77	0.00	3.32	3.32	0.00
9	-8.22	-8.22	0.38	0.38	0.00	0.49	0.49	0.00	0.73	0.73	0.00	0.7	0.7	0.00	2.95	2.95	0.00
8	-7.77	-7.77	0.37	0.37	0.00	0.47	0.47	0.00	0.7	0.7	0.00	0.63	0.63	0.00	2.61	2.61	0.00
7	-9.49	-9.49	0.37	0.37	0.00	0.46	0.46	0.00	0.69	0.69	0.00	0.59	0.59	0.00	2.44	2.44	0.00
6	-5.62	-5.62	0.36	0.36	0.00	0.45	0.45	0.00	0.67	0.67	0.00	0.55	0.55	0.00	2.38	2.38	0.00
5	-9.67	-9.67	0.35	0.35	0.00	0.43	0.43	0.00	0.64	0.64	0.00	0.44	0.44	0.00	1.78	1.78	0.00
4	-10.74	-10.74	0.35	0.35	0.00	0.43	0.43	0.00	0.63	0.63	0.00	0.43	0.43	0.00	1.65	1.65	0.00
3	-8.31	-8.31	0.35	0.35	0.00	0.42	0.42	0.00	0.62	0.62	0.00	0.39	0.39	0.00	1.5	1.5	0.00
2	-7.45	-7.45	0.34	0.34	0.00	0.4	0.4	0.00	0.59	0.59	0.00	0.3	0.3	0.00	0.52	0.52	0.00
1	-5.39	-5.39	0.34	0.34	0.00	0.4	0.4	0.00	0.58	0.58	0.00	0.27	0.27	0.00	0.29	0.29	0.00

BENEFICI IDRAULICI	MIN	-0.01
	MAX	-0.42
	MEDIA	-0.12

MIN	-0.03
MAX	-0.29
MEDIA	-0.16

MIN	-0.02
MAX	-0.24
MEDIA	-0.14

MIN	-0.01
MAX	-0.17
MEDIA	-0.10

MIN	-0.02
MAX	-0.05
MEDIA	-0.03

6.5. I risultati del modello in regime di piena

6.5.1. Generalità

Si riporta nei paragrafi seguenti una sintesi delle criticità idrauliche dell'asta del fiume Piave da Ponte di Piave alla foce in regime di piena considerando eventi con tempo di ritorno di 50 e 100 anni.

6.5.2. I profili di piena per tempo di ritorno di 50 anni

Allo stato attuale la portata in arrivo a Ponte di Piave risulta pari a 3.090,0 mc/s. Procedendo verso valle la portata si riduce a 2.925,0 mc/s alla sez. 40, 2.835,0 mc/s alla sez. 30 e 2.820,0 mc/s alla sez. 20, mantenendo tale valore fino alla foce.

L'effetto di laminazione, pari a 270,0 mc/s, è legato alle espansioni golenali presenti lungo il tratto in esame.

Gli idrogrammi ed il profilo di piena sono rappresentati nelle figure seguenti.

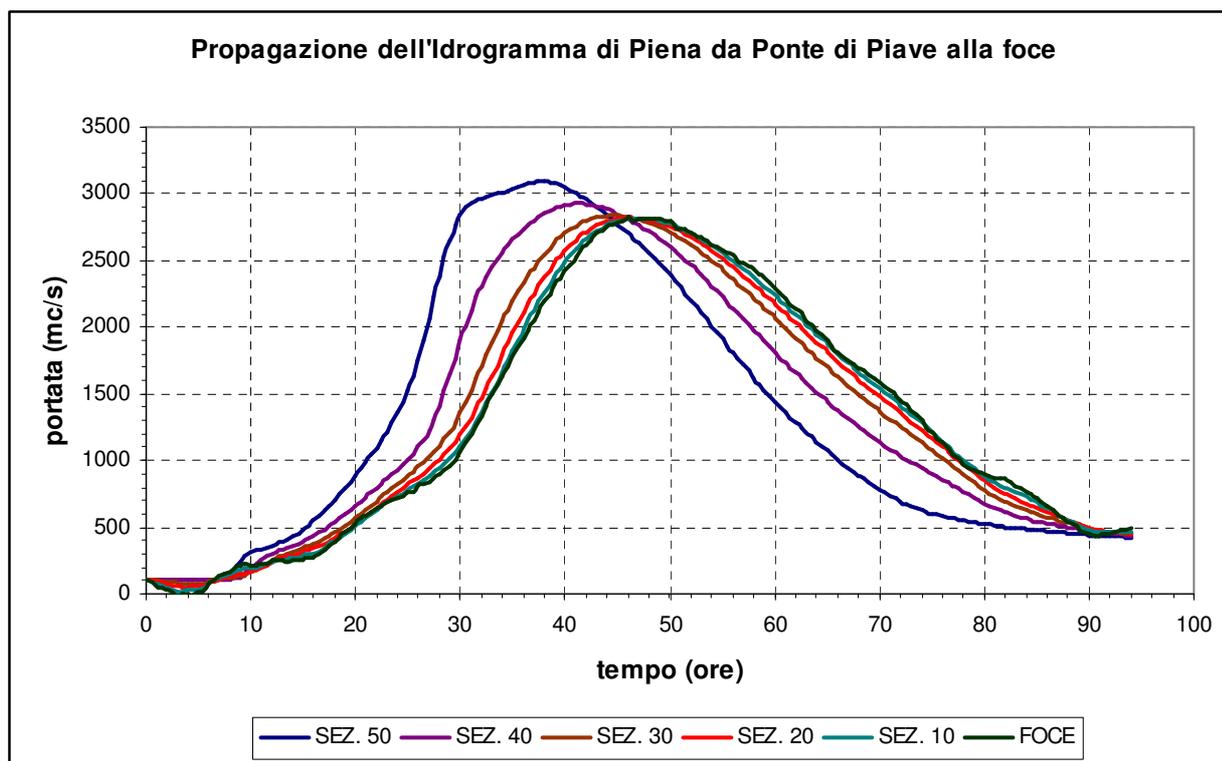


Figura 9 : Propagazione dell'onda di piena da Ponte di Piave alla foce.

La capacità di portata del corso d'acqua è tale per cui si verificano tracimazioni a monte e a valle del Ponte sulla SS 53 e nel tratto compreso tra San Donà di Piave ed Eraclea.

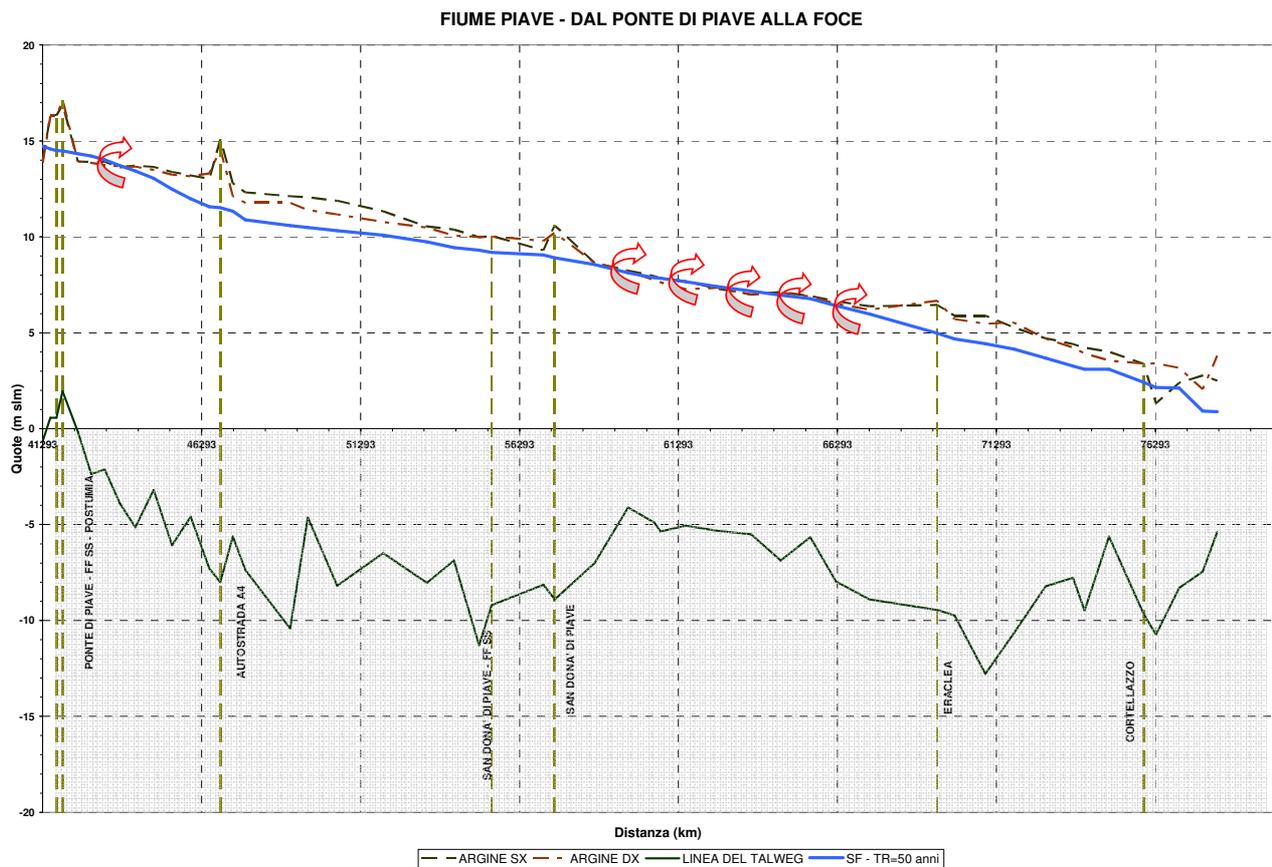


Figura 10 : Profilo di piena per evento con tempo di ritorno 50 anni.

6.5.3. I profili di piena per tempo di ritorno di 100 anni

Rispetto all'evento precedente, con riferimento all'evento centennale, la portata in arrivo a Ponte di Piave risulta pari a 3.270,0 mc/s. Procedendo verso valle la portata si riduce a 3.096,0 mc/s alla sez. 40, 3.005,0 mc/ alla sez. 30 e 2.995,0 mc/s alla sez. 20, mantenendo tale valore fino alla foce.

L'effetto di laminazione, pari a 275 mc/s, è legato alle espansioni golenali presenti lungo il tratto in esame.

Gli idrogrammi ed il profilo di piena sono rappresentati nelle figure seguenti.

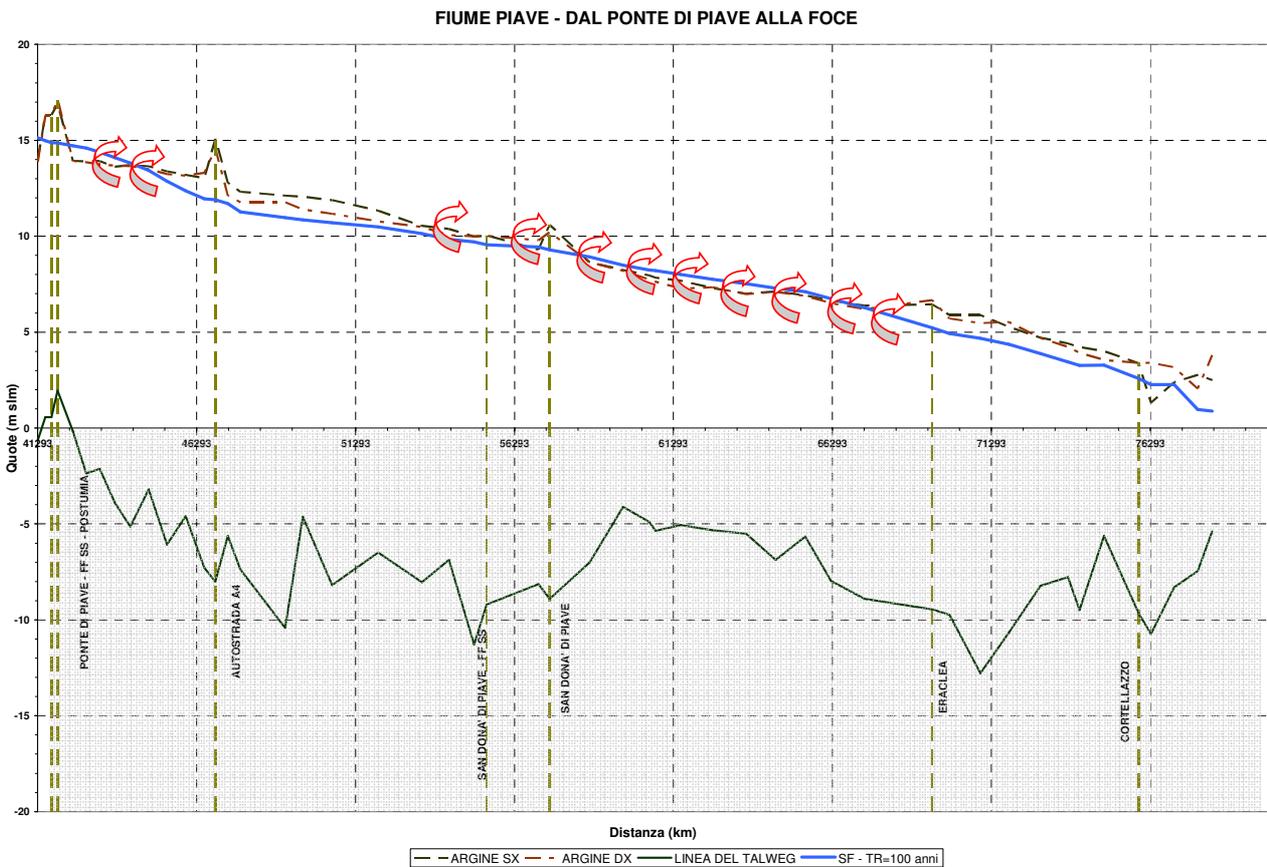
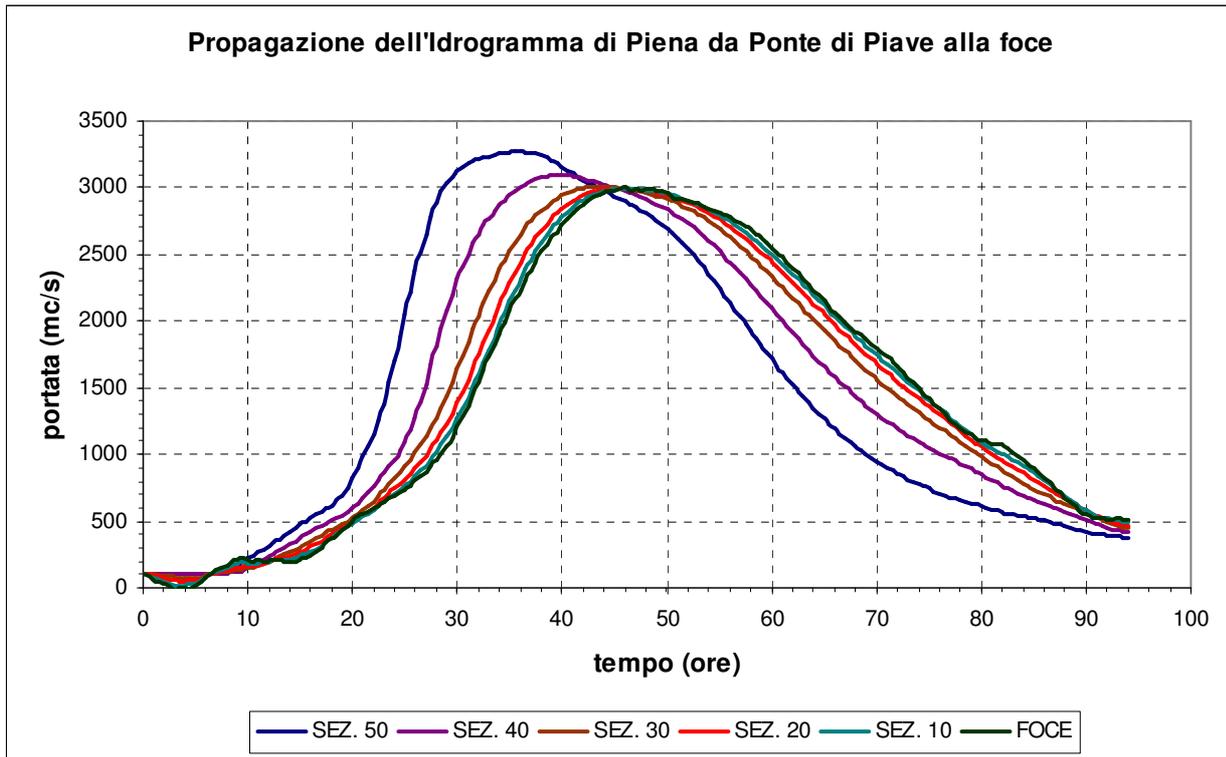


Figura 11 : Profilo di piena per evento con tempo di ritorno 100 anni.

Rispetto alla simulazione precedente si accentuano le esondazioni a valle di Ponte di Piave, a monte del ponte ferroviario di San Donà di Piave e nel tratto compreso tra San Donà di Piave ed Eraclea.

6.5.4. Effetti degli interventi di progetto sul livelli di piena

Come riportato nella tabella seguente gli interventi previsti, essendo di modesta entità, comportano una riduzione dei tiranti per portate contenute all'interno dell'alveo attivo mentre in termini di massima piena l'effetto risulta del tutto trascurabile, come riportato nella tabella seguente.

SEZIONE	QUOTA DI FONDO	DISTANZA PROGRESSIVA	QUOTA ARGINE SINISTRO	QUOTA ARGINE DESTRO	STATO DI FATTO - TEMPO DI RITORNO = 50 anni			STATO DI FATTO - TEMPO DI RITORNO = 100 anni			STATO DI PROGETTO - TEMPO DI RITORNO = 50 anni			STATO DI PROGETTO - TEMPO DI RITORNO = 100 anni		
					LIVELLO MASSIMO RAGGIUNTO DALLA PIENA	FRANCO ARGINALE SINISTRO	FRANCO ARGINALE DESTRO	LIVELLO MASSIMO RAGGIUNTO DALLA PIENA	FRANCO ARGINALE SINISTRO	FRANCO ARGINALE DESTRO	LIVELLO MASSIMO RAGGIUNTO DALLA PIENA	FRANCO ARGINALE SINISTRO	FRANCO ARGINALE DESTRO	LIVELLO MASSIMO RAGGIUNTO DALLA PIENA	FRANCO ARGINALE SINISTRO	FRANCO ARGINALE DESTRO
					m slm	m	m	m slm	m	m	m slm	m	m	m slm	m	m
50	-1	41293	14.02	13.87	14.74	-0.72	-0.87	15.13	-1.11	-1.26	14.70	-0.68	-0.83	15.09	-1.07	-1.22
49	1	41535	16.33	16.30	14.58	1.75	1.72	14.98	1.35	1.32	14.54	1.79	1.76	14.93	1.40	1.37
48	1	41729	16.33	16.30	14.50	1.83	1.80	14.88	1.45	1.42	14.45	1.88	1.85	14.84	1.49	1.46
47	2	41922	16.88	17.11	14.48	2.40	2.63	14.86	2.02	2.25	14.44	2.44	2.67	14.82	2.06	2.29
46	0	42398	13.93	13.93	14.33	-0.40	-0.40	14.71	-0.78	-0.78	14.30	-0.37	-0.37	14.68	-0.75	-0.75
45	-2	42822	13.90	13.86	14.21	-0.31	-0.35	14.59	-0.69	-0.73	14.19	-0.29	-0.33	14.57	-0.67	-0.71
44	-2	43247	13.92	13.74	14.01	-0.09	-0.27	14.39	-0.47	-0.65	14.00	-0.08	-0.26	14.38	-0.46	-0.64
43	-4	43720	13.62	13.68	13.72	-0.10	-0.04	14.10	-0.48	-0.42	13.72	-0.10	-0.04	14.10	-0.48	-0.42
42	-5	44202	13.71	13.66	13.44	0.27	0.22	13.82	-0.11	-0.16	13.43	0.28	0.23	13.82	-0.11	-0.16
41	-3	44781	13.65	13.49	13.05	0.60	0.44	13.43	0.22	0.06	13.05	0.60	0.44	13.43	0.22	0.06
40	-6	45364	13.38	13.24	12.48	0.90	0.76	12.86	0.52	0.38	12.47	0.91	0.77	12.85	0.53	0.39
39	-5	45948	13.20	13.16	11.99	1.21	1.17	12.36	0.84	0.80	11.98	1.22	1.18	12.36	0.84	0.80
38	-7	46538	13.03	13.31	11.57	1.46	1.74	11.96	1.07	1.35	11.57	1.46	1.74	11.95	1.08	1.36
37	-8	46882	15.08	14.57	11.52	3.56	3.05	11.90	3.18	2.67	11.51	3.57	3.06	11.90	3.18	2.67
36	-6	47274	12.79	12.11	11.33	1.46	0.78	11.70	1.09	0.41	11.32	1.47	0.79	11.70	1.09	0.41
35	-7	47672	12.32	11.77	10.88	1.44	0.89	11.27	1.05	0.50	10.88	1.44	0.89	11.26	1.06	0.51
34	-10	49079	12.12	11.77	10.59	1.53	1.18	10.97	1.15	0.80	10.59	1.53	1.18	10.97	1.15	0.80
33	-5	49636	12.06	11.40	10.48	1.58	0.92	10.86	1.20	0.54	10.47	1.59	0.93	10.85	1.21	0.55
32	-8	50553	11.88	11.17	10.32	1.56	0.85	10.70	1.18	0.47	10.32	1.56	0.85	10.70	1.18	0.47
31	-6	51998	11.33	10.78	10.09	1.24	0.69	10.49	0.84	0.29	10.09	1.24	0.69	10.48	0.85	0.30
30	-8	53376	10.54	10.48	9.74	0.80	0.74	10.14	0.40	0.34	9.74	0.80	0.74	10.13	0.41	0.35
29	-7	54231	10.38	10.06	9.44	0.94	0.62	9.83	0.55	0.23	9.44	0.94	0.62	9.83	0.55	0.23
28	-11	55015	9.98	10.00	9.30	0.68	0.70	9.70	0.28	0.30	9.30	0.68	0.70	9.70	0.28	0.30
27	-9	55414	10.04	10.02	9.19	0.85	0.83	9.56	0.48	0.46	9.18	0.86	0.84	9.56	0.48	0.46
26	-8	57041	9.30	9.79	9.06	0.24	0.73	9.44	-0.14	0.35	9.05	0.25	0.74	9.44	-0.14	0.35
25	-9	57396	10.60	10.21	8.91	1.69	1.30	9.29	1.31	0.92	8.91	1.69	1.30	9.29	1.31	0.92
24	-7	58652	8.64	8.65	8.56	0.08	0.09	8.93	-0.29	-0.28	8.55	0.09	0.10	8.92	-0.28	-0.27
23	-4	59711	8.24	8.19	8.13	0.11	0.06	8.49	-0.25	-0.30	8.12	0.12	0.07	8.48	-0.24	-0.29
22	-5	60531	7.95	7.75	7.88	0.07	-0.13	8.24	-0.29	-0.49	7.88	0.07	-0.13	8.23	-0.28	-0.48
21	-5	60730	7.84	7.63	7.84	0.00	-0.21	8.20	-0.36	-0.57	7.84	0.00	-0.21	8.19	-0.35	-0.56
20	-5	61525	7.68	7.27	7.65	0.03	-0.38	8.00	-0.32	-0.73	7.65	0.03	-0.38	8.00	-0.32	-0.73
19	-5	62513	7.30	7.34	7.41	-0.11	-0.07	7.76	-0.46	-0.42	7.41	-0.11	-0.07	7.76	-0.46	-0.42
18	-6	63572	7.01	6.98	7.18	-0.17	-0.20	7.53	-0.52	-0.55	7.18	-0.17	-0.20	7.53	-0.52	-0.55
17	-7	64507	7.12	7.10	6.96	0.16	0.14	7.30	-0.18	-0.20	6.96	0.16	0.14	7.30	-0.18	-0.20
16	-6	65438	6.92	6.89	6.77	0.15	0.12	7.11	-0.19	-0.22	6.76	0.16	0.13	7.11	-0.19	-0.22
15	-8	66249	6.65	6.51	6.41	0.24	0.10	6.74	-0.09	-0.23	6.40	0.25	0.11	6.73	-0.08	-0.22
14	-9	67298	6.38	6.20	5.97	0.41	0.23	6.28	0.10	-0.08	5.97	0.41	0.23	6.28	0.10	-0.08
13	-9	69428	6.45	6.67	4.97	1.48	1.70	5.23	1.22	1.44	4.97	1.48	1.70	5.23	1.22	1.44
12	-10	69975	5.89	5.71	4.68	1.21	1.03	4.93	0.96	0.78	4.68	1.21	1.03	4.93	0.96	0.78
11	-13	70945	5.89	5.47	4.43	1.46	1.04	4.67	1.22	0.80	4.43	1.46	1.04	4.67	1.22	0.80
10	-11	71846	5.27	5.53	4.14	1.13	1.39	4.36	0.91	1.17	4.13	1.14	1.40	4.36	0.91	1.17
9	-8	72842	4.71	4.69	3.68	1.03	1.01	3.88	0.83	0.81	3.68	1.03	1.01	3.88	0.83	0.81
8	-8	73699	4.41	4.23	3.27	1.14	0.96	3.45	0.96	0.78	3.27	1.14	0.96	3.44	0.97	0.79
7	-9	74066	4.22	3.92	3.09	1.13	0.83	3.26	0.96	0.66	3.09	1.13	0.83	3.26	0.96	0.66
6	-6	74841	4.01	3.55	3.10	0.91	0.45	3.28	0.73	0.27	3.09	0.92	0.46	3.28	0.73	0.27
5	-10	75925	3.38	3.39	2.41	0.97	0.98	2.58	0.80	0.81	2.41	0.97	0.98	2.57	0.81	0.82
4	-11	76312	1.32	3.40	2.14	-0.82	1.26	2.26	-0.94	1.14	2.14	-0.82	1.26	2.26	-0.94	1.14
3	-8	77045	2.39	3.16	2.11	0.28	1.05	2.26	0.13	0.90	2.11	0.28	1.05	2.26	0.13	0.90
2	-7	77782	2.77	2.05	0.92	1.85	1.13	0.96	1.81	1.09	0.92	1.85	1.13	0.96	1.81	1.09
1	-5	78243	2.50	3.80	0.89	1.61	2.91	0.89	1.61	2.91	0.89	1.61	2.91	0.89	1.61	2.91

LEGENDA	FRANCO	LEGENDA	FRANCO	LEGENDA	FRANCO	LEGENDA	FRANCO
	> 1		> 1		> 1		> 1
	0 < - < 1		0 < - < 1		0 < - < 1		0 < - < 1
	< 0		< 0		< 0		< 0

7 APPENDICE 1 - IL MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA

7.1. Generalità

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) è un modello di simulazione idraulica monodimensionale progettato per canali naturali ed artificiali.

7.1.1. Componenti idraulici di analisi

Il sistema di HEC-RAS contiene tre componenti unidimensionali di analisi dei corsi d'acqua : (1) simulazione a moto permanente (steady flow); (2) simulazione a moto vario (unsteady flow); (3) analisi del trasporto solido. Un elemento chiave è che tutti e quattro i componenti usano una rappresentazione di dati geometrica comune unitamente alle procedure di calcolo. Oltre alle tre componenti di analisi dei corsi d'acqua, il sistema contiene parecchie applicazioni che possono essere invocate una volta che i profili di base del pelo libero sono stati computati.

7.1.2. Simulazione a moto vario

Questa componente del HEC-RAS simula il sistema in regime di moto vario. Il *solver* delle equazioni idrauliche è stato adattato dal modello UNET del Dott. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 e HEC, 1997). Le componenti di analisi a moto vario sono state sviluppate soprattutto per i calcoli di regime di flusso subcritico. I calcoli idraulici per le sezioni trasversali, gli attraversamenti, i salti di fondo ed altre strutture idrauliche che sono state sviluppate per le simulazioni a moto permanente sono state implementate per le analisi a moto vario.

Le caratteristiche speciali di questo tipo di analisi comprendono: analisi della rottura di una diga; stazioni di pompaggio; conche di navigazioni e sistemi in pressione.

7.2. Descrizione matematica del modello utilizzato

Il modello matematico idraulico simula il moto vario di una corrente monodimensionale tramite l'integrazione agli elementi finiti delle equazioni dell'energia e della continuità.

Nel seguito si descriveranno brevemente le equazioni che governano il moto e l'approccio seguito per la loro integrazione.

7.3. Le equazioni del moto vario monodimensionale

Una corrente a pelo libero si definisce ‘monodimensionale’ quando il moto in una direzione è predominante rispetto alle rimanenti. In queste ipotesi, appare conveniente quindi risolvere l’equazione di conservazione dell’energia lungo l’ascissa curvilinea s in termini di velocità media, introducendo coefficienti correttivi di modo che il bilancio energetico risulti soddisfatto lungo ciascun tratto di tubo di flusso.

L’energia specifica per una corrente monodimensionale si scrive:

$$E = h_f + d + \alpha \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

dove h_f è la quota del fondo rispetto ad un qualsiasi piano di riferimento, d è il tirante idrico e α ,

coefficiente di Coriolis, definito come $\alpha = \frac{A^2}{Q^3} \int_A u^3 dA$.

La velocità media della corrente U è definita come $U = \frac{1}{A} \int_A u \cdot dA$.

L’equazione del moto vario per correnti unidirezionali diventa:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\beta}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad (2)$$

con β coefficiente di Coriolis definito come $\beta = \frac{A}{Q^2} \int_A u^2 dA$ e J la cadente piezometrica.

L’equazione di continuità per il tubo di flusso, trascurando termini di ordine superiore, si scrive:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \eta B \frac{\partial d}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

Considerando il fondo del canale inerodibile e, quindi, introducendo la definizione di quota idrica $h = h_f + d$, la (3) si può scrivere:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \eta B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3bis)$$

Il coefficiente η , funzione del tirante idrico e molto simile, concettualmente ad un coefficiente di immagazzinamento, ha la funzione di descrivere situazioni quali il parziale asciugamento o allagamento e, di conseguenza, di stabilizzare il sistema per bassissime lame d'acqua.

L'espressione (1) può essere sostituita in (2) e, tenendo conto che $U = \frac{Q}{A}$, si ottiene:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\beta Q}{gA^2} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\alpha Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + J = 0 \quad (4)$$

e, ricordando che (a) al primo ordine vale l'espressione $\frac{\partial A}{\partial t} \approx B \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$, dove $\eta \cdot B$ è la larghezza effettiva della sezione al pelo libero, mediata sull'intero tronco, che (b) nel caso di corrente monodimensionale il numero di Froude è definito come $Fr^2 = \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3}$, che (c) per l'equazione di

continuità $\frac{\partial Q}{\partial x} = -\eta B \frac{\partial h}{\partial t}$ e che (d) al primo ordine vale $\frac{\partial A}{\partial x} \approx \eta B \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$, l'equazione (4) diventa:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \eta \frac{\beta QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} - \eta \frac{\alpha QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial x} - \eta \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + J = 0$$

cioè:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \eta(\beta + \alpha) \frac{QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} (1 - \eta Fr^2) + J = 0 \quad (5)$$

L'espressione $\frac{\partial A}{\partial x} \approx \eta B \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$ è corretta perché il corso d'acqua viene pensato costituito da una successione di tratti a sezione e quota media del fondo costanti.

La generica sezione viene suddivisa in N sottosezioni ciascuna caratterizzata da un'area A_i , da un raggio idraulico R_{Hi} , dalla medesima quota della superficie libera e dalla stessa pendenza della quota piezometrica. Nell'ipotesi *quasi-statica* si assume infatti che, per il calcolo di α , β e J il moto nella sottosezione i -esima possa essere considerato uniforme per la stessa portata Q e quota idrica h , cioè:

$$u_i = K_{Si} R_{Hi}^{2/3} J^{1/2} \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

Con qualche passaggio si ricava: $J = \frac{Q^2}{\left(\sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i\right)^2}$ e, tenendo conto della direzione del moto,

$$J = \frac{Q|Q|}{\left(\sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i\right)^2} = r \cdot Q|Q| \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{A^2 \cdot \sum_{i=1}^N (K_{Si}^3 R_{Hi}^2) A_i}{\left(\sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i\right)^3} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{A \cdot \sum_{i=1}^N (K_{Si}^2 R_{Hi}^{4/3}) A_i}{\left(\sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i\right)^2} \quad (9)$$

7.4. Metodologia e discretizzazione spazio-temporale

L'equazione (5) viene discretizzata nel tempo mediante uno schema alle differenze finite e linearizzata. Tenendo conto della (7) si ricava:

$$Q^{n+1} = Q^n + \left(\frac{\eta(\beta + \alpha) QB}{\beta A}\right)^n (h^{n+1} - h^n) - \frac{\partial(h^{n+1} + h^n)}{\partial x} \left(\frac{(1 - \eta Fr^2) gA}{\beta}\right)^n \frac{\Delta t}{2} +$$

$$- \left(r|Q| \frac{gA}{\beta}\right)^n (Q^{n+1} + Q^n) \frac{\Delta t}{2}$$

e, indicando con

$$c_1 = 1 + \frac{\Delta t}{2} \left(r|Q| \frac{gA}{\beta}\right)^n \quad c_2 = 1 - \frac{\Delta t}{2} \left(r|Q| \frac{gA}{\beta}\right)^n$$

$$c_3 = \left(\frac{\eta(\beta + \alpha) QB}{\beta A}\right)^n \quad c_4 = \left(\frac{(1 - \eta Fr^2) gA}{\beta}\right)^n \frac{\Delta t}{2}$$

si ottiene:

$$Q^{n+1} = \frac{c_2}{c_1} Q^n + \frac{c_3}{c_1} (h^{n+1} - h^n) - \frac{c_4}{c_1} \frac{\partial(h^{n+1} + h^n)}{\partial x} \quad (10)$$

L'espressione (10) viene quindi sostituita nell'equazione di continuità (3) che viene quindi risolta nella sola incognita h quota del pelo libero attraverso un metodo agli elementi finiti adottando una schematizzazione quadratica per la quota idrica h , considerando per le grandezze c_1 , c_2 , c_3 e c_4 un valore costante, caratteristico, nel generico tronco. Assumendo la portata costante nel generico canale, la quota del pelo libero e la derivata del pelo libero nella (10) sono da intendersi come valori caratteristici (costanti) sull'elemento.