

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

LINEA A.V./A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA

Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

INTERFERENZE IN RILEVATO

**RILEVATO FERROVIARIO DAL KM 1+125.00 AL KM 1+315.00 (DEVIAZIONE
SCOLO ORTI)**

SISTEMAZIONI IDRAULICHE

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data: Aprile 2021	ing. Luca Zaccaria iscritto all'ordine degli ingegneri di Ravenna n.A1206 Data: Aprile 2021		-

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

I	N	1	7	1	1	E	I	2	R	H	R	I	0	5	0	4	0	0	1	B								
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
Firma	Data
Luca RANDOLFI	Aprile 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	PRIMA EMISSIONE	D. Ballin	Marzo 2021	M. Faccioli	Marzo 2021	S. Flora	Marzo 2021	
B	REVISIONE GENERALE	D. Ballin	Aprile 2021	M. Faccioli	Aprile 2021	S. Flora	Aprile 2021	

CIG. 8377957CD1

CUP: J41E91000000009

File: IN1711E12RHRI0504001B.DOCX

Cod. origine: IN1711E12RHRI0504001B



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 2 di 61	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
3	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	5
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	6
4.1	Studi esistenti e progetti redatti nel territorio (PAI-PGRA)	7
4.1.1	Bacino idrografico del Fiume Adige	8
4.1.2	Piano stralcio per la gestione del rischio alluvione 2015-2021	9
4.1.3	Piano di assetto idrogeologico del bacino idrografico dell'Adige	11
4.1.4	Aree a rischio allagamento redatte dall'Autorità di Bacino del fiume Adige	13
4.1.4.1	Zona Verona città, a sud della linea ferroviaria esistente, all'interno dell'area golenale del fiume Adige.....	13
5	CRITERI DI VERIFICA.....	14
6	ANALISI IDROLOGICA.....	16
6.1	Il bacino idrografico	16
7	STATO ATTUALE.....	20
8	STATO DI PROGETTO	22
9	STATO DI CANTIERIZZAZIONE.....	24
10	ANALISI IDRAULICA.....	26
10.1	Il Modello HEC-RAS.....	26
10.1.1	Calcolo del profilo 1D a moto permanente	26
10.1.2	Scelta dei parametri e simulazioni	29
10.1.2.1	Simulazioni ante operam	29
10.1.2.2	Simulazioni post operam	33
10.2	Aree di esondazione ante operam e post operam.....	35
10.3	Verifica del rivestimento di fondo e di sponda	37
10.4	Verifica tubazione di drenaggio.....	41
11	CONCLUSIONI.....	42
	ALLEGATI	43
	Risultati simulazioni.....	43
	Risultati ante operam	43
	Risultati post operam	50

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 3 di 61</p>

1 PREMESSA

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei parametri idrologici e idraulici relativi allo scolo Orti. Lo scopo risulta quindi essere la determinazione della portata di progetto da assumere per la modellazione idraulica, al fine di verificare le condizioni di deflusso nella nuova configurazione prevista per il progetto in essere.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e del bacino di interesse;
- Reperimento di informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluviometeorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometriche rappresentative;
- Analisi geomorfologica del bacino del corso d'acqua, oggetto della presente relazione;
- Analisi idrologica e definizione della portata di progetto;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali;
- Analisi idraulica tramite modellazione 1D per lo stato ante operam, post operam e di cantierizzazione.

Il progetto in essere è stato redatto tenendo conto delle diverse prescrizioni tecniche: effettuate da parte del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta (2016), derivanti dal quadro prescrittivo a seguito dell'approvazione del Progetto Definitivo e specificate nell'allegato 1 della Delibera Cipe con Delibera n.84 del 22.12.2017 e derivati dalle istruttorie ITF relative al Progetto Definitivo (2018-2019).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 4 di 61

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO DOCUMENTO	CODICE DOCUMENTO
RELAZIONE IDROLOGICA	IN1710EI2RHID0000001B
CARTA IDROGRAFICA DI INQUADRAMENTO E BACINI PRINCIPALI	IN1710EI2C2ID0000001B
CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI	IN1710EI2C5ID0000001B IN1710EI2C5ID0000003B IN1710EI2C5ID0000004B IN1710EI2C5ID0000005B IN1710EI2C5ID0000006B IN1710EI2C5ID0000007B IN1710EI2C5ID0000008B IN1710EI2C5ID0000009B IN1710EI2C5ID0000010B IN1710EI2C5ID0000011B
RELAZIONE IDRAULICA	IN1710EI2RIID0000001B
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE. N MODELLI NIDIFICATI INTERNAMENTE (SOTTOPASSI E STAZIONI ELETTRICHE)	IN1710EI2RHID0000003B
RELAZIONE IDROLOGICO E IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI SECONDARI	IN1710EI2RHID0000002B
SEZIONI TIPOLOGICHE DEVIAZIONI IDRAULICHE	IN1710EI2WZID0000001B
PIANTA E SEZIONI TIPOLOGICHE SISTEMAZIONI E PROTEZIONI DI SPONDA E FONDALI	IN1710EI2PZID0000001B
RELAZIONE DI CONFRONTO PD/PE	IN1711EI2RORI0504001B
ANTE OPERAM - PLANIMETRIA, AREE DI ESONDAZIONE TAV. 1/4	IN1711EI2PZRI0504002B
ANTE OPERAM - PROFILO TAV 2/4	IN1711EI2FZRI0504001B
ANTE OPERAM - SEZIONI TAV 3/4	IN1711EI2WARI0504001B
ANTE OPERAM - SEZIONI TAV 4/4	IN1711EI2WARI0504002B
POST OPERAM - PLANIMETRIA, AREE DI ESONDAZIONE TAV. 1/5	IN1711EI2PZRI0504003B
POST OPERAM - PROFILO TAV 2/5	IN1711EI2FZRI0504002B
POST OPERAM - SEZIONI TAV 3/5	IN1711EI2WARI0504003B
POST OPERAM - SEZIONI TAV 4/5	IN1711EI2WARI0504004B
POST OPERAM - SEZIONI TAV 5/5	IN1711EI2WARI0504005B
FASI REALIZZATIVE	IN1711EI2P7RI0504001B
PARTICOLARI COSTRUTTIVI E PROTEZIONI DI SPONDA	IN1711EI2DZRI0504001B

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 5 di 61

3 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Presidenza del Consiglio dei ministri – Dipartimento della Protezione Civile – Commissario Delegato per l’Emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007 che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto. OPCM n.3621 del 18/10/2007 – Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l’individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento.
- Studio redatto da Nordest Ingegneria S.r.l. per Unione Veneta Bonifiche.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta – Interferenze con la rete idrografica - Ipotesi di Ubicazione Opere Idrauliche Per Smaltimento Acque Meteoriche del 28/04/2015.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta – PIANO GENERALE DI BONIFICA E DI TUTELA DEL TERRITORIO - L.R. 12/2009 ART. 23 - D.G.R. 102/2010
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, Distretto Idrografico delle Alpi.
- Piano Territoriale di Coordinamento e Pianificazione della Provincia di Verona approvato con deliberazione di Giunta Regionale n. 236 del 3 marzo 2015.
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017
- RFI – MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – PARTE II - SEZIONE 2 – PONTI E STRUTTURE, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017
- RFI – CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI – PARTE II -SEZIONE 9 – OPERE DI DIFESA DELLA SEDE FERROVIARIA, RFI DTC SI MA IFS 001 B del 22/12/2017

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 7 di 61

4.1 Studi esistenti e progetti redatti nel territorio (PAI-PGRA)

La linea AV/AC in esame ricade interamente nel distretto idrografico delle Alpi Orientali a cui appartengono tredici bacini idrografici, riportati nella figura seguente:

- il bacino idrografico dell'Adige, già bacino nazionale;
- i bacini idrografici dell'Isonzo, del Tagliamento, del Livenza, del Piave e del Brenta - Bacchiglione, già bacino nazionale;
- i bacini idrografici del Lemene e del Fissero – Tartaro - Canalbianco, già bacini interregionali;
- il bacino dello Slizza (ricadente nel bacino del Danubio), del Levante, quello dei tributari della Laguna di Marano-Grado, quello della pianura tra Piave e Livenza, quello del Sile e quello scolante della Laguna di Venezia, già bacini regionali.

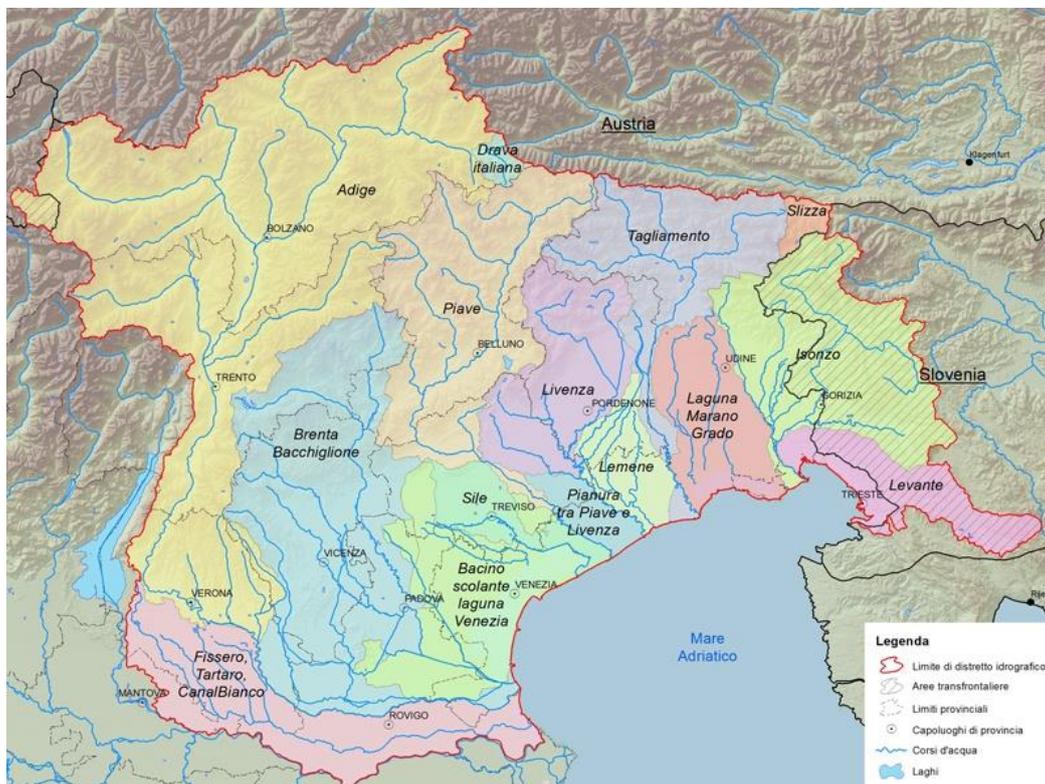


Figura 4-2 Bacini idrografici del distretto idrografico Alpi Orientali
 fonte: Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi da analizzare sono:

- Piano Assetto Idrogeologico (PAI);
- Piano di Gestione delle Acque;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA);
- Piano generale di bonifica e di tutela del territorio (PGBTTR).

La linea AV/AC in progetto attraversa molteplici corsi d'acqua, i quali appartengono ai bacini idrografici del fiume Adige e del Brenta Bacchiglione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 8 di 61</p>

4.1.1 Bacino idrografico del Fiume Adige

Il PGRA dell'Autorità di Bacino distrettuale delle Alpi Orientali riporta la seguente descrizione: "L'Adige, secondo fiume italiano per lunghezza d'asta e terzo per estensione del bacino imbrifero (Figura 5.4) nasce in Alta Val Venosta a quota 1.550 m s.m.m. e, dopo aver percorso 409 km attraverso Alto Adige, Trentino e Veneto, sfocia nel Mare Adriatico.



Figura 4-3 Bacino idrografico del Fiume Adige
fonte: PGRA 2015-2021 Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali

Il bacino tributario dell'Adige copre una superficie di circa 12.100 km² ed interessa anche una piccola parte di Svizzera: il primo tratto si sviluppa dal lago di Resia a Merano (area drenata pari a 2.670 km²), poi lungo la Valle dell'Adige sino a Trento (circa 9.810 km² di area drenata) e da Trento a Verona la valle assume la denominazione di Lagarina (11.100 km² circa). Successivamente e fino ad Albaredo, dove chiude il suo bacino

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 					
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="798 235 933 288">Progetto IN17</td> <td data-bbox="933 235 1029 288">Lotto 11</td> <td data-bbox="1029 235 1311 288">Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</td> <td data-bbox="1311 235 1407 288">Rev. B</td> <td data-bbox="1407 235 1503 288">Foglio 9 di 61</td> </tr> </table>	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 9 di 61
Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 9 di 61		

tributario, l'Adige assume carattere di fiume di pianura; poi, per successivi 110 km, è pensile fino allo sbocco in Adriatico dove sfocia tra la foce del Brenta ed il delta del Po.

In provincia di Bolzano l'affluente principale è l'Isarco nel quale confluiscono il Rio Gardena, il torrente Talvera e la Rienza che sua volta riceve le acque dell'Aurino e della Gadera. Altri affluenti importanti sono il Passirio e il rio Valsura.

In provincia di Trento l'affluente principale in destra è il Noce, mentre quelli in sinistra sono l'Avisio, il Fersina e il Leno. Nei pressi dell'abitato di Mori il sistema di canali Montecatini-Biffis deriva ad uso idroelettrico una consistente portata che convoglia l'acqua dell'Adige da Mori alla centrale di Bussolengo. In Veneto, i maggiori affluenti in sinistra idrografica sono il fiume Chiampo e i torrenti Tramigna, Aldegà, Fibbio, Alpone. In destra idrografica vi è solamente il torrente Tasso. Va evidenziata anche la consistente derivazione ad uso idroelettrico, in sinistra idrografica, del canale ex-Sava nei pressi della diga di Pontoncello.

Nella panoramica del bacino va anche segnalata la presenza della galleria scolmatrice denominata "galleria Adige Garda", che collega il fiume Adige nei pressi di Mori con il lago di Garda. Essa può scolare portate fino al massimo di 500 m³/s contribuendo sostanzialmente alla sicurezza idraulica dei tratti a valle. Il manufatto venne iniziato nel 1939 e terminato nel 1959 (con una lunga interruzione dal 1943 al 1954).

Una peculiarità del bacino dell'Adige è poi dovuta al fatto che esistono attualmente 31 bacini artificiali, aventi capacità di invaso variabili, dai valori massimi di 183 milioni di m³ di S. Giustina e 118 milioni di m³ del lago di Resia, ai valori minimi di 100.000 m³ per l'invaso presente in Val d'Ega e di 90.000 m³ per quello di Sarentino. Complessivamente i serbatoi artificiali compresi all'interno del bacino idrografico del fiume Adige hanno un invaso pari a circa 571 milioni di m³."

4.1.2 Piano stralcio per la gestione del rischio alluvione 2015-2021

Con il D.Lgs. 49/2010 è stata recepita la Direttiva alluvioni (2007/60) che si concretizza con l'istituzione di un Piano di Gestione del Rischio alluvioni.

Attualmente è stato pubblicato il Progetto di Piano. Già alla fine del 2013 sono state pubblicate le mappe preliminari del Rischio Idraulico e degli allagamenti nel Territorio del Distretto delle Alpi Orientali.

Il Piano deve dar seguito al processo chiesto dall'Europa, ed in particolare attuare le seguenti fasi:

- "la definizione di riferimenti certi (nomina delle autorità competenti e degli ambiti territoriali di riferimento);
- la valutazione preliminare del rischio da alluvioni, quale punto di partenza per avere un primo ordine di grandezza dei problemi;
- la predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio quale presupposto per operare delle scelte;
- infine, la predisposizione del piano di gestione del rischio da alluvione quale esito finale del processo."

Il Distretto fa notare che nel PGRA si tratta di fenomeni molto complessi, a causa delle variabili in gioco, e che pertanto la mappatura di allagabilità ha lo scopo di valutare la propensione di un territorio a subire tale fenomeno, più che di simulare un certo evento. Il Distretto lamenta inoltre la mancanza di risorse economiche sufficienti ad una completa mappatura geometrica del territorio e ad un'indagine su fenomeni che movimentano un alto volume di sedimenti, come le colate detritiche.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 10 di 61

È stata data priorità alle situazioni già rilevate dai PAI o già note dagli eventi storici; la restante parte di territorio è stata dichiarata non indagabile.

Sono stati simulati eventi di piena, con le eventuali situazioni di allagamento, con un modello bidimensionale per tempi di ritorno $TR=30$ anni, tipico delle opere di bonifica e della rete idrografica minore, $TR=100$ anni, riferimento nel dimensionamento delle opere di difesa fluviali, utilizzato nei piani già approvati, e $TR=300$ anni, come evento eccezionale.

I livelli di allagamento sono stati determinati in base a tre scenari corrispondenti ad eventi di piena con tempi di ritorno (T_r) di 30, 100 e 300 anni; rispetto alle quali sono state individuate 4 tipologie di aree di pericolosità idraulica (molto elevata, elevata, media, moderata), in base allo schema seguente:

PERICOLOSITA' IDRAULICA		CONDIZIONI IDRAULICA
P4	Molto elevata	Evento di piena con $T_r = 30$ anni $h_{30} > 1$ m oppure $v_{30} > 1$ m/s
P3	Elevata	Eventi di piena con $T_r = 30$ anni e $T_r = 100$ anni $1 \text{ m} > h_{30} > 0.5 \text{ m}$ oppure $h_{100} > 1$ m oppure $v_{100} > 1$ m/s
P2	Media	Evento di piena con $T_r = 100$ anni $H_{100} > 0$ m
P1	Moderata	Evento di piena con $T_r = 200$ anni $H_{100} > 0$ m

Figura 4-4 Definizioni delle classi di pericolosità idraulica

Con:

h_{xx} = tirante della lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna rispetto l'evento corrispondente al tempo di ritorno T_{xx} .

v_{xx} = velocità di scorrimento della lama d'acqua sul piano campagna rispetto l'evento corrispondente al tempo di ritorno T_{xx} .

Le porzioni del piano campagna che soddisfano le condizioni di appartenenza di più classi di pericolosità idraulica vengono collocate nella classe a pericolosità maggiore.

In relazione ai contenuti del Piano di gestione del rischio alluvione previsti dalla direttiva 2007/60 e alla caratterizzazione dei bacini idrografici del distretto rispetto alla pianificazione del rischio idrogeologico, risulta evidente la connessione fra Piano alluvioni e Piani per l'assetto idrogeologico.

Il PGRA è stato sviluppato tenendo conto del lavoro ad oggi svolto all'interno del Distretto riprendendo, approfondendo e aggiornando i contenuti dei PAI vigenti nonché dei piani predisposti ai sensi della ex L. 183/89 ad essi strettamente collegati.

Una rappresentazione delle aree allagabili considerate nei due strumenti è riportata nella figura che segue.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 11 di 61</p>

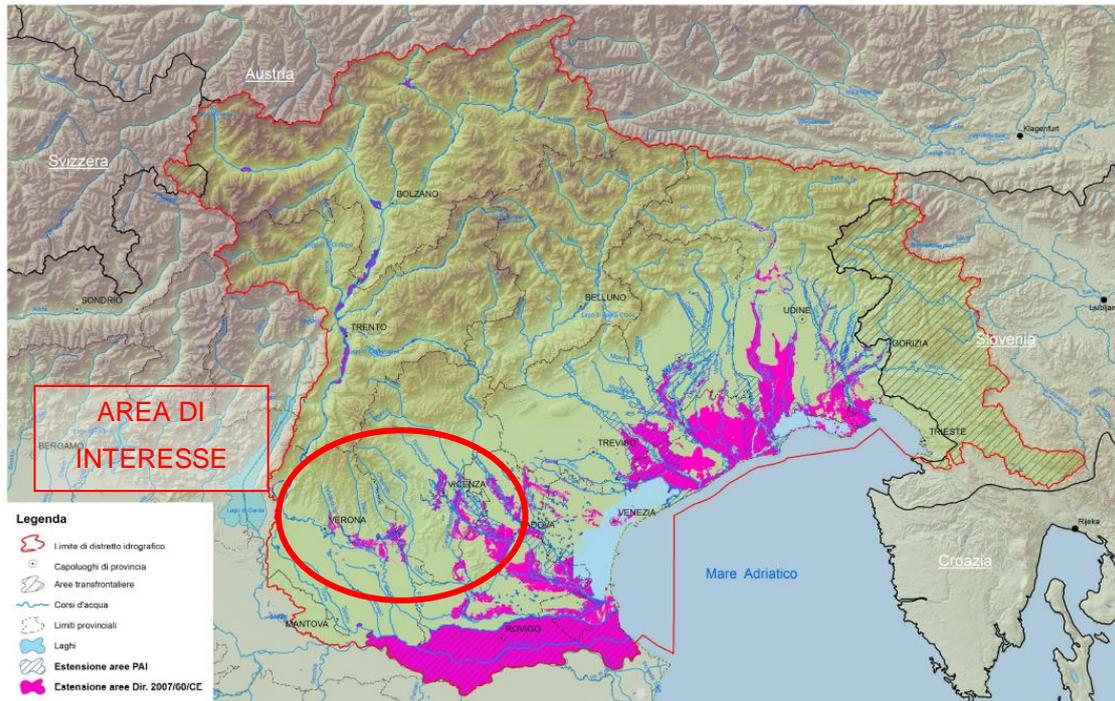


Figura 4-5 Sovrapposizione tra aree pericolose del PAI e di allagabilità del PGRA (Fonte: PGRA)

4.1.3 Piano di assetto idrogeologico del bacino idrografico dell'Adige

Il piano di stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del bacino dell'Adige – Regione descrive quanto segue:

- Individua e delimita quattro tipologie di aree di pericolosità idraulica stabilendo per esse prescrizioni relative per lo più alla gestione dei patrimoni edilizi ed alla previsione di opere ed infrastrutture pubbliche;
- Individua e perimetra aree a rischio elevato e medio da frana e da colata detritica;
- Individua e perimetra comunque aree a rischio idraulico di classe R4, R3, R2 e R1, ricomprese nelle aree di pericolosità idraulica;

In tutte le aree delimitate prevede azioni di mitigazione del rischio e vi dispone normative di attuazione e prescrizione.

In particolare, i comuni interessati da esondazioni nel bacino dell'Adige sono i seguenti:

COMUNE	PROVINCIA	R4	R3	R2	R1	P4	P3	P2	P1
Affi	Verona	X	X	X	X		X	X	X
Badia Calavena	Verona				X	X	X		X
Brentino Belluno	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Bussolengo	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Caprino Veronese	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Costermano	Verona		X	X	X		X	X	X
Dolcè	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Gambellara	Vicenza	X		X	X		X	X	X
Montebello Vicentino	Vicenza			X	X			X	X
Monteforte d'Alpone	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Pastrengo	Verona	X	X	X	X		X	X	X
Pescantina	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Rivoli Veronese (*)	Verona	X		X	X	X	X	X	X
S. Bonifacio	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
S. Martino Buon Albergo	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
S. Pietro in Cariano	Verona			X	X			X	X
Soave	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Tregnago	Verona				X	X	X		X
Verona (*)	Verona	X	X	X	X	X	X	X	X
Zevio	Verona			X	X			X	X

Figura 4-6 Elenco dei comuni interessati da esondazioni a diverso grado di rischio (R) e di pericolo (P)
 (*) Comuni con aree di esondazione afferenti a vari corsi d'acqua Fonte: PAI bacino Adige

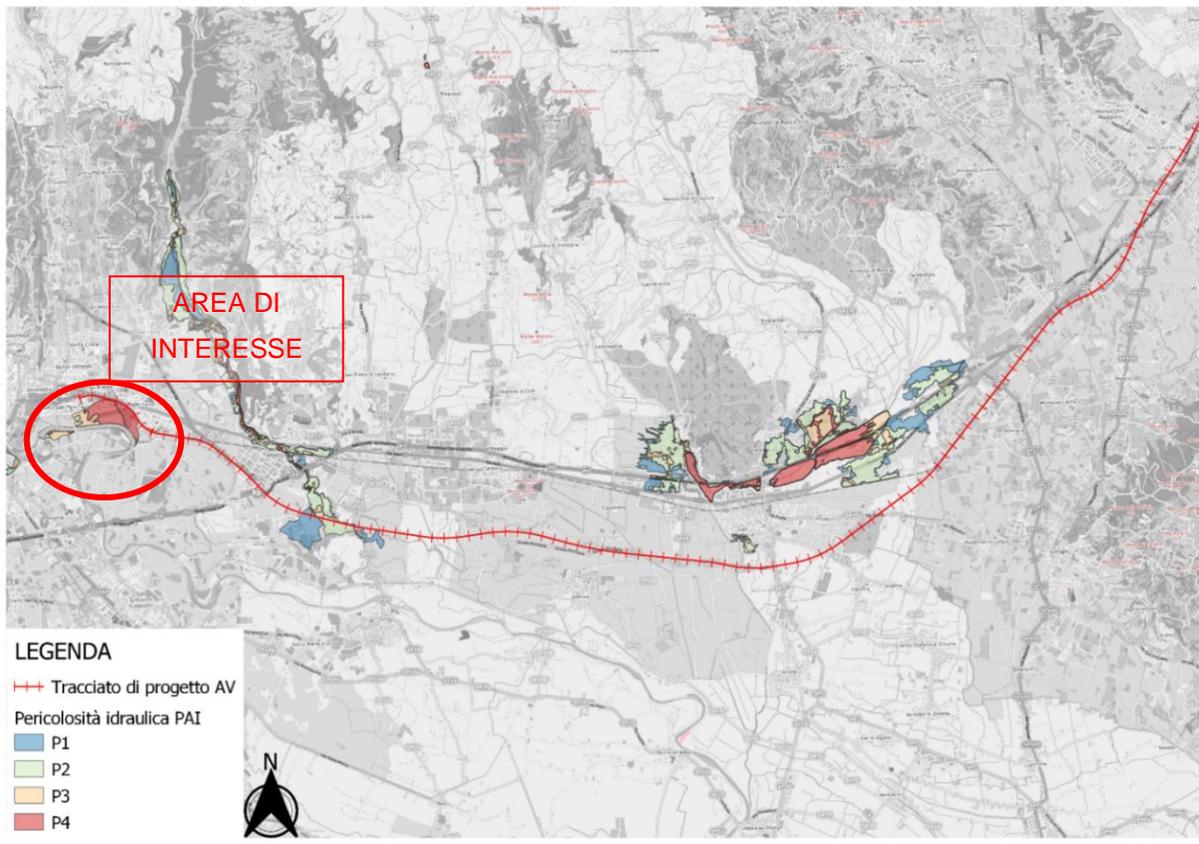


Figura 4-7 Pericolosità PAI bacino Adige nella zona di interesse del progetto AV

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 13 di 61

4.1.4 Aree a rischio allagamento redatte dall'Autorità di Bacino del fiume Adige

Nell'ambito dello studio idraulico ante operam si è fatto riferimento alle carte di allagamento redatte dall'Autorità di Bacino del fiume Adige, Ente di riferimento per quanto riguarda il rischio idraulico nel territorio interessato dal progetto.

Nello studio dello scenario di allagamento del territorio attraversato dal tracciato di progetto sono state indicate le altezze idriche con tempo di ritorno di 300 anni, basate su tali carte di allagamento della direttiva alluvioni, considerando per maggior cautela il massimo nel range di valori indicato: tra 0.5 m ed 1 m si è preso quest'ultimo valore, ad esempio, a favore di sicurezza.

Si ricorda poi che essendo le carte di allagamento della direttiva alluvioni basate sulle carte tecniche regionali CTR della Regione Veneto, essendo quest'ultime affette da una tolleranza nella misura dei rilievi, come del resto in tutte le misure scientifiche, anche le carte di allagamento risulteranno affette da tale scarto.

4.1.4.1 Zona Verona città, a sud della linea ferroviaria esistente, all'interno dell'area golenale del fiume Adige.

In questa zona sono previsti allagamenti con altezze idriche superiori a 2.00m in relazione ad eventi di piena con tempo di ritorno pari a 300 anni; l'area risulta delimitata, nella parte nord dal rilevato ferroviario esistente che presenta altezza dell'ordine di circa 8-10 m rispetto al piano golenale.

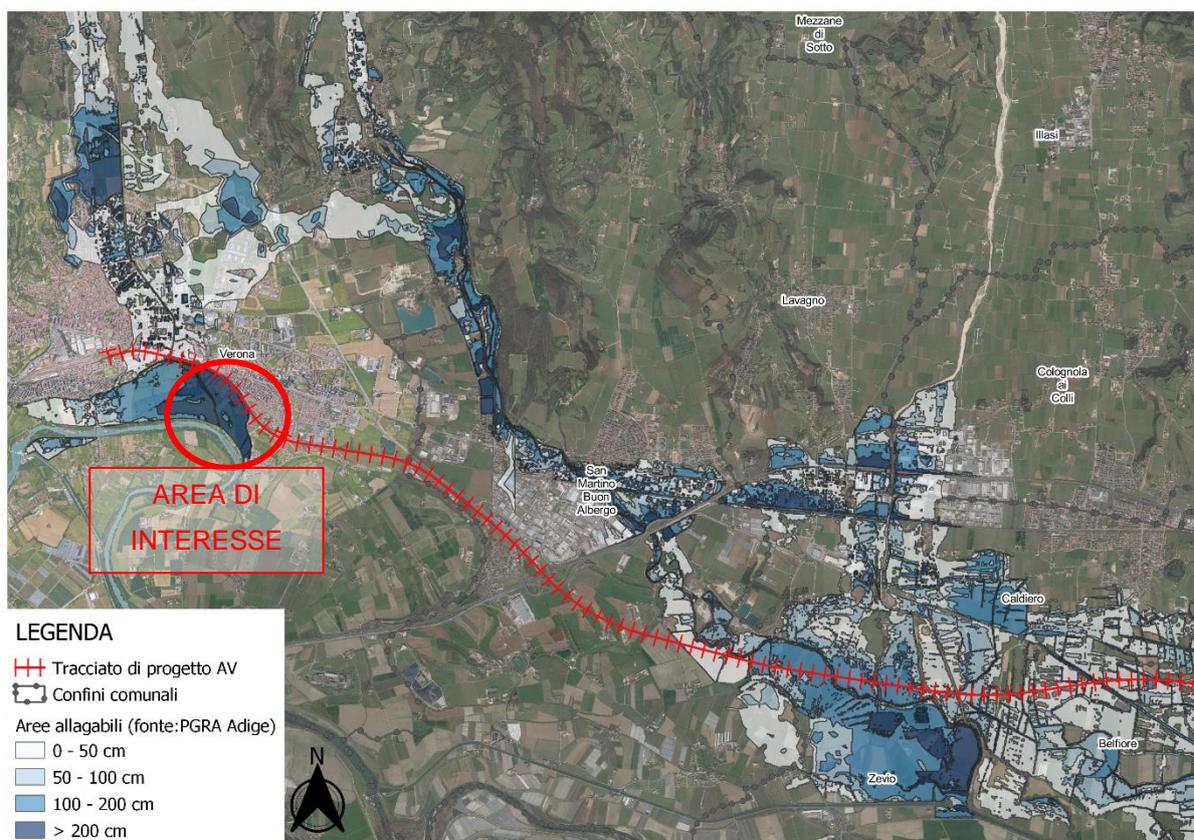


Figura 4-8 Planimetrie aree allagabili ante operam con Tr pari a 300 anni

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 14 di 61

5 CRITERI DI VERIFICA

II MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI – RFI. nella PARTE II - SEZIONE 3 – CORPO STRADALE descrive al capitolo 3.7.2.1.3 le modalità di esecuzione dello studio idrologico, in cui, per il calcolo delle portate di piena, viene definita la seguente classificazione:

“i bacini verranno distinti in:

a) Bacini di corsi d'acqua principali

Appartengono a questo gruppo tutti i bacini a valenza regionale di notevole importanza e/o comunque con superficie superiore a 10 Km²:

b) Bacini di corsi d'acqua secondari

Appartengono a questo gruppo tutti i restanti bacini minori a valenza locale (fossi, colatoi, torrenti, ecc.)

Per i bacini imbriferi principali sarà necessario desumere dalla cartografia i principali parametri morfologici, quali l'area del bacino sottesa dalla linea ferroviaria, la lunghezza e la pendenza dell'asta incisa, le quote massima, minima e media del bacino sotteso

Il tempo di corrivazione sarà calcolato utilizzando e confrontando vari metodi, quali quelli proposti da Kirpich, Ventura, Horton, Giandotti, anche in considerazione dell'estensione e della tipologia del bacino

La valutazione dei coefficienti di deflusso sarà effettuata in base a considerazioni ed osservazioni sulla permeabilità delle formazioni geologiche interessanti il bacino imbrifero, sulla copertura vegetale, sulla utilizzazione del suolo, sulla pendenza dei versanti, ecc. Il grado di approfondimento dovrà essere proporzionale al livello di progettazione ed agli elementi conoscitivi disponibili (rilievi aerofotogrammetrici, fotoindici ecc.).

Per i corsi d'acqua di interesse regionale o interregionale è necessario verificare le risultanze deducibili dagli studi relativi ai Piani di Bacino, ovvero dagli studi regionali svolti da Enti Pubblici a carattere Nazionale.

Per i corsi d'acqua secondari sarà bene eseguire una verifica circa l'esistenza di dati idrometrici significativi. Anche in questo caso si farà riferimento al contenuto dei Piani di Bacino o studi eseguiti sull'area in esame. Qualora i dati deducibili dai punti precedenti non fossero significativi o sufficienti per il loro utilizzo, il calcolo della portata di piena, con assegnato tempo di ritorno, avverrà utilizzando i dati pluviometrici. La metodologia da applicare per il calcolo si baserà sul raffronto dei valori ottenuti applicando le metodologie in uso e distinguendo tra bacini con superficie minore o maggiore di 10 Km², tenendo conto dell'importanza del corso d'acqua e quindi del tempo di ritorno dell'evento meteorico.

In dettaglio:

Area < 10 Km² Kirpich, Formula Razionale ecc.

Area > 10 Km² Curve Number, Giandotti ecc.”

Nella stessa sezione al capitolo 3.7.2.2.1 viene riportato quanto segue:

“3.7.2.2.1 Attraversamenti principali

Per tali categorie di opere, relative a bacini con superficie $S > 10 \text{ km}^2$, si dovrà verificare la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso nelle fasce fluviali, indotte dalla esecuzione delle opere.

Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 15 di 61</p>

- *il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:*
 - o *non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;*
 - o *non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.*
- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;*
- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*
- *il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria."*

Infine, nella stessa sezione al capitolo 3.7.2.2.1 viene riportato quanto segue:

3.7.2.2.2 Attraversamenti secondari

Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m.*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 16 di 61

6 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica, che ha lo scopo principale di definire le portate di progetto per le interferenze della linea A.V./A.C. con i reticoli idrografici principali, minori e secondari, è costituita dai seguenti punti:

- Reperimento della cartografia di base;
- Individuazione dei bacini imbriferi;
- Analisi morfometrica dei bacini;
- Raccolta ed analisi dei dati pluviometrici disponibili;
- Elaborazione delle curve di probabilità pluviometriche;
- Definizione degli idrogrammi o delle portate al colmo di progetto.

6.1 Il bacino idrografico

Per il progetto in essere sono previste due modalità di determinazione della portata di progetto, definite a seconda della dimensione del bacino idrografico analizzato:

- Per bacini secondari con superficie $S < 10\text{km}^2$ è stato utilizzato il metodo cinematico-razionale;
- Per i bacini principali con superficie S di poco superiore a 10km^2 è stato implementato il modello HEC-HMS.

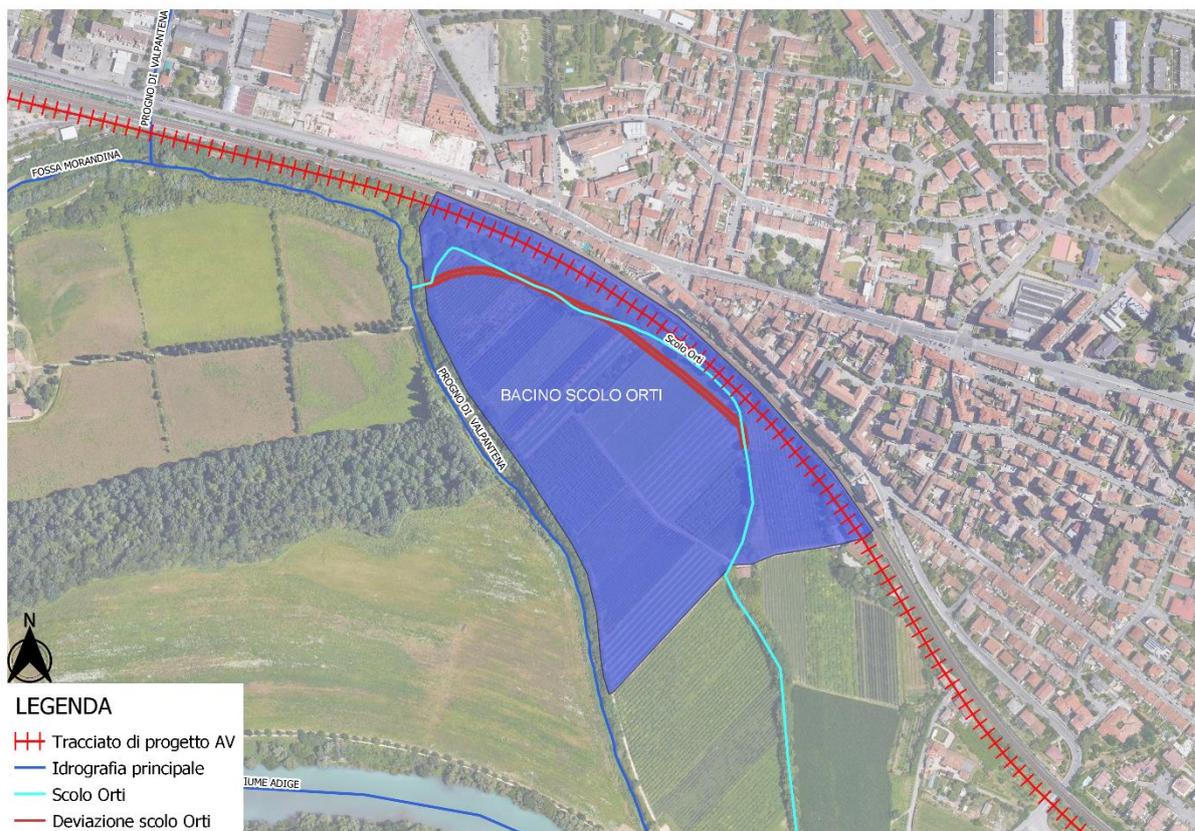


Figura 6-1 Bacino imbrifero dello scolo Orti relativo alla deviazione di progetto

È stata eseguita un'analisi pluviometrica, dove per maggior dettaglio si rimanda alla relazione idrologica e idraulica attraversamenti secondari (IN1710EI2RHID0000002B).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 17 di 61

Le stazioni di riferimento ARPAV utilizzate nel presente studio sono le seguenti:

1. Arcole
2. Brendola
3. Buttapietra
4. Chiampo
5. Colognola ai colli
6. Lonigo
7. Montecchia di Crosara
8. S. Agostino Vicenza
9. Trissino
10. Verona-Parco Adige Nord
11. 50% Buttapietra-50% Arcole

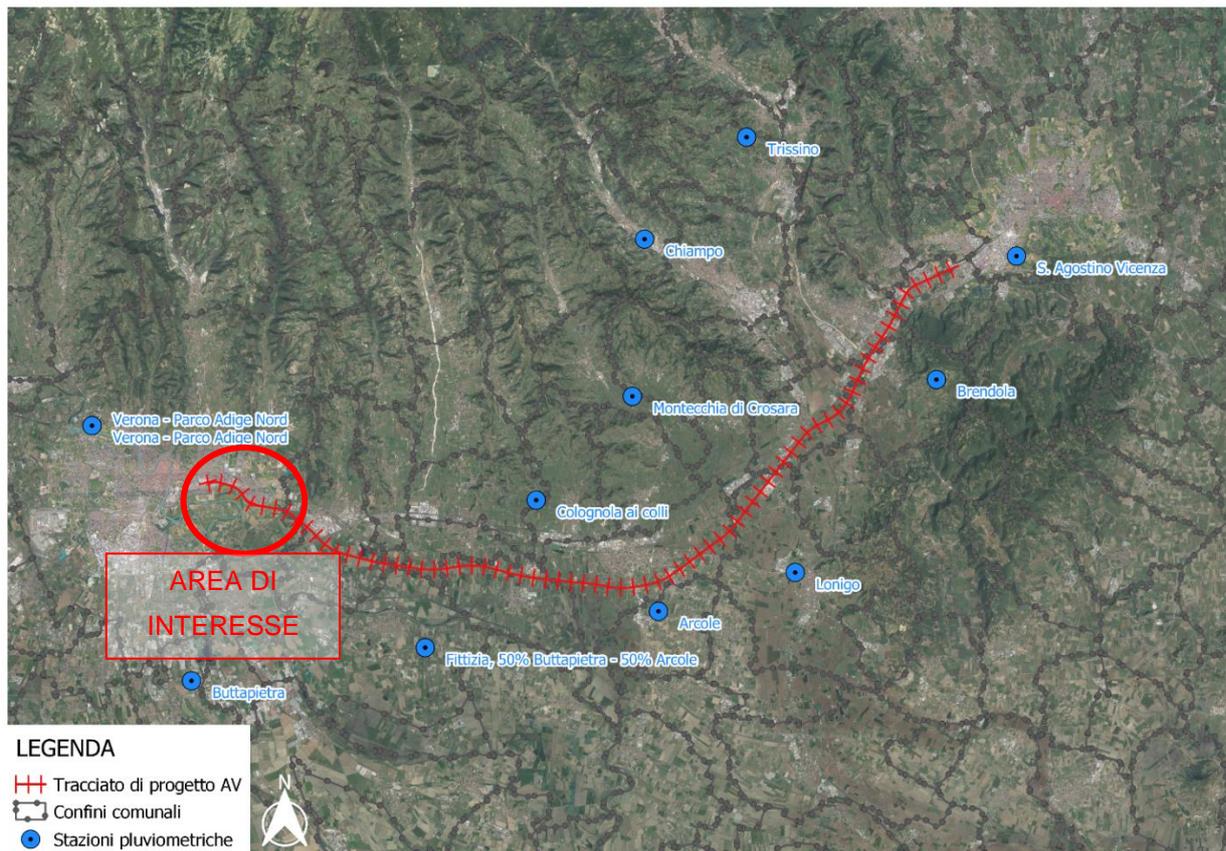


Figura 6-2 Stazioni pluviometriche di riferimento

Per ogni stazione sono stati ricavati i parametri delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati successivamente per ricavare le altezze di precipitazione.

Per la distribuzione spaziale delle piogge è stato utilizzato il metodo dei poligoni di Thiessen o topoietai.

L'area oggetto di intervento ricade totalmente all'interno della stazione pluviometrica di Verona-Parco Adige Nord di cui si riporta i parametri della relativa CPP.

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 18 di 61

Tabella 6-1 Parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica. Durata < 1ora

STAZIONI	Tr= 5		Tr= 10		Tr= 20		Tr= 50		Tr= 100		Tr= 200		Tr= 300	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Verona-Parco Adige Nord	55,3	0,561	66,6	0,573	77,6	0,582	91,7	0,590	102,3	0,595	112,9	0,599	119,1	0,601

Tabella 6-2 Parametri delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica. Durata > 1ora

STAZIONI	Tr= 5		Tr= 10		Tr= 20		Tr= 50		Tr= 100		Tr= 200		Tr= 300	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
Verona-Parco Adige Nord	45,1	0,180	53,3	0,174	61,2	0,170	71,4	0,165	79,1	0,163	86,7	0,161	91,2	0,160

L'intervento in esame ricade all'interno dei bacini con $S < 10 \text{ km}^2$; nello specifico si riportano le caratteristiche morfometriche, il tempo di corrivazione e il coefficiente di deflusso del bacino.

Tabella 6-3 Caratteristiche morfometriche del bacino

Progres.	WBS di progetto	Area	Coor. centroide bacino		Zmin bacino	Zmax bacino	Zmedia bacino	Zchiusura bacino	Lasta	jasta	jmedia bacino
-	-	(km^2)	X	Y	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m)	(m/m)	(m/m)
1+500	RI05	0,149	1659652,6	5033016,5	44,3	55,8	46,2	44,9	627,9	0,0004	0,0750

Tabella 6-4 Tempi di corrivazione calcolati con varie formule presenti in letteratura

Progressiva	WBS di progetto	Tc	Tc	Tc	Tc
		Ventura	Pezzoli	Turazza	Kirpich
-	-	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)
1+500	RI05	2.92	1.67	10.04	0.92

Tabella 6-5 Coefficiente di deflusso del bacino

Progressiva	WBS di progetto	Coefficiente di deflusso Φ_{TOT}
-	-	-
1+500	RI05	0,51

Implementando i dati fin qui ricavati è possibile, tramite il metodo cinematico, ricavare i valori della portata idrologica relativi al bacino secondario.

A tali valori vanno sommate le portate di derivazione in testa (desunte dal progetto definitivo), nel caso il corso d'acqua derivi una parte di portata da altri corsi d'acqua, ed eventuali valori delle risorgive (riportate nel progetto definitivo), nel caso ci sia un contributo di quest'ultime all'idrografia in esame.

I risultati ottenuti sono i seguenti:

Tabella 6-6 Portate di progetto per Tr = 200 anni

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Autorità competente	Tipologia	Q idrologica	Q risorgiva	Q derivata	Q complessiva	Q MAX PD	Q PE	Direzione di deflusso
-	-	-	-	-	(m^3/s)						
1+500	RI05	Scolo Orti	Privato	Scolo	2.45	0.15	-	2.60	18.80	2.60	S

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento E12 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 19 di 61

Dal confronto tra la Q complessiva così calcolata e la Q di progetto indicata nel Progetto Definitivo, è stata determinata la Q di Progetto Esecutivo (Q_{PE}) da assumere nel dimensionamento delle sistemazioni idrauliche di progetto, tenendo conto dell'esito delle interlocuzioni intervenute tra il Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta e il Consorzio Iricav Due.

È evidente che la portata di progetto esecutivo è una portata teorica e prescinde da eventuali condizioni di esondazioni della rete di monte. Tuttavia, nell'impossibilità di prevedere quali saranno i possibili interventi di sistemazione e mitigazione idraulica nella rete di monte, da parte degli enti competenti, si assume per l'intervento di progetto l'ipotesi più cautelativa corrispondente alla portata teorica Q_{PE} . Maggiori dettagli sono riportati nella relazione idraulica (IN1710E12RIID0000001B) e nella relazione idrologica e idraulica attraversamenti secondari (IN1710E12RHID0000002B).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 20 di 61

7 STATO ATTUALE

Il Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta ha eseguito in fase di redazione del progetto definitivo dell'AV/AC un rilevamento della rete idraulica consorziale lungo il tracciato della linea AV/AC Torino – Venezia, tratta Verona – Padova, lotto funzionale Verona – bivio Vicenza.

Per quanto riguarda lo scolo Orti tale relazione riporta quanto segue: *“In sinistra del fiume Valpantena ,a Sud della ferrovia, si estendono in area privata “Gli Orti della Chiesa Benedettina” collegati al tessuto urbano di San Michele Extra da un sottopasso ferroviario pedonale.*

Tale area, attraversata dalla TAV, ha un profilo rettangolare che si estende parallelamente al bastione murario ferroviario (mura alte 6 m che sostengono la ferrovia in quanto realizzata a ridosso del gradone del paleo alveo dell’Adige); con una estensione in lunghezza di m 400,00 per una larghezza di m 20,00.

Nell’area privata sono presenti quattro sorgive di cui 2 principali intercettate da contorni murari in cotto dalla capacità complessiva stimata di oltre 150 l/s.

Le acque delle sorgive, confluiscono in un fosso privato che delimita la proprietà ecclesiastica e la proprietà Bighignoli.

Il vaso, a profilo incassato, ha dimensioni alla base di m 2,00, bocca m 4,00 e sponde inclinate 45°profonde m1,50. a servizio di ha 50 Il fosso, dopo aver percorso 200 m dalle sorgive, veicola l’acqua corrente in corte dell’azienda agricola F.lli Bighignoli per servire una costruzione detta “ Casa Matta,” ex proprietà del Genio Civile, che ospitava barche a fondo piatto per la ricognizione del Fiume Adige distante 650 m

Tale fosso risulta essere fondamentale per lo scolo dell’azienda agricola e per l’allontanamento delle acque sorgive intercettate da opere idrauliche risalenti all’epoca medioevale.”

Come descritto nella relazione lo scolo ha una modesta sezione con sponde inclinate 1:1; oltre a convogliare acque di risorgiva nel periodo estivo ha funzione irrigua prelevando acqua dal vicino Torrente Prognolo di Valpantena. Lo scolo orti termina il suo percorso confluendo nel Fiume Adige. Di seguito una sezione schematizzata dello scolo Orti ricavata dalla relazione del Consorzio Alta pianura Veneta:

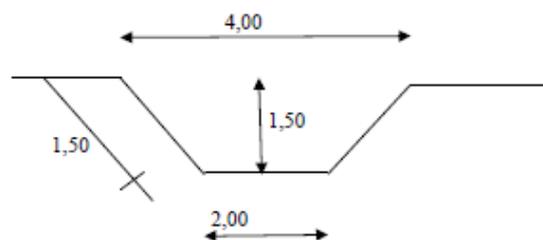


Figura 7-1 Sezione dello scolo Orti (fonte: Consorzio di bonifica Alta pianura Veneta)

Nella fase di progetto esecutivo è stata eseguita una campagna di rilievi che ha portato a dettagliare maggiormente la zona di interesse, integrando quanto già stato eseguito nella fase definitiva.

In particolare è stata estrapolata una superficie tridimensionale della zona interessata; la stessa è stata utilizzata per le analisi idrauliche descritte nei paragrafi successivi.

Si riporta di seguito l’estratto della tavola dello stato di fatto e la rappresentazione altimetrica del DTM ricavato dal rilievo topografico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 22 di 61

8 STATO DI PROGETTO

Lo scolo orti costituisce una interferenza con il rilevato della nuova linea AV/AC. Il progetto in particolare è costituito dalla deviazione parziale dello scolo e dall'inserimento di tombini per la nuova rete di viabilità.

Lo scolo oltre a deviare il proprio percorso verrà risezionato e ricalibrato. In particolare la sezione sarà allargata e rivestita con materassi Reno. Le sponde non subiranno modifiche di pendenza, la quale rimarrà pari a 1:1.

A seguito di indicazioni da parte dei progettisti ambientali i primi 250 m circa dello scolo Orti dovranno essere preservati a causa di un habitat naturale esistente particolare. La verifica idraulica dello stato di progetto manterrà le caratteristiche iniziali di progettazione in quanto tali indicazioni non comportano modifiche sostanziali al deflusso delle acque nello scolo Orti.

Di seguito un estratto della planimetria di progetto post operam.

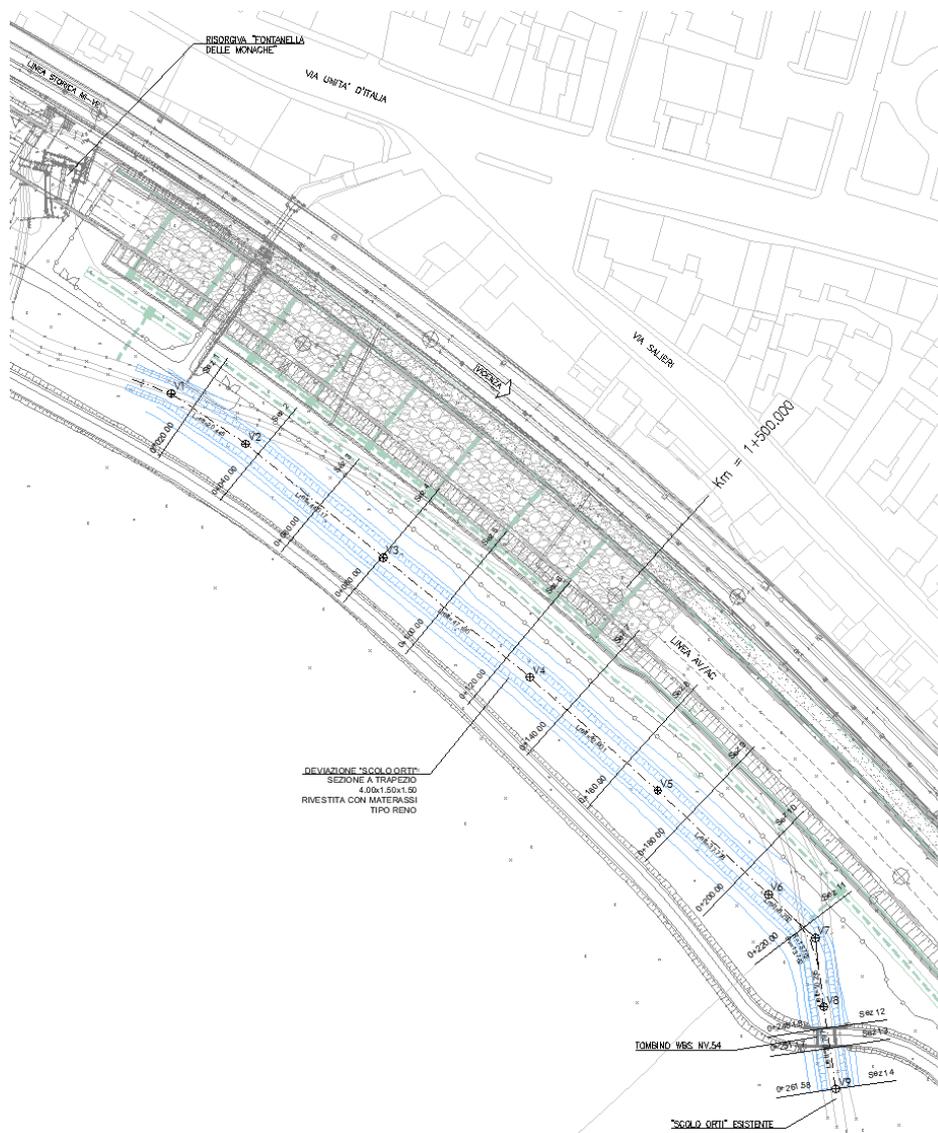
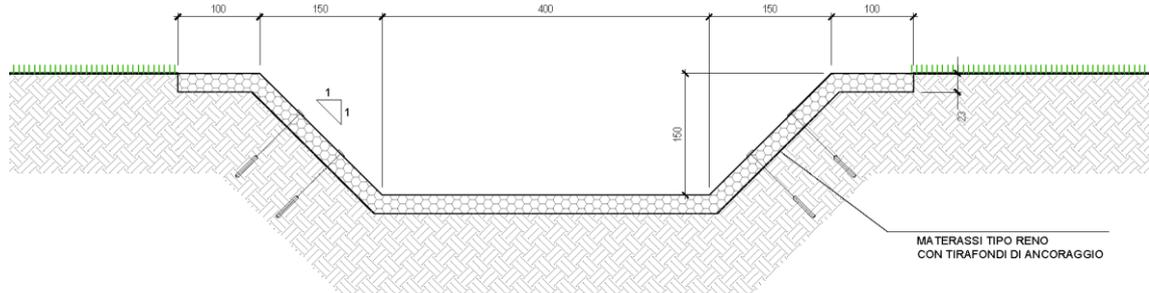


Figura 8-1 Estratto dalla planimetria di progetto post operam



N.B. prevedere opportuni ancoraggi nel caso di pendenze >40°

Figura 8-2 Sezione trasversale scolo Orti

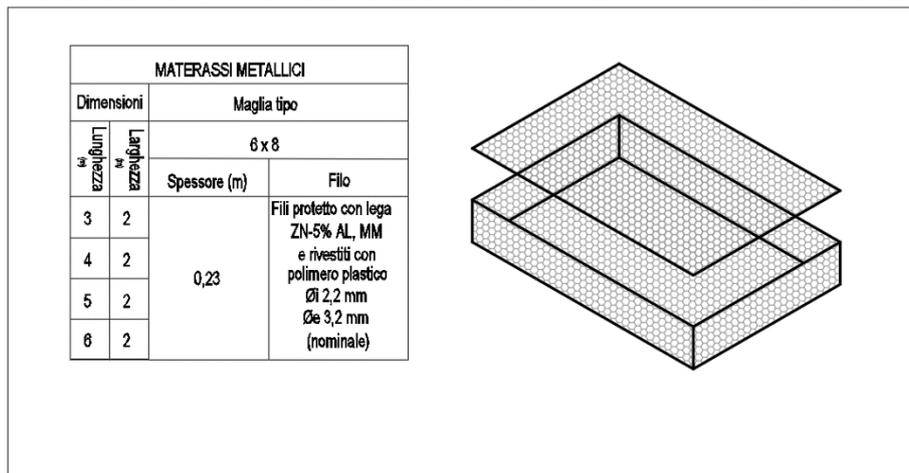


Figura 8-3 Dettaglio materassi tipo Reno

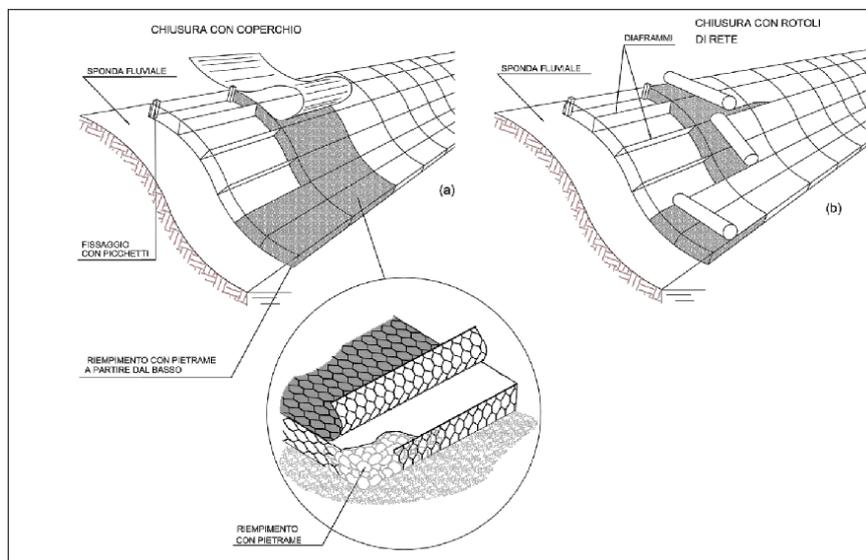


Figura 8-4 Modalità di posa dei materassi tipo Reno

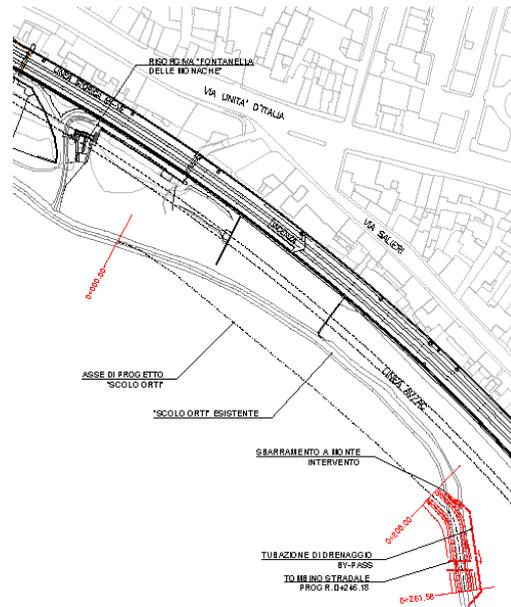
GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 24 di 61

9 STATO DI CANTIERIZZAZIONE

Le fasi di esecuzione dell'opera sono descritte di seguito sinteticamente:

FASE 1:

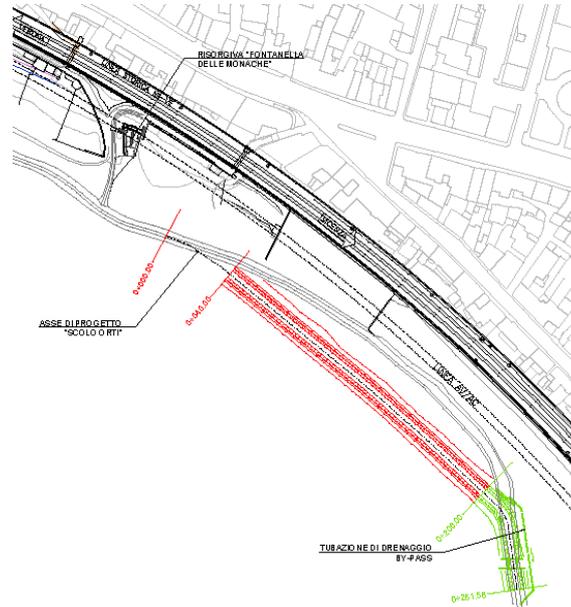
- Sbarramento in prossimità del collegamento al Torrente Valpantena;
- Sbarramento scolo Orti a monte del primo tratto da realizzare in Fase 1, con tura tracimabile $H = 1$ m in terra;
- Posa tubazione a gravità per drenaggio acque di risorgiva tramite tubazione di cantiere DN500 in materiale plastico (PVC SN8); la tubazione può essere posta o all'interno dell'area di lavoro, posizionandola nella posizione opposta al lato in lavorazione oppure può essere posta esternamente all'area di lavoro tramite scavo in trincea;
- Realizzazione Tratto da 0+208 a 0+261,58;
- Realizzazione tombino stradale alla progr. 0+246,18 (WBS NV54).



FASE 2:

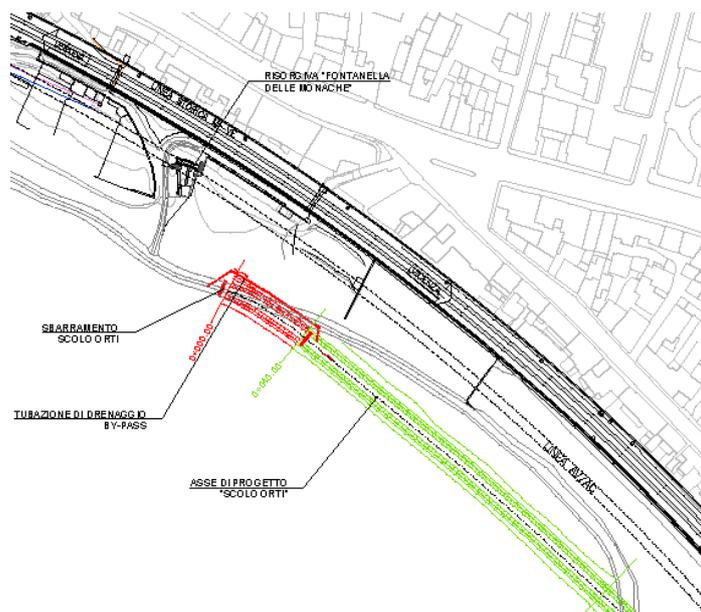
- Realizzazione Tratto da 0+040 a 0+208 (Durante la fase 2, l'acqua di drenaggio continuerà a fluire attraverso la tubazione di by-pass posata in fase 1; sarà sempre presente lo sbarramento al collegamento con il Torrente Valpantena).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 25 di 61</p>



FASE 3:

- Sbarramento scolo Orti, con tura tracimabile H = 1 m in terra;
- Posa tubazione a gravità di drenaggio acque di risorgiva tramite tubazione di cantiere DN500 in materiale plastico (PVC SN8); la tubazione può essere posta o all'interno dell'area di lavoro, posizionandola nella posizione opposta al lato in lavorazione oppure può essere posta esternamente all'area di lavoro tramite scavo in trincea;
- Rimozione tubazione di drenaggio realizzata in fase 1;
- Realizzazione tratto da 0+000 a 0+040;
- Rimozione degli sbarramenti e ripristino del flusso idrico.



Lo scolo Orti nella fase di cantierizzazione verrà isolato dal Torrente Valpantena tramite una tura in terra. Questo consentirà di lavorare senza la presenza di acqua. Le acque di risorgiva continueranno a scorrere e in prossimità della deviazione essendo momentaneamente deviate tramite tubazione di by-pass.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 26 di 61

10 ANALISI IDRAULICA

Il modello idraulico viene realizzato per verificare le condizioni di deflusso nella zona d'interesse, nella configurazione allo stato attuale, nella nuova configurazione di progetto e nella configurazione di cantierizzazione.

10.1 Il Modello HEC-RAS

L'analisi idraulica è stata condotta utilizzando il programma di calcolo monodimensionale a moto permanente denominato HEC-RAS 5.0.7 River Analysis System, versione 5.0.7 del Marzo 2019 sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, il quale fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo.

10.1.1 Calcolo del profilo 1D a moto permanente

Il profilo di moto permanente viene definito dal modello implementando l'equazione di conservazione dell'energia tra due sezioni successive:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

dove:

Y_1, Y_2 = tirante idrico nelle sezioni 1 e 2 consecutive;

Z_1, Z_2 = quota del fondo del canale nelle sezioni 1 e 2;

α_1, α_2 = coefficiente di Coriolis nelle sezioni 1 e 2;

g = accelerazione di gravità;

h_e = perdita di carico tra la sezione 1 e 2 definita da:

$$h_e = L \bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

\bar{S}_f = pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C = coefficiente di espansione o contrazione;

L = distanza ponderata tra le due sezioni, calcolata come segue

$$L = \frac{L_{LOB} \bar{Q}_{LOB} + L_{CH} \bar{Q}_{CH} + L_{ROB} \bar{Q}_{ROB}}{\bar{Q}_{LOB} + \bar{Q}_{CH} + \bar{Q}_{ROB}} \quad (3)$$

dove:

L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB} = distanze tra le sezioni rispettivamente per la sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank);

$\bar{Q}_{LOB} + \bar{Q}_{CH} + \bar{Q}_{ROB}$ = media aritmetica della portata rispettivamente per la sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank).

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 27 di 61

Nel calcolo il modello suddivide ogni sezione in tre parti: sponda sinistra (left overbank), canale principale (main channel) e sponda destra (right overbank). Per ognuna di queste è possibile assegnare diverse scabrezze e distanze rispetto alla sezione successiva.

Utilizzando la formula di Manning possiamo scrivere:

$$Q = 1.486 \frac{AR_H^{2/3}}{n} \sqrt{S_f} = K \sqrt{S_f} \quad (4)$$

dove

R_H = raggio idraulico

A = area della sezione trasversale

n = coefficiente di scabrezza di Manning

K = (conveyance) è un parametro geometrico

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad (5)$$

In ogni tratto esistono due valori di S_f , uno per ogni sezione che delimita il tratto, per cui viene calcolato un valore medio, che può essere calcolato utilizzando diverse formulazioni:

$$\begin{aligned} \bar{S}_f &= \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 && \text{Conduttività media (default per moto permanente)} \\ \bar{S}_f &= \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} && \text{Media aritmetica (default per moto vario)} \\ \bar{S}_f &= \sqrt{S_{f1} S_{f2}} && \text{Media geometrica} \\ \frac{1}{\bar{S}_f} &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{S_{f1}} + \frac{1}{S_{f2}} \right) && \text{Media armonica} \end{aligned} \quad (6)$$

La suddivisione in sottosezioni ha come ipotesi che tra l'una e l'altra non ci sia scambio di quantità di moto.

Per definire il termine cinetico $\frac{V^2}{2g}$ dell'intera sezione, è necessario introdurre il coefficiente di Coriolis α , in quanto nelle tre diverse sottosezioni (sponde e alveo principale) si instaurano diverse altezze cinetiche, pertanto si può considerare la formulazione seguente:

$$\alpha \frac{V^2}{2g} = \frac{Q_{LOB} \frac{V_{LOB}^2}{2g} + Q_{Ch} \frac{V_{Ch}^2}{2g} + Q_{ROB} \frac{V_{ROB}^2}{2g}}{Q_{LOB} + Q_{Ch} + Q_{ROB}} \quad (7)$$

da cui, con pochi passaggi, è possibile ottenere:

$$\alpha = \frac{A_{Tot}^2 \left[\frac{K_{LOB}^3}{A_{LOB}^2} + \frac{K_{Ch}^3}{A_{Ch}^2} + \frac{K_{ROB}^3}{A_{ROB}^2} \right]}{K_{Tot}^3} \quad (8)$$

A_{Tot} = area totale della sezione trasversale

K_{Tot} = conveyance totale della sezione trasversale

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 28 di 61

K_{LOB}, K_{ROB}, K_{CH} = conveyance per le sottosezioni

A_{LOB}, A_{ROB}, A_{CH} = area delle tre sottosezioni

L'ultimo aspetto che rimane da chiarire riguarda il coefficiente di scabrezza, n , questo può sempre assumere valori diversi nelle tre sottosezioni (sponde e alveo principale) ed all'interno di ognuna di queste; inoltre è possibile considerare una scabrezza equivalente all'interno dell'alveo quando la pendenza della sponda della sottosezione è maggiore di 5H:1V e nella stessa vi è più di un valore di n . La Figura 10-1 illustra come devono essere considerate le pendenze (S_L ed S_R). Nel caso in cui siano rispettate queste condizioni, allora il coefficiente di scabrezza equivalente viene assunto pari a:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{3/2}}{P} \right]^{2/3} \quad (9)$$

dove

P_i = perimetro bagnato individuato da ogni tratto con scabrezza diversa;

P = perimetro bagnato dell'intero tratto di alveo principale.

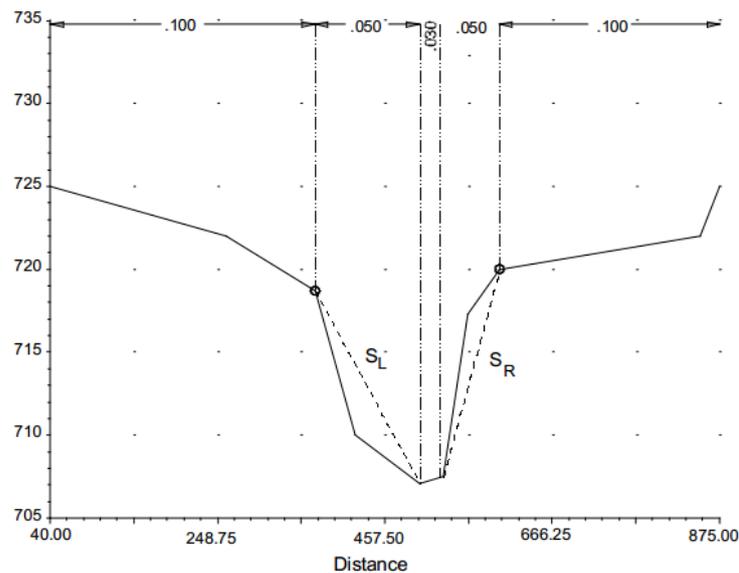


Figura 10-1 Schema per il calcolo della scabrezza equivalente

Per la determinazione del profilo il programma parte con il calcolo in corrente lenta, parte, quindi, dalla condizione al contorno della sezione di valle e procede verso monte applicando la seguente procedura:

1. ipotizza un livello nella sezione più a monte;
2. sulla base del livello ipotizzato calcola la conveyance totale e il carico cinetico;
3. calcola \bar{S}_f e risolve l'equazione (2) per il calcolo di h_e ;
4. con i precedenti valori calcolati risolve l'equazione (1) e calcola il livello nella sezione di monte;
5. confronta il livello calcolato con quello ipotizzato allo step 1, se la differenza è maggiore alla tolleranza impostata ripete la procedura, altrimenti passa alla sezione successiva.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 29 di 61

Il livello determinato viene confrontato con quello critico:

- se il livello determinato è superiore a quello critico la soluzione è di corrente lenta;
- se il livello determinato è inferiore a quello critico viene impostato il livello critico.

Terminato il calcolo in corrente lenta il programma procede con il calcolo del profilo in corrente rapida partendo dalla condizione al contorno della sezione di monte.

Viene quindi calcolata la spinta totale con il livello calcolato per la corrente lenta e quello per la corrente rapida, per questo scopo viene utilizzata la seguente formula:

$$SF = \beta \frac{Q^2}{gA} + AY_G \quad (10)$$

Se il valore ottenuto in condizioni subcritiche supera il valore della spinta ottenuta in condizioni supercritiche allora si instaura corrente lenta, altrimenti è valida la soluzione di corrente rapida e continua il calcolo del profilo in corrente veloce verso valle con la stessa procedura descritta per la corrente lenta.

Quando risulta valida la soluzione di corrente lenta, il programma ricerca la prima sezione verso valle in cui nella soluzione del profilo in corrente lenta era stata posta la condizione critica. Da questa sezione, verso valle, ha inizio il calcolo del profilo in corrente veloce, questo rimane valido finché non si arriva ad una sezione in cui la spinta subcritica supera quella supercritica, allora tra le due sezioni si instaura un risalto e si ha il passaggio da rapida a lenta.

10.1.2 Scelta dei parametri e simulazioni

10.1.2.1 Simulazioni ante operam

Il modello matematico è stato implementato ricostruendo la geometria dell'alveo attraverso una superficie tridimensionale della zona interessata ricavata dai rilievi topografici;

Le sezioni risultanti hanno permesso di ricostruire la geometria del corpo idrico nelle condizioni ante operam.



Figura 10-2 Planimetria di modellazione dello scolo Orti, ante operam

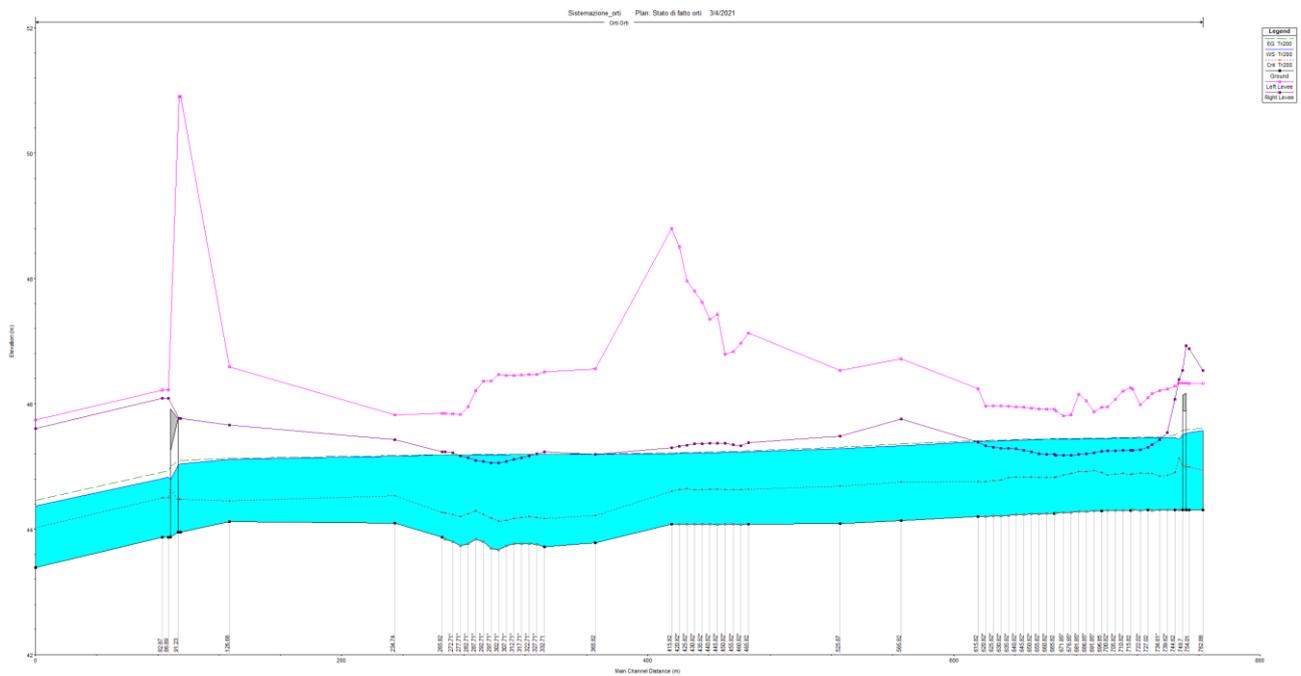


Figura 10-3 Profilo di modellazione dello scolo Orti, ante operam

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 31 di 61

La portata di progetto utilizzata per le simulazioni idrauliche in condizioni ante e post operam, corrisponde con la portata di progetto esecutivo calcolata attraverso analisi idrologica e descritta nei paragrafi precedenti. In particolare la portata in questione è pari a 2,60 m³/s.

Le simulazioni sono state eseguite tenendo in considerazione un livello "basso" del Fiume Adige non influente sul regime dello scolo Orti. Tale scelta è legata al fatto che l'area afferente allo scolo Orti è una zona golenale del Fiume Adige e analizzando tale fiume per un tempo di ritorno pari a 300 anni lo scolo Orti risulterebbe completamente sommerso con un livello pari a 47,70 m s.m.m. (fonte: IN1710EI2RHID0000003B)

Il coefficiente di scabrezza è caratterizzato da un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

Nel caso in esame si è preso come coefficiente di scabrezza il valore di manning pari a 0,035 che equivale ad un canale caratterizzato da una discreta manutenzione e con presenza di eventuali arbusti e sassi e che corrisponde ad un valore Ks di Gauckler-Strickler pari a 28 m^{1/3}/s.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno bisogna tenere in considerazione che la simulazione è monodimensionale; le sezioni di monte e di valle sono state poste, per quanto possibile, discretamente a valle e a monte della zona di interesse. Questo è necessario per garantire le condizioni di moto uniforme e per ottenere i risultati ottimali dalla simulazione stessa.

I risultati delle simulazioni sono riportati in allegato al termine della presente relazione, di seguito verranno esaminate alcune sezioni caratteristiche che identificano i problemi riscontrati in fase ante operam.

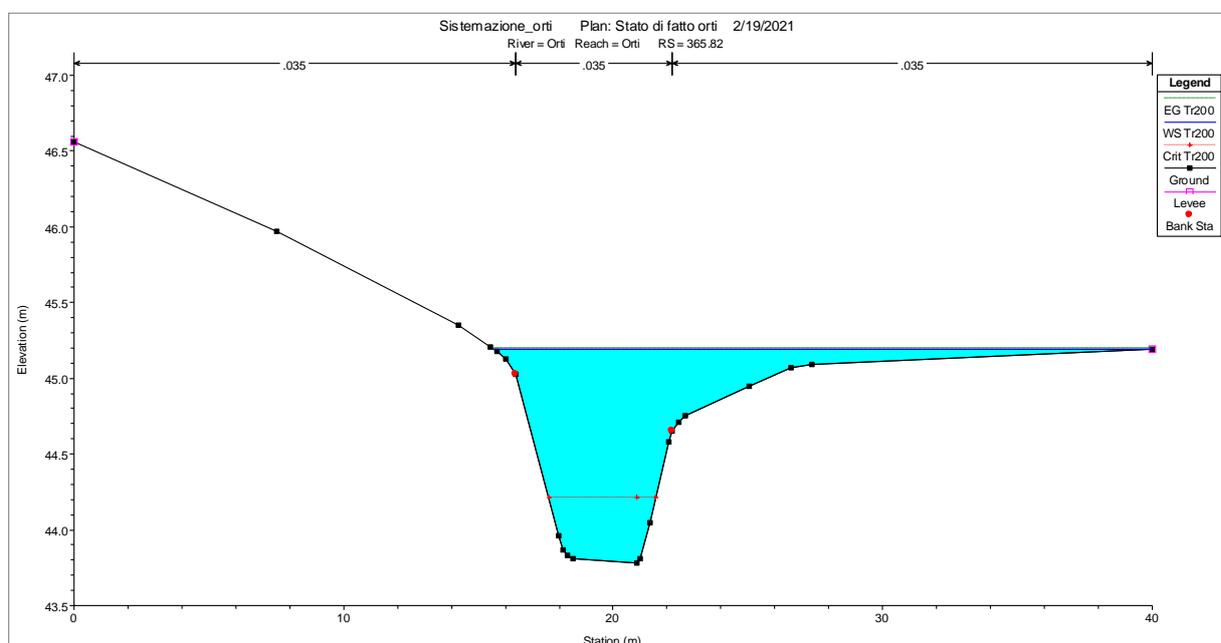


Figura 10-4 Sezione dello scolo orti ricavata da HEC-RAS

Si riportano di seguito i risultati della simulazione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 32 di 61</p>

Tabella 10-1 Risultati simulazione 1D ante operam

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Orti	762.88	Tr200	2.60	44.31	45.57	44.95	45.61	0.001866	0.92	2.81	2.99	0.30
Orti	754.01	Tr200	2.60	44.31	45.54	44.99	45.59	0.002567	1.05	2.48	2.69	0.35
Orti	752.03	Tr200	2.60	44.31	45.53	45.00	45.59	0.002831	1.09	2.39	2.62	0.36
Orti	750	Bridge										
Orti	749.7	Tr200	2.60	44.31	45.51	45.02	45.58	0.003471	1.17	2.23	2.50	0.39
Orti	744.62	Tr200	2.60	44.31	45.46	44.90	45.50	0.001705	0.89	2.92	3.38	0.31
Orti	727.02	Tr200	2.60	44.31	45.46	44.88	45.47	0.000586	0.57	6.39	21.18	0.20
Orti	715.82	Tr200	2.60	44.30	45.45	44.87	45.46	0.000466	0.48	7.42	22.03	0.17
Orti	696.85	Tr200	2.60	44.29	45.45	44.90	45.45	0.000449	0.47	7.66	21.89	0.17
Orti	665.82	Tr200	2.60	44.25	45.43	44.82	45.44	0.000348	0.44	8.33	22.45	0.15
Orti	615.82	Tr200	2.60	44.20	45.39	44.76	45.41	0.000703	0.60	4.85	22.87	0.22
Orti	565.82	Tr200	2.60	44.14	45.33	44.75	45.36	0.001341	0.79	3.31	4.26	0.29
Orti	525.87	Tr200	2.60	44.09	45.28	44.69	45.31	0.001254	0.76	3.42	4.47	0.28
Orti	465.82	Tr200	2.60	44.08	45.23	44.64	45.25	0.000756	0.63	4.78	13.33	0.23
Orti	415.82	Tr200	2.60	44.08	45.20	44.60	45.22	0.000524	0.54	6.10	15.20	0.19
Orti	365.82	Tr200	2.60	43.78	45.20	44.22	45.20	0.000170	0.37	8.63	24.43	0.11
Orti	332.71	Tr200	2.60	43.72	45.19	44.17	45.20	0.000123	0.31	9.51	19.66	0.10
Orti	265.82	Tr200	2.60	43.87	45.18	44.26	45.19	0.000116	0.29	10.58	20.83	0.09
Orti	234.74	Tr200	2.60	44.10	45.16	44.53	45.18	0.000591	0.55	4.76	6.60	0.20
Orti	126.68	Tr200	2.60	44.12	45.11	44.45	45.13	0.000409	0.47	5.57	7.02	0.17
Orti	94.8	Tr200	2.60	43.95	45.04	44.48	45.09	0.002937	1.04	2.49	2.57	0.34
Orti	93.8	Tr200	2.60	43.95	45.03	44.48	45.09	0.002801	1.06	2.46	2.57	0.33
Orti	91.23	Bridge										
Orti	86.89	Tr200	2.60	43.87	44.83	44.50	44.93	0.004404	1.37	1.90	2.36	0.48
Orti	82.87	Tr200	2.60	43.87	44.81	44.50	44.91	0.005782	1.41	1.85	2.36	0.51
Orti	0.13	Tr200	2.60	43.39	44.37	44.02	44.46	0.005002	1.33	1.95	2.37	0.47

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 33 di 61</p>

10.1.2.2 Simulazioni post operam

Il modello matematico è stato implementato partendo dalla configurazione ante operam e modificando le sezioni in modo tale da poter riprodurre la geometria del corpo idrico nelle condizioni di progetto.



Figura 10-5 Planimetria di modellazione dello scolo Orti, post operam

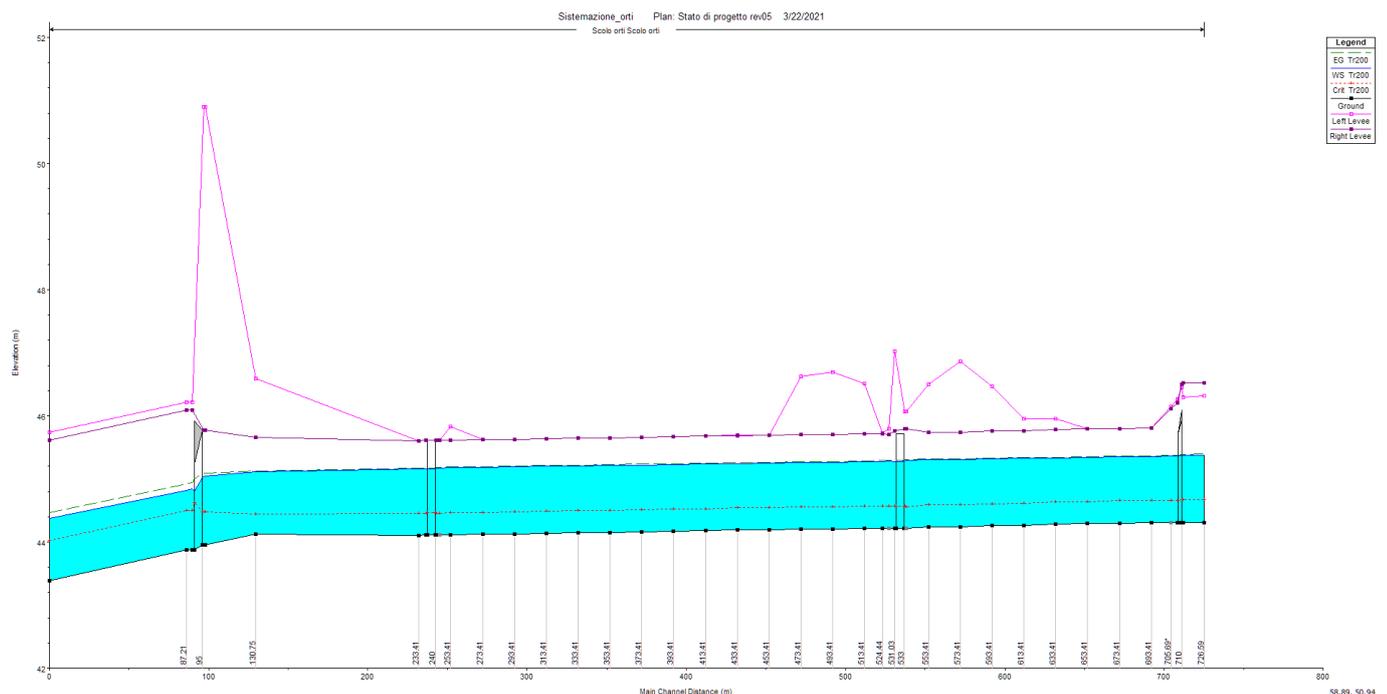


Figura 10-6 Profilo di modellazione dello scolo Orti, post operam

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 34 di 61

La portata di progetto utilizzata per le simulazioni idrauliche in condizioni post operam corrisponde con la portata massima utilizzata nell'ante operam ed è pari a 2,60 m³/s.

Le simulazioni sono state eseguite tenendo in considerazione un livello "basso" del Fiume Adige non influente sul regime dello scolo Orti. Tale scelta è legata al fatto che l'area afferente allo scolo Orti è una zona golenale del Fiume Adige e analizzando tale fiume per un tempo di ritorno pari a 300 anni lo scolo Orti risulterebbe completamente sommerso con un livello pari a 47,70 m s.m.m. (fonte: IN1710EI2RHID0000003B).

Il coefficiente di scabrezza è stato assegnato in modo tale da rappresentare le sezioni caratteristiche con cui viene realizzata la deviazione dello scolo. In particolare sono stati utilizzati i seguenti valori:

- Ks= 30 m^{1/3}/s, per il tratto di sezione rivestito in materassi Reno;
- Ks= 28 m^{1/3}/s, per le restanti parti di sezione.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, così come fatto per la configurazione ante operam, bisogna tenere in considerazione che la simulazione è monodimensionale; le sezioni di monte e di valle sono state poste, per quanto possibile, discretamente a valle e a monte della zona di interesse. Questo è necessario per garantire le condizioni di moto uniforme e per ottenere i risultati ottimali dalla simulazione stessa.

I risultati delle simulazioni sono riportati al completo in allegato al termine della presente relazione, di seguito verranno esaminate alcune sezioni caratteristiche che identificano la risoluzione in post operam.

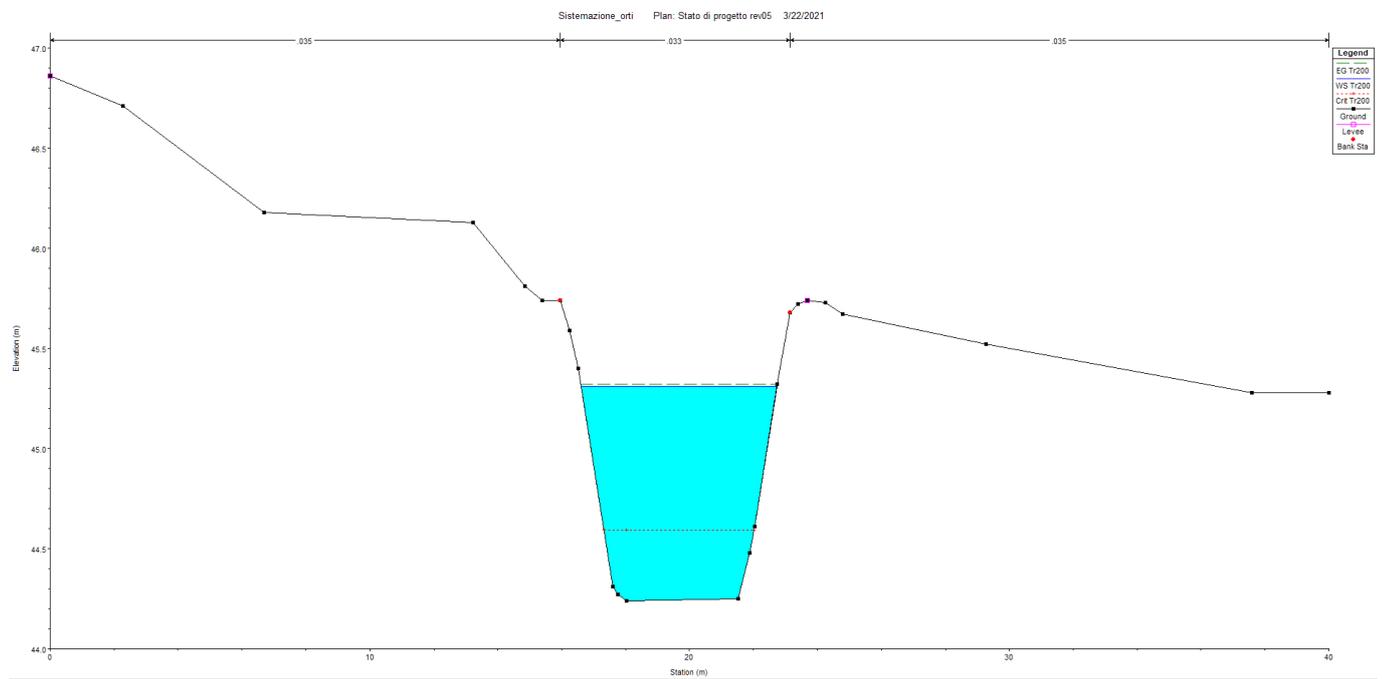


Figura 10-7 Sezione tipo post operam estratta da HEC-RAS

Dall'immagine precedente di nota come in fase post operam la sezione dello scolo Orti sia in grado di trattenere la portata max di progetto, con un franco idraulico mediamente superiore a 0,5 m rispetto ai cigli spondali.

Si riportano di seguito i risultati completi della simulazione.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 35 di 61

Tabella 10-2 Risultati di HEC-RAS da simulazione post operam

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Scolo orti	726.59	2.60	44.31	45.38	44.67	45.39	0.000374	0.49	5.33	6.27	0.17
Scolo orti	713.41	2.60	44.31	45.37	44.67	45.39	0.000441	0.49	5.27	6.21	0.17
Scolo orti	712.6	2.60	44.31	45.37	44.67	45.39	0.000386	0.49	5.26	6.20	0.17
Scolo orti	710	Bridge									
Scolo orti	709.69	2.60	44.31	45.36	44.66	45.37	0.000380	0.49	5.27	6.12	0.17
Scolo orti	693.41	2.60	44.31	45.36	44.66	45.37	0.000388	0.50	5.23	6.11	0.17
Scolo orti	673.41	2.60	44.30	45.35	44.65	45.36	0.000387	0.50	5.23	6.10	0.17
Scolo orti	653.41	2.60	44.29	45.34	44.64	45.35	0.000382	0.49	5.26	6.11	0.17
Scolo orti	633.41	2.60	44.28	45.33	44.63	45.34	0.000382	0.49	5.26	6.11	0.17
Scolo orti	613.41	2.60	44.26	45.32	44.61	45.34	0.000369	0.49	5.33	6.14	0.17
Scolo orti	593.41	2.60	44.26	45.32	44.61	45.33	0.000371	0.49	5.32	6.13	0.17
Scolo orti	573.41	2.60	44.24	45.31	44.59	45.32	0.000363	0.49	5.36	6.13	0.17
Scolo orti	553.41	2.60	44.24	45.30	44.59	45.31	0.000366	0.49	5.34	6.14	0.17
Scolo orti	536.06	2.60	44.22	45.29	44.57	45.31	0.000369	0.61	4.27	6.14	0.19
Scolo orti	533	Culvert									
Scolo orti	531.03	2.60	44.22	45.28	44.57	45.30	0.000381	0.61	4.23	6.11	0.19
Scolo orti	524.44	2.60	44.22	45.28	44.56	45.29	0.000425	0.52	5.00	5.46	0.17
Scolo orti	513.41	2.60	44.22	45.27	44.57	45.29	0.000377	0.49	5.29	6.13	0.17
Scolo orti	493.41	2.60	44.21	45.27	44.56	45.28	0.000373	0.49	5.31	6.12	0.17
Scolo orti	473.41	2.60	44.20	45.26	44.55	45.27	0.000373	0.49	5.30	6.13	0.17
Scolo orti	453.41	2.60	44.19	45.25	44.54	45.26	0.000372	0.49	5.32	6.13	0.17
Scolo orti	433.41	2.60	44.19	45.24	44.54	45.26	0.000375	0.49	5.29	6.13	0.17
Scolo orti	413.41	2.60	44.18	45.24	44.53	45.25	0.000373	0.49	5.31	6.13	0.17
Scolo orti	393.41	2.60	44.17	45.23	44.52	45.24	0.000371	0.49	5.31	6.12	0.17
Scolo orti	373.41	2.60	44.16	45.22	44.51	45.23	0.000372	0.49	5.32	6.11	0.17
Scolo orti	353.41	2.60	44.15	45.21	44.50	45.23	0.000367	0.49	5.33	6.11	0.17
Scolo orti	333.41	2.60	44.15	45.21	44.49	45.22	0.000372	0.49	5.32	6.12	0.17
Scolo orti	313.41	2.60	44.14	45.20	44.49	45.21	0.000369	0.49	5.32	6.13	0.17
Scolo orti	293.41	2.60	44.13	45.19	44.48	45.20	0.000368	0.49	5.33	6.12	0.17
Scolo orti	273.41	2.60	44.12	45.18	44.47	45.20	0.000370	0.49	5.33	6.11	0.17
Scolo orti	253.41	2.60	44.11	45.18	44.46	45.19	0.000367	0.49	5.33	6.12	0.17
Scolo orti	244.32	2.60	44.11	45.17	44.46	45.18	0.000370	0.60	4.30	5.43	0.19
Scolo orti	240	Culvert									
Scolo orti	237.71	2.60	44.11	45.15	44.46	45.17	0.000393	0.62	4.21	5.42	0.19
Scolo orti	233.41	2.60	44.10	45.16	44.45	45.17	0.000380	0.49	5.28	6.10	0.17
Scolo orti	130.75	2.60	44.12	45.12	44.45	45.13	0.000406	0.47	5.59	7.03	0.17
Scolo orti	99.07	2.60	43.95	45.04	44.48	45.10	0.002735	1.05	2.50	2.58	0.33
Scolo orti	98.08	2.60	43.95	45.04	44.48	45.09	0.002774	1.05	2.47	2.57	0.33
Scolo orti	95	Bridge									
Scolo orti	91.24	2.60	43.87	44.84	44.50	44.94	0.004231	1.35	1.92	2.37	0.47
Scolo orti	87.21	2.60	43.87	44.82	44.50	44.92	0.005557	1.39	1.88	2.36	0.50
Scolo orti	1.36	2.60	43.39	44.37	44.02	44.46	0.005002	1.33	1.95	2.37	0.47

10.2 Aree di esondazione ante operam e post operam

Lo studio legato alle aree di esondazione ante operam e post operam prevede un'analisi dettagliata a larga scala degli allagamenti causati sia dall'idrografia principale sia dall'idrografia secondaria con tempi di ritorno pari a 100 anni e 300 anni in modo da ottenere risultati più realistici.

Per tale motivo si è scelto di andare a rappresentare gli effetti di esondazione legati all'idrografia principale la quale tiene conto anche dell'idrografia secondaria come nel caso in esame dello scolo Orti.

Le simulazioni prendono in esame le portate della rete idrografica messe a disposizione dall'Autorità di Bacino dell'Adige e sono riferite agli eventi $Tr=100$ anni e $Tr=300$ anni. Il tempo di pioggia è pari a 24 ore e l'andamento della precipitazione nel tempo è lineare crescente.

Le condizioni al contorno per le simulazioni della propagazione della piena sono completate dai dati sull'andamento del livello nei nodi terminali della rete. In questo caso, si sono assegnati:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH RI0504 001</p>	<p>Rev. B</p>	<p>Foglio 36 di 61</p>

- in corrispondenza della sezione di confluenza del canale SAVA con l'Adige, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 20 m s.m., fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino dell'Adige, o dedotti per interpolazione, pari a 24.66 m s.m., per l'evento centenario, ed a 24.93 m s.m. per l'evento tricentenario;
- in corrispondenza della sezione di confluenza dell'Alpone con l'Adige ad Albaredo d'Adige, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 17 m s.m., fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino dell'Adige, o dedotti per interpolazione, pari a 21.19 m s.m., per l'evento centenario, ed a 21.57 m s.m. per l'evento tricentenario;
- in corrispondenza della sezione terminale del rio Acquetta, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 22.5 m s.m., fino ad un valore di piena stimato pari a 24.0 m s.m.;
- in corrispondenza delle sezioni terminali di alcuni scoli minori nel bacino del Togna, in sinistra Alpone, valori di livello costanti, corrispondenti a stati idrometrici di piena a franco idraulico ridotto e/o di incipiente esondazione.

Alcune simulazioni preliminari hanno peraltro consentito di valutare l'effetto di eventuali variazioni di livello imposte nelle sezioni a valle del reticolo di calcolo sulla propagazione della piena e quindi sui risultati ottenuti con il modello nelle diverse sezioni dei sistemi idrografici indagati. Si tratta di effetti contenuti che si esauriscono sostanzialmente, per le massime portate, nei tratti terminali dei corsi d'acqua considerati.

Per l'area in esame sono stati ricavati i seguenti risultati:

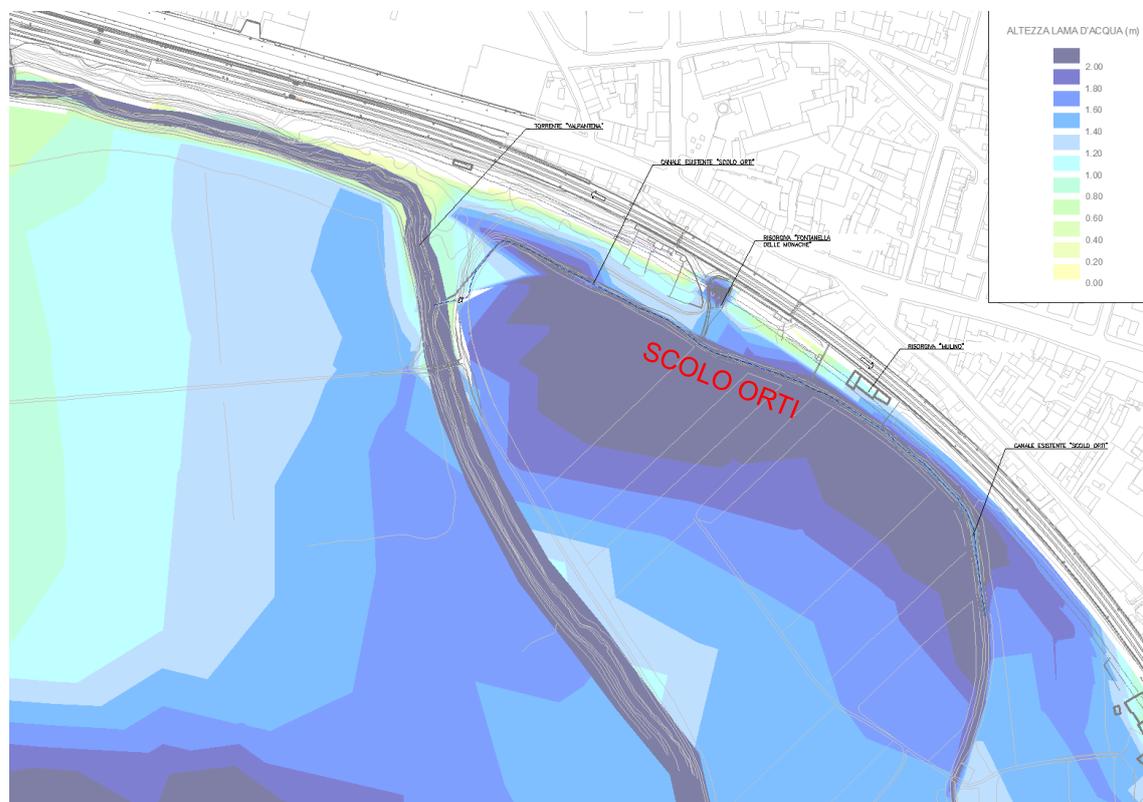


Figura 10-8 Aree di esondazione ante operam

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 37 di 61

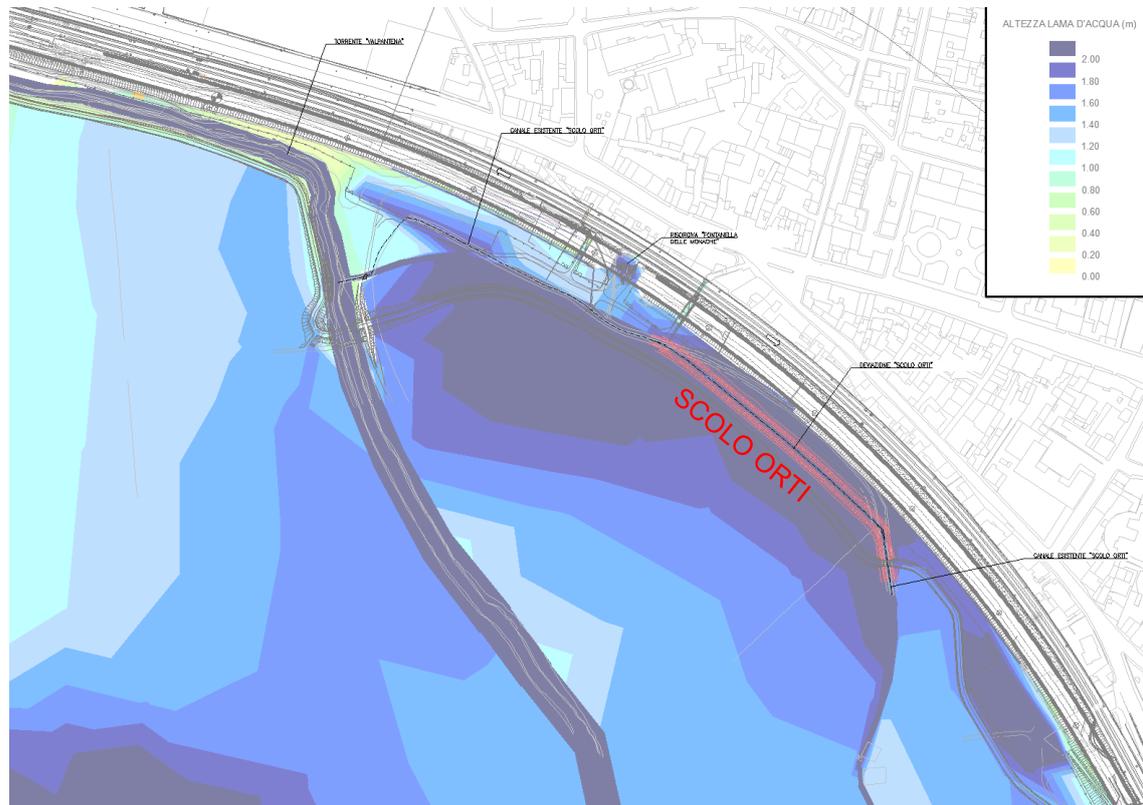


Figura 10-9 Aree di esondazione post operam

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione specifica IN1710EI2RHID000003B RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE. N MODELLI NIDIFICATI INTERNAMENTE (SOTTOPASSI E STAZIONI ELETTRICHE)

10.3 Verifica del rivestimento di fondo e di sponda

L'intervento proposto in fase di progettazione prevede un'opera di difesa di fondo e di sponda per tutto il tratto interessato dalla deviazione, per una protezione contro i fenomeni di scavo che si possono verificare in corrispondenza di eventi di piena. Tale intervento è composto da una sistemazione con materassi "Reno" come rivestimento del fondo alveo e delle sponde.

Il rivestimento realizzato con materassi di tipo "RENO" svolgerà una funzione di rivestimento antiersivo nei confronti dell'azione delle correnti a protezione dello scalzamento al piede delle opere e delle sponde. Il rivestimento verrà bloccato tramite sistema Terra-Lock costituito da una ancorotta infissa ad una certa profondità e una piastra di bloccaggio posta in superficie il tutto collegato e posto in tensione da un cavo d'acciaio. Il materasso verrà ricoperto da una geostuoia ad alto indice di vuoti in monofilamenti di poliolefine fissati termicamente nei punti di contatto avente profilo e spessore variabile rinforzata mediante un elemento di rete metallica a doppia torsione.

In letteratura sono disponibili varie formule per la stima della stabilità dei materiali di assegnata granulometria sottoposti all'azione di trascinarsi della corrente. Questi metodi si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 38 di 61

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilita del fondo risulta quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

La tensione tangenziale sul fondo dell'alveo é data dalla formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

che, per alvei con base molto maggiore del tirante idrico ed in condizioni di moto permanente può scriversi:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot J$$

dove:

γ [kg/m³] è il peso specifico dell'acqua;

R_H [m] è il raggio idraulico della sezione;

h [m] è il tirante idrico;

i [m/m] è la pendenza del fondo;

J [m/m] è la cadente.

Nella figura, sotto riportata, sono illustrati l'andamento degli sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde, nel caso di una particolare sezione trapezia.

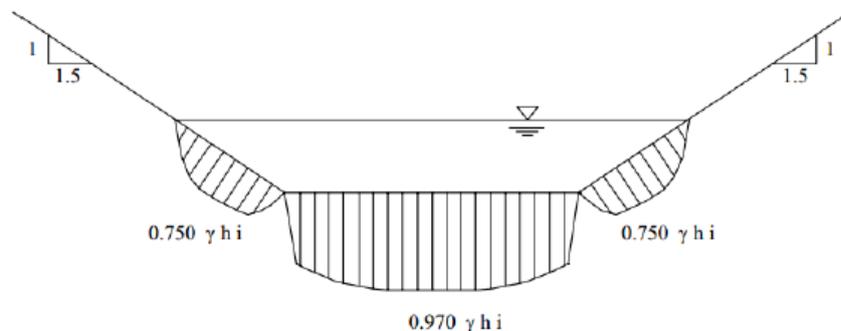


Figura 10-10 Andamento tensioni tangenziali

La tensione tangenziale massima esercitata dalla corrente è espressa dalla relazione:

$$\tau_0 = \zeta \cdot \gamma_w \cdot R_H \cdot i$$

con ζ coefficiente che tiene conto della distribuzione delle tensioni tangenziali; è assunto pari a 1 per il fondo alveo e 0.75 in corrispondenza delle sponde; dove:

γ_w [kg/m³] è il peso specifico dell'acqua;

R_H [m] è il raggio idraulico della sezione;

i [m/m] è la pendenza del fondo;

I valori della τ_0 devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde.

Il valore critico τ_{cr} che mobilita un masso di diametro d con peso specifico γ_s in assenza di coesione ed in regime turbolento ha la seguente espressione, riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields,

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 39 di 61

1936) attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma_w)d} = \theta(Re^*)$$

dove:

τ_{cr} = tensione tangenziale critica [kg/m²]

γ_s = peso specifico materiale d'alveo [kg/m³]

γ_w = peso specifico dell'acqua [kg/m³]

d = diametro del granulo [m]

θ = parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds di grano (Re^*) relativo alla velocità di attrito u^* :

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_{cr}}{\rho}}$$

La suddetta condizione di equilibrio è stata tradotta in termini empirici da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo.

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\theta = 0,047$ nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;

$\theta = 0,058 \div 0,060$ nella espressione originale di Shields per $Re^* > 400$;

$\theta = 0,116$ nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle (utilizzabile per i materassi Reno).

Per le verifiche di stabilità delle sponde, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza della sponda (α) rispetto all'orizzontale.

Per tali verifiche viene normalmente utilizzata la seguente espressione (Lane 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[\cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} \right]$$

dove τ_{cr} è la tensione critica sul fondo, α la pendenza delle sponde e φ l'angolo di attrito interno del materiale.

La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti la scogliera, si è fatto riferimento all'espressione di Shields nella formulazione di Armanini. Per tenere conto dell'inclinazione del paramento si è utilizzata l'espressione di Lane (1953) su riportata.

I risultati delle verifiche sono riportati di seguito e fanno riferimento alla sezione 531,03 del modello HEC RAS post operam:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 40 di 61

Verifica protezione al fondo		
γ_s	25000	N/m ³
γ_w	9810	N/m ³
R_H	0,65	m
i	0,0003	m/m
V	0,6	m/s
θ	0,116	-
d	0,1	m
τ_0	1,91	N/m ²
τ_{cr}	176,20	N/m ²

Essendo che τ_{cr} risulta maggiore a τ_0 la verifica risulta soddisfatta e il materiale con diametro maggiore o pari a 0,1 m è appropriato per il fondo.

Verifica protezione di sponda		
γ_s	25000	N/m ³
γ_w	9810	N/m ³
R_H	0,65	m
i	0,0003	m/m
V	0,6	m/s
θ	0,116	-
α	45	grad
φ	47	grad
d	0,1	m
τ_0	1,43	N/m ²
τ_{cr}	45,00	N/m ²

Essendo che τ_{cr} risulta maggiore a τ_0 la verifica risulta soddisfatta e il materiale con maggiore o diametro pari a 0,1 m è appropriato per la sponda.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 41 di 61

10.4 Verifica tubazione di drenaggio

Le acque di risorgiva, pari a $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$, in fase di realizzazione dell'opera dovranno essere deviate e convogliate tramite una condotta di drenaggio. La condotta realizzata in materiale plastico (PVC SN8) avrà un diametro nominale pari a DN500, una pendenza pari $0,1\%$ e una lunghezza massima pari a 40 m .

Implementando i seguenti dati e ipotizzando un grado di riempimento pari al 75% otteniamo:

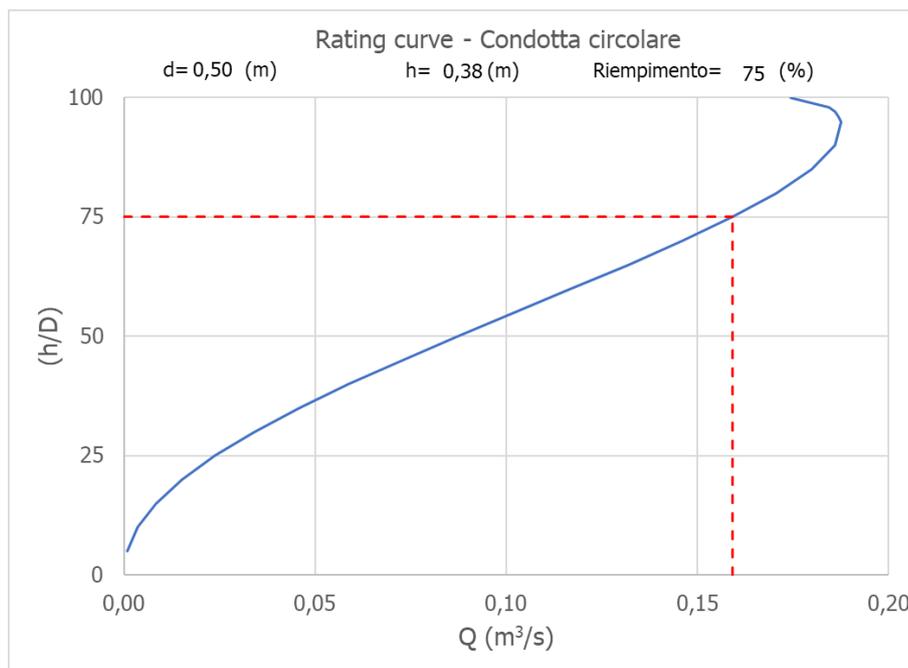


Figura 10-11 Rating curve della tubazione di drenaggio

La portata di smaltimento è pari a $0,159 \text{ m}^3/\text{s}$ superiore a $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ e quindi risulta verificata.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 11	Codifica Documento EI2 RH RI0504 001	Rev. B	Foglio 42 di 61

11 CONCLUSIONI

L'analisi idraulica sviluppata ha seguito i vari punti esposti nelle premesse:

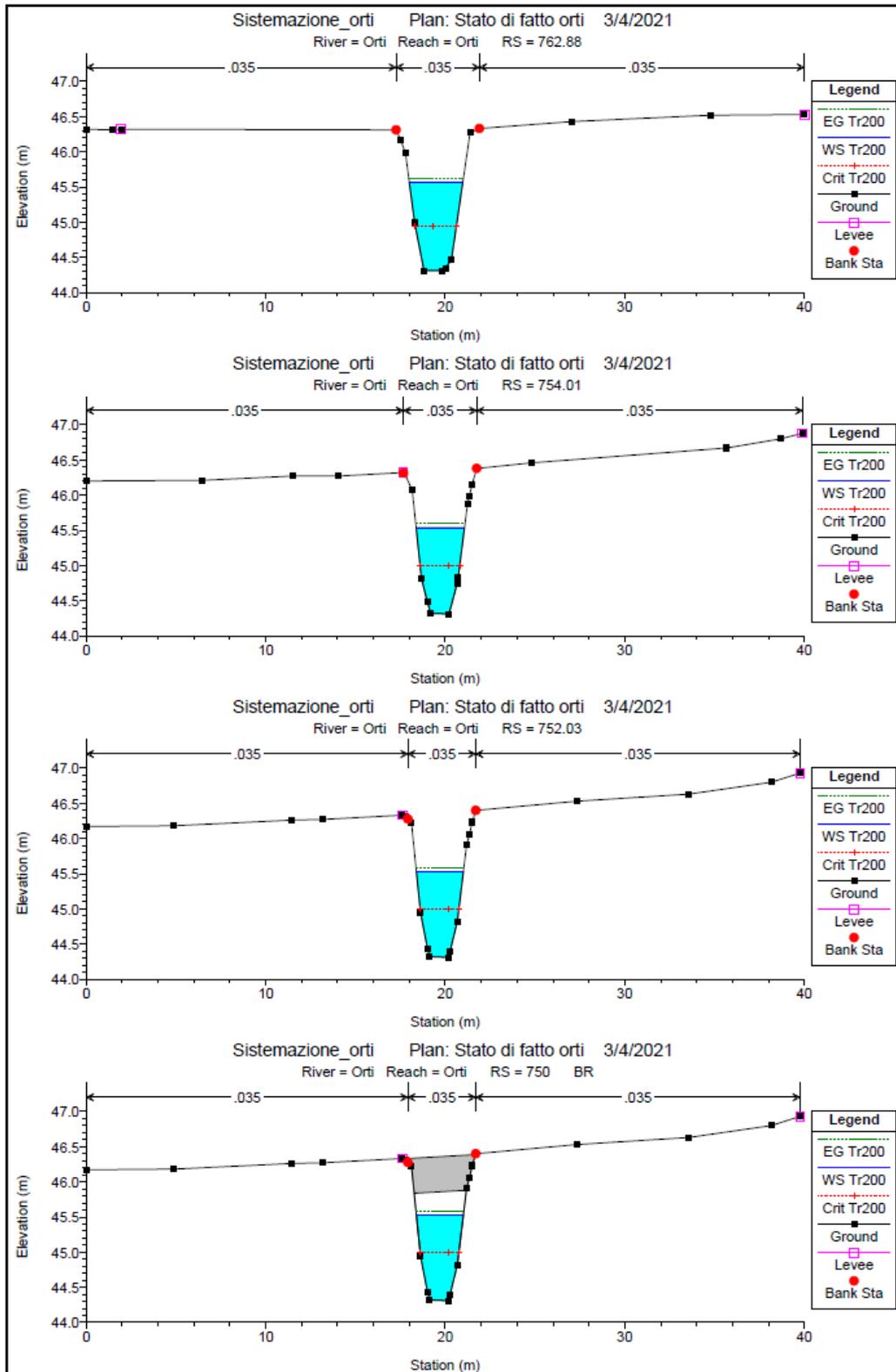
- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e del bacino di interesse;
- Reperimento di informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluviometeorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometriche rappresentative;
- Analisi geomorfologica del bacino del corso d'acqua, oggetto della presente relazione, attraverso anche l'acquisizione di nuovi dati topografici;
- Analisi idrologica e definizione della portata di progetto;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali;
- Analisi idraulica tramite modellazione 1D per lo stato ante operam, post operam e di cantierizzazione.

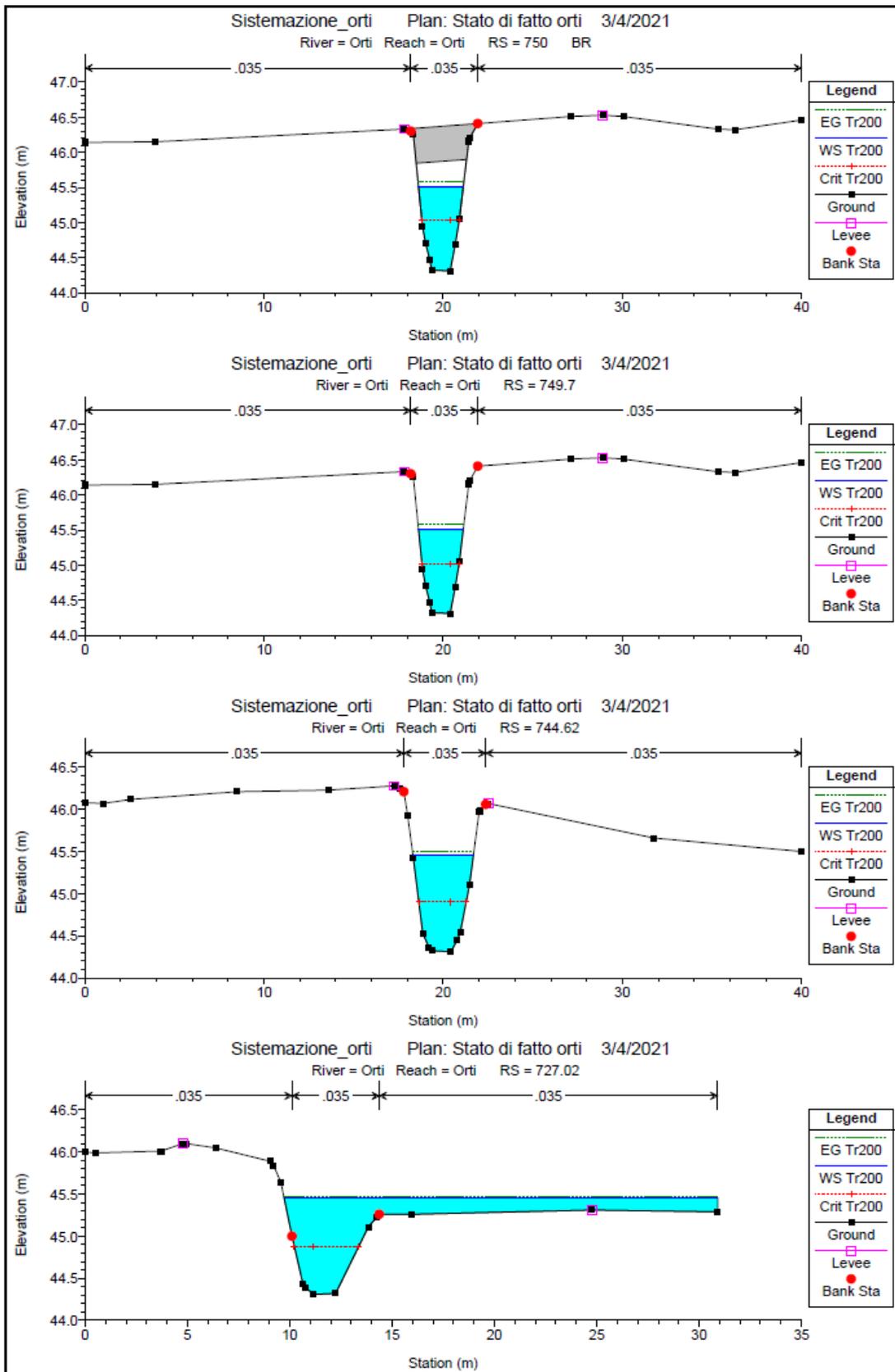
La soluzione proposta permette di evitare l'interferenza con il rilevato della linea AV/AC e risolve i problemi di allagamento legati alla non regolarità del fondo. La porta max utilizzata è quella relativa al bacino imbrifero proprio dello scolo Orti e non tiene in considerazione eventuali eventi alluvionali con lo stesso tempo di ritorno (Tr=200anni) di bacini maggiori che possono interessare l'area in esame.

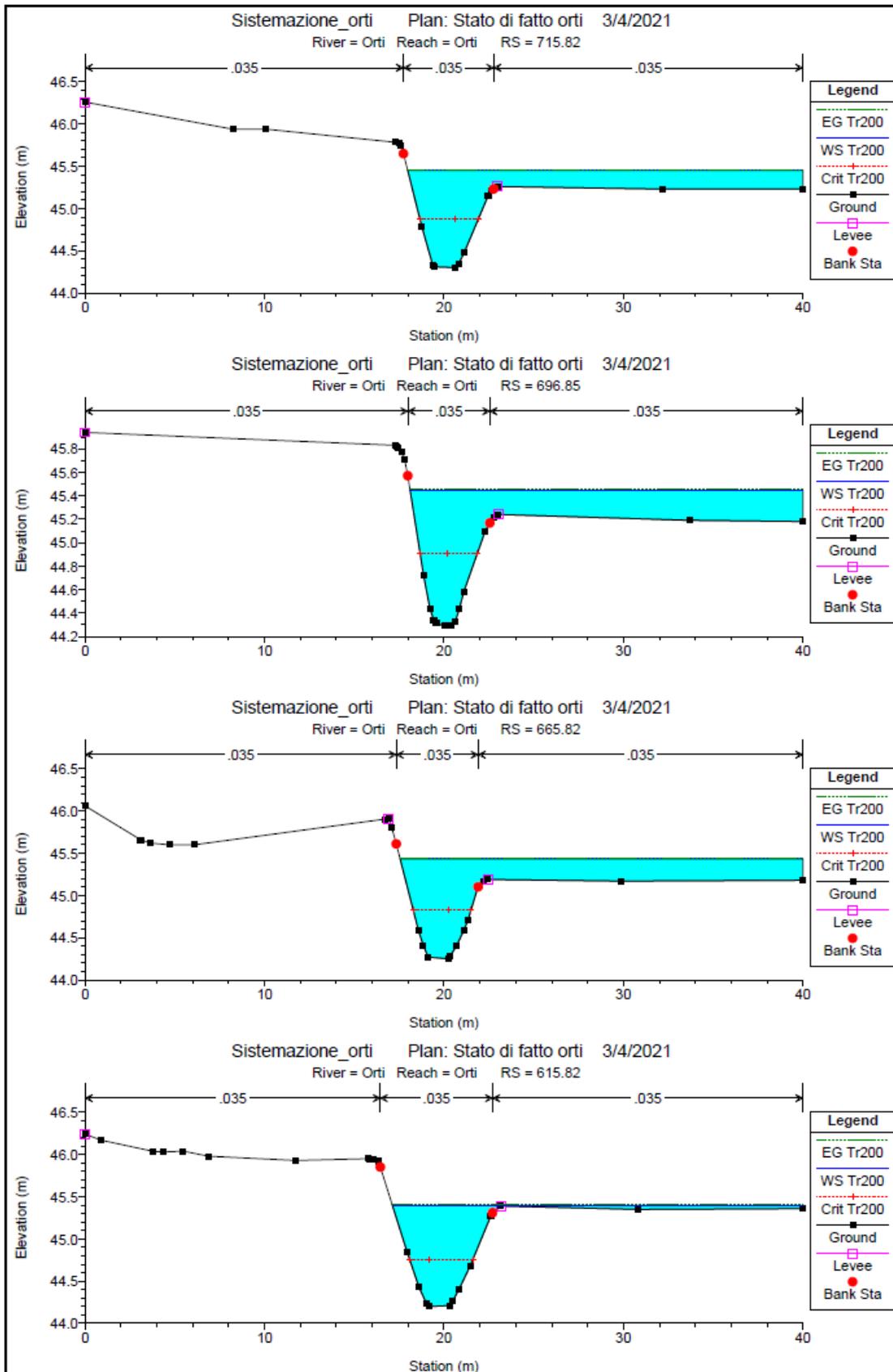
ALLEGATI

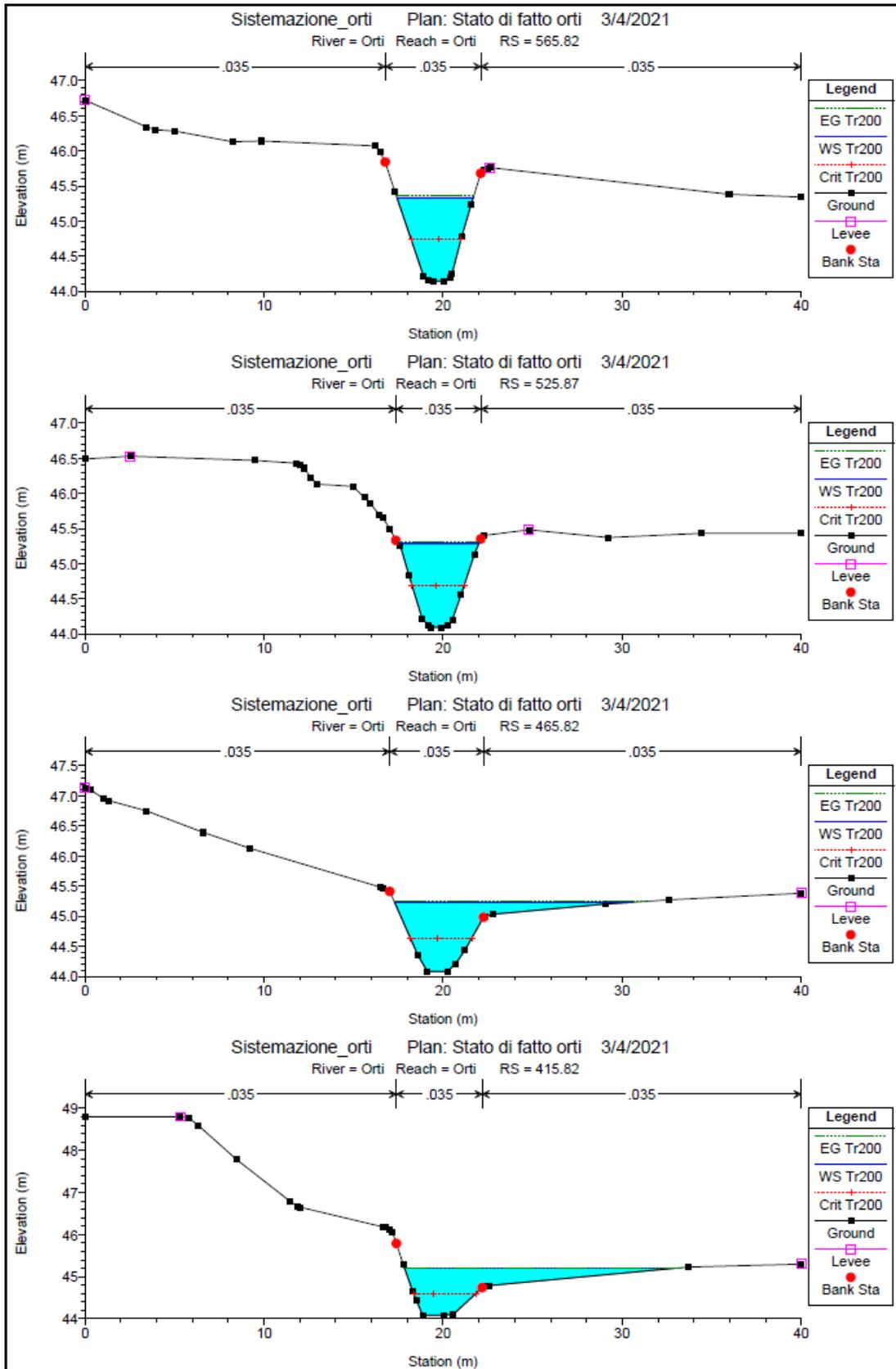
Risultati simulazioni

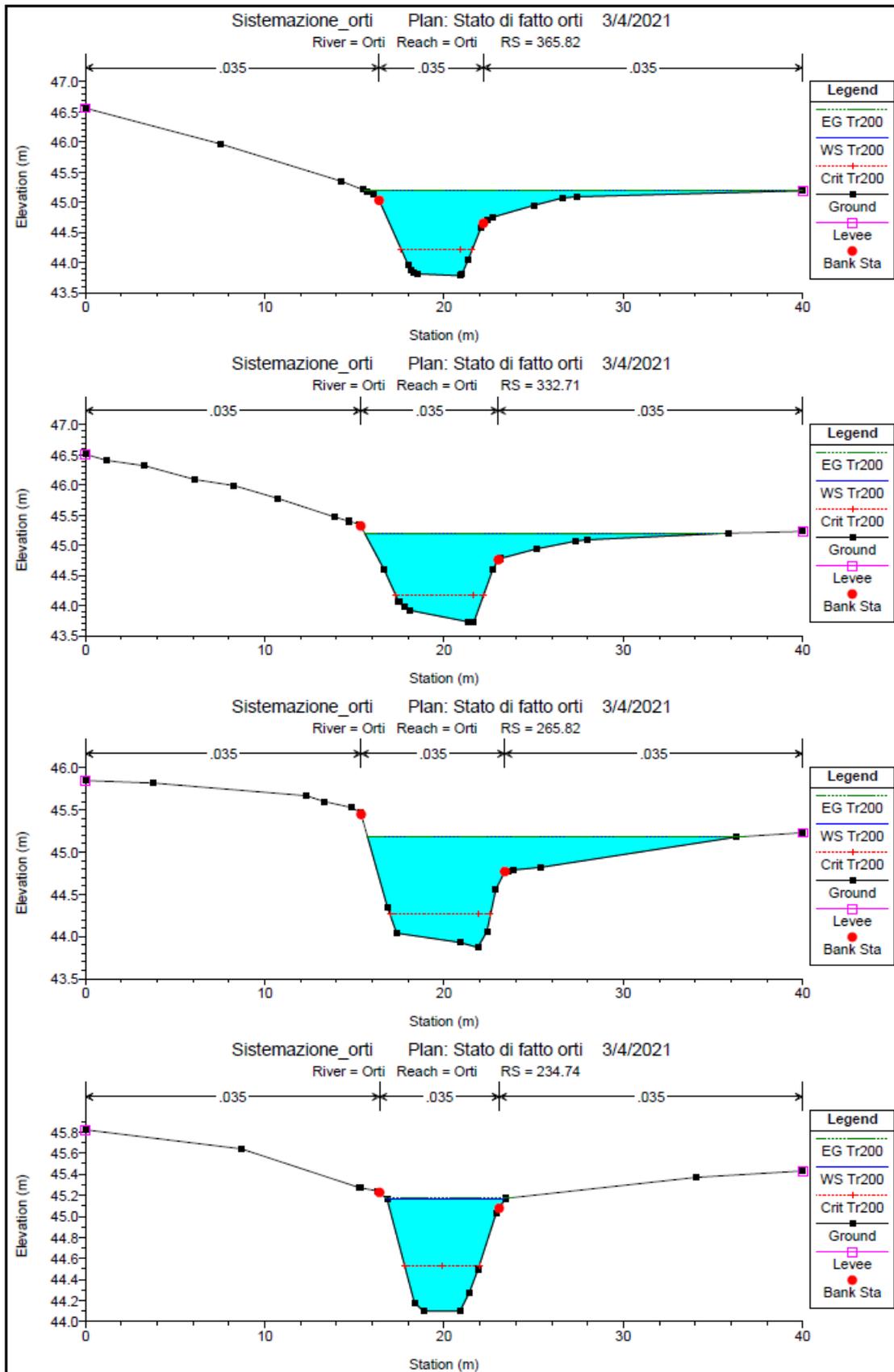
Risultati ante operam

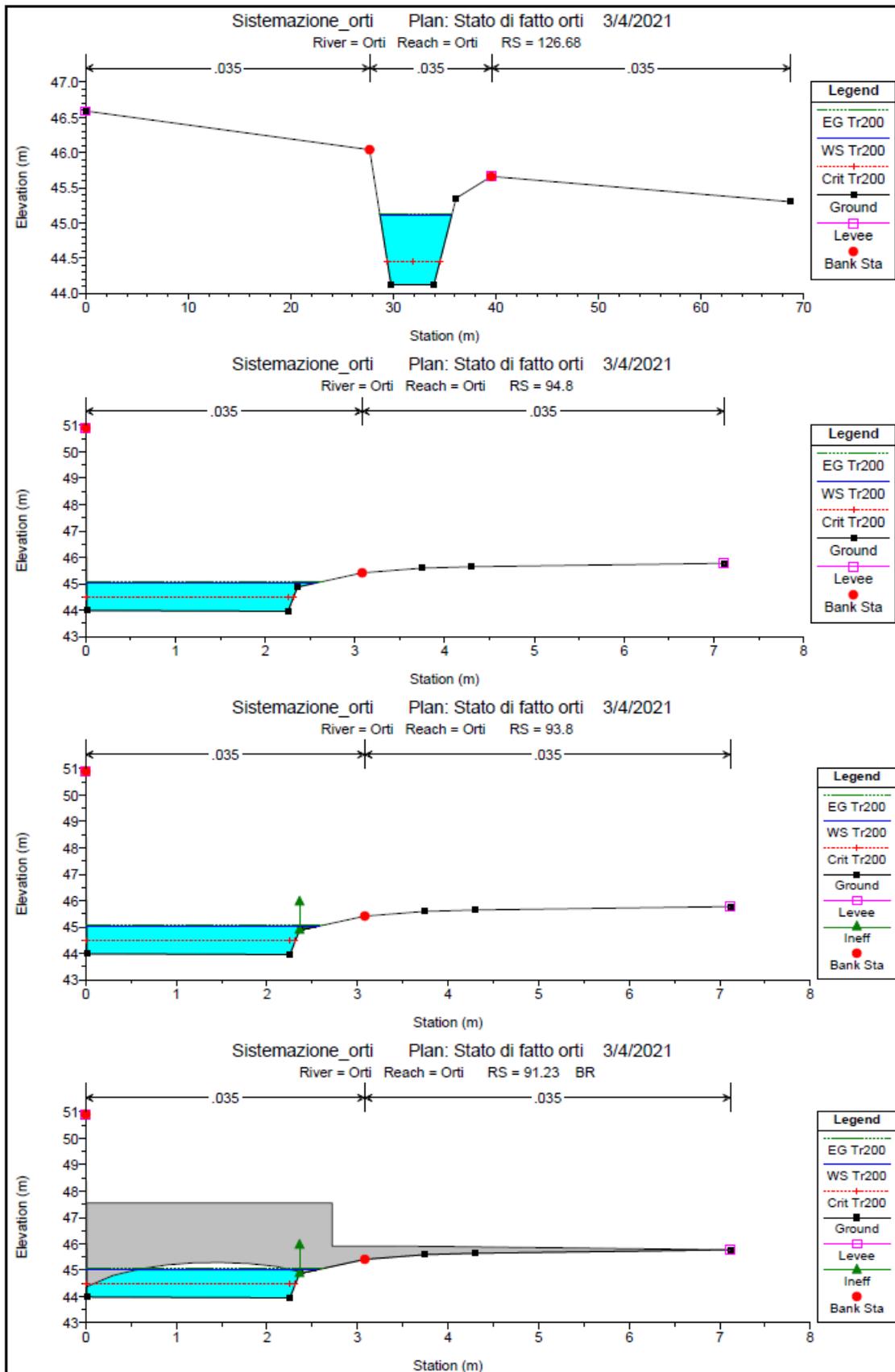


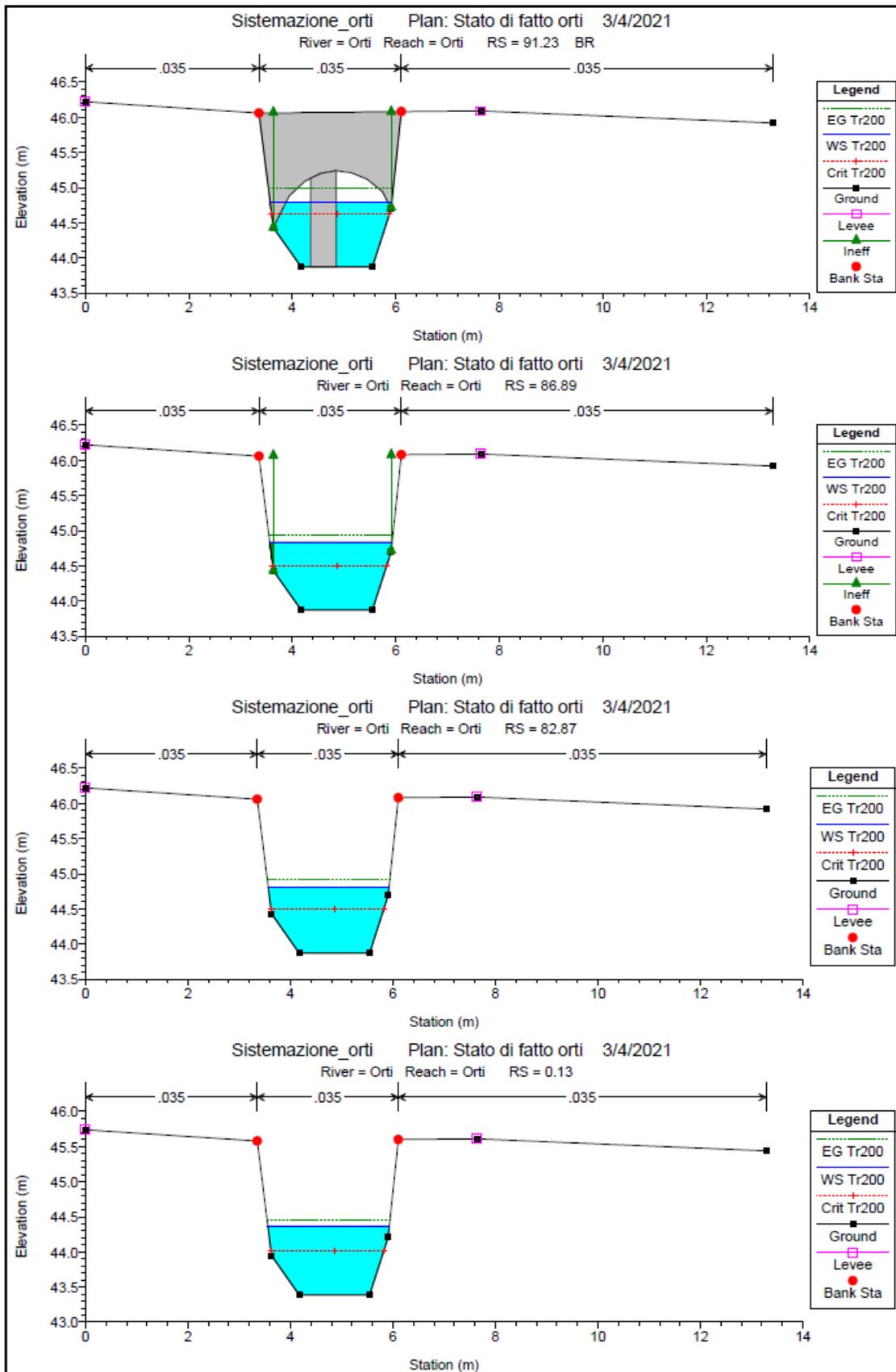












Risultati post operam

