

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**

**VIADOTTI**

**VIADOTTO ALPONE I DA PK 20+727,51 A PK 21+496,51 - L=769,00 M**


**INTERFERENZE E SISTEMAZIONI IDRAULICHE**

**RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**






GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due			-
 Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli Ingegneri di Venezia n. 4289 N. 4289 Data: Ottobre 2021	ing. Paolo Carmona Data: Ottobre 2021			

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	H	V	I	0	5	C	8	0	0	2	A								
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
Firma	Data
 Luca RANDOLFI	Ottobre 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	PRIMA EMISSIONE	D. Ballin	Ottobre 2021	M. Faccioli	Ottobre 2021	S. Flora	Ottobre 2021	    Data: Ottobre 2021
								

CIG. 8377957CD1

CUP: J41E9100000009

File: IN1712EI2RHVI05C8002A.DOCX

Cod. origine: IN1712EI2RHVI05C8002A



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 2 di 60

## 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 San Bonifacio, in sinistra e destra del torrente Alpone.....	13
5	CRITERI DI VERIFICA .....	14
6	ANALISI IDROLOGICA .....	17
6.1	Il bacino idrografico .....	17
7	STATO ATTUALE .....	21
8	STATO DI PROGETTO .....	24
9	STATO DI CANTIERIZZAZIONE .....	26
10	ANALISI IDRAULICA.....	27
10.1	Il Modello HEC-RAS.....	27
10.1.1	Calcolo del profilo 1D a moto permanente.....	27
10.1.2	Scelta dei parametri e simulazioni .....	30
10.1.2.1	Simulazioni ante operam.....	30
10.1.2.2	Simulazioni post operam.....	34
10.1.2.3	Simulazioni stato di cantierizzazione .....	37
10.2	Aree di esondazione ante operam e post operam .....	40
11	CONCLUSIONI.....	43
	ALLEGATI.....	44
	Risultati simulazioni.....	44
	Risultati ante operam.....	44
	Risultati post operam.....	49
	Risultati cantierizzazione .....	55

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 3 di 60

## 1 PREMESSA

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei parametri idrologici e idraulici relativi allo scolo Palù. 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).

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 4 di 60

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO DOCUMENTO	CODICE DOCUMENTO
RELAZIONE IDROLOGICA	IN1710EI2RHID0000001
CARTA IDROGRAFICA DI INQUADRAMENTO E BACINI PRINCIPALI	IN1710EI2C2ID0000001
CARTA DEI BACINI IDROGRAFICI	IN1710EI2C5ID0000001 IN1710EI2C5ID0000003 IN1710EI2C5ID0000004 IN1710EI2C5ID0000005 IN1710EI2C5ID0000006 IN1710EI2C5ID0000007 IN1710EI2C5ID0000008 IN1710EI2C5ID0000009 IN1710EI2C5ID0000010 IN1710EI2C5ID0000011
RELAZIONE IDRAULICA	IN1710EI2RIID0000001
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE. N MODELLI NIDIFICATI INTERNAMENTE (SOTTOPASSI E STAZIONI ELETTRICHE)	IN1710EI2RHID0000003
RELAZIONE IDROLOGICO E IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI SECONDARI	IN1710EI2RHID0000002
SEZIONI TIPOLOGICHE DEVIAZIONI IDRAULICHE	IN1710EI2WZID0000001
PIANTA E SEZIONI TIPOLOGICHE SISTEMAZIONI E PROTEZIONI DI SPONDA E FONDALI	IN1710EI2PZID0000001
RELAZIONE DI CONFRONTO PD/PE	IN1712EI2ROVI05C8002A
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	IN1712EI2RHVI05C8002A
ANTE OPERAM - SCOLO PALU' - PLANIMETRIA, AREE DI ESONDAZIONE TAV. 1/3	IN1712EI2PZVI05C8003A
ANTE OPERAM - SCOLO PALU' - PROFILO TAV 2/3	IN1712EI2FZVI05C8003A
ANTE OPERAM - SCOLO PALU' - SEZIONI TAV 3/3	IN1712EI2WAVI05C8003A
POST OPERAM - SCOLO PALU' - PLANIMETRIA, AREE DI ESONDAZIONE TAV. 1/3	IN1712EI2PZVI05C8004A
POST OPERAM - SCOLO PALU' - PROFILO TAV 2/3	IN1712EI2FZVI05C8004A
POST OPERAM - SCOLO PALU' - SEZIONI TAV 3/3	IN1712EI2WAVI05C8004A
PLANIMETRIA DELLE FASI REALIZZATIVE - SCOLO PALU'	IN1712EI2P8VI05C8002A
PARTICOLARI COSTRUTTIVI E PROTEZIONI DI SPONDA - SCOLO PALU'	IN1712EI2DZVI05C8002A

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 5 di 60

### 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

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 6 di 60

#### 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'opera progettuale appartiene alla Linea A.V./A.C: Torino – Venezia tratta Verona – Padova. Il progetto prevede la realizzazione della linea A.V./A.C. con riferimento al 1° Lotto Funzionale Verona-Bivio Vicenza compreso tra le progressive pk. 0+000 e pk. 44+250.

La figura seguente riporta l'indicazione dell'area d'intervento relativa alla sistemazione dello scolo Palù.

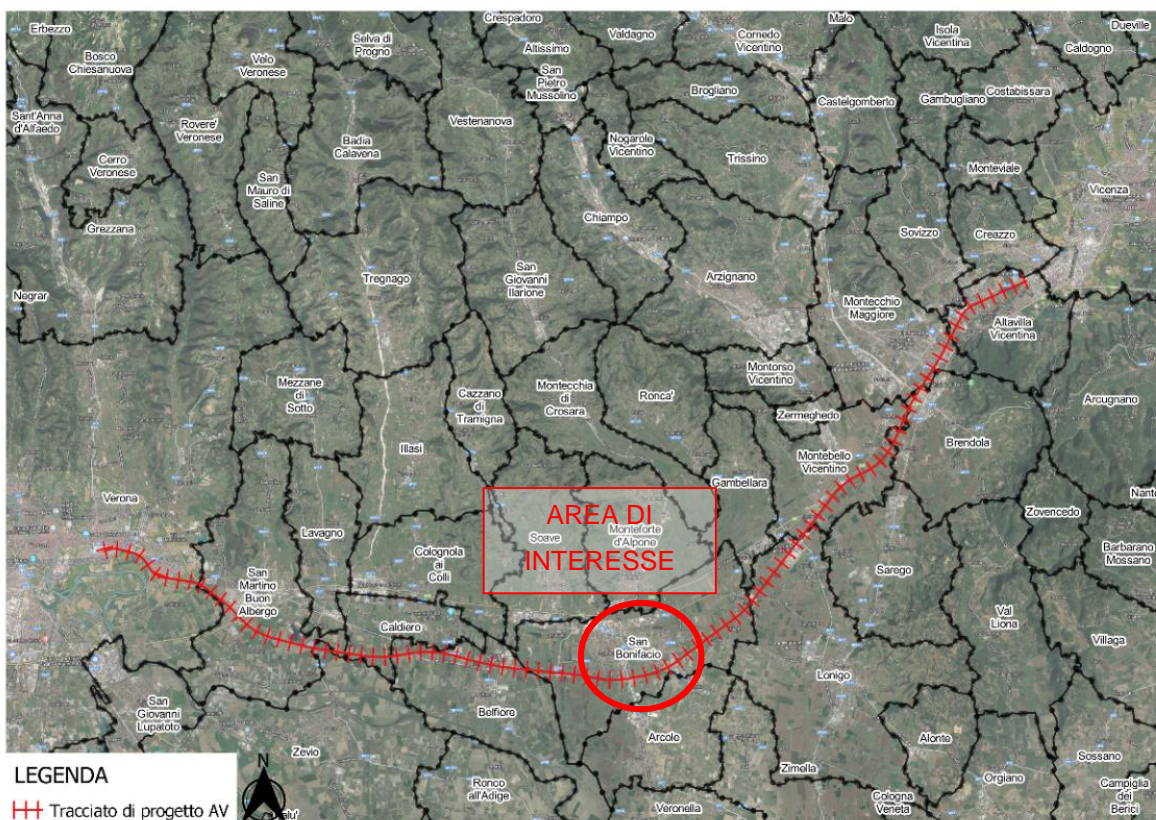


Figura 4-1 Inquadramento dell'intervento

La realizzazione del nuovo tracciato ferroviario AV/AC interferisce con lo scolo Palù alla pk 21+088 nel comune di San Bonifacio.

Con riferimento agli attraversamenti secondari si riporta di seguito la competenza della rete idrografica interessata.

Progressiva	WBS di progetto	Corso d'acqua	Autorità competente	Tipologia
21+088	VI05C	Scolo Palù	Consorzio APV	Scolo

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 7 di 60

#### 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.

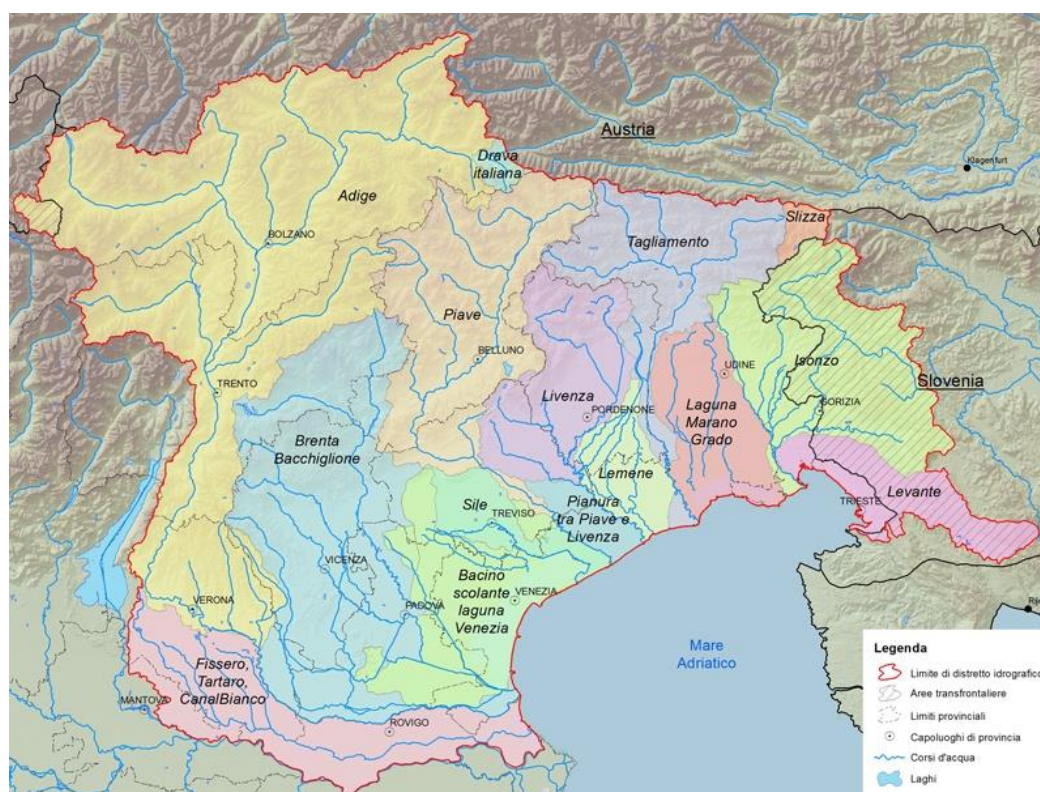


Figura 4-2 Bacini idrografici del distretto idrografico Alpi Orientali  
 fonte: Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali

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 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 8 di 60</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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>), poi lungo la Valle dell'Adige sino a Trento (circa 9.810 km<sup>2</sup> di area drenata) e da Trento a Verona la valle assume la denominazione di Lagarina (11.100 km<sup>2</sup> circa). Successivamente e fino ad Albaredo, dove chiude il suo bacino



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 9 di 60

*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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup> di S. Giustina e 118 milioni di m<sup>3</sup> del lago di Resia, ai valori minimi di 100.000 m<sup>3</sup> per l'invaso presente in Val d'Ega e di 90.000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>."*

#### **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.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 10 di 60

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
<b>P4</b>	Molto elevata	Evento di piena con $T_r = 30$ anni $h_{30} > 1$ m oppure $v_{30} > 1$ m/s
<b>P3</b>	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
<b>P2</b>	Media	Evento di piena con $T_r = 100$ anni $H_{100} > 0$ m
<b>P1</b>	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 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 11 di 60</p>

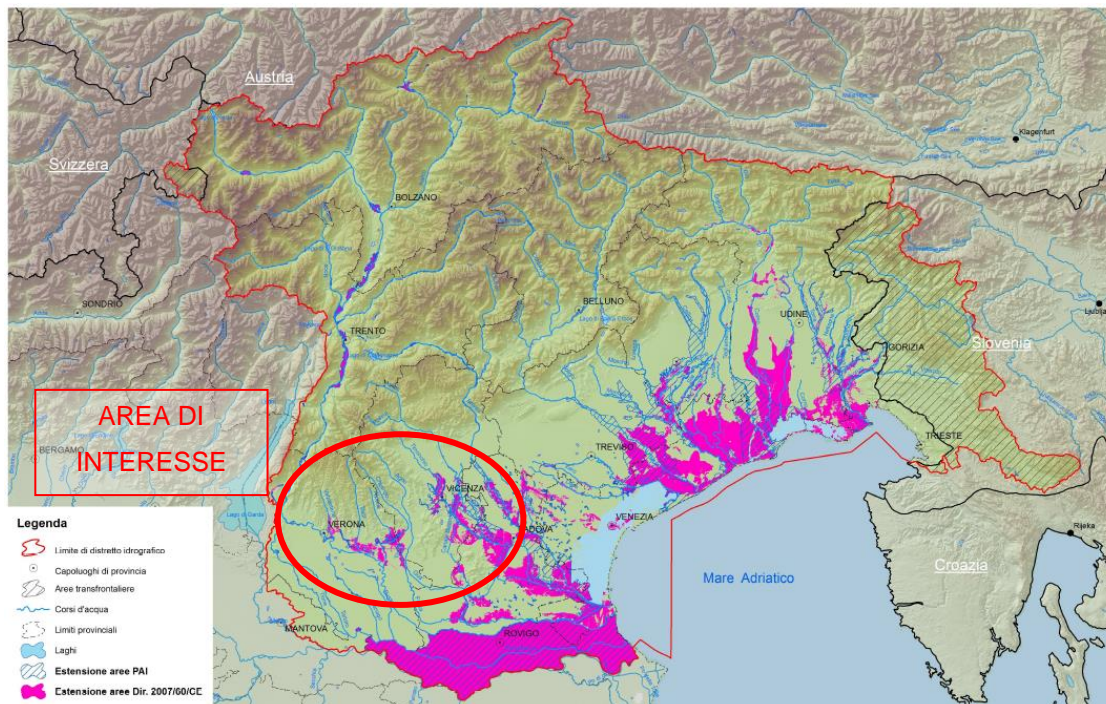


Figura 4-5 Sovrapposizione tra aree di pericolosità del PAI e di allagabilità del PGRA (Fonte: PGRA)

#### 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 describe 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

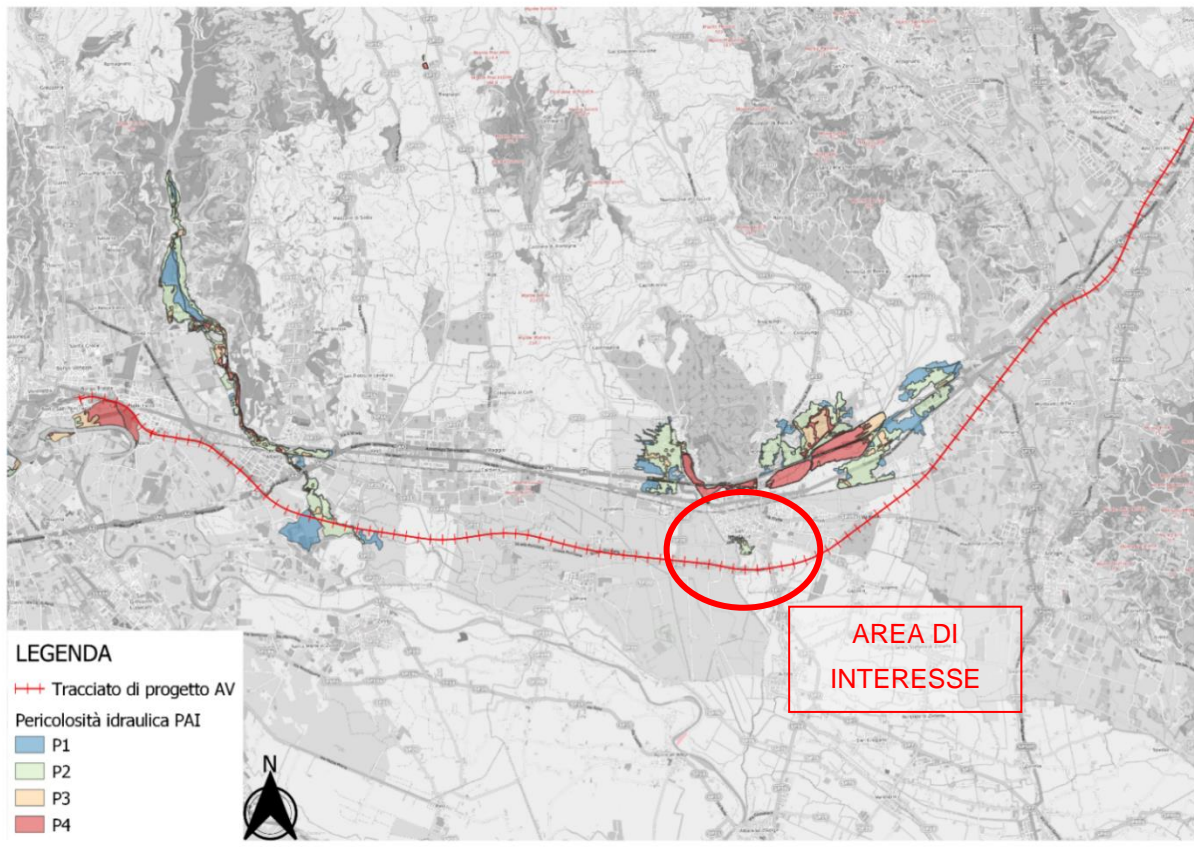


Figura 4-7 Pericolosità PAI bacino Adige nella zona di interesse del progetto AV

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 13 di 60

#### 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 San Bonifacio, in sinistra e destra del torrente Alpone.

Nella figura successiva si osserva un'area di allagamento in sinistra e destra idraulica del torrente Alpone a sud dell'abitato di San Bonifacio. Il sistema idrografico Alpone-Chiampo presenta molte criticità che sono state evidenziate anche dagli ultimi eventi alluvionali (novembre 2010) e che sono in fase di mitigazione attraverso la realizzazione di vari interventi che permettono la laminazione delle piene e quindi l'abbassamento dei valori massimi di portata nei tratti del medio e basso corso.

Nello stralcio planimetrico si possono notare le zone esposte alle maggiori altezze idriche (colore blu) che risultano ubicate sia in sinistra idraulica del torrente Alpone, dall'abitato di San Bonifacio proseguendo verso sud sia in destra idraulica a nord della strada Porcilana.

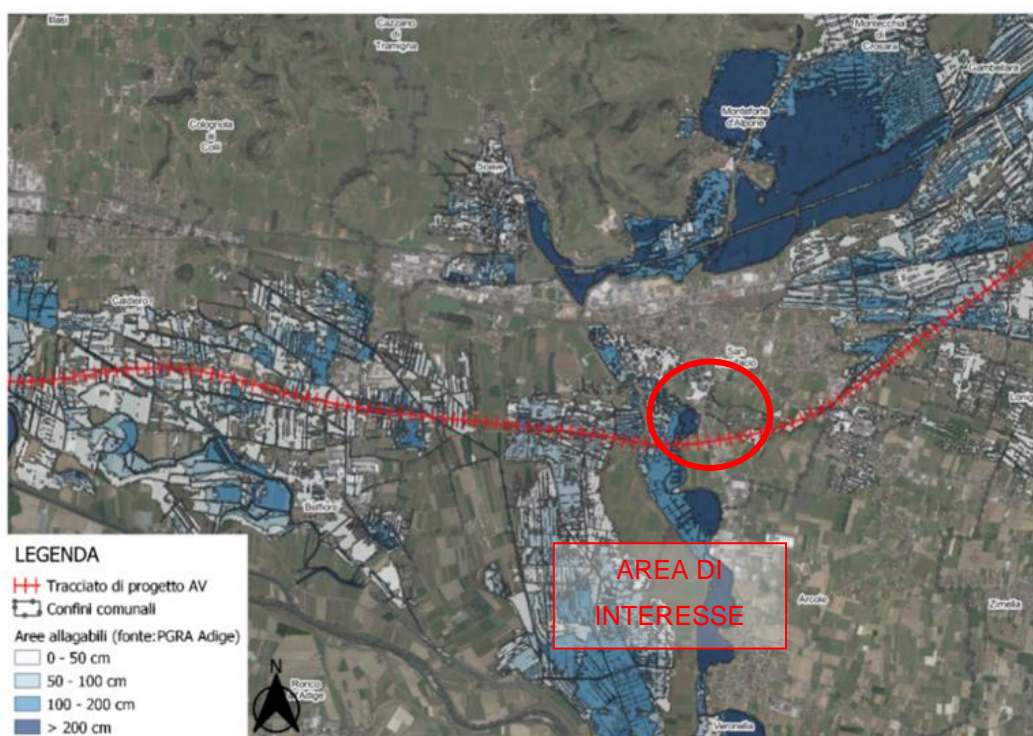


Figura 4-8 Planimetrie aree allagabili ante operam con Tr pari a 300 anni

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 14 di 60

## 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 Km<sup>2</sup>:*

*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 Km<sup>2</sup>, tenendo conto dell'importanza del corso d'acqua e quindi del tempo di ritorno dell'evento meteorico.*

*In dettaglio:*

*Area < 10 Km<sup>2</sup> Kirpich, Formula Razionale ecc.*

*Area > 10 Km<sup>2</sup> Curve Number, Giandotti ecc.”*

Il capitolo 3.7.2.1.4 riporta quanto segue:

*“Studio idraulico*

*Lo studio idraulico è finalizzato alla scelta tipologica ed alla determinazione della sezione di deflusso dei manufatti e degli eventuali accorgimenti da mettere in opera per consentire il superamento dei corsi d'acqua naturali nonché lo smaltimento delle acque meteoriche intercettate dal rilevato e, più in generale, alla risoluzione delle problematiche connesse con il regime idraulico dell'area interessata dal manufatto stesso.*

*Pertanto lo studio, sulla base dei risultati conseguiti con lo studio idrologico, sarà finalizzato a:*

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 15 di 60</p>

- *determinare la quota idrica e l'ampiezza della sezione di pertinenza fluviale in corrispondenza degli attraversamenti principali per un assegnato evento di piena con determinato tempo di ritorno;*
- *determinare la quota idrica e l'ampiezza della sezione di pertinenza fluviale in corrispondenza degli attraversamenti secondari per un assegnato evento di piena con determinato tempo di ritorno;*
- *dimensionare i canali di gronda qualora la linea ferroviaria impedisca il naturale scolo delle acque meteoriche verso i ricettori naturali;*
- *progettare le opere di inalveamento ove necessarie;*
- *verificare i manufatti preposti all'allontanamento delle acque meteoriche dal corpo ferroviario (fossi di guardia) e stradale;*
- *verificare i manufatti preposti al drenaggio della piattaforma ferroviaria e progettare l'interasse di recapito ai collettori secondari (cunette di piattaforma, tubazioni, ecc.)*
- *progettare le eventuali opere di protezione del corpo ferroviario in presenza di livelli idrici significativi o dove si manifestino alte velocità della corrente in corrispondenza delle opere stesse;*
- *progettare gli impianti di sollevamento laddove si accerti l'impossibilità di allontanare le acque meteoriche a gravità naturale;*
- *progettare le protezioni e/o deviazioni causate dall'interferenza della linea con reti idriche in pressione o a pelo libero, oppure nel caso che il rilevato ferroviario o le opere ad esso connesse interessino aree di bonifica dotate di rete di adduzione o drenaggio.*

a) *Tempo di ritorno*

*Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno  $Tr$ :*

*Drenaggio della piattaforma (cunette, tubazioni.....):*

- *linea ferroviaria  $Tr = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $Tr = 25$  anni*
- *linea ferroviaria  $Tr = 100$  anni*
- *deviazioni stradali  $Tr = 25$  anni*

*Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S > 10 \text{ Km}^2$ .*
- *linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$  (essendo  $S$  la superficie del bacino)*
- *deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni*

*Inalveamenti:*

*tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S > 10 \text{ Km}^2$ .*

*tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .*

*Impianti di sollevamento:  $Tr = 25$  anni*

*Saranno date valutazioni (con dettaglio adeguato rispetto all'importanza dell'opera e alle possibili conseguenze della sua insufficienza sulla sicurezza della circolazione) sugli scenari corrispondenti al superamento delle portate di progetto e sulle eventuali misure di mitigazione del rischio residuo”.*

*Nella stessa sezione al capitolo 3.7.2.2.1 viene riportato quanto segue:*

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 16 di 60</p>

#### *“3.7.2.2.1 Attraversamenti principali*

*Per tali categorie di opere 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:*

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore a 1,5 m sul livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.*
- 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 0,2% 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”.*



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 17 di 60</p>

## 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 esame 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  $10 \text{ km}^2$  è stato implementato il modello HEC-HMS.

Di seguito viene riportata una rappresentazione del bacino idrografico dello scolo Palù.

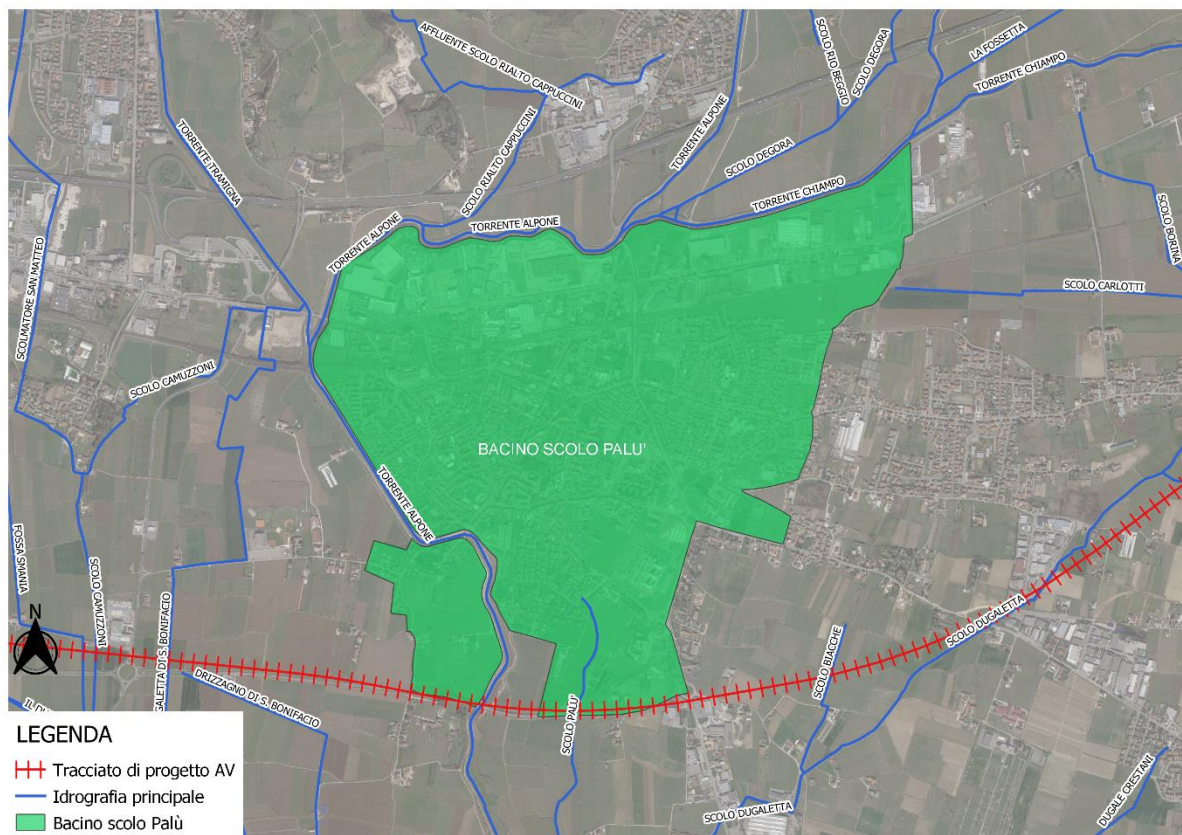


Figura 6-1 Bacino imbrifero dello scolo Palù relativo alla deviazione di progetto

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 18 di 60

È stata eseguita un'analisi pluviometrica, che per maggior dettaglio si rimanda alla relazione idrologica e idraulica attraversamenti secondari (IN1710EI2RHID0000002).

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

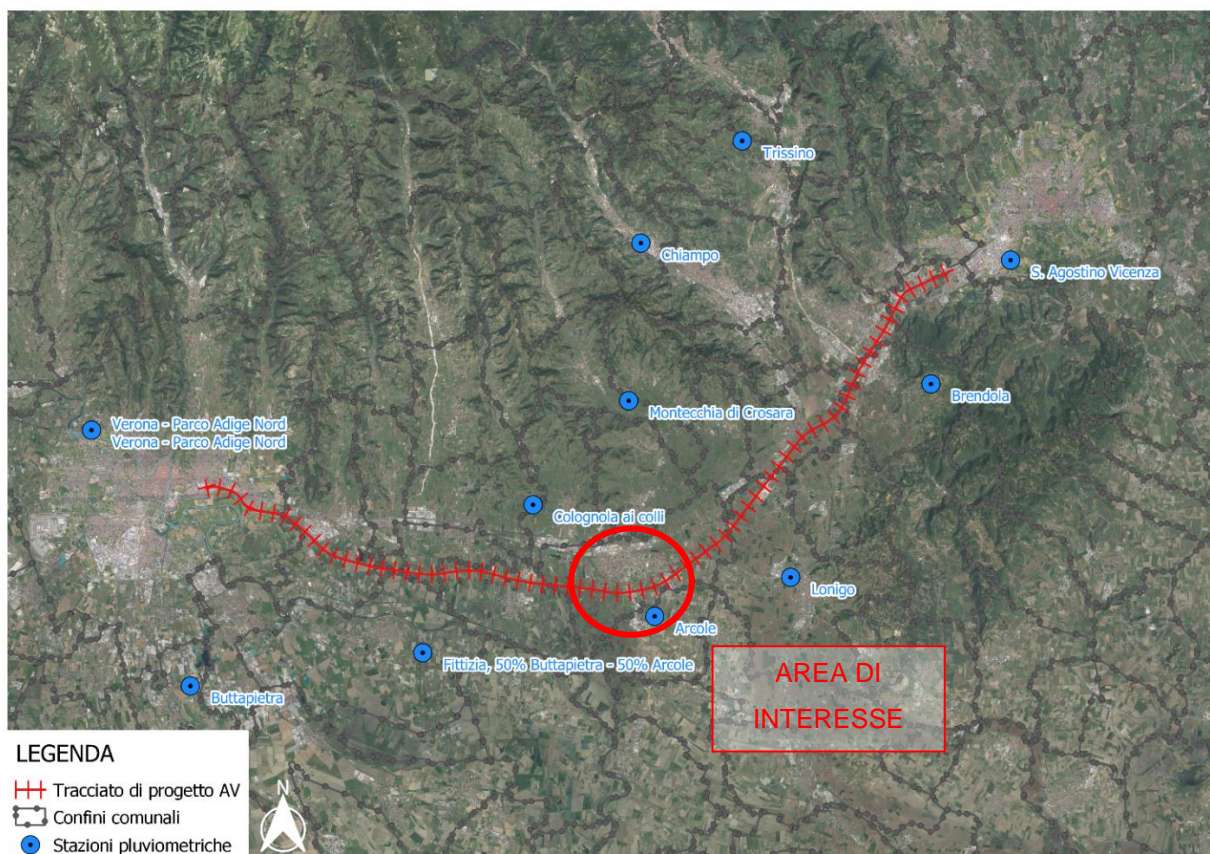


Figura 6-2 Stazioni pluviometriche di riferimento

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 topoi.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17    Lotto 12    Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002    Rev. A    Foglio 19 di 60

L'area oggetto di intervento ricade totalmente all'interno delle stazioni pluviometriche di Arcole e Colognola ai Colli di cui si riportano i parametri delle relative CPP.

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
Arcole	55,9	0,580	67,0	0,595	77,6	0,606	91,4	0,616	101,8	0,622	112,1	0,627	118,1	0,630
Colognola ai colli	49,2	0,508	57,7	0,518	65,9	0,525	76,5	0,533	84,5	0,537	92,4	0,541	97,0	0,542

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
Arcole	48,7	0,152	58,8	0,143	68,6	0,137	81,3	0,130	90,8	0,127	100,2	0,124	105,7	0,122
Colognola ai colli	44,4	0,197	52,8	0,192	60,7	0,188	71,1	0,185	78,8	0,183	86,5	0,181	91,0	0,180

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	Zmax	Zmedia	Zchiusura	Lasta	jasta	jmedia
			X	Y	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m)	(m/m)	(m/m)
-	-	(km <sup>2</sup> )			(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m s.m.m.)	(m)	(m/m)	(m/m)
21+088	VI05C	4,658	1678150,2	5029791,9	21,6	41,4	29,0	22,3	4537,2	0,0015	0,0600

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)
21+088	VI05C	56,20	6,54	16,32	2,63

Tabella 6-5 Coefficiente di deflusso del bacino

Progressiva	WBS di progetto	Coefficiente di deflusso $\Phi_{TOT}$
-	-	-
21+088	VI05C	0,64

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:

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 20 di 60

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

Progres.	WBS di progetto	Corso d'acqua	Autorità competente	Tipologia	Q idrologica (m <sup>3</sup> /s)	Q risorgiva (m <sup>3</sup> /s)	Q derivata (m <sup>3</sup> /s)	Q complessiva (m <sup>3</sup> /s)	Q MAX PD (m <sup>3</sup> /s)	Q PE (m <sup>3</sup> /s)	Direzione di deflusso
-	-	-	-	-	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	
21+088	VI05C	Scolo Palù	Consorzio APV	Scolo	30,96	0,30	-	31,26	-	31,26	SO

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 e di valle, 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 (IN1710EI2RIID0000001) e nella relazione idrologica e idraulica attraversamenti secondari (IN1710EI2RHID0000002).

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 21 di 60

## 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 Palù tale relazione riporta quanto segue: *“La TAV interseca al Km 21.100,00 lo scolo pubblico demaniale Palù.*

*Nasce presso la Cantina di S.Bonifacio e veicola le acque di scolo dell'area urbana del Comune e di una vasta area agricola.*

*Presenta un profilo incassato con una bocca di m 13,00, sponde inclinate 1 su 1 rispettivamente di m 5,00 con un fondo di m 5,00 con una portata acquifera stimata in 300 l/s”.*

Come descritto nella relazione, lo scolo Palù ha una modesta sezione con sponde inclinate 1:1; convoglia le acque di scolo dell'area urbana del comune di San Bonifacio. Di seguito una sezione schematizzata dello scolo Palù ricavata dalla relazione del Consorzio Alta pianura Veneta:

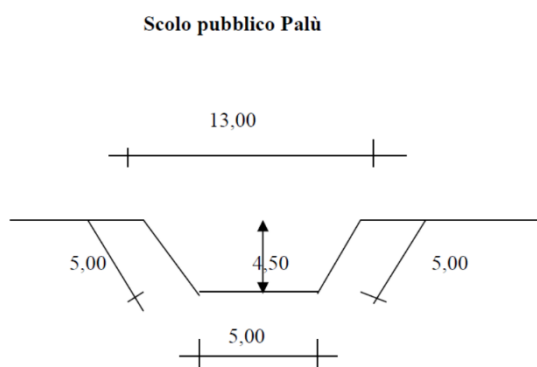


Figura 7-1 Sezione dello scolo Palù (fonte: Consorzio di bonifica Alta pianura Veneta)



Figura 7-2 Foto dello scolo Palù in corrispondenza della sistemazione di progetto (fonte: Consorzio di bonifica Alta pianura Veneta)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 22 di 60

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.

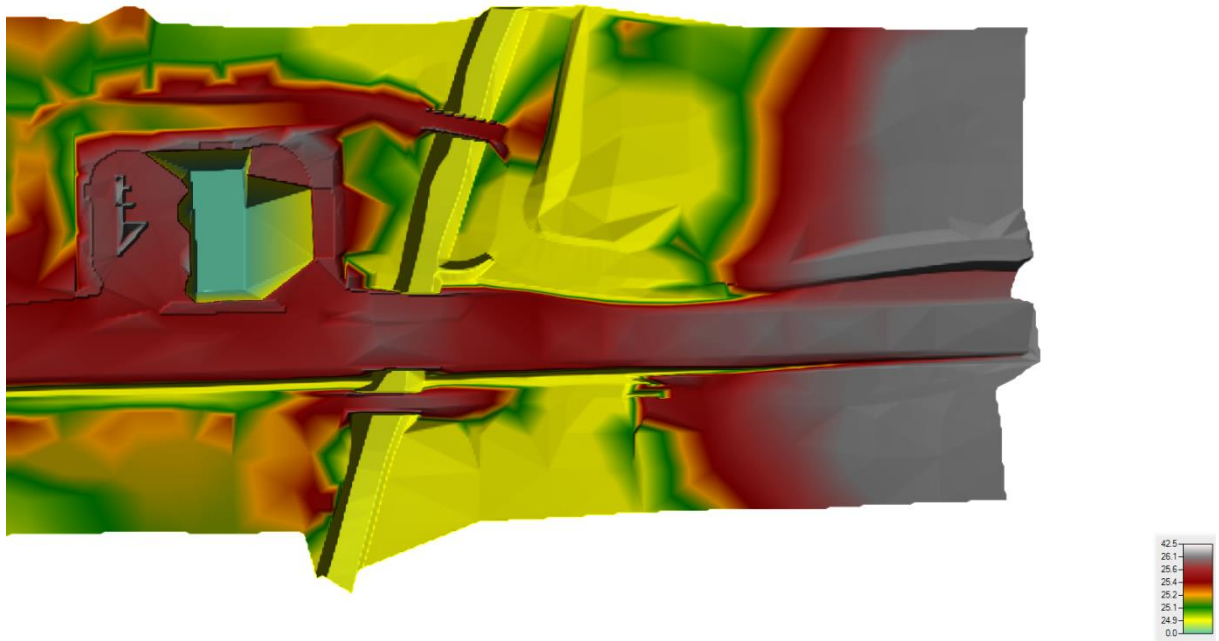


Figura 7-3 DTM ricavato da rilievo topografico (i valori riportati sono in m s. m. m.).

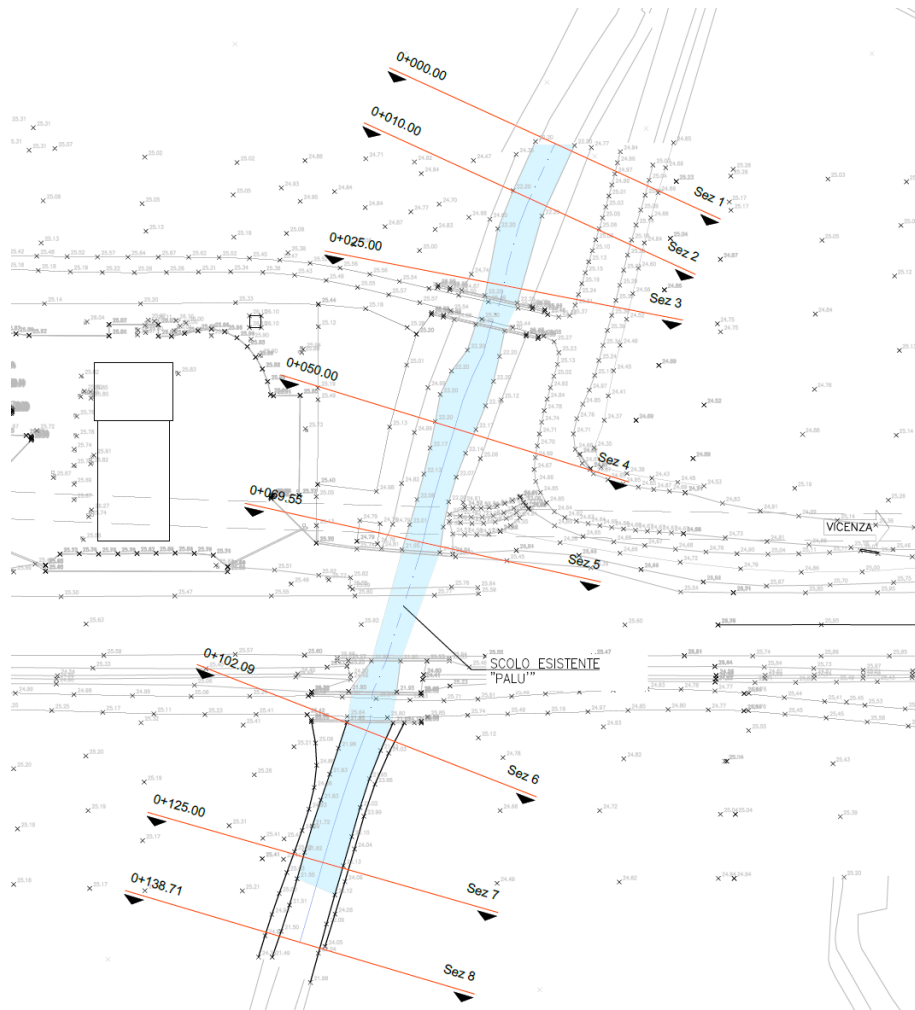


Figura 7-4 Estratto dalla tavola stato di fatto deviazione scolo Palù

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto <b>IN17</b>	Lotto <b>12</b>	Codifica Documento <b>EI2 RH VI05C8 002</b>	Rev. <b>A</b>	Foglio <b>24 di 60</b>

## 8 STATO DI PROGETTO

Lo scolo Palù costituisce una interferenza con il rilevato della nuova linea AV/AC. La progettazione consiste nel risezionamento dello scolo Palù a valle e a monte del nuovo impalcato ferroviario con l'installazione di nuove protezioni di sponda costituite da massi intasati con calcestruzzo e protezione al piede con massi sciolti.

La sezione di progetto, con pendenza 1:1, è caratterizzata da un rivestimento spondale con massi, stuccati con malta cementizia e posati su un fondo in calcestruzzo armato con rete elettrosaldata 20x20 cm Ø 8 mm e geotessile di contenimento per il drenaggio subsuperficiale, avente spessore totale del rivestimento pari a 0,45 m. Per migliorare il drenaggio sotto il rivestimento si andrà a posizionare una tubazione drenante in PEAD forata DN125 collegata all'esterno del rivestimento in modo da smaltire le acque di drenaggio.

Per il tratto sottostante i nuovi impalcati della linea AV/AC anche il lato campagna, considerato zona d'ombra e di difficile manutenzione, verrà protetto tramite un rivestimento flessibile (materassi tipo Reno).

Per ulteriori dettagli riguardo le sezioni appena descritte si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

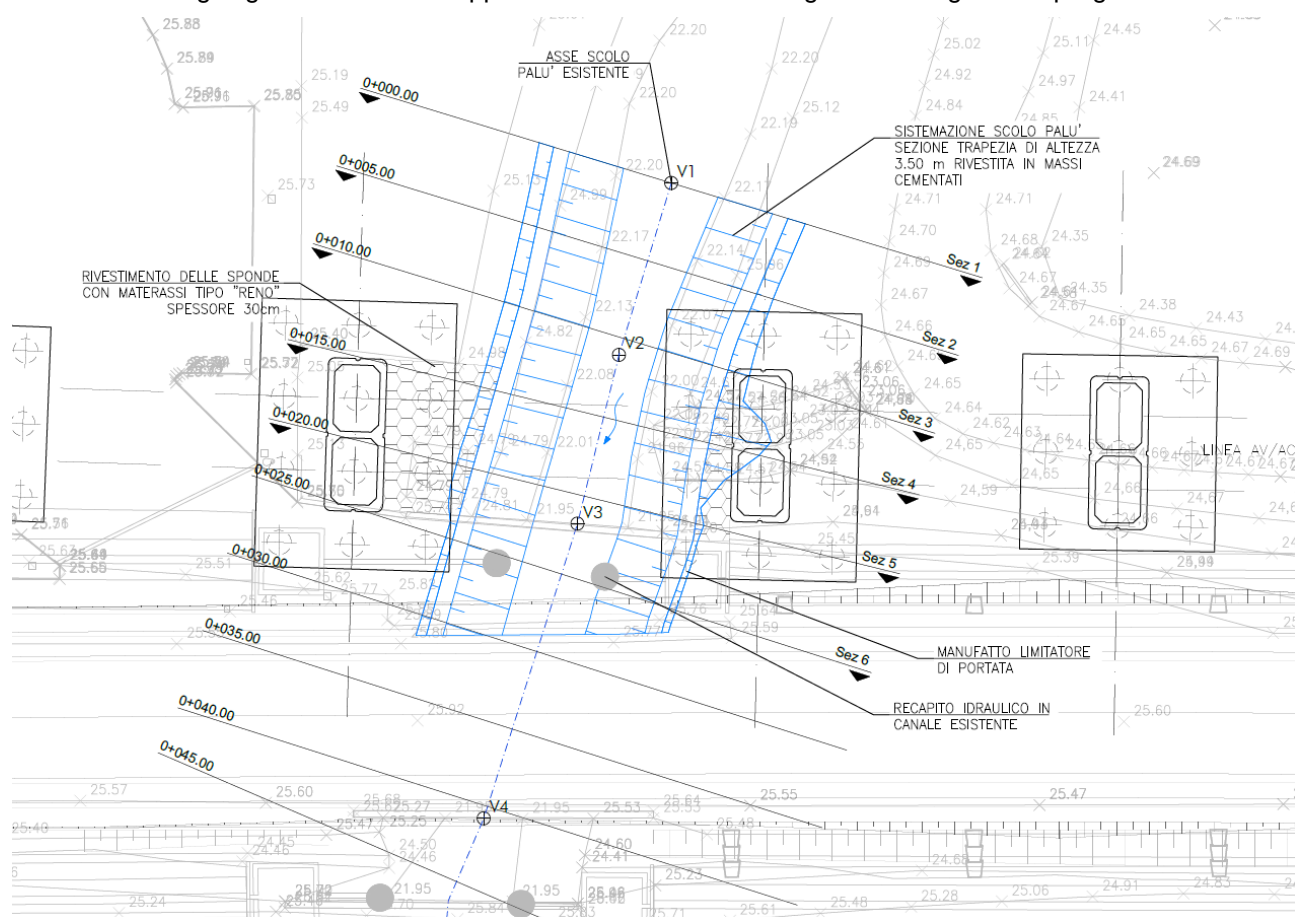


Figura 8-1 Estratto dalla planimetria di progetto post operam



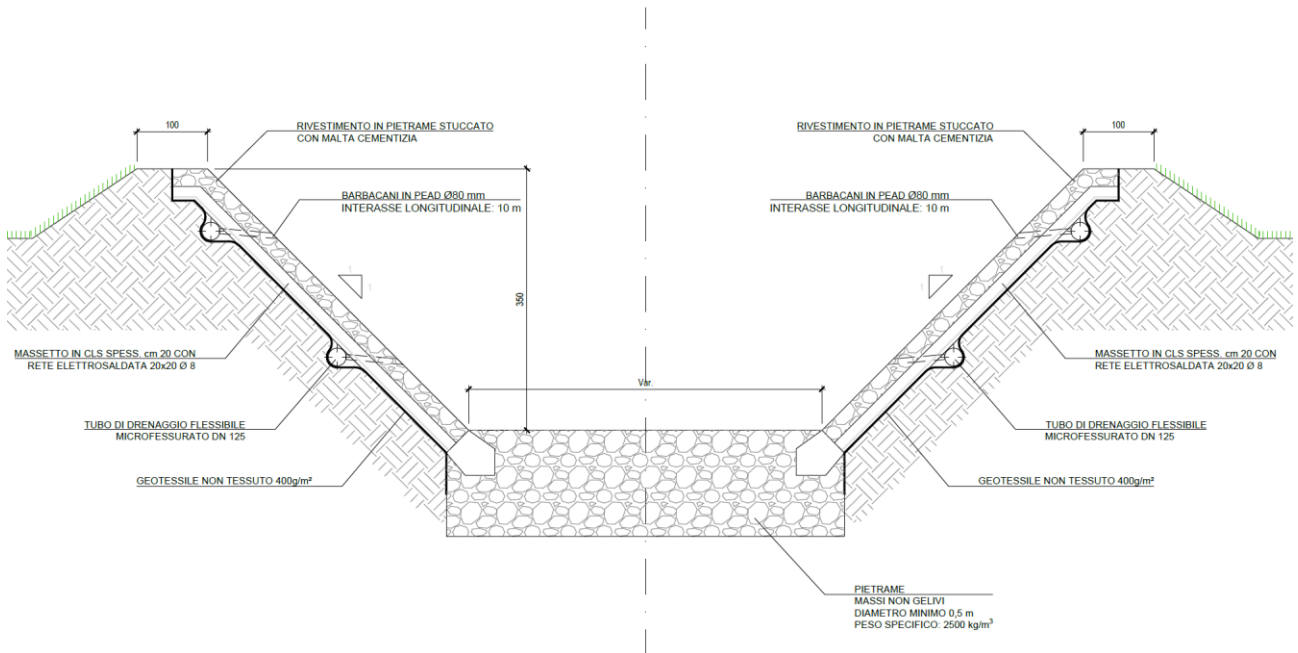


Figura 8-2 Sezione tipo trasversale scolo Palù

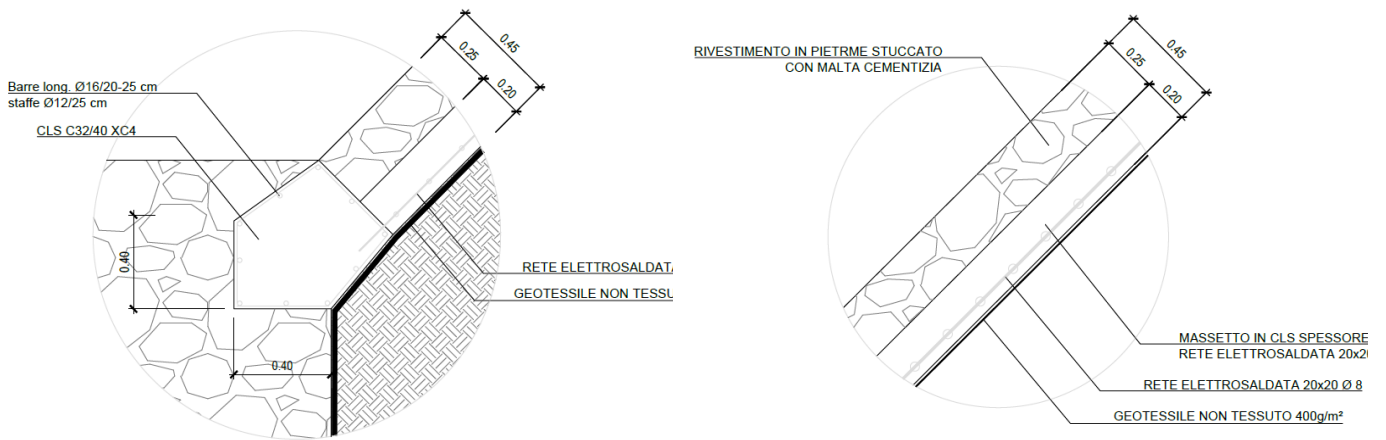


Figura 8-3 Dettaglio del rivestimento scolo Palù

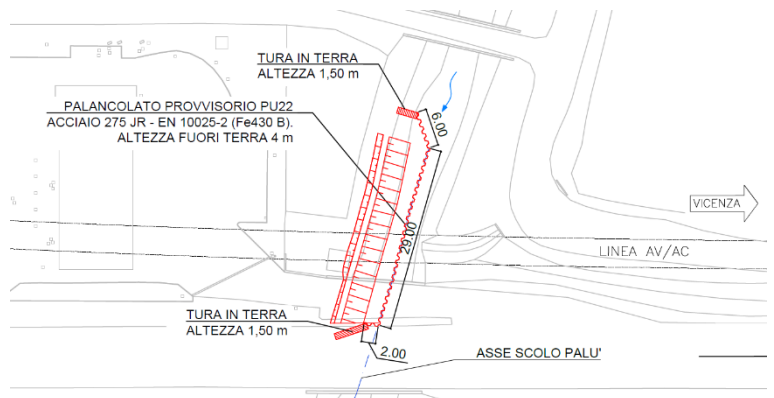
<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 26 di 60

## 9 STATO DI CANTIERIZZAZIONE

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

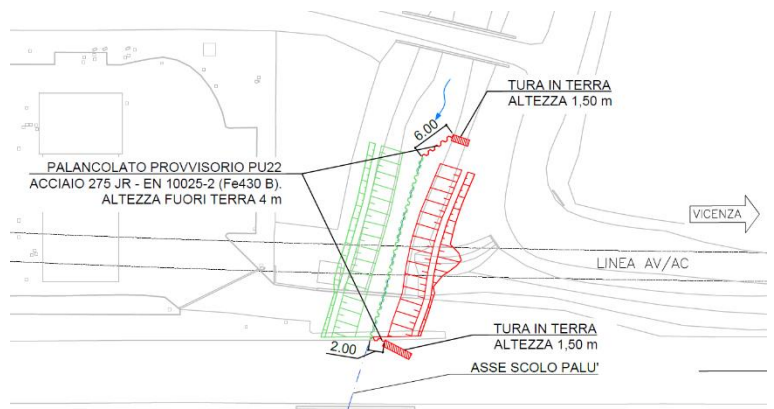
### FASE 1:

- Infissione palancole per parzializzazione dell'alveo;
- Realizzazione tura tracimabile in terra H= 1,5 m a monte e a valle dell'intervento;
- Risezionamento e rivestimenti di sponda in destra idraulica;



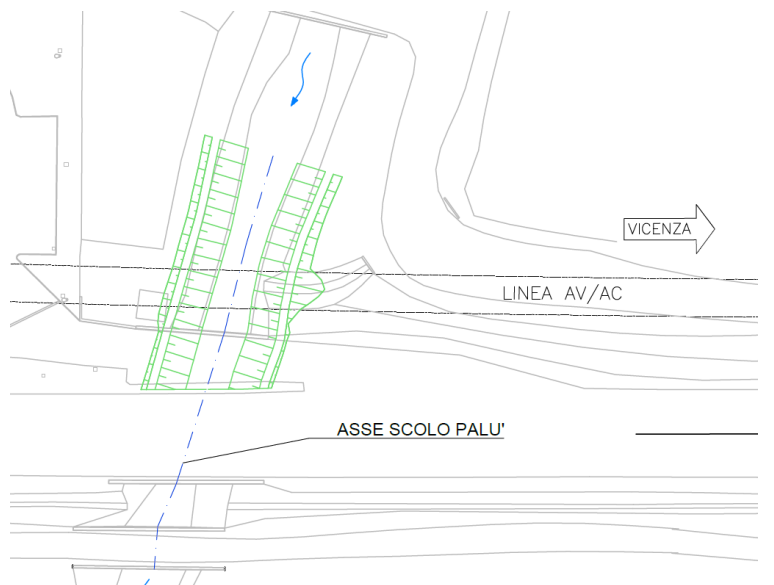
### FASE 2:

- Infissione palancole per parzializzazione dell'alveo;
- Realizzazione tura tracimabile in terra H= 1,5 m a monte e a valle dell'intervento;
- Risezionamento e rivestimenti di sponda in sinistra idraulica;



### FASE 3:

- Rimozione ture provvisorie;
- Rimozione palancole.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 27 di 60

## 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;

$\alpha_1, \alpha_2$  = 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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 28 di 60</p>

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:

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

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  $\alpha$ , 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

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 29 di 60

$K_{LOB}, K_{ROB}, K_{CH}$  = 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.

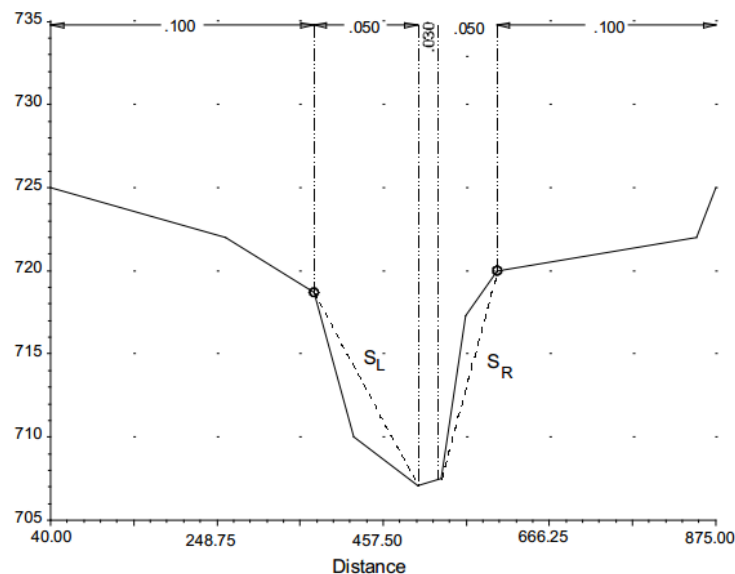


Figura 10-1 Schema per il calcolo della scabrezza equivalente

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.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 30 di 60

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 31 di 60</p>

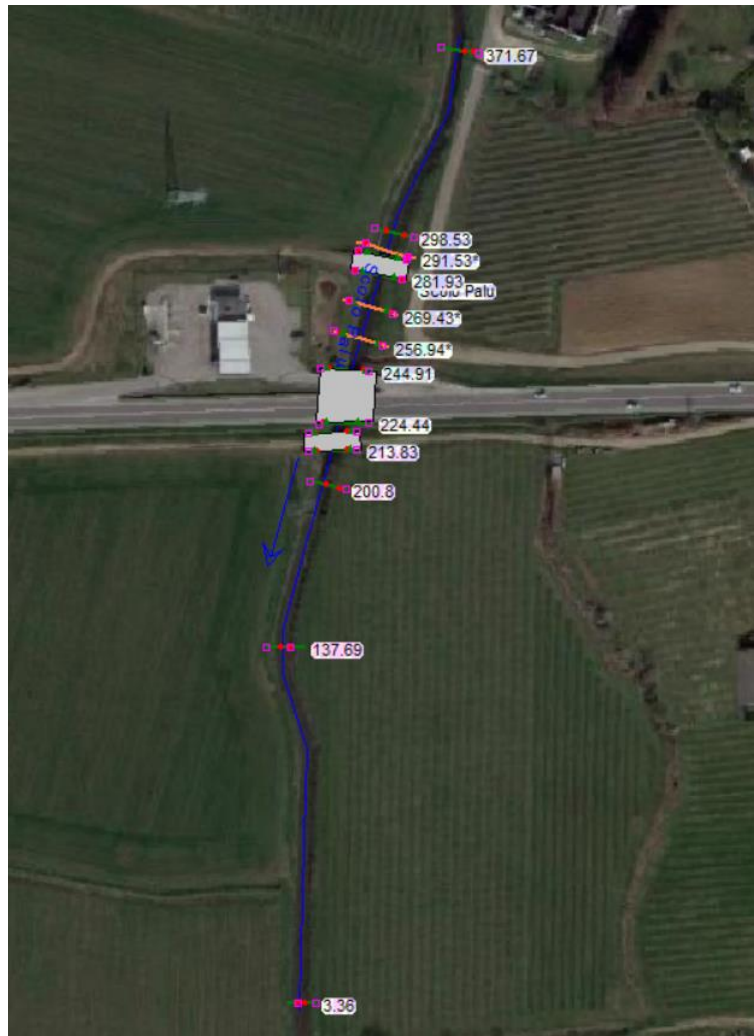


Figura 10-2 Planimetria di modellazione dello scolo Palù, ante operam

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	<b>Progetto</b> IN17	<b>Lotto</b> 12	<b>Codifica Documento</b> EI2 RH VI05C8 002	<b>Rev.</b> A	<b>Foglio</b> 32 di 60

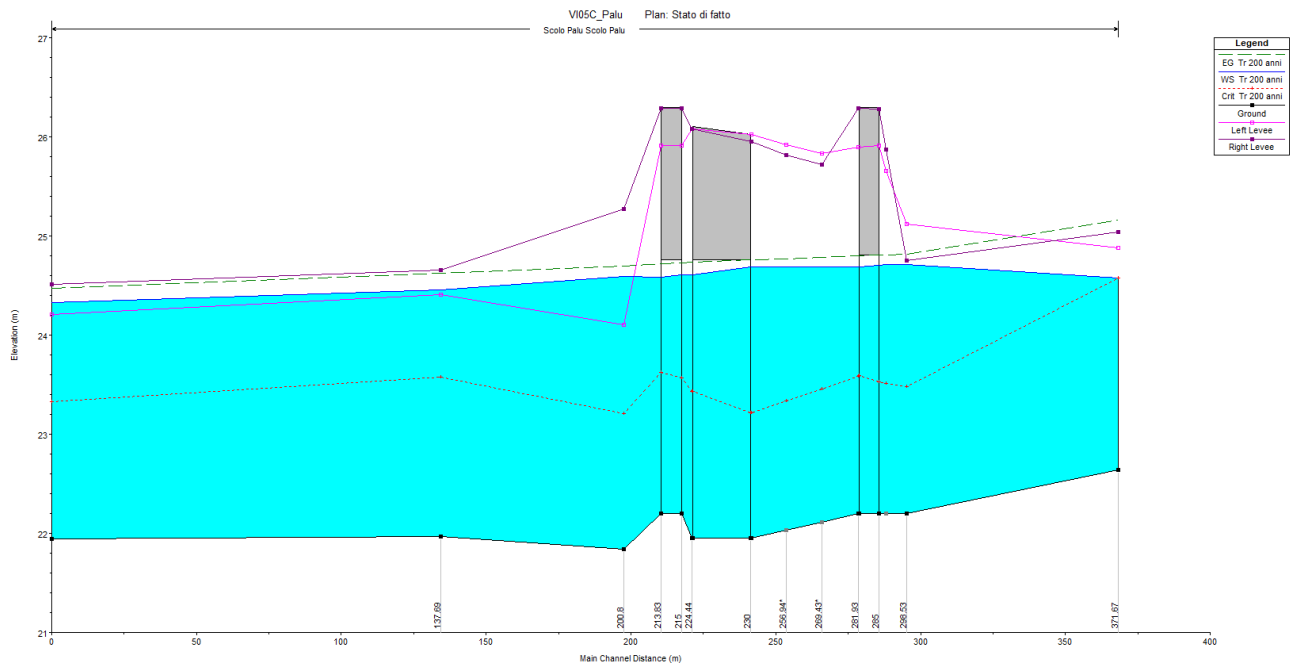


Figura 10-3 Profilo di modellazione dello scolo Palù con portata riferita ad un Tr 200 anni, ante operam

La portata di progetto esecutivo calcolata attraverso analisi idrologica e descritta nei paragrafi precedenti e pari a 31,26 m<sup>3</sup>/s porta ad una situazione critica della zona oggetto di sistemazione come si può notare dalla Figura 10-3. Come precedentemente riportato la portata di progetto esecutivo è una portata teorica e prescinde da eventuali condizioni di esondazioni della rete di monte.

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 0,025 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 40 m<sup>1/3</sup>/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.



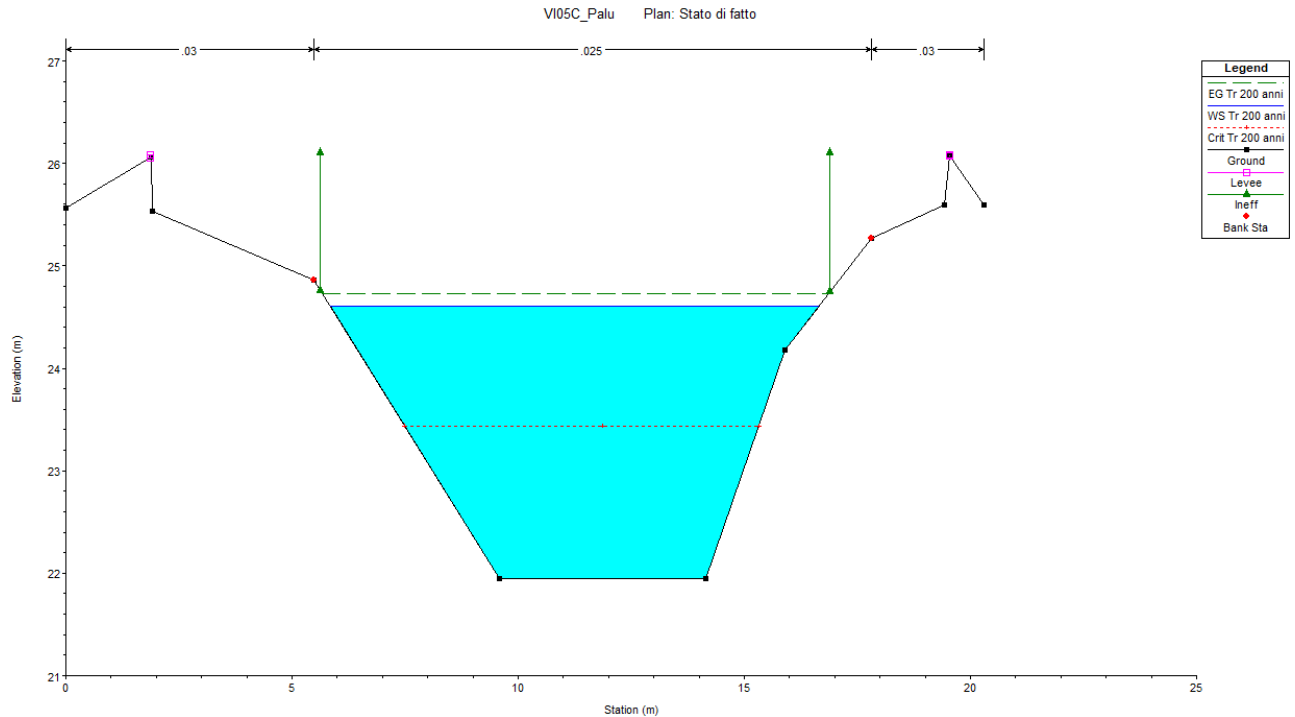


Figura 10-4 Sezione dello scolo Palù ricavata da HEC-RAS con Tr = 200 anni

Si riportano di seguito i risultati della simulazione.

Tabella 10-1 Risultati simulazione 1D ante operam per Tr 200 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Scolo Palu	371.67	Tr 200 anni	31.26	22.64	24.57	24.57	25.16	0.007963	3.40	9.21	7.83	1.00
Scolo Palu	298.53	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.71	23.48	24.82	0.000687	1.45	21.66	15.07	0.33
Scolo Palu	289.13	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.70	23.53	24.81	0.000633	1.41	22.21	13.53	0.33
Scolo Palu	285	Bridge										
Scolo Palu	281.93	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.69	23.59	24.80	0.000699	1.46	21.37	13.09	0.35
Scolo Palu	244.91	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.69	23.22	24.76	0.000439	1.20	26.14	13.80	0.27
Scolo Palu	230	Bridge										
Scolo Palu	224.44	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.61	23.44	24.73	0.000850	1.56	19.98	10.81	0.37
Scolo Palu	220.86	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.61	23.57	24.73	0.000837	1.55	20.20	12.20	0.37
Scolo Palu	215	Bridge										
Scolo Palu	213.83	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.58	23.63	24.72	0.000941	1.62	19.31	11.88	0.39
Scolo Palu	200.8	Tr 200 anni	31.26	21.84	24.59	23.21	24.69	0.000601	1.44	22.97	12.48	0.30
Scolo Palu	137.69	Tr 200 anni	31.26	21.97	24.46	23.57	24.62	0.001205	1.84	20.03	30.66	0.43
Scolo Palu	3.36	Tr 200 anni	31.26	21.94	24.33	23.33	24.47	0.001001	1.68	19.60	20.28	0.39

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 34 di 60</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.

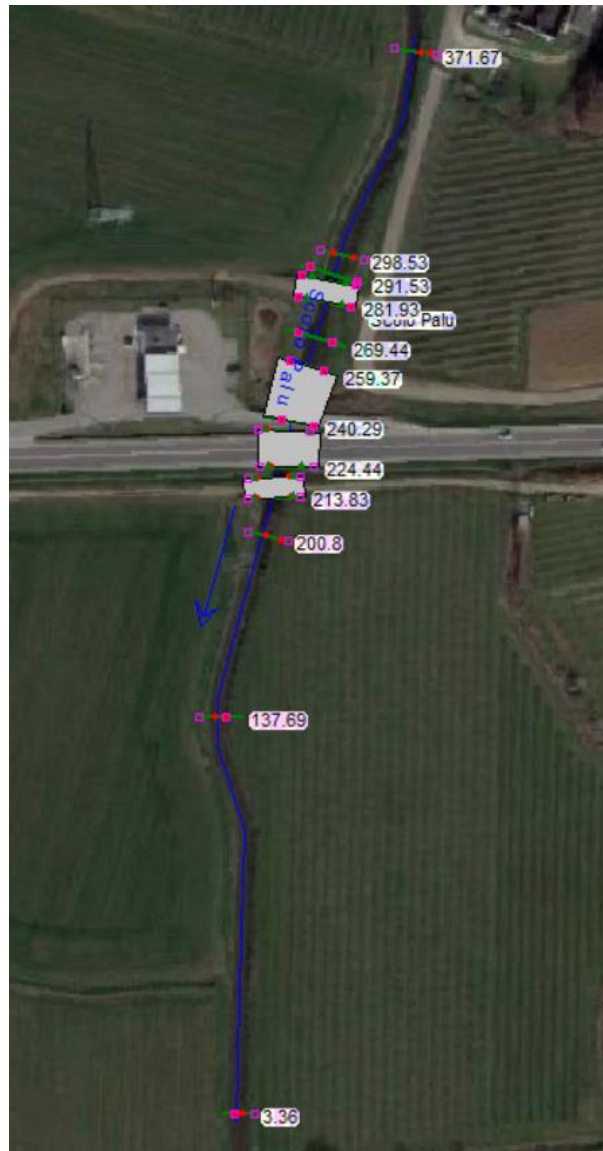


Figura 10-5 Planimetria di modellazione dello scolo Palù, post operam

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	<b>Progetto</b> IN17	<b>Lotto</b> 12	<b>Codifica Documento</b> EI2 RH VI05C8 002	<b>Rev.</b> A	<b>Foglio</b> 35 di 60

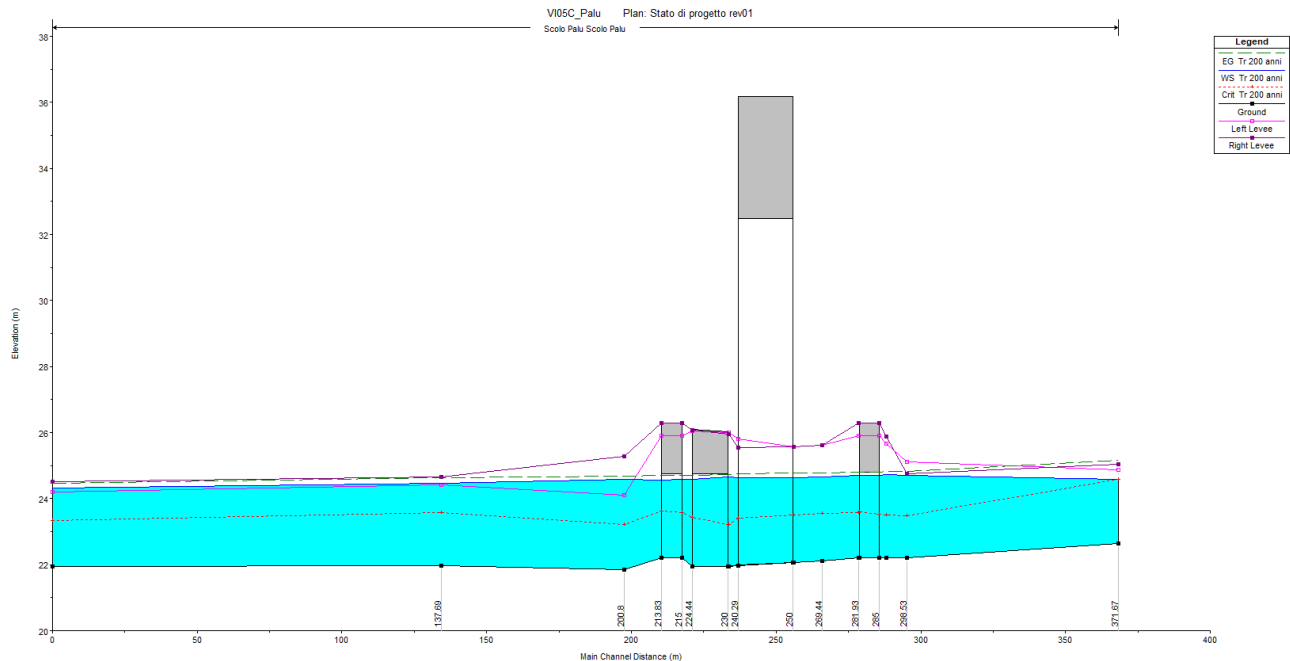


Figura 10-6 Profilo di modellazione dello scolo Palù, post operam

Per le simulazioni idrauliche di seguito riportate in condizione post operam, è stata utilizzata la portata riferita al tempo di ritorno pari a 200 anni in accordo con quanto riportato nel manuale di progettazione RFI.

Tale portata, calcolata attraverso analisi idrologica, è pari a 31,26 m<sup>3</sup>/s

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:

- $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per il tratto di sezione rivestito in corrispondenza del viadotto AV/AC;
- $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per le restanti parti di sezione come nello stato ante operam.

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.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 36 di 60

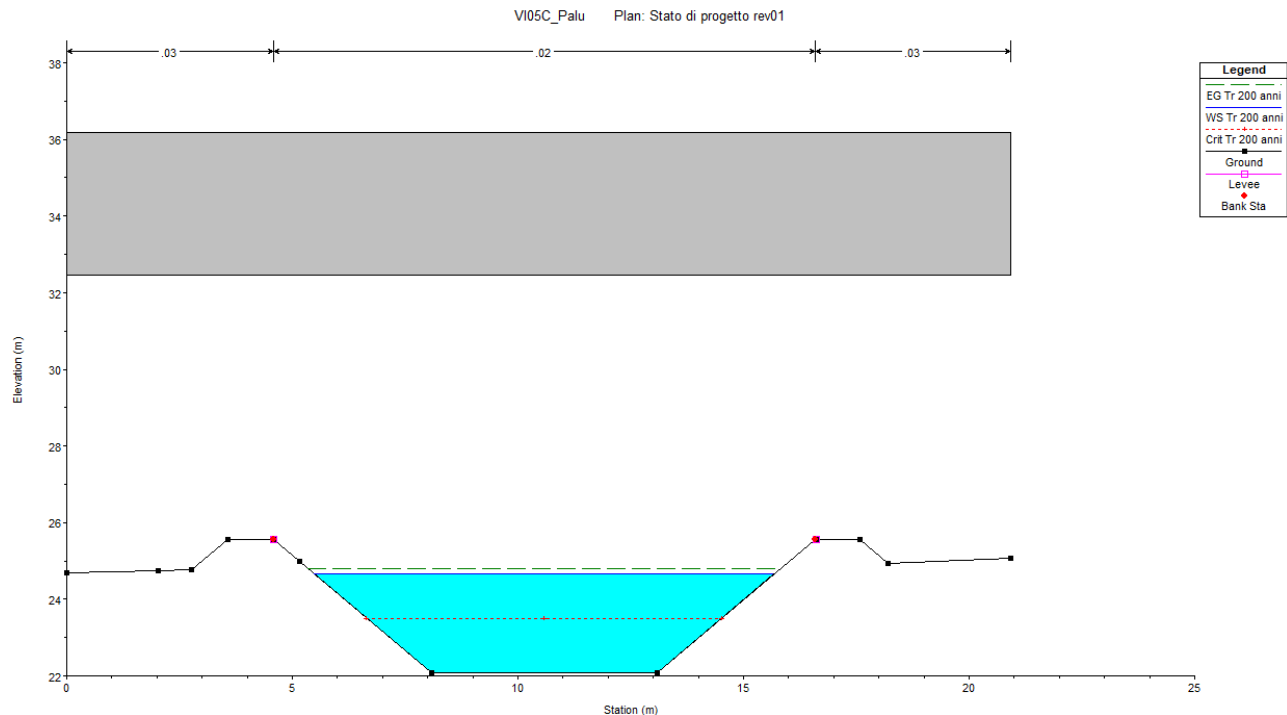


Figura 10-7 Sezione tipo post operam estratta da HEC-RAS

Dall'immagine precedente di nota come in fase post operam la sezione dello scolo Palù oggetto di sistemazione sia in grado di trattenere la portata di progetto pari a  $Q = 31,26 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il franco idraulico di sicurezza rispetto alla quota di sottotrave viene rispettato (min 1,50 m), in quanto per lo scolo Palù, in corrispondenza del ponte ferroviario il franco è di 7,80 m.

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa in corrispondenza delle sezioni di attraversamento che mette a confronto il livello idrico e la quota di sottotrave.

OPERE	LIVELLO IDRICO Tr 200 anni (m s.m.m.)	QUOTA SOTTOTRAVE WBS VI05C (m s.m.m.)	FRANCO DI SICUREZZA (m)
Scolo Palù	24,67	32,47	7,80

Si riportano di seguito i risultati completi della simulazione.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 37 di 60

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

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Scolo Palu	371.67	Tr 200 anni	31.26	22.64	24.57	24.57	25.16	0.007963	3.40	9.21	7.83	1.00
Scolo Palu	298.53	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.73	23.48	24.84	0.000661	1.43	22.05	17.43	0.33
Scolo Palu	291.53	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.74	23.51	24.83	0.000677	1.35	23.10	13.84	0.33
Scolo Palu	289.13	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.73	23.53	24.83	0.000606	1.39	22.49	13.72	0.32
Scolo Palu	285	Bridge										
Scolo Palu	281.93	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.71	23.59	24.82	0.000668	1.44	21.66	13.25	0.34
Scolo Palu	269.44	Tr 200 anni	31.26	22.12	24.67	23.55	24.80	0.000575	1.62	19.25	10.10	0.38
Scolo Palu	259.37	Tr 200 anni	31.26	22.07	24.67	23.50	24.80	0.000537	1.58	19.73	10.19	0.36
Scolo Palu	250	Bridge										
Scolo Palu	240.29	Tr 200 anni	31.26	21.98	24.66	23.42	24.78	0.000488	1.53	20.41	10.25	0.35
Scolo Palu	236.96	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.68	23.22	24.76	0.000457	1.20	26.09	13.76	0.27
Scolo Palu	230	Bridge										
Scolo Palu	224.44	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.61	23.43	24.73	0.000795	1.58	19.97	10.80	0.36
Scolo Palu	220.86	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.61	23.57	24.73	0.000837	1.55	20.20	12.20	0.37
Scolo Palu	215	Bridge										
Scolo Palu	213.83	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.58	23.62	24.72	0.000941	1.62	19.31	11.88	0.39
Scolo Palu	200.8	Tr 200 anni	31.26	21.84	24.59	23.21	24.69	0.000601	1.44	22.97	12.48	0.30
Scolo Palu	137.69	Tr 200 anni	31.26	21.97	24.46	23.57	24.62	0.001205	1.84	20.03	30.66	0.43
Scolo Palu	3.36	Tr 200 anni	31.26	21.94	24.33	23.33	24.47	0.001001	1.68	19.60	20.28	0.39

### 10.1.2.3 Simulazioni stato di cantierizzazione

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 cantierizzazione più critiche che vedono la parzializzazione dell'alveo necessario per la realizzazione dell'opera di rivestimento in corrispondenza della linea storica.

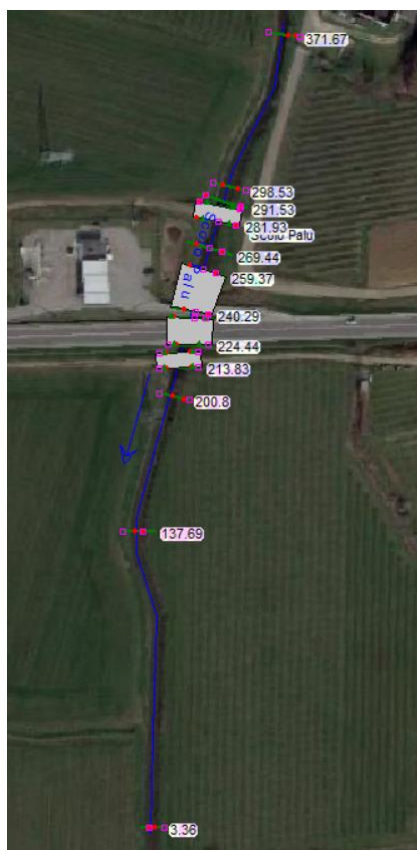


Figura 10-8 Planimetria di modellazione dello scolo Palù in fase di cantierizzazione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 38 di 60</p>

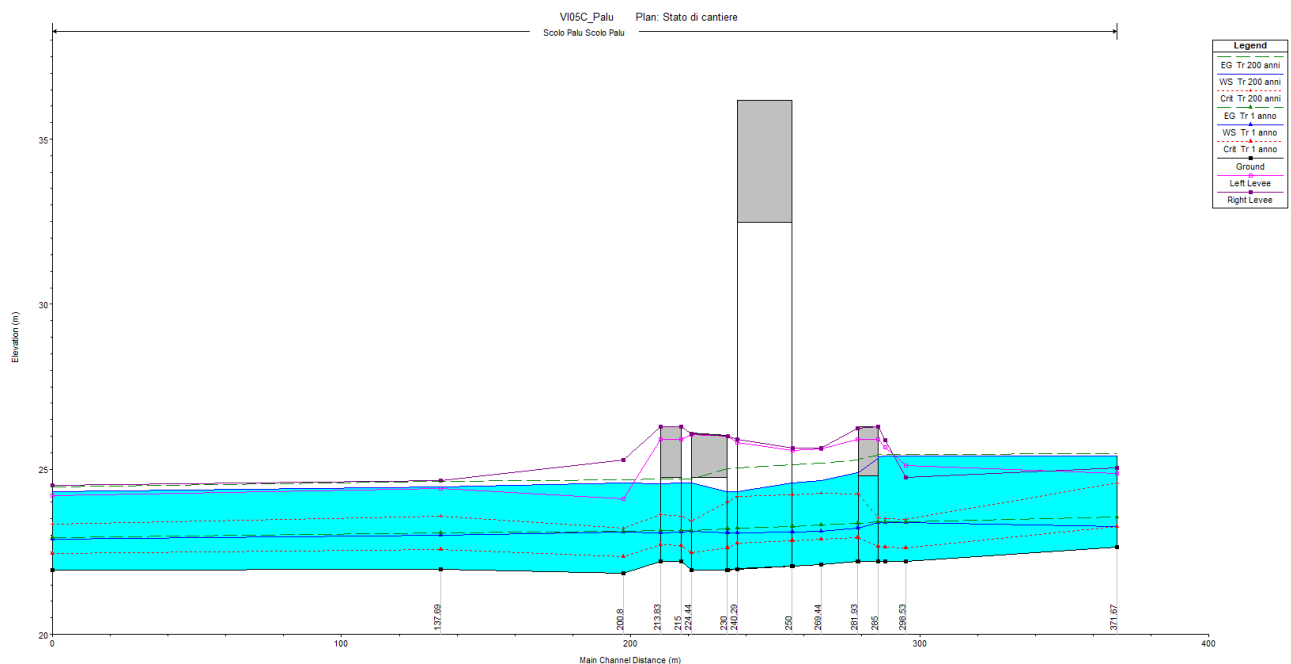


Figura 10-9 Profilo di modellazione dello scolo Palù, fase di cantierizzazione

In fase di realizzazione degli attraversamenti secondari è necessario, in alcuni casi, intervenire con la costruzione di opere provvisorie, atte sia a garantire la continuità idraulica sia a garantire una sicurezza in fase di esecuzione.

Tali opere provvisorie vengono dimensionate in base ad un tempo di ritorno che tiene conto della durata delle lavorazioni.

La scelta del tempo di ritorno è concorde con una direttiva di riferimento: "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B", approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino stessa n. 2 dell'11 maggio 1999 e aggiornata dalla Deliberazione n. 10 del 05/04/2006. Autorità di Bacino del Fiume Po".

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione idrologica e idraulica attraversamenti secondari (IN1710EI2RHID0000002).

La portata di progetto utilizzata per le simulazioni idrauliche in condizioni di cantierizzazione è riferita ad un tempo di ritorno pari a 1 anno e pari a 5,71 m<sup>3</sup>/s. È comunque stata eseguita una verifica con tempo di ritorno pari a 200 anni e relativa portata pari a 31,26 m<sup>3</sup>/s.

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:

- $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per il tratto di sezione rivestito in corrispondenza del viadotto AV/AC;
- $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per le restanti parti di sezione come nello stato ante operam.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, così come fatto per la configurazione ante operam e post 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.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 39 di 60

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 nello stato di cantierizzazione.

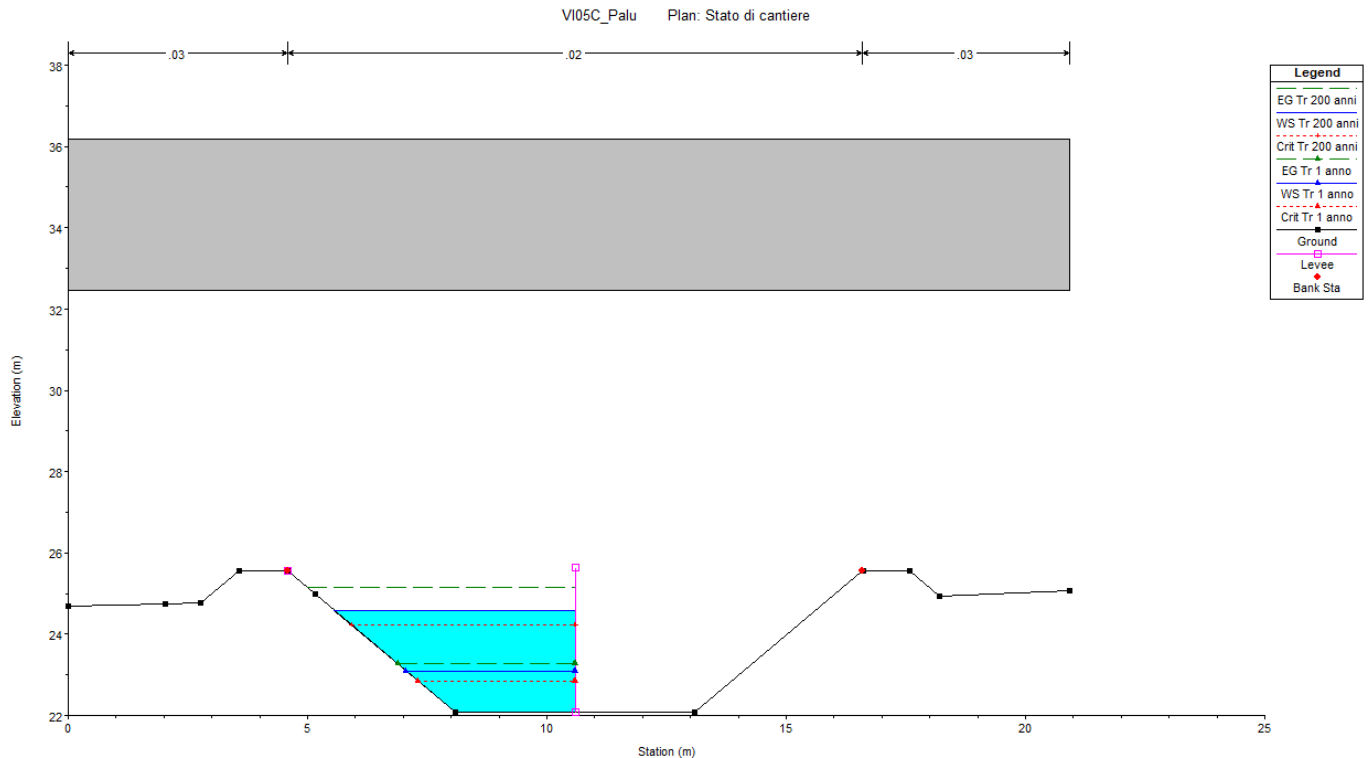


Figura 10-10 Sezione tipo della parzializzazione estratta da HEC-RAS

Dall'immagine precedente di nota come in fase di cantierizzazione le sezioni di progetto siano in grado di far defluire sia la portata relativa ad un tempo di ritorno pari a 1 anno sia la portata relativa ad un tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si riportano di seguito i risultati completi della simulazione.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 40 di 60

Tabella 10-3 Risultati di HEC-RAS da simulazione in fase di cantierizzazione

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
Scolo Palu	371.67	Tr 200 anni	31.26	22.64	25.41	24.57	25.48	0.000732	1.32	32.88	45.25	0.33
Scolo Palu	371.67	Tr 1 anno	5.71	22.64	23.27	23.27	23.56	0.009171	2.37	2.41	4.20	1.00
Scolo Palu	298.53	Tr 200 anni	31.26	22.20	25.40	23.48	25.44	0.000215	0.98	37.41	26.12	0.19
Scolo Palu	298.53	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.38	22.62	23.40	0.000306	0.66	8.66	8.36	0.21
Scolo Palu	291.53	Tr 200 anni	31.26	22.20	25.39	23.51	25.44	0.000247	0.94	33.26	16.34	0.21
Scolo Palu	291.53	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.38	22.65	23.40	0.000334	0.67	8.48	8.69	0.22
Scolo Palu	289.13	Tr 200 anni	31.26	22.20	25.38	23.53	25.44	0.000229	1.04	30.12	17.65	0.21
Scolo Palu	289.13	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.38	22.66	23.40	0.000356	0.69	8.32	8.69	0.22
Scolo Palu	285		Bridge									
Scolo Palu	281.93	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.91	24.24	25.29	0.003357	2.74	11.39	6.75	0.60
Scolo Palu	281.93	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.21	22.92	23.36	0.003386	1.72	3.33	3.86	0.59
Scolo Palu	269.44	Tr 200 anni	31.26	22.12	24.65	24.27	25.19	0.005748	3.25	9.60	5.06	0.75
Scolo Palu	269.44	Tr 1 anno	5.71	22.12	23.12	22.88	23.30	0.004263	1.88	3.03	3.53	0.65
Scolo Palu	259.37	Tr 200 anni	31.26	22.07	24.59	24.23	25.14	0.003774	3.29	9.51	5.03	0.76
Scolo Palu	259.37	Tr 1 anno	5.71	22.07	23.09	22.84	23.27	0.002600	1.85	3.08	3.53	0.63
Scolo Palu	250		Bridge									
Scolo Palu	240.29	Tr 200 anni	31.26	21.98	24.32	24.18	25.04	0.005379	3.75	8.33	4.71	0.90
Scolo Palu	240.29	Tr 1 anno	5.71	21.98	23.06	22.76	23.23	0.002349	1.79	3.18	3.46	0.60
Scolo Palu	236.96	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.31	24.01	25.02	0.005236	3.72	8.39	3.89	0.81
Scolo Palu	236.96	Tr 1 anno	5.71	21.95	23.08	22.63	23.19	0.001455	1.49	3.83	3.54	0.46
Scolo Palu	230		Bridge									
Scolo Palu	224.44	Tr 200 anni	31.26	21.95	24.58	23.43	24.71	0.000526	1.59	19.73	10.73	0.36
Scolo Palu	224.44	Tr 1 anno	5.71	21.95	23.11	22.47	23.15	0.000355	0.84	6.79	7.12	0.27
Scolo Palu	220.86	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.58	23.57	24.71	0.000557	1.57	19.95	12.04	0.38
Scolo Palu	220.86	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.09	22.68	23.14	0.000662	1.00	5.69	7.56	0.37
Scolo Palu	215		Bridge									
Scolo Palu	213.83	Tr 200 anni	31.26	22.20	24.57	23.62	24.70	0.000625	1.64	19.08	11.77	0.40
Scolo Palu	213.83	Tr 1 anno	5.71	22.20	23.07	22.71	23.13	0.000850	1.11	5.14	7.16	0.42
Scolo Palu	200.8	Tr 200 anni	31.26	21.84	24.57	23.21	24.68	0.000398	1.46	22.77	12.48	0.31
Scolo Palu	200.8	Tr 1 anno	5.71	21.84	23.08	22.35	23.11	0.000218	0.69	8.27	7.78	0.21
Scolo Palu	137.69	Tr 200 anni	31.26	21.97	24.46	23.57	24.62	0.001205	1.84	20.03	30.66	0.43
Scolo Palu	137.69	Tr 1 anno	5.71	21.97	23.01	22.58	23.07	0.001172	1.11	5.17	6.31	0.39
Scolo Palu	3.36	Tr 200 anni	31.26	21.94	24.33	23.33	24.47	0.001001	1.68	19.60	20.28	0.39
Scolo Palu	3.36	Tr 1 anno	5.71	21.94	22.87	22.46	22.92	0.001000	0.99	5.76	7.47	0.36

## 10.2 Aree di esondazione ante operam e post operam

Lo studio, eseguito dall'ATI, 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 Palù.



<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 41 di 60

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:

- 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 consentono 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:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002</p>	<p>Rev. A</p>	<p>Foglio 42 di 60</p>



Figura 10-11 Aree di esondazione ante operam, relativa alla zona dello scolo Palù; gli allagamenti sono causati sia dall'idrografia principale sia dall'idrografia secondaria;

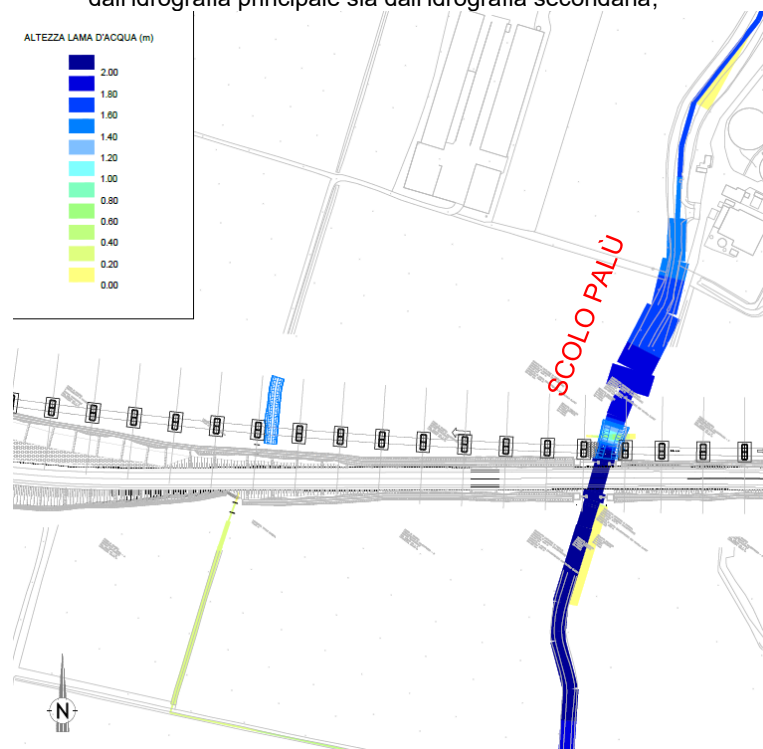


Figura 10-12 Aree di esondazione post operam, relativa alla zona dello scolo Palù; gli allagamenti sono causati sia dall'idrografia principale sia dall'idrografia secondaria;

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione specifica IN1710EI2RHID000003 RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE. N MODELLI NIDIFICATI INTERNAMENTE (SOTTOPASSI E STAZIONI ELETTRICHE).

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA</b>	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 RH VI05C8 002	Rev. A	Foglio 43 di 60

## 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.

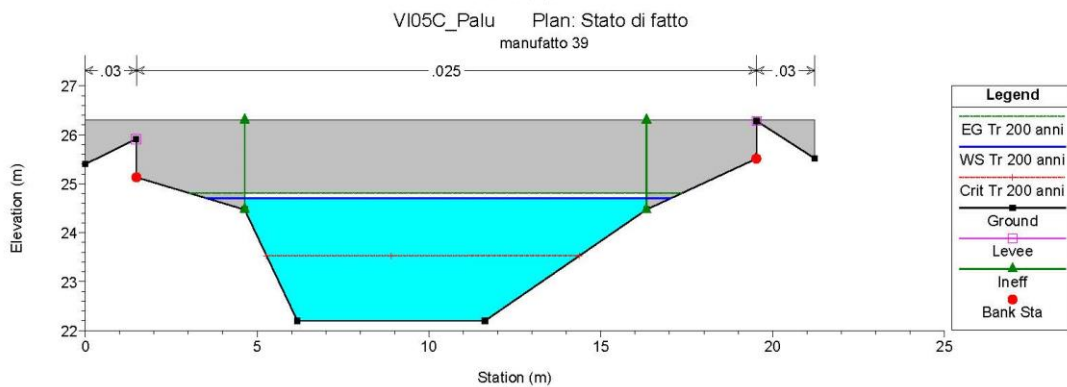
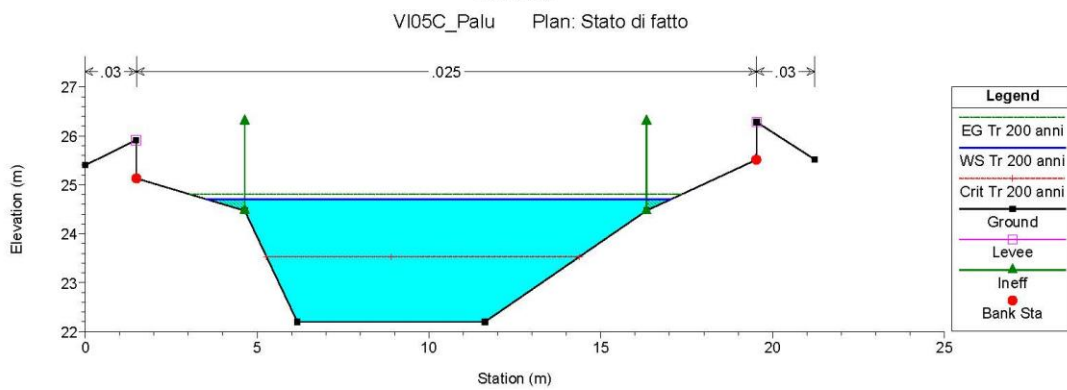
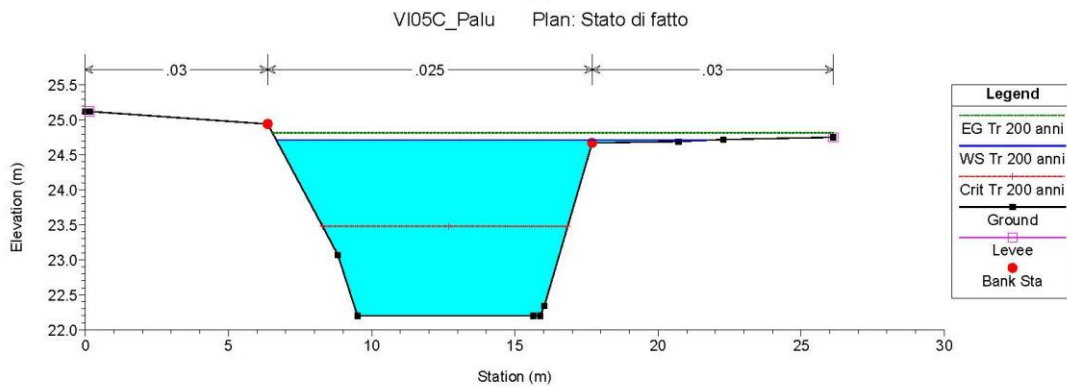
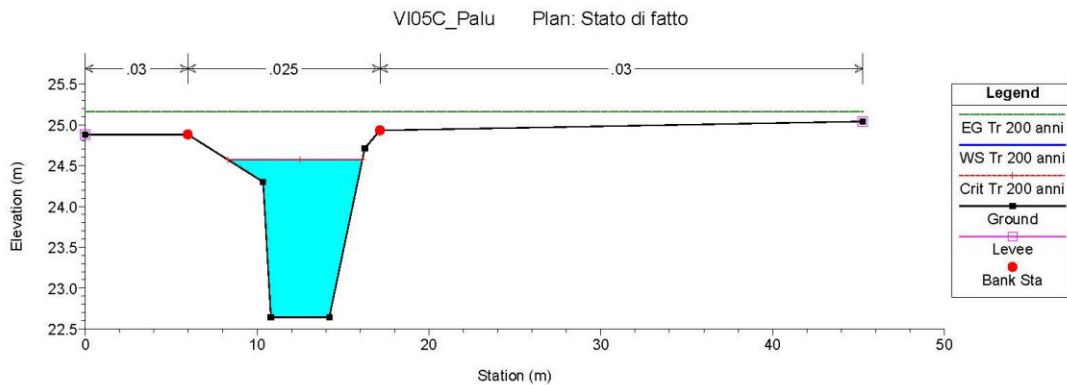
La soluzione proposta permette di risolvere l'interferenza con il rilevato della linea AV/AC. La portata di progetto esecutivo calcolata attraverso analisi idrologica e descritta nei paragrafi precedenti e pari a 31,26 m<sup>3</sup>/s porta ad ad una situazione critica della zona oggetto di sistemazione nella configurazione ante operam. La sistemazione di progetto permette di contenere la portata di progetto garantendo una protezione spondale al di sotto del viadotto ferroviario.

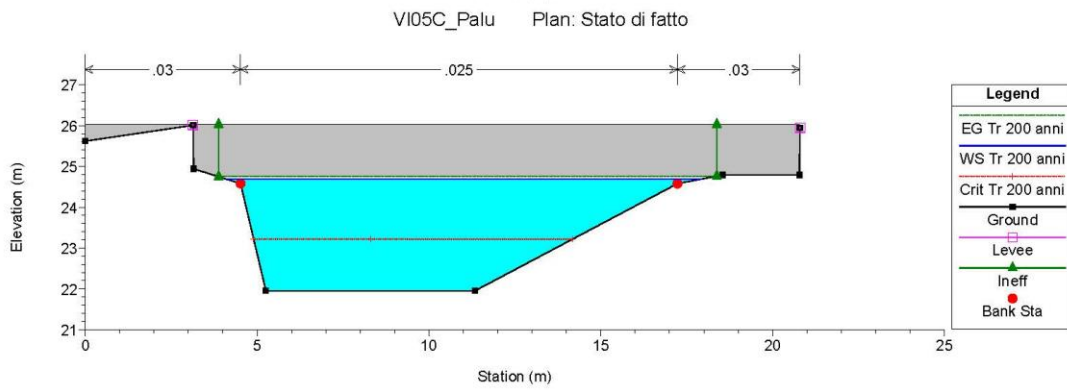
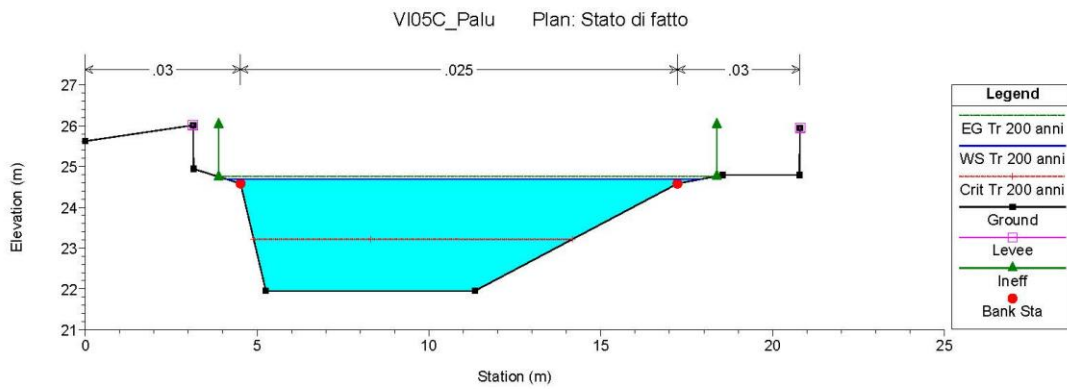
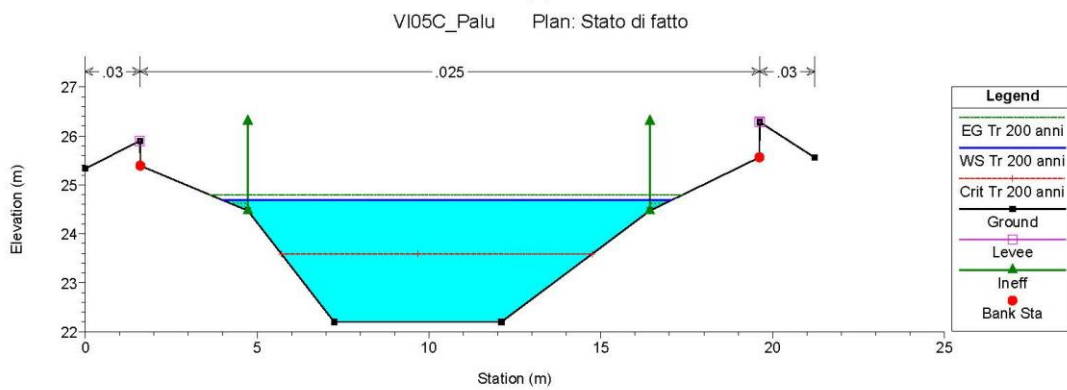
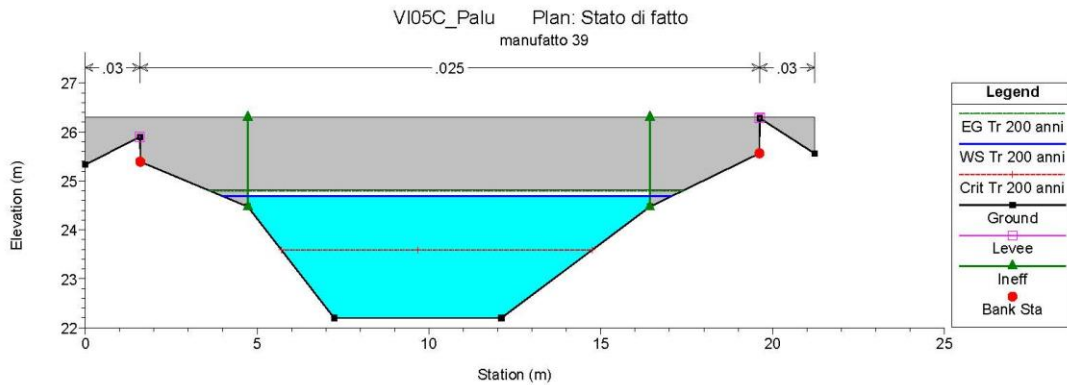
Il franco idraulico di sicurezza rispetto alla quota di sottotrave viene rispettato (min 1,50 m), in quanto per lo scolo Palù, in corrispondenza del ponte ferroviario il franco è di 7,80 m.

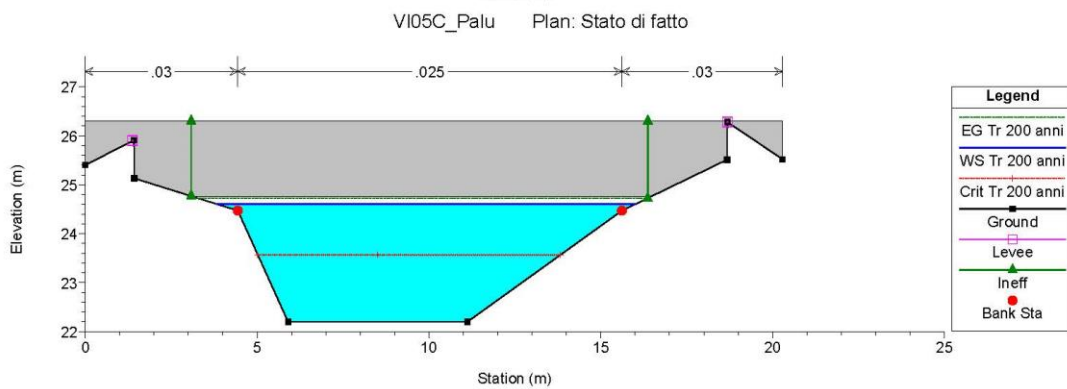
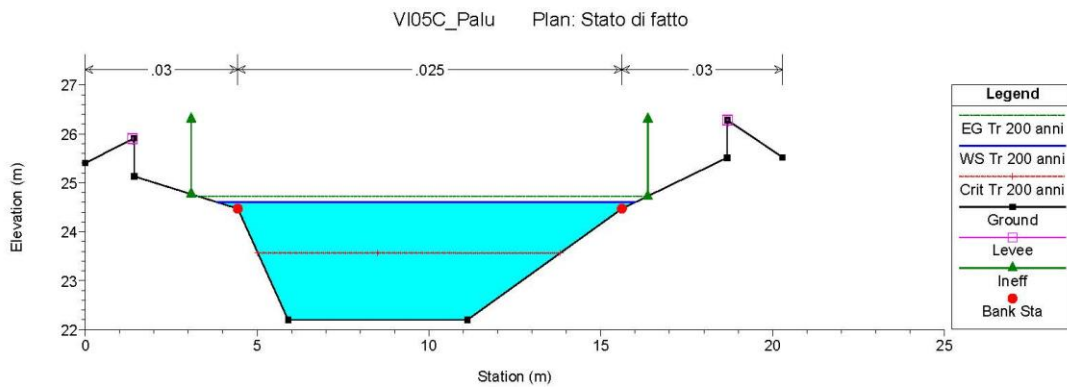
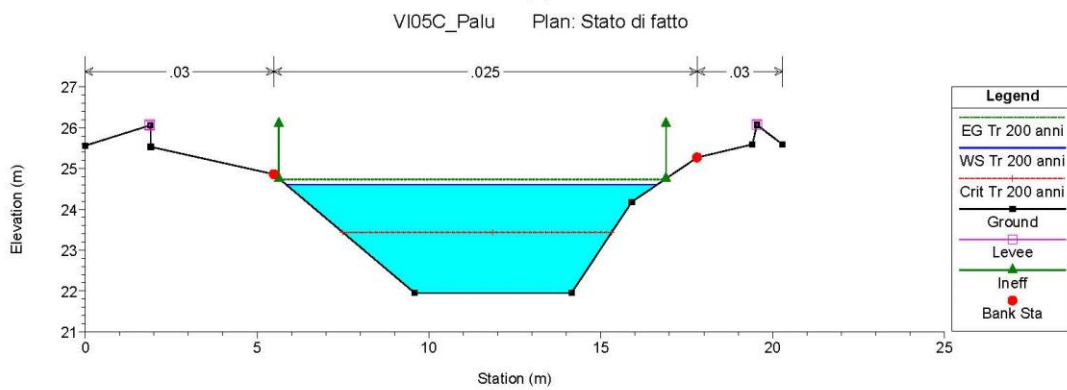
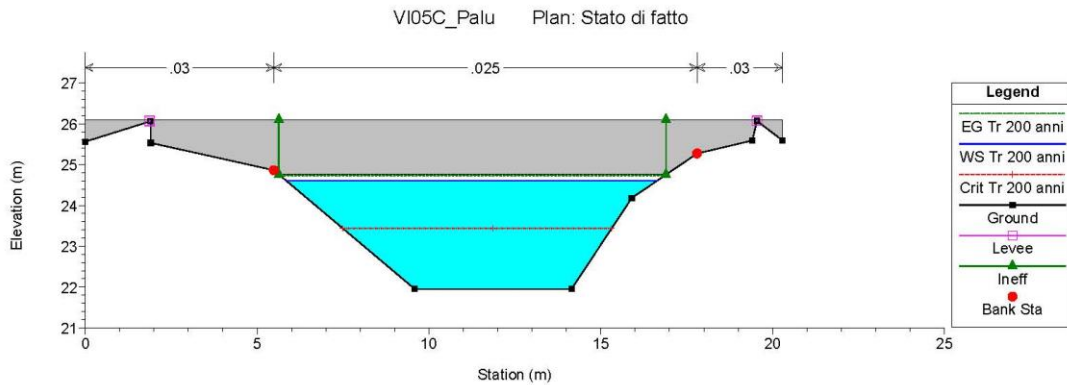
## ALLEGATI

### Risultati simulazioni

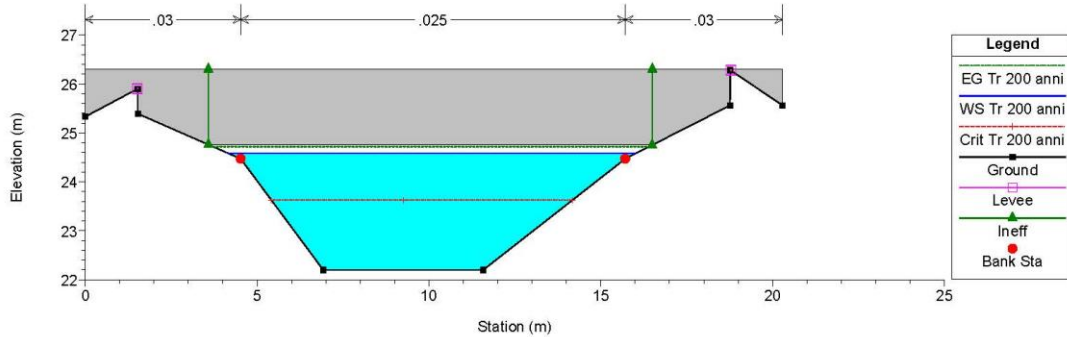
#### Risultati ante operam



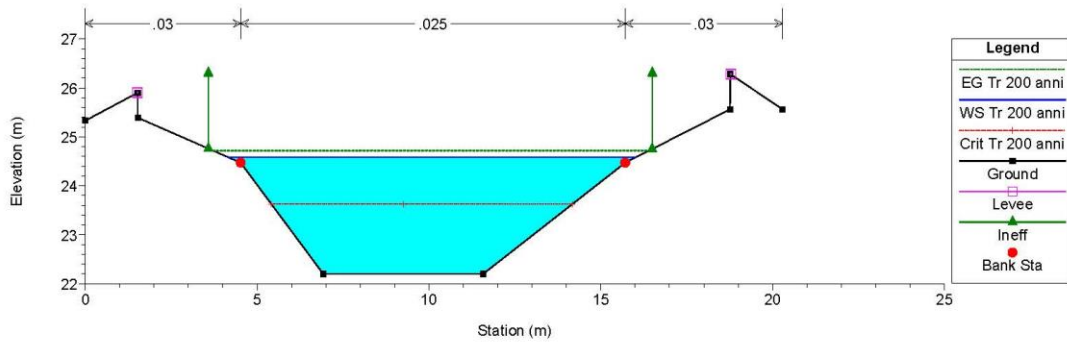




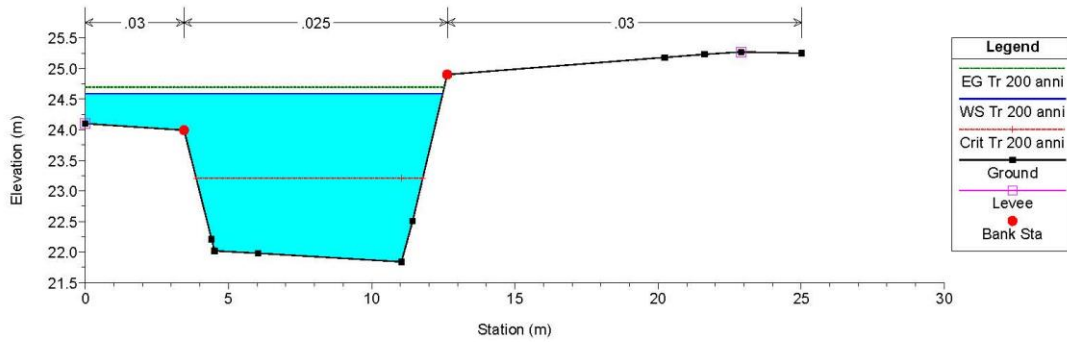
VI05C\_Palu Plan: Stato di fatto



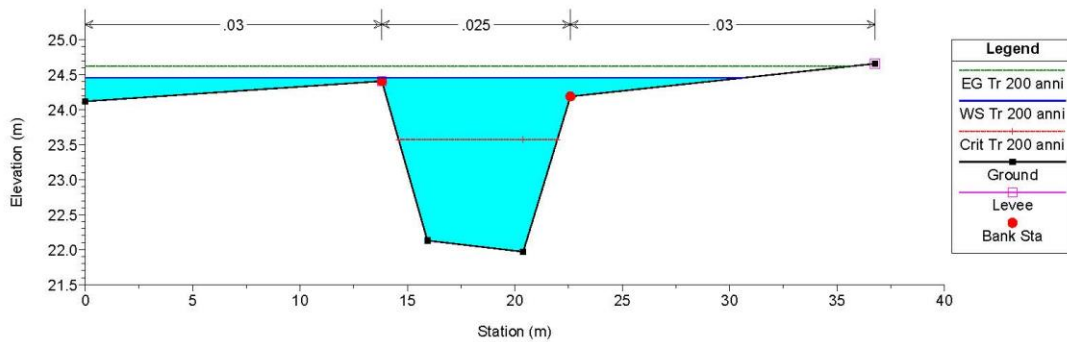
VI05C\_Palu Plan: Stato di fatto

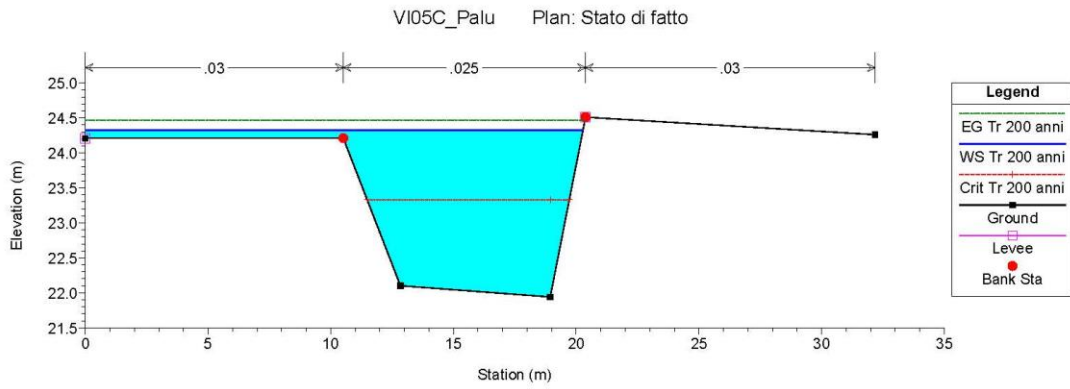


VI05C\_Palu Plan: Stato di fatto



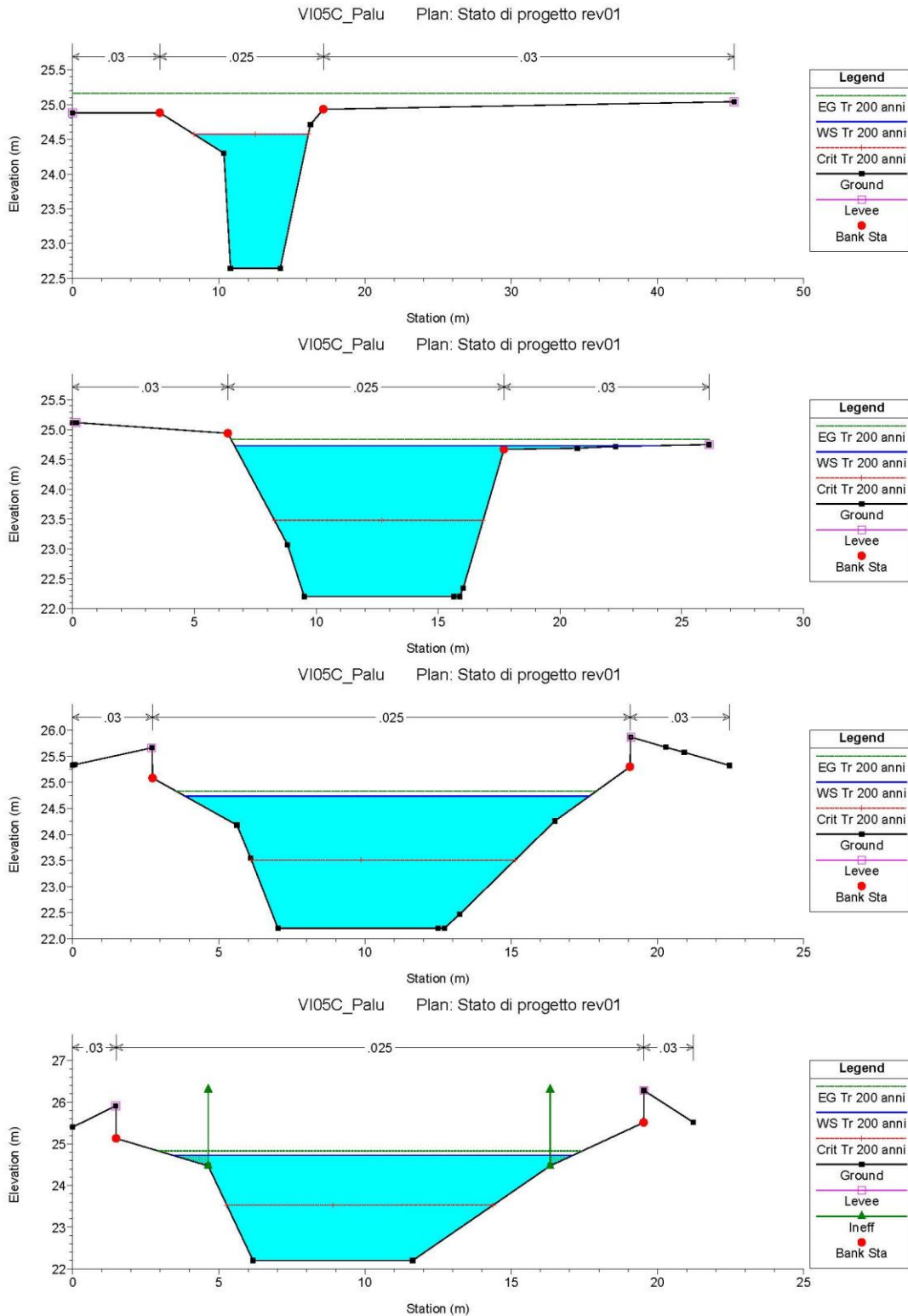
VI05C\_Palu Plan: Stato di fatto

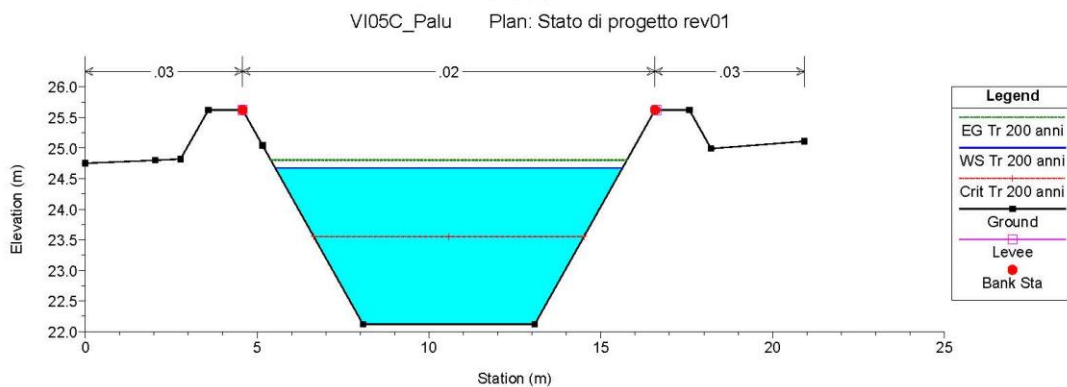
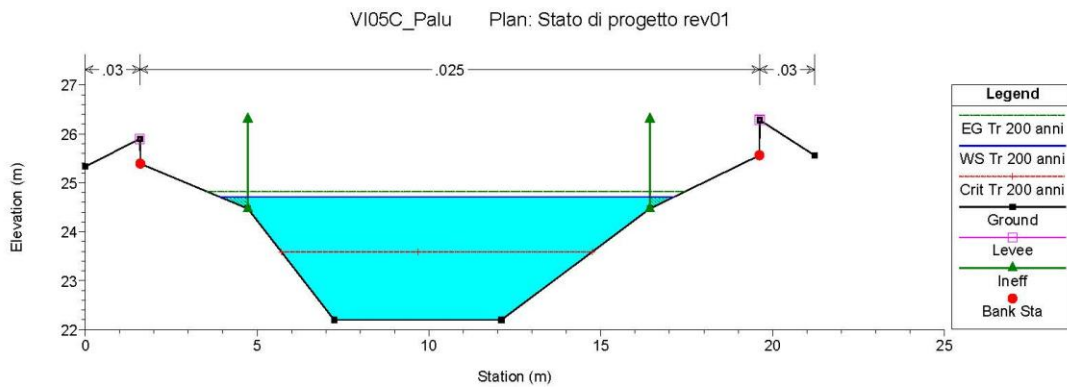
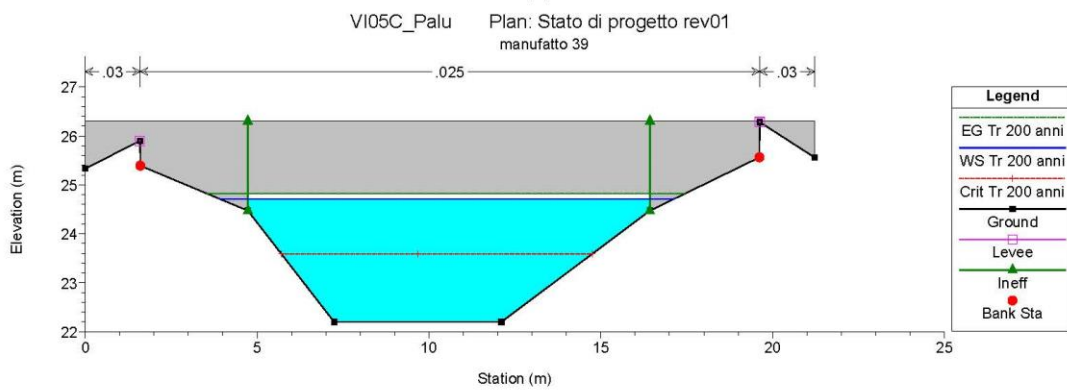
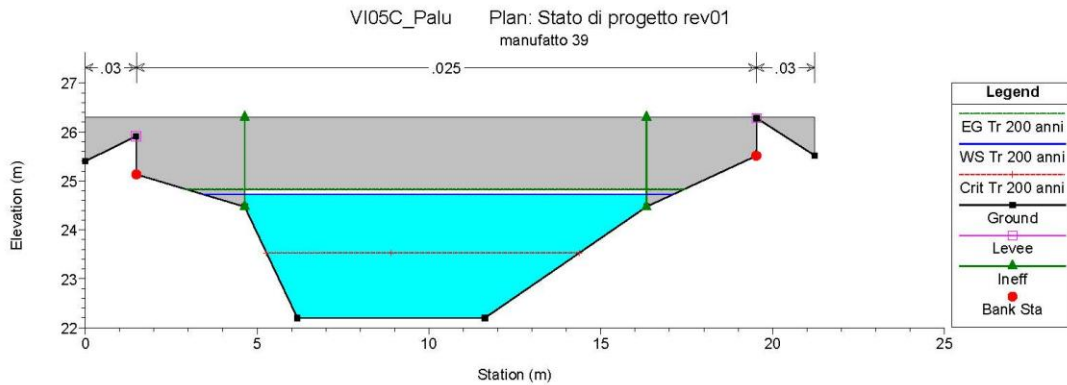


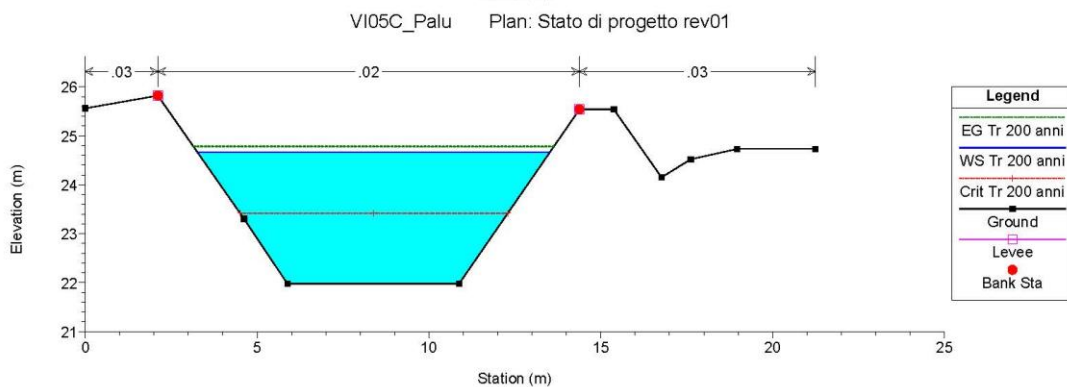
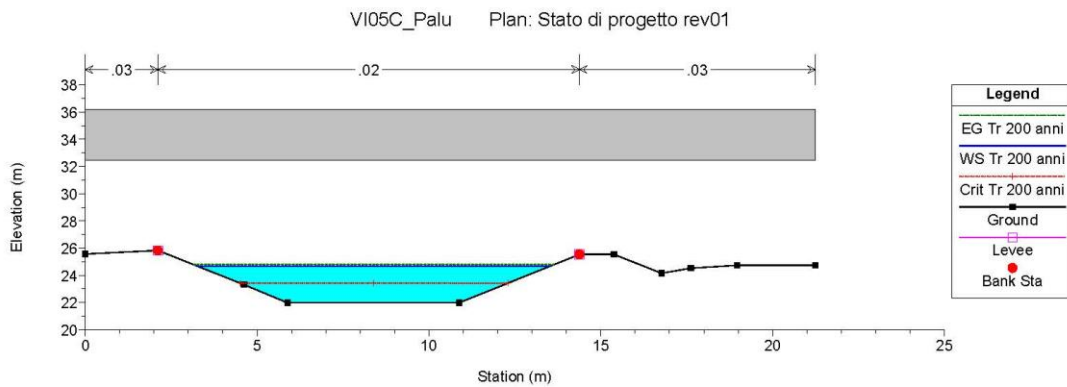
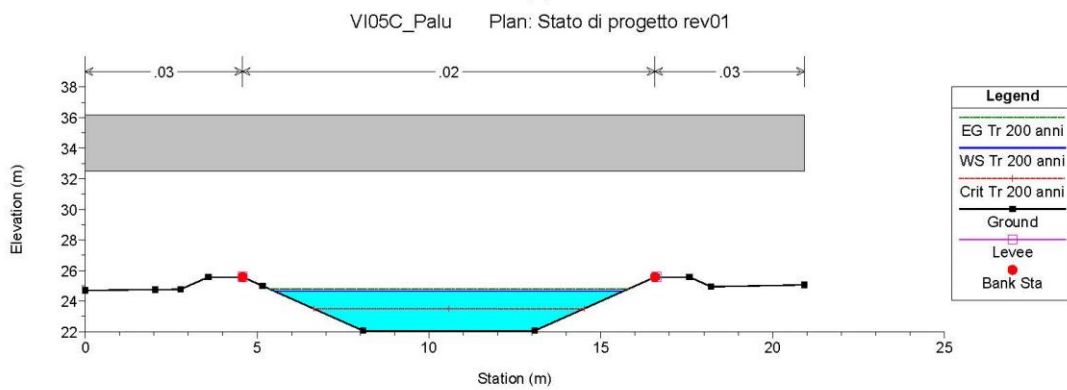
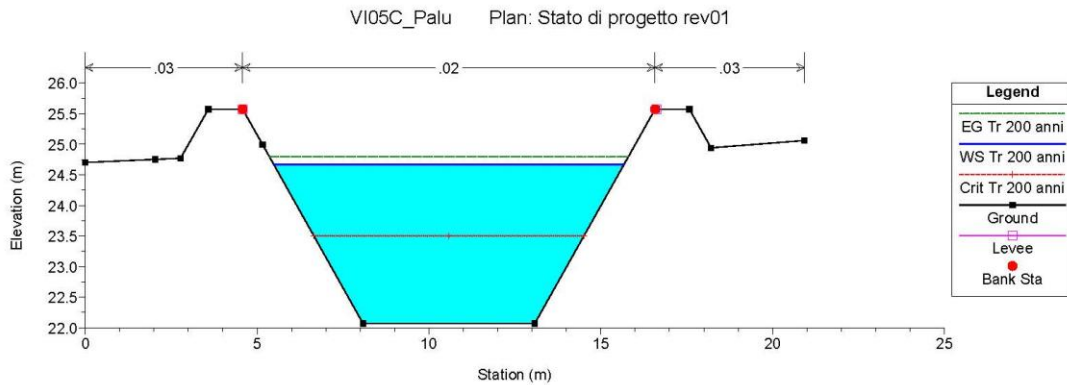




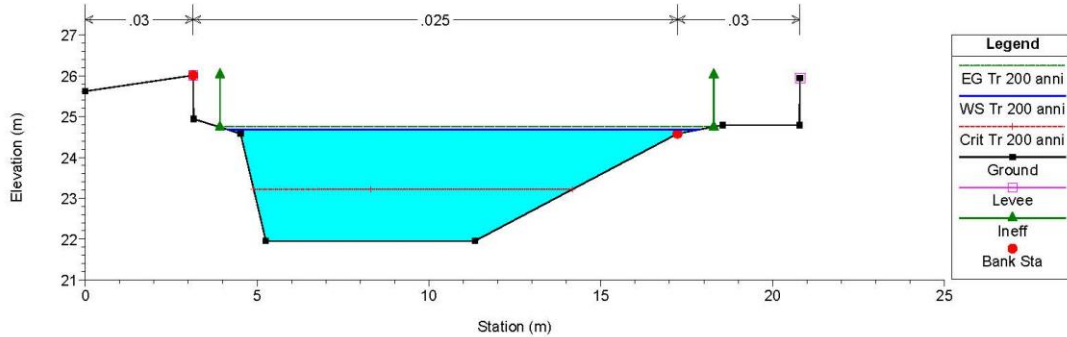
Risultati post operam



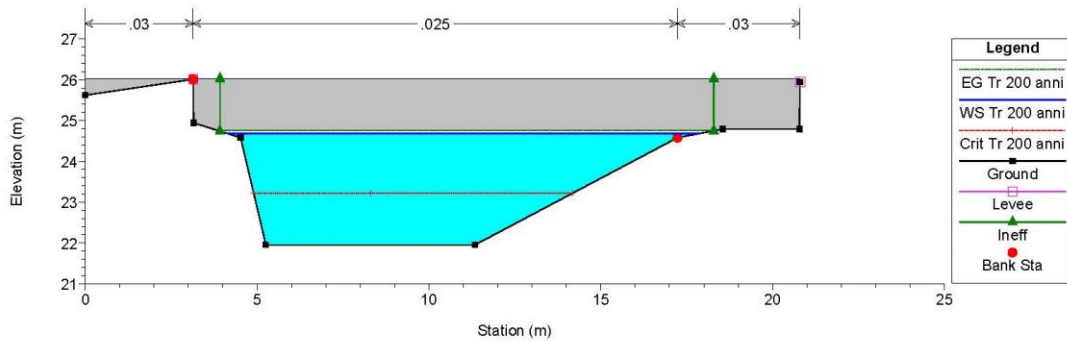




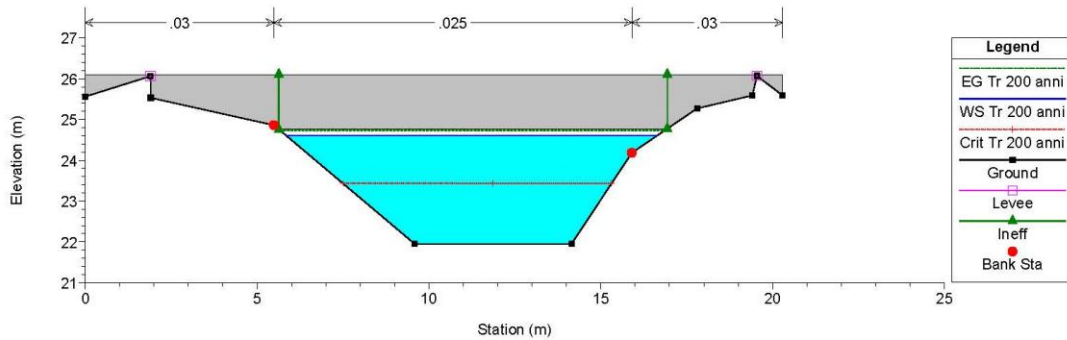
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



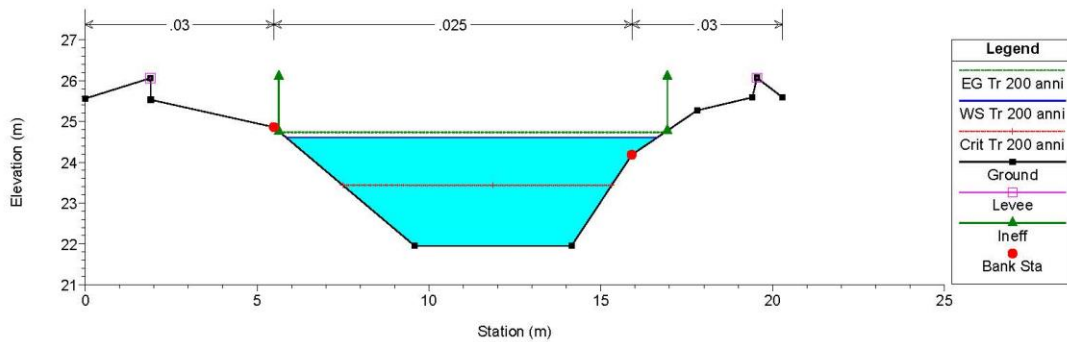
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



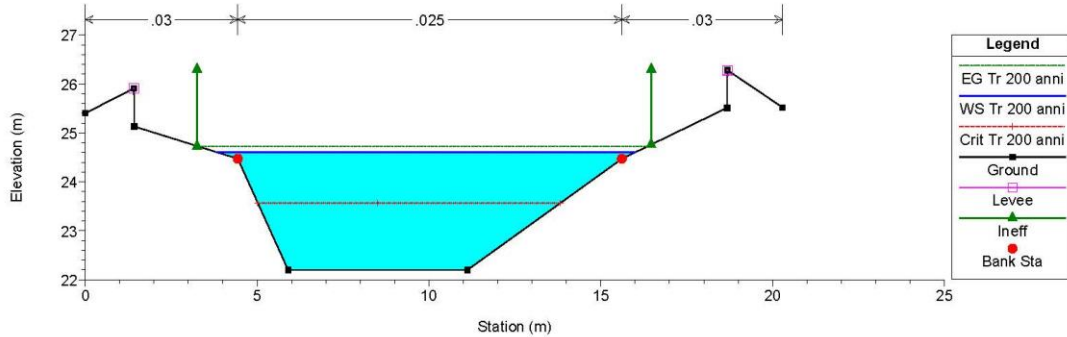
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



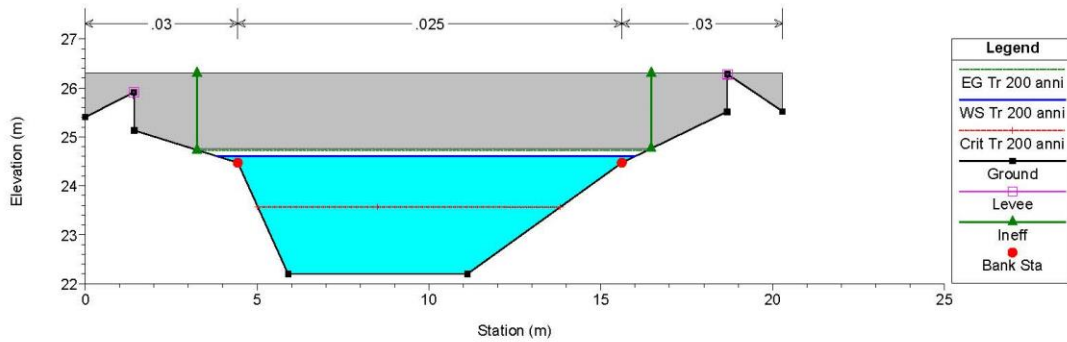
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



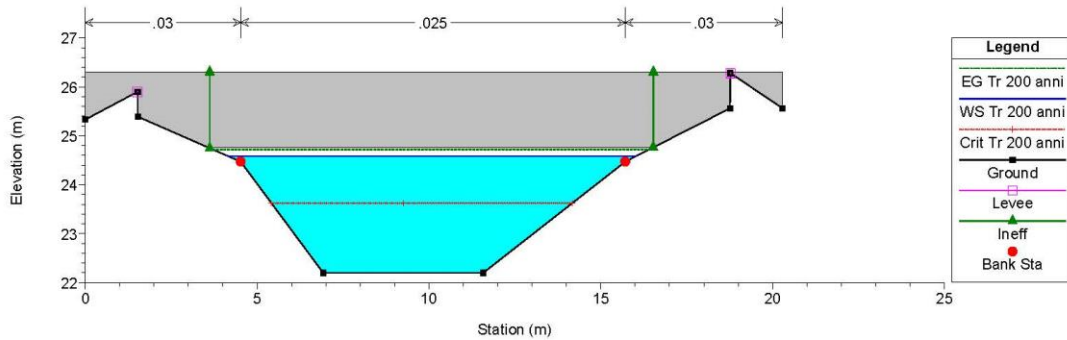
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



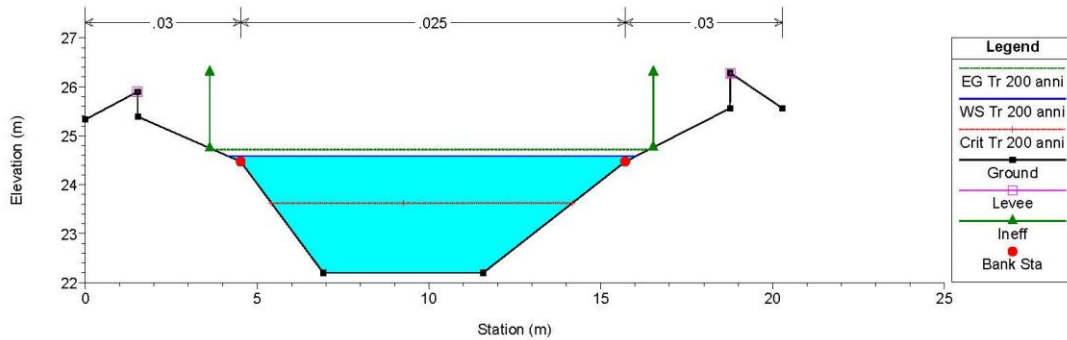
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01

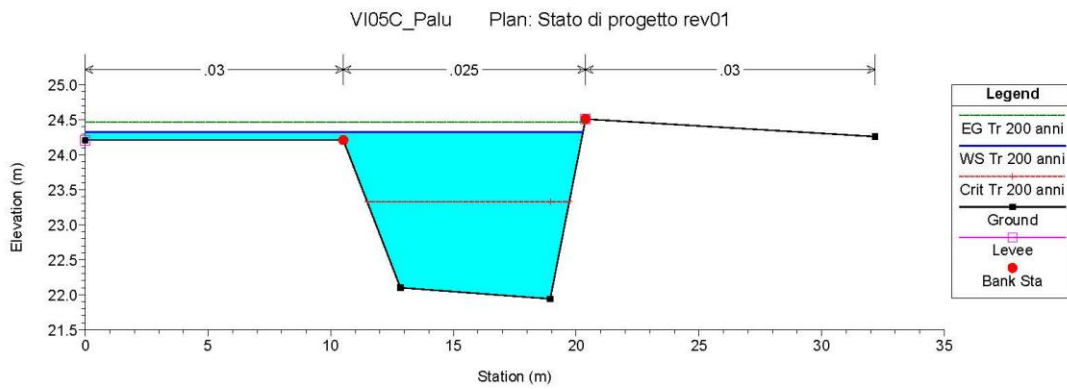
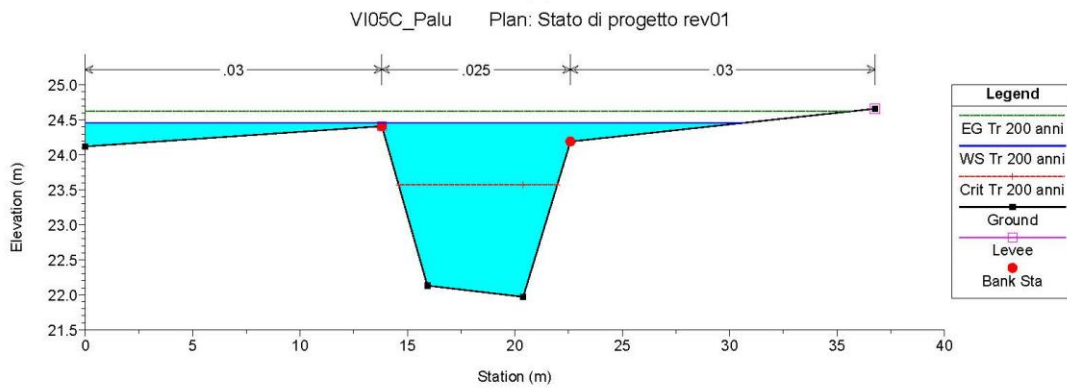
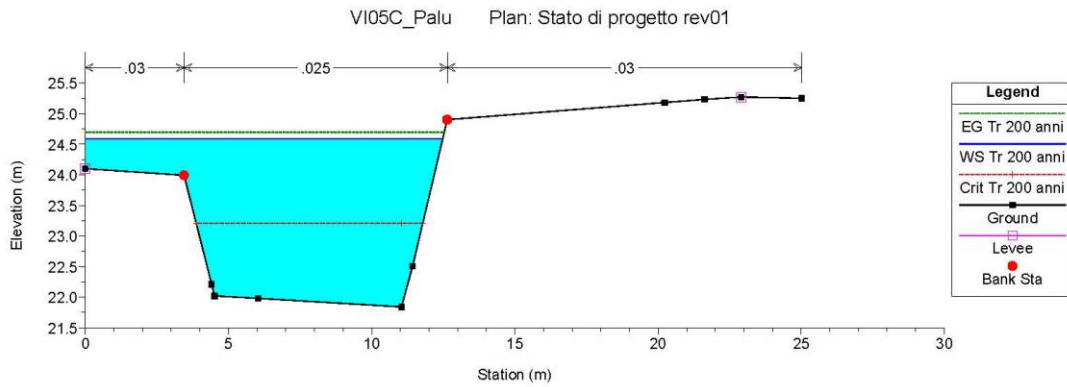


VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01

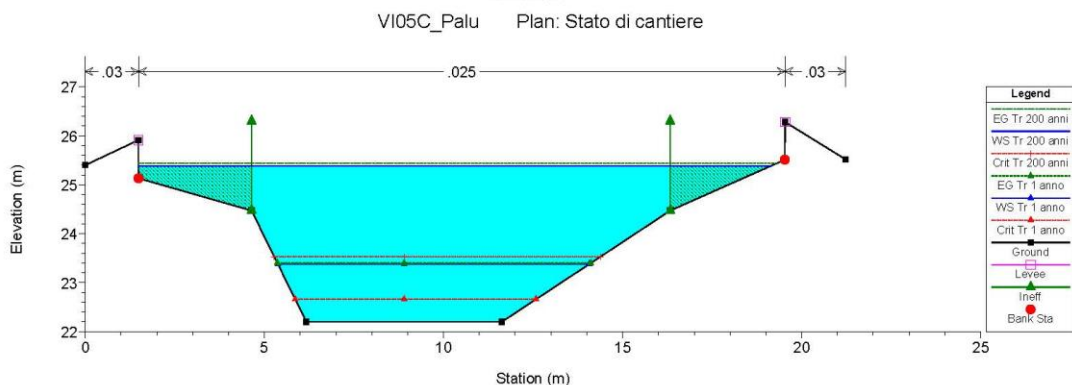
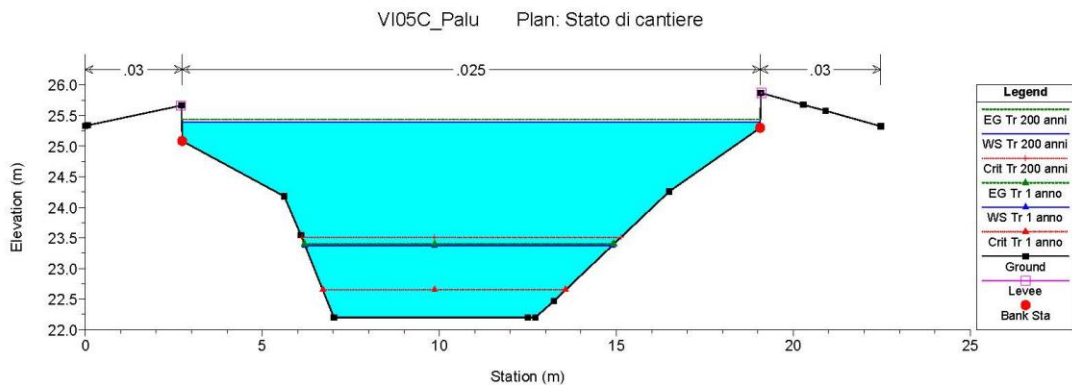
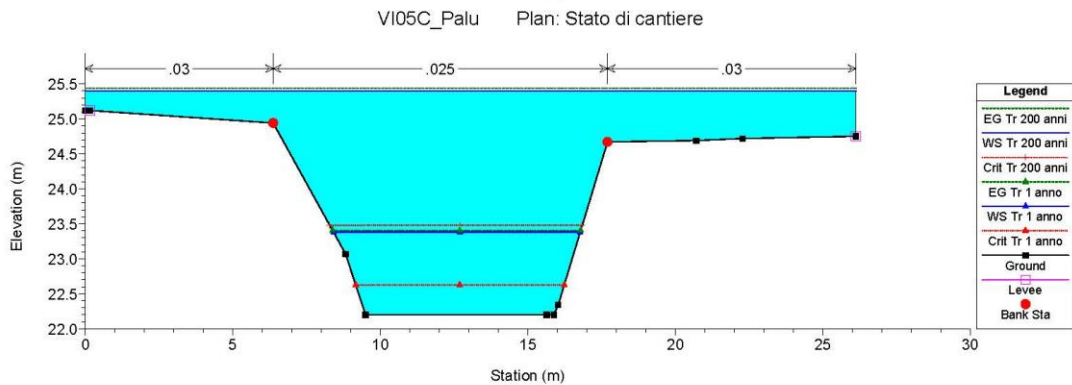
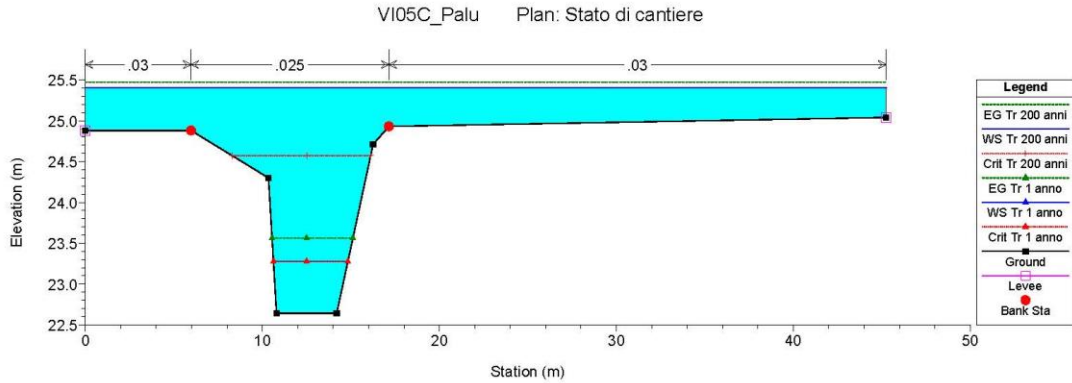


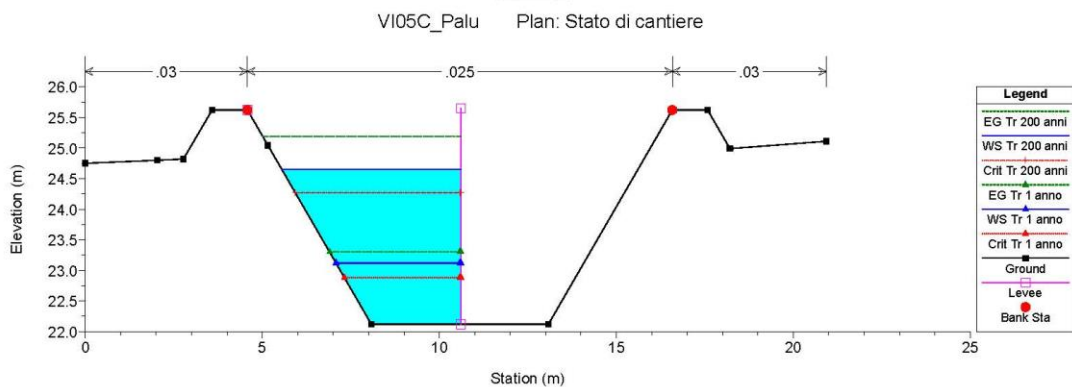
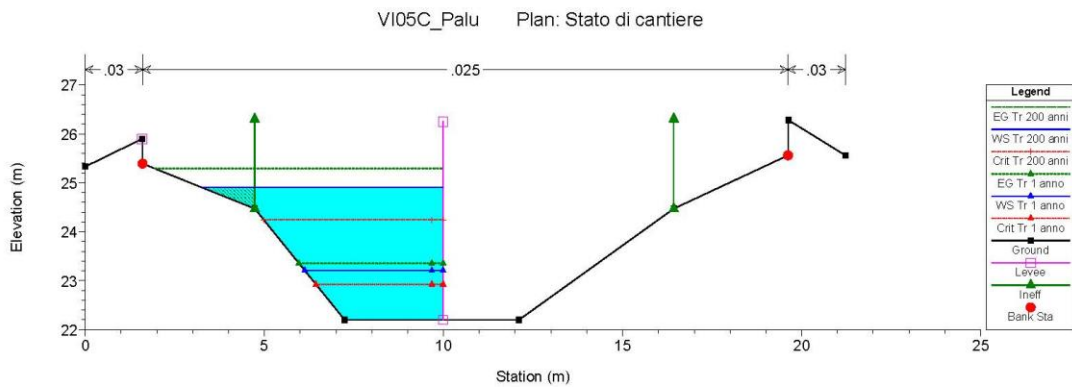
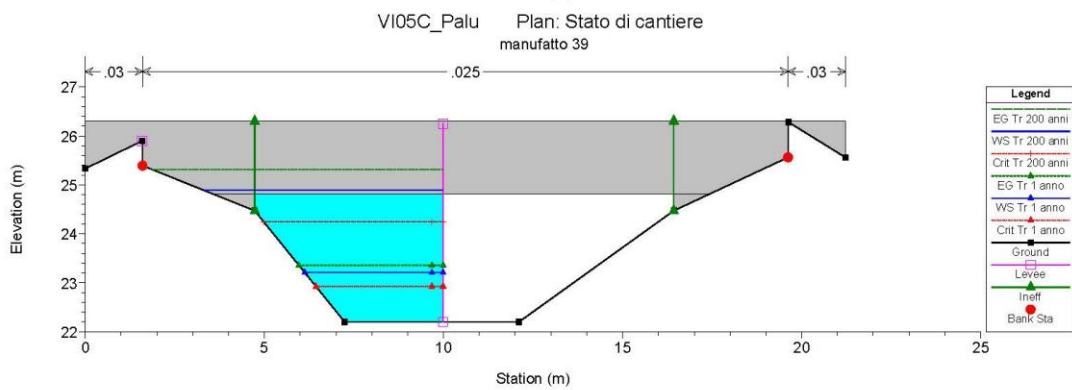
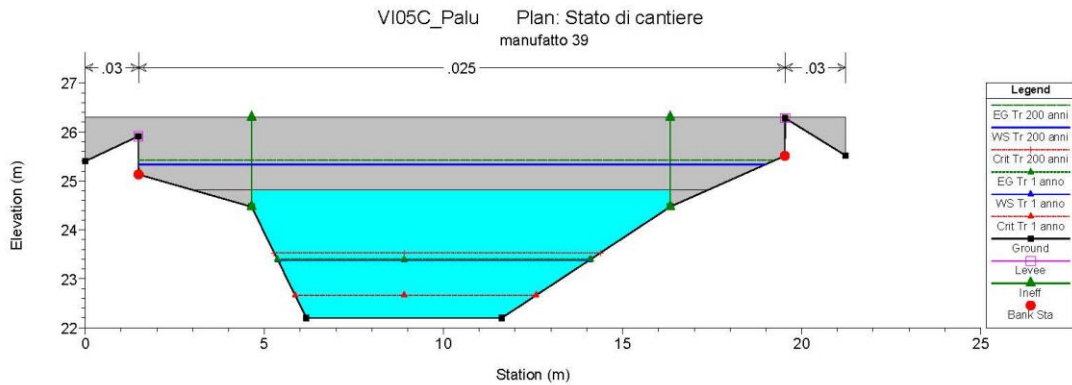
VI05C\_Palu Plan: Stato di progetto rev01



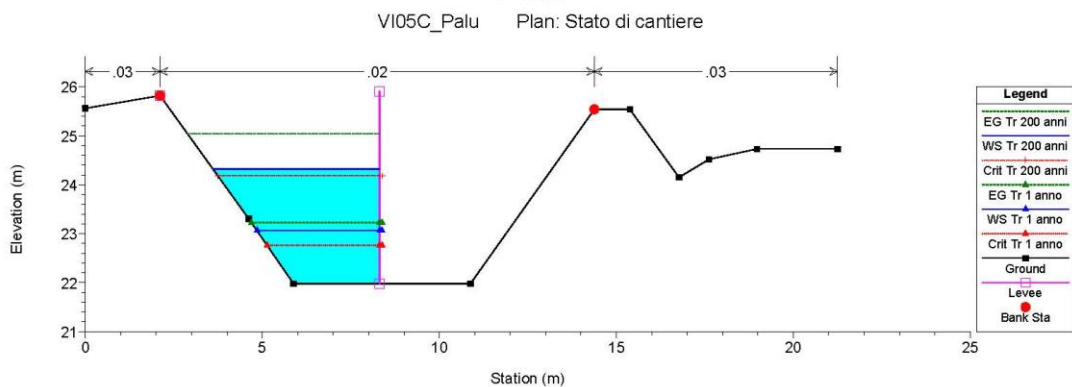
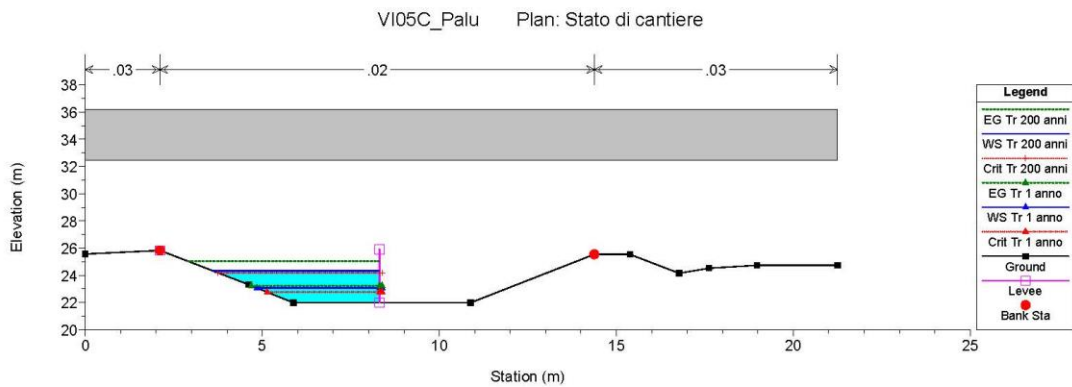
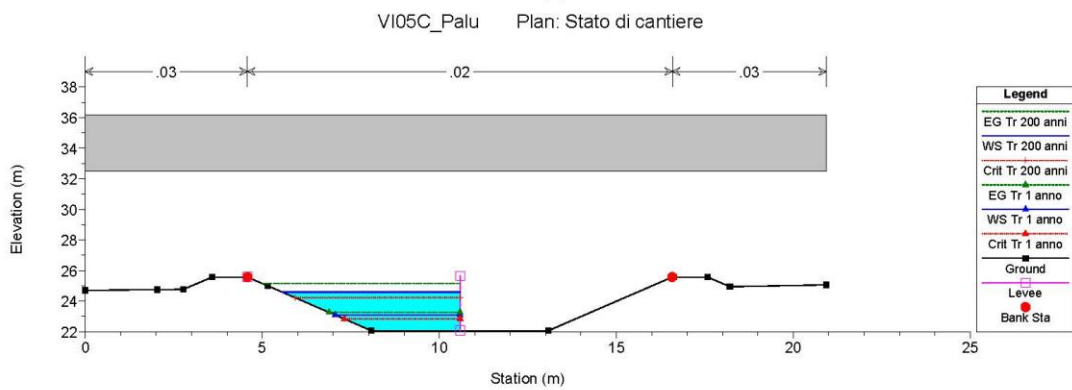
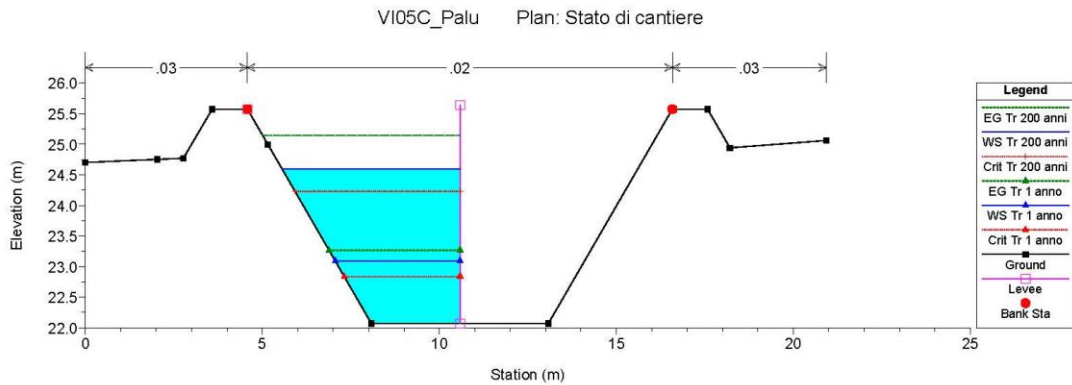


**Risultati cantierizzazione**

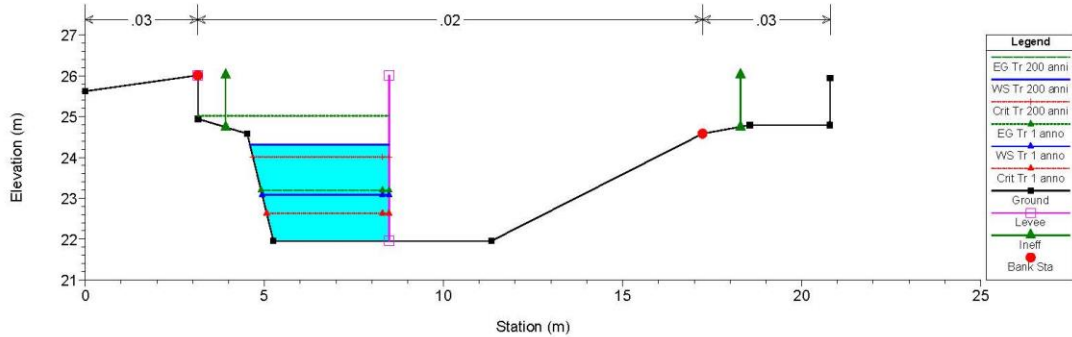




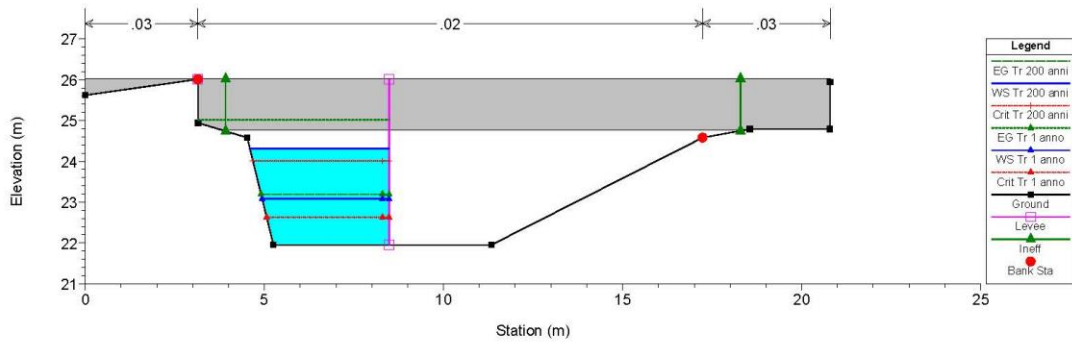




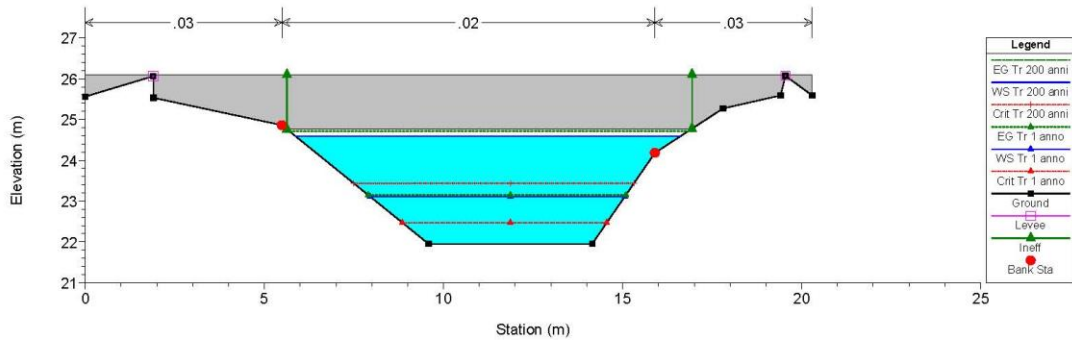
VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



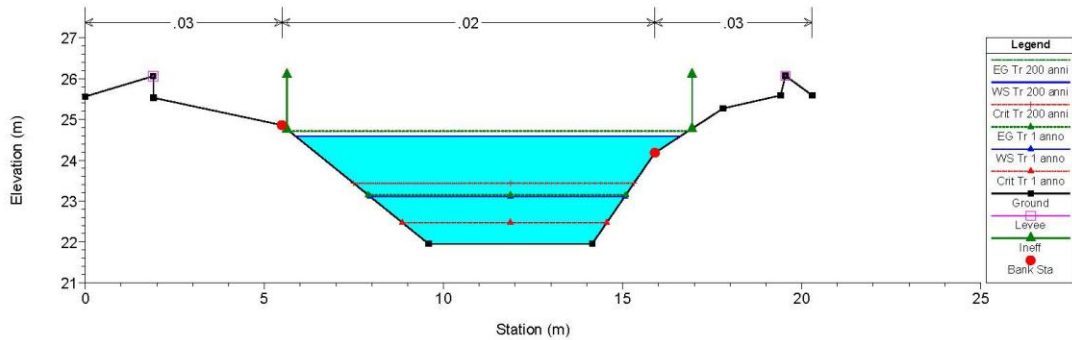
VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



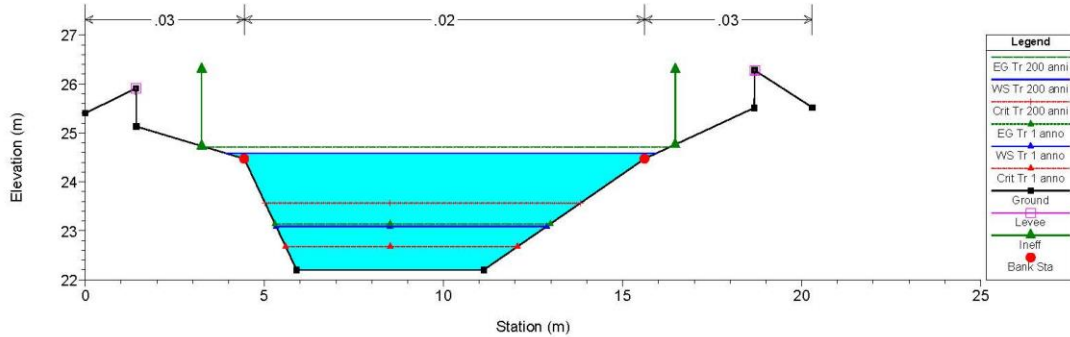
VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



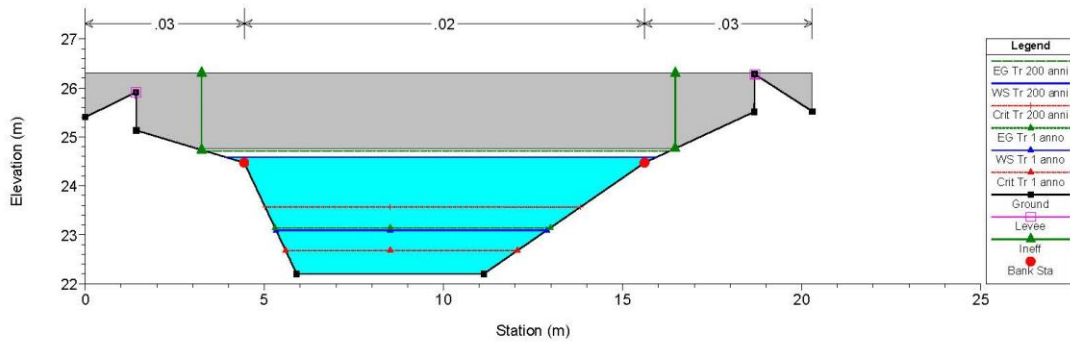
VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



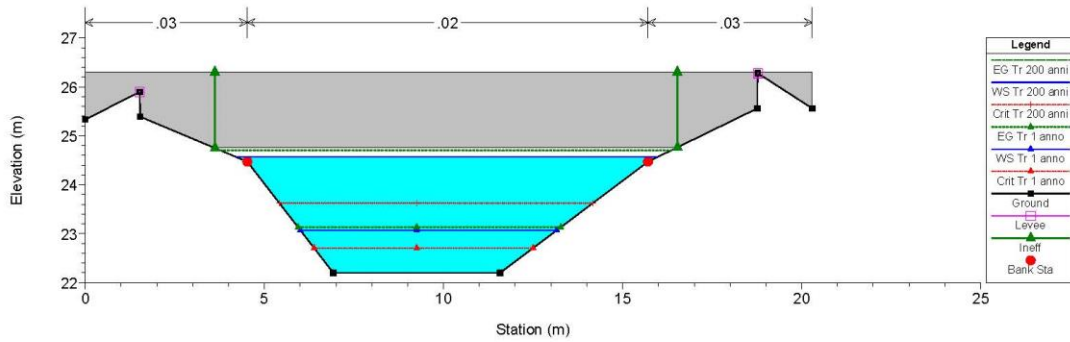
VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere



VI05C\_Palu Plan: Stato di cantiere

