

Regione Piemonte

Comune di Occimiano



**REALIZZAZIONE SISTEMA ARGINALE DEL  
TORRENTE ROTALDO PREVISTO DAL P.A.I  
NEL COMUNE DI OCCIMIANO (AL)  
(I LOTTO)**

COLLABORATORI:

Dr. Ing. S. Moscardini

**PROGETTO ESECUTIVO**

**STUDIO  
TECNICO  
ASSOCIATO**

Ing. Sandro Teruggi - Geom. Carlo D. Amabile  
Geom. Angelo P. Baldi - Geom. Antonino Buglisi

Via Mameli, 32 - 15033 Casale M. (AL)  
Tel. 0142 451515 - Fax 0142 590023  
ingsta@tin.it

Rev.	Data	REDAZIONE	APPROVAZIONE	AUTORIZZAZIONE
00	08/15	S. Moscardini	A. Baldi	S. Teruggi

**RELAZIONE IDRAULICA**



(Prof. Ing. Sandro Teruggi)

Elab. n.	A.2
Scala	
Data	agosto 2015
File n.	15S06



1. INTRODUZIONE.....	1
2. DIMENSIONAMENTO E VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'ARGINATURA IN PROGETTO .....	3
2.1 GEOMETRIA DEL TRATTO DI FIUME OGGETTO DI VERIFICA .....	3
2.2 IL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS .....	4
2.3 CONDIZIONI AL CONTO RNO DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	8
2.4 ANALISI IDRAULICA DELL'ARGINATURA DI PROGETTO.....	12
2.5 DESCRIZIONE DELLA DIFESA ARGINALE IN PROGETTO .....	17
2.6 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'ARGINATURA IN PROGETTO.....	22
2.7 RISULTATO DELLO STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	24
3. DEFINIZIONE DEL NUOVO LIMITE DI FASCIA B A SEGUITO DELL'INTERVENTO IN PROGETTO, PER TUTTO IL TRATTO DI CORSO D'ACQUA IN CUI È POSTO IL LIMITE B DI PROGETTO, FINO AL RACCORDO CON LA FASCIA B DEFINITA A MONTE E A VALLE DEL TRATTO STESSO .....	25

**Allegati:**

**Allegati:**

<b>AII. A1</b>	Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica – STATO DI FATTO
<b>AII. A2</b>	Profilo di verifica dell'analisi idraulica – STATO DI FATTO
<b>AII. A3</b>	Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI PROGETTO
<b>AII. A4</b>	Profilo di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI PROGETTO
<b>AII A5</b>	Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica nella configurazione di progetto, nell'ipotesi dell'inserimento della prevista arginatura PAI a valle del ponte della SP 31
<b>AII. B</b>	“Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter - Rete idrografica minore naturale di pianura Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del torrente Rotaldo”



## 1. INTRODUZIONE

---

Oggetto della presente relazione sono le verifiche idrauliche condotte per il dimensionamento e la progettazione dell'opera "Realizzazione sistema arginale del torrente Rotaldo, previsto da P.A.I nel comune di Occimiano" – I lotto. In particolare nel seguito sono sviluppati i calcoli idraulici relativi:

- **al dimensionamento della difesa arginale in sponda destra del torrente Rotaldo in corrispondenza dell'area industriale di Occimiano (a monte del tracciato della ex S.S. 31);**
- **alla definizione del tracciato della fascia B (nuovo) a seguito dell'intervento in progetto per tutto il tratto del Rotaldo in Occimiano, in cui è posto il limite B di progetto a monte del tracciato della ex S.S. 31.**

Il presente progetto ha come oggetto la risoluzione delle criticità idrauliche che interessano l'esistente area industriale di Occimiano, come individuate nel sottoprogetto SP4 dell'Autorità di bacino del fiume Po, circa la rete idrografica minore naturale ed artificiale, relativo all'integrazione dello stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del torrente Rotaldo.

Si pone in evidenza che rispetto a quanto indicato nella pianificazione PAI di riferimento (Sottoprogetto SP4- Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter - Rete idrografica minore naturale di pianura Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del torrente Rotaldo"), il progetto in questione si configura come **primo lotto** degli interventi di regimazione idraulica previsti nel territorio di Occimiano. Le somme finanziate (pari complessivamente a 700.000,00 € di cui 490.000,00 € di lavori) non sono infatti tali da consentire la realizzazione complessiva della fascia B di progetto PAI come indicata negli elaborati di piano e come anche quantificata economicamente dagli stessi. Nello sviluppo progettuale si è quindi previsto di procedere alla realizzazione della difesa arginale B di progetto PAI nella porzione a monte del ponte. Tale scelta permette infatti (come descritto nel seguito) di garantire, già a realizzazione avvenuta dei presenti interventi di I lotto, la piena sicurezza idraulica nei confronti degli eventi duecentennali e secondo normativa dell'esistente area industriale di Occimiano. Si sottolinea inoltre **che l'arginatura in progetto presenta caratteristiche realizzative**

**tali da garantire la piena sicurezza idraulica nei confronti degli eventi duecentennali e secondo normativa dell'esistente** area industriale di Occimiano, anche a seguito di una futura realizzazione della fascia B PAI di progetto a valle del ponte di attraversamento del tracciato della ex S.S. n. 31 "Del Monferrato" e della conseguente riduzione dell'area di esondazione del corso idrico in sponda destra (vds paragrafo 2.4).

Si sottolinea inoltre che nel seguito - unitamente agli aspetti di dimensionamento della difesa arginale - **è valutata la compatibilità idraulica dell'intervento in progetto** secondo quanto stabilito dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) all'art. 38 delle Norme di attuazione, che, nello specifico, disciplina gli interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico ricadenti all'interno delle fasce A e B, come nel caso in questione.

## **2. DIMENSIONAMENTO E VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'ARGINATURA IN PROGETTO**

---

L'obiettivo del presente capitolo è quello di **definire il dimensionamento dell'intervento in progetto** (arginatura a difesa dell'area industriale del comune di Occimiano –AL a monte del tracciato della ex S.S. 31, posta a ridosso della sponda destra del torrente Rotaldo) e di **valutarne la compatibilità idraulica** dell'intervento secondo quanto stabilito dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) all'art. 38 e in relazione con quanto riportato nel Sottoprogetto SP 4 circa i corsi d'acqua, naturali ed artificiali, minori.

La compatibilità idraulica di opere pubbliche o di interesse pubblico è subordinata al fatto che le stesse "... non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscono significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso...". Lo studio di compatibilità seguente si rifà, dunque, alla 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 del fiume Po n. 2 del 11 maggio 1999 e aggiornata con deliberazione n.10 del 5 aprile 2006.

### **2.1 GEOMETRIA DEL TRATTO DI FIUME OGGETTO DI VERIFICA**

Per la determinazione delle caratteristiche geometriche del tratto del torrente Rotaldo, che insiste in corrispondenza dell'area industriale di Occimiano, si è fatto riferimento alla documentazione messa a disposizione dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e a rilevamenti topografici effettuati in loco. Nello specifico si sono considerate le sezioni della tavola "n° 158100 GRANA 05 ROTALDO 04 SEZ\_I" dalla n. 32 alla n. 29, che nel complesso descrivono un tratto del corpo idrico Rotaldo di 1.700 m di sviluppo (si osserva che nella modellizzazione idraulica è considerato anche il tratto di Rotaldo a valle del ponte di attraversamento della ex S.S. n. 31). Negli elaborati B.4 "Rappresentazioni planimetriche simulazioni idrauliche" e B.5 "Tracciato della fascia B a seguito dell'intervento in progetto" è riportata la rappresentazione planimetrica dell'area in esame, la collocazione delle sezioni PAI di interesse e l'esatta ubicazione delle sezioni idrauliche considerate nell'analisi idraulica sviluppata, individuate mediante rilevamenti topografici effettuati ad hoc.

Come descritto in precedenza le opere idrauliche in progetto sono finalizzate alla difesa idraulica dell'area industriale di Occimiano, che risulta tra le più estese del

territorio casalese e che sorge in adiacenza della sponda idrografica destra del torrente Rotaldo.

A titolo esemplificativo della vulnerabilità dell'area in questione rispetto al rischio idraulico, si riporta che l'evento alluvionale del 15 dicembre 2008 che - pur non essendo eccezionale dal punto di vista della piena associata - ha colpito in modo estremamente devastante i complessi produttivi di Occimiano.

Si pone in evidenza al riguardo, che parte delle strutture industriali sorgono ai limiti della fascia B PAI del torrente Rotaldo e la fascia in questo tratto è classificata come "B di progetto PAI".

## 2.2 IL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS

Il modello idraulico utilizzato per il dimensionamento e la verifica di compatibilità idraulica dell'arginatura in progetto è il codice di calcolo **HEC-RAS**, che è stato messo a punto dal Corpo degli Ingegneri dell'Esercito Americano. Tale modello consente di calcolare lungo l'alveo dei corsi idrici superficiali il profilo della corrente liquida in condizioni di moto permanente, per correnti lente, veloci e nel caso di moto misto. In condizioni di corrente gradualmente variata, le equazioni risolte sono le monodimensionali dell'energia e le perdite di energia sono calcolate con la relazione di Manning.

Nei tratti dove c'è una forte variazione del livello del pelo libero e non vale l'ipotesi di corrente gradualmente variata (salti di fondo, ponti, confluenze) il livello idrometrico è elaborato risolvendo l'equazione della quantità di moto.

Il profilo della corrente viene ricavato con un procedimento iterativo che, partendo dalle condizioni al contorno e dalle portate defluenti, elabora<sup>1</sup> in sequenza il livello idrometrico per tutte le sezioni in cui è stato diviso il corso idrico utilizzando l'equazione dell'energia (o della quantità di moto).

L'equazione dell'energia per il generico tratto di estremi 1 e 2 (vds figura 2.2\_1) è discretizzata nella forma seguente:

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

con:

$Y_1$  e  $Y_2$  = altezze del pelo libero della corrente nelle sezioni 1 e 2 [m];

$Z_1$  e  $Z_2$  = quote di fondo dell'alveo nelle sezioni 1 e 2 [m];

---

<sup>1</sup> Partendo da valle e risalendo verso monte nel caso di corrente lenta e partendo da monte e scendendo verso valle nel caso di corrente veloce.



$V_1$  e  $V_2$  = velocità medie della corrente nelle sezioni 1 e 2 [m/s];  
 $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  = coefficienti di forma delle altezze cinetiche;  
 $g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];  
 $h_e$  = perdita di carico tra le sezioni 1 e 2 [m].

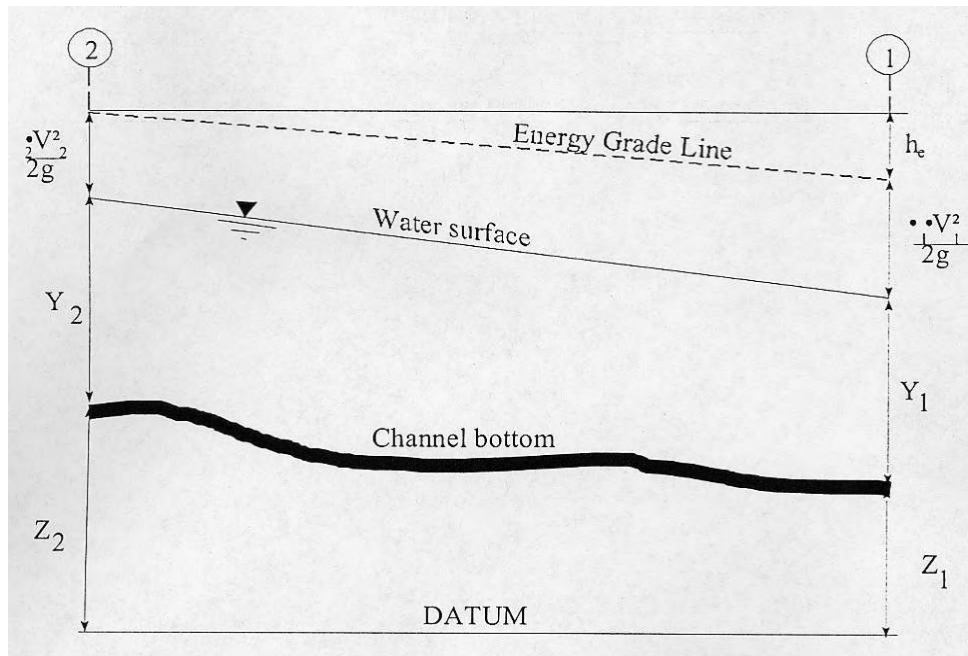


Fig. 2.2\_1 Esempio di applicazione dell'equazione dell'energia tra due sezioni

La perdita di carico  $h_e$  che si ha tra una sezione e l'altra è data dalla somma del termine relativo alle perdite distribuite e di quello relativo alle perdite concentrate per contrazione o espansione dovute alla variazione di larghezza della sezione trasversale ed è esprimibile secondo la seguente relazione:

$$h_e = LJ + c \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

con:

$L$  = distanza fra le 2 sezioni [m];

$J$  = cadente della linea dell'energia [m/m];

$c$  = coefficiente di espansione o contrazione.

La cadente  $J$  è ricavata utilizzando la formula di Chésy:

$$J = \frac{V^2}{C^2 R}$$

che, utilizzando per l'indice di resistenza  $C$  la formulazione di Manning, diventa:

$$J = n^2 \frac{V^2}{R^{4/3}}$$

*in cui:*

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning [ $s \cdot m^{-1/3}$ ];

$V$  = velocità media della corrente [ $m/s$ ];

$R$  = raggio idraulico [ $m$ ].

Il coefficiente di scabrezza di Manning è assunto pari a 0,023 per l'alveo principale del torrente Rotaldo e pari a 0,03 per le aree di golenia (vds paragrafo 2.3).

Per quanto concerne il coefficiente di contrazione o espansione  $c$  si sono utilizzati rispettivamente i valori 0,1 e 0,3, caratteristici di una variazione graduale e adottati in quanto nel tratto in esame non sono presenti ponti o brusche variazioni della sezione idraulica.

Come ricordato poco sopra, l'equazione dell'energia si può applicare solo nel caso in cui il moto è gradualmente variato. Nei casi in cui questa ipotesi cade, per determinare il profilo della corrente il modello idraulico impiega l'equazione della quantità di moto, che è derivata dalla seguente relazione che eguaglia la variazione dello stato energetico della massa liquida nella direzione del suo spostamento alla somma delle forze che agiscono sulla massa stessa:

$$\frac{dE}{dl} = \sum F$$

con:

$E$  = energia cinetica della massa liquida;

$l$  = coordinata spaziale lungo la direzione del moto;

$\sum F$  = somma delle forze esterne agenti sulla massa.

La variazione della quantità di moto per il tratto di estremi 1 e 2 viene discretizzata quindi nella forma seguente (vds figura 1.2\_2):

$$P_2 + P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

con:

$P_1$  e  $P_2$  = pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;

$W_x$  = componente del peso della massa liquida tra le sezioni 1 e 2 nella direzione del moto;

$F_f$  = somma delle forze di attrito esterne tra le sezioni 1 e 2;

$Q$  = portata;

$\rho$  = densità dell'acqua;

$\Delta V_x$  = variazione della velocità della corrente tra le sezioni 1 e 2.

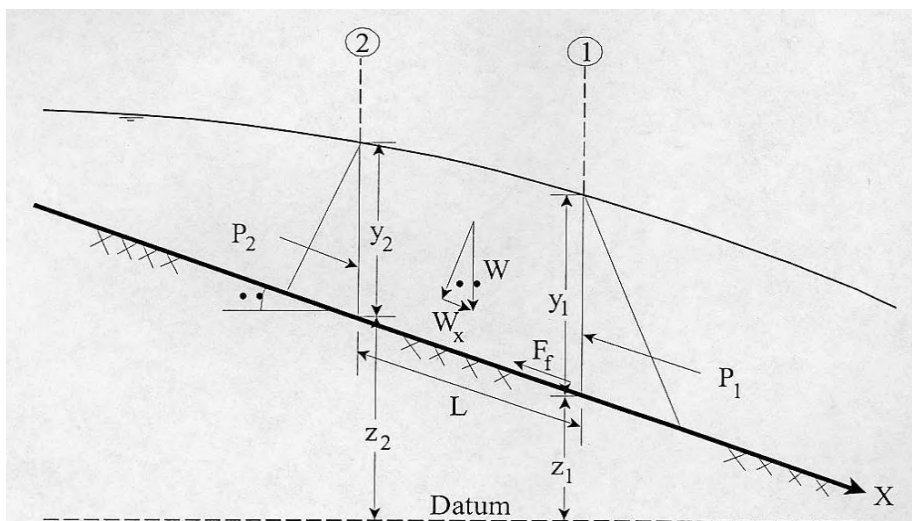


Fig. 2.2\_2 Esempio di applicazione dell'equazione della quantità di moto tra due sezioni

Nel caso in esame, tuttavia, il moto della corrente risulta sempre gradualmente variato.

## 2.3 CONDIZIONI AL CONTERNO DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le condizioni al contorno indispensabili per lo sviluppo delle simulazioni idrauliche sono rispettivamente:

- la **portata di progetto** (di dimensionamento e di verifica della compatibilità idraulica) defluente nel tratto del torrente Rotaldo di interesse;
- e, considerando che la tipologia di corrente che si istaura nel tratto d'alveo in questione è lenta, la **quota del pelo libero** nella sezione di valle per la portata di progetto considerata.

Per quanto concerne la **portata di progetto** si è fatto riferimento alla portata di piena duecentennale, che in generale definisce i limiti della fascia "B", come indicata nel **"Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), LINEE GENERALI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E QUADRO DEGLI INTERVENTI, Bacino del torrente Rotaldo"**. In particolare nella seguente tabella 2.3\_1 sono riportate le portate con tempi di ritorno ventennali, centennali, duecentennali e cinquecentennali per tre diverse sezioni del torrente:

Sez.	Q <sub>T</sub> =20 anni (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>T</sub> =100 anni (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>T</sub> =200 anni (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>T</sub> =500 anni (m <sup>3</sup> /s)
1	111	154	183	191
24	98	135	152	170
38	81	110	123	141

*Tab. 2.3\_1 Portate a diversi tempi di ritorno  $T_r$ , per tre diverse sezioni del torrente, come riportate a pag 11 delle Linee generali di assetto Idrogeologico e quadro degli interventi per il Bacino del torrente Rotaldo. Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*

Si osserva che la portata di **progetto duecentennale** utilizzata nell'analisi idraulica in questione è assunta **pari 140 m<sup>3</sup>/s** e quindi è più cautelativa di quella relativa alla sezione n. 38 del Sottoprogetto SP1.4 (pari a **123 m<sup>3</sup>/s**). Poiché la portata duecentennale indicata nel Sottoprogetto SP1.4 è definita nelle sezioni 38 (a monte del tratto di torrente in esame) e 24 (a valle del tratto di torrente in esame) -

rispettivamente nei valori di 123 m<sup>3</sup>/s e di 152 m<sup>3</sup>/s – per il tratto di corso d’acqua interessato dall’intervento si è calcolata una portata intermedia di 140 m<sup>3</sup>/s.

Nel dettaglio il valore assunto a base della presente verifica (140 m<sup>3</sup>/s) è stato calcolato:

- facendo riferimento alla sezione n. 30 con progressiva 15191, localizzata immediatamente a monte del ponte di attraversamento della ex S.S. n. 31, in posizione baricentrica rispetto al tratto del torrente Rotaldo oggetto dell’analisi;
- a partire dalle portate duecentennali e dalle relative progressive delle sezioni n. 38 – portata pari a 123 m<sup>3</sup>/s e progressiva 20192 – e n. 24 – portata pari a 152 m<sup>3</sup>/s e progressiva 119121 – (come indicato nel “Progetto di integrazione al piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI), LINEE GENERALI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E QUADRO DEGLI INTERVENTI, Bacino del torrente Rotaldo”).

Si osserva che – come richiesto da parte della Conferenza dei Servizi relativa al progetto preliminare, nella seduta del 25 febbraio 2014 - nello sviluppo dell’analisi idraulica, come condizione al contorno della sezione di valle (sezione HEC-RAS n. -5, corrispondente alla sezione PAI n. 29) è stato assunto cautelativamente un tirante idrico di 3,91 m sul fondo (quota tirante PAI 113,34 – quota fondo PAI 109,43).

Per quanto concerne poi i **valori di scabrezza** utilizzati nell’analisi idraulica e riportati nella tabella seguente:

<i>Valori di scabrezza secondo Manning assunti nella verifica idraulica</i>		
Golena sinistra	Asta principale	Golena destra
0.03	0.025	0.03

si osserva che sono del tutto compresi nei range di valori indicati in Letteratura per corsi idrici di natura analoga al tratto del torrente Rotaldo in esame, caratterizzato da un alveo con tracciato di tipo regolare, senza ristagni d’acqua e pulito, con presenza di golene coltivate e libere da alberi (vds figure seguenti).



*Tratto Rotaldo in corrispondenza del ponte di attraversamento della ex S.S. 31*



*Tratto Rotaldo in adiacenza all'area industriale di Occiminano a monte del ponte di attraversamento della ex S.S. 31*





*Tratto Rotaldo e golena destra a monte dell'area industriale di Occimiano*



*Tratto Rotaldo e golena destra a valle del ponte di attraversamento della ex S.S. 31 – sullo sfondo si nota il rilevato su cui sorge l'area industriale a valle della ex S.S. 31, il rilevato ha una quota di circa 1,6 m superiore al piano campagna*

## 2.4 ANALISI IDRAULICA DELL'ARGINATURA DI PROGETTO

Come anticipato, per il dimensionamento e la verifica dell'arginatura di progetto, è stata elaborata un'analisi idraulica ad hoc, impiegando il modello idraulico HEC-RAS. In particolare la geometria del sistema nella configurazione di progetto è stata ottenuta, a partire da rilievi topografici realizzati ad hoc, implementando i dati dimensionali della prevista difesa sulla topografia esistente (vds elaborati B.3.1 "Planimetria di rilievo e progetto sistema arginale TAV 1", B.3.2 "Planimetria di rilievo e progetto sistema arginale TAV 2", C.1.1 "Profilo arginatura e relative sezioni costruttive TAV 1" e C.1.2 "Profilo arginatura e relative sezioni costruttive TAV 2").

Le verifiche sono state elaborate in regime di moto permanente e fanno riferimento sia allo **stato di fatto** (*ante operam*), sia alla **configurazione di progetto** (*post operam*).

Nel dettaglio nell'elaborato B.4 "Rappresentazioni planimetriche simulazioni idrauliche" sono riportate le rappresentazioni planimetriche dei risultati delle simulazioni, sia relative allo stato di fatto (*ante operam*), sia relative alla configurazione di progetto (*post operam*), dalle quali si evince la protezione dall'inondazione dell'area data dagli interventi previsti.

Negli allegati **A.i** della presente relazione sono riportati le sezioni idrauliche e i profili di verifica dell'analisi (rispettivamente stato di fatto e configurazione di progetto). In particolare negli allegati **A.1** e **A.2** sono riportati i risultati relativi allo **stato di fatto** (*ante operam*) e negli allegati **A.3** e **A.4** sono riportati i risultati relativi alla **configurazione di progetto** (*post operam*), in allegato **A.5** sono riportati i risultati relativi alla **configurazione di progetto nell'ipotesi dell'inserimento della prevista arginatura PAI a valle del ponte della SP 31**.



Nella seguente figura 2.4\_1 si riporta il tabulato HEC-RAS della verifica idraulica della configurazione di progetto con **flusso di piena nullo** sulle aree di esondazione nei terreni in sponda destra, che insistono a valle del tracciato della ex S.S. n. 31.

HEC-RAS Plan														
Reach	River Sta	Profile	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)	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 W/idth (m)	Froude # Chl
Rotaldo	10	PF 1	0.78	0.76	140.00	110.71	114.79	114.77	114.93	0.002048	2.43	132.09	307.26	0.54
Rotaldo	9	PF 1	0.61	0.48	140.00	110.48	114.49	114.49	114.62	0.001681	2.36	171.79	577.89	0.51
Rotaldo	8	PF 1	0.42	0.56	140.00	110.27	114.09	113.94	114.12	0.000573	1.38	261.82	584.80	0.29
Rotaldo	7	PF 1	0.34	0.41	140.00	110.29	114.05		114.07	0.000238	0.96	344.06	576.13	0.21
Rotaldo	6	PF 1	0.39		140.00	109.53	114.00	113.75	114.02	0.000361	1.13	306.56	589.24	0.24
Rotaldo	5	PF 1	0.36		140.00	110.01	113.97	113.72	113.99	0.000267	1.02	335.66	582.41	0.21
Rotaldo	4	PF 1	0.37	0.04	140.00	109.69	113.89	113.54	113.90	0.000214	0.95	331.87	470.41	0.19
Rotaldo	3	PF 1	0.32		140.00	109.76	113.88	113.51	113.89	0.000159	0.80	395.85	566.46	0.16
Rotaldo	2	PF 1	0.34		140.00	109.77	113.77	113.77	113.87	0.000755	1.88	245.88	946.65	0.36
Rotaldo	1	PF 1	0.37		140.00	109.76	113.59	113.51	113.65	0.000570	1.58	264.96	740.05	0.31
Rotaldo	0.5		Bridge											
Rotaldo	0	PF 1	0.41		140.00	109.76	113.51	113.51	113.62	0.000968	2.03	208.08	714.07	0.40
Rotaldo	-1	PF 1	0.52		140.00	109.50	112.81	112.22	112.83	0.000239	0.94	249.42	314.38	0.20
Rotaldo	-2	PF 1	0.56		140.00	109.20	112.77	112.21	112.80	0.000277	1.00	230.23	319.78	0.21
Rotaldo	-3	PF 1	0.49	0.10	140.00	109.17	112.75	112.23	112.77	0.000246	0.94	259.16	392.87	0.20
Rotaldo	-4	PF 1	0.22	0.17	140.00	109.04	112.76		112.76	0.000019	0.28	658.54	376.27	0.06
Rotaldo	-5	PF 1	0.18	0.15	140.00	108.85	112.76	111.00	112.76	0.000010	0.22	836.49	438.00	0.04

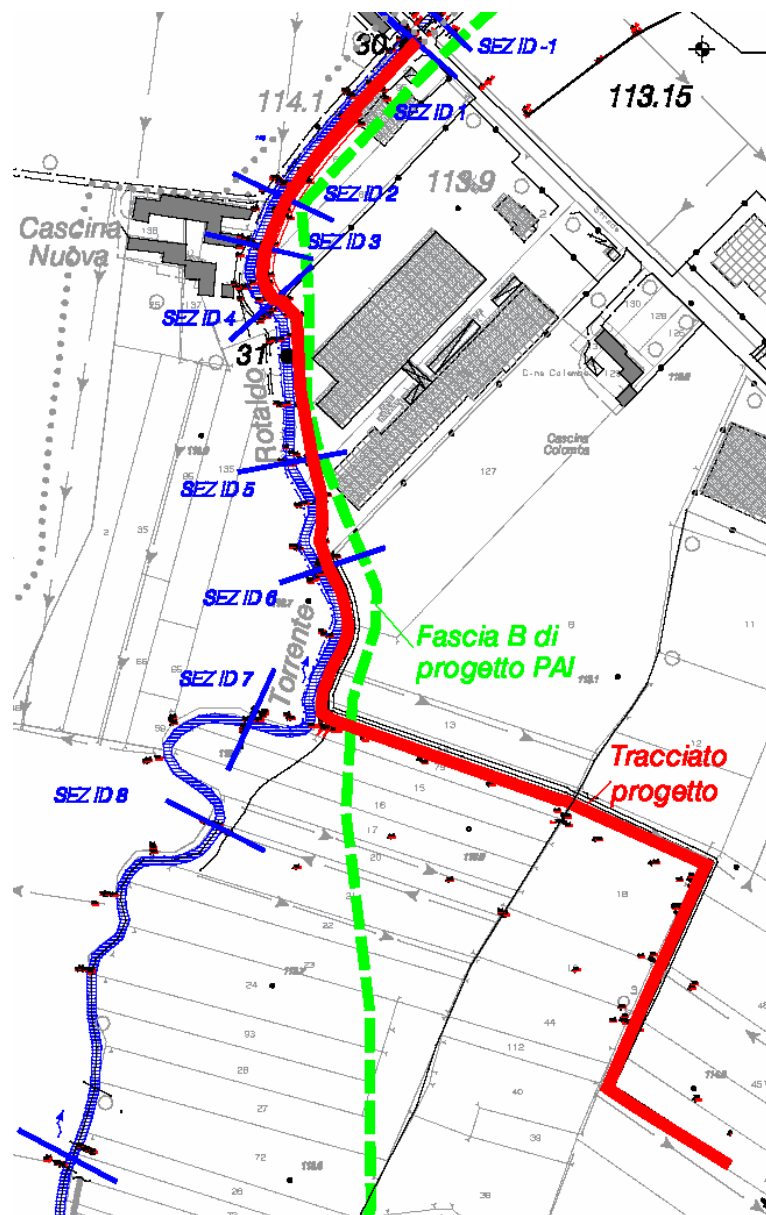
Fig. 2.4\_1 Tabulato HEC-RAS della verifica idraulica della configurazione di progetto del definitivo consegnato ed in esame dalla Conferenza dei servizi

Considerando le quote di verifica dei tiranti di piena duecentennali, si osserva che il tratto tra le sezioni idrauliche n. 4 e n. 5, risulta quello maggiormente esposto a rischio di esondazione. Questo segmento è inoltre quello a ridosso delle strutture civili ed industriali.

Per garantire il franco idraulico minimo di legge (pari a 1 m), il profilo di sommità dell'argine in progetto è fissato ad una quota di 115.05 m s.l.m. per il tratto d'argine dalla sezione idraulica 7 alla sezione idraulica 10. Dalla sezione 7 alla sezione finale la sommità decresce con il tirante idraulico di progetto da una quota di 115.05 m s.l.m. a una quota di 114.48 m s.l.m. A tal proposito si vedano gli elaborati C.1.1 e C.1.2 (Profilo argine) nei quali, oltre all'andamento longitudinale della difesa, è riportato anche quello del piano campagna e il profilo idraulico duecentennale.

Per quanto concerne l'andamento planimetrico della difesa in progetto, si rimanda agli elaborati B.3.1 "Planimetria rilievo e di progetto sistema arginale TAV 1" e B.3.2 "Planimetria rilievo e di progetto sistema arginale TAV 2"

Si evidenzia che è prevista una minima differenza planimetrica tra il tracciato di monte della difesa di progetto e quello definito nella pianificazione idraulica (fascia B di progetto del PAI). Nella seguente figura 2.4\_2 sono evidenziati le differenti planimetriche dei due tracciati.



1. **maggiore capacità d'invaso garantita dalla difesa: in particolare il tracciato di progetto consente di avere un'area di laminazione della piena maggiore di circa 14 ha e capace di garantire una mitigazione del colmo significativa;**
2. **minimizzazione dell'impatto ambientale sul territorio e sull'attività agricola dell'opera: in quanto il tracciato di progetto segue l'andamento esistente dei confini dei fondi agricoli che insistono sull'area dell'intervento e riduce al minimo l'impatto sulle pratiche agricole**
3. **minimizzazione dei costi d'intervento: in quanto l'andamento di progetto minimizza l'emergenza dei rilevati arginali sul piano campagna e gli interventi di adeguamento della viabilità vicinale, necessari per garantire l'obbligato accesso ad ogni fondo interferente con l'intervento.**

Si osserva nuovamente che rispetto a quanto indicato nella pianificazione PAI di riferimento (Sottoprogetto SP4- Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter - Rete idrografica minore naturale di pianura Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi bacino del torrente Rotaldo"), il progetto in questione si configura come **primo lotto** degli interventi di regimazione idraulica previsti nel territorio di Occimiano, in quanto per ragioni economiche è prevista la realizzazione della difesa arginale B di progetto PAI nella porzione a monte del ponte. L'intervento in progetto in ogni caso permette di garantire, già a realizzazione avvenuta dei presenti interventi di I lotto, la piena sicurezza idraulica nei confronti degli eventi duecentennali e secondo normativa dell'esistente area industriale di Occimiano, anche a valle del ponte della ex S.S. 31.

Dagli elaborati di verifica (vds **Allegato A.3** "Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI PROGETTO") si evince infatti che la quota dell'esistente piano in rilevato, sul quale sono stati realizzati gli insediamenti industriali attuali che insistono in sponda destra a valle del tracciato della ex SS 31 "del Monferrato" (vds sezioni -1, -2 e -3), è tale da garantire il pieno controllo del rischio dei fenomeni di allagamento delle aree per eventi duecentennali.

Si sottolinea inoltre **che l'arginatura in progetto presenta caratteristiche realizzative tali da garantire la piena sicurezza idraulica nei confronti degli eventi duecentennali e secondo normativa dell'esistente area industriale di Occimiano, anche a seguito di una futura realizzazione della fascia B PAI di progetto a**

valle del ponte di attraversamento del tracciato della ex S.S. n. 31 "Del Monferrato" e della conseguente riduzione dell'area di esondazione del corso idrico in sponda destra. In tal senso si evidenzia che la verifica idraulica della configurazione di progetto è stata condotta prevedendo che le aree di esondazione nei terreni in sponda destra che insistono a valle del tracciato della ex S.S. n. 31 e oltre la fascia B PAI di progetto – attualmente coltivati, ma con destinazione d'uso di espansione industriale – abbiano tiranti con **flusso di piena nullo**, ovvero prevedendo che l'esondazione su tali aree sia esclusivamente un "volume morto" ed influente idraulicamente ai deflussi (vds allegato A.3, sezioni -1, -2 e -3). Pertanto, anche a seguito della realizzazione della difesa di fascia B di progetto PAI, in sponda destra, a valle del tracciato della ex S.S. n. 31 si avrà un regime dei tiranti dell'evento duecentennale del tutto **identico** a quello del presente progetto, senza che si abbia alcun peggioramento alle caratteristiche di sicurezza idraulica e di franco della difesa arginale come prevista a monte del tracciato stradale medesimo (vds fig.2.4\_1 e 2.4\_3).

In tal senso si riporta nel seguito anche il tabulato HEC-RAS della verifica idraulica della configurazione di progetto **nell'ipotesi di inserire la prevista arginatura PAI** a valle del ponte della SP 31, (vds fig. 2.4\_4).

HEC-RAS Plan														
Reach	River Sta	Profile	Vel Left (m/s)	Vel Right (m/s)	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
Rotaldo	10	PF 1	0.78	0.76	140.00	110.71	114.79	114.77	114.93	0.002048	2.43	132.09	307.26	0.54
Rotaldo	9	PF 1	0.61	0.48	140.00	110.48	114.49	114.49	114.62	0.001681	2.36	171.79	577.89	0.51
Rotaldo	8	PF 1	0.42	0.56	140.00	110.27	114.09	113.94	114.12	0.000573	1.38	261.82	584.80	0.29
Rotaldo	7	PF 1	0.34	0.41	140.00	110.29	114.05		114.07	0.000238	0.96	344.06	576.13	0.21
Rotaldo	6	PF 1	0.39		140.00	109.53	114.00	113.75	114.02	0.000361	1.13	306.56	589.24	0.24
Rotaldo	5	PF 1	0.36		140.00	110.01	113.97	113.72	113.99	0.000267	1.02	335.66	582.41	0.21
Rotaldo	4	PF 1	0.37	0.04	140.00	109.69	113.89	113.54	113.90	0.000214	0.95	331.87	470.41	0.19
Rotaldo	3	PF 1	0.32		140.00	109.76	113.88	113.51	113.89	0.000159	0.80	395.85	566.46	0.16
Rotaldo	2	PF 1	0.34		140.00	109.77	113.77	113.77	113.87	0.000755	1.88	245.88	946.65	0.36
Rotaldo	1	PF 1	0.37		140.00	109.76	113.59	113.51	113.65	0.000570	1.58	264.96	740.05	0.31
Rotaldo	0.5	Bridge												
Rotaldo	0	PF 1	0.41		140.00	109.76	113.51	113.51	113.62	0.000968	2.03	208.08	714.07	0.40
Rotaldo	-1	PF 1	0.51		140.00	109.50	112.81	112.23	112.83	0.000238	0.94	249.93	233.04	0.20
Rotaldo	-2	PF 1	0.56		140.00	109.20	112.78	112.20	112.80	0.000275	1.00	230.75	212.80	0.21
Rotaldo	-3	PF 1	0.49		140.00	109.17	112.76	112.23	112.77	0.000244	0.93	259.74	265.20	0.20
Rotaldo	-4	PF 1	0.29	0.04	140.00	109.04	112.76	111.15	112.76	0.000032	0.36	471.94	240.00	0.07
Rotaldo	-5	PF 1	0.18	0.15	140.00	108.85	112.76	111.01	112.76	0.000010	0.22	836.49	438.00	0.04

*Fig. 2.4\_3 Tabulato HEC-RAS della verifica idraulica della configurazione di progetto nell'ipotesi di inserire la prevista arginatura PAI a valle del ponte della SP 31*

In **allegato A.5** sono riportate le sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica nella configurazione di progetto nell'ipotesi dell'inserimento della prevista arginatura PAI a valle del ponte della SP 31.

Si evidenzia infine che la futura e prevista edificazione sui terreni in sponda destra, che insistono a valle del tracciato della ex S.S. n. 31, oltre la fascia B PAI di progetto, attualmente coltivati, ma con destinazione d'uso di espansione industriale dovrà avvenire - per quanto concerne il pieno controllo del rischio idraulico - prevedendo un rialzo del piano campagna a raggiungere la medesima quota del terrapieno esistente, sul quale sono stati realizzati gli insediamenti industriali attuali che insistono in sponda destra a valle del tracciato della ex SS 31 "del Monferrato".

## **2.5 DESCRIZIONE DELLA DIFESA ARGINALE IN PROGETTO**

La difesa in progetto prevede, in ragione delle caratteristiche topografiche dell'area, la seguente suddivisione in tratti con caratteristiche costruttive differenti (vds elaborati B.3.1 "Planimetria di rilievo e progetto sistema arginale TAV 1" B.3.2 "Planimetria di rilievo e progetto sistema arginale TAV 2", C.1.1 "*Profilo arginatura e relative sezioni costruttive TAV 1*" e C.1.2 "*Profilo arginatura e relative sezioni costruttive TAV 2*");

### **Primo tratto (da sez. 15 a sez.65)**

Il primo tratto della difesa arginale in progetto avrà origine ai margini della strada comunale Paniate, in adiacenza alla fabbrica dei laterizi e si svilupperà con andamento nord-ovest sino a raggiungere quasi l'alveo del torrente Rotaldo, avrà uno sviluppo di circa 620 m e verrà realizzato con una classica tipologia realizzativa in terra.

L'arginatura in terra in questione è prevista con la tipica forma trapezoidale caratterizzata da geometrie che ne danno una comprovata stabilità (pendenza scarpate 2/3, altezza compresa tra 0 e 2,75 metri e larghezza sommitale di 2,5 m).

Il corpo dell'arginatura sarà realizzato:

- con materiale limoso/sabbioso proveniente da cave di prestito e/o dagli scavi di progetto;
  - con argilla da cava (percentuale di argilla minima pari al 50%);
- opportunamente mescolati.

Il corpo arginale sarà realizzato in strati di 25 cm compattati fino ad ottenere un valore minimo di compattazione pari al 90 % della compattazione Proctor. Al di sopra del

corpo arginale sarà posato uno strato di terreno vegetale di 10 cm di spessore, proveniente dagli scavi di scotico previsti in progetto. Per prevenire eventuali fenomeni erosivi lungo le sue scarpate verrà posata una geodete in juta e l'intera superficie arginale verrà inerbita mediante idrosemina di specie erbacee selezionate ed idonee al sito.

La quota sommitale del tratto è costante (quota pari a 115,05 m s.l.m.) ed è tale da garantire il franco minimo di 1 m sopra i livelli della piena duecentennale.

Al di sotto del corpo arginale, per il tratto in cui l'emergenza è superiore a 1.5 m (circa 392 m, da sez. 30 a sez. 65), sarà realizzato un setto in argilla compattata ad avere un coefficiente di permeabilità  $K \leq 10^{-7}$  cm/s. Il setto è preposto al controllo di eventuali fenomeni di sifonamento e di filtrazione, avrà una profondità al di sotto del piano di scotico di 0,85 m circa, un'altezza sopra il piano di scotico di 0,65 m e una larghezza di 0.5 m.

In prossimità della sezione 50 l'arginatura interferisce con il fosso colatore. Tale interferenza sarà risolta mediante la realizzazione di una paratoia di intercettazione.

### **Secondo tratto (da sez. 65 a sez.68)**

Il secondo tratto, caratterizzato da un andamento parallelo al torrente Rotaldo, avrà uno sviluppo di circa 100 m e sarà realizzato come **argine con pista alzaia sommitale**. La difesa, lungo il tratto in esame, avrà forma trapezoidale con una larghezza sommitale pari a 4 m, al fine di garantire la realizzazione di un piano viario in materiale sabbioso o ghiaioso. La quota sommitale del tratto è pressoché costante (quota pari a 115,05 m s.l.m.) ed è tale da garantire il franco minimo di 1 m sopra i livelli della piena duecentennale.

Anche in questo caso il corpo dell'arginatura sarà realizzato:

- con materiale limoso/sabbioso proveniente da cave di prestito e/o dagli scavi di progetto;
  - con argilla da cava (percentuale di argilla pari al 50%);
- opportunamente mescolati.

Il corpo arginale sarà realizzato in strati di 25 cm compattati fino ad ottenere un valore minimo di compattazione pari al 90 % della compattazione Proctor. Al di sopra del corpo arginale sarà posato uno strato di terreno vegetale di 10 cm di spessore, proveniente dagli scavi di scotico previsti in progetto. Per prevenire eventuali fenomeni erosivi lungo le sue scarpate verrà posata una geodete in juta e l'intera superficie arginale verrà inerbita mediante idrosemina di specie erbacee selezionate ed idonee al sito.

Il piano viario della stradina alzaia sarà realizzato in misto granulare anidro per fondazioni stradali, composto di sabbia grossa e ciottoli di dimensioni non superiori a 12

cm, assolutamente scevro di materie terrose e organiche e con minime quantità di materie argillose o limose, su un materasso di consolidamento costituito da un riempimento in terre A1, A2, A3, A4, provenienti da depositi o da scavi di cantiere, compattato ad avere un modulo di deformazione non inferiore a 600 Kg/cm<sup>2</sup> (con riferimento alla Norma C.N.R. - B.U. n.146/1992) e racchiuso da tessuto non tessuto.

### **Terzo tratto (da sez. 68 a sez.74)**

A causa della minima disponibilità di spazio che caratterizza il tratto in questione, dovuto alle esistenti strutture industriali che insistono a pochi metri dall'alveo inciso del Rotaldo, questa porzione della difesa arginale avrà una tipologia realizzativa del tipo "muro di difesa su platea". Il tratto avrà una lunghezza di circa 195 m.

La quota sommitale del muro varia con andamento monte-valle da 115,01 m s.l.m a 114,90 m s.l.m (altezza del muro compresa tra 1.10 m e 1.20 m), ed è tale da garantire il franco minimo (pari a 1 m) sopra i livelli della piena duecentennale.

La struttura verrà realizzata in conglomerato cementizio armato, avrà uno spessore di 25 cm, un sistema di fondazione a platea e sarà realizzato in adiacenza ai muretti di recinzione delle industrie. Per la mitigazione del tratto e salvaguardare l'aspetto di naturalità delle sponde è prevista la piantumazione di edera (*Hedera helix*) a lato del manufatto in c.a.

E' previsto il rifacimento del piano viario della pista alzaia esistente, che sarà realizzato in misto granulare anidro per fondazioni stradali, composto di sabbia grossa e ciottoli di dimensioni non superiori a 12 cm, assolutamente scevro di materie terrose e organiche e con minime quantità di materie argillose o limose, su un materasso di consolidamento costituito da un riempimento in terre A1, A2, A3, A4, provenienti da depositi o da scavi di cantiere, compattato ad avere un modulo di deformazione non inferiore a 600 Kg/cm<sup>2</sup> (con riferimento alla Norma C.N.R. - B.U. n.146/1992) e racchiuso da tessuto non tessuto.

La quota del piano viario resterà uguale all'attuale.

### **Quarto tratto (da sez. 74 a sez.83 bis)**

Il quarto tratto della difesa arginale, avrà uno sviluppo di circa 145 m e sarà realizzato come **argine con pista alzaia sommitale** con la stessa tipologia realizzativa già adottata per il secondo tratto.

La difesa, lungo il tratto in esame, avrà forma trapezoidale con una larghezza sommitale pari a 4 m, al fine di garantire la realizzazione di un piano viario in materiale sabbioso o ghiaioso. La quota sommitale della difesa di progetto segue l'andamento del tirante idraulico (la quota sommitale varia con andamento monte-valle da 114.90 m s.l.m a 114.73 m s.l.m, ed è tale da garantire il franco minimo (pari a 1 m) sopra i livelli della piena duecentennale. Anche in questo caso il corpo dell'arginatura sarà realizzato:

- con materiale limoso/sabbioso proveniente da cave di prestito e/o dagli scavi di progetto;
  - con argilla da cava (percentuale di argilla pari al 50%);
- opportunamente mescolati.

Il corpo arginale sarà realizzato in strati di 25 cm compattati fino ad ottenere un valore minimo di compattazione pari al 90 % della compattazione Proctor. Al di sopra del corpo arginale sarà posato uno strato di terreno vegetale di 10 cm di spessore, proveniente dagli scavi di scotico previsti in progetto. Per prevenire eventuali fenomeni erosivi lungo le sue scarpate verrà posata una geodete in juta e l'intera superficie arginale verrà inerbita mediante idrosemina di specie erbacee selezionate ed idonee al sito.

Il piano viario della stradina alzaia sarà realizzato in misto granulare anidro per fondazioni stradali, composto di sabbia grossa e ciottoli di dimensioni non superiori a 12 cm, assolutamente scevro di materie terrose e organiche e con minime quantità di materie argillose o limose, su un materasso di consolidamento costituito da un riempimento in terre A1, A2, A3, A4, provenienti da depositi o da scavi di cantiere, compattato ad avere un modulo di deformazione non inferiore a 600 Kg/cm<sup>2</sup> (con riferimento alla Norma C.N.R. - B.U. n.146/1992) e racchiuso da tessuto non tessuto.

### **Quinto tratto (da sez. 83 bis a sez.90)**

A causa della minima disponibilità di spazio che caratterizza anche il tratto in questione, dovuto a esistenti strutture civili che insistono a pochi metri dall'alveo inciso del Rotaldo, questa porzione della difesa arginale avrà una tipologia realizzativa del tipo "muro di difesa su platea". Il muro in questo caso è previsto a ridosso dell'alveo inciso per garantire l'attuale accesso alle citate strutture civili, che avviene dalla pista alzaia di sponda destra a partire dalla ex S.S. 31. Il tratto di difesa avrà una lunghezza di 85 m circa ed andrà terminare sulla rampa est del ponte di attraversamento della ex S.S. n.31.

Il muro di difesa sarà completamente realizzato in cemento armato, avrà un'altezza di circa 1,4 m e uno spessore di 25 cm. Il sistema di fondazione sarà del tipo a platea.



Anche in questo caso per la mitigazione del tratto e salvaguardare l'aspetto di naturalità delle sponde è prevista la piantumazione di edera (*Hedera helix*) a lato del manufatto in c.a.

La quota sommitale della difesa di progetto segue l'andamento del tirante idraulico (la quota sommitale varia con andamento monte-valle da 114.73 m s.l.m a 114.38 m s.l.m, ed è tale da garantire il franco minimo (pari a 1 m) sopra i livelli della piena duecentennale.

Al fine del pieno controllo di possibili fenomeni erosivi dati dall'azione della corrente, è prevista la realizzazione di una difesa spondale in scogliera lungo la sponda destra del torrente Rotaldo nel tratto in esame (da sez 83 bis a sez.90).

La scogliera sarà realizzata con massi provenienti da cave che saranno disposti in sagoma prestabilita, come descritto nell'elaborato C.1.2 "Profilo arginatura e relative sezioni costruttive TAV 2". I massi previsti sono di volume non inferiore a 0,30 m<sup>3</sup> e di peso superiore agli 800 kg.

## **2.6 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'ARGINATURA IN PROGETTO**

Come indicato dalla Direttiva contenente i criteri per la Valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B" dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, i primi effetti prodotti da un intervento da considerare nel relativo studio di compatibilità idraulico sono le **modifiche indotte dall'opera in progetto sul profilo di inviluppo di piena.**

Come si evince dai risultati dell'analisi idraulica dell'arginatura di progetto (vds paragrafo 2.4) **tali modifiche risultano del tutto trascurabili, l'arginatura, infatti, non costituirà affatto ostacolo al deflusso naturale del corso idrico.**

Per quanto riguarda gli ulteriori punti costituenti gli effetti del progetto sul tronco d'acqua interessato dai lavori, ed evidenziati dalla Direttiva in questione, si riassume quanto segue:

- **Aumento della capacità di invaso dell'alveo**

L'aumento della superficie allagabile associata alla realizzazione dell'arginatura in progetto (rispetto al tracciato come da pianificazione PAI) riguarda un'area di circa 14 ha, dalla sezione 10 alla sezione 60. Considerando che la quota media di tale area è pari a circa 113.60 m s.l.m. e che la quota del tirante idrico nelle condizioni di fatto per la piena duecentennale è di circa 114.00 m s.l.m. (per la sezione 9), si ha un aumento della capacità di invaso di circa 70.000 m<sup>3</sup> sul colmo di piena duecentennale, la quale determina un notevole fattore di sicurezza in vista di piene eccezionali.

- **Interazioni con le opere di difesa idrauliche e con le opere viarie**

Non sono presenti altre opere idrauliche. L'arginatura andrà a finire a ridosso dell'ex strada S.S. n° 31 del Monferrato, senza però arrecare nessuna tipologia di interferenza dal punto di vista di viabilità e di disturbo visivo per gli automobilisti

- **Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento**

Il progetto prevede inoltre il posizionamento di una paratoia in corrispondenza del canale irriguo interferente in prossimità della sezione 50. La paratoia andrà a garantire la tenuta idraulica della difesa.

- **Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena**

L'arginatura in progetto non comporterà alcun effetto di modifica sull'alveo inciso. Inoltre l'area interessata dall'arginatura è esterna all'area di piena di fascia "A" e non comporterà l'attivazione di nuove vie di deflusso preferenziali.

- **Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale**

Si sottolinea, che a lavori ultimati, gli impatti sulle componenti naturalistiche, ambientali e paesistiche del sistema fluviale sono del tutto trascurabili o positivi. Infatti l'opera è a ridosso di un'area industriale e la sua realizzazione garantirà una mitigazione dell'impatto visivo degli insediamenti produttivi.

- **Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena**

Come risulta dagli elaborati progettuali l'arginatura in progetto avrà un'altezza media sul piano campagna esistente di 1.65 m. Considerando che la quota fissata per l'argine dalla sezione 10 alla sezione 70 è di 115.05 e la quota media del tirante idrico per una piena duecentennale è di 114.05, risulta un franco di sicurezza dell'opera minimo al metro (vds elaborato C.1.1 "Profilo argina e relative sezioni costruttive TAV1"). Ugualmente per l'arginatura dalla sezione 70 alla sezione 90, la quota media si attesta a un valore di 114.30 e la quota media del tirante idrico per una piena duecentennale è di 113.30, garantendo un franco di sicurezza minimo dell'opera pari al metro.

Si osserva inoltre che l'azione erosiva della corrente appare del tutto trascurabile, in quanto, anche in corrispondenza della piena duecentennale, la velocità della corrente contro il tratto della difesa arginale con andamento circa ortogonale rispetto alla corrente stessa, è dell'ordine 0,2 m/s.

La stabilità della difesa arginale sarà garantita dalla geometria della stessa (pendenze scarpate 2/3, altezza di 0 m ÷ 2,7 m circa e sommità di 2,5 m) in rapporto al tirante idrico duecentennale sul piano campagna, che è dell'ordine di 150 cm.

Si sottolinea, inoltre, che per il controllo di possibili fenomeni di sifonamento della struttura è previsto, al di sotto dell'intero sviluppo del rilevato arginale, un setto in argilla della profondità di 1 m e dello spessore di 0.5 m.

## **2.7 RISULTATO DELLO STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

**L'opera in progetto non modifica i fenomeni idraulici naturali del tratto di torrente Rotaldo interessato**, in particolare non costituisce un significativo ostacolo al deflusso ed aumenta la capacità di invaso del corpo idrico rispetto alla pianificazione vigente, inoltre non modifica le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale delle fasce. **Pertanto l'intervento appare totalmente compatibile dal punto di vista idraulico.**

### **3. DEFINIZIONE DEL NUOVO LIMITE DI FASCIA B A SEGUITO DELL'INTERVENTO IN PROGETTO, PER TUTTO IL TRATTO DI CORSO D'ACQUA IN CUI È POSTO IL LIMITE B DI PROGETTO, FINO AL RACCORDO CON LA FASCIA B DEFINITA A MONTE E A VALLE DEL TRATTO STESSO**

---

Nell'elaborato grafico B.5 "Tracciato della fascia B a seguito dell'intervento in progetto" è riportato il tracciato della fascia B, come definito ad opera realizzata, per il tratto del torrente Rotaldo nel territorio comunale di Occimiano in cui è posto il limite B di progetto, fino al raccordo con la fascia B definita a monte e a valle del tratto stesso.

Il nuovo tracciato di fascia B è definito a partire dall'analisi idraulica di progetto (vds capitolo 2) e dalle caratteristiche plano-altimentriche della difesa in progetto (a monte del tracciato della ex S.S. 31. Il tracciato deriva dall'estensione delle aree inondabili relativa alla configurazione di progetto (*post operam*) per un tempo di ritorno duecentennale (vds elaborato B.4 "Rappresentazioni planimetriche simulazioni idrauliche").

Si osserva che nel tratto in sponda destra a valle del ponte di attraversamento della ex S.S. 31, lungo il quale, come descritto in precedenza, non è prevista nel presente progetto la realizzazione della fascia B PAI "di progetto" per ragioni economiche, il limite di fascia B segue esattamente l'andamento di quello previsto nella pianificazione PAI (vds elaborato B.4 "Rappresentazioni planimetriche simulazioni idrauliche").

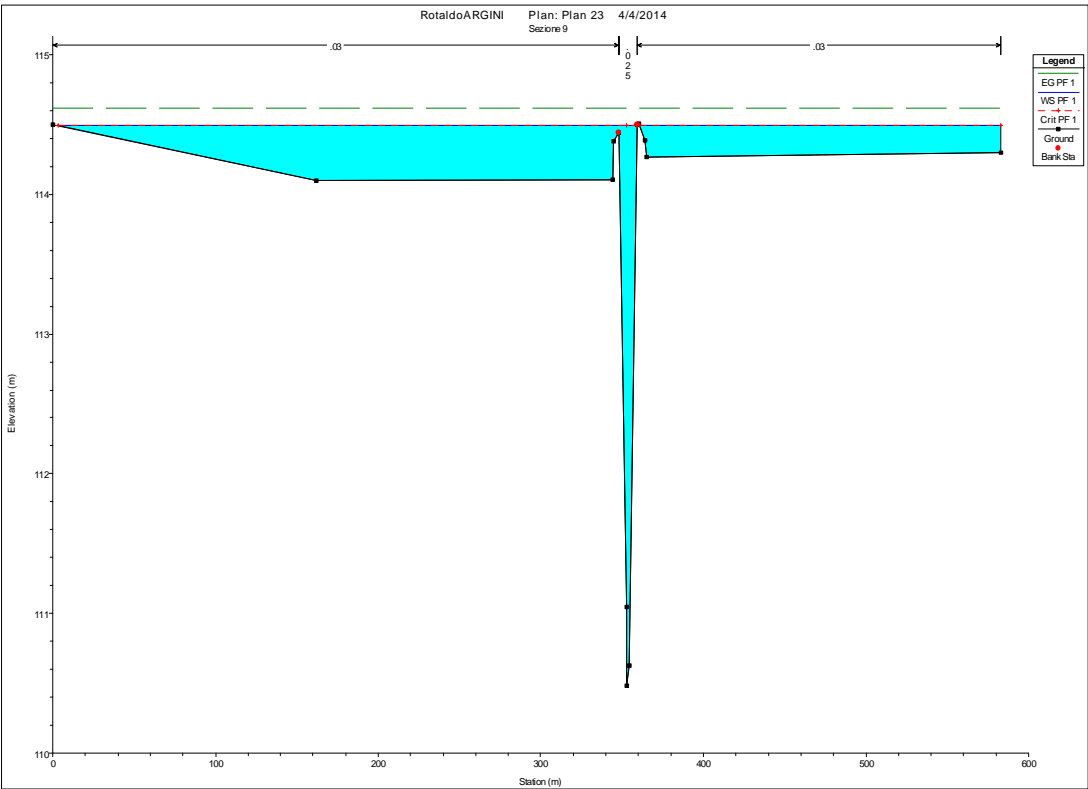
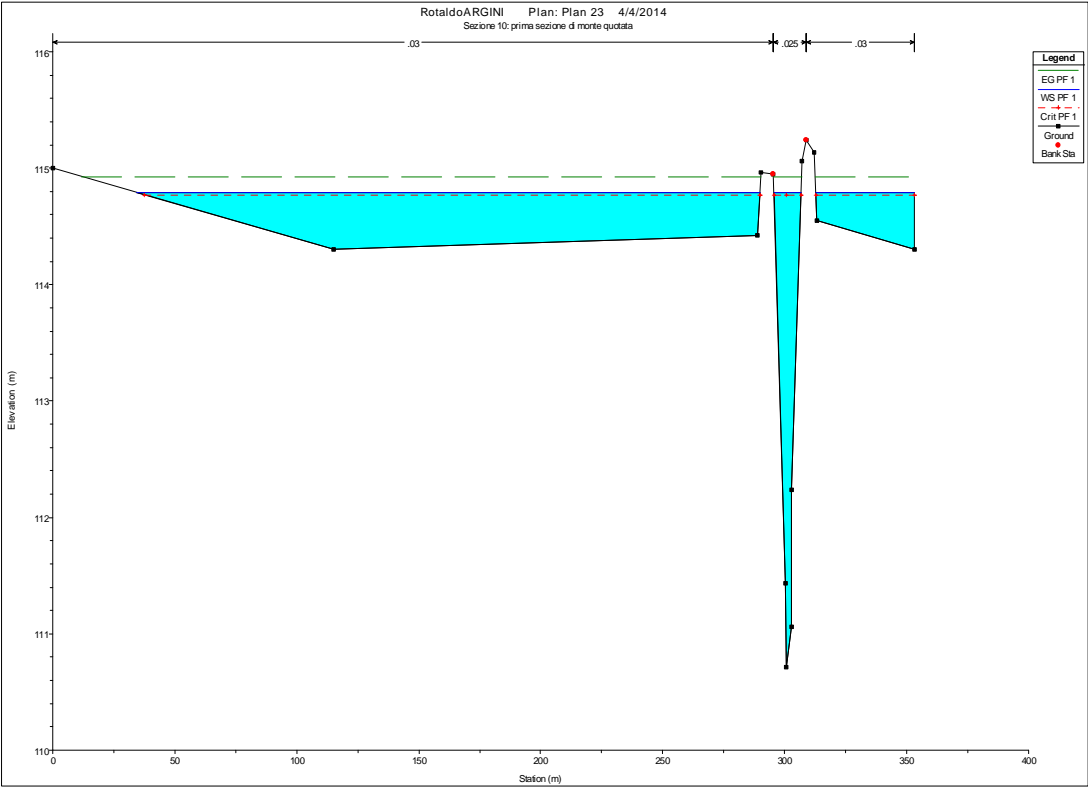


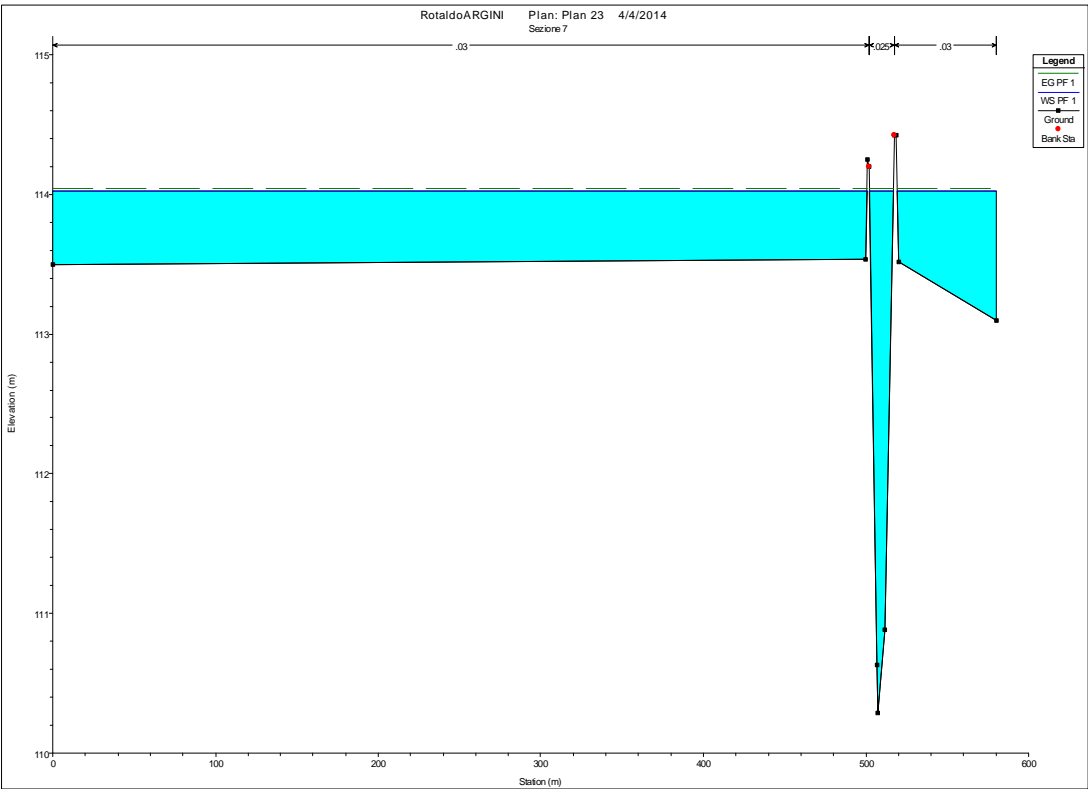
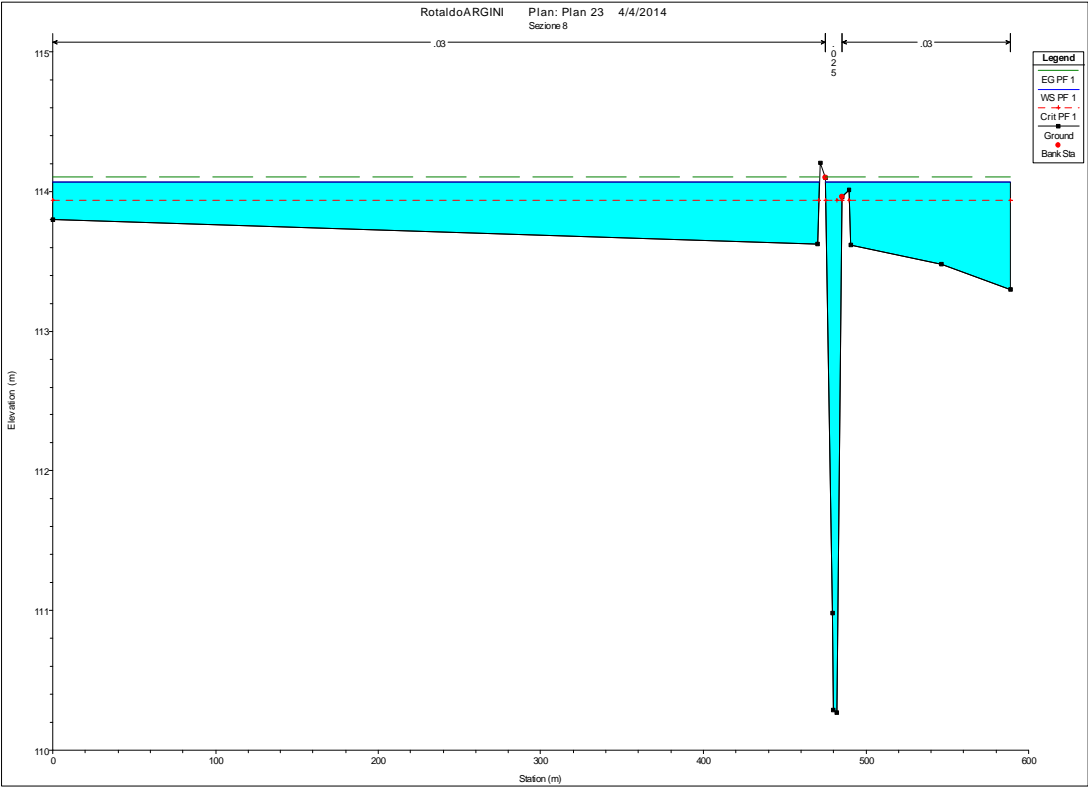
## **ALLEGATO A.1**

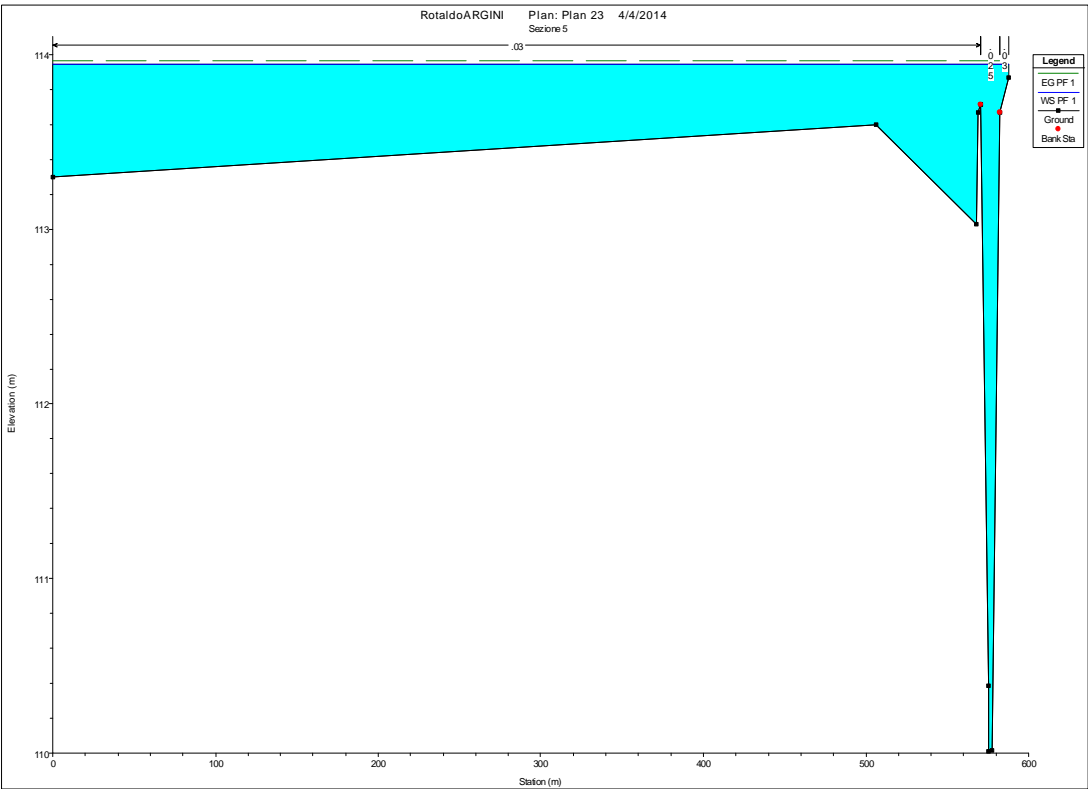
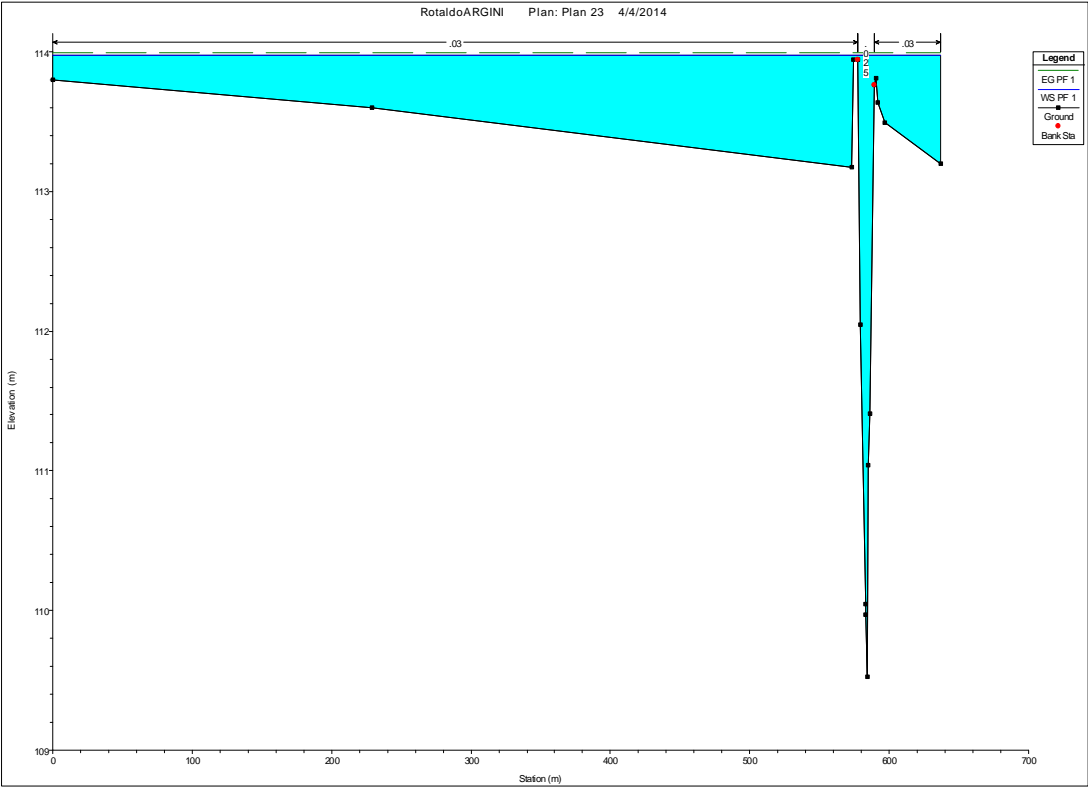
**Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica – STATO DI FATTO**

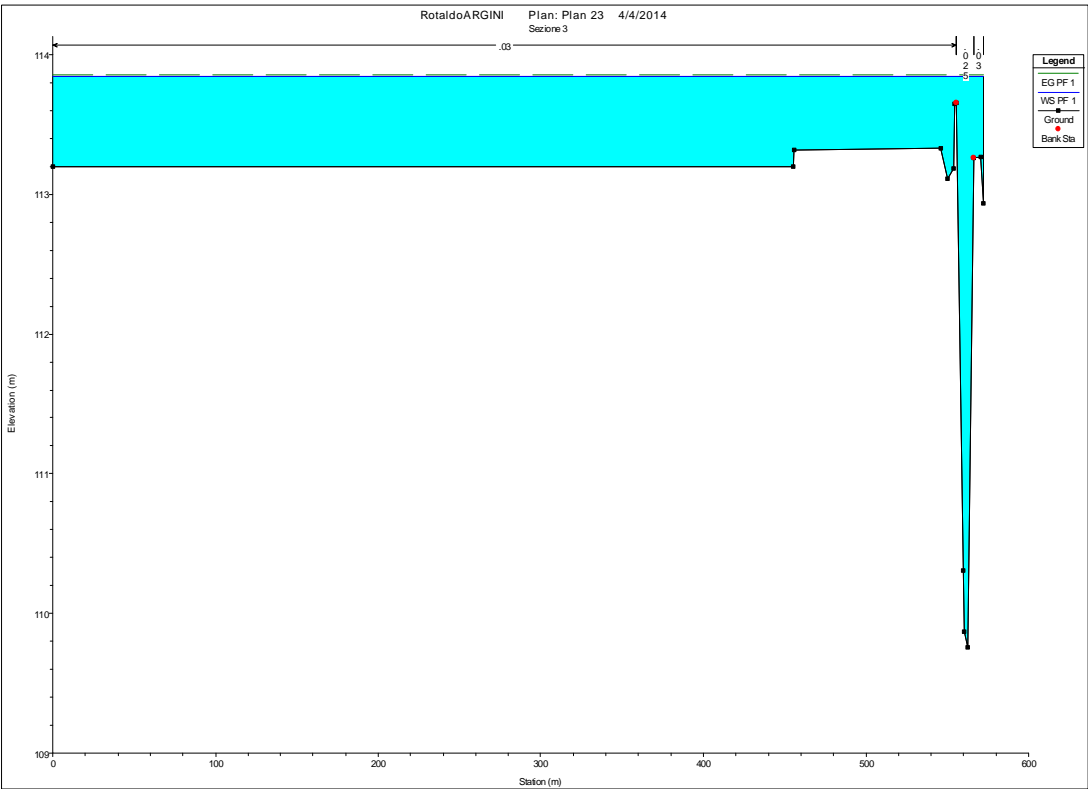
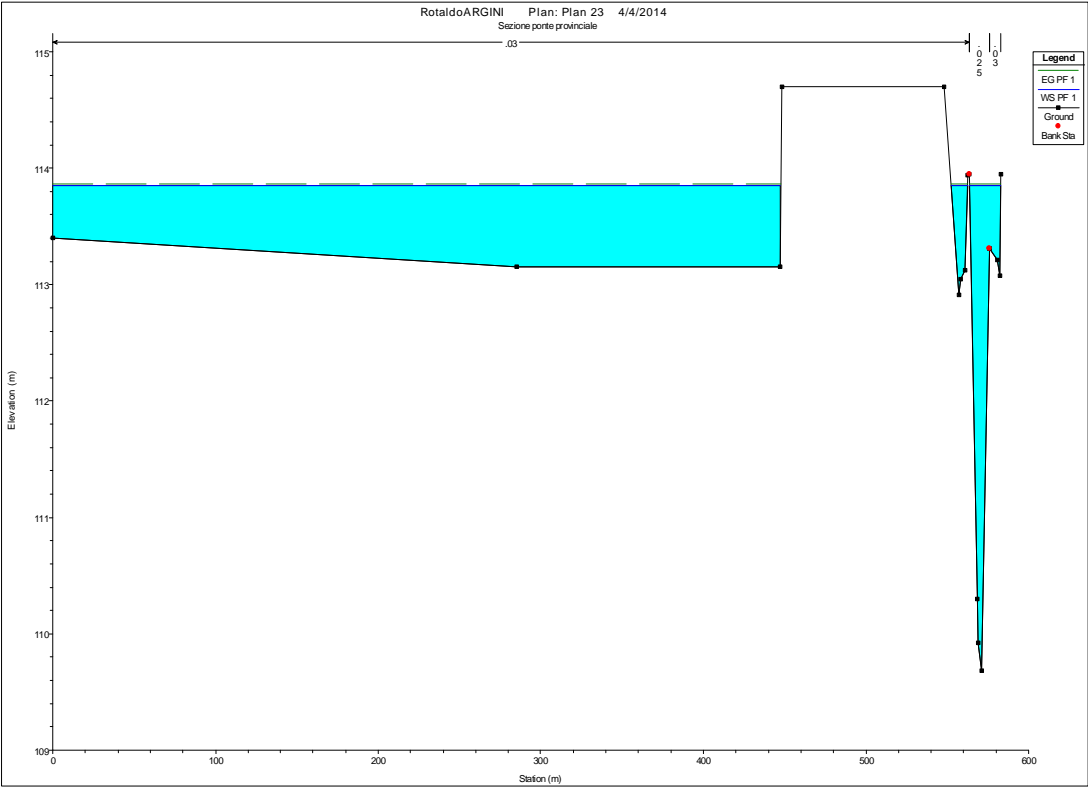


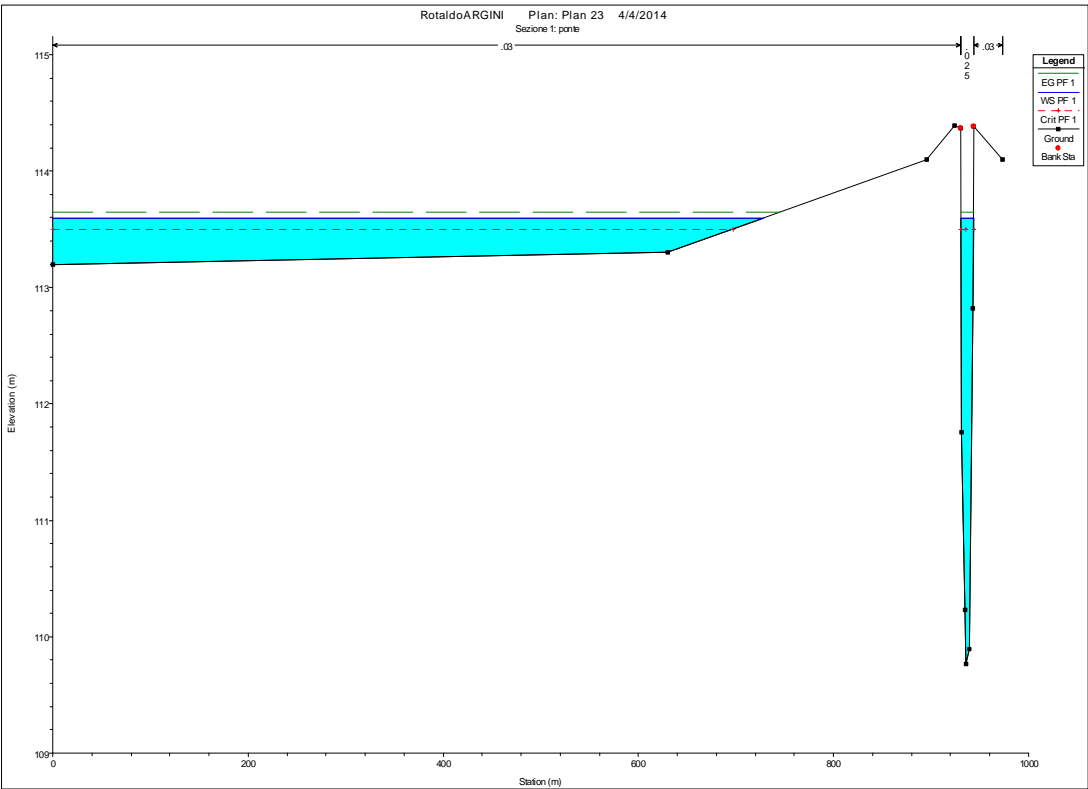
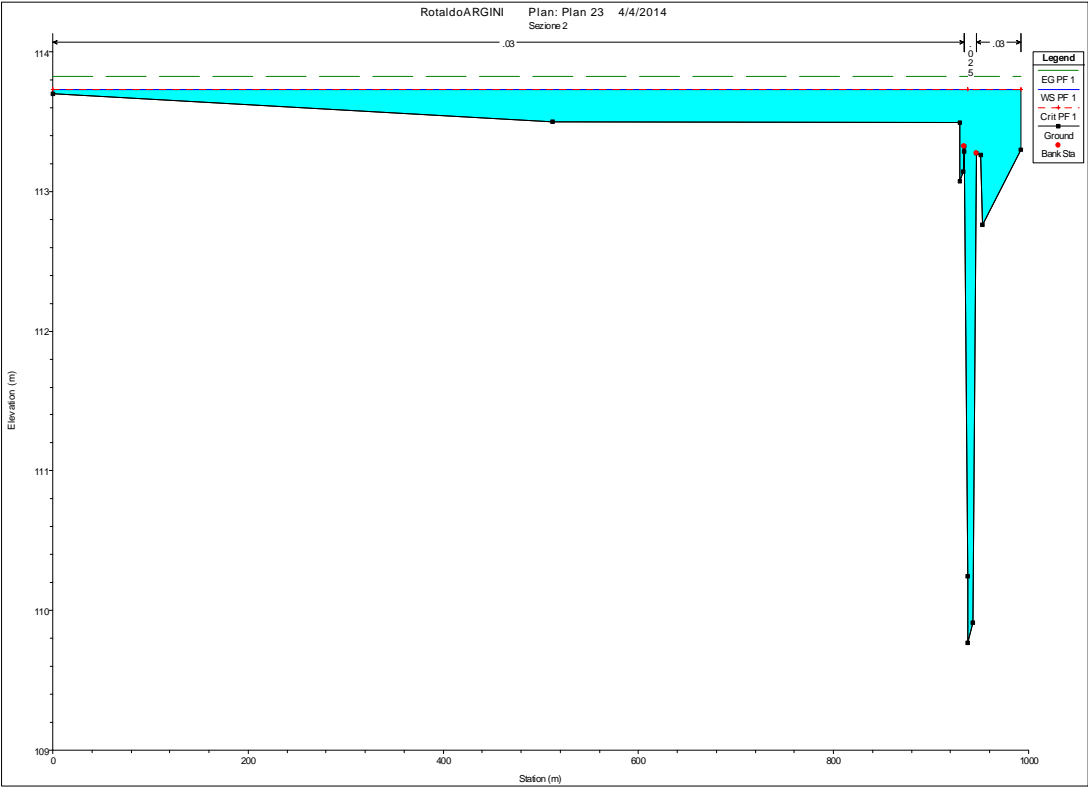


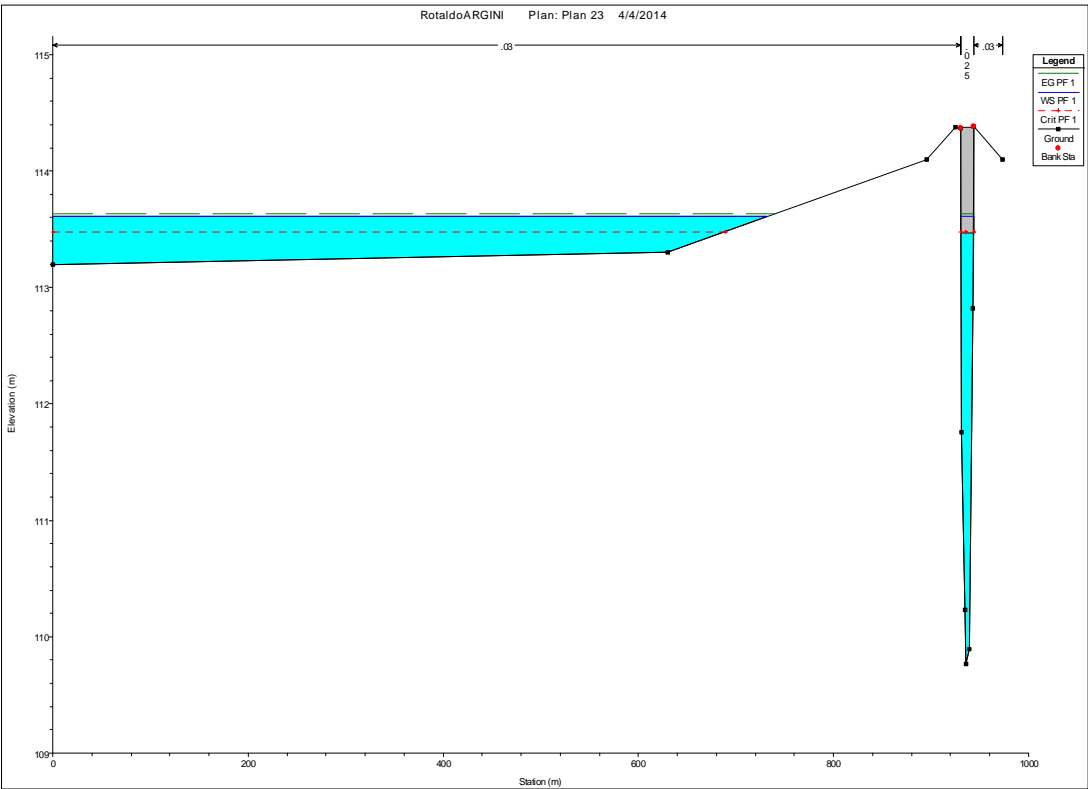
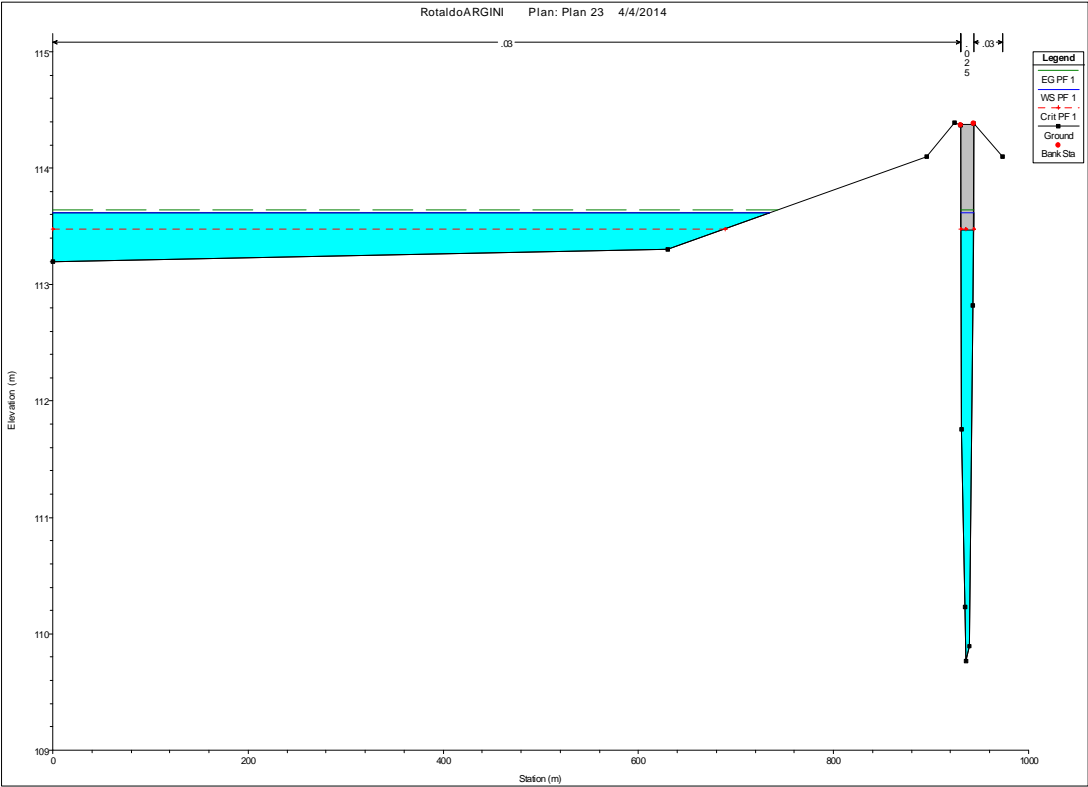


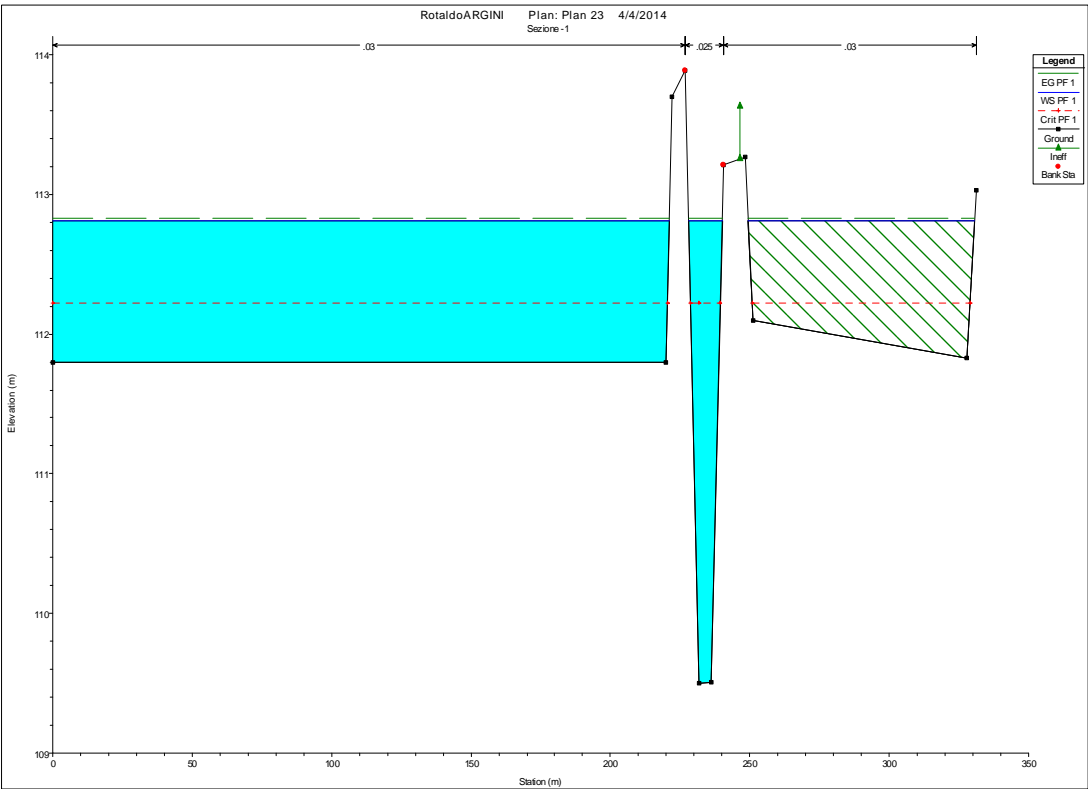
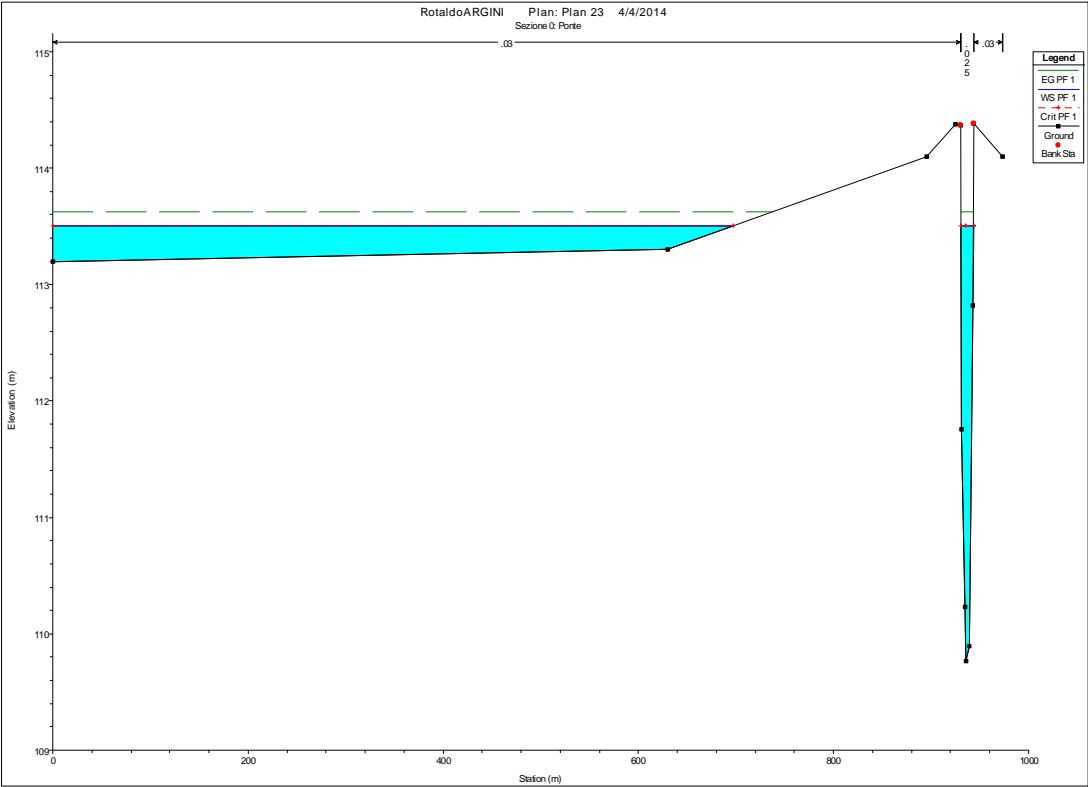


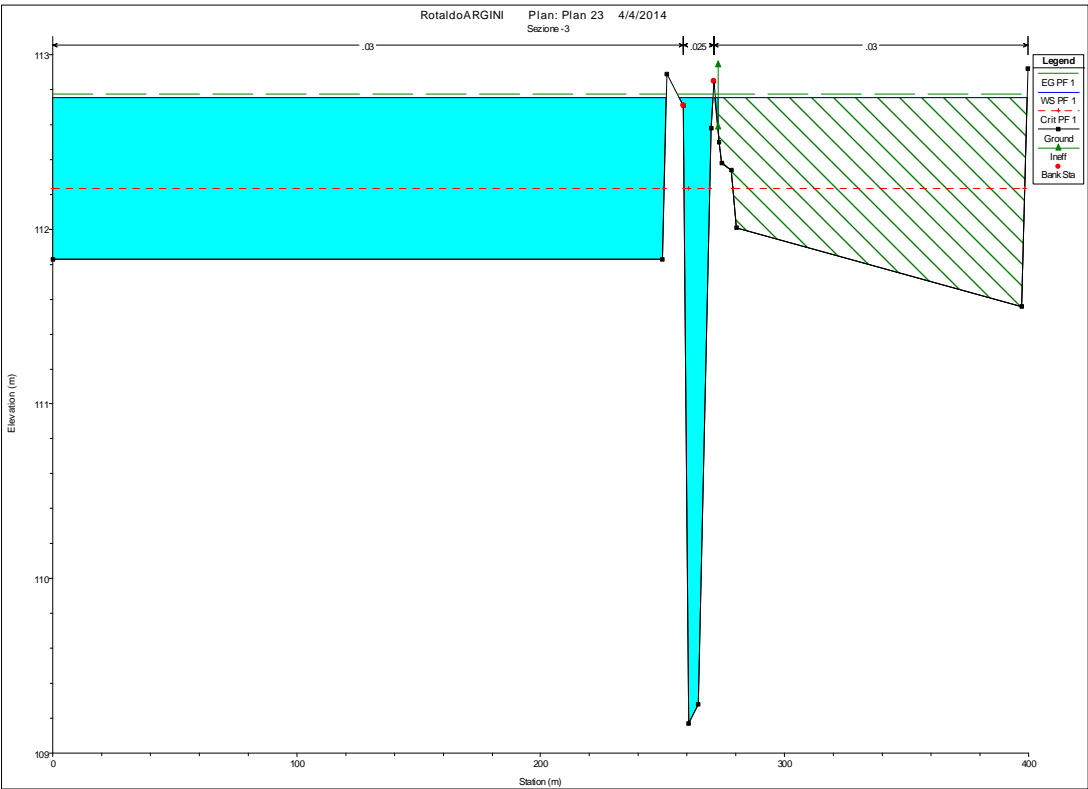
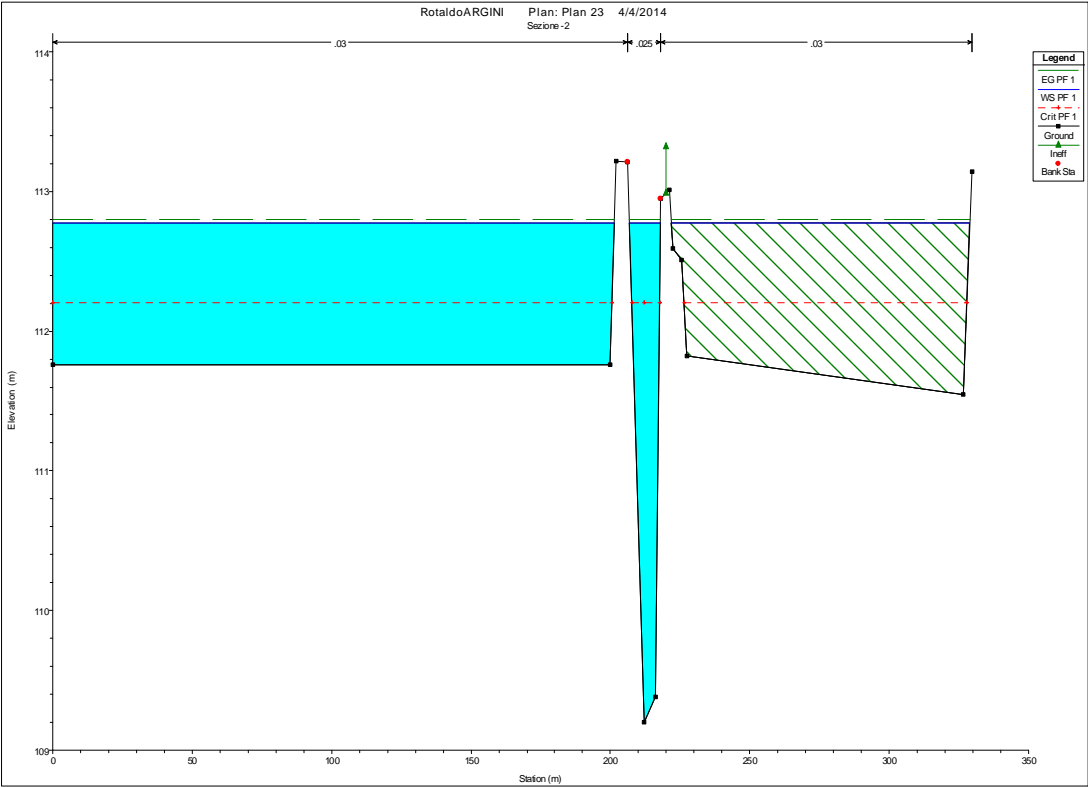




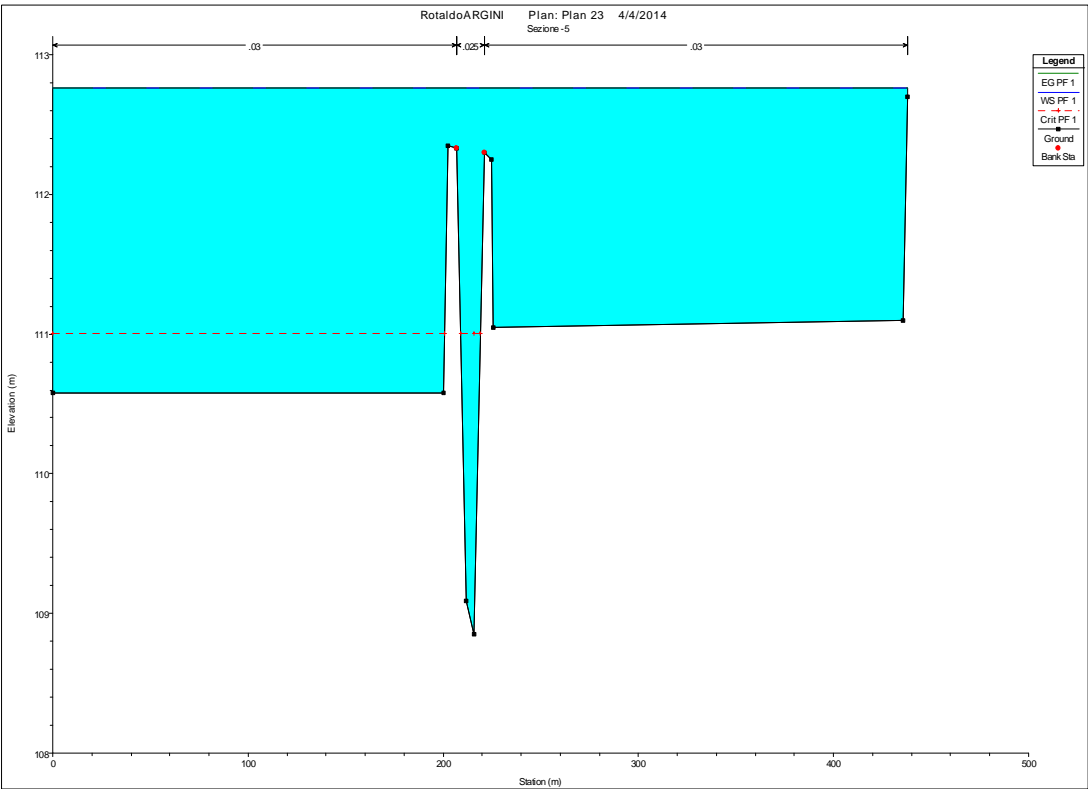
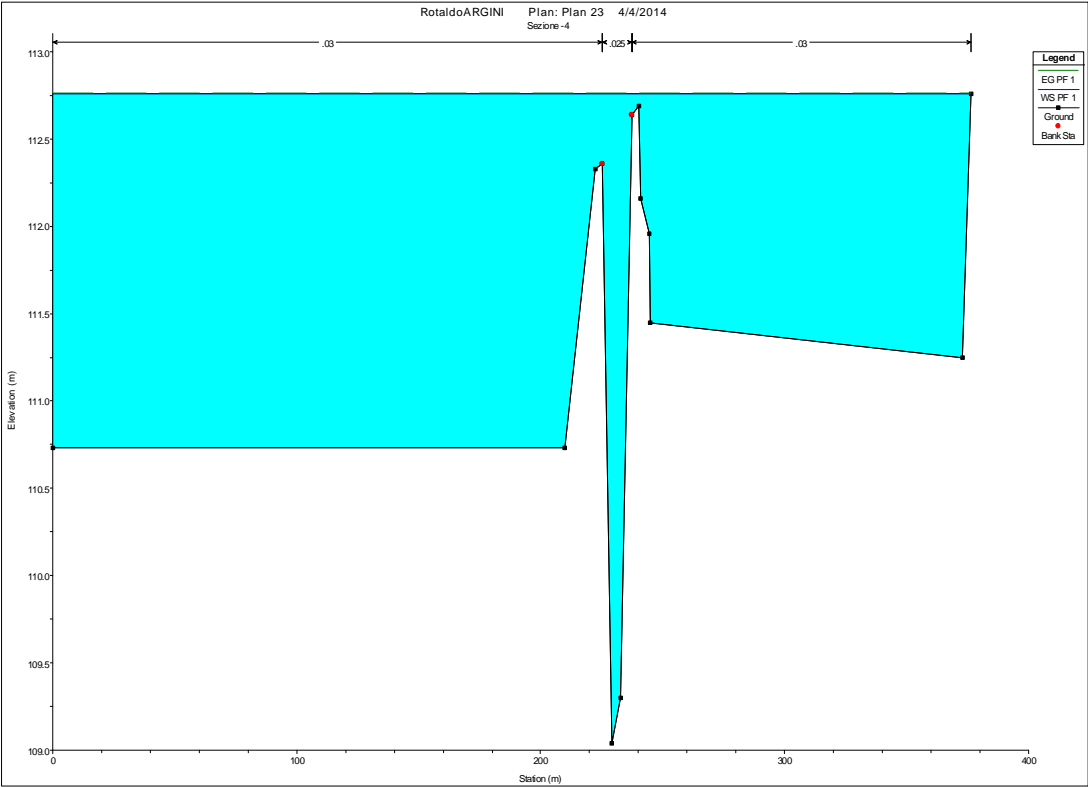










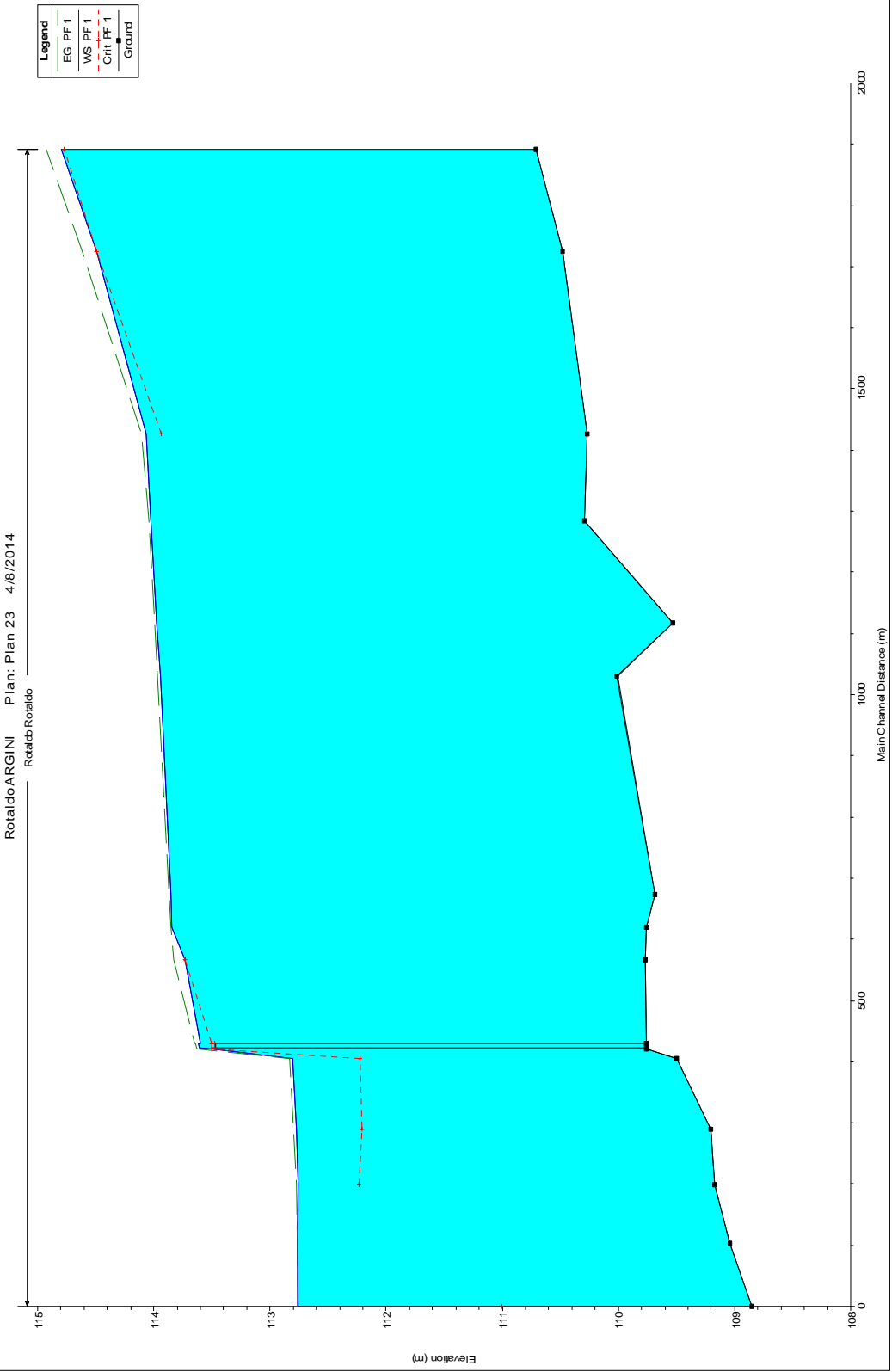




## **ALLEGATO A.2**

**Profilo di verifica dell'analisi idraulica – STATO DI FATTO**





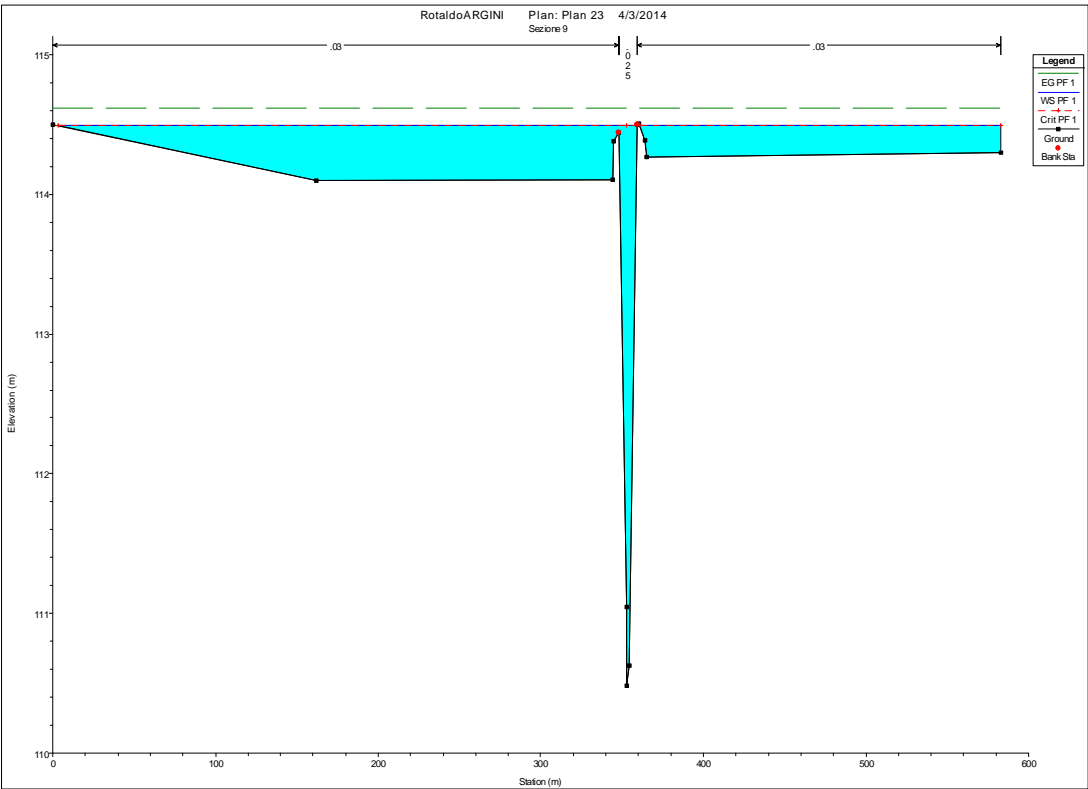
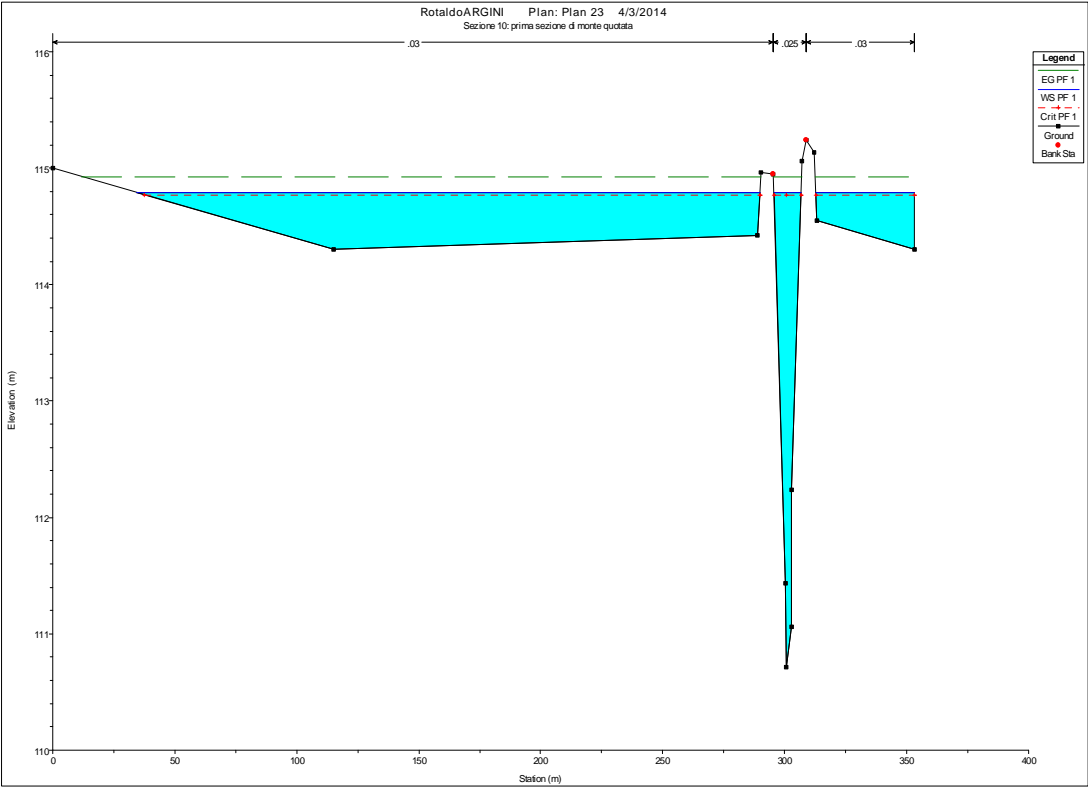


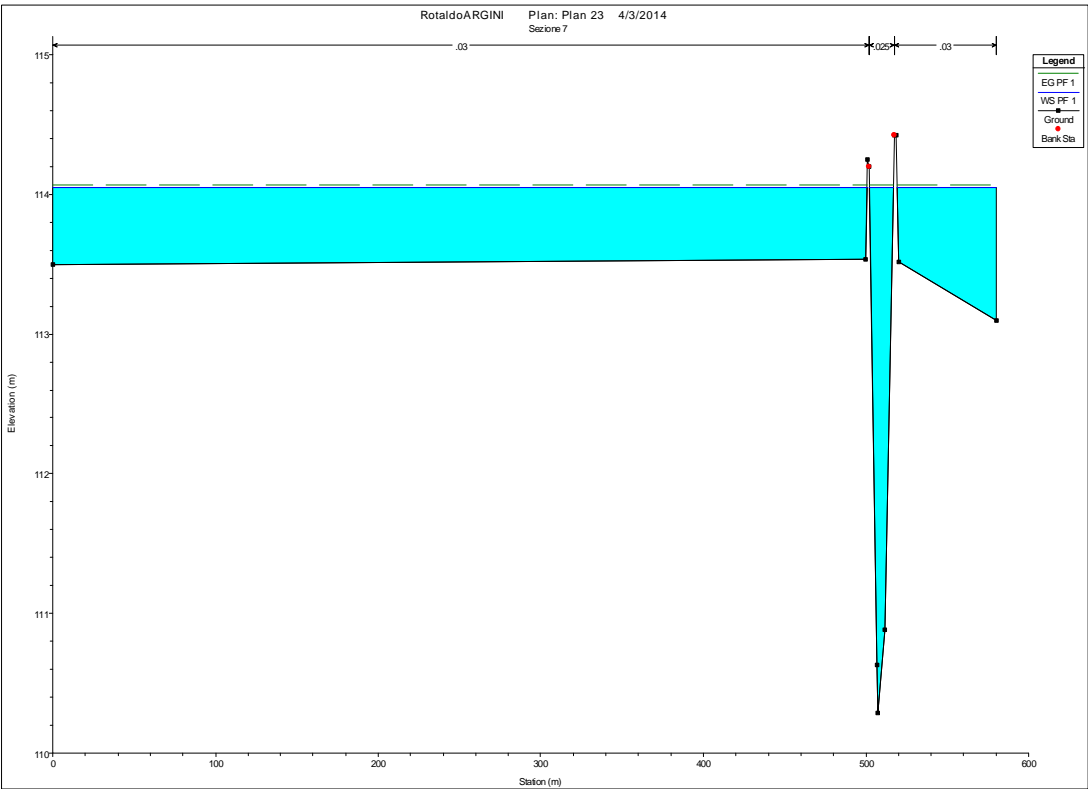
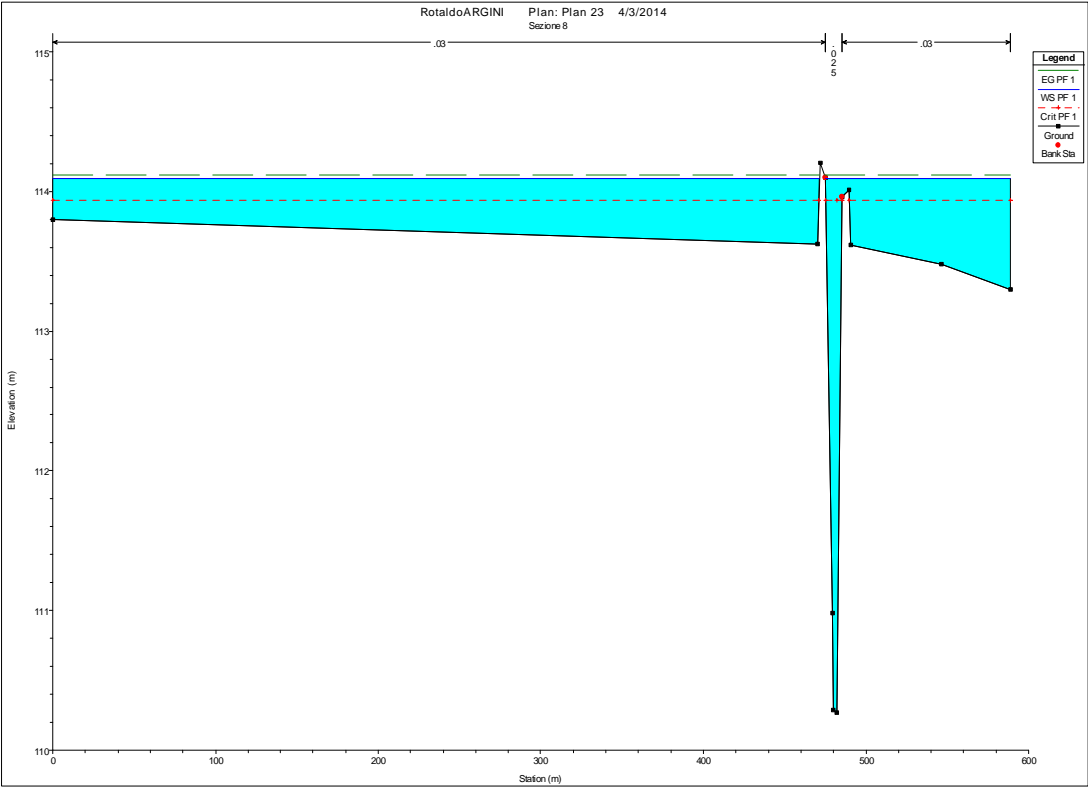
## **ALLEGATO A.3**

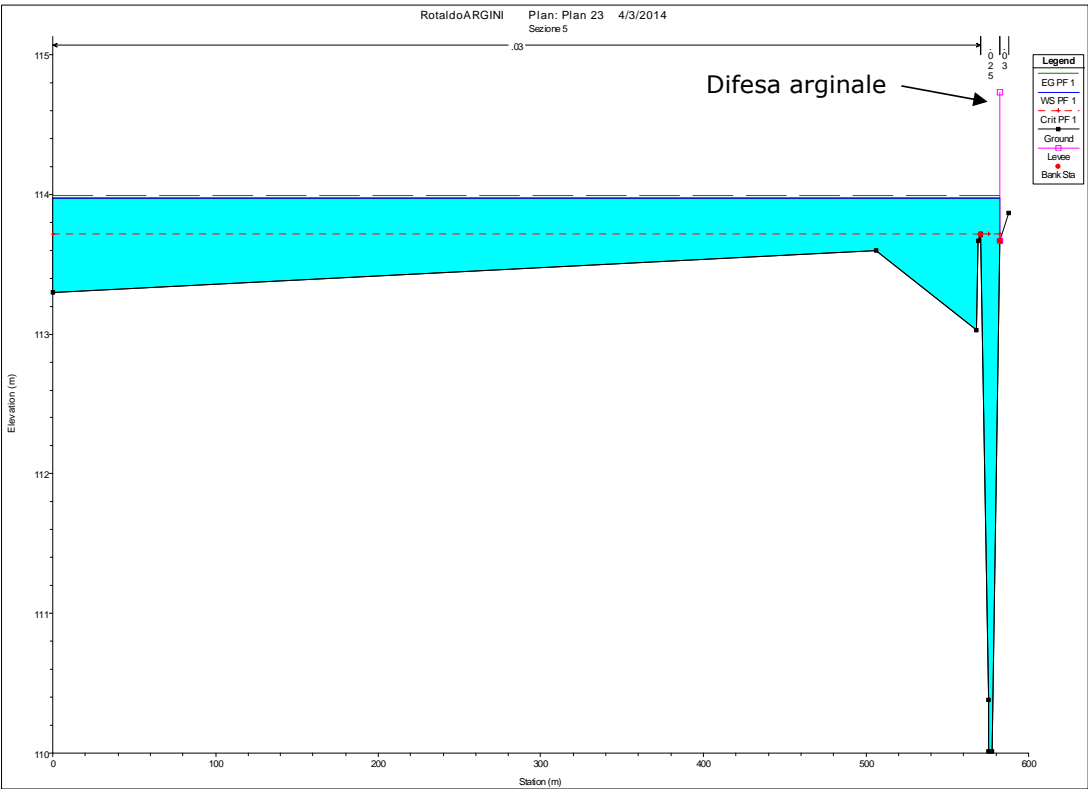
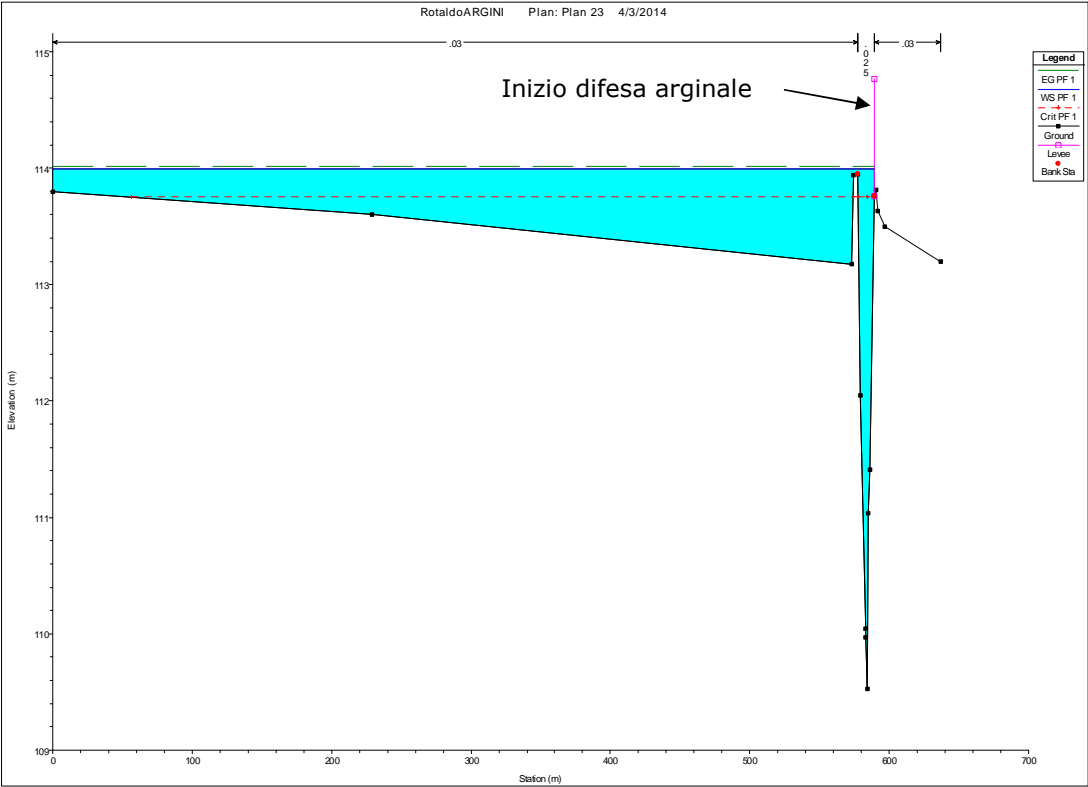
**Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI  
PROGETTO**

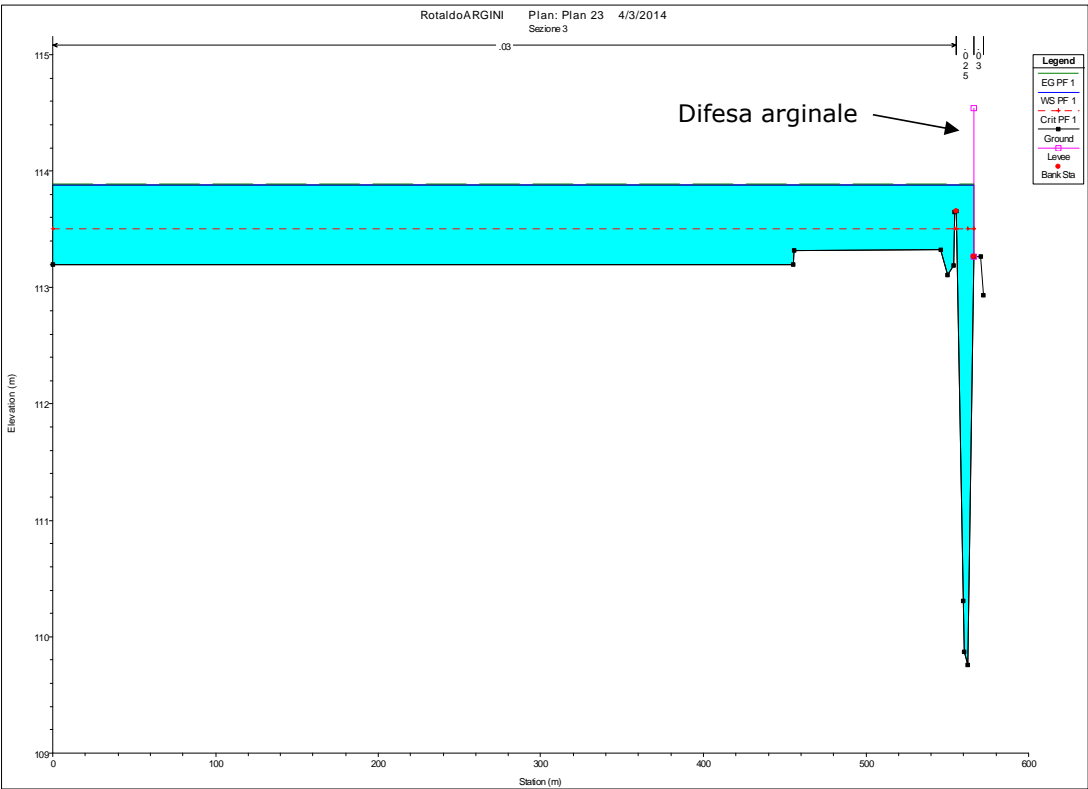
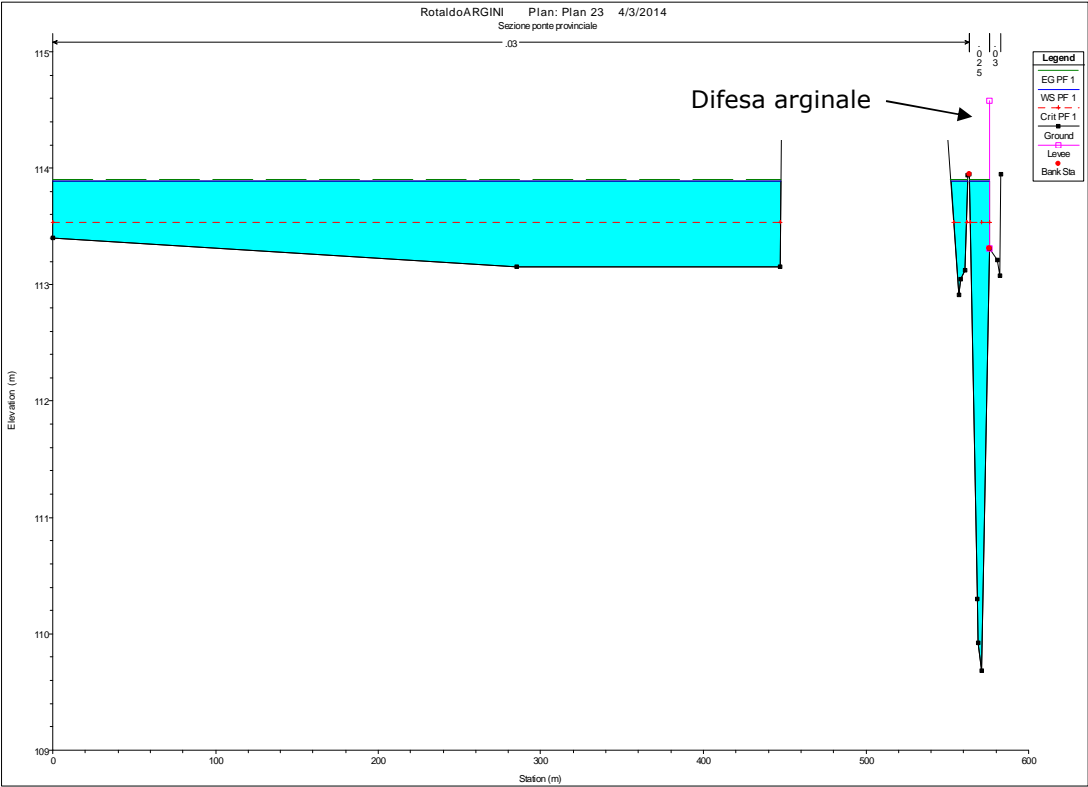


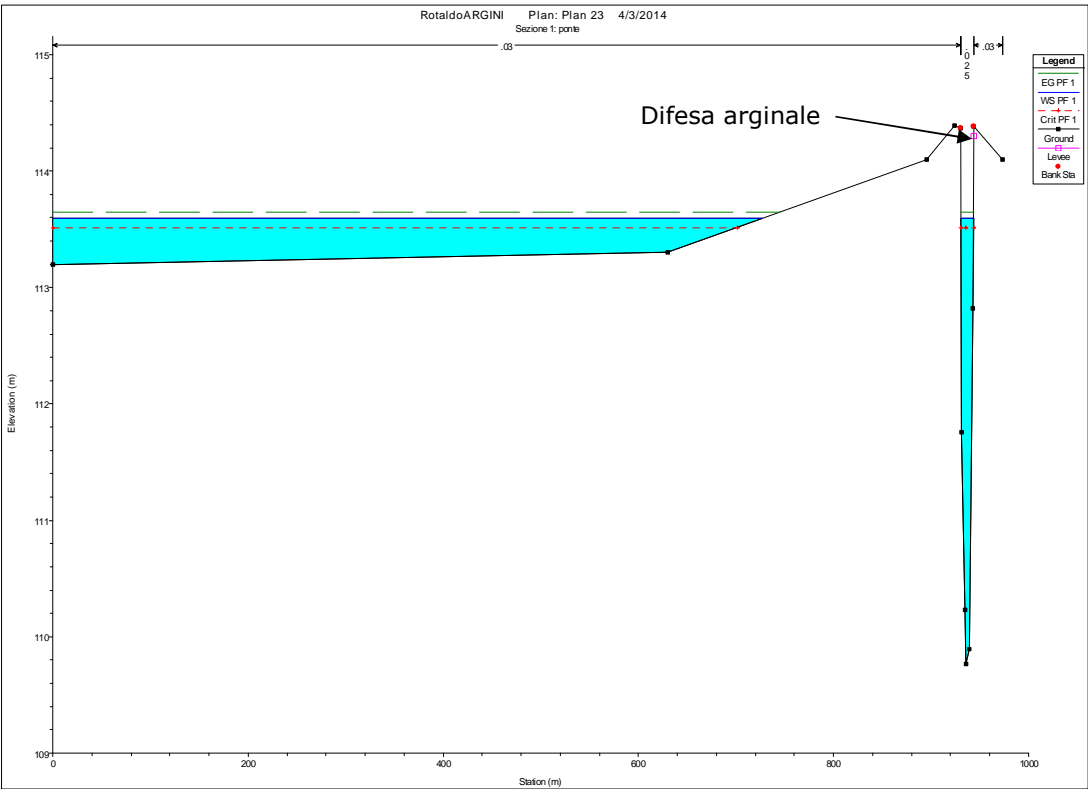
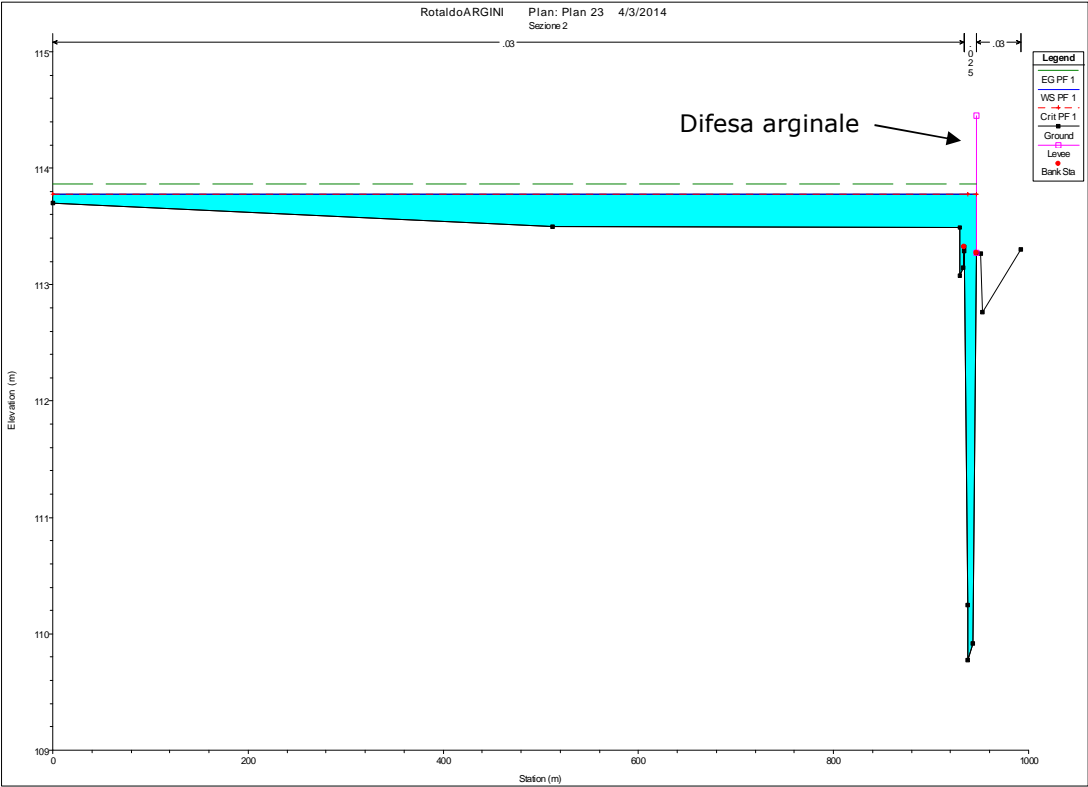


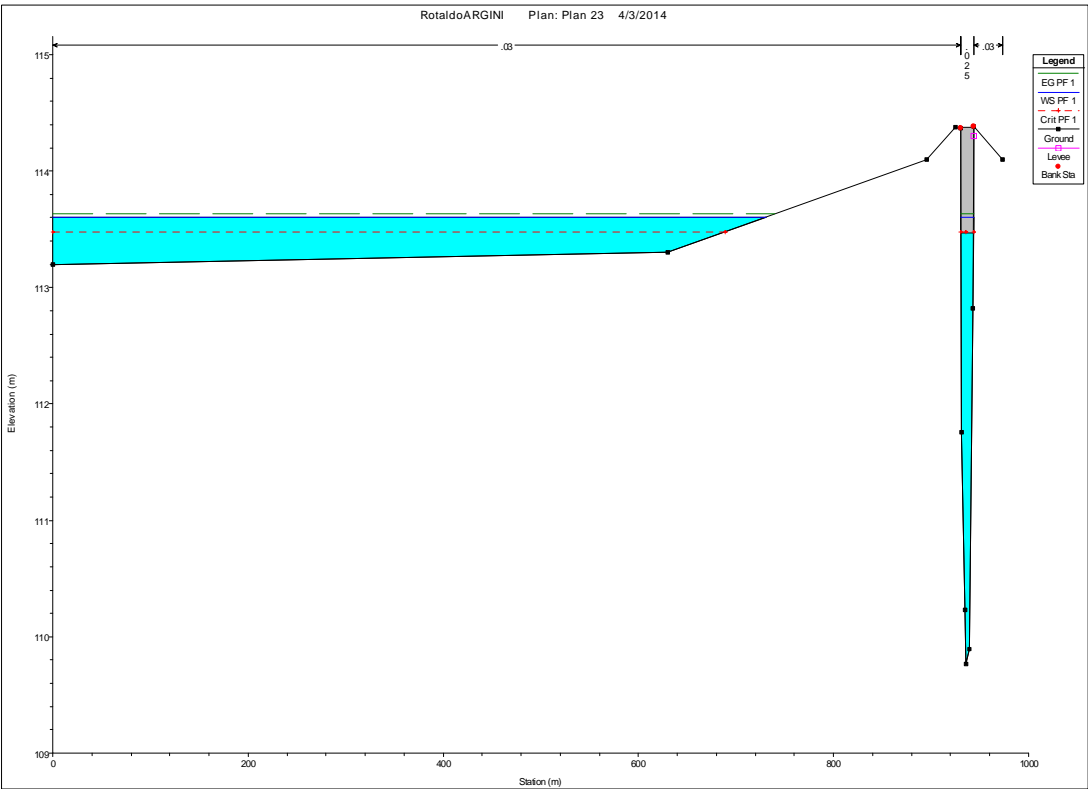
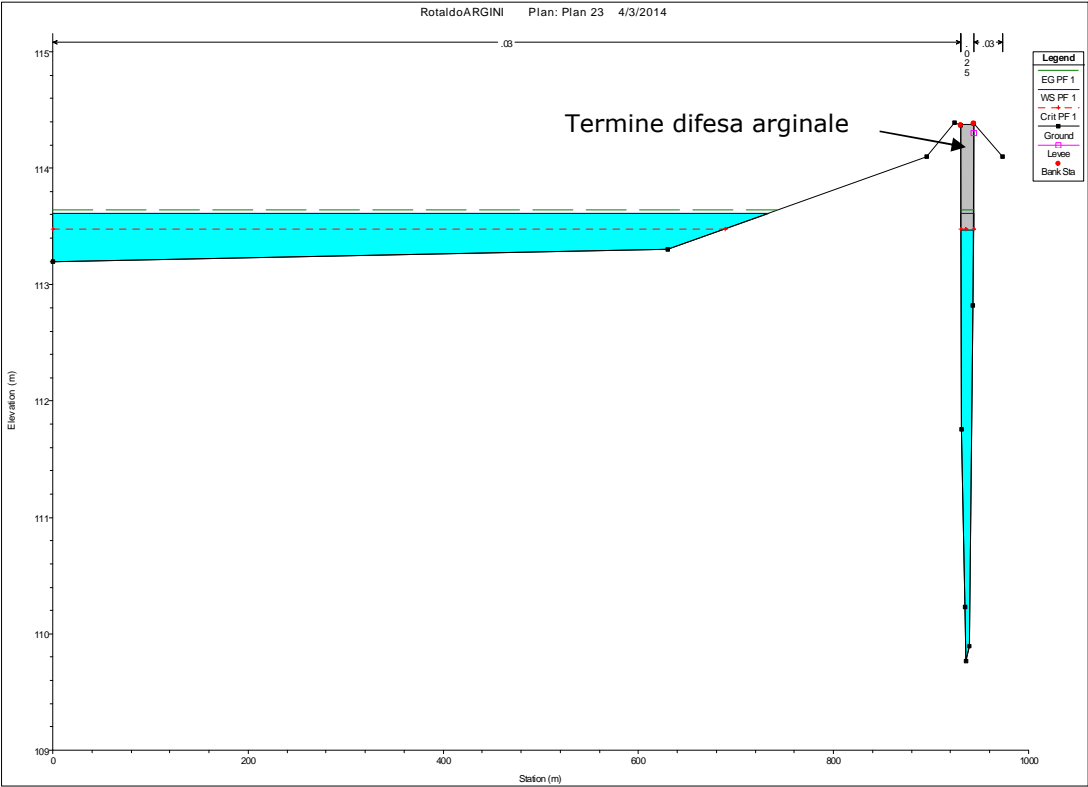


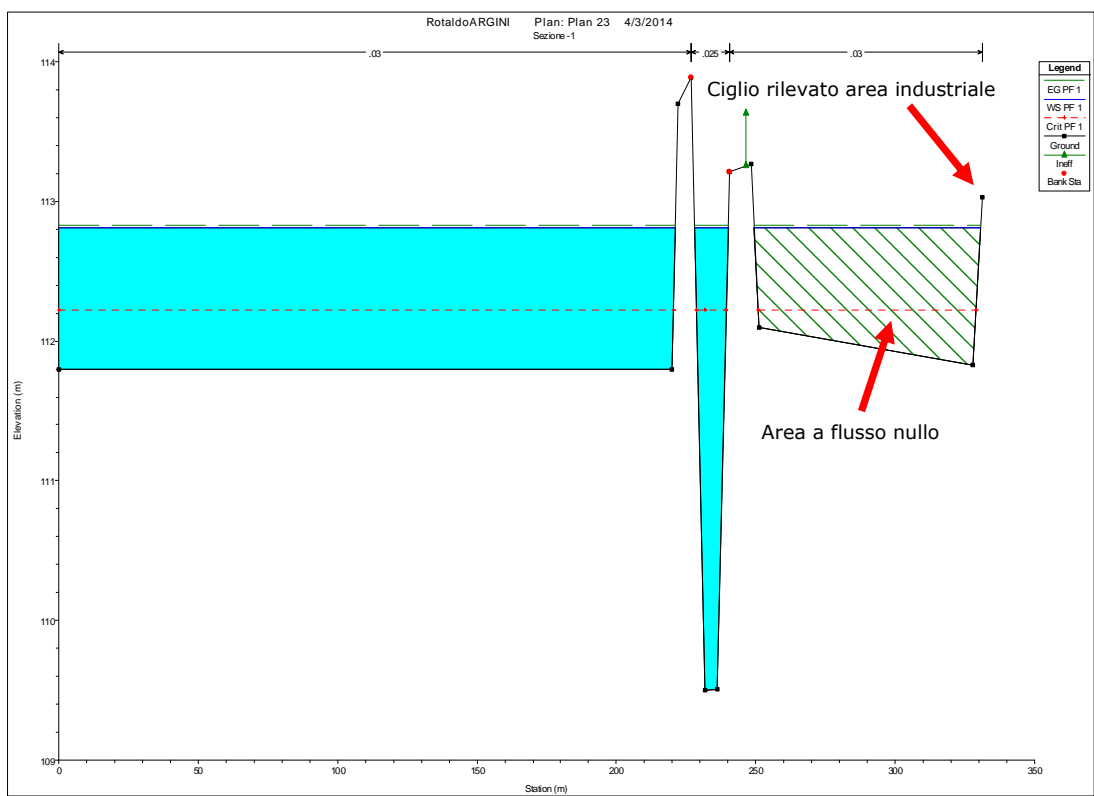
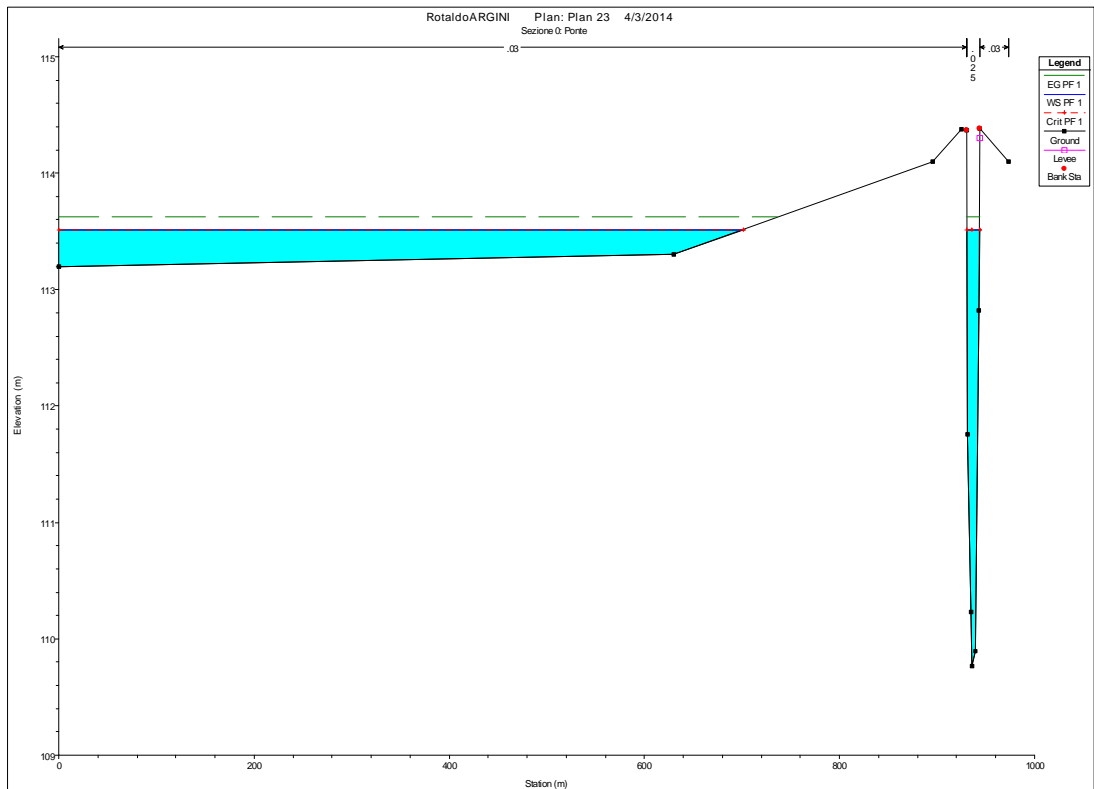


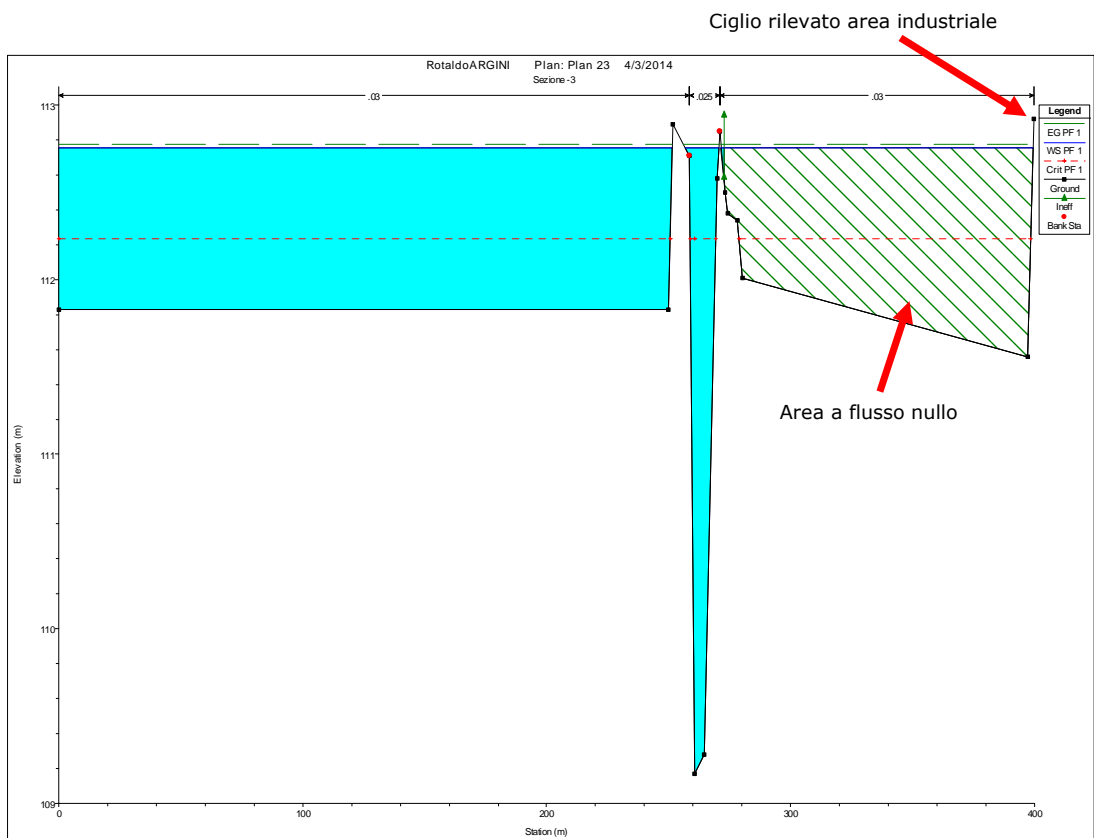
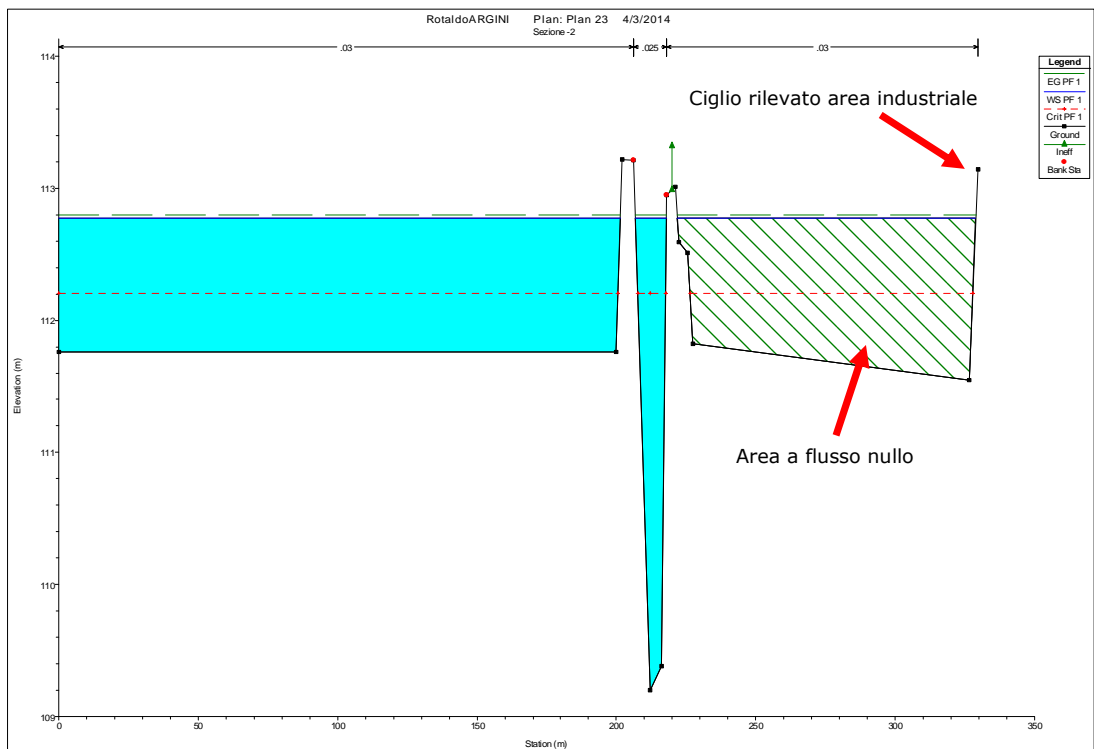




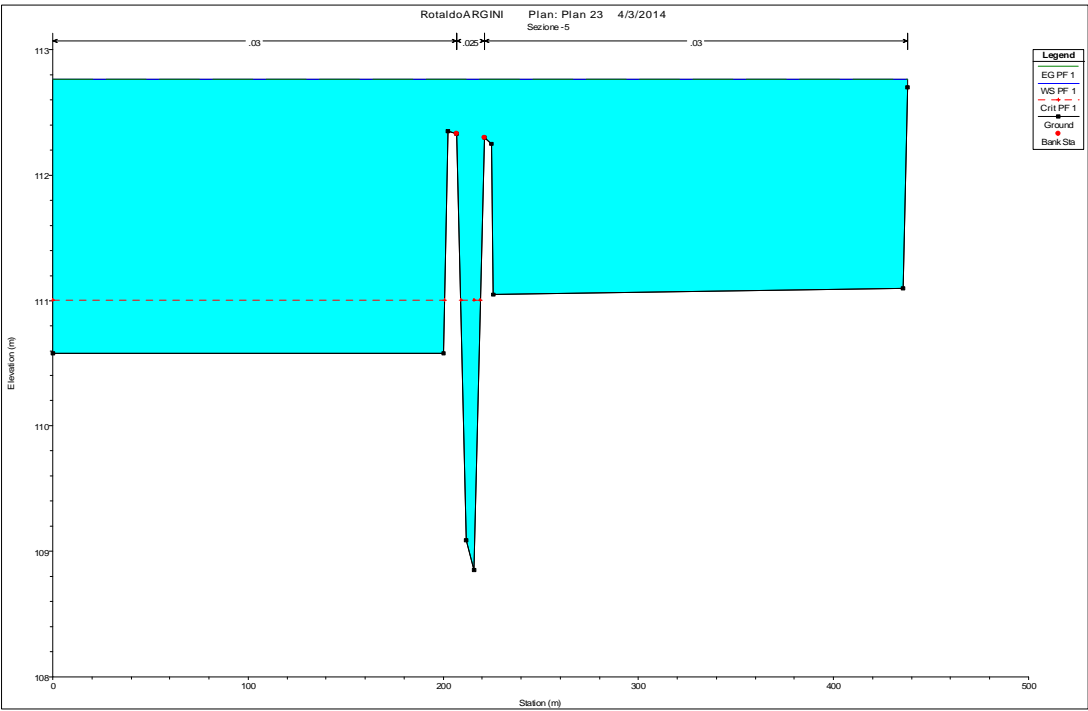
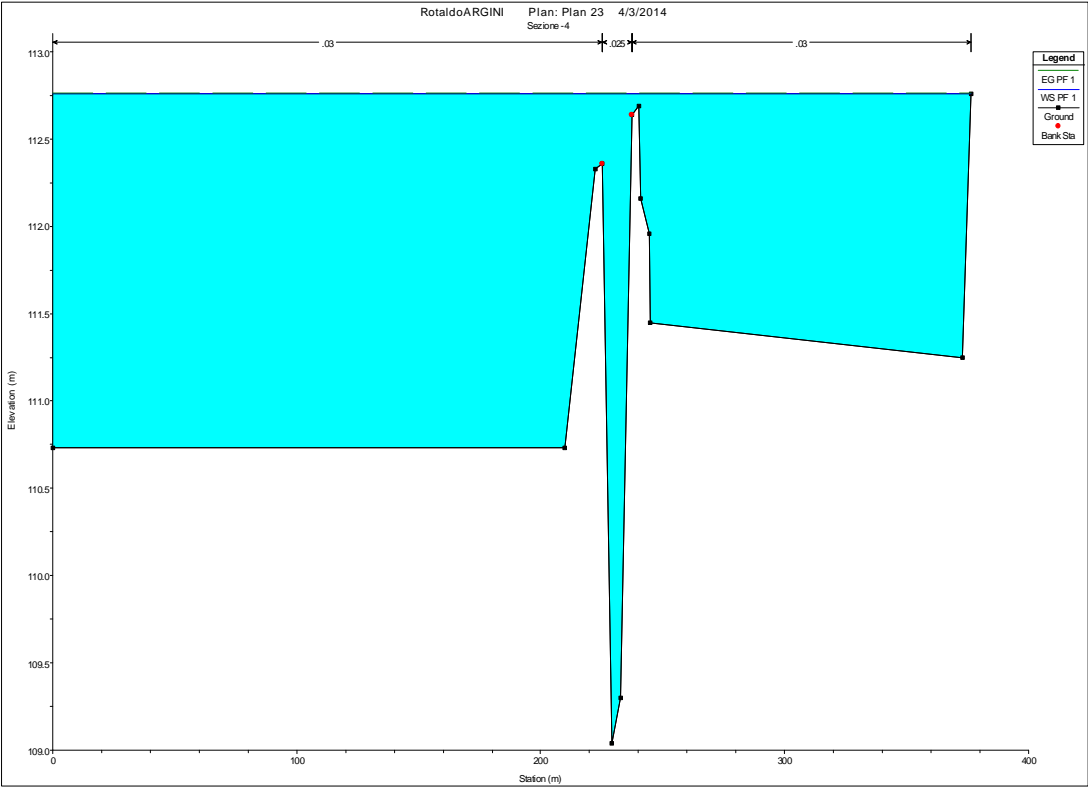










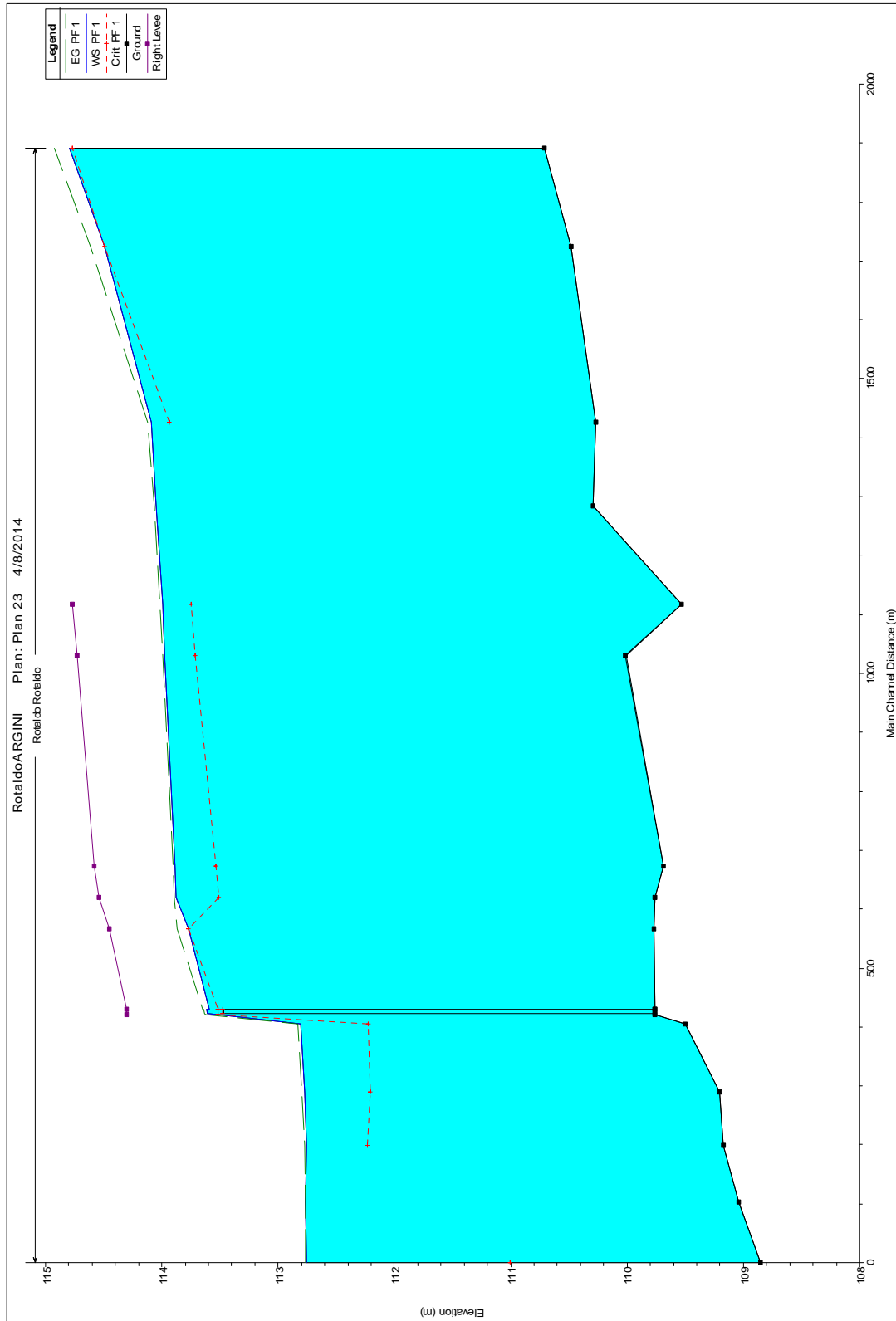


## **ALLEGATO A.4**

**Profilo di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI  
PROGETTO**



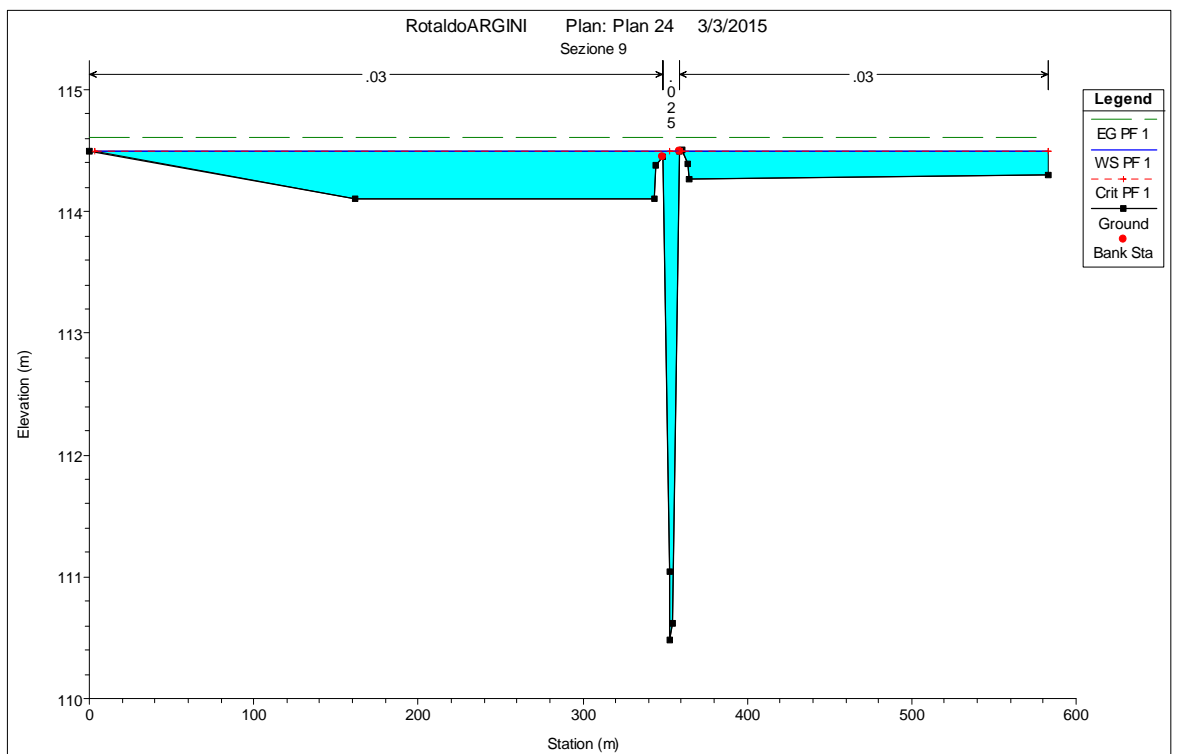
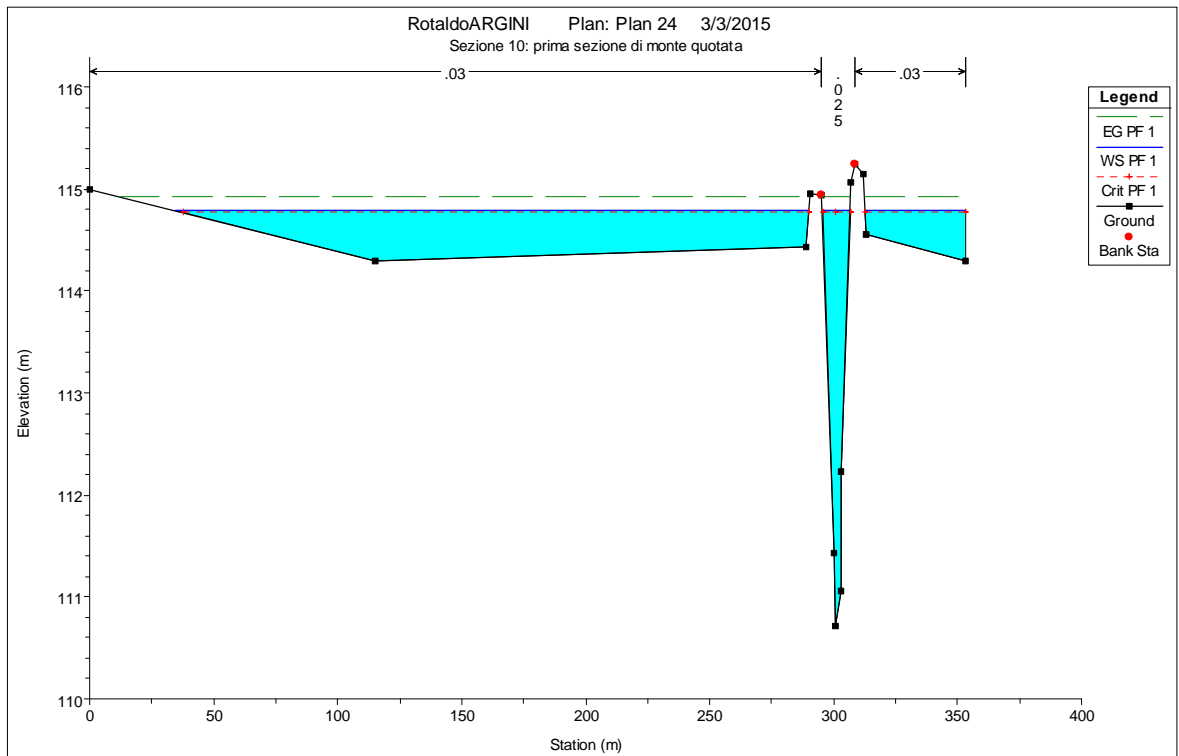
# Profilo di verifica dell'analisi idraulica – CONFIGURAZIONE DI PROGETTO

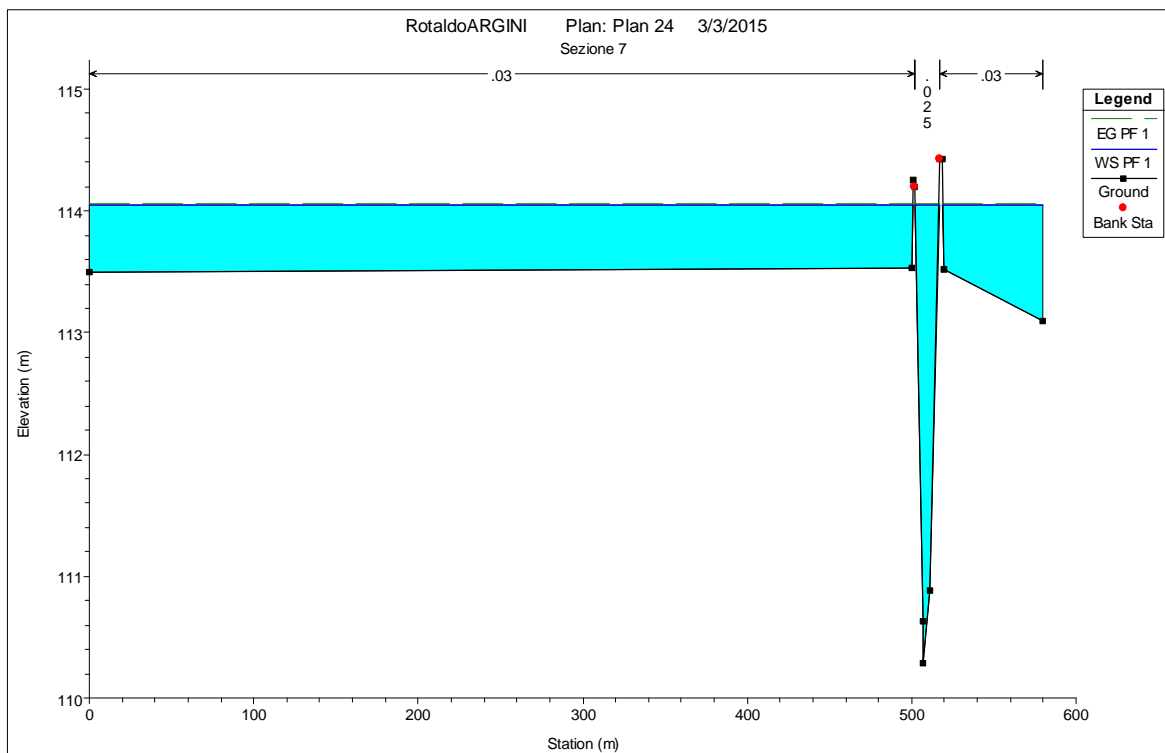
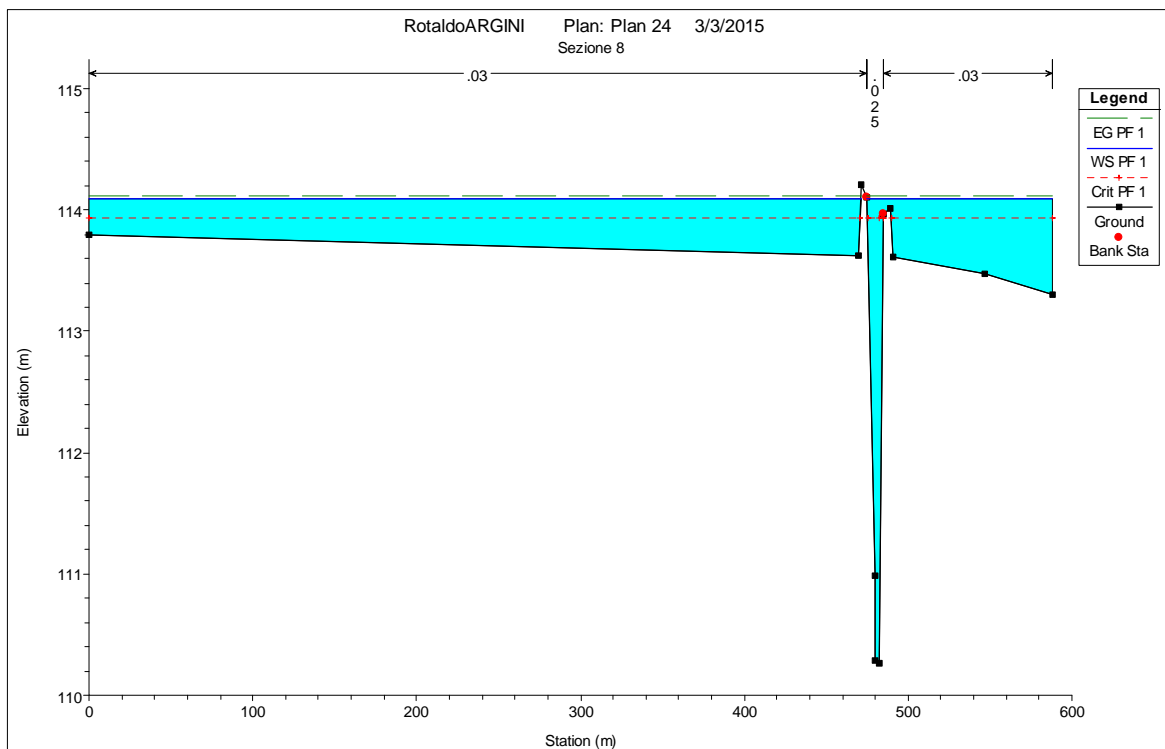




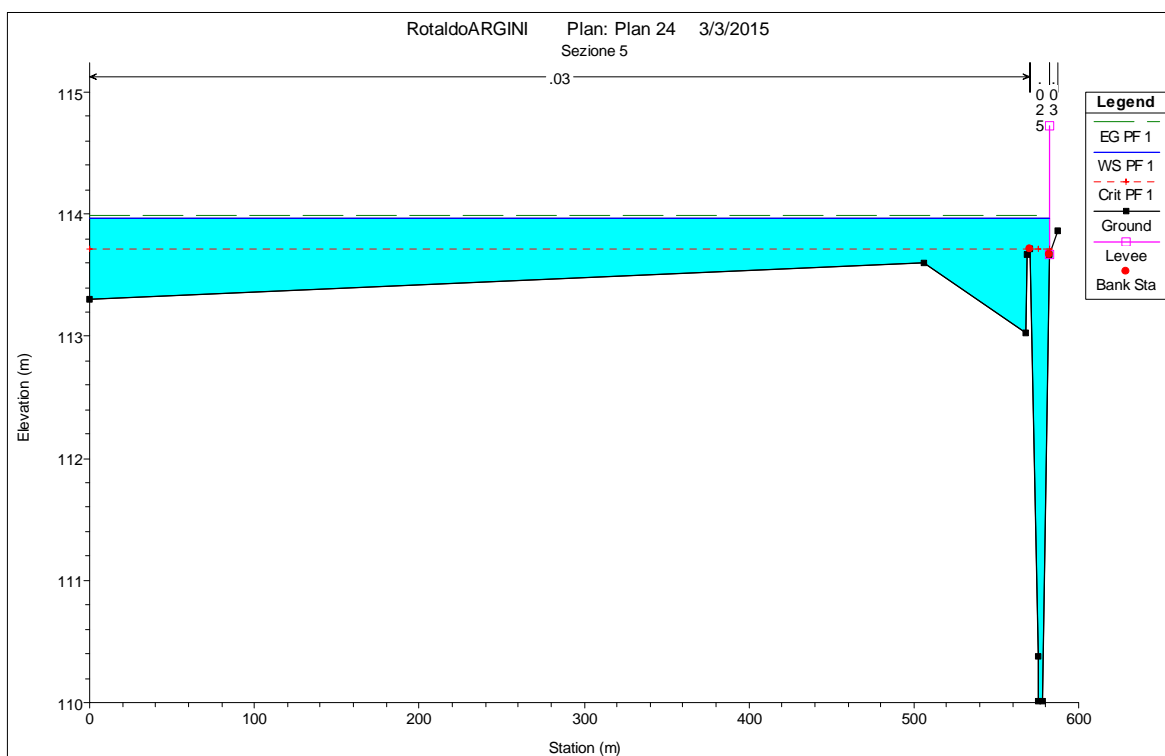
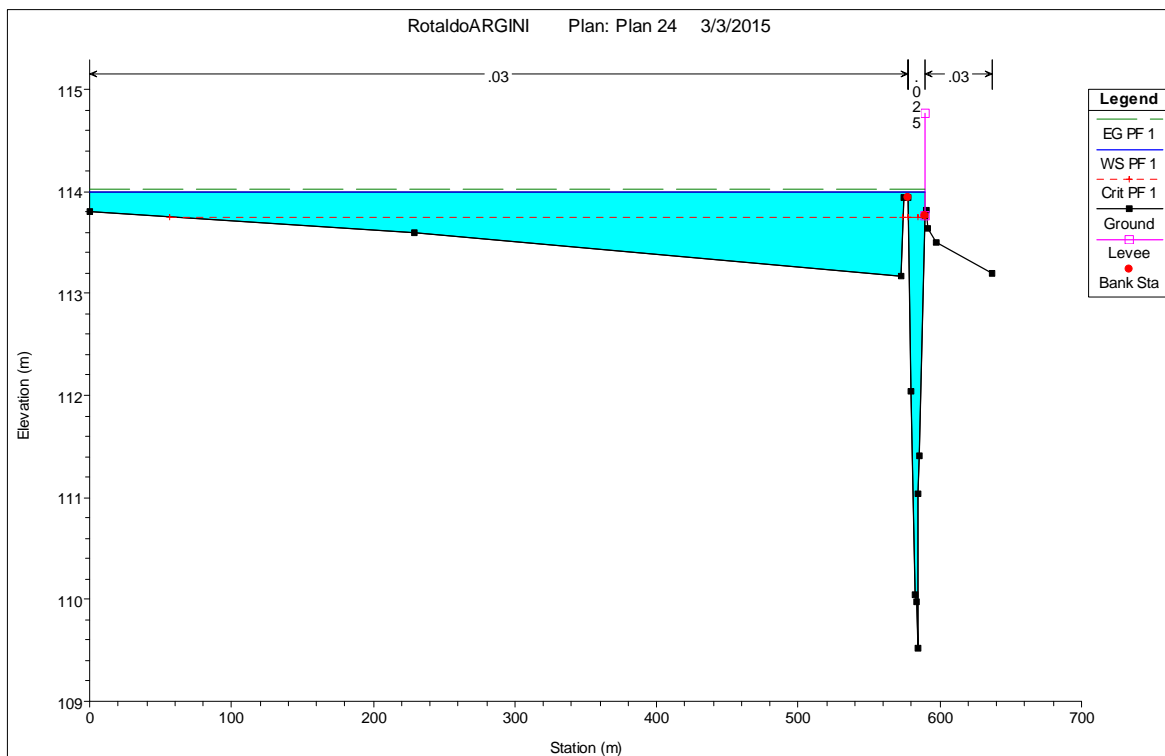
## **ALLEGATO A.5**

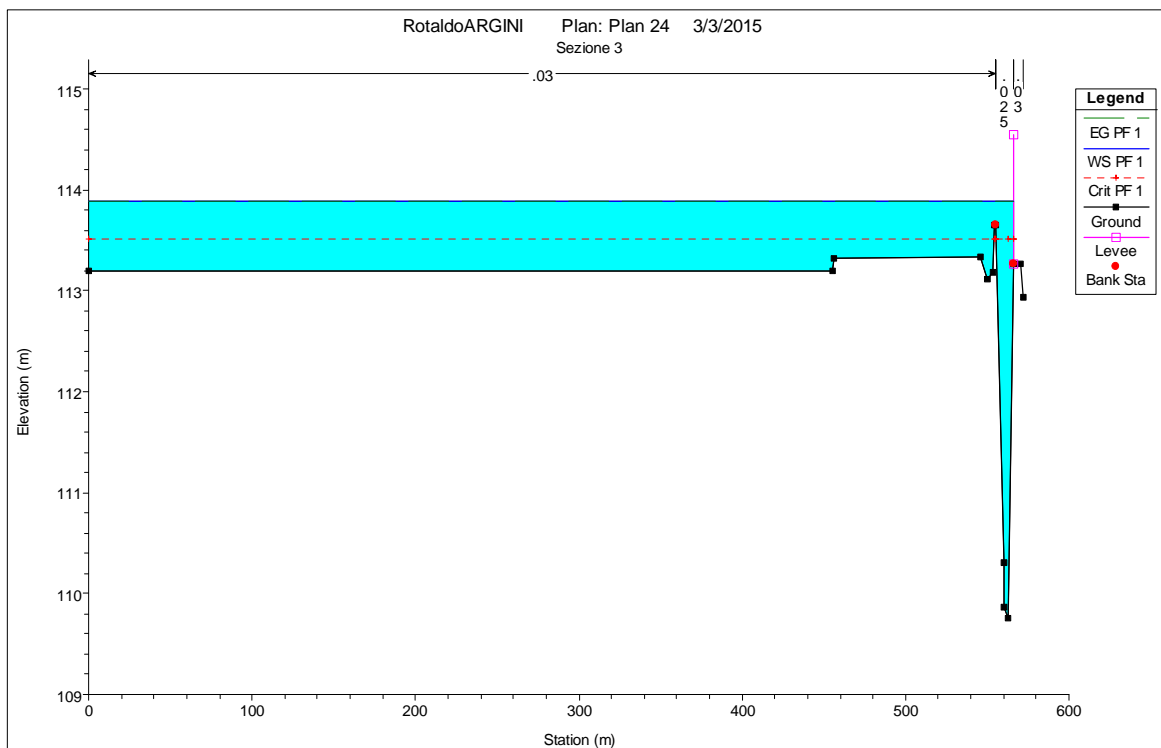
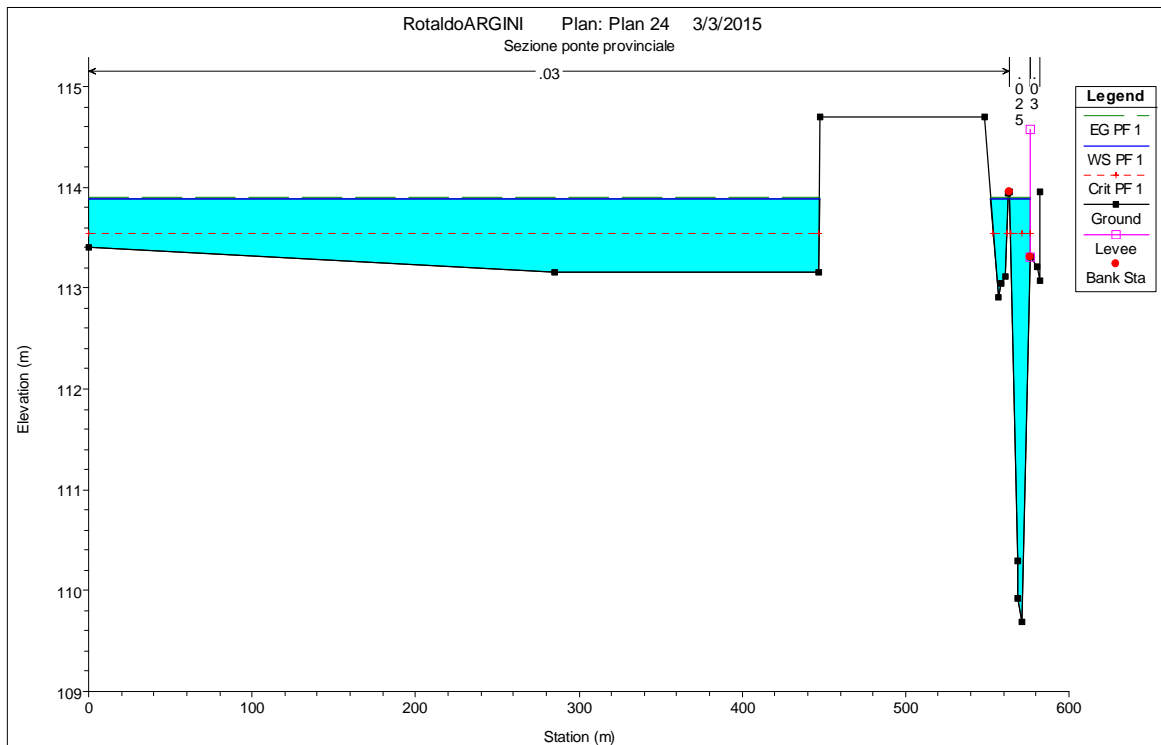
**Sezioni idrauliche di verifica dell'analisi idraulica nella configurazione di progetto, nell'ipotesi dell'inserimento della prevista arginatura PAI a valle del ponte della SP 31**

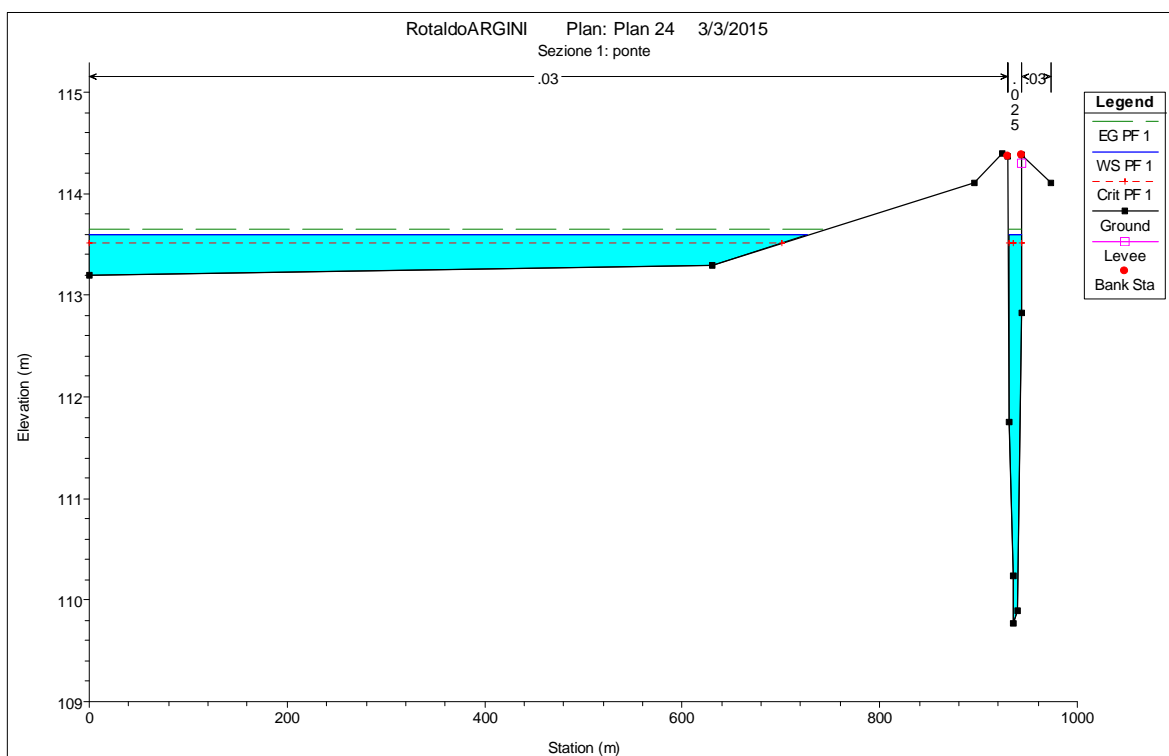
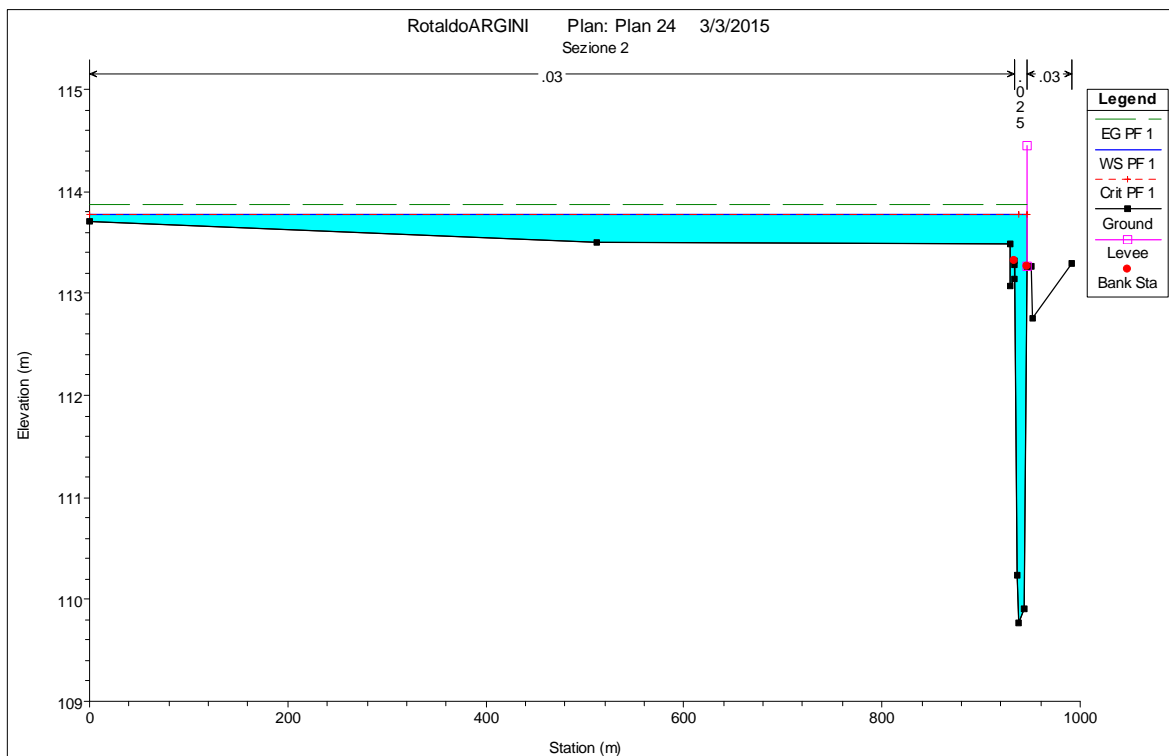


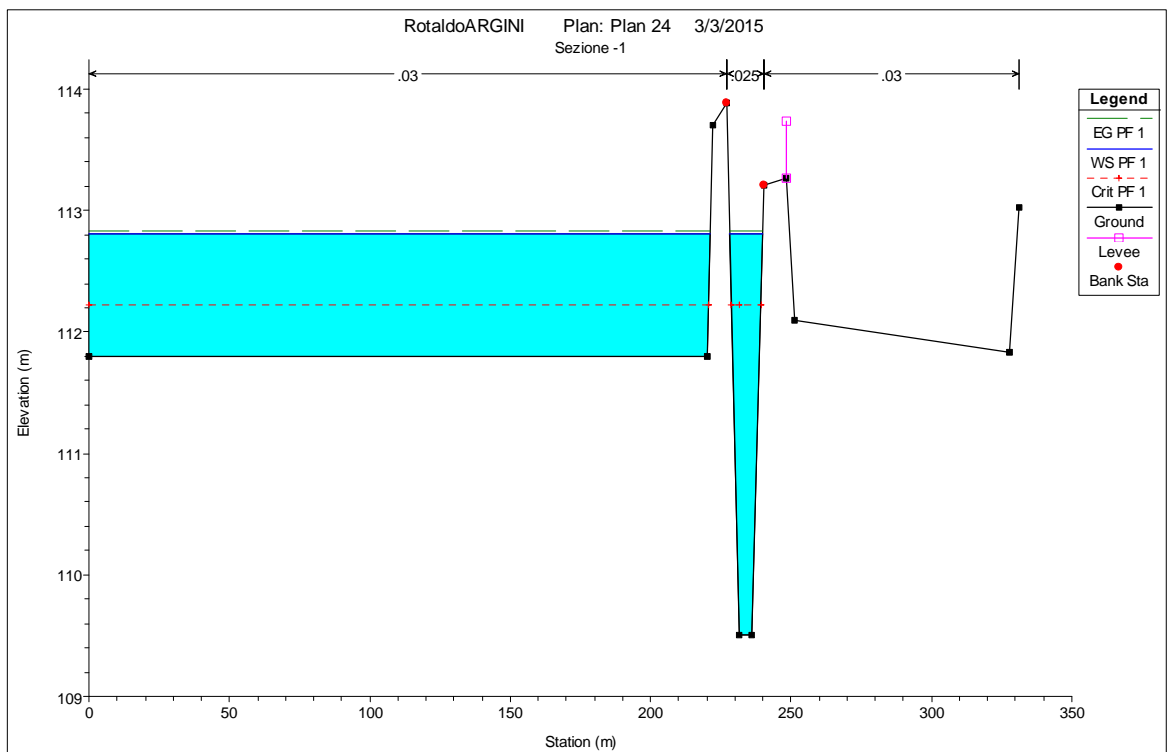
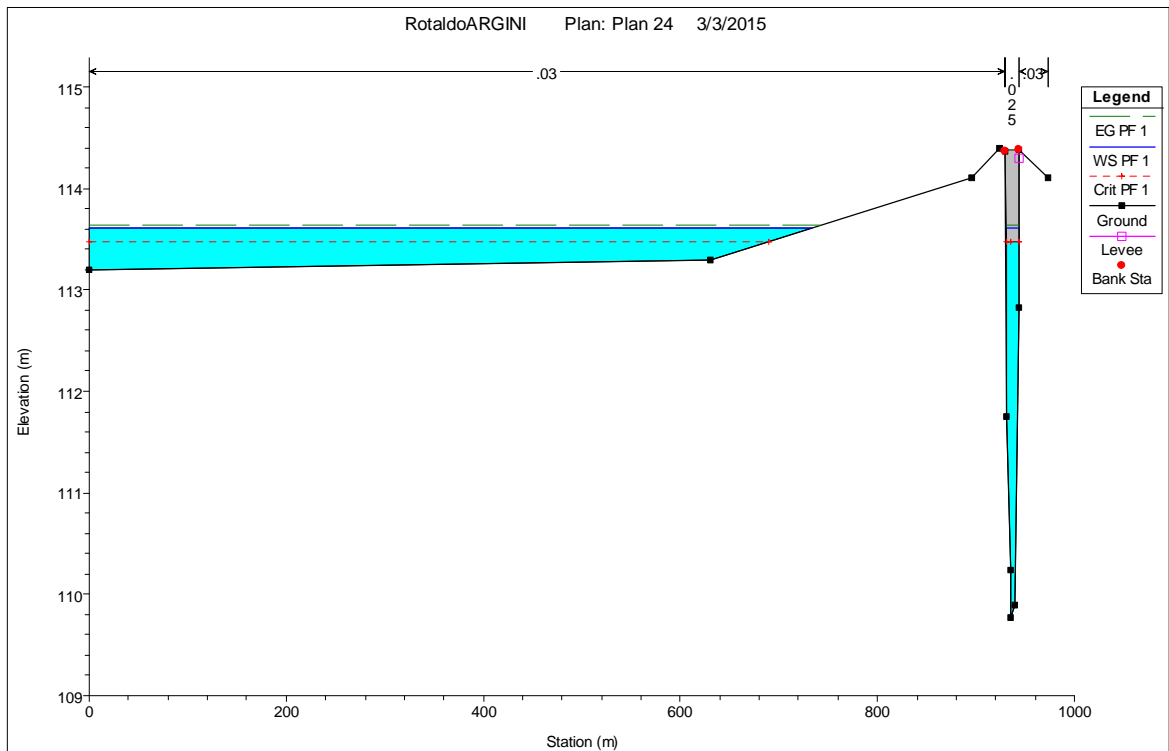


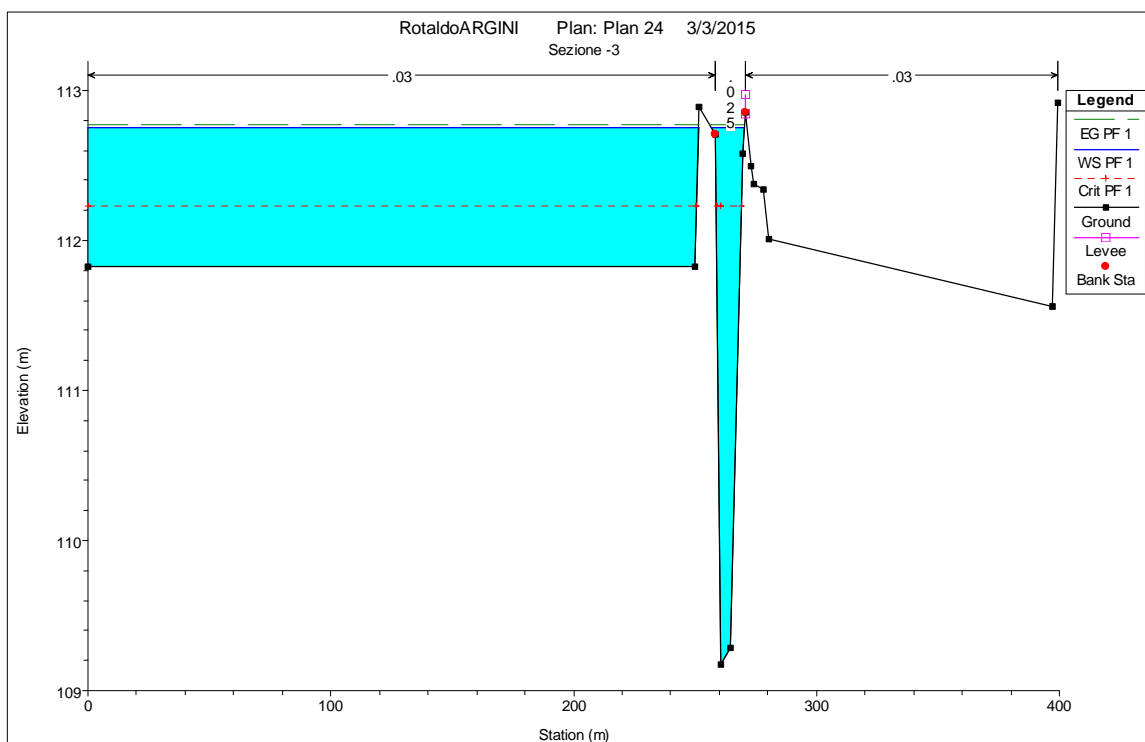
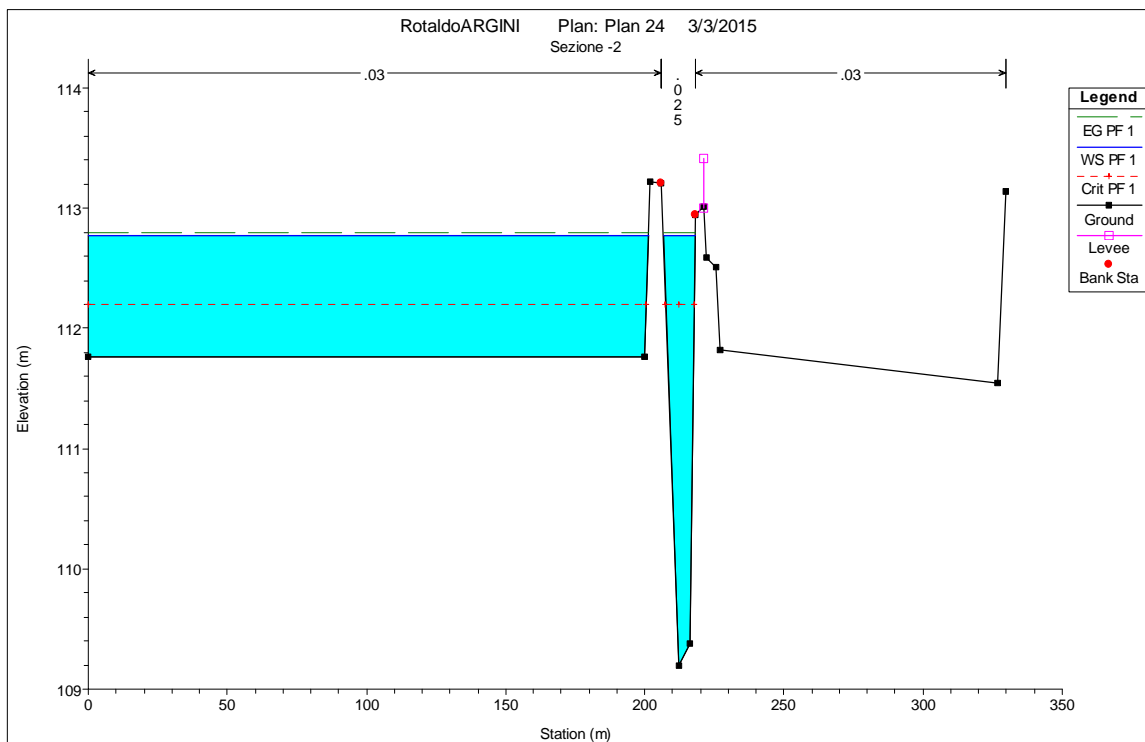


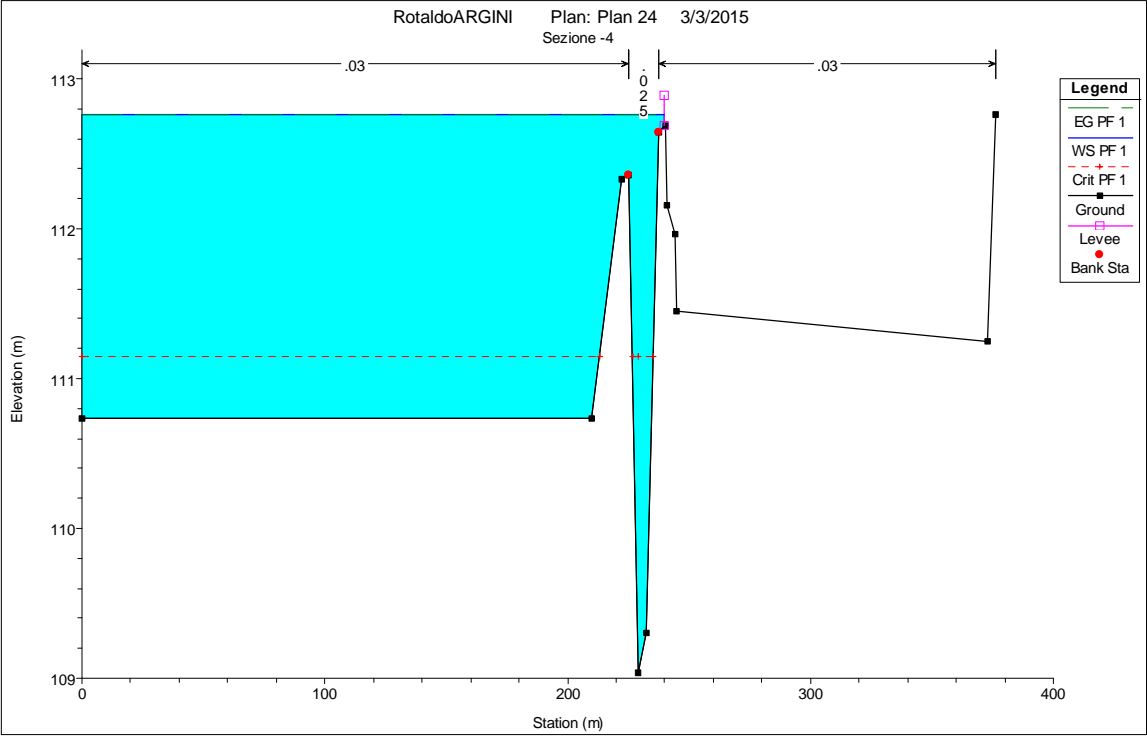












## **ALLEGATO B**

**Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) -  
Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter - Rete idrografica minore  
naturale di pianura**







AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO  
P A R M A

## **Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)**

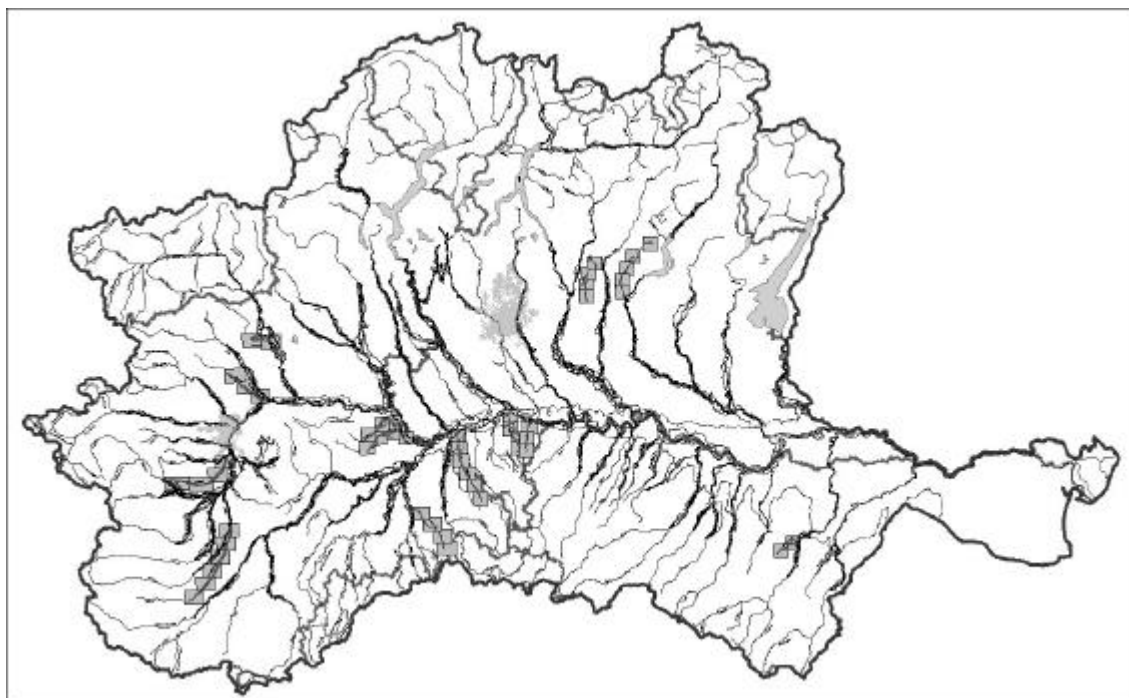
Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6-ter

### **Rete idrografica minore naturale di pianura**

### **Relazione**

LINEE GENERALI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E QUADRO DEGLI INTERVENTI

BACINO DEL TORRENTE ROTALDO



# INDICE

<b>1. Introduzione.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Caratteristiche generali .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Analisi delle condizioni di sicurezza attuali .....</b>	<b>5</b>
3.1. Valutazioni sulla dinamica evolutiva e sulle condizioni di stabilità morfologica.....	5
3.2. Funzionalità del sistema difensivo e delle opere interferenti.....	6
3.3. Aspetti idrologici e idraulici.....	9
3.3.1. Caratteristiche generali .....	9
3.3.2. Portate di piena.....	10
3.3.3. Geometria e caratteristiche idrauliche dell'alveo.....	12
3.3.4. Messa a punto del modello idrodinamico di simulazione.....	13
3.4. Delimitazione delle aree allagabili.....	14
3.5. Aree storicamente esondate.....	18
<b>4. Assetto di progetto .....</b>	<b>18</b>
4.1. Cascina Fornace (sez. 50) - Ponte della Strada Comunale per San Maurizio (sez. 35) .....	21
4.1.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale .....	21
4.1.2. Interventi principali .....	21
4.1.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento.....	22
4.1.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali.....	22
4.2. Ponte della Strada Comunale per San Maurizio (sez. 35)-ponte della Strada Provinciale Ticineto - Valmacca (sez. 8) .....	23
4.2.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale .....	23
4.2.2. Interventi principali .....	25
4.2.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento.....	26
4.2.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali.....	26
4.3. Ponte della Strada Provinciale Ticineto - Valmacca (sez. 8) - confluenza Po, Località Rivalba (sez. 1) .....	28
4.3.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale .....	28
4.3.2. Interventi principali .....	28
4.3.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento.....	28
4.3.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali.....	29

# Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico nel bacino del Torrente Rotaldo

## 1. Introduzione

L'Autorità di bacino del fiume Po ha condotto sulla rete idrografica, a partire dal 1995, attività di ricognizione, di studio e di predisposizione del Piano, attraverso il coinvolgimento delle Regioni e degli Enti locali.

Sono stati avviati prioritariamente i Sottoprogetti:

### **SP 1-Piene e naturalità degli alvei**

### **SP 2- Stabilità dei versanti**

Nel 2000 è stato infine promosso il Sottoprogetto **SP 4 Rete idrografica minore naturale e artificiale** che prende in esame il restante sistema idrico naturale e artificiale nelle aree di pianura e di fondovalle montano, presenti in ciascuno dei 9 ambiti in cui è stato suddiviso il territorio compreso tra i principali affluenti del Po, con l'obiettivo di integrare il quadro delle conoscenze circa le criticità idrauliche presenti:

- lungo i corsi d'acqua naturali del reticolo secondario naturale e artificiale
- nei nodi critici intesi sia come singole località dove i fenomeni di esondazione coinvolgono insediamenti abitativi, produttivi e infrastrutture di grande importanza, sia come parti di reticolo idrografico minore il cui assetto idraulico è completamente compromesso dalle mutate caratteristiche del territorio su di esso idraulicamente gravante.

Dopo una fase preliminare consistente nell'inquadramento generale di tutto il territorio in esame, nella individuazione delle problematiche più rilevanti, nell'acquisizione dei dati esistenti al fine di definire le esigenze di approfondimento conoscitivo per i diversi temi di studio, si è proceduto per il corso d'acqua in oggetto allo svolgimento delle attività previste dalla prescrizione tecnica di disciplinare riepilogate nel seguente elenco:

- Caratterizzazione geometrica, geomorfologica e idraulica del reticolo idrografico delle aree soggette ad allagamento;
- Catasto delle opere idrauliche;
- Aggiornamento e sistematizzazione dell'idrologia di piena;

- Valutazione del pericolo attuale di esondazione;
- Caratteristiche socio - economiche delle aree soggette ad esondazione;
- Censimento delle emergenze storico - culturali, naturalistiche ed ambientali;
- Delimitazione delle fasce fluviali per assegnati tempi di ritorno;
- Definizione delle linee di assetto e relative opzioni di intervento.

Complessivamente lo studio ha portato a:

- una rappresentazione sintetica delle zone a diverso grado di pericolosità e di rischio
- alla individuazione dei criteri e delle opzioni di intervento per il progressivo conseguimento di una riduzione del rischio attuale a livelli compatibili.

Sono così disponibili gli elementi conoscitivi per predisporre una integrazione al PAI riguardante i corsi d'acqua del reticolo idrografico secondario naturale.

## **2. Caratteristiche generali**

Il torrente Rotaldo è un affluente di destra del fiume Po ed attraversa parte del territorio collinare delle province di Asti ed Alessandria (Basso Monferrato).

Il torrente Rotaldo nasce da vari rami in corrispondenza delle alture collinari dei comuni di Ottiglio e Grazzano Badoglio (quota compresa tra 250-300 m s.l.m.) e sfocia dopo 32 Km nel Po a Rivalba (q. 90 m s.l.m.).

La valle del torrente Rotaldo nel tratto iniziale si presenta stretta e con direzione NW-SE fino a Case Ruichena (S di Frassinello Olivola), dove assume un andamento NE-SW. Dalla confluenza del rio Ponara la valle del torrente Rotaldo si allarga fino ad aprirsi completamente in corrispondenza della pianura del Po.

Nel settore di pianura, il torrente Rotaldo presenta nel tratto iniziale una direzione SW-NE che passa, in corrispondenza di Borgo S. Martino, ad una direzione NW-SE, fino alla confluenza con il fiume Po.

A valle di Case Ruichena e fino all'altezza di Vallare, confluiscono nel Rotaldo diversi rii minori, fra cui i più importanti sono rappresentati dal rio Ponara e da rio della Valle della Chiesa, entrambi situati in destra idrografica.

Nel presente studio è stato esaminato il tratto del torrente Rotaldo compreso tra Camagna Monferrato (cascina Africa) e la confluenza nel Po (Rivalba).

### **3. Analisi delle condizioni di sicurezza attuali**

#### **3.1. Valutazioni sulla dinamica evolutiva e sulle condizioni di stabilità morfologica**

##### Tratto 1

Questo tratto si estende, per una lunghezza di circa 4 chilometri, dalla località Cascine Nuove (comune di Rivalba) fino alla confluenza nel Po.

Il torrente Rotaldo è caratterizzato in questo tratto da alveotipo sinuoso, localmente meandriforme per la presenza di un ampio meandro a monte di Rivalba, rettificato per meno di un chilometro in corrispondenza della stessa località.

Nel tratto non sono state osservate evidenze di approfondimento o ripascimento tali da poterne misurare l'entità; dall'osservazione delle strutture antropiche la tendenza evolutiva all'erosione del profilo di fondo appare nulla, così come la tendenza al ripascimento. Nel complesso l'alveo risulta stabile.

##### Tratto 2

Questo tratto si estende, per una lunghezza di circa 4 chilometri, da Case Picchetta in comune di Ticineto, fino a circa trecento metri a nord di Cascine Nuove in comune di Rivalba.

In questo tratto il torrente presenta alveotipo a larghezza costante, generalmente rettilineo con locale sinuosità in corrispondenza dell'abitato di Ticineto.

Nel tratto non sono state osservate evidenze di approfondimento o ripascimento tali da poterne misurare l'entità; inoltre dall'osservazione delle strutture antropiche, quali ponti ed opere trasversali, la tendenza evolutiva all'erosione del profilo di fondo appare scarsa, così come la tendenza al ripascimento.

##### Tratto 3

Questo tratto si estende dal ponte della A26, a nord di Occimiano, fino a Case Picchetta in comune di Ticineto, per una lunghezza di circa 5 chilometri.

In questo tratto il torrente presenta alveotipo sinuoso, localmente rettilineo a valle del ponte della A26, a larghezza costante e sgombro da vegetazione.

Nel tratto non sono state osservate evidenze di approfondimento o ripascimento tali da poterne misurare l'entità; inoltre dall'osservazione delle strutture antropiche la tendenza evolutiva all'erosione del profilo di fondo appare scarsa, così come la tendenza al ripascimento. Nel complesso l'alveo risulta stabile.

#### Tratto 4

Questo tratto si sviluppa dal ponte della S.P. 57, a nord di S.Maurizio, fino al ponte della A26, per una lunghezza di circa 5 chilometri.

In questo tratto il torrente presenta alveotipo monocursale sinuoso, caratterizzato da sinuosità irregolare e localmente ingombro da vegetazione arbustiva.

Nel tratto non sono stati osservate evidenze di approfondimento o ripascimento tali da poterne misurare l'entità; inoltre dall'osservazione delle strutture antropiche la tendenza evolutiva all'erosione del profilo di fondo appare scarsa, così come la tendenza al ripascimento. Nel complesso l'alveo risulta stabile.

#### Tratto 5

Questo tratto si estende da cascina Africa in comune di Camagna Monferrato, fino al ponte della S.P. 57, per una lunghezza di circa 6 chilometri.

In questo tratto il torrente presenta alveotipo monocursale sinuoso, localmente meandriforme, soprattutto a sud di Case Rotaldo, ad ovest di S.Maurizio, spesso ingombro da vegetazione arbustiva e arborea.

Nel tratto non sono stati osservate evidenze di approfondimento o ripascimento tali da poterne misurare l'entità; inoltre dall'osservazione delle strutture antropiche la tendenza evolutiva all'erosione del profilo di fondo appare scarsa, così come la tendenza al ripascimento. Nel complesso l'alveo risulta stabile.

### **3.2. Funzionalità del sistema difensivo e delle opere interferenti**

Poichè l'asta fluviale in esame si presenta con una significativa variabilità di caratteristiche lungo il suo sviluppo spaziale, le attività di analisi sulle condizioni di sicurezza nei confronti del rischio idraulico sono state precedute dalla prioritaria necessità di suddividere il corso d'acqua in tronchi, all'interno dei quali i parametri più significativi ai fini della caratterizzazione della regione fluviale potessero ritenersi all'incirca costanti.

Si sono ritenuti significativi, allo scopo di delimitare i singoli tronchi omogenei, i seguenti parametri:

- la tipologia di formazione e propagazione delle piene;
- le caratteristiche morfologiche dell'alveo ordinario;
- lo stato di regimazione del corso d'acqua, con particolare riguardo alle caratteristiche di continuità, discontinuità o assenza di linee di difesa;

- il grado di protezione offerto dalle opere, sia in termini di contenimento dei livelli di piena, sia di controllo dell'evoluzione morfologica dell'alveo.

I singoli tratti sono numerati con numerazione progressiva da valle verso monte.

#### Tratto n° 1

Questo tratto va da Nord della frazione "Case Nuove" alla confluenza in Po.

Le opere longitudinali nel tratto sono rappresentate da argini in terra continui dall'abitato di Rivalba verso monte, in parte coperti da vegetazione arbustiva che al momento non ne preclude il funzionamento. Nel tratto a valle di Rivalba il torrente ricade nell'area golenale del Po, e le opere presenti sono da correlare a quest'ultimo.

Nell'argine sinistro sono presenti 4 chiaviche, ubicate nei pressi di Rivalba e in buone condizioni.

Sono assenti opere trasversali.

È presente un solo attraversamento, rappresentato dal ponte di Rivalba, di dimensioni adeguate.

Il grado di protezione offerto dalle opere è adeguato per quanto riguarda il contenimento delle piene, e nullo per il contenimento dell'evoluzione morfologica.

#### Tratto n° 2

Questo tratto va dalla località Casa Pichetta alla frazione Case Nuove.

Le opere longitudinali, rappresentate da argini in terra in buone condizioni, sono presenti in modo continuo su entrambe le sponde per tutto il tratto. In prossimità della zona industriale di Ticineto e dell'abitato di Ticineto nell'argine destro sono presenti due chiaviche, di cui la prima è in disuso.

Come opere trasversali sono presenti 3 briglie: la prima, ubicata all'inizio del tratto, consiste in una vecchia opera di presa abbandonata; le altre due sono in buone condizioni.

Sono presenti due attraversamenti, uno in corrispondenza della zona industriale di Ticineto e l'altro presso l'abitato di Ticineto: entrambi presentano luci adeguate.

Il grado di protezione offerto dalle opere presenti in questo tratto risulta adeguato sia per quanto riguarda il contenimento delle piene sia per il contenimento dell'evoluzione morfologica.

#### Tratto n° 3

Questo tratto va dal ponte autostradale (A26) alla località Casa Pichetta.

In questo tratto sono presenti opere longitudinali, rappresentate da argini in terra continui ed in buone condizioni e opere trasversali costituite da due traverse per usi irrigui, una all'inizio del tratto, in buone condizioni, e l'altra, in disuso, al termine del tratto, in corrispondenza del ponte autostradale.

Gli attraversamenti di questo tratto sono 6, e non presentano particolari criticità.

Il grado di protezione offerto dalle opere presenti in questo tratto è adeguato, sia per quanto riguarda il contenimento delle piene, sia per il controllo dell'evoluzione morfologica.

#### Tratto n° 4

Il tratto si estende dal ponte sulla strada provinciale S.P. 57 al ponte autostradale è arginato in prosecuzione del tratto precedente, e con un piccolo argine in terra presso cascina San Lorenzo.

Non sono presenti altre opere longitudinali né opere trasversali.

I manufatti di attraversamento, uno autostradale e due al servizio di strade a sud di Vallare, presentano luci adeguate.

Il grado di protezione offerto dalle opere presenti in questo tratto risulta adeguato per quanto riguarda il contenimento delle piene, ma del tutto inefficace per il controllo dell'evoluzione morfologica.

#### Tratto n° 5

Questo tratto si sviluppa dal ponte sulla S.P. 50 in località cascina Africa al ponte sulla S.P. 57.

A ovest di San Maurizio il torrente è arginato da manufatti in terra in buone condizioni. Al termine del tratto il torrente è tombinato con manufatto circolare parzialmente ostruito da depositi.

Sono assenti opere trasversali.

Sono presenti 5 manufatti di attraversamento, tutti correlati a strade: i due più a monte, a nord e a ovest di Bonina, sono caratterizzati da luce insufficiente.

Il grado di protezione offerto dalle opere presenti in questo tratto è insufficiente, sia per quanto riguarda il contenimento delle piene, sia per il controllo dell'evoluzione morfologica.



### 3.3. Aspetti idrologici e idraulici

#### 3.3.1. Caratteristiche generali

Il torrente Rotaldo, appartenente all'ambito n.9 "Oltrepò Pavese - Orba ", è un affluente in destra idrografica del fiume Po.

Il torrente percorre circa 8 km, in direzione NO-SE, tra versanti molto rocciosi fino a valle dell'attraversamento che collega Vignale Monferrato con Frassinello Monferrato.

Appena a valle si apre un'ampia valle e il corso d'acqua prosegue per una decina di chilometri in direzione SO-NE fino a Borgo San Martino. Qualche chilometro più a valle il torrente curva bruscamente proseguendo poi fino all'immissione in Po nuovamente in direzione NO-SE.

Nell'ambito di questo studio sono state individuate quattro sezioni di rilevanza idrologica, in seguito indicate con la stessa codifica del rilievo topografico, per le quali si è proceduto alla determinazione delle onde di piena per assegnato tempo di ritorno:

- sez. 50 inizio del tratto oggetto di modellazione idraulica;
- sez.38 a monte di San Maurizio,
- sez. 24 a monte di Borgo San Martino;
- sez. 1 in corrispondenza della confluenza in Po.

In funzione dell'analisi idrologica sono stati individuati alcuni elementi caratteristici del bacino, quali il tempo di corrivazione e il coefficiente di afflusso, che definiscono la risposta del bacino ad un determinato evento di pioggia, ed i parametri della curva di possibilità pluviometrica, che individuano il regime delle piogge dell'area cui si riferisce e permettono di correlare, per ogni tempo di ritorno, la durata della pioggia alla sua intensità.

Nella Tabella seguente sono riportate le principali caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici chiusi in corrispondenza delle tre sezioni indicate.

Sez.	A [km <sup>2</sup> ]	L [km]	t <sub>c</sub> [h]	F
1	130	32	13,9	0.45
24	100	22	10,9	0.45
38	63	14	7,5	0.45
50	21	8	4,1	0.45

Per il torrente Rotaldo è stato adottato un valore di F pari a 0.45 per l'intero bacino idrografico. Il valore del coefficiente di afflusso F è stato assunto pari a 0.5 per

tutto il bacino in conformità con le indicazioni acquisite dai dati bibliografici (*Carta dei coefficienti di afflusso* del Servizio Idrografico Nazionale), dallo studio di bacini simili a quello in esame per formazione rocciosa e vegetazione, da valutazioni sulla geomorfologia del bacino e sull'uso del suolo, ed in particolare sul rapporto tra le aree urbanizzate e non urbanizzate.

Per la definizione dei parametri  $a$  ed  $n$  del bacino sono state prese in considerazione le stazioni pluviometriche interne o molto prossime al bacino idrografico in esame. Nel caso del torrente Rotaldo le stazioni considerate sono quelle di: Casale Monferrato, Moncalvo ed Alessandria. Per tutte le stazioni considerate i parametri  $a$  ed  $n$  per i tempi di ritorno di interesse sono stati ricavati dalla Direttiva Portate, redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

STAZIONE	$Tr = 20$ anni		$Tr = 100$ anni		$Tr = 200$ anni		$Tr = 500$ anni	
	$a_{20}$	$n_{20}$	$a_{100}$	$n_{100}$	$a_{200}$	$n_{200}$	$a_{500}$	$n_{500}$
1471 Casale Monferrato	56.19	0.17	74.69	0.14	82.60	0.13	93.10	0.13
1470 Moncalvo	34.79	0.39	45.70	0.39	50.36	0.39	56.50	0.39
1564 Alessandria	32.80	0.29	42.18	0.28	46.23	0.28	51.57	0.28
<b>BACINO</b>	<b>41.26</b>	<b>0.28</b>	<b>54.19</b>	<b>0.27</b>	<b>59.73</b>	<b>0.27</b>	<b>67.06</b>	<b>0.27</b>

Si è quindi calcolata la media dei valori di  $a$  ed  $n$  così raccolti, ottenendo, per ogni tempo di ritorno considerato, una coppia di valori dei parametri che è stata adottata come caratteristica del bacino in esame.

<b>T [anni]</b>	<b><math>a</math></b>	<b><math>n</math></b>
20	41,26	0,28
100	54,19	0,27
200	59,73	0,27
500	67,06	0,27

In base a tali parametri sono stati definiti gli idrogrammi di progetto.

### **3.3.2. Portate di piena**

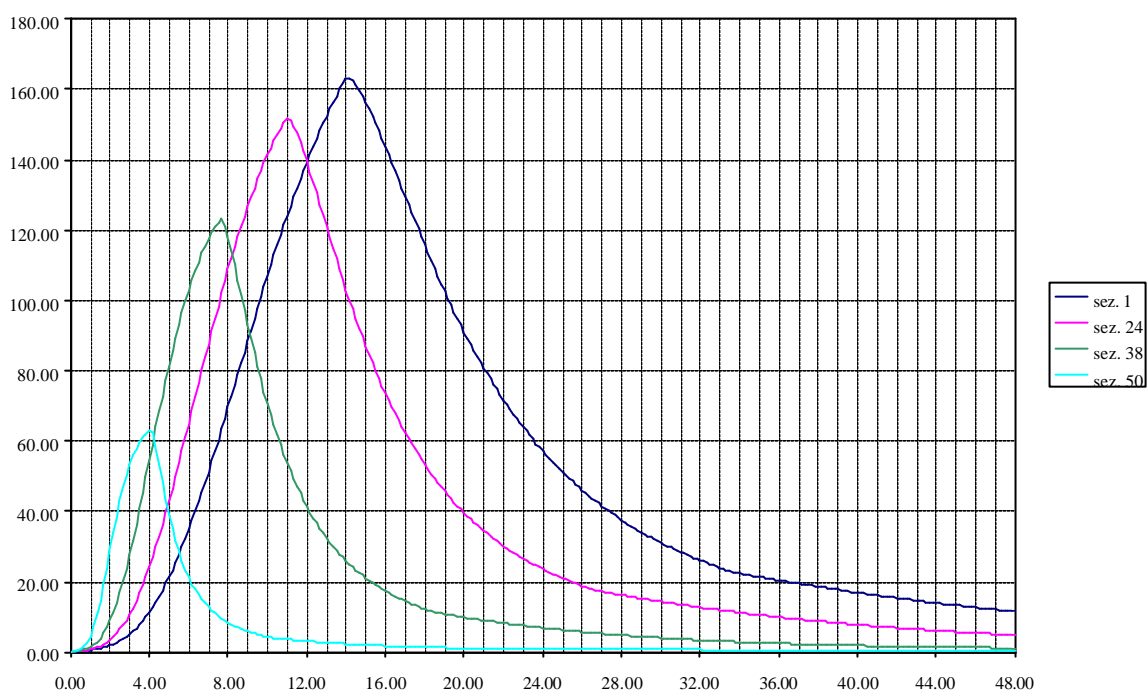
Il calcolo degli idrogrammi di portata chiusi alle sezioni di interesse, stante la mancanza di stazioni idrometriche sul corso d'acqua in esame, è stato effettuato con un modello deterministico a parametri concentrati (modulo afflussi-deflussi).

I risultati sono stati poi confrontati, al fine di convalidarli, con i valori di portata al colmo di piena calcolati con le principali metodologie presenti in letteratura e con i risultati di altri studi effettuati sul medesimo corso d'acqua, in particolare sono stati utilizzati i seguenti metodi: modello cinematico, modelli MG e MGs (Maione, 1997; Maione et al., 1998), modelli regionali VAPI elaborati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche, modello

regionale VAPI specifico per il Piemonte, elaborato dal C.U.G.R.I. - Dipartimento di Ingegneria Civile - Università di Napoli "Federico II", modello di regionalizzazione SP1, (1995) adottato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Il risultato finale dello studio consiste quindi negli idrogrammi di piena nelle diverse sezioni di interesse e negli idrogrammi residui relativi ai sottobacini parziali compresi tra due sezioni successive, calcolati per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

Tali risultati costituiscono la base per la successiva attività di modellazione idraulica lungo il tratto di fiume in esame. Gli idrogrammi calcolati alle sezioni 1, 24, 38 e 50 per il tempo di ritorno 200 anni sono riportati di seguito in forma grafica ed in forma tabulare.



La tabella seguente sintetizza i valori di portata al colmo nelle sezioni di interesse ricavabili dagli idrogrammi calcolati.

Sez.	$Q_T=20$ anni (m <sup>3</sup> /s)	$Q_T=100$ anni (m <sup>3</sup> /s)	$Q_T=200$ anni (m <sup>3</sup> /s)	$Q_T=500$ anni (m <sup>3</sup> /s)
1	111	154	163	191
24	98	135	152	170
38	81	110	123	141

50	42	57	63	72
----	----	----	----	----

Gli idrogrammi di progetto relativi al torrente Rotaldo si riferiscono ai tempi di ritorno  $T = 20, 100, 200$  e 500 anni, corrispondente quest'ultimo ad un evento alluvionale di proporzioni catastrofiche.

L'obiettivo di definire le aree esondabili richiede particolare cautela nell'individuazione dell'idrogramma di progetto con cui sollecitare il bacino al fine di limitare l'effetto della laminazione del colmo di piena che condurrebbe ad una sottostima della portata al colmo, in particolare nelle sezioni di valle del corso d'acqua.

Si è proceduto quindi alla suddivisione del bacino sotteso dal torrente Rotaldo in una serie di sottobacini sui quali si è applicato il modello idrologico. Gli idrogrammi risultanti sono stati introdotti nel modello idraulico come input puntuali quando riferiti alla sezione di monte del tratto e come deflusso distribuito lungo l'asta se rappresentativi delle aree residue.

### **3.3.3. Geometria e caratteristiche idrauliche dell'alveo**

Il torrente Rotaldo è caratterizzato lungo il tratto di monte da un alveo inciso di non elevata capacità di portata fino all'abitato di Vallare, in corrispondenza delle sezioni 28-29-30, ove si distinguono aree golenali di espansione con aree limitrofe a rischio di allagamento nel corso dei maggiori eventi di piena. Lungo il tratto più a valle invece, l'alveo del torrente presenta una maggiore capacità di portata per l'aumentare dell'area delle sezioni di deflusso e risulta contenuto da rilevati arginali la cui sommità, man mano che ci si sposta verso la confluenza con il fiume Po, si eleva rispetto al piano campagna in modo sempre più significativo.

Per il torrente Rotaldo non sono disponibili rilievi pregressi che abbiano significato per le verifiche idrauliche previste dallo studio, perciò nella primavera 2001 è stato realizzato un nuovo rilievo topografico costituito da 50 sezioni di alveo, con estensione media pari a 102 m ed interasse pari a 480 m, e da un profilo di fondo alveo (punto più depresso). Nelle sezioni eseguite in corrispondenza dei 17 attraversamenti più importanti e comunque significativi ai fini delle verifiche idrauliche previste dal progetto, è stata riportata la vista dei manufatti di attraversamento con le quote dell'estradosso e dell'intradosso.

Tutte le sezioni sono riportate nelle tavole di delimitazione delle fasce fluviali e sono contraddistinte da un numero progressivo crescente da valle verso monte, la traccia della sezione è stata riportata in scala.

Le aree golenali del tronco di monte sono state schematizzate come parti integranti dell'alveo adottando, a seconda della conformazione morfologica, una ulteriore schematizzazione "quasi-2D" costituita da rami e celle d'invaso, rappresentanti golene e paleoalvei, connessi all'alveo inciso mediante speciali strutture chiamate "link" che, con uno schema di deflusso a stramazzo, simulano lo sfioro sopra gli elementi morfologici che separano dette aree golenali dell'alveo inciso; generalmente, data la particolare conformazione geomorfologica ivi presente, è stato

sufficiente estendere le sezioni rilevate riferendosi alla cartografia di base (CTR 1:10000 della Regione Piemonte).

Il tratto di valle invece, qualora i livelli idrici superassero le quote delle difese arginali, è stato modellato con uno schema “quasi-2D” per simulare lo sfioro sulle sommità arginali stesse.

L'interferenza con i deflussi di piena dei 19 attraversamenti (ponti) che intersecano il corso d'acqua è stata schematizzata, nel modello matematico di simulazione, come condizione di deflusso di tipo libero e/o in pressione (“culvert”) più stramazzo (nel caso di sormonto); la geometria dei ponti è caratterizzata dai valori delle rispettive luci libere di deflusso, dalle quote dell'estradosso/intradosso e dalle dimensioni della luce sfiorante, rilevate nel corso della campagna topografica.

Inoltre, l'effetto delle 4 traverse, caratterizzate da un salto di fondo superiore al mezzo metro, presenti lungo il torrente Rotaldo nei tratti di interesse è stato simulato come stramazzo in parete larga (“broad crested weir”).

Nelle simulazioni sono stati considerati cautelativamente i seguenti valori del coefficiente di scabrezza  $c$  di Strickler:

- per il fondo alveo e i tratti di sponda non vegetati o scarsamente vegetati,  $c=25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- per le sponde e le aree golenali è stato assunto un valore  $c=10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , in funzione della geomorfologia circostante

### **3.3.4. Messa a punto del modello idrodinamico di simulazione**

Le verifiche idrauliche effettuate in moto vario sono state condotte mediante applicazione di modellistica numerica, utilizzando il codice di calcolo Mike 11 del Danish Hydraulic Institute Water & Environmental descritto sinteticamente in Appendice.

La procedura di analisi modellistica è stata articolata come sotto descritto con riferimento ai tre tronchi in cui è stato suddiviso del torrente Rotaldo compresi fra le sezioni di chiusura: 1-24, 24-38 e 38-50.

- Si è proceduto con le simulazioni a partire dal tronco di valle compreso fra le sezioni 1-24.
- Come condizione di valle alla confluenza con il fiume Po (sezione 0) sono stati considerati i valori dei livelli idrometrici del fiume Po valutati in funzione dei diversi tempi di ritorno considerati. Tali valori sono stati tratti dal “*Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*”. In particolare è stata assunta la concomitanza degli eventi per i tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni, mentre per l'evento cinquecentenario, data la bassissima probabilità che si verifichino contemporaneamente eventi estremi con la stessa ricorrenza statistica su entrambi i corsi d'acqua, è stato considerato un livello in Po corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Sezione 0	T =20 anni	T =100 anni	T =200 anni	T =500 anni
livello idrometrico (m.s.m)	91,92	92,55	92,7	92,7

- Nella sezione 24 di monte, è stato inserito l'idrogramma di progetto, fornito dall'analisi idrologica, relativo al bacino sotteso dalla stessa sezione e lungo tutto il tronco del corso d'acqua l'idrogramma distribuito relativo al sottobacino residuo.
- Dalle simulazioni effettuate si è ottenuto l'andamento dei livelli idrometrici nella sezione 24, che è stato imposto come condizione di valle per il tratto del corso d'acqua compreso fra le sezioni 24-38; nella sezione iniziale del tronco (sezione 38) è stato considerato l'idrogramma di progetto fornito dall'analisi idrologica relativo al bacino sotteso dalla stessa sezione, mentre lungo tutto il tronco del corso d'acqua, l'idrogramma distribuito relativo al sottobacino residuo. Tale procedura è stata quindi ripetuta in modo del tutto analogo per i restanti tratti del torrente Rotaldo.

### 3.4. Delimitazione delle aree allagabili

Il torrente Rotaldo, lungo il tratto di monte, presenta un alveo inciso contraddistinto da una discreta capacità di portata, con una conformazione morfologica caratterizzata da aree golenali di espansione allagabili già per un tempo di ritorno ventennale, e con le aree limitrofe a rischio di allagamento con riferimento ai massimi eventi di piena di progetto. Lungo il tratto di valle invece, a partire circa dalle sezioni 29-30, l'alveo è delimitato con continuità da difese arginali, a tratti però insufficienti a contenere i livelli idrici durante i massimi eventi di piena considerati, con conseguente rischio di inondazione di vaste zone limitrofe.

I numerosi attraversamenti presenti lungo l'asta fluviale, alcuni dei quali sottodimensionati dal punto di vista idraulico (in particolare il ponte della ferrovia Alessandria-Casale Monferrato immediatamente a valle della sezione 23, comportano spesso un significativo effetto di rigurgito interessante le sezioni a monte delle strutture stesse, contribuendo quindi ad una maggiore estensione delle aree interessate da allagamenti.

La delimitazione delle aree potenzialmente esondabili per i diversi tempi di ritorno considerati è stata effettuata riferendosi ai livelli idrometrici risultanti dalle simulazioni idrodinamiche sviluppate.

In corrispondenza alla confluenza con il fiume Po i limiti delle aree potenzialmente esondabili sono stati raccordati con le fasce fluviali del Po stesso. In particolare, i limiti corrispondenti alle esondazioni con periodi di ritorno di 100, 200 e 500 anni sono stati raccordati alla fascia B del fiume Po a monte della sezione 2, mentre la linea di

esondazione corrispondente al tempo di ritorno di 20 anni è stata riportata fino al raccordo con la fascia A, cioè poco a monte della sezione 1.

Lungo il tratto di monte del torrente Rotaldo, caratterizzato, come precedentemente ricordato, da un alveo inciso con zone laterali d'espansione, in sede di simulazione idrodinamica è stato sufficiente, qualora i livelli idrici ricostruiti superassero le quote di sponda, estendere le sezioni rilevate riferendosi alla cartografia di base (CTR 1:10000 della Regione Piemonte). Per il tratto di valle, contenuto da rilevati arginali elevati rispetto al terreno pianeggiante circostante, è stato invece necessario, qualora il livello idrico superasse, con riferimento alle sezioni rilevate, le sommità arginali, definire dei collegamenti ("link channels") con le aree allagabili circostanti

La ricostruzione delle aree allagabili esterne alle sezioni del rilievo topografico, è stata effettuata riferendosi alla cartografia di base (CTR 1:10000 della Regione Piemonte).

Si è prestata inoltre particolare attenzione all'assetto morfologico del corso d'acqua, per la possibile attivazione di paleoalvei, ed alla eventualità di esondazioni in corrispondenza a tratti intermedi alle sezioni rilevate, in particolare in prossimità dei centri abitati.

La delimitazione delle aree allagabili è stata infine completata con analisi delle attuali difese arginali al fine di individuarne tratti a maggior grado di criticità per i quali, eventualmente, valutarne l'effetto di un ipotetico cedimento in corrispondenza ad un evento di piena centenaria.

Come precedentemente ricordato, il torrente Rotaldo presenta strutture arginali che si sviluppano con continuità, in sponda destra e sinistra, nel tronco compreso tra la sezione 30 circa, in prossimità dell'abitato di Vallare e la sezione 2, a valle della quale il torrente entra nella vasta area compresa nelle zone golenali del fiume Po. L'analisi delle sezioni rilevate e della cartografia di supporto, nonché le caratteristiche di utilizzo del territorio nelle zone in fregio ai rilevati arginali potenzialmente inondabili per collasso degli stessi, ha suggerito la possibilità di ipotizzare il collasso del rilevato arginale a livello della sezione 22 in sponda destra. In tale settore, infatti, un cedimento delle difese arginali, mediamente elevate di circa 2 metri sul piano campagna, esporrebbe ad elevato rischio di inondazione i centri abitati di Borgo S. Martino e, più a valle, di Ticineto.

#### Tratto compreso fra le sezioni di chiusura 1-24

L'andamento idrometrico nelle sezioni di valle del torrente Rotaldo, immediatamente a monte della confluenza, risente dei livelli imposti dal fiume Po; in ogni caso, fino alla sezione 8, le difese arginali contengono i livelli di piena.

In corrispondenza dell'attraversamento presente alla sezione 8 si ha deflusso in pressione per l'evento con T=500 anni, data la differenza di 30 cm tra quota di intradosso e livello idrometrico.

L'intero tronco compreso fra le sezioni 8 e 24 risulta oggetto di estese inondazioni su entrambe le rive. Lungo il tratto 8-13, le esondazioni interessano in particolar modo la sponda in sinistra idraulica, coinvolgendo comunque pochi edifici isolati, mentre in sponda destra viene lambita la località di Ticineto; tra le sezioni 13 e 19 sono i terreni in destra ad essere maggiormente interessati. A monte della sezione 19, le esondazioni interessano aree di maggiore entità, soprattutto in destra, dove risulta interamente inondato il centro abitato di Borgo San Martino, già per l'evento di piena con T=100 anni. Inoltre gli attraversamenti alla sezione 21 (ferrovia Alessandria-Casale Monferrato) e alla sezione 23, immediatamente a monte di Borgo S. Martino, idraulicamente inadeguati (sono sormontati dai deflussi di piena per tutti i periodi di ritorno considerati), comportano un significativo effetto di rigurgito che concorre alle esondazioni sulle aree limitrofe. Le zone allagabili risultano notevolmente estese, raggiungendo oltre il chilometro di distanza dall'asse del Rotaldo. Lungo il tronco fluviale in oggetto, vi sono anche altri attraversamenti sottodimensionati dal punto di vista idraulico: alla sezione 10 (in pressione per la piena con T=200 anni), alla sezione 15 e alla sezione 20 (in pressione già dalla piena con T=20 anni).

Nel tratto in questione, inoltre, per effetto dei rigurgiti conseguenti agli attraversamenti presenti, si hanno sormonti arginali già a partire dai tempi di ritorno più bassi. Le località interessate da esondazioni nel tratto in oggetto sono riportate in Tabella con riferimento al primo tempo di ritorno critico.

<b>T (anni)</b>	<b>Aree esondabili e insediamenti abitativi interessati da esondazioni</b>
20	cascina Zenude, cascina Bologna, cascina Prenosto, cascina Scusa, S. Antonio, cascina Colombarone, cascina Olmone
100	Ticineto, cascina Lacotta, cascina Crocetta, Borgo S. Martino
200	cascina Grisella, cascina Pichetta
500	cascina Vergante, cascina Mazzucco, Castellino, cascina Oggiarolo

#### Tratto compreso fra le sezioni 24-38

Fino alla sezione 28 i livelli idrici in alveo risentono significativamente del rigurgito conseguente all'attraversamento ferroviario immediatamente a valle della sezione 23; in tale settore le inondazioni interessano in particolare diversi edifici sparsi.

Si evidenzia come tra le sezioni 25 e 29 l'esondazione sia conseguente a sormonto dei rilevati arginali già a partire da T=20 anni.



L'attraversamento della S.S. 31 in corrispondenza della sezione 30, idraulicamente sottodimensionato, risulta sormontato dai deflussi di piena per tutti i tempi di ritorno considerati comportando una estesa inondazione che interessa già per il tempo di ritorno  $T=20$  anni, alcune cascine (cascina Nuova e cascina Colomba), e per  $T=500$  anni giunge fino alla località di Vallare in sponda sinistra a valle del ponte stesso.

Lungo il tronco in oggetto si segnalano altri ponti idraulicamente sottodimensionati, in particolare: alla sezione 24, alla sezione 28 ( in cui il livello idrometrico per  $T=100$  anni supera la quota di intradosso con conseguente deflusso in pressione), alla sezione 35 (sormontato già per l'evento di piena con  $T=20$  anni).

Le località interessate da esondazioni nel tratto in oggetto sono riportate nella seguente Tabella con riferimento al primo tempo di ritorno critico.

<b>T (anni)</b>	<b>Aree esondabili e insediamenti abitativi interessati da esondazioni</b>
20	cascina Nuova, cascina Colomba, cascina S. Lorenzo
100	cascina Barcella
500	cascina Moletta, Vallare

#### Tratto compreso fra le sezioni 38-50

Dato l'andamento plano-altimetrico dei terreni in prossimità del corso d'acqua, non si hanno vere e proprie aree oggetto di inondazione, ma per lo più allagamenti interessanti limitate aree in fregio all'alveo del torrente. In particolare risultano a rischio di inondazione, per eventi di piena con periodo di ritorno di 200 e 500 anni, alcuni edifici in sponda sinistra in corrispondenza della sezione 45, essenzialmente per effetto dell'attraversamento posto immediatamente a valle della sezione stessa.

Tutti i cinque attraversamenti interessanti il tronco in oggetto risultano inadeguati dal punto di vista idraulico per tutti i periodi di ritorno considerati, ad eccezione dei ponti alle sezioni 38 e sezione 40, i restanti ponti vengono tutti sormontati già per la piena ventennale.

#### Analisi del collasso arginale: tratto 1-24

Come precedentemente menzionato, il tratto del torrente Rotaldo compreso tra le sezioni 1-24 è stato oggetto di una specifica analisi relativamente alla possibilità di una rottura arginale durante la fase di piena dell'evento avente  $T=100$  anni.

In effetti lungo questo tratto il torrente risulta essere completamente contenuto da rilevati arginali, per cui un loro collasso comporterebbe una significativa inondazione

delle aree circostanti con conseguenti danni elevati ai centri abitati interessati, quali Borgo S. Martino e Ticineto.

In particolare, si è simulato un collasso del rilevato arginale alla sezione 22 in sponda destra in prossimità del centro abitato di Borgo S. Martino ove i rilevati arginali risultano mediamente elevati rispetto al piano campagna di circa 2 metri. L'evento di piena considerato è stato quello relativo a  $T = 100$  anni; in concomitanza al raggiungimento del massimo livello idrico si è ipotizzato un abbassamento della sommità arginale di circa 1.2 m (a fronte di un'altezza complessiva di circa 2 m) per una estensione longitudinale di 50 m. La conseguente esondazione ha interessato un'area di circa 600 ha comprendente interamente i centri urbani di Borgo S. Martino e Ticineto, vaste aree agricole e numerosi edifici isolati ad uso civile ed industriale.

### **3.5. Aree storicamente esondate**

In corrispondenza al tronco terminale del torrente risultano storicamente a rischio di allagamento, in sinistra idraulica, la località di Rivalba, in prossimità della confluenza nel fiume Po, e parte del centro di Ticineto con diversi edifici ad uso produttivo e abitativo, sia in destra che in sinistra idraulica.

Più a monte, sono risultati interessati da inondazioni i centri abitati di Castellino e di Vallare, in sinistra idraulica, e parzialmente alcuni edifici del centro abitato di Borgo S. Martino, in sponda destra. Su entrambe le sponde del torrente, sono risultati a rischio di inondazione anche alcuni edifici sparsi e cascine rurali.

Le esondazioni storiche sopra richiamate possono anche essere conseguenti all'insufficienza idraulica di corsi d'acqua della rete minore naturale e artificiale. In particolare: tutta la fascia in sinistra idraulica in corrispondenza di Ticineto per effetto della scarsa officiosità idraulica della Roggia Vecchia e, analogamente, le località di Castellino e di Vallare potrebbero essere state interessate anche dalle esondazioni del rio Gattolero e del rio Vallare rispettivamente.

Infine altre zone, interessanti essenzialmente terreni agrari, come la zona a monte di Vallare, possono risultare allagabili anche a seguito di particolari caratteristiche morfologiche locali quali per esempio avvallamenti del piano campagna che costituiscono a tutti gli effetti degli invasi superficiali in occasione di eventi di precipitazione di particolare intensità e durata.

## **4. Assetto di progetto**

Le attività necessarie per definire l'assetto di progetto del corso d'acqua sono state svolte secondo le seguenti fasi:

- suddivisione dei corsi d'acqua in tratti omogenei;

- sintesi delle criticità e/o delle esigenze di intervento sulla base dell'assetto idraulico attuale del corso d'acqua, delle tendenze evolutive dello stesso e della valutazione del rischio idraulico;
- definizione dell'assetto di progetto, individuazione dei siti e degli elementi da proteggere e definizione degli interventi;
- individuazione degli elementi dimensionali e stima di massima dei costi di realizzazione in base agli elementi desumibili dal "Quaderno delle Opere Tipo" allegato al PAI;
- tracciamento delle fasce fluviali.

Per la suddivisione del corso d'acqua in tratti omogenei si è fatto riferimento alle caratteristiche geomorfologiche, alla presenza di opere idrauliche (grado di contenimento dell'evoluzione morfologica e protezione offerta per la difesa dalle piene) ed alla distribuzione areale del rischio idraulico.

In particolare il corso d'acqua è stato suddiviso nei tre tratti di seguito elencati:

- Cascina Fornace - ponte della strada comunale per San Maurizio;
- ponte della strada comunale per San Maurizio - ponte della strada provinciale Ticineto - Valmacca;
- ponte della strada provinciale Ticineto - Valmacca - confluenza in fiume Po, località Rivalba.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico prevede le seguenti modalità operative per il tracciamento delle fasce:

**Fascia A (di piena):** si è assunta la delimitazione più ampia tra le seguenti:

- Alveo di piena relativo alla portata con  $T = 200$  anni o inviluppo dei meandri attuali (criterio prevalente nei corsi d'acqua monocursali o pluricursali). Si è assunta, come delimitazione convenzionale dell'alveo di piena, la porzione di alveo ove defluisce, a parità di livello idrico almeno l'80% della portata con  $T = 200$  anni e dove si hanno velocità di corrente superiori a 0.4 m/s nella direzione principale del moto;
- Limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con  $T = 200$  anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);

**Fascia B (di esondazione):** per la delimitazione delle aree inondabili si è assunta come portata di riferimento la piena con  $T = 200$  anni; la delimitazione sulla base dei livelli idrici relativi alla portata di riferimento è stata integrata con:

- Le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora legate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
- Le aree di elevato pregio naturalistico ed ambientale e di quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.

Nei tratti in cui il limite della fascia è rappresentato da opere di contenimento dei livelli idrici previste di nuova realizzazione, il limite stesso è stato evidenziato come "limite di progetto".

**Fascia C (area di inondazione per piena catastrofica):** delimitazione sulla base dei livelli idrici relativi a:

- la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un T superiore ai 200 anni;
- la piena con T = 500 anni, in assenza di essa.

Per il torrente Rotaldo le indicazioni sopra riassunte sono state adattate sulla base della specificità morfologica ed antropica del corso d'acqua, di conseguenza sono state considerate le seguenti modalità operative per il tracciamento delle fasce fluviali:

**Fascia A:** in linea generale il tracciamento della fascia A è stato eseguito con riferimento alle aree di esondazione della piena ventennale. Nella parte più montana del corso d'acqua, la T = 20 anni si mantiene relativamente prossima all'alveo attivo pertanto le correzioni legate a considerazioni sulla velocità della corrente nelle aree di maggior espansione risultano molto limitate.

Nel tratto di corso d'acqua posto ad ovest ed a nord di Borgo San Martino (sez.8-34), la fascia appare notevolmente più stretta rispetto alla T = 20 anni in quanto sono state inserite solo quelle porzioni di aree esondate dalla piena ventennale dove si può ipotizzare una significativa velocità della corrente. Quest'ultima considerazione ha portato a forti modifiche in senso restrittivo della fascia soprattutto nel tratto in località Casina Nuova (sez.28-32) e nel tratto fra Borgo San Martino e Ticineto. In queste aree, in mancanza di forme morfologiche fluviali capaci di canalizzare l'onda di piena, si è ipotizzato che i filoni di corrente veloce, si mantengano sempre a ridosso dell'alveo attivo. Nella parte terminale del corso d'acqua, la fascia coincide sostanzialmente con la fascia B essendo il deflusso dei differenti eventi di piena considerati contenuto dagli argini esistenti.

**Fascia B:** sono state adottate le indicazioni del P.A.I., salvo considerare la fascia B come "di progetto" non solo in corrispondenza di opere di contenimento dei livelli idrici (nuove e/o adeguamento di esistenti), ma anche laddove interventi di adeguamento di attraversamenti, di ricostruzione e/o demolizione di briglie-soglie e di realizzazione di opere di laminazione a monte (casce di espansione) comportino, in particolare in fregio a zone antropizzate, una variazione planimetrica dell'area interessata da esondazioni. In particolare per il torrente Rotaldo ciò si verifica, per effetto del previsto adeguamento dei manufatti di attraversamento presenti, in corrispondenza del Castello di Lignano, indicativamente tra le sezioni 46 e 44 del rilievo topografico, e per lunghi tratti su entrambe le sponde tra la località di cascina Nuova, a monte del ponte della SS 31 ed il centro abitato di Ticineto.

**Fascia C:** nel tratto di corso d'acqua posto a monte della sezione 32 (in località cascina San Lorenzo), la fascia C si mantiene relativamente stretta in quanto la regione fluviale appare ben definita; qui il criterio idraulico ed il criterio morfologico, hanno portato sostanzialmente agli stessi risultati. Nella parte bassa del corso d'acqua, dove le aree di esondazione si ampliano notevolmente, la fascia è stata

tracciata sulla base dei limiti di esondazione della  $T = 500$  anni, già enormemente ampi, tenendo anche conto delle esondazioni storiche.

Nei paragrafi successivi sono illustrati i risultati delle attività svolte per la perimetrazione delle fasce fluviali e per la definizione dell'assetto di progetto per i vari tratti di corso d'acqua omogenei precedentemente elencati.

#### **4.1. Cascina Fornace (sez. 50) - Ponte della Strada Comunale per San Maurizio (sez. 35)**

##### **4.1.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale**

In caso di piena con  $T=200$  anni viene interessata dalle esondazioni solamente una fascia di larghezza variabile a cavallo del corso d'acqua priva di insediamenti antropici, ad eccezione di alcuni edifici in corrispondenza del ponte della strada comunale per Camagna M.to e di un edificio isolato in sinistra idrografica tra le sezioni 43 e 42 (località cascina Zullaro), risultando la sezione naturale di deflusso insufficiente a contenere gli eventi di piena anche per tempi di ritorno inferiori a quello di riferimento.

Dei manufatti di attraversamento presenti lungo il tratto di torrente in oggetto, tutti inadeguati rispetto ai criteri di compatibilità imposti dalla Direttiva tecnica di piano 2/99 contenente i *“criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B”*, solo il ponte della strada interpodereale cascina La Crocetta rientra, per le dimensioni della luce, nella citata Direttiva. Tuttavia, viene proposto l'adeguamento anche del ponte della strada comunale Cast. di Lignano-Camagna M.to in quanto il rigurgito indotto interessa alcune abitazioni ad esso prossime. A margine si evidenzia come i restanti ponti benchè inadeguati non modifichino significativamente le condizioni globali di deflusso risultando essi anche sormontati e/o a deflusso a pressione già per eventi di piena con tempi di ritorno inferiori a quello di riferimento.

Infine, si segnala come il modesto rilevato arginale posto in sponda sinistra tra le sezioni 41 e 38, risulti insufficiente nel tratto iniziale a contenere i deflussi di piena già per gli eventi ventennali.

##### **4.1.2. Interventi principali**

Sulla base delle indicazioni sopra riportate si ritengono necessari i seguenti interventi principali:

Innalzamento della quota di intradosso ed adeguamento dei rilevati d'accesso del ponte della strada comunale per Camagna M.to.

Ampliamento della luce, innalzamento della quota di intradosso e adeguamento dei rilevati d'accesso del ponte della strada comunale Cast. di Lignano-Camagna M.to.

Realizzazione di difese in massi con ricostruzione della sponda in avanzamento.

Manutenzione ordinaria delle sezioni di deflusso, finalizzata al ripristino dell'efficienza idraulica, compatibilmente con la tutela della vegetazione ripariale in corrispondenza delle aree a maggior pregio naturalistico presenti nel tratto in esame.

#### **4.1.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento**

Con riferimento alla definizione degli interventi definiti nel paragrafo precedente ed alle tipologie di opere rappresentate nel "Quaderno delle Opere Tipo" allegato al PAI, si fornisce la seguente valutazione sommaria dei costi.

Realizzazione di difese spondali	€	34.100,00
<b>Stima dei costi totali</b>	<b>€</b>	<b>34.100,00</b>

#### **4.1.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali**

##### Fascia A

Nel tratto in esame, il torrente Rotaldo, scorre all'interno di una piana alluvionale relativamente ampia e scarsamente antropizzata.

La fascia A è stata tracciata con riferimento alla piena ventennale la cui portata è prossima all'80% della  $T = 200$  anni.

In linea generale la fascia presenta un'ampiezza variabile fra gli 80 ed i 170 m, delimitando in maniera chiara la regione fluviale più strettamente connessa con il deflusso delle piene ordinarie.

Gli elementi geomorfologici rilevati nell'attività di analisi precedentemente eseguita, si limitano a brevi tratti di paleoalvei riattivabili in fase di piena ordinaria che trovandosi in prossimità dell'alveo inciso, risultano sempre automaticamente inclusi sulla fascia A.

Le modifiche della fascia rispetto alla  $T = 20$  anni, peraltro di limitata entità, sono sempre legate ad aggiustamenti locali legati alla presenza di scarpate fluviali che delimitano in senso netto la regione fluviale attiva.

### Fascia B

La delimitazione della fascia in esame è stata tracciata sulla base dei livelli idrici relativi alla portata con  $T = 200$  anni, salvo locali ampliamenti dovuti a fattori di carattere geomorfologico (scarpate, paleoalvei riattivabili, ecc.) che possono influenzare l'estensione delle zone potenzialmente interessate da inondazione.

La delimitazione della fascia assume valenza "di progetto" solamente in corrispondenza del ponte della strada comunale Cast. di Lignano-Camagna M.to in conseguenza dell'adeguamento del ponte ai criteri di compatibilità imposti dalla Direttiva tecnica di piano 2/99 contenente i *"criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"*.

La fascia assume un'ampiezza variabile tra 130 e 320 metri in funzione della morfologia del territorio.

All'interno della fascia in esame ricadono alcune abitazioni a monte del ponte della strada comunale Cast. Di Lignano-Camagna M.to ed, in sponda sinistra, un edificio isolato tra le sezioni 43 e 42 del rilievo topografico.

### Fascia C

Il tracciamento della fascia in oggetto, è stato eseguito sulla base della  $T = 500$  anni e pertanto rispecchia la regolarità dell'andamento della relativa area di esondazione.

Gli ampliamenti più significativi sono stati apportati a Sud-Ovest di S.Maurizio dove in sponda destra, la fascia è stata portata al limite di una strada vicinale che individua nettamente, con la sua scarpata, l'area connessa con la dinamica fluviale per piene catastrofiche.

In sponda sinistra gli ampliamenti rispetto alla  $T = 500$  anni peraltro molto limitati, sono stati inseriti solamente in prossimità della frazione Rotaldo e della frazione Fermata e sono legati alla necessità di includere in fascia elementi geomorfologici relitti ormai disgiunti dall'ambiente fluviale attivo.

## **4.2. Ponte della Strada Comunale per San Maurizio (sez. 35)- ponte della Strada Provinciale Ticineto - Valmacca (sez. 8)**

### **4.2.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale**

In caso di piena con  $T=200$  anni vengono interessati in particolare:

il centro abitato di Borgo San Martino, la cui periferia occidentale risulta a rischio già dall'evento di piena ventennale;

vaste aree in sinistra idraulica in cui ricadono alcune cascine isolate tra le quali: San Lorenzo, Nuova, Barcella, a monte dell'autostrada A26; Colombarone ed Olmone, di fronte a Borgo San Martino; Pichetta, Zenude, Grisella e Lacotta, di fronte a Ticineto;

la zona agricolo-industriale di cascina Colomba-Fabbrica Laterizi, in destra idrografica, a cavallo della SS 31 in fregio al tronco d'alveo compreso tra le sezioni 32 e 29 del rilievo topografico (area di fatto interessata anche dall'esondazione ventennale).

Tale situazione è essenzialmente riconducibile all'inadeguatezza degli attraversamenti stradali e ferroviari, delle sezioni di deflusso e dei rilevati arginali presenti praticamente con continuità, in sponda sinistra e destra dalla sezione 32 (località cascina San Lorenzo) fino alla fine del tratto fluviale in oggetto.

L'intero sistema arginale risulta generalmente inadeguato, ad eccezione di limitati tratti, a contenere i deflussi di piena duecentennali (con valori del tirante idrico in corrispondenza del ciglio arginale localmente anche maggiori di 0.50 m, ad esempio in corrispondenza delle sezioni 32, 30, 29, 25, 24, 21, 15, 12 e 11), situazione certamente aggravata dal rigurgito degli attraversamenti presenti ma comunque critica indipendentemente dall'effetto dei ponti. A margine si evidenzia come i rilevati arginali in oggetto risultino localmente insufficienti a contenere anche i deflussi di piena ventennali (sezioni 32, 30, 29, 26-23, 21, 15 e 12).

Tutti i manufatti di attraversamento presenti lungo il tratto in oggetto, ad eccezione del ponte dell'autostrada A 26, sono inadeguati rispetto ai criteri di compatibilità imposti dalla Direttiva tecnica di piano 2/99 contenente i *"criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"*. Per quanto attiene in particolare al rischio di esondazione, le situazioni maggiormente critiche per gli insediamenti civili ed industriali si presentano in corrispondenza del ponte della SS 31 del Monferrato e del ponte della ferrovia Alessandria-Casale M.to i quali risultano sormontati anche dall'evento di piena ventennale. In particolare, il ponte della ferrovia può costituire di fatto una via preferenziale per le esondazioni verso il settore di Borgo San Martino.

Le condizioni di maggiore criticità antropica si riscontrano quindi in corrispondenza:

- della zona agricolo-industriale di cascina Colomba-Fabbrica Laterizi, in destra idrografica, a cavallo della S.S. 31 per effetto del ponte della stessa statale e, soprattutto, dell'insufficienza delle esistenti difese arginali;
- del centro abitato di Borgo San Martino, parzialmente interessato da inondazioni già per l'evento di piena ventennale. Le difese arginali esistenti risultano



quindi del tutto insufficienti a contenere i deflussi di piena anche per effetto degli attraversamenti presenti.

#### **4.2.2. Interventi principali**

Sulla base delle indicazioni sopra riportate si ritengono necessari i seguenti interventi principali:

- 1 Ampliamento della luce, innalzamento della quota di intradosso ed adeguamento dei rilevati d'accesso della viabilità per i seguenti ponti:
  - ponte della S.S. 31 del Monferrato, cascina Colomba;
  - ponte della strada interpoderale in località Vallare;
  - del ponte della ferrovia Alessandria-Casale M.to;
  - ponte della strada interpoderale in località Borgo San Martino;
  - ponte della S.S. 31 del Monferrato, Borgo San Martino;
  - ponte della strada interpoderale;
  - ponte della strada interpoderale;
  - ponte della strada comunale in località Ticineto.
- 2 Innalzamento della quota di intradosso ed adeguamento dei rilevati d'accesso dei seguenti ponti:
  - ponte della strada comunale in località Colombarone;
  - ponte della strada provinciale per Borgo San Martino;
  - ponte della strada provinciale Ticineto-Valmacca.
- 2 Realizzazione di nuovi rilevati arginali per il contenimento dei livelli di piena interamente in destra idrografica, così ripartiti:
  - a monte dell'esistente argine, da adeguare, a protezione della zona industriale in località cascina Nuova - cascina Colomba (Fabbrica Laterizi);
  - a protezione del centro abitato di Borgo San Martino, in connessione con un tronco da adeguare dell'esistente rilevato arginale;
- 3 Adeguamento di rilevati arginali esistenti per il contenimento dei livelli di piena interamente in destra idrografica, così ripartiti:
  - a monte dell'insediamento industriale in località cascina Nuova - cascina Colomba;
  - immediatamente a valle del ponte della SS in località cascina Colomba;
  - a cavallo del ponte dell'autostrada A26;
  - immediatamente a valle del ponte della ferrovia Alessandria-Casale M.to in località C. Scusa connesso a valle con il nuovo rilevato arginale previsto a protezione dell'abitato di Borgo San Martino.
- 4 Adeguamento del muro d'argine esistente in corrispondenza dell'insediamento industriale in località cascina Nuova - cascina Colomba. L'intervento proposto,

unitamente all'adeguamento dei rilevati arginali esistenti ed alla realizzazione di un breve tratto arginale a monte, concorrerà a garantire condizioni di sicurezza idraulica all'insediamento industriale in oggetto relativamente all'evento di piena di riferimento.

- 5 Realizzazione di difese in massi.
- 6 Manutenzione ordinaria delle sezioni di deflusso, finalizzata al ripristino dell'officiosità idraulica, compatibilmente con la salvaguardia della vegetazione ripariale in corrispondenza delle aree a maggior pregio naturalistico presenti nel tratto in esame.

#### **4.2.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento**

Con riferimento alla definizione degli interventi definiti nel paragrafo precedente ed alle tipologie di opere rappresentate nel "Quaderno delle Opere Tipo" allegato al PAI, si fornisce la seguente valutazione sommaria dei costi.

Realizzazione di nuovi rilevati arginali	€	624.900,00
Adeguamento di rilevati arginali esistenti	€	1.168.650,00
Adeguamento di muri d'argine esistenti	€	143.500,00
Realizzazione di difese spondali	€	316.800,00
<b>Stima dei costi totali</b>	<b>€</b>	<b>2.253.850,00</b>

#### **4.2.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali**

##### Fascia A

Per tutto il tratto in questione l'alveo inciso non contiene la piena ventennale, l'area di esondazione relativa alla piena con  $T=20$  anni assume un'ampiezza molto considerevole (poco meno di un chilometro in sinistra idrografica in località cascina Nuova).

Per il tracciamento della fascia, è stato pertanto necessario fare riferimento essenzialmente alla velocità della corrente la quale, in relazione all'assenza di forme morfologiche in grado di canalizzare l'onda di piena ventennale ed ai modesti volumi in gioco, potrà assumere valori significativi solo in prossimità dell'alveo inciso.

Sulla base di queste considerazioni, la fascia è stata tracciata molto più interna rispetto all'area allagabile per la piena con  $T=20$  anni e spesso è posta in

corrispondenza delle modeste arginature presenti; solo in limitati tratti, si amplia significativamente (sez.27-29; 17-19) ed assume una larghezza media variabile anche fra i 200 ed i 400 m.

Sia in destra che in sinistra idrografica, non sono state rilevate forme morfologiche riattivabili esterne all'alveo di piena ordinaria delimitato dalle esistenti arginature.

### Fascia B

La delimitazione della fascia in esame è stata tracciata sulla base dei livelli idrici relativi alla portata con  $T = 200$  anni, in quanto nel tratto in esame il corso d'acqua ha un andamento monocursale.

La delimitazione della fascia assume valenza "di progetto" lungo quasi l'intero tronco considerato per effetto del proposto adeguamento degli attraversamenti, dell'adeguamento e della realizzazione di opere di contenimento dei livelli idrici (rilevati arginali e muri d'argine) a protezione dell'insediamento industriale in località cascina Nuova- cascina Colomba e del centro abitato di Borgo San Martino.

Nei restanti tratti il limite della fascia coincide in genere con l'area esondabile.

La fascia assume un'ampiezza variabile tra 170 e 1600 m anche in funzione dell'esigenza di protezione del centro abitato di Borgo San Martino e della morfologia del territorio.

All'interno della fascia in esame ricadono in sponda sinistra alcune caschine isolate tra le quali: San Lorenzo e Nuova, a monte dell'autostrada A26; Colombarone di fronte a Borgo San Martino; e Zenude, di fronte a Ticineto.

### Fascia C

Sia in destra che in sinistra idrografica, la fascia C è stata tracciata sulla base della  $T = 500$  anni la cui area di esondazione risulta essere estremamente ampia; vengono pertanto contenute in fascia tutte le forme morfologiche presenti compresi alvei relitti piuttosto distanti dall'alveo inciso.

In destra idrografica, a valle di Borgo San Martino, la fascia C risulta essere estremamente più ampia rispetto alla  $T = 500$  anni per effetto dell'ipotetica assenza di rilevati arginali di contenimento.

### **4.3. Ponte della Strada Provinciale Ticineto - Valmacca (sez. 8) - confluenza Po, Località Rivalba (sez. 1)**

#### **4.3.1. Sintesi delle criticità e delle esigenze di intervento strutturale**

L'evento di piena con T=200 anni, benché influenzato, in prossimità della confluenza, dal livello idrico del fiume Po, risulta contenuto dalle esistenti difese arginali lungo l'intero tratto in oggetto.

I valori dei franchi risultano ovunque superiori o prossimi al metro ad eccezione di un breve tratto a monte della sezione 7 in corrispondenza della soglia dove si riducono a pochi centimetri.

L'unico manufatto di attraversamento presente, il ponte della strada provinciale Bozzole-Rivalba, risulta adeguato rispetto ai criteri di compatibilità imposti dalla Direttiva tecnica di piano 2/99 contenente i *“criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B”*.

#### **4.3.2. Interventi principali**

Sulla base delle indicazioni sopra riportate si ritiene necessario il solo adeguamento del rilevato arginale esistente in destra idrografica, in corrispondenza della soglia per garantire un adeguato franco idraulico, unitamente alla manutenzione ordinaria delle sezioni di deflusso al fine di mantenere una adeguata capacità di deflusso.

Si prevedono inoltre interventi di sistemazione di sponde in erosione mediante realizzazione di difese in massi.

#### **4.3.3. Valutazione sommaria dei costi di intervento**

Con riferimento alla definizione degli interventi definiti nel paragrafo precedente ed alle tipologie di opere rappresentate nel “Quaderno delle Opere Tipo” allegato al PAI, si fornisce la seguente valutazione sommaria dei costi.

Adeguamento di rilevati arginali esistenti	€	112.050,00
Realizzazione di difese spondali	€	116.600,00
<b>Stima dei costi totali</b>	<b>€</b>	<b>228.650,00</b>

#### **4.3.4. Azioni non strutturali: fasce fluviali**

##### Fascia A

Per l'intero tratto in oggetto, in sinistra ed in destra idrografica, la fascia A, coincidente con la fascia B, risulta limitata dall'esistente rilevato arginale e si chiude sulla fascia B di Po in corrispondenza dell'abitato di Rivalba.

La regione fluviale contenuta all'interno dell'argine, se si escludono due brevi tratti in destra idrografica, appare piuttosto limitata.

##### Fascia B

La delimitazione della fascia in esame è stata tracciata sulla base dei livelli idrici relativi alla portata con  $T = 200$  anni, in quanto nel tratto in esame il corso d'acqua ha un andamento monocursale.

La delimitazione della fascia assume valenza "di progetto" unicamente in corrispondenza della soglia su entrambe le sponde, dove è previsto l'adeguamento dei rilevati arginali esistenti per garantire il franco idraulico.

Nei restanti tratti, il limite della fascia coincide con i rilevati arginali esistenti raccordandosi a valle di Rivalba con la fascia B del fiume Po.

La fascia assume un'ampiezza variabile tra 60 e 230 m in funzione della distanza tra i rilevati arginali esistenti.

All'interno della fascia in esame non ricadono infrastrutture civili o industriali.

##### Fascia C

Per questo ultimo breve tratto, la fascia è stata tracciata con riferimento alle aree esondabili per piena con  $T=200$  anni ed ha un'ampiezza media di poco superiore al chilometro.

Le modeste modifiche apportate rispetto al limite della  $T = 500$  anni, sono legate essenzialmente alla presenza di forme morfologiche relitte ed a indicazioni di esondazioni che storicamente hanno interessato l'area. Su entrambe le sponde, la fascia si chiude in corrispondenza dell'abitato di Rivalba alla confluenza con il fiume Po.

**ALLEGATO 1 - Idrogrammi stimati (in forma tabulare) per T=200  
anni nelle sezioni considerate**

t [h]	Q [m <sup>3</sup> /s]			
	sez. 1	sez. 24	sez. 38	sez. 50
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.17	0.02	0.05	0.07	0.12
0.33	0.08	0.14	0.21	0.34
0.50	0.16	0.26	0.40	0.67
0.67	0.27	0.42	0.65	1.35
0.83	0.40	0.62	0.95	2.55
1.00	0.55	0.85	1.33	4.42
1.17	0.73	1.11	1.93	7.02
1.33	0.94	1.41	2.76	10.37
1.50	1.16	1.73	3.86	14.38
1.67	1.41	2.16	5.25	18.90
1.83	1.68	2.72	6.96	23.76
2.00	1.97	3.42	8.99	28.76
2.17	2.28	4.26	11.35	33.71
2.33	2.62	5.25	14.04	38.45
2.50	3.08	6.39	17.05	42.85
2.67	3.64	7.69	20.36	46.82
2.83	4.28	9.16	23.97	50.31
3.00	5.01	10.79	27.83	53.32
3.17	5.83	12.59	31.92	55.86
3.33	6.74	14.56	36.20	57.95
3.50	7.74	16.71	40.64	59.65
3.67	8.84	19.02	45.19	61.00
3.83	10.05	21.50	49.82	62.05
4.00	11.35	24.13	54.49	62.86

4.17	12.76	26.92	59.16	62.18
4.33	14.27	29.86	63.80	58.45
4.50	15.88	32.93	68.37	53.56
4.67	17.60	36.13	72.85	48.46
4.83	19.42	39.44	77.21	43.60
5.00	21.34	42.87	81.43	39.15
5.17	23.36	46.38	85.48	35.17
5.33	25.48	49.97	89.36	31.64
5.50	27.69	53.64	93.06	28.53
5.67	30.00	57.36	96.56	25.79
5.83	32.40	61.12	99.86	23.38
6.00	34.88	64.91	102.95	21.25
6.17	37.44	68.73	105.85	19.37
6.33	40.08	72.54	108.55	17.71
6.50	42.79	76.35	111.06	16.24
6.67	45.57	80.15	113.37	14.93
6.83	48.41	83.92	115.50	13.76
7.00	51.31	87.65	117.46	12.71
7.17	54.26	91.33	119.25	11.78
7.33	57.25	94.96	120.88	10.93
7.50	60.29	98.53	122.37	10.17
7.67	63.36	102.02	123.08	9.49
7.83	66.46	105.44	121.22	8.87
8.00	69.58	108.78	118.07	8.31
8.17	72.72	112.03	114.27	7.79
8.33	75.87	115.19	110.14	7.33
8.50	79.03	118.25	105.87	6.90
8.67	82.19	121.22	101.56	6.51
8.83	85.35	124.09	97.28	6.15
9.00	88.50	126.85	93.07	5.82
9.17	91.63	129.52	88.98	5.52

9.33	94.75	132.08	85.01	5.24
9.50	97.85	134.54	81.19	4.98
9.67	100.92	136.90	77.53	4.74
9.83	103.96	139.15	74.02	4.52
10.00	106.96	141.31	70.67	4.32
10.17	109.93	143.37	67.48	4.12
10.33	112.86	145.33	64.45	4.02
10.50	115.75	147.20	61.56	3.92
10.67	118.58	148.97	58.83	3.82
10.83	121.37	150.65	56.23	3.73
11.00	124.11	151.91	53.77	3.63
11.17	126.80	151.27	51.43	3.54
11.33	129.43	149.67	49.22	3.45
11.50	132.01	147.53	47.12	3.37
11.67	134.53	145.06	45.13	3.28
11.83	136.99	142.36	43.25	3.20
12.00	139.39	139.51	41.47	3.12
12.17	141.73	136.54	39.77	3.05
12.33	144.01	133.49	38.17	2.97
12.50	146.22	130.40	36.65	2.90
12.67	148.38	127.27	35.20	2.83
12.83	150.48	124.13	33.83	2.76
13.00	152.51	121.00	32.53	2.69
13.17	154.48	117.89	31.29	2.63
13.33	156.39	114.82	30.12	2.57
13.50	158.25	111.78	29.00	2.51
13.67	160.04	108.79	27.94	2.45
13.83	161.77	105.85	26.93	2.39
14.00	163.23	102.97	25.97	2.33
14.17	163.23	100.15	25.05	2.28
14.33	162.49	97.40	24.18	2.23



14.50	161.34	94.72	23.34	2.17
14.67	159.91	92.10	22.55	2.12
14.83	158.28	89.56	21.79	2.08
15.00	156.50	87.08	21.07	2.03
15.17	154.59	84.67	20.38	1.98
15.33	152.57	82.33	19.72	1.94
15.50	150.46	80.07	19.09	1.90
15.67	148.28	77.86	18.49	1.86
15.83	146.04	75.73	17.91	1.82
16.00	143.75	73.66	17.36	1.78
16.17	141.43	71.66	16.83	1.74
16.33	139.08	69.71	16.32	1.70
16.50	136.71	67.83	15.84	1.67
16.67	134.34	66.01	15.37	1.63
16.83	131.96	64.25	14.93	1.60
17.00	129.58	62.54	14.50	1.57
17.17	127.21	60.89	14.09	1.53
17.33	124.85	59.29	13.69	1.50
17.50	122.51	57.74	13.31	1.47
17.67	120.19	56.24	12.95	1.45
17.83	117.90	54.79	12.60	1.42
18.00	115.63	53.38	12.26	1.39
18.17	113.39	52.02	11.94	1.37
18.33	111.18	50.71	11.63	1.34
18.50	109.00	49.43	11.33	1.32
18.67	106.86	48.20	11.12	1.29
18.83	104.76	47.01	10.96	1.27
19.00	102.69	45.85	10.79	1.25
19.17	100.65	44.73	10.64	1.23
19.33	98.65	43.65	10.48	1.20
19.50	96.70	42.59	10.32	1.18

19.67	94.77	41.58	10.17	1.17
19.83	92.89	40.59	10.02	1.15
20.00	91.05	39.64	9.87	1.13
20.17	89.24	38.71	9.73	1.11
20.33	87.47	37.81	9.58	1.09
20.50	85.74	36.94	9.44	1.08
20.67	84.04	36.10	9.30	1.06
20.83	82.38	35.28	9.16	1.05
21.00	80.76	34.49	9.02	1.03
21.17	79.17	33.72	8.89	1.02
21.33	77.62	32.97	8.76	1.00
21.50	76.10	32.24	8.62	0.99
21.67	74.62	31.54	8.50	0.97
21.83	73.17	30.86	8.37	0.96
22.00	71.75	30.20	8.24	0.95
22.17	70.37	29.55	8.12	0.94
22.33	69.02	28.93	8.00	0.93
22.50	67.70	28.32	7.88	0.91
22.67	66.40	27.73	7.76	0.90
22.83	65.14	27.16	7.64	0.89
23.00	63.91	26.60	7.53	0.88
23.17	62.71	26.06	7.42	0.87
23.33	61.53	25.53	7.31	0.86
23.50	60.38	25.02	7.20	0.85
23.67	59.26	24.52	7.09	0.85
23.83	58.16	24.04	6.98	0.84
24.00	57.09	23.57	6.88	0.83
24.17	56.05	23.11	6.77	0.82
24.33	55.02	22.67	6.67	0.81
24.50	54.02	22.23	6.57	0.81
24.67	53.05	21.81	6.47	0.80

24.83	52.09	21.40	6.38	0.79
25.00	51.16	21.00	6.28	0.78
25.17	50.25	20.61	6.19	0.78
25.33	49.36	20.23	6.09	0.77
25.50	48.49	19.86	6.00	0.77
25.67	47.65	19.50	5.91	0.76
25.83	46.82	19.15	5.83	0.75
26.00	46.00	18.81	5.74	0.75
26.17	45.21	18.48	5.65	0.74
26.33	44.44	18.15	5.57	0.74
26.50	43.68	17.83	5.49	0.73
26.67	42.94	17.57	5.40	0.73
26.83	42.21	17.39	5.32	0.72
27.00	41.50	17.22	5.25	0.72
27.17	40.81	17.05	5.17	0.71
27.33	40.13	16.88	5.09	0.71
27.50	39.47	16.71	5.02	0.71
27.67	38.82	16.54	4.94	0.70
27.83	38.19	16.38	4.87	0.70
28.00	37.57	16.21	4.80	0.69
28.17	36.96	16.05	4.73	0.69
28.33	36.37	15.89	4.66	0.69
28.50	35.79	15.73	4.59	0.68
28.67	35.22	15.57	4.52	0.68
28.83	34.67	15.42	4.46	0.68
29.00	34.12	15.26	4.39	0.67
29.17	33.59	15.11	4.33	0.67
29.33	33.07	14.96	4.26	0.67
29.50	32.56	14.81	4.20	0.67
29.67	32.06	14.66	4.14	0.66
29.83	31.57	14.51	4.08	0.66

30.00	31.09	14.36	4.02	0.66
30.17	30.62	14.22	3.96	0.65
30.33	30.16	14.07	3.91	0.65
30.50	29.71	13.93	3.85	0.65
30.67	29.27	13.79	3.80	0.65
30.83	28.84	13.65	3.74	0.65
31.00	28.42	13.51	3.69	0.64
31.17	28.00	13.37	3.64	0.64
31.33	27.60	13.24	3.58	0.64
31.50	27.20	13.10	3.53	0.64
31.67	26.81	12.97	3.48	0.64
31.83	26.43	12.84	3.44	0.63
32.00	26.05	12.71	3.39	0.63
32.17	25.69	12.58	3.34	0.63
32.33	25.33	12.45	3.29	0.63
32.50	24.97	12.32	3.25	0.63
32.67	24.63	12.20	3.20	0.63
32.83	24.29	12.07	3.16	0.62
33.00	23.96	11.95	3.12	0.62
33.17	23.63	11.83	3.07	0.62
33.33	23.31	11.70	3.03	0.62
33.50	23.00	11.59	2.99	0.62
33.67	22.73	11.47	2.95	0.62
33.83	22.56	11.35	2.91	0.62
34.00	22.38	11.23	2.87	0.62
34.17	22.21	11.12	2.83	0.61
34.33	22.04	11.00	2.79	0.61
34.50	21.87	10.89	2.76	0.61
34.67	21.70	10.78	2.72	0.61
34.83	21.54	10.67	2.68	0.61
35.00	21.37	10.56	2.65	0.61

35.17	21.21	10.45	2.61	0.61
35.33	21.04	10.35	2.58	0.61
35.50	20.88	10.24	2.55	0.61
35.67	20.72	10.14	2.51	0.61
35.83	20.56	10.03	2.48	0.60
36.00	20.40	9.93	2.45	0.60
36.17	20.24	9.83	2.42	0.60
36.33	20.08	9.73	2.39	0.60
36.50	19.93	9.63	2.36	0.60
36.67	19.77	9.53	2.33	0.60
36.83	19.62	9.43	2.30	0.60
37.00	19.47	9.34	2.27	0.60
37.17	19.31	9.24	2.24	0.60
37.33	19.16	9.15	2.21	0.60
37.50	19.01	9.05	2.19	0.60
37.67	18.86	8.96	2.16	0.60
37.83	18.72	8.87	2.13	0.60
38.00	18.57	8.78	2.11	0.60
38.17	18.42	8.69	2.08	0.59
38.33	18.28	8.60	2.06	0.59
38.50	18.14	8.51	2.03	0.59
38.67	17.99	8.43	2.01	0.59
38.83	17.85	8.34	1.98	0.59
39.00	17.71	8.26	1.96	0.59
39.17	17.57	8.17	1.94	0.59
39.33	17.43	8.09	1.92	0.59
39.50	17.30	8.01	1.89	0.59
39.67	17.16	7.93	1.87	0.59
39.83	17.02	7.85	1.85	0.59
40.00	16.89	7.77	1.83	0.59
40.17	16.76	7.69	1.81	0.59

40.33	16.62	7.61	1.79	0.59
40.50	16.49	7.53	1.77	0.59
40.67	16.36	7.46	1.75	0.59
40.83	16.23	7.38	1.73	0.59
41.00	16.10	7.31	1.71	0.59
41.17	15.98	7.24	1.70	0.59
41.33	15.85	7.16	1.68	0.59
41.50	15.72	7.09	1.66	0.59
41.67	15.60	7.02	1.64	0.58
41.83	15.47	6.95	1.63	0.58
42.00	15.35	6.88	1.61	0.58
42.17	15.23	6.81	1.59	0.58
42.33	15.11	6.74	1.58	0.58
42.50	14.99	6.68	1.56	0.58
42.67	14.87	6.61	1.54	0.58
42.83	14.75	6.54	1.53	0.58
43.00	14.63	6.48	1.51	0.58
43.17	14.52	6.41	1.50	0.58
43.33	14.40	6.35	1.49	0.58
43.50	14.29	6.29	1.47	0.58
43.67	14.17	6.22	1.46	0.58
43.83	14.06	6.16	1.44	0.58
44.00	13.95	6.10	1.43	0.58
44.17	13.84	6.04	1.42	0.58
44.33	13.73	5.98	1.40	0.58
44.50	13.62	5.92	1.39	0.58
44.67	13.51	5.87	1.38	0.58
44.83	13.40	5.81	1.37	0.58
45.00	13.29	5.75	1.35	0.58
45.17	13.19	5.70	1.34	0.58
45.33	13.08	5.64	1.33	0.58

45.50	12.98	5.59	1.32	0.58
45.67	12.88	5.53	1.31	0.58
45.83	12.77	5.48	1.30	0.58
46.00	12.67	5.42	1.29	0.58
46.17	12.57	5.37	1.28	0.58
46.33	12.47	5.32	1.26	0.58
46.50	12.37	5.27	1.25	0.58
46.67	12.27	5.22	1.24	0.58
46.83	12.17	5.17	1.23	0.58
47.00	12.08	5.12	1.22	0.58
47.17	11.98	5.07	1.22	0.58
47.33	11.88	5.02	1.21	0.57
47.50	11.79	4.97	1.20	0.57
47.67	11.70	4.93	1.19	0.57
47.83	11.60	4.88	1.18	0.57
48.00	11.51	4.83	1.17	0.57

# **Risultati delle simulazioni idrodinamiche**

## **Il modello idraulico MIKE 11**

Le simulazioni idrauliche sul torrente Rotaldo sono state effettuate utilizzando il modulo idrodinamico HD del codice MIKE11 del Danish Hydraulic Institute Water & Environment di cui segue una sintetica descrizione.

Il modello simula il flusso monodimensionale e quasi-bidimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, descrivibile attraverso i diversi approcci dell' "onda cinematica", dell' "onda diffusiva" e dell' "onda dinamica" e con la messa in conto principalmente delle seguenti condizioni: portate laterali, flusso libero o rigurgitato, differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi, resistenze localizzate e perdite di carico concentrate, aree d'espansione, nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

E' possibile tenere conto in vario modo della presenza di strutture idrauliche: in particolare può essere simulata all'interno della rete la presenza di una o più strutture mobili, con la caratteristica di luce sotto battente o di stramazzo a ventola. La posizione della struttura mobile viene determinata automaticamente dal modello in funzione del tempo o di altre variabili del sistema. E' inoltre possibile prevedere per ogni struttura una duplice regola operativa di funzionamento, standard o di emergenza, automaticamente attivata dal superamento di assegnate soglie di livello o di portata.

MIKE11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. E' possibile tenere conto di ogni possibile variazione della scabrezza all'interno delle sezioni trasversali, nelle golene o lungo l'alveo.

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematica, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti). La soluzione del sistema di De Saint Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte a valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini versanti.

Attraverso la costruzione di sistemi quasi-bidimensionali ramificati è possibile rappresentare compiutamente qualunque tipo di ponte o di arginatura trasversale, valutando sia l'effetto sulla corrente d'alveo che l'eventuale tracimazione della struttura da parte delle acque di piena. Con il suddetto schema quasi-bidimensionale, oltre al ramo principale, che costituisce il corso d'acqua primario, può essere simulato qualunque ordine e tipo di ramificazioni parallele (a maglia aperta o chiusa) collegate al ramo principale stes



Tale possibilità risulta molto utile per tenere conto delle aree di esondazione laterale. Invece di estendere semplicemente le sezioni d'alveo sulle aree spondali, allargandone i limiti fino a coprire l'area di possibile esondazione, vengono introdotti dei rami paralleli, collegati all'alveo principale per mezzo di stramazzi a larga soglia su canali fittizi di collegamento ("link", su cui possono essere impostate reali condizioni di deflusso, oppure può essere prevista la prevalenza dei fenomeni di laminazione su quelli dinamici, introducendo aree di laminazione aggiuntive ("additional flooded areas" nelle quali viene risolta solamente l'equazione di continuità della portata).

Nelle tabelle seguenti vengono presentati i risultati delle simulazioni idrodinamiche, in particolare vengono considerate, per ciascuna sezione, le seguenti caratteristiche:

- n°sez: numero o denominazione delle sezioni trasversali d'alveo di rilievo;
- prog: distanze progressive sul profilo longitudinale (m);
- q.fondo: quote di fondo alveo delle sezioni (m.s.m.);
- piena: livelli idrici di piena al variare del periodo di ritorno (m.s.m.);
- Sponda S.: quota della sponda orografica sinistra (m);
- Sponda D.: quota della sponda orografica destra (m);
- ponti: descrizione sintetica delle strutture presenti in alveo o interagenti con esso con indicazione delle quote di intradosso e di estradosso (m.s.m.);
- salti di fondo: descrizione sintetica delle traverse o soglie di fondo presenti in alveo con indicazione delle quote di sfioro e di valle (m.s.m.).

Sono state inserite nel modello di simulazione, quando mancanti, una sezione di monte e una di valle per ogni struttura intersecante il corso d'acqua. Le abbreviazioni A e D rappresentano rispettivamente le sezioni degli attraversamenti e dei salti di fondo e le lettere **m** e **v** indicano la posizione a monte e a valle della struttura stessa.

## ALLEGATO 2 - Profilo idraulico di calcolo del Torrente Rotaldo per T=200 anni

Profilo di calcolo del Torrente Rotaldo - Stato attuale - T=200 anni							
N° sez	Prog.	Fondo	Piena	Sponda S.	Sponda D.	Ponti	Salto di fondo
1	557	88.12	92.772	92.23	91.19		
2 bis	1696	89.07	93.027	95.35	95.88	Ro 01 A 001 S.Provinciale	
2	1716	89.07	93.053	95.35	95.88	Intradosso: 95.53 Estradosso: 96.36	
3	2109	88.77	93.153	95.61	95.94		
4	2511	89.84	93.456	95.07	94.16		
5	3002	90.24	94.062	95.41	95.57		
6	3510	90.90	94.768	95.65	96.28		
6 bis2	3693	90.90	94.929	95.65	96.28		
6 bis	3703	90.90	94.912	95.65	95.65		Briglia RO 02 D 009
7 bis	3723	91.77	95.004	95.76	95.78		91.77-90.90
7	3853	91.76	95.217	95.76	95.78		
7 bis valle	4303	91.76	95.66	95.76	95.78		Briglia RO 02 D 012
7 bis monte	4323	92.46	95.673	96.46	96.48		92.46-91.76
8 bis V	4773	92.78	96.405	98.07	98.01		Briglia RO 02 D 014
8 bis M	4785	92.95	96.415	98.57	98.01	Ro 02 A 002 S.Provinciale	92.95-92.78
8	4802	92.96	96.409	98.57	98.51	Intradosso: 96.50 Estradosso: 98.75	
9	4948	93.33	96.714	96.38	96.34		
10 bis	6078	94.85	98.557	99.23	98.66	Ro 02 A 003 S.Comunale	
10	6098	94.85	98.721	99.23	98.66	Intradosso: 98.55 Estradosso: 99.77	
11-10	6521	95.28	99.418	99.27	99.12		
11	6944	95.78	99.909	99.38	99.45		
12	7454	96.60	100.124	99.46	99.57		
13 2bis	7880	98.06	100.411	101.42	101.88		Traversa RO 03 D 016
13 bis	7895	98.42	101.318	101.48	101.95	Ro 03 D 016 S.Interpodereale	98.42-98.06
13	7910	98.42	101.559	101.48	101.95	Intradosso: 102.02 Estradosso: 102.64	
14	8216	98.75	102.207	101.88	102.06		
15 bis	8440	99.28	102.646	102.60	101.99	Ro 03 A 004 S.Interpodereale	
15	8460	99.28	102.913	102.60	101.99	Intradosso: 102.13 Estradosso: 103.43	
16	8762	99.54	103.02	102.78	103.06		
17 bis	8995	99.96	103.178	103.86	104.33	Ro 03 A 005 S.Provinciale	
17	9011	99.96	103.198	103.47	104.16	Intradosso: 103.96 Estradosso: 105.64	
18	9017	99.95	103.198	104.00	104.16		
19	9364	100.29	103.99	103.64	104.31		
20 bis	9937	101.76	105.194	105.83	105.07	Ro 03 A 006 S.S. del Monferrato	
20	9957	101.76	105.355	105.83	105.07	Intradosso: 104.83 Estradosso: 105.81	
21 bis	10346	102.62	106.388	105.73	105.70	Ro 03 A 007 S. Interpodereale	
21	10366	102.62	106.441	105.73	105.70	Intradosso: 105.37 Estradosso: 106.17	
22	10981	103.64	107.756	107.35	107.60		
23 bis	11682	104.92	108.731	108.18	108.98	Ro 03 A 008 F.S. Alessandria-Casale Monferrato	
23	11702	104.92	109.25	108.18	108.98	Intradosso: 107.45 Estradosso: 108.94	
24 bis	11901	104.94	109.589	108.52	108.65	Ro 03 A 009 Strada Comunale	
24	11921	104.94	109.596	108.52	108.65	Intradosso: 108.95 Estradosso: 109.54	
25	12425	105.66	109.674	109.02	109.17		
26 bis	13045	106.47	110.151	109.79	110.24	Ro 04 A 010 Autostrada A26 Voltri - Arona	
26	13065	106.47	110.225	109.79	110.24	Intradosso: -- Estradosso: --	
27	13541	107.08	110.991	111.02	111.22		
28 bis	14051	108.05	112.107	112.12	112.08	Anonimo Strada Interpodereale	
28	14071	108.05	112.137	112.12	112.08	Intradosso: 112.03 Estradosso: 112.90	
29	14688	109.43	113.341	112.72	112.94		
30 bis	15171	110.46	114.228	113.65	114.44	Ro 04 A 012 S.S. n°31 del Monferrato	
30	15191	110.46	114.497	113.65	114.44	Intradosso: 112.98 Estradosso: 113.86	
31	15449	110.65	114.9	114.59	116.11		
32-31	15858	111.28	115.589	115.03	115.96		

Profilo di calcolo del Torrente Rotaldo - Stato attuale - T=200 anni							
N° sez	Prog.	Fondo	Piena	Sponda S.	Sponda D.	Ponti	Salti di fondo
32	16356	112.08	116.427	115.49	115.89		
33-32	16892	112.99	117.697	116.48	116.73		
33	17427	113.92	118.453	117.33	117.54		
34	18294	115.41	120.265	119.59	120.11		
35 bis	18306	115.36	120.201	120.23	119.46	Ro 05 A 013 S.Comunale S. Maurizic	
35	18326	115.36	120.772	120.23	119.46	Intradosso: 119.54 Estradosso: 120.15	
36	18737	116.42	121.436	120.57	124.98		
37	19494	117.91	123.46	123.29	122.93		
38 bis	20172	120.97	126.104	126.17	125.68	Ro 05 A 014 S.Interpodereale	
38	20192	120.97	126.175	126.17	125.68	Intradosso: 125.47 Estradosso: 126.40	
39	20944	123.36	127.811	127.63	127.77		
40-39	21349	124.48	128.775	128.31	128.36		
40 bis	21754	125.45	129.884	129.01	128.96	Ro 05 A 015 S.Comunale per Camaona M.	
40	21774	125.45	130.324	129.01	128.96	Intradosso: 129.31 Estradosso: 130.10	
41	21931	126.00	130.489	129.50	129.49		
42	22363	127.50	131.655	130.68	130.54		
43-42	22751	129.09	132.699	131.71	132.09		
43 bis	23139	130.37	133.757	132.86	133.41	Ro 05 A 016 S.Interpodereale	
43	23159	130.37	134.018	132.86	133.41	Intradosso: 133.27 Estradosso: 133.58	
44	23533	131.41	134.707	134.33	133.93		
45 bis	23727	132.56	135.676	134.83	135.84	Ro 05 A 017 S.Comunale per Camaona M.	
45	23747	132.55	136.364	134.83	135.84	Intradosso: 135.33 Estradosso: 135.85	
46	24115	134.44	138.158	138.06	137.85		
47 bis	24567	137.06	140.21	139.46	140.08	Anonimo S.Provinciale	
47	24587	137.06	140.595	139.46	140.08	Intradosso: 139.14 Estradosso: 139.88	
48	24887	138.41	141.327	140.59	140.97		
49	25288	139.30	142.664	141.97	141.91		
50-49	25663	140.82	144.181	143.29	143.08		
50	26013	142.28	145.511	144.22	144.25		

## ALLEGATO 3 - Franco idraulico, altezza di sormonto e stima del rigurgito in corrispondenza di manufatti di attraversamento

Infrastruttura interessata	Franco idraulico <sup>1</sup> (m) / Altezza di sormonto <sup>2</sup> (m) / Rigurgito <sup>3</sup> (m)											
	<i>T =20 anni</i>			<i>T =100 anni</i>			<i>T =200 anni</i>			<i>T =500 anni</i>		
S. P., sez. 47	<b>-1.15</b>	0.41	0.16	<b>-1.22</b>	0.48	0.16	<b>-1.46</b>	0.72	0.39	<b>-1.63</b>	0.89	0.53
S. C. di Lignano-Camagna M.to	<b>-0.95</b>	0.43	0.73	<b>-0.98</b>	0.46	0.72	<b>-1.03</b>	0.51	0.70	<b>-1.20</b>	0.68	0.67
Strada interpoderale, loc. cascina Bianca	<b>-0.65</b>	0.34	0.30	<b>-0.70</b>	0.39	0.28	<b>-0.75</b>	0.44	0.26	<b>-0.85</b>	0.54	0.22
S.C. per Camagna M.to	<b>-0.59</b>	-	0.39	<b>-0.94</b>	0.15	0.48	<b>-1.01</b>	0.22	0.44	<b>-1.14</b>	0.35	0.35
Strada interpoderale cascina la Crocetta	<b>-0.51</b>	-	0.50	<b>-0.52</b>	-	-	<b>-0.71</b>	-	-	<b>-0.90</b>	-	0.11
S.C. S. Maurizio	<b>-0.90</b>	0.29	0.48	<b>-1.14</b>	0.53	0.54	<b>-1.23</b>	0.62	0.57	<b>-1.37</b>	0.76	0.61
S.S. del Monferrato	<b>-1.31</b>	0.43	0.34	<b>-1.46</b>	0.58	0.30	<b>-1.52</b>	0.64	0.27	<b>-1.57</b>	0.69	0.24
Strada interpoderale loc. Vallare	0.12	-	-	<b>-0.04</b>	-	-	<b>-0.11</b>	-	-	<b>-0.17</b>	-	-
S.C., loc. Colombarone	<b>-0.32</b>	-	-	<b>-0.56</b>	-	-	<b>-0.65</b>	0.06	-	<b>-0.74</b>	0.15	-
FS Alessandria - Casale Monferrato	<b>-1.52</b>	0.03	0.59	<b>-1.73</b>	0.24	0.55	<b>-1.80</b>	0.31	0.52	<b>-1.87</b>	0.38	0.48
Strada interpoderale Borgo S. Martino	<b>-0.92</b>	0.12	0.14	<b>-1.02</b>	0.22	-	<b>-1.07</b>	0.27	-	<b>-1.10</b>	0.30	-
S.S. 31 del Monferrato	<b>-0.29</b>	-	0.13	<b>-0.48</b>	-	0.15	<b>-0.53</b>	-	0.17	-0.58	-	0.17
Strada Provinciale	0.87	-	-	0.77	-	-	0.76	-	-	0.72	-	-
Strada interpoderale	-0.42	-	0.13	<b>-0.70</b>	-	0.22	<b>-0.78</b>	-	0.27	-0.86	-	0.31
Strada interpoderale	0.90	-	-	0.63	-	0.18	0.46	-	0.24	0.33	-	0.28
S.C. Ticineto	0.50	-	-	0.26	-	-	<b>-0.17</b>	-	0.16	-0.53	-	0.24
S.P. Ticineto-Valmacca	0.61	-	-	0.44	-	-	0.09	-	-	-0.30	-	-
S.P. Bozzole-Rivalba	2.82	-	-	2.65	-	-	2.48	-	-	2.35	-	-

<sup>1</sup> Valori negativi del franco idraulico indicano il funzionamento in pressione durante l'evento di piena considerato.

<sup>2</sup> Per altezza di sormonto si intende l'altezza d'acqua rispetto al piano viabile. Il valore dell'altezza di sormonto non è riportato quando risulta negativo.

<sup>3</sup> “-” indica un valore stimato del rigurgito trascurabile (= 0.10 m).