

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC VERONA - PADOVA

SUB TRATTA VERONA – VICENZA

2° SUB LOTTO MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA

RELAZIONE

CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI

BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

GENERAL CONTRACTOR		ITALFERR S.p.A.	SCALA:
ATI bonifica Progettista integratore Franco Persio Bocchetto iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n° 8664 - Sez. A settore Civile ed Ambientale Data: Aprile 2016	Consorzio IRICAV DUE Il Direttore Data: Aprile 2016		-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I N O D 0 2 D I 2 R I C A 0 0 0 1 2 0 1 C

ATI bonifica	VISTO ATI BONIFICA	
	Firma	Data
	Ing.F.P. Bocchetto	Aprile 2016

Progettazione

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	EMISSIONE	FR	06/2015	R. Tonin	06/2015	G. De Stavola	06/2015	Ing. G. De Stavola
B	REVISIONE	FR	06/2015	R. Tonin	06/2015	G. De Stavola	06/2015	
C	Revisione MATTM (Prot.0001350/CTVA 14/04/16)	EC	04/2016	R. Tonin	04/2016	G. De Stavola	04/2016	
								Data: Aprile 2016

File: IN0D02DI2RICA0001201C.DOCX	CUP: J41E9100000009	n. Elab.:
	CIG: 3320049F17	

INDICE

1	PREMESSE.....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE.....	4
2.1	L'area di intervento.....	5
2.2	Lo sbarramento di Pontoncello.....	6
2.3	Vincoli di portata del fiume Adige.....	8
2.4	Obiettivi dell'intervento.....	10
3	ANALISI IDROLOGICA.....	12
3.1	Portate medie mensili a Zevio.....	12
3.2	Carenza idrica ciclica.....	14
3.3	Portata media di derivazione e di restituzione.....	16
4	ANALISI IDRAULICA.....	18
4.1	Modello idraulico del fiume Adige.....	18
4.1.1	Geometria.....	18
4.1.2	Condizioni al contorno.....	19
4.1.3	Risultati.....	20
4.2	Derivazione dal Canale Ex S.A.V.A.....	22
5	DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEI MANUFATTI.....	24
5.1	Descrizione delle opere.....	24
5.2	Manufatto di presa dal canale Ex S.A.V.A.....	25
5.3	Manufatto di restituzione.....	27
6	CONCLUSIONI.....	31
	APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS.....	32

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 3di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

1 PREMESSE

La presente relazione idrologica e idraulica è stata redatta a corredo del progetto di realizzazione del “Sito di produzione inerti: bacino di compensazione irriguo Zevio” nell’ambito del PD della linea ferroviaria AV/AC Verona–Padova.

L’area in oggetto interessa una porzione di golena in sinistra idrografica del Fiume Adige appartenente al territorio comunale di Zevio ed è compresa tra la presa del canale Ex S.A.V.A. e la confluenza con il torrente Alpone ad Albaredo.

L’area è inquadrata come sito di produzione inerti sia per il sub lotto 2 “Montebello Vicentino-Vicenza” che per il sub lotto 1 “Verona-Montebello Vicentino” (cfr. relativo PUT); da essa si prevede la produzione di materiali da scavo con caratteristiche prestazionali tali da essere utilizzati per inerti pregiati. Si specifica che le effettive volumetrie che saranno conferite dalla prevista cassa di espansione di Zevio ai due sub lotti potranno essere determinate solo in funzione dell’effettivo avvio dei lavori e delle effettive tempistiche realizzative dei due sub lotti medesimi.

Il presente progetto riguarda la realizzazione, in corrispondenza del sito di produzione inerti previsto per la realizzazione della Linea AV/AC Verona – Padova, di un volume di invaso destinato alla compensazione dei flussi di portata settimanali condizionati dall’utilizzo idroelettrico delle portate del F. Adige.

Il progetto è stato redatto nel rispetto e nell’osservanza della vigente normativa statale in materia di progettazione di opere pubbliche con particolare riferimento al D.Lgs. 163/2006 e al D.P.R. 207/2010.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'Adige nasce da una sorgente presso il lago di Resia a 1586 m s.m.m., attraversa le province di Trento e Bolzano e la regione Veneto e percorre 410 km prima di sfociare nel mare Adriatico a Porto Fossone. Il bacino montano chiude ad Albaredo: da qui al mare Adriatico, per circa 110 chilometri, il fiume è per lo più pensile. La superficie del bacino idrografico è di 12 100 km².

Il corso d'acqua, per i primi 40 km attraversa la Val Venosta (bacino imbrifero pari a 2 722 km²) e raccoglie la confluenza del primo grande affluente, l'Isarco (bacino imbrifero pari 4 202 km²), poco dopo Bolzano. Gli ulteriori affluenti principali fanno capo a due rami, disposti in sinistra e destra orografica: il Noce e l'Avisio. Accanto a questi vi sono altri affluenti di minore importanza quali: il Ram, il Solda, il Plima, il Valsura e il Tasso in destra idrografica; il rio Carlino, il torrente Puni, il rio Senales, il Passirio, il Fersina, il Leno, il Valpantena, lo Squaranto-Fibbio, l'Illasi, l'Alpone in sinistra idrografica.

L'intervento in progetto si trova in comune di Zevio, nel tratto di fiume tra lo sbarramento di Pontoncello e la confluenza dell'Alpone (Figura 2.1). Tale tratto è caratterizzato dalla presenza di aree golenali di dimensioni significative.



Figura 2.1 – Inquadramento dell'area interessata dall'intervento (in rosso).

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D02DI2RICA0001201	REV. C	Pag 5di46

2.1 L'area di intervento

L'intervento di progetto riguarda la realizzazione di un bacino di compensazione dei flussi di magra lungo il corso del fiume Adige, nel tratto compreso tra la presa del canale Ex S.A.V.A. fino alla confluenza con il torrente Alpone ad Albaredo (Figura 2.2). Tale tratto del corso d'acqua presenta una lunghezza di circa 25 km e una superficie compresa tra le arginature di complessivi 1255 ha circa, di cui 740 circa classificabili come golene.

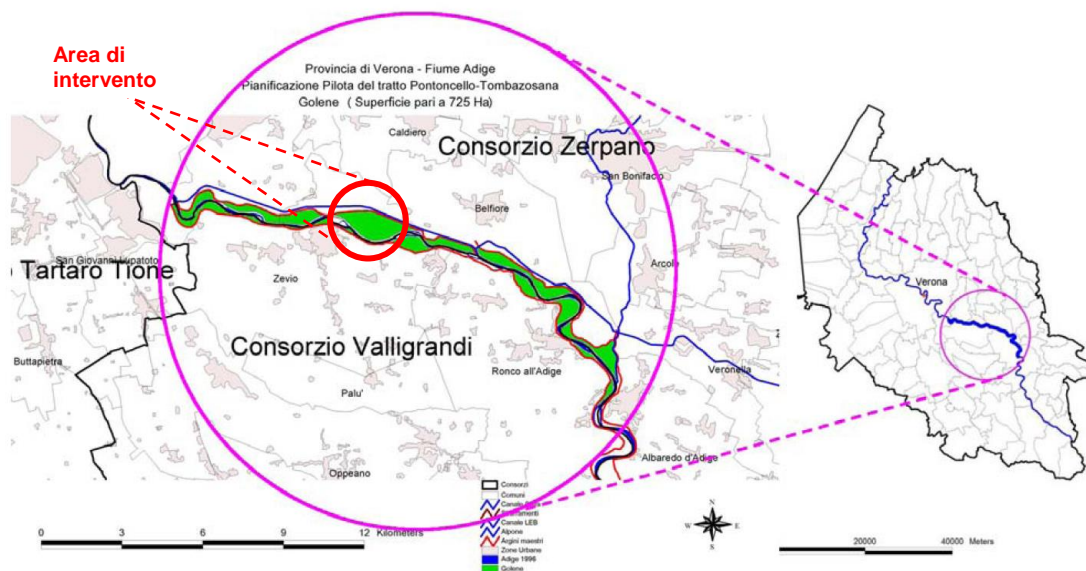


Figura 2.2 – Inquadramento territoriale del tratto di F. Adige tra il canale Ex S.A.V.A e la confluenza con il torrente Alpone ad Albaredo.

L'intervento in progetto interessa una porzione di golena, attualmente adibita ad uso agricolo e totalmente in proprietà privata, ubicata in sinistra idraulica, in comune di Zevio (VR), come rappresentato in Figura 2.3.

L'area ha una superficie complessiva di 72 ha e presenta quote altimetriche comprese tra 28÷30 m s.m.m..



Figura 2.3 – Area d'intervento (in rosso).

2.2 Lo sbarramento di Pontoncello

Il bacino idrografico del fiume Adige è caratterizzato dalla presenza di alcuni impianti ad acqua fluente per la produzione di energia elettrica, che derivano una parte della portata tramite un manufatto di derivazione ed una traversa e la restituiscono al corso d'acqua medesimo più a valle.

In questa tipologia di impianto ricade lo sbarramento di Pontoncello, in comune di San Giovanni Lupatoto (VR). Lo sbarramento di Pontoncello è una traversa fluviale lunga 112 m provvista di 3 luci regolabili, dotate di paratoie a settore. Per mezzo di questo manufatto le portate del F. Adige, nel rispetto del deflusso minimo vitale (DMV) e della portata massima derivabile fissata nel decreto di concessione, vengono derivate nel canale Ex S.A.V.A. per alimentare la centrale idroelettrica ENEL di Zevio (Figura 2.4). La portata massima di concessione per la produzione di energia elettrica è pari a 150 m³/s; il valore mediamente derivato nel canale Ex S.A.V.A. può essere stimato pari a 130 m³/s.



Figura 2.4 – Inquadramento sbarramento di Pontoncello – Canale Ex S.A.V.A – fiume Adige.

Le acque turbinate dalla centrale vengono poi restituite al fiume Adige in località Belfiore d'Adige (VR). Poco prima della restituzione al corso d'acqua principale, inoltre, parte delle acque del canale Ex S.A.V.A. vengono derivate ed immesse nel Canale L.E.B., mediante l'esistente opera di presa, per servire un comprensorio agricolo di circa 350'000 ha. Il valore medio di portata convogliata nel Canale L.E.B. nel periodo irriguo (15 marzo – 15 ottobre) risulta pari a 26.5 m³/s, mentre il resto dell'anno viene prelevata una portata di 10 m³/s con finalità di vivificazione dei corsi d'acqua.

L'area di intervento, oggetto della presente progettazione, si trova circa 8.0 km a valle della traversa di Pontoncello e risente in maniera pesante della derivazione effettuata dallo sbarramento stesso. Infatti, quando la portata in Adige è bassa, questa viene quasi tutta derivata nel Canale Ex S.A.V.A., lasciando in Adige deflussi di modestissima entità (negli anni 2005 e 2006 è stata stimata una portata media annua dell'Adige a Zevio di 15 m³/s).

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 8di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

2.3 Vincoli di portata del fiume Adige

Il vincolo maggiore riguardo alle disponibilità di risorse idriche del fiume Adige è rappresentato dalla portata minima di rispetto, pari a 80 m³/s, che dev'essere garantita alla sezione di Boara Pisani. Tale soglia, infatti, risulta superiore al deflusso minimo vitale (DMV) (che nella medesima sezione presenta un valore pari a circa 36 m³/s).

La portata minima di rispetto di 80 m³/s è stata stabilita dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige ed è il valore necessario per un efficiente funzionamento dello sbarramento anti intrusione del cuneo salino, realizzato in prossimità della foce nel 1995 dal Consorzio di Bonifica Delta del Po.

Negli ultimi anni si è assistito a una notevole diminuzione dei volumi transitanti nel fiume Adige alla sezione di Boara Pisani, in particolare per fattori legati al maggior utilizzo della risorsa idrica in campo agricolo. In Figura 2.5 è rappresentato lo schema idraulico delle derivazioni dell'Adige; come si può notare i prelievi per uso agricolo (in verde) risultano concentrati in particolar modo nel tratto a valle della sezione di Albaredo d'Adige. Ad essi si sommano, inoltre, nel medesimo tratto, le derivazione per utilizzo idropotabile (in azzurro).

Ricordato che a Boara Pisani dovrebbe essere sempre presente la portata di minimo deflusso di 80 m³/s per garantire una certa efficienza nel funzionamento della barriera alla foce contro la risalita del cuneo salino, si può definire “deficit idrico” il volume di acqua che risulta mancante rispetto a tale portata minima.

Titolo:

CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI
BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO

REV.

IN0D02DI2RICA0001201

C

Pag
9di46

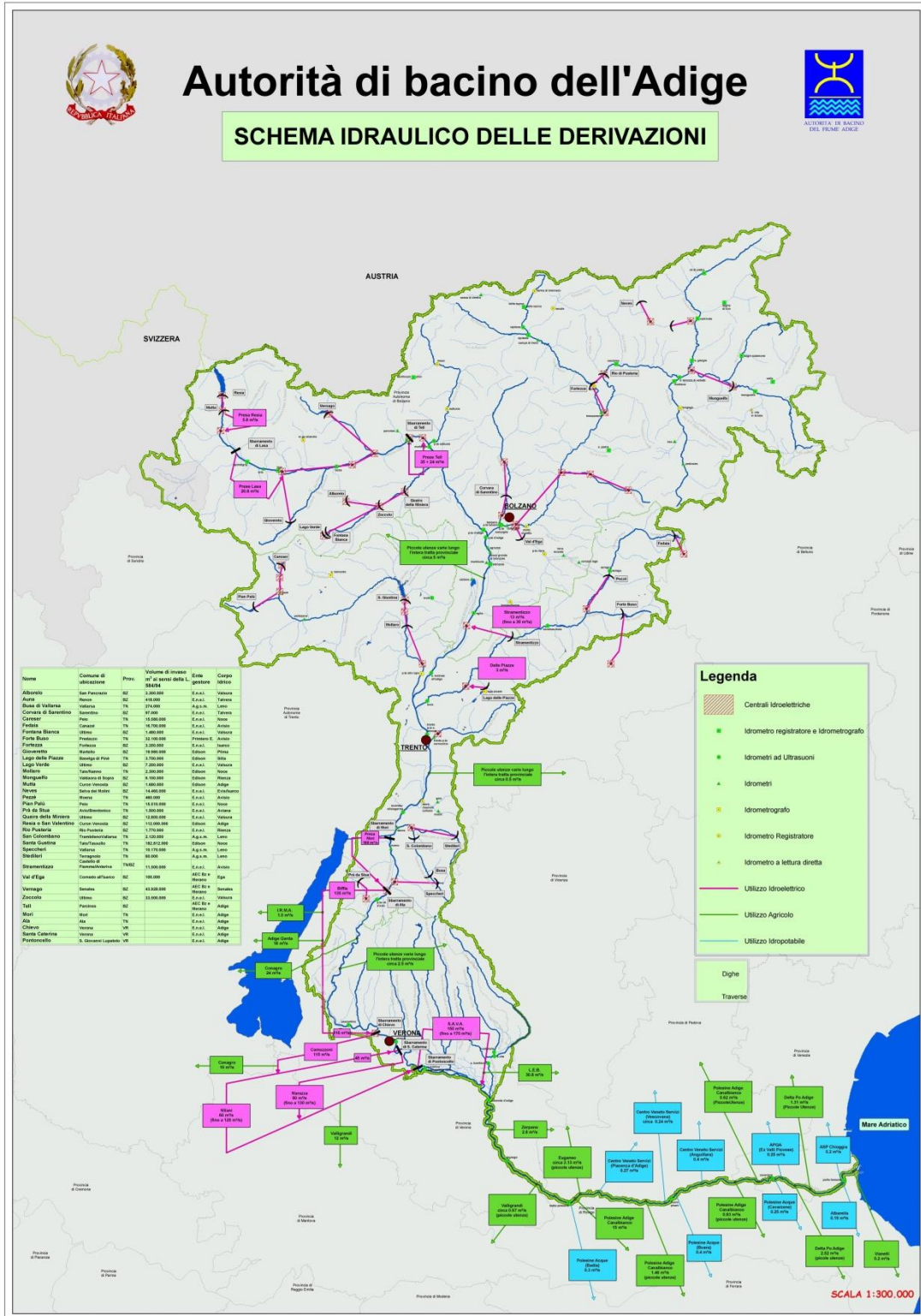


Figura 2.5 – Schema idraulico delle derivazioni del fiume Adige.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 10di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

2.4 Obiettivi dell'intervento

La finalità dell'intervento trovano riscontro nello "Studio per il recupero naturalistico e morfologico del fiume Adige – Tratto Pontoncello – Tombazosana" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige (2008).

In tale studio vengono, tra gli altri temi, affrontate alcune emergenze idrauliche del fiume Adige, di seguito elencate:

- abbassamento diffuso del talweg nel tratto arginato che causa problemi di stabilità alle infrastrutture viarie (Ponte di Zevio);
- ridottissimo trasporto solido proveniente da monte;
- allagabilità delle golene notevolmente ridotta, con esiguo contributo alla laminazione dell'onda di piena, alla riduzione del tirante idraulico e alla riduzione della velocità della corrente di piena, con possibili esondazioni del fiume in prossimità della foce;
- strutture arginali in frodo, in alcuni tratti, con conseguente pericolo per la stabilità delle stesse;
- difficoltà di attingimento per le derivazioni dal fiume anche per frequenti condizioni di deficit idrico;
- aree golenali con zone intensamente coltivate, presenza di strutture fisse quali impianti di irrigazione e serre e di vegetazione che possono costituire ostacolo o pericolo al naturale deflusso durante le fasi di piena.

Con la presente progettazione si vuole, in particolare, fornire una soluzione per diminuire il grado di criticità idraulica legato alle frequenti condizioni di deficit idrico del fiume Adige, così come è stato definito al paragrafo precedente.

La registrazione di portate inferiori alla soglia di 80 m³/s a Boara Pisani risulta legata alle modalità di gestione della risorsa idrica del fiume Adige. Si tratta di un fenomeno meramente antropico e tipicamente presenta ciclicità giornaliera, settimanale ed annuale, dipendendo dai rilasci dei bacini di produzione di energia elettrica e dal sistema di derivazioni, che interessano il corso d'acqua.

Sulla base di tali criticità si è prevista la realizzazione delle opere in progetto. Il bacino di compensazione irrigua proposto ha lo scopo di mettere a disposizione un volume di

accumulo delle acque del fiume Adige nei giorni in cui la disponibilità di risorsa idrica è maggiore e, comunque, tale da non determinare il deficit idrico; il volume così immagazzinato potrà, dunque, essere rilasciato nel corso d'acqua nei periodi di carenza della risorsa.

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Portate medie mensili a Zevio

Per una valutazione delle risorse idriche disponibili nel fiume Adige a Zevio ci si è riferiti alla stazione di misura ARPAV di Albaredo d'Adige. Tale sezione risulta ubicata circa 13 km a valle dell'area di intervento e 4 km a valle della restituzione in Adige delle portate derivate dal Canale Ex S.A.V.A. (Figura 3.1).

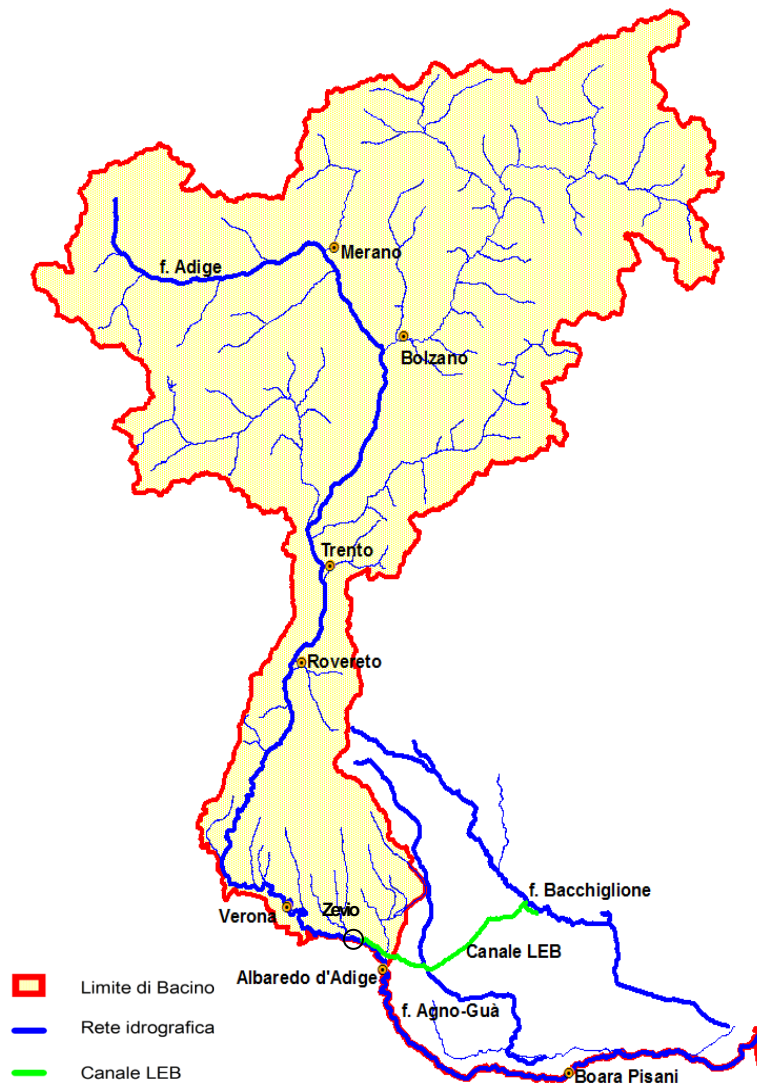


Figura 3.1 – Bacino idrografico Fiume Adige.

Assumendo per il Canale Ex S.A.V.A. una portata media di derivazione pari a 130 m³/s, la portata media del fiume Adige a Zevio è stata stimata per differenza da quella di Albaredo¹. Si è assunto, in ogni caso, che la portata media mensile a Zevio non possa scendere sotto il valore di 15 m³/s.

Sono state, dunque, analizzate le portate medie giornaliere del periodo 2007÷2013²; da tale analisi risultano i valori medi mensili riportati in Tabella 3.1 e rappresentati nei grafici di Figura 3.2.

Tabella 3.1 – Portate medie mensili del fiume Adige a Albaredo e stima delle portate medie mensili del fiume Adige a Zevio.

portate medie mensili del fiume Adige nel periodo 2007÷2013												
Mese	2007		2008		2009		2010		2012		2013	
	Albaredo	Zevio	Albaredo	Zevio	Albaredo	Zevio	Albaredo	Zevio	Albaredo	Zevio	Albaredo	Zevio
GEN	108.04	15	100.04	15	184.6	54.6	178.88	48.88	112.46	15	172.12	42.12
FEB	108	15	94.43	15	195.69	65.69	143.05	15	115.18	15	145.7232	15.72321
MAR	116.21	15	94.48	15	176.65	46.65	135.83	15	106.18	15	198.52	68.52
APR	98.77	15	139.03	15	318.58	188.58	143.66	15	133.59	15	301.91	171.91
MAG	111.38	15	280.35	150.35	434.37	304.37	348.41	218.41	222.85	92.85	573.93	443.93
GIU	194.18	64.18	449.12	319.12	356.91	226.91	356.4	226.4	247.23	117.23	441.59	311.59
LUG	164.12	34.12	332.83	202.83	289.77	159.77	210.5	80.5	175.8	45.8	293.7	163.7
AGO	144.83	15	200.19	70.19	193.19	63.19	279.25	149.25	132.63	15	186.07	56.07
SET	132.63	15	166.49	36.49	156.64	26.64	228.9	98.9	198.65	68.65	159.15	29.15
OTT	131.95	15	147.28	17.28	131.57	15	227.37	97.37	221.62	91.62	237.44	107.44
NOV	153.65	23.65	298.16	168.16	121.33	15	418.77	288.77	428.42	298.42	309.98	179.98
DIC	117.97	15	240.7	110.7	191.58	61.58	297.95	167.95	253.42	123.42	215.23	85.23

Si sono, inoltre, determinati i seguenti valori di portata di riferimento per le analisi idrauliche del successivo capitolo:

- portata media giornaliera del periodo 2007÷2013 ad Albaredo: 214 m³/s
- portata media giornaliera del periodo 2007÷2013 a Zevio: 92 m³/s

Considerando, invece, i valori medi mensili del periodo dell'anno aprile-settembre, mesi in cui si concentrano i prelievi per uso irriguo, risulta una portata media mensile ad Albaredo per gli anni 2007÷2013 pari a 244 m³/s. Se si assume una portata di derivazione del Canale Ex S.A.V.A. pari a 130 m³/s, per differenza, si può stimare un valore medio mensile a Zevio nella stagione irrigua pari a 114 m³/s.

¹ A tale valore andrebbero, inoltre, sottratte le portate derivate nel Canale LEB, che per semplicità di trattazione vengono trascurate, non andando a modificare le considerazioni che verranno sviluppate nei paragrafi successivi.

² I dati nel 2011 non sono disponibili a causa di un guasto della stazione di misura.

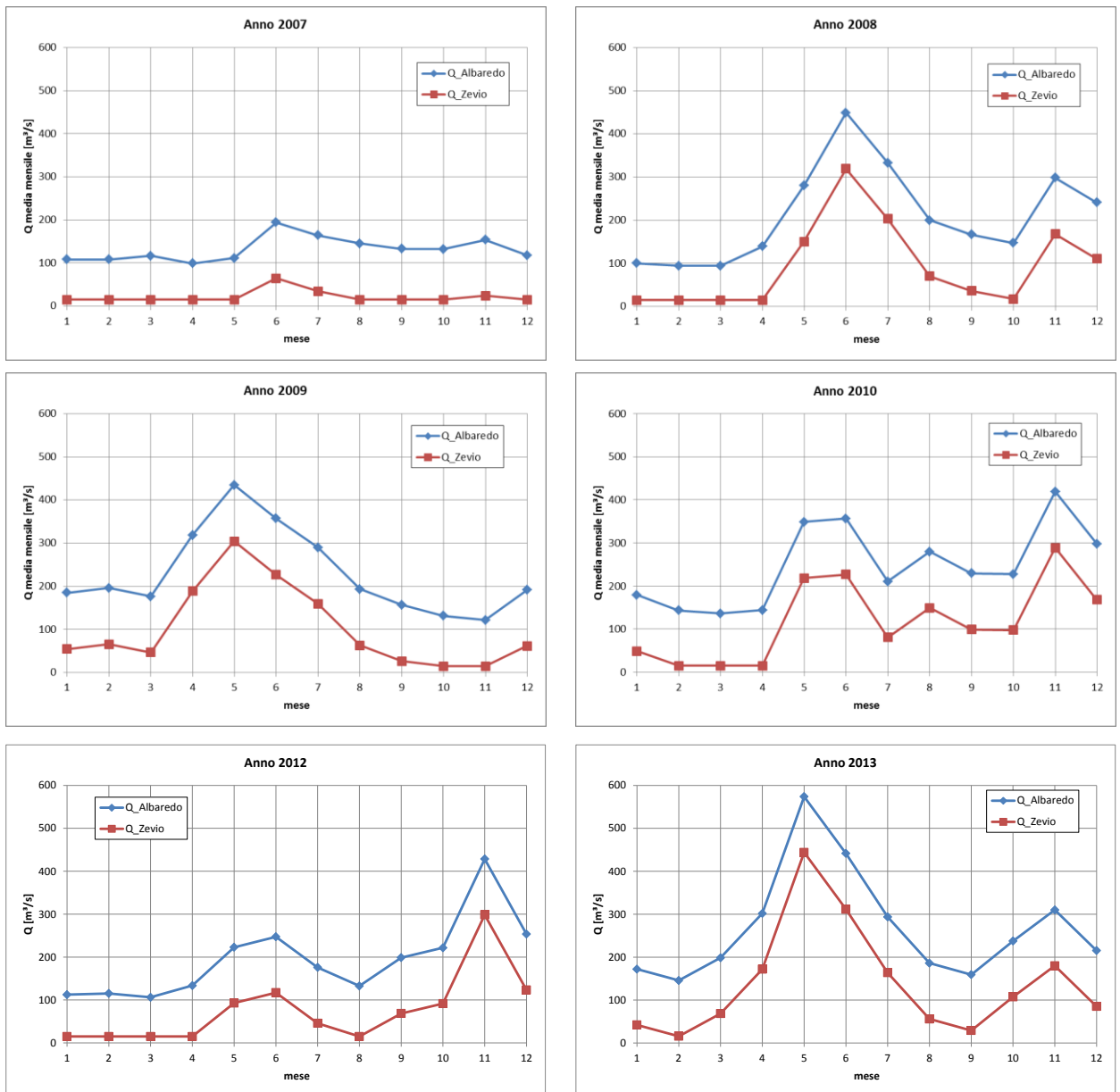


Figura 3.2 – Stima dell'andamento delle portate medie mensili del fiume Adige negli anni 2007+2013.

3.2 Carezza idrica ciclica

L'Adige è un corso d'acqua fortemente antropizzato e nella sua parte montana vi sono numerosi invasi che a loro volta condizionano pesantemente le portate defluenti nel tratto vallivo.

Dalle analisi idrologiche riportate nello “Studio per il recupero naturalistico e morfologico del fiume Adige – Tratto Pontoncello – Tombazosana” (Autorità di Bacino del Fiume Adige, 2008), risulta, in particolare, evidente il fatto che a Boara Pisani vi è un decremento delle portate nelle giornate di lunedì e martedì a causa della minore produzione di energia elettrica nel fine settimana. Nel fine settimana, infatti, vi è una minore richiesta di produzione all’interno della borsa dell’energia e i rilasci dai bacini idroelettrici di monte subiscono un decremento.

Nella figura seguente, tratta dal sopracitato studio, si possono osservare due grafici riportanti l’andamento delle portate a Trento e a Boara Pisani, in una tipica settimana estiva.

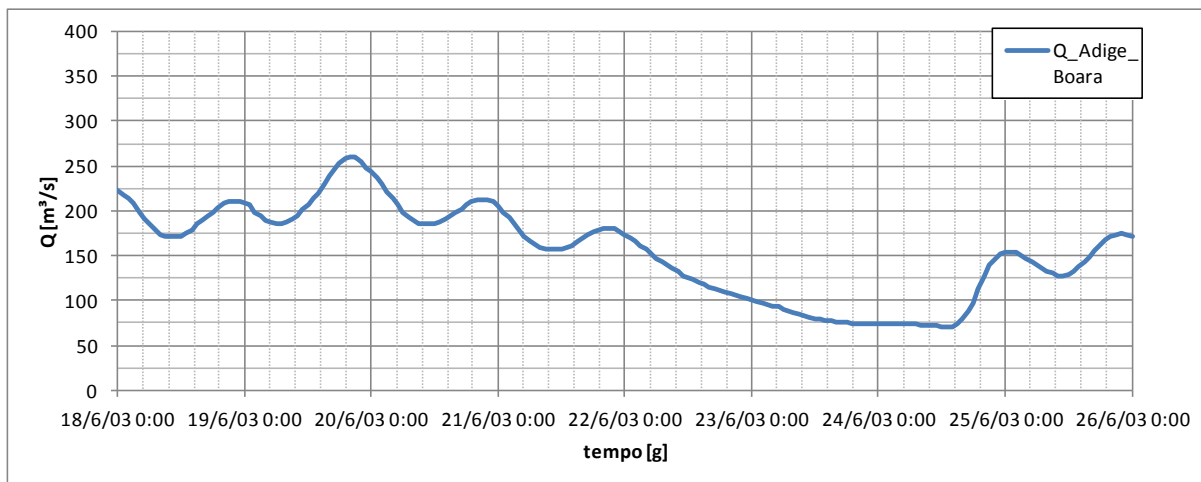
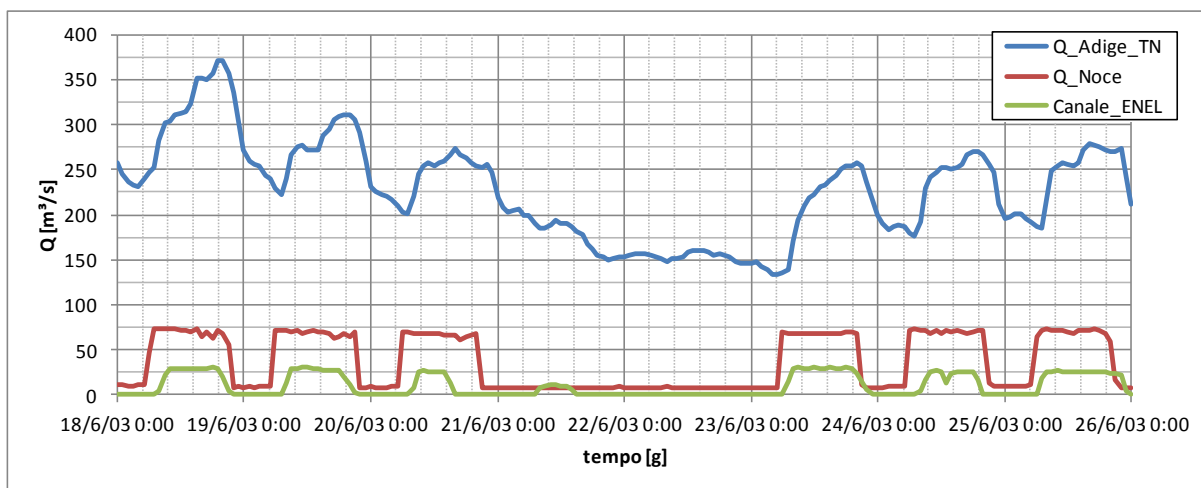


Figura 3.3 – Tipico andamento estivo delle portate del fiume Adige alle sezioni di Trento e Boara Pisani.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 16di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

La gestione della risorsa idrica nei bacini di monte, e in particolare la ciclicità settimanale, comporta dei minimi di portata nella sezione di Boara Pisani della durata tipicamente di 36÷48 ore.

La proposta di progetto, dunque, muove da queste considerazioni. La soluzione prospettata è quella di intervenire sulla ciclicità dei deflussi settimanali, derivando una portata dal fiume Adige per i cinque giorni in cui la disponibilità della risorsa idrica è maggiore e, comunque, superiore a valori che possano determinare situazioni di deficit idrico nella sezione di controllo di Boara Pisani. Tale portata viene accumulata in un bacino di compensazione, da realizzarsi nella golena sinistra del fiume a Zevio, nell'area di intervento individuata in Figura 2.3. Il volume invasato viene poi rilasciato nell'Adige stesso nel successivo periodo di carenza idrica, della durata di 36÷48 ore.

Affinché la derivazione proposta a Zevio sia tale da garantire che non si verifichino situazioni di criticità idraulica nel tratto di fiume Adige di valle, dovranno essere fissate a monte delle soglie di allerta superate le quali la derivazioni venga interdetta.

Dall'esperienza di gestione di passate emergenze per carenza idrica, e come risulta anche dal grafico di Figura 3.3, il valore di 80 m³/s a Boara Pisani risulta legato al superamento di una soglia di attenzione qualora la portata a Trento scenda sotto i 140 ÷ 150 m³/s. A tale valore andrà sommata, inoltre, la portata che si propone di derivare e accumulare a Zevio.

3.3 Portata media di derivazione e di restituzione

L'ipotesi di progetto è quella di derivare dal fiume Adige una portata da accumulare in un bacino di compensazione, che occupa una superficie effettiva di circa 65 ha per un volume disponibile pari a 1.8 milioni di metri cubi. Assumendo che l'invaso abbia luogo in un intervallo di tempo pari a 5 giorni, la portata che si vuole mediamente prelevare risulta pari a circa 4.2 m³/s.

Il volume accumulato verrebbe restituito al fiume Adige attraverso un manufatto di scarico in un intervallo temporale indicativamente pari a 2 giorni. La portata mediamente scaricata risulta, pertanto, pari a 10 m³/s.

L'idrogramma di Figura 3.3 alla sezione di Boara Pisani, si modificherebbe nell'ipotesi di progetto come rappresentato nel grafico di Figura 3.4.

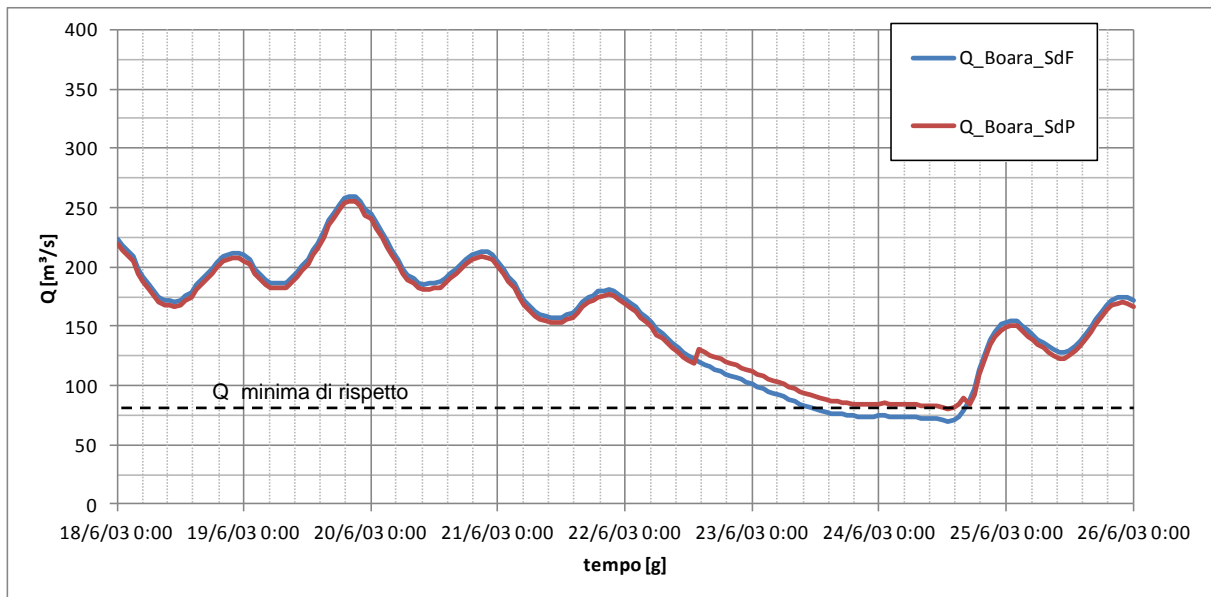


Figura 3.4 – Tipico andamento estivo delle portate del fiume Adige alla sezione Boara Pisani. Confronto tra stato di fatto (SdF) e stato di progetto (SdP).

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag
IN0D02DI2RICA0001201	C	18di46

4 ANALISI IDRAULICA

4.1 Modello idraulico del fiume Adige

Per la valutazione dei livelli idrometrici del fiume Adige a Zevio, in corrispondenza delle portate di riferimento per le quali si vuole attuare la derivazione nel bacino di compensazione di progetto, ci si è basati sull'applicazione del modello di calcolo monodimensionale HEC-RAS (River Analysis System) a moto permanente del fiume, da Verona alla foce. Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

4.1.1 Geometria

La geometria dell'alveo è stata ricostruita sulla base del rilievo topografico realizzato dall'Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige nel 1997. Per la ricostruzione, invece, dei profili arginali sono state utilizzate le informazioni desunte dai rilievi realizzati dal Magistrato Alle Acque di Venezia e dal Genio Civile di Rovigo, rispettivamente per l'argine sinistro e per l'argine destro.

Nell'implementazione del modello si sono utilizzate le sezioni del rilievo a partire dalla n. 966, ubicata subito a monte di Ponte Nuovo del Popolo (Verona) fino alla n.1437 ubicata in prossimità della foce, per un totale di 472 sezioni. La sezione di controllo per stabilire il livello idrometrico in corrispondenza dell'area di intervento è la 1049.

Il tratto modellato si estende per circa 154 km (Figura 4.1).

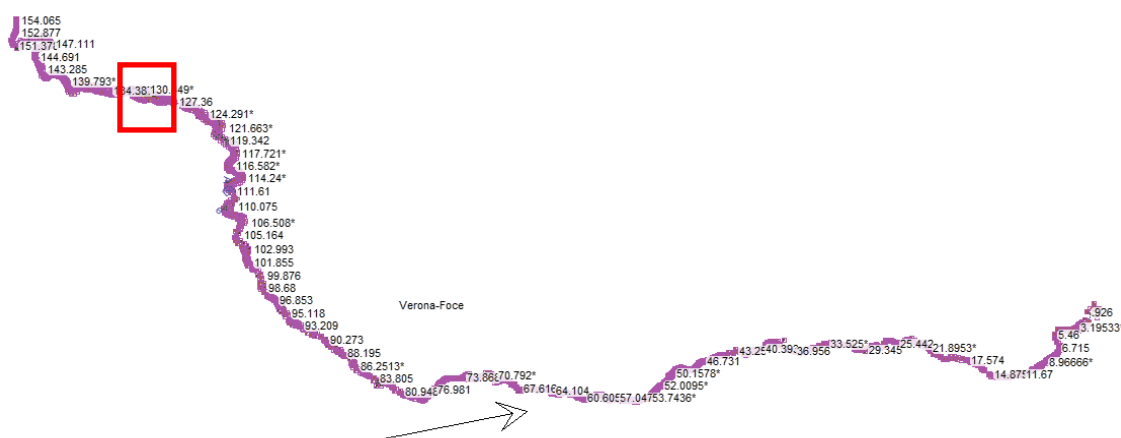


Figura 4.1 – Schermata del modello implementato, che rappresenta la planimetria del tratto studiato: in rosso l'ubicazione dell'area interessata dall'intervento.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 19di46

L'assegnazione della scabrezza nei diversi tratti fluviali è avvenuta sfruttando la possibilità di valutare separatamente i parametri idraulici che descrivono il moto nell'alveo principale e nelle golene. Come linee di separazione tra alveo principale e golene si è fatto riferimento ad una situazione idrologica ordinaria, considerando come "golena" tutto ciò che si trova all'esterno della sezione liquida.

Procedendo da monte verso valle, sono stati assegnati all'alveo centrale valori decrescenti del coefficiente di Manning variabili da 0.035 a 0.025 s/m^{1/3} in conseguenza della variazione della granulometria del fondo alveo; per le zone golenali sono stati assegnati coefficienti variabili da 0.040 a 0.055 s/m^{1/3}, in funzione dello sviluppo locale della vegetazione.

Nella ricostruzione geometrica del corso d'acqua particolare attenzione è stata rivolta alla valutazione dei fenomeni dissipativi che avvengono in prossimità delle strutture esistenti in alveo, ovvero alle pile e spalle degli attraversamenti stradali e ferroviari, che risultano essere 27.

4.1.2 Condizioni al contorno

La condizione di monte è costituita dalle portate in arrivo alla sezione di Verona, che nelle presenti valutazioni corrispondono alle portate medie, che si misurano più a valle alla stazione di Albaredo d'Adige. In corrispondenza dello sbarramento di Pontoncello (sez. 1025) viene introdotta una variazione di portata, per tenere in considerazione la derivazione del Canale Ex. S.A.V.A.. In corrispondenza, infine, della restituzione delle portate dal Canale Ex. S.A.V.A. al fiume Adige (sez. 1064), viene ripristinato il valore di monte dei deflussi.

Come condizione di valle è stato imposto un livello idrometrico costante alla foce, pari a 0 m s.m.m., che rappresenta il livello della marea.

Si sono assunti i seguenti valori di portata di riferimento per le analisi idrauliche (cfr. §3.1):

- portata del fiume Adige a monte di Pontoncello ---- >>> 244 m³/s
- portata del fiume Adige a Zevio ---- >>> 114 m³/s

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 20di46
IN0D02DI2RICA0001201		C

Sono, inoltre, stati considerati altri due scenari, che prevedono rispettivamente un incremento del 50% e un incremento del 100% della portata disponibile a monte nel fiume Adige. La portata media derivata dal Canale Ex. S.A.V.A. viene fissata a 130 m³/s.

In sintesi gli scenari di portata sono i seguenti:

Tabella 4.I – Scenari di portata disponibile nel fiume Adige per le analisi idrauliche.

Profilo	Q monte [m ³ /s]	Q Zevio [m ³ /s]
PF 1	244	114
PF 2	366	236
PF 3	488	358

4.1.3 Risultati

Dalle verifiche idrauliche eseguite risultano i livelli idrometrici del fiume Adige a Zevio di Tabella 4.II.

Tabella 4.II – Livelli idrometrici del fiume Adige a Zevio.

Profilo	Q Zevio [m ³ /s]	Livello idrometrico Zevio (sez 1049) [m s.m.m.]
PF 1	114	24.3
PF 2	236	25.2
PF 3	358	25.8

I profili idraulici del fiume Adige nel tratto in cui verrà realizzato il bacino di compensazione di progetto sono rappresentati in Figura 4.2, mentre in Figura 4.3 è riportata la sezione trasversale 1049, rappresentativa del corso d'acqua all'altezza delle opere di progetto.

Come risulta evidente da quest'ultima, i livelli del fiume Adige a Zevio in condizioni ordinarie del corso d'acqua, risultano di gran lunga al di sotto della quota dell'area golenale sinistra, in corrispondenza della quale si prevede di realizzare il bacino di compensazione irrigua. Sebbene, inoltre, i lavori di progetto comportino uno scavo del piano golenale di profondità pari a circa 4.2 m, la quota di fondo del bacino di compensazione di progetto risulta superiore ai livelli idrometrici esaminati o comunque questi ultimi non sono sufficienti per determinare un carico idraulico adeguato al riempimento dell'invaso.

In conclusione, per le portate di riferimento esaminate, non è possibile derivare dal fiume Adige a Zevio nell'invaso proposto a meno di realizzare un impianto di sollevamento.

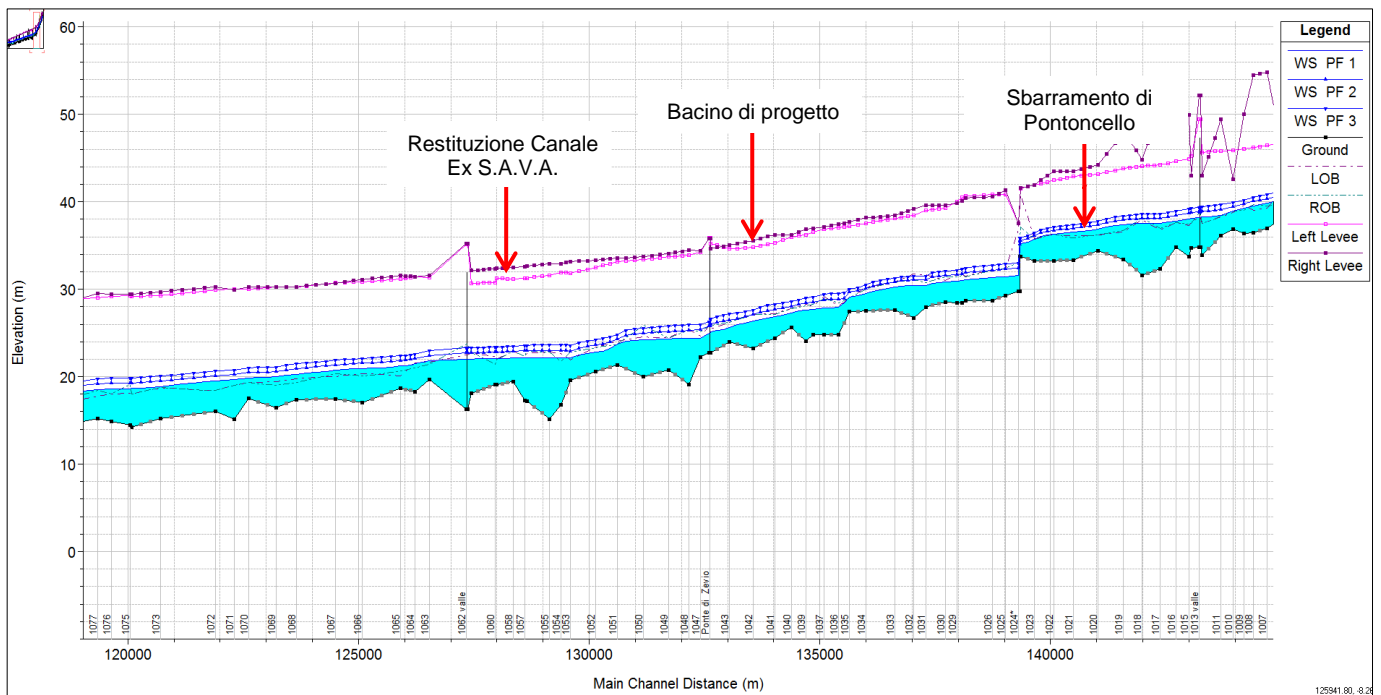


Figura 4.2 – Profilo dei livelli idrici nel tratto che comprende l'opera in progetto.

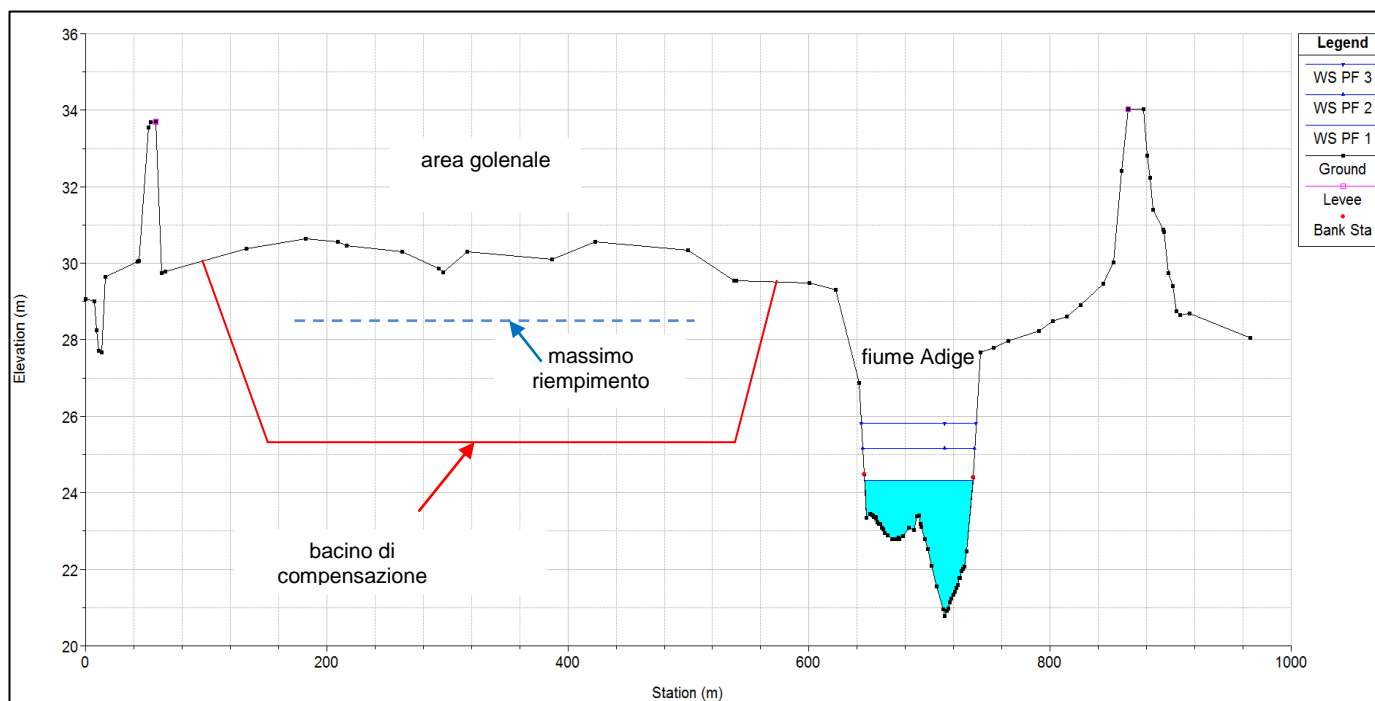


Figura 4.3 – Sezione trasversale 1049 fiume Adige.

4.2 Derivazione dal Canale Ex S.A.V.A.

Sulla base delle conclusioni del paragrafo precedente è stata, dunque, analizzata una soluzione alternativa, che consentisse di prelevare le portate del fiume Adige per gravità, senza il ricorso a impianti di sollevamento.

La soluzione individuata è quella di derivare le portate del fiume Adige attraverso il Canale Ex S.A.V.A., che si trova a nord dell'area di intervento (Figura 2.4), a una distanza di circa 200 m dal limite superiore del bacino. La derivazione dovrebbe essere realizzata a monte della centrale ENEL di Zevio, dove il carico idraulico risulta maggiore.

Nel tratto a monte dell'impianto idroelettrico il Canale Ex S.A.V.A., che è un canale di derivazione regolato, risulta pensile e caratterizzato da un livello idrico pari a circa 35.6 m s.m.m. (Figura 4.4).

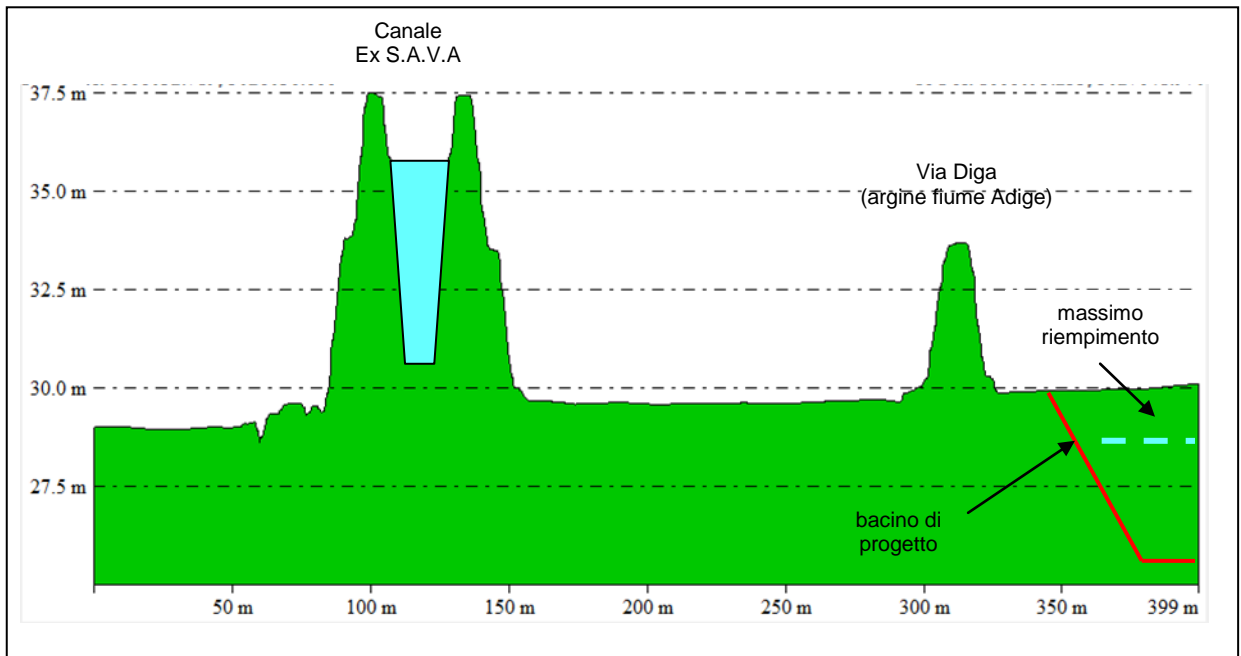


Figura 4.4 – Sezione trasversale 1049 fiume Adige.

Considerato che per il bacino di compensazione di progetto si è assunta una quota di massimo riempimento pari a 28.4 m s.m.m., il carico idraulico disponibile per la derivazione dal Canale Ex S.A.V.A. risulta di almeno 7.0 m.

La proposta progettuale comporta, tuttavia, il raggiungimento di un accordo con gli Enti preposti al **rilascio della concessione** di derivazione del Canale Ex S.A.V.A., la cui portata dovrebbe essere incrementata di quanto prelevato per l'invaso del bacino di compensazione.

5 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEI MANUFATTI

5.1 Descrizione delle opere

Il bacino di compensazione irrigua di Zevio viene realizzato mediante lavori di scavo su di una superficie pari a circa 65 ha, nella golenale sinistra del fiume Adige.

In termini di efficienza idraulica, il bacino consente di accumulare un volume d'acqua di circa 1.8 Mm³, compreso tra il fondo della vasca e fino alla quota, definita di "massimo riempimento", pari a 28.4 m s.m.m.. E' stata definita, inoltre, una quota di "massimo invaso" pari a 29.4 m s.m.m., oltre la quale le portate invase sfiorano direttamente nel fiume Adige.

La Figura 5.1 riporta la curva dei volumi di invaso del bacino in progetto.

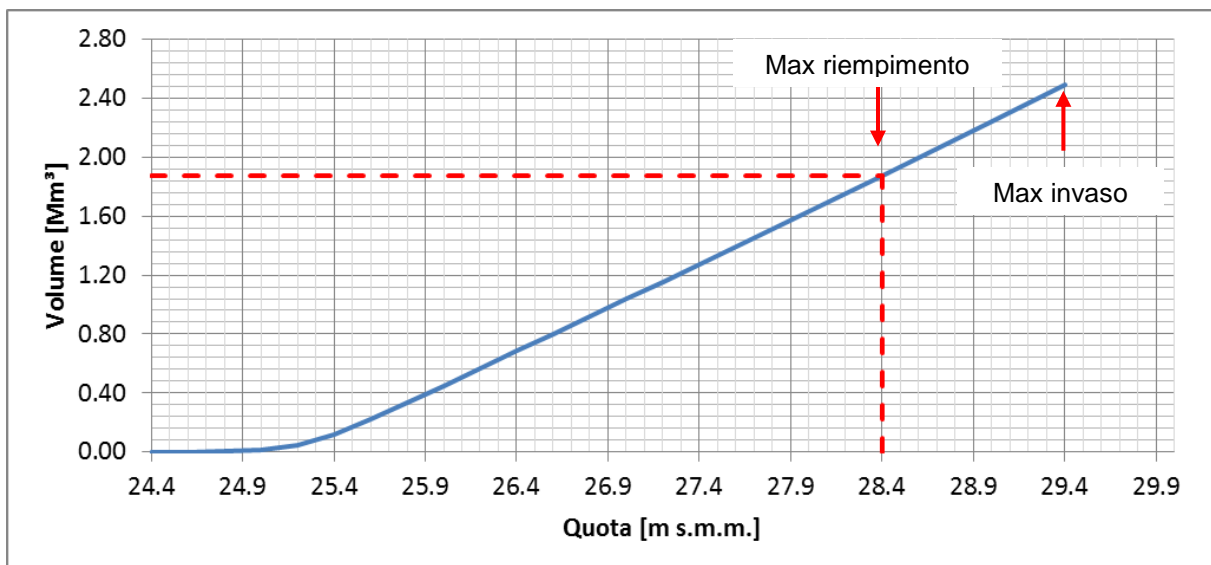


Figura 5.1 – Curva d'invaso del bacino di compensazione irrigua in progetto.

In continuità al pendio in scavo, sarà realizzato un arginello di modesta altezza con il quale si intende raggiungere la quota di sicurezza idraulica rispetto alla quota di massimo invaso. La quota di sicurezza idraulica è stata fissata pari a 30.50 m s.m.m. in modo da garantire un franco idraulico di almeno 1.0 m.

La quota di massimo invaso corrisponde alla quota nello stato di fatto dell'argine golenale del fiume Adige in corrispondenza del sito di intervento. Tale quota viene lasciata invariata per un tratto di sviluppo pari a circa 30 m, nel quale l'arginello di

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</small>	
	<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C
		Pag 25di46

progetto risulterà ribassato rispetto alla quota di 30.5 m s.m.m. Si vuole in tal modo individuare uno sfioro preferenziale di eventuali onde di piena, che dovessero determinare un livello idrometrico superiore all'argine golenale attuale, mantenendo la funzionalità di invaso della golena. Il profilo arginale risulterà, inoltre, ribassato per un tratto di circa 200 m a valle dell'opera di restituzione. Tale tratto sarà caratterizzato da una quota minima pari a 29.80 m s.m.m. ed è stato previsto quale ulteriore "sfioro di emergenza".

Come rappresentato negli elaborati grafici di progetto, l'attivazione del bacino di compensazione irrigua di Zevio comporta la realizzazione di alcuni manufatti per la regolazione idraulica:

- l'opera di presa sul canale Ex .S.A.V.A.
- l'opera di restituzione delle portate accumulate nel fiume Adige.

Tali manufatti, consentono di ottenere un'opportuna gestione delle portate in ingresso e in uscita dall'invaso, in modo da consentire il funzionamento complessivo del sistema secondo uno schema idraulico prefissato.

Nei successivi paragrafi vengono riportati i calcoli di dimensionamento idraulico di tali manufatti.

5.2 Manufatto di presa dal canale Ex S.A.V.A.

L'opera di derivazione consiste in un sifone formato da due condotte in acciaio disposte a cavaliere d'argine, per evitare opere che attraversino il corpo arginale del Canale Ex S.A.V.A. e del fiume Adige (Figura 5.2). Per quest'ultimo, l'argine tra la golena sinistra e il territorio circostante è rappresentato dalla viabilità di via Diga, che, pertanto, dovrà essere adeguata in quota per consentire il passaggio delle condotte a quota superiore alla sommità arginale attuale.

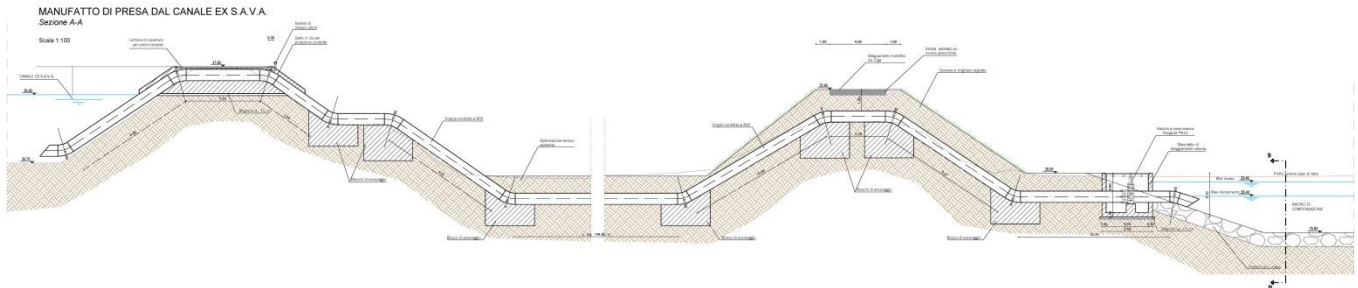


Figura 5.2 – Sezione manufatto di derivazione dal canale Ex S.A.V.A..

Per il dimensionamento del sifone a cavaliere d'argine sono state considerate:

- le perdite di carico continue, secondo la seguente formula:

$$JL = \frac{v^2 L}{K_s^2 (D/4)^{4/3}}$$

dove

- o JL sono le perdite di carico continue;
- o v è la velocità dell'acqua all'interno della condotta;
- o K_s è il coefficiente di scabrezza di Gauckler – Strickler della condotta;
- o D è il diametro della condotta.
- le perdite di carico localizzate, riferite come frazioni k dell'altezza cinetica; i coefficienti k esprimono perdite per:
 - o imbocco k_i , compreso tra 0.1 e 0.3 per imbocco sagomato e pari a 0.5 se a spigolo vivo;
 - o valvola k_v ;
 - o sbocco k_s , pari a 0.5 con sbocco sagomato e a 1 se non sagomato;
 - o curve k_c .

In questo modo, è possibile dimensionare il sifone a cavaliere d'argine attraverso la formula per il calcolo della perdita di carico totale:

$$\Delta h = \left[k_i + \sum k_c + k_v + k_s + \frac{L \cdot 2g}{K_s^2 (D/4)^{4/3}} \right] \frac{v^2}{2g}$$

Dalla formula precedente, ricavando la velocità v ed imponendo un diametro D , si trova la portata Q che una condotta può trasportare.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV.		Pag 27di46
IN0D02DI2RICA0001201		C

Per l'intervento di progetto, i valori assunti delle grandezze appena descritte sono riassunti in Tabella 5-I. In particolare, il dislivello Δh è la differenza tra la quota del pelo libero dell'acqua nel Canale Ex S.A.V.A. e la quota di massimo riempimento nel bacino di compensazione, mentre la lunghezza totale della condotta L_{tot} è stata calcolata sommando tutti i tratti della condotta stessa.

Tabella 5-I - Valori assunti per il dimensionamento del cavaliere d'argine.

Δh	7.2	m
k_i	0.4	-
k_c	0.15	-
N° curve	9	-
k_{sbocco}	0.8	-
k_s	110	$m^{1/3}s^{-1}$
L_{tot}	222	m

In base ai valore della Tabella 5-I si è, dunque, calcolata la velocità, v , e quindi la portata, Q , che può defluire in una condotta in funzione del suo diametro D .

I risultati sono riassunti in Tabella 5-II.

Tabella 5-II - Portata Q in funzione del diametro della condotta D .

D (m)	v (m/s)	Q (m³/s)
0.50	4.12	0.81
0.60	4.47	1.26
0.70	4.76	1.83
0.80	5.01	2.52

In conclusione, poiché la portata media da derivare dal Canale Ex S.A.V.A. è pari a $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$, si è optato per la realizzazione di due condotte in parallelo di diametro D pari a 800 mm.

5.3 Manufatto di restituzione

Nella porzione più a valle del bacino è posto il manufatto di scarico, costituito da due scatolari in c.a. di dimensioni $1.50 \times 1.50 \text{ m}$ e regolabili per mezzo di paratoie piane a scorrimento verticale (Figura 5.3).

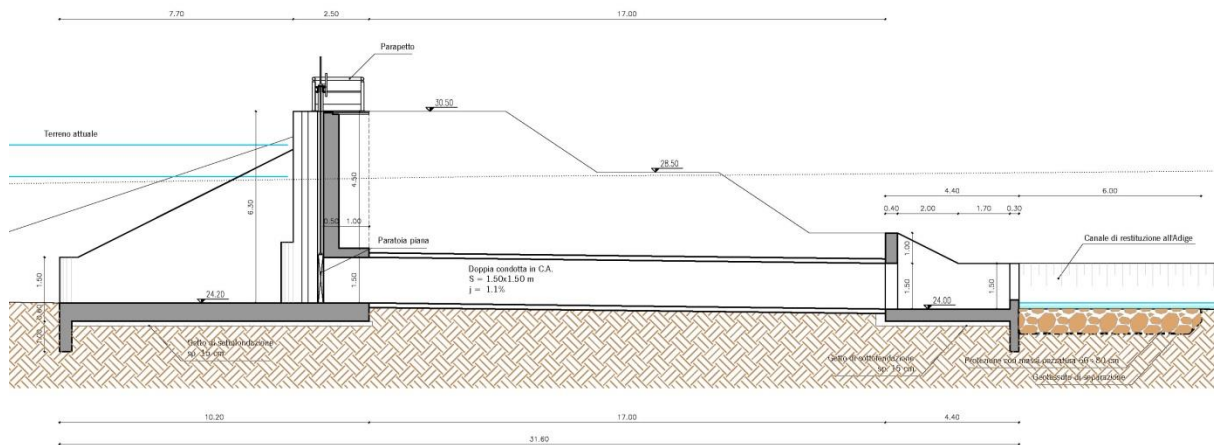


Figura 5.3 – Opera di restituzione: sezione trasversale.

Una volta terminata la fase di accumulo, il bacino potrà essere svuotato per conferire al fiume Adige una portata di compensazione della carenza idrica che si riscontra alla sezione di Boara Pisani.

Il dimensionamento delle luci di scarico è stato effettuato utilizzando la formula delle luci a battente a sezione rettangolare:

$$Q = 2/3 \cdot C_q \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_2^{1.5} - h_1^{1.5})$$

dove C_q è il coefficiente di deflusso pari a 0.61, b è la larghezza della luce, h_1 è il battente sulla luce e h_2 il battente più l'altezza della luce di imbocco.

E' stato, dunque, simulato il fenomeno di svuotamento del bacino, che considera, nel tempo, il volume di invaso e la portata in uscita in funzione dei livelli.

La Figura 5.4 riporta le relazioni tempo di svuotamento-volume di invaso e tempo di svuotamento-portata scaricata, nell'ipotesi che le paratoie del manufatto di restituzione vengano completamente aperte e mantenute tali fino a esaurimento del volume invasato. Il tempo di svuotamento risulta in questo caso pari a circa 48 ore, ma la portata restituita a valle non viene modulata.

La Figura 5.5, invece, riporta le medesime relazioni tempo di svuotamento-volume di invaso e tempo di svuotamento-portata scaricata, nell'ipotesi in cui l'apertura delle paratoie venga regolata in modo da ottenere un deflusso in uscita omogeneo. Assumendo che la restituzione al fiume Adige del volume complessivamente invasato

debba avvenire in un intervallo di tempo pari a 2 giorni, la portata media scaricata dovrebbe risultare pari a circa 10 m³/s.

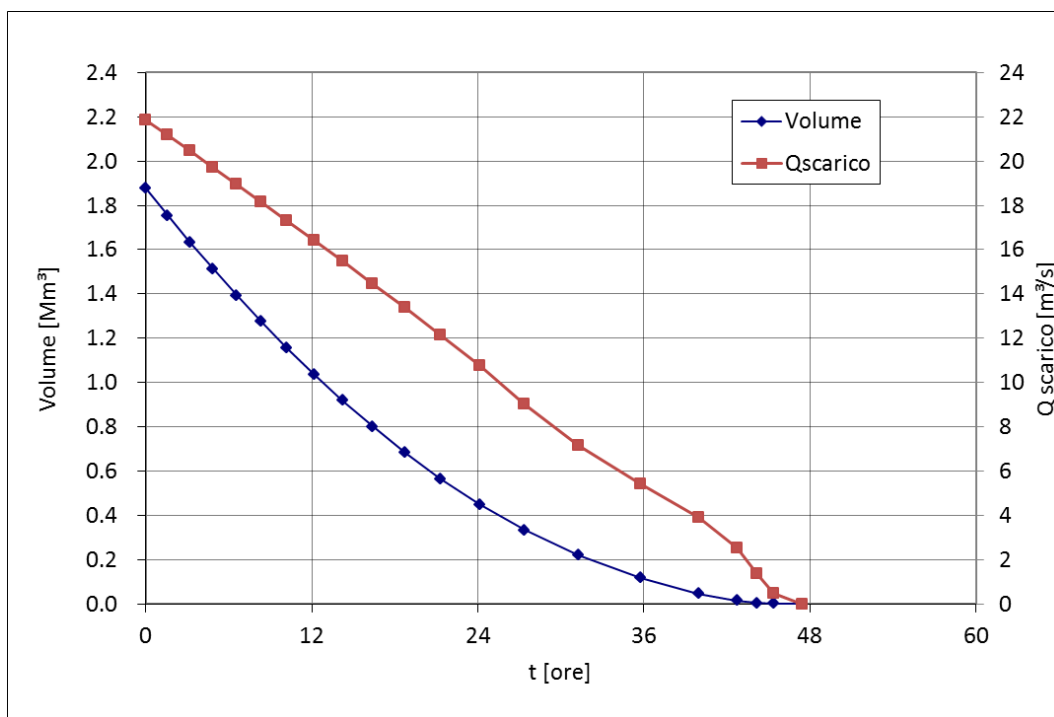


Figura 5.4 – Curva di svuotamento del bacino di progetto: tempi-volumi e tempi-portata scaricata. Ipotesi senza regolazione delle paratoie

Il grafico evidenzia che agendo sul grado di apertura delle paratoie, la portata allo scarico può essere mantenuta costante e pari a 10 m³/s per un tempo di circa 39 ore, nel quale viene scaricato nel fiume Adige circa l'80% del 1.8 Mm³ di invaso disponibile. Anche se dopo tale intervallo di tempo la velocità di scarico decresce, dopo 2 giorni (48 ore) il volume restituito al fiume è comunque pari a circa il 90%.

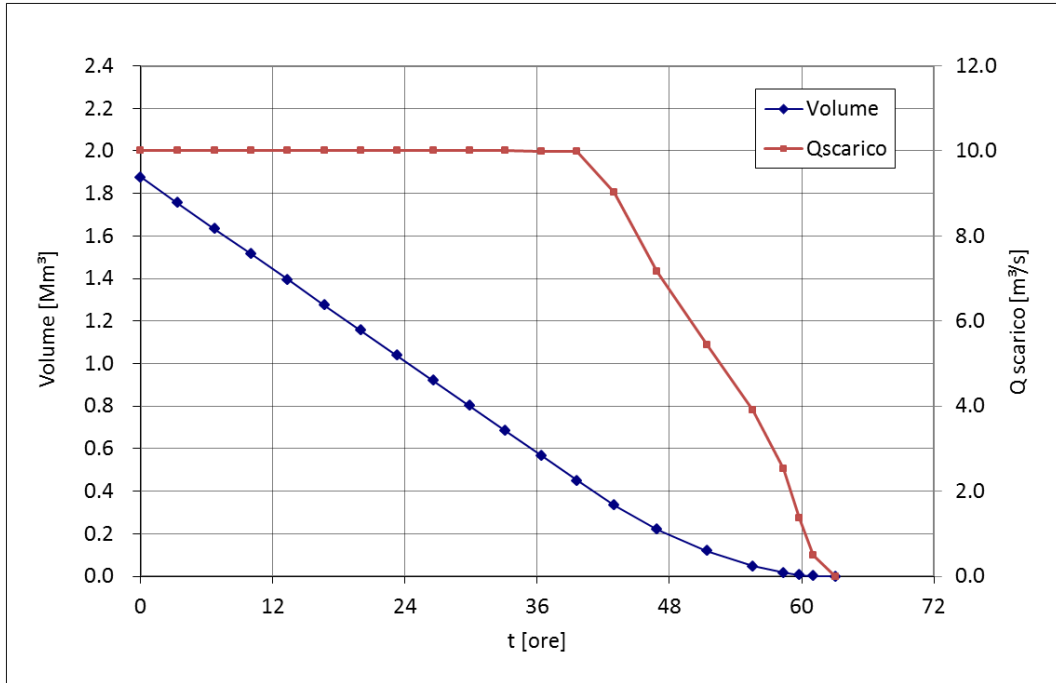


Figura 5.5 – Curva di svuotamento del bacino di progetto: tempi-volumi e tempi-portata scaricata. Ipotesi con regolazione delle paratoie

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO IN0D02DI2RICA0001201	REV. C	Pag 31 di 46

6 CONCLUSIONI

Il bacino di compensazione irriguo proposto permette di compensare i flussi di magra lungo il corso del fiume Adige, mitigando il rischio di deficit idrico che si può riscontrare a Boara Pisani.

La Tabella 6.1 riassume le caratteristiche principali del bacino in progetto.

Tabella 6.1 – Caratteristiche principali della cassa di espansione in progetto.

Superficie occupata	65	ha
Volume di scavo	3.0	Mm ³
Volume di accumulo risorsa idrica	1.8	Mm ³
Quota di massimo riempimento	28.40	m s.m.m.
Quota di massimo invaso	29.40	m s.m.m.
Quota media del fondo	25.20	m s.m.m.
Portata media di derivazione	4.2	m ³ /s
Portata media di restituzione	10.0	m ³ /s

I benefici ottenibili dalla realizzazione dell'intervento consistono in un incremento della portata che defluisce nel fiume Adige, nei periodi di carenza ciclica della risorsa idrica, nel tratto che va da Zevio fino alla foce.

La gestione della risorsa idrica con il bacino di compensazione vuole evitare minimi di portata nella sezione di Boara Pisani, che scendano al di sotto della portata di rispetto ivi fissata e pari a 80 m³/s.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</small>	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 32di46

APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS

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

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti.

A.1 Ipotesi di funzionamento e capacità di calcolo

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

- moto gradualmente vario;
- moto monodimensionale;
- perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- arginature e geometria del fondo fisse;
- regime di moto subcritico (solo per la simulazione a moto vario).

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

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIÒ - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 33di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

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

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

A.2 Simulazione del moto permanente

Le simulazioni condotte a moto permanente ipotizzano l'invariabilità nel tempo t della portata Q che attraversa una sezione d'alveo di area A e, di conseguenza, anche del livello idrometrico e della velocità della corrente. Ciò non esclude la possibilità di assegnare portate diverse ai differenti tratti del corso d'acqua e di studiare gli effetti delle immissioni di portata laterali concentrate e distribuite.

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

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

S_f = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;

R = raggio idraulico;

n = coefficiente di scabrezza di Manning.

L'equazione (1) viene risolta per ogni tratto delimitato da due sezioni trasversali consecutive utilizzando lo "standard step method", tecnica numerica che, una volta

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 34di46

nota l'energia in corrispondenza di una sezione, permette il calcolo della velocità e del tirante idraulico della sezione adiacente.

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

A.3 Simulazione del moto vario

Nel caso di portata variabile nel tempo i parametri idraulici che caratterizzano il deflusso vengono determinati risolvendo il sistema di equazioni di De Saint Venant in forma completa. Come noto la prima equazione impone la conservazione della massa (equazione di continuità) mentre la seconda impone la conservazione della quantità di moto. Se con x viene indicata l'ascissa in direzione del moto, le equazioni, espresse in forma conservativa e considerando la presenza di un apporto laterale per unità di lunghezza q , assumono la seguente forma:

Equazione di continuità:

$$\frac{\delta A}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} - q = 0 \quad (2)$$

Equazione della quantità di moto:

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta (Q^2/A)}{\delta x} + gA \left(\frac{\delta h}{\delta x} + S_f + S_e \right) + L = 0 \quad (3)$$

h = altezza della linea dell'energia;

g = accelerazione di gravità;

S_f = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;

S_e = pendenza relativa alle perdite di carico concentrate;

L = termine che tiene conto della quantità di moto dovuta all'immissione di portata (q).

La (2) e la (3) formano un sistema di equazioni alle derivate parziali non lineari, del primo ordine, di tipo iperbolico la cui integrazione richiede la conoscenza delle condizioni iniziali ed al contorno. Il sistema non è integrabile analiticamente se si fa eccezione per casi di geometria e condizioni al contorno estremamente semplici e quindi di scarso rilievo tecnico.

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 35di46

L'integrazione dei sistemi di questo tipo avviene normalmente utilizzando le tecniche numeriche alle differenze finite che possono essere distinte fra schemi di risoluzione espliciti ed impliciti. Al primo gruppo appartengono quei metodi che consentono di esprimere i valori incogniti delle variabili dipendenti al tempo $j + 1$ in corrispondenza di una generica sezione, esclusivamente in funzione di valori noti al tempo j . Nel secondo gruppo sono raccolti quegli schemi, tra cui quello implementato in UNET, in cui i medesimi valori incogniti al tempo $j + 1$ sono espressi in funzione sia dei valori noti al tempo j che dei valori incogniti al tempo $j + 1$ in corrispondenza di sezioni adiacenti.

Mentre gli schemi espliciti richiedono la risoluzione di due equazioni per ogni sezione di calcolo per quelli impliciti è necessario risolvere simultaneamente, ad ogni passo temporale, un sistema di equazioni la cui dimensione è legata al numero delle sezioni di calcolo.

Negli schemi di calcolo di tipo esplicito, la stabilità è in genere preservata imponendo un limite inferiore al rapporto $\Delta x / \Delta t$ (condizione necessaria, ma non sufficiente, di Courant-Friedrichs-Lewy). Gli schemi di calcolo di tipo implicito non sono soggetti a questo vincolo, e possono pertanto essere utilizzati con intervalli di integrazione temporali maggiori rispetto agli schemi espliciti, con un conseguente miglior utilizzo delle risorse di calcolo.

Applicando direttamente al sistema (2) e (3) uno schema di risoluzione implicito, si ottiene un sistema di equazioni algebriche non lineari per la cui soluzione Amein e Fang (1970) e Fread (1974) hanno utilizzato la tecnica iterativa di Newton-Raphson. Oltre che risultare piuttosto lento questo metodo ha evidenziato alcuni problemi di convergenza in presenza di discontinuità geometriche. Per ovviare a tale inconveniente Preissmann (come illustrato da Liggett e Cunge, 1975) e Chen (1973) hanno sviluppato una tecnica di linearizzazione delle equazioni successivamente implementata in UNET.

A.4 Limiti del modello

I limiti applicativi del modello sono diretta conseguenza delle ipotesi semplificative introdotte nell'impostazione matematica del problema. In particolare è opportuno evidenziare i seguenti aspetti:

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 36di46

- come conseguenza dell'ipotesi di unidimensionalità del moto il modello non può essere utilizzato per l'individuazione delle aree esondate in seguito a sormonto o rottura arginale e non possono essere studiati fenomeni dovuti all'instaurarsi di correnti trasversali come il sovrizzo nella parte esterna di un'ansa a causa della spinta centripeta.
- come conseguenza dell'invariabilità della geometria del fondo non possono essere studiate le modificazioni morfologiche dovute al trasporto solido e gli effetti sulla corrente dovuti alle variazioni della geometria dell'alveo nel corso di una stessa simulazione.

A.5 Utilizzo del modello

Lo sviluppo di una applicazione del modello si articola essenzialmente in due distinte fasi: la rappresentazione topologica e geometrica della rete idrografica e la definizione delle condizioni al contorno e iniziali.

La prima fase porta a definire le connessioni tra diversi corsi d'acqua, la geometria degli alvei, dei manufatti idraulici o di altri ostacoli presenti, e dei parametri di taratura realizzando così il modello della rete idrografica. Tutte le informazioni inserite in questa fase vengono ipotizzate invariabili durante l'intervallo temporale di una simulazione.

La seconda fase consiste nella definizione dello scenario, ipotetico o reale, per il quale si vuole valutare la risposta idraulica della rete. Ogni scenario è caratterizzato da particolari condizioni al contorno che devono pertanto essere definite di volta in volta.

A.5.1 Rappresentazione topologica e geometrica della rete idrografica

Il primo passo nell'implementazione del modello riguarda la definizione topologica e geometrica del sistema idrografico in esame. Dovranno pertanto essere descritti: l'andamento planimetrico della rete idrografica, la geometria delle sezioni trasversali d'alveo, la geometria dei manufatti e degli altri elementi singolari eventualmente presenti.

La descrizione del reticolo idrografico avviene tramite la distinzione della rete in "reaches", ovvero in tratti di rete fluviale compresi tra due confluenze, tra un punto sorgente e una confluenza o tra una confluenza e la foce. Per ciascun tratto,

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 37di46

identificato da un codice alfanumerico, è necessario specificare le connessioni esistenti con gli altri tratti sia nell'estremo di monte (connessioni non esistenti nel caso di sorgente), sia nell'estremo di valle (connessioni non esistenti nel caso di valle).

Successivamente deve essere definita la sequenza delle sezioni trasversali che descrivono la geometria dell'alveo mediante la serie di valori X e Z (Station - Elevation), suddividendolo in tal modo in elementi semplici di forma prismatica. Per ciascuna sezione viene definita la distanza della sezione posta immediatamente a valle. Nel caso in cui tale distanza sia incompatibile con il passo di calcolo adottato (legato al passo di risoluzione temporale) il programma consente di infittire le sezioni di calcolo tramite l'interpolazione automatica delle sezioni note.

Per ciascuno dei tratti elementari prismatici che compongono un tratto fluviale il calcolo delle perdite di carico idraulico viene effettuato mediante la formula di Manning. Per ciascuna sezione che descrive la geometria dell'alveo viene assegnato un valore del coefficiente di scabrezza differenziando le caratteristiche del fondo dell'alveo da quelle delle sponde. Per valutazioni particolarmente sofisticate è anche possibile imporre una distribuzione qualsiasi della scabrezza lungo tutto il perimetro bagnato.

Inoltre è possibile richiedere al modello la valutazione separata delle dissipazioni di energia nelle diverse aree parziali mediante le quali può essere suddivisa una sezione ed ottenere la restituzione dell'andamento delle velocità.

In caso di disponibilità di informazioni provenienti dai sistemi di monitoraggio capaci di descrivere il regime idrometrico del fiume, i coefficienti di scabrezza da assegnare alle sezioni possono essere determinati durante la fase di taratura del modello. Se queste informazioni non sono disponibili si procede all'individuazione delle tipologie del materiale che riveste le sponde e le zone golenali (terra, cemento, vegetazione, ecc...) a cui possono essere fatti corrispondere i valori del coefficiente di Manning.

La geometria delle sezioni trasversali viene schematizzata dividendo l'alveo in tre sottosezioni (alveo di magra e aree golenali) caratterizzate da diversi valori di scabrezza e di lunghezza del percorso della corrente (Flow Path). Nel caso in cui tale lunghezza risulti eccessiva per garantire la stabilità computazionale (moto vario) o

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</small>	
	<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C
		Pag 38di46

l'accuratezza dei risultati (moto permanente) l'utente può inserire ulteriori sezioni ottenute per interpolazione di quelle note.

Se l'integrazione dei profili idraulici lungo i tratti di rete ad andamento regolare, caratterizzate da variazioni di velocità graduali e dissipazioni di energia uniformemente distribuite, viene effettuata utilizzando le equazioni e le tecniche descritte in precedenza, la presenza in alveo di strutture (ponti, botti a sifone, soglie sfioranti e sfioratori laterali eventualmente presidiati da paratoie fisse o mobili, casse di espansione) o di una particolare conformazione d'alveo (confluenze, diversioni, isole, meandri, ecc...) in grado di innescare fenomeni turbolenti, di imporre particolari condizioni di deflusso o di influire sulla normale distribuzione delle portate rende necessario il ricorso ad algoritmi diversi. In questi casi, la determinazione delle dissipazioni di tipo concentrato che si aggiungono a quelle di tipo distribuito viene effettuata utilizzando opportune equazioni caratteristiche del fenomeno considerato. A tal fine il modello è dotato di una libreria di algoritmi in grado di determinare automaticamente le condizioni interne imposte dai principali tipi di manufatti normalmente presenti in ambito fluviale.

In alternativa alle soluzioni messe a disposizione dal modello, il modellista può risolvere esternamente il problema sfruttando le proprie conoscenze e capacità di analisi imponendo al modello alcuni vincoli come l'impiego di una specifica scala delle portate o l'introduzione di una dissipazione di energia concentrata.

Il modello dispone di alcuni strumenti che facilitano la definizione della geometria del sistema tra i quali l'editore grafico, che consente di inserire o modificare la geometria dell'alveo operando direttamente sulla rappresentazione grafica delle sezioni, l'interpolatore automatico di sezioni, alcune funzioni di importazione della geometria ottenuta da GIS (per es. applicativo di ArcView Geo HecRas) e da altri formati (HEC2, UNET, Mike 11) e la possibilità di definire un alveo di progetto a partire da quello attuale. Una volta definita la nuova geometria del sistema il modello permette il confronto tra i profili idraulici nelle situazioni "attuale" e "di progetto" e restituisce i volumi di scavo e riporto necessari per la realizzazione della nuova inalveazione.

Appare interessante far notare la possibilità di scorporare il solutore del modello dagli altri programmi che gestiscono l'interfaccia grafica. In questo modo, per particolari e

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 39di46

sofisticate applicazioni modellistiche, HEC-RAS può essere integrato con altri modelli, aventi differenti finalità (es. modelli idrologici, modelli di propagazione della marea, modelli di gestione, reti di monitoraggio, ecc...), mediante l'implementazione di procedure automatiche in grado di assegnare le corrette condizioni al contorno senza la necessità di una introduzione manuale.

A.6 Definizione delle condizioni al contorno e iniziali

Le condizioni al contorno hanno il compito di descrivere le condizioni di deflusso laddove il moto viene influenzato da fattori esterni non valutabili dal modello. Ciò avviene inevitabilmente nelle sezioni poste alle estremità di monte e di valle dove la previsione di portate e livelli, (dovuti a fenomeni meteorici, oscillazioni di marea, gestione dei serbatoi artificiali, ecc...) non rientra nelle capacità di calcolo di HEC-RAS. Particolari condizioni al contorno sono rappresentate dagli afflussi laterali in ingresso e/o in uscita dalla rete oppure possono essere dovute all'intervento umano che agisce sulla regolazione degli organi mobili posti a presidio delle luci di sfioro o degli scarichi di fondo dei manufatti idraulici. In quest'ultimo caso si parla di condizioni al contorno interne. E' evidente che, nelle simulazioni a moto vario, tali condizioni di deflusso, esterne ed interne, possono variare durante l'elaborazione rendendo necessaria la loro assegnazione per ogni passo temporale di calcolo.

Inoltre, prima di procedere ad una simulazione in regime di moto vario, è necessario definire lo stato idrometrico iniziale per tutte le sezioni di deflusso (condizioni iniziali).

Nel caso di simulazione a moto permanente le condizioni al contorno si riducono al solo valore della portata, eventualmente variabile da tratto a tratto, e al grado di regolazione dei manufatti idraulici che devono necessariamente comportarsi come organi fissi. Ovviamente il concetto di condizione iniziale perde di significato.

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

A.7 Moto subcritico e supercritico

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo:</small> CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 40di46

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

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

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

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

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

dove:

V = velocità media Q/A [m/s]

g = accelerazione di gravità [m/s²]

D = raggio idraulico [m]

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

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

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	<small>Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</small>	
<small>PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO</small> IN0D02DI2RICA0001201	<small>REV.</small> C	Pag 41 di 46

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

A.8 Altezza critica

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

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

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

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

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

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

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

La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo a cui corrisponde un valore di energia specifica dato dalla equazione A.4, che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H .

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

A.9 Procedure di calcolo per simulazioni in moto permanente

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

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

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

S_f = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;

R = raggio idraulico;

n = coefficiente di scabrezza di Manning.

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

A.10 Determinazione della distribuzione del moto in una sezione trasversale

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

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

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

Ponendo quindi:

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 43di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

si ha che:

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

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

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

Tramite alcuni passaggi si trova che:

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

A.11 Bilancio dell'energia

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

Se θ rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

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

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

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

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

o in altri termini:

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

L'energia totale nella sezione di monte H1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H2 più il termine di perdita di energia h_e . Questa equazione è usata in successione dal codice spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

A.12 Perdite di energia

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

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

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

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

dove f è la perdita specifica per attrito e L è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito h_f può essere ottenuta moltiplicando il termine f per la lunghezza L del tronco tra le due sezioni.

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

trasporto medio

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

attrito specifico medio

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

media geometrica attrito specifico

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

media armonica attrito specifico

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 45di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

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

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

A.13 Standard step method

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

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

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

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

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

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

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

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

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

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

 ATI bonifica	Linea AV/AC VERONA – PADOVA	
	2° Sublotto: MONTEBELLO VICENTINO – BIVIO VICENZA	
	Titolo: CANTIERIZZAZIONE - SITO DI PRODUZIONE INERTI BACINO DI COMPENSAZIONE IRRIGUO ZEVIO - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	
PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO	REV.	Pag 46di46
IN0D02DI2RICA0001201	C	

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

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

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

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

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