Studio Tecnico Ing. Iunior Antonello PERANO Via G. Rossini, 3 – 18013 – Diano Marina (IM)
Cell.: 333 1273351 e-mail: antonello.perano@gmail.com

COMUNE DI VILLANOVA D'ALBENGA

PROVINCIA DI SAVONA

Committente

Comune di Villanova d'Albenga

Ubicazione

Località Coasco

Oggetto

S.U.A. di iniziativa pubblica della zona "DRZ5"

STUDIO IDRAULICO
Ai sensi del co. 2 dell'art. 8 delle Norme di Piano di Bacino

Elaborato

RELAZIONE IDRAULICA

Pratica n. 05/17

Data: 13.03.2017

Aggiornamento: 0



Il Tecnico

Ing. Iunior Antonello PERANO

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento
senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Sommario:

1 Premesse pag. 3

2 Descrizione dello stato dei luoghi pag. 4

3 Calcolo portate di massima piena pag. 12

4 Descrizione del modello idraulico pag. 13

5 Risultati simulazione idraulica pag. 17

6 Aree allagabili pag. 21

7 Intervento di contenimento delle aree allagabili pag. 24

8 Conclusioni pag. 27

APPENDICE - Descrizione della procedura di calcolo pag. 29

ALLEGATI GRAFICI HEC-RAS pag. 32

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

1 Premesse

Il Comune di Villanova d'Albenga è promotore di uno Strumento Urbanistico attuativo inerente la zona "DRZ5" in Località Coasco, su terreni censiti al Foglio n. 5 Mappali n. 419-420-421-422-423-424-433.

Il fondo suddetto è posto in destra orografica del Rio Prandi, affluente di sinistra del Torrente Arroscia.

Dalla consultazione della Carta dei Corsi d'acqua e della Carta delle Fasce Allagabili del Piano di Bacino del Centa, la tratta del rio limitrofa alla zona di intervento risulta individuata ma non indagata, mentre si riscontrano delle fasce allagabili individuate dal suddetto Piano e dovute dall'analisi idraulica del Torrente Arroscia.

In parte le opere in progetto ricadono all'interno della fascia di rispetto pari a 20 m del Rio Prandi (reticolo idrografico secondario), pertanto, si è condotto uno studio idraulico volto alla perimetrazione delle fasce inondabili ai sensi dell'art. 8 comma 3 delle Norme Tecniche d'Attuazione del suddetto Piano, utilizzando il rilievo fornito allo Scrivente dal Progettista Arch. Luigi MURATORIO con studio in Piazza Berlinguer n.14/6 ad Albenga.

E' stato recepito, inoltre, quanto previsto specificatamente nella Delibera della Giunta Regionale n. 1314 del 30/12/2016.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

2 Descrizione dello stato dei luoghi



Fig. 2.1 Ortofoto. Individuazione area oggetto di intervento.

Il Rio Prandi nasce ad un'altitudine di circa 145 m s.l.m.m. e confluisce nel Torrente Arroscia ad una quota di 20 m s.l.m.m.

A monte della Strada Provinciale n. 453 il letto del corso d'acqua è caratterizzato da un canale a sezione rettangolare (fig. 2.2), che in corrispondenza di una viabilità secondaria, assume la forma di un cunettone inerbito posto ai margini della sede stradale (fig. 2.3).

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.



Fig. 2.2 Punto di ripresa in corrispondenza della viabilità secondaria verso monte.



Fig. 2.3 Punto di ripresa a monte della Strada Provinciale n.453 verso monte.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

L'attraversamento della Strada Provinciale è costituito principalmente da un'opera in muratura ad arco (fig. 2.4 e 2.5).



Fig. 2.4 Punto di ripresa a monte dell'attraversamento S.P. n. 453 verso l'imbocco.



Fig. 2.5 Punto di ripresa a valle dell'attraversamento S.P. n. 453 verso lo sbocco.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Lo Scrivente ipotizza che originariamente la sezione di deflusso del ponticello fosse maggiormente ampia e che il progressivo accumulo dei sedimenti abbia comportato una riduzione della capacità idraulica dell'opera, fino allo stato attuale.

A valle della Strada Provinciale il rio è contenuto da muri d'argine realizzati in diverse epoche, mediante tipologie costruttive differenti (fig. 2.6).

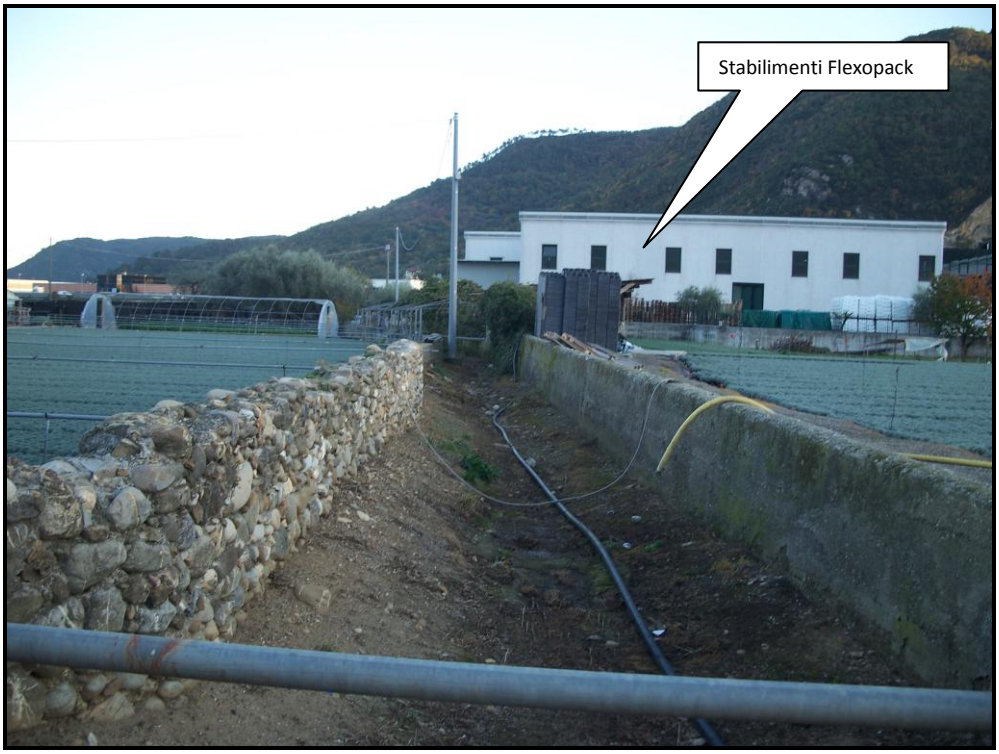


Fig. 2.6 Punto di ripresa a valle della Strada Provinciale n.453 verso valle.

Proseguendo verso valle in corrispondenza della proprietà FLEXOPACK s.r.l. si nota che il muro d'argine in destra risulta più elevato rispetto alla sponda sinistra (fig 2.7).

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.



Fig. 2.7 Punto di ripresa a valle della sez. 2 verso valle.

All'altezza di Via dell'Industria l'attraversamento è costituito da un basso ponticello a sezione rettangolare con una pila centrale (fig. 2.8).

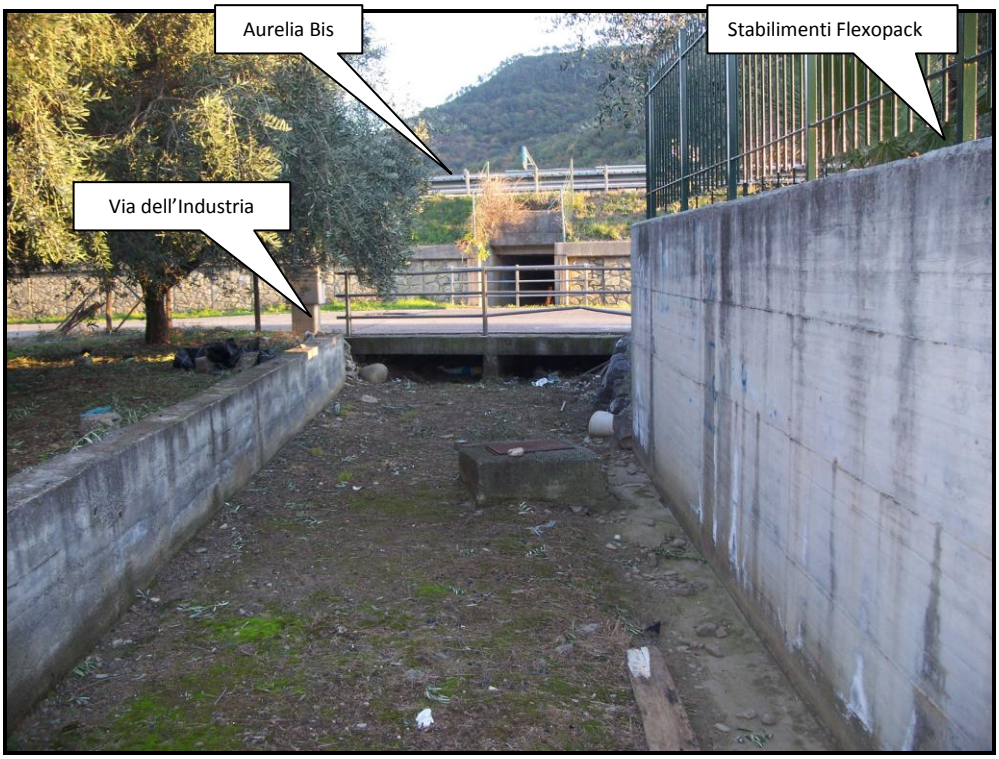


Fig. 2.8 Punto di ripresa a monte della sez. 3 verso l'imbocco dell'attraversamento di Via dell'Industria.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Subito a valle di Via dell'Industria sorge il rilevato relativo "all'Aurelia Bis" e all'Autostrada dei Fiori A10, attraversato da una tombinatura avente sezione di dimensioni pari a 2.00x2.50 m (fig. 2.9 e 2.10).



Fig. 2.9 Punto di ripresa a valle della sez. 4 verso l'imbocco della tombinatura della "Aurelia Bis"-Autostrada dei Fiori.



Fig. 2.10 Punto di ripresa a valle della sez. 8 verso lo sbocco della tombinatura della "Aurelia Bis"-Autostrada dei Fiori.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

A valle del rilevato autostradale è presente un salto di fondo di altezza pari a circa 2.15-2.20 m, proprio a ridosso di Via del Commercio la quale sormonta il corso d'acqua mediante una tombinatura di dimensioni pari a 3.00x1.35 m (fig. 2.11).



Fig. 2.11 Punto di ripresa a valle della sez. 9 verso lo sbocco della tombinatura di Via del Commercio.

All'uscita dell'opera di attraversamento il rio prosegue verso valle, racchiuso in un canale completamente cementato (fig. 2.12).

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.



Fig. 2.12 Punto di ripresa a valle della sez. 9 verso valle.

L'alveo, nel tratto indagato, ha andamento planimetrico sostanzialmente rettilineo ad eccezione della tratta posta a valle del rilevato autostradale, laddove si constata un brusco cambio di direzione (sez. 8-9) succeduto da un andamento curvilineo rivolto verso la confluenza con il Torrente Arroscia.

La pendenza media del fondo alveo è pari a circa il 0.5%, valore per cui è ammissibile ritenere che il corso d'acqua, in condizioni di portata ordinaria, sia caratterizzato da deflussi in regime di corrente lenta.

E', inoltre, interessante notare che lungo la tratta indagata del Rio Prandi, le aree perifluviali comprese tra la Strada Provinciale n. 453 e "l'Aurelia Bis" sono caratterizzate da aree agricole ad eccezione degli stabilimenti della FLEXOPACK s.r.l., mentre a valle dell'Autostrada dei Fiori invece si rilevano numerosi siti produttivi.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

3 Calcolo portate di massima piena

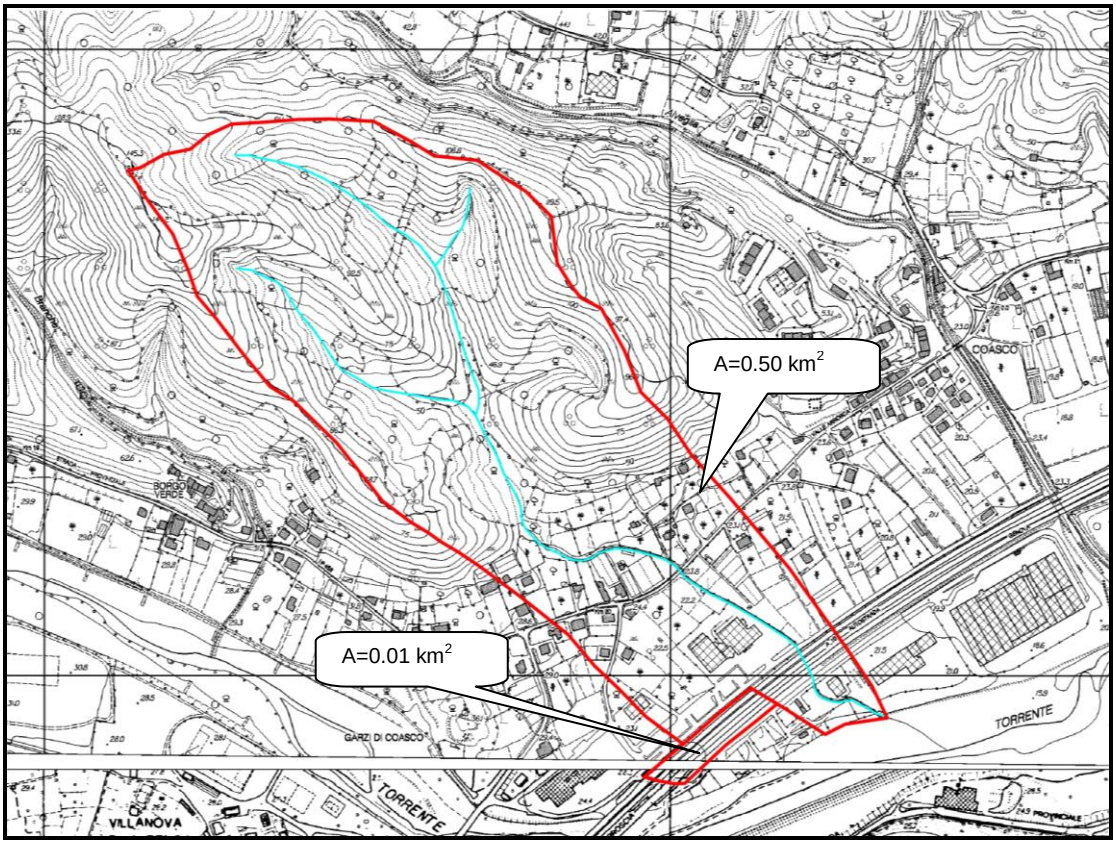


Fig. 3.1 Corografia del bacino imbrifero.

Il bacino imbrifero del Rio Prandi misurato in corrispondenza della confluenza con il Torrente Arroscia ammonta a circa 0.51 km^2. La superficie comprende anche le aree del rilevato autostradale (A=0.01 km^2) che vengono drenate verso il corso d'acqua.

Dalla consultazione del Piano di Bacino del Centa emerge che le portate di massima piena, per il rio in questione, devono definirsi secondo la procedura prevista per bacini idrografici di estensione inferiore ai 2 km^2 (CIMA 1999).

In base a tale metodologia la portata di massima piena Q_T si ricava come segue:

$$Q_T = K_T \, A \, U_{A=2}$$

dove A è la superficie drenata espressa in km^2, $U_{A=2}$ è il contributo unitario per area pari a 2 km^2, espresso in $m^3s^{-1}km^{-2}$, e K_T il fattore di frequenza delle portate fornito nella Tabella 1 del paragrafo 2.7.4.2.2 della Relazione Generale del Piano. Il coefficiente $U_{A=2}$, espresso in $m^3s^{-1}km^{-2}$, è fornito, in funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica, dalla Tabella 2 sempre della Relazione Generale.

Il bacino in esame presenta le seguenti caratteristiche:

- longitudine = 8° 8';

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

- bacino tipo = C;
- area A = 0.51 km^2;
- coefficiente $U_{A=2}$ = 5.30 $m^3s^{-1}km^{-2}$.

La tipologia del bacino è stata dedotta in via del tutto semplificativa e cautelativa, considerando la piana alluvionale interamente impermeabilizzata. In realtà tale superficie, attualmente, è caratterizzata da aree agricole, case di civile abitazione e stabilimenti produttivi.

Si riassumono, quindi, nella tab. 3.1 le portate di massima piena utilizzate per la verifica idraulica dell'asta del Rio Prandi.

Tempo di ritorno portate max piena	**Fattore di frequenza K_T [-]**	**Portata di massima piena (sez. chiusura RS –16) [m^3 s^{-1}]**
50 anni	3.47	9.40
200 anni	5.02	13.60
500 anni	6.04	16.30

tab. 3.1 Portate di massima piena Rio Prandi.

4 Descrizione del modello idraulico

COMPOSIZIONE TRATTA E SOTTO-TRATTE

Sono state assunte dodici sezioni idrauliche rappresentative dell'intera asta e delle opere presenti in alveo.

Si riportano nel seguito le singole tratte individuate e le particolarità significative di alcune sezioni:

- RS 0: sezione fittizia, copia della RS -1, posta a 50 m da quest'ultima;
- RS 0/-1: tratta virtuale del corso d'acqua assunta per simulare significativamente la parte montana del Rio Prandi (tratta limite di monte);
- RS -1/-3: alveo a cielo libero (tratta limite di monte);
- RS -4/-5: sezioni estreme dell'attraversamento di Via dell'Industria indicato con la sezione RS -4.5 (tratta limite di monte);
- RS –5/-6: alveo a cielo libero frapposto tra i manufatti di attraversamento esistenti (tratta limite di monte);
- RS -6/-7: tombinatura "Aurelia Bis"-Autostrada dai Fiori A10 (tratta limite di monte);
- RS -7/-8: "pozzo di salto" idraulico (tratta limite di monte);
- RS -8/-8.1: tombinatura relativa a Via del Commercio (tratta limite di monte);

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

- RS -9/-16: alveo a cielo libero a valle della tombinatura di Via del Commercio e adiacente alle aree interessate dallo S.U.A (tratta minima).

Gli estremi dell'alveo attivo sono stati individuati rispettivamente come *LOB* e *ROB,* mentre i rialzi delle arginature sono stati rappresentati con i *Levees.*

Nella fig. 4.1 si illustra lo schema idraulico della tratta indagata.

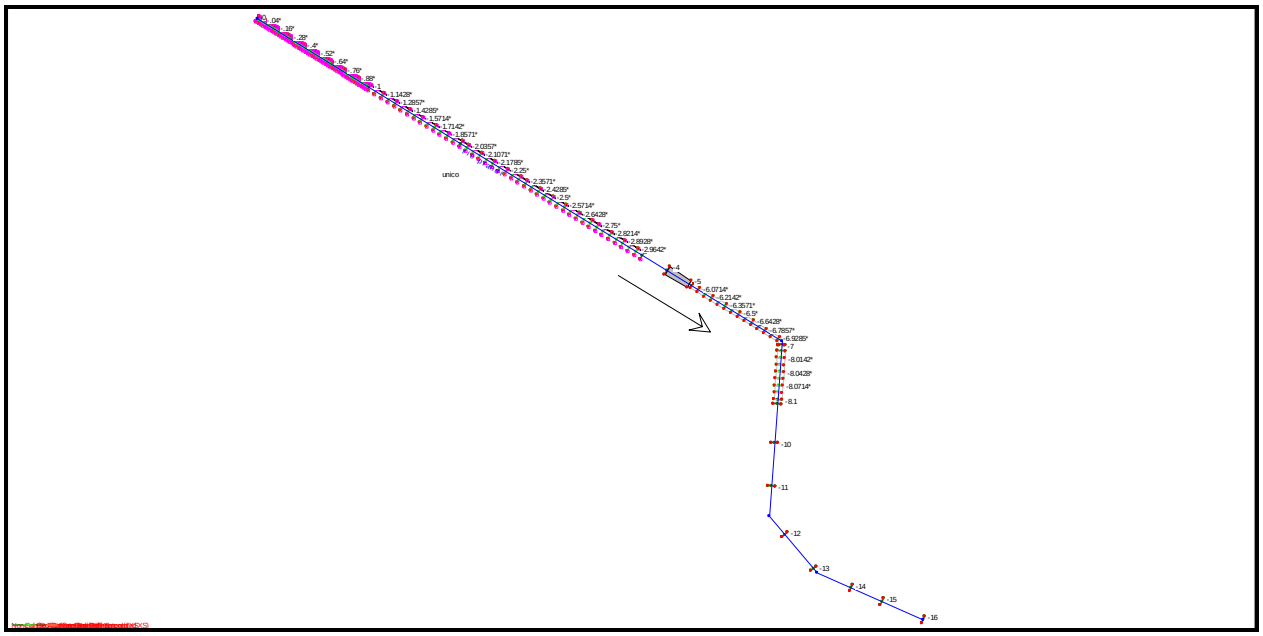


Fig. 4.1 Schema tratta indagata.

INTERPOLAZIONE SEZIONI

E' stata impiegata la procedura *"between 2 XS's"* e il passo adottato per l'interpolazione delle sezioni è stato assunto al fine di ridurre i messaggi di "warnings" emessi dal codice di calcolo durante la fase di simulazione. In questo modo si è inteso limitare gli eventuali errori che possono influenzare i risultati della modellazione.

RAPPRESENTAZIONE OPERE IN ALVEO

Il ponticello RS -4.5 è stato modellato con l'opzione "*Bridge"* del codice di calcolo. In fig. 4.2 si riportano le assunzioni di calcolo ai fini della modellazione del manufatto.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

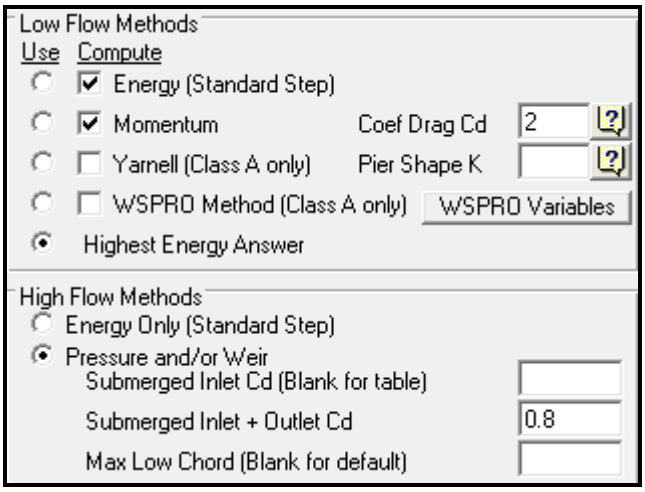


Fig. 4.2 Estratto dal modello di calcolo per modellazione dell'attraversamento RS-4.5.

Per completezza di indagine, considerata l'esiguità dell'altezza del manufatto di attraversamento, si è ipotizzata una riduzione della sezione di deflusso pari a circa il 50%.

Le tombinature rappresentati rispettivamente la viabilità principale ("Aurelia Bis"- Autostrada dei Fiori A10) e la viabilità secondaria (Via del Commercio) sono state modellate con l'opzione *"Lid"*. Tale scelta consente di risolvere le equazioni delle correnti anche nel tratto coperto, aggiungendo quando necessario, le perdite di carico associate al contatto della corrente con l'intradosso.

Lungo l'asta compresa tra la RS -0 e la RS -3, i muri d'argine risultano sostanzialmente sopraelevati rispetto ai terreni limitrofi. Le acque che dovessero superare il coronamento dei muri suddetti, tendono a riversarsi nelle aree adiacenti al rio.

Analizzando la CTR si è potuto osservare che il terreno ha un'inclinazione anche verso il Torrente Arveglia. Ai fini della presente simulazione, pertanto, si è ritenuto possibile che l'esondazione del rio possa comportare un deflusso sulle aree perifluviali, soprattutto in sinistra, ipotizzando che le acque scolmate non possano rientrare nell'alveo del Rio Prandi. Siffatta situazione permette di considerare, soprattutto, la sponda sinistra come uno stramazzo laterale che, quindi, è stato modellato mediante l'opzione *"Lateral structure"* nella configurazione *"weir"*.

COEFFICIENTE DI RESISTENZA

I coefficienti di resistenza sono stati dedotti dalle condizioni dell'alveo e delle aree perifluviali riscontrate in sito, avvalendosi della trattazione di Cowan e sue modificazioni.

Tratta RS 0/-5

Nella tab. 4.1 si riporta il coefficiente di resistenza per l'alveo.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

coefficiente di resistenza in alveo (trattazione di Cowan, 1954 modificata da Chow, 1959)		**tratto**		**RS 0/-5**
condizioni dell'alveo			**coefficienti proposti**	**coefficienti stimati**
materiale	terra	n_0	0.020	0.02
	roccia		0.025	
	ghiaia fine		0.024	
	ghiaia grossolana		0.028	
grado di irregolarità	trascurabile	n_1	0.000	0
	contenuto		0.005	
	moderato		0.010	
	severo		0.020	
variazione della sezione trasversale	graduale	n_2	0.000	0
	occasionalmente alternante		0.005	
	frequentemente alternante		0.010-0.015	
presenza di ostruzioni	trascurabile	n_3	0.000	0.02
	contenuto		0.010-0.015	
	apprezzabile		0.020-0.030	
	severo		0.040-0.060	
vegetazione	contenuta	n_4	0.005-0.010	0.005
	media		0.010-0.025	
	elevata		0.025-0.050	
	molto elevata		0.050-0.100	
grado di sinuosità	trascurabile	m_5	1.000	1
	apprezzabile		1.150	
	severo		1.300	
$n = (n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5$				**0.045**

tab. 4.1 Coefficiente di resistenza per l'alveo.

Nella tratta specificata si è potuto osservare che le sezioni del canale sono regolari e che la presenza della vegetazione è praticamente assente. Tuttavia sono state riscontrate alcune piccole opere in alveo la cui influenza è stata tenuta in considerazione adottando un coefficiente specifico pari a 0.02 $m^{-1/3}$ s.

Tratta RS -5/-8

In questa tratta le superfici di deflusso sono in calcestruzzo. La presenza di alcune tubature e dei cambi di direzione hanno comportato l'assunzione di un coefficiente di resistenza finale pari a 0.028 $m^{-1/3}$ s, in linea con i coefficienti riportati nel Piano di Bacino.

Tratta RS -8/-16

Anche in questa tratta le superfici di deflusso sono in calcestruzzo. Si ritiene che rispetto all'asta precedente, vi siano minori condizioni di resistenza e pertanto si è adottato un coefficiente di Manning pari a 0.025 $m^{-1/3}$ s.

Si riassumono i coefficienti di resistenza (*n*) utilizzati per la modellazione:

- RS -0/-5: alveo a piene rive *n* = 0.045 $m^{-1/3}$ s;
- RS -5/-8: alveo a piene rive *n* = 0.028 $m^{-1/3}$ s;
- RS -8/-16: alveo a piene rive *n* = 0.025 $m^{-1/3}$ s.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

CONFLUENZA

Per quanto riguarda l'immissione del Rio Prandi nel Torrente Arroscia si è ritenuto utile affidarsi alla seguente procedura.

Dalla consultazione del Piano di Bacino è emerso che la tratta del Torrente Arroscia in corrispondenza della confluenza è stata indagata dal Piano di Bacino. In particolare in corrispondenza della sez. 12 si leggono i seguenti valori del carico piezometrico:

- T = 50 anni: 20.63 m + 0.50 m;
- T = 200 anni: 21.21 m + 0.50 m;
- T = 500 anni: 21.57 m + 0.50 m.

I suddetti valori sono stati assunti direttamente come condizione al contorno per l'estremo di valle del Rio Prandi, con una maggiorazione pari a 0.50 m dovuta allo scostamento altimetrico riscontrato tra il rilievo eseguito dal Comune di Villanova d'Albenga e le sezioni del Torrente Arroscia derivate dal Piano di Bacino.

L'ipotesi suddetta permette la simulazione della confluenza senza dovere implementare il modello idraulico con l'asta del Torrente Arroscia tenendo in considerazione comunque le condizioni di deflusso di quest'ultimo.

Siffatta condizione è estremamente cautelativa in quanto è assai improbabile che possa verificarsi la contemporaneità delle piene dei due corsi d'acqua, stante l'enorme differenza di estensione tra i rispettivi bacini imbriferi.

CONDIZIONI AL CONTORNO

Al fine di determinare le più probabili caratteristiche idrauliche del deflusso di massima piena in prossimità dell'area oggetto di edificazione (*tratta minima*), sono state introdotte due tratte rispettivamente a monte e a valle (*tratte limite*). Tali aste hanno la funzione di far convergere i possibili "profili di errore" della corrente, in "regime misto", verso valori costanti via via che ci si allontana dagli estremi, laddove sono state imposte le condizioni al contorno che, di fatto, non sono sempre note a priori.

Le condizioni al contorno impiegate durante la verifica dell'asta in esame sono riassunte nel seguito.

- *Tratta limite di monte.* L'estensione della tratta risulta pari a circa 260 m (RS 0/-9). All'estremo di monte si è impostata la condizione di deflusso in moto uniforme considerando una cadente piezometrica pari a 0.25%.
- *Tratta limite di valle.* La tratta minima consiste nella parte finale del Rio Prandi fino alla confluenza con il Torrente Arroscia. Le ipotesi di modellazione descritte precedentemente per la simulazione della confluenza, consento di considerare trascurabile un'eventuale tratta limite di valle, in quanto sono le condizioni di deflusso del Torrente Arroscia che influenzano il regime del Rio Prandi.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

L'ammissibilità delle condizioni al contorno adottate verrà dimostrata nel successivo paragrafo.

N.B.: (*) La sigla RS (abbreviazione di River Station) sta ad indicare le sezioni del modello idraulico, che in alcuni casi potrebbero non essere coincidenti con le sezioni riportate sugli elaborati grafici.

5 Risultati simulazione idraulica

RISULTATI DI CALCOLO NUMERICO

Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati della simulazione idraulica eseguita in moto permanente.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)			
unico	0	T=50	23.13	24.42	24.92	23.87	23.87	-0.55	-0.55	0.50	0.50	0.50	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=50	23.00	23.82	23.87	23.74	23.74	-0.08	-0.08	0.05	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=50	22.89	23.61	23.66	23.77	24.56	0.16	0.95	0.05	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=50	22.49	23.28	23.31	23.40	24.43	0.12	1.15	0.03	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=50	22.34	23.28	23.29	**22.84**	**22.84**	-0.44	-0.44	0.01	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=50	22.34	23.28	23.29	**22.84**	**22.84**	-0.44	-0.44	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=50	22.34	23.19	23.25	**22.84**	**22.84**	-0.35	-0.35	0.06	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=50	22.34	23.12	23.15	**22.84**	**22.84**	-0.28	-0.28	0.03	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=50	22.37	23.04	23.14	**24.87**	**24.87**	1.83	1.83	0.11	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=50	22.13	22.61	22.83	**24.63**	**24.63**	2.02	2.02	0.22	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=50	19.96	21.15	21.16	22.29	22.29	1.14	1.14	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=50	19.96	21.15	21.16	**21.29**	**21.29**	0.14	0.14	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=50	19.89	21.14	21.16	**21.24**	**21.24**	0.10	0.10	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=50	19.89	21.14	21.16	22.49	22.49	1.35	1.35	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=50	19.88	21.14	21.15	22.45	22.45	1.31	1.31	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=50	19.76	21.14	21.15	22.27	22.27	1.13	1.13	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=50	19.69	21.13	21.14	22.29	22.29	1.16	1.16	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=50	19.52	21.13	21.14	22.12	22.12	0.99	0.99	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=50	19.27	21.13	21.14	21.87	21.87	0.74	0.74	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=50	19.03	21.13	21.13	21.63	21.63	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-16	T=50	18.73	21.13	21.13	21.33	21.33	0.20	0.20	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)															

tab. 5.1 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 50 anni.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
unico	0	T=200	23.13	24.65	25.41	23.87	23.87	-0.78	-0.78	0.76	0.50	0.76	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=200	23.00	23.85	23.91	23.74	23.74	-0.11	-0.11	0.06	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=200	22.89	23.63	23.68	23.77	24.56	0.14	0.93	0.05	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=200	22.49	23.31	23.34	23.40	24.43	0.09	1.12	0.03	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=200	22.34	23.30	23.31	**22.84**	**22.84**	-0.46	-0.46	0.01	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=200	22.34	23.30	23.31	**22.84**	**22.84**	-0.46	-0.46	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=200	22.34	23.21	23.28	**22.84**	**22.84**	-0.37	-0.37	0.06	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=200	22.34	23.14	23.17	**22.84**	**22.84**	-0.30	-0.30	0.03	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=200	22.37	23.05	23.16	**24.87**	**24.87**	1.82	1.82	0.11	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=200	22.13	22.62	22.85	**24.63**	**24.63**	2.01	2.01	0.22	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=200	19.96	21.73	21.73	22.29	22.29	0.56	0.56	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=200	19.96	21.72	21.73	**21.29**	**21.29**	-0.43	-0.43	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=200	19.89	21.71	21.72	**21.24**	**21.24**	-0.47	-0.47	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=200	19.89	21.72	21.72	22.49	22.49	0.77	0.77	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=200	19.88	21.71	21.72	22.45	22.45	0.74	0.74	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=200	19.76	21.71	21.72	22.27	22.27	0.56	0.56	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=200	19.69	21.71	21.72	22.29	22.29	0.58	0.58	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=200	19.52	21.71	21.72	22.12	22.12	0.41	0.41	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=200	19.27	21.71	21.71	21.87	21.87	0.16	0.16	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=200	19.03	21.71	21.71	21.63	21.63	-0.08	-0.08	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-16	T=200	18.73	21.71	21.71	21.33	21.33	-0.38	-0.38	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)															

tab. 5.2 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 200 anni.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
unico	0	T=500	23.13	24.84	25.70	23.87	23.87	-0.97	-0.97	0.86	0.50	0.86	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=500	23.00	24.07	24.14	23.74	23.74	-0.33	-0.33	0.07	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=500	22.89	23.82	23.89	23.77	24.56	-0.05	0.74	0.06	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=500	22.49	23.48	23.52	23.40	24.43	-0.08	0.95	0.04	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=500	22.34	23.47	23.49	**22.84**	**22.84**	-0.63	-0.63	0.02	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=500	22.34	23.47	23.49	**22.84**	**22.84**	-0.63	-0.63	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=500	22.34	23.33	23.46	**22.84**	**22.84**	-0.49	-0.49	0.08	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=500	22.34	23.32	23.36	**22.84**	**22.84**	-0.48	-0.48	0.05	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=500	22.37	23.21	23.35	**24.87**	**24.87**	1.66	1.66	0.14	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=500	22.13	22.74	23.01	**24.63**	**24.63**	1.89	1.89	0.28	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=500	19.96	22.10	22.11	22.29	22.29	0.19	0.19	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=500	19.96	22.08	22.11	**21.29**	**21.29**	-0.79	-0.79	0.02	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=500	19.89	22.07	22.09	**21.24**	**21.24**	-0.83	-0.83	0.02	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=500	19.89	22.08	22.09	22.49	22.49	0.41	0.41	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=500	19.88	22.08	22.09	22.45	22.45	0.37	0.37	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=500	19.76	22.08	22.08	22.27	22.27	0.19	0.19	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=500	19.69	22.07	22.08	22.29	22.29	0.22	0.22	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=500	19.52	22.07	22.08	22.12	22.12	0.05	0.05	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=500	19.27	22.07	22.08	21.87	21.87	-0.20	-0.20	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=500	19.03	22.07	22.07	21.63	21.63	-0.44	-0.44	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-16	T=500	18.73	22.07	22.07	21.33	21.33	-0.74	-0.74	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)															

tab. 5.3 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 500 anni.

Reach	River Sta	Profile	Q US	Q Leaving Total	Q DS	Q Weir	Q Gates	Wr Top Wdth	Weir Max Depth	Weir Avg Depth	Min El Weir Flow	E.G. US.	W.S. US.	E.G. DS	W.S. DS
			(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
unico	-0.01	T=50	9.40	7.40	1.91	7.40		50.00	0.55	0.24	23.74	24.92	24.42	23.87	23.82
unico	-0.01	T=200	13.60	11.54	2.13	11.54		50.00	0.78	0.33	23.74	25.41	24.65	23.91	23.85
unico	-0.01	T=500	16.30	21.74	2.94	21.74		50.00	0.97	0.52	23.74	25.70	24.84	24.14	24.07
unico	-1.01	T=50	1.91	0.14	1.77	0.14		14.16	0.08	0.04	23.74	23.87	23.82	23.66	23.61
unico	-1.01	T=200	2.13	0.27	1.85	0.27		18.36	0.11	0.05	23.74	23.91	23.85	23.68	23.63
unico	-1.01	T=500	2.94	3.85	2.59	3.85		40.85	0.33	0.19	23.74	24.14	24.07	23.89	23.82
unico	-2.01	T=50	1.77	0.00	1.77	0.00					23.40	23.66	23.61	23.31	23.28
unico	-2.01	T=200	1.85	0.00	1.85	0.00					23.40	23.68	23.63	23.34	23.31
unico	-2.01	T=500	2.59	0.91	2.59	0.91		81.20	0.08	0.05	23.40	23.89	23.82	23.52	23.48

tab. 5.4 Risultati simulazione Rio Prandi. Tabella output Lateral Structure.

In allegato si riportano i risultati dello studio idraulico in forma grafica ricavati dal programma di calcolo.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

ANALISI CARATTERISTICHE PROFILO IDRAULICO

Dall'esame dei risultati della simulazione idraulica si evince che i singoli deflussi di massima piena hanno caratteristiche simili.

- RS 0/-2. Nella prima tratta si realizza l'esondazione del Rio Prandi: l'onda di piena supera gli argini e tracima lateralmente invadendo i terreni limitrofi.
- RS -2/-3. Si osserva che i profili di massima piena sono inferiori al coronamento dei muri d'argine, a causa della forte riduzione delle portate in seguito all'esondazione del corso d'acqua a monte. Il moto è in corrente lenta.
- RS -3/-5. L'attraversamento di Via dell'Industria, nella condizione di parzializzazione dell'imbocco, risulta sormontato dall'onda di piena per tutti e tre gli eventi critici, nonostante la riduzione delle portate.
- RS -6/-7. Il deflusso, all'interno della tombinatura, tende ad accelerare anche se permane la condizione di corrente lenta.
- RS -7.1/-16. Il deflusso risente delle condizioni al contorno imposte a valle.

AMMISSIBILITA' CONDIZIONI AL CONTORNO

- *Tratta limite di monte (RS 0/-9).* Come si è avuto modo di precisare in precedenza, si attende che il massimo dell'esondazione avvenga più a monte in corrispondenza della Strada Provinciale n. 453. In quest'ottica si ritiene che il deflusso in alveo giunto in corrispondenza della RS 0 possa essere inferiore rispetto a quello ipotizzato. Se ne deduce quindi, che è proprio questa ipotesi di partenza che permette di considerare poco influente la validità della condizione al contorno di monte, soprattutto per la "tratta minima". Tale considerazione consente, inoltre, di considerare idraulicamente significativo il tratto iniziale di indagine.

- *Tratta limite di valle (RS -16).* I valori imposti come condizioni al contorno "note" sono stati estrapolati dal Piano di Bacino (sez. 12), a cui si rimanda per le valutazioni del caso. Il deflusso del Rio Prandi a valle del rilevato autostradale risulta dipendente dallo stato idrometrico imposto e concernente la situazione di massima piena del Torrente Arroscia. Tale considerazione, pertanto, consente di considerare idraulicamente significativo il tratto finale di indagine.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

6 Aree allagabili

Il codice di calcolo utilizzato per il presente studio idraulico analizza il deflusso in moto stazionario monodimesionale, pertanto, l'unica componente della velocità è quella longitudinale.

Laddove i versanti definiscono una sezione idraulica incassata, impegnata da portate significative, la suddetta ipotesi trova maggiore aderenza alla realtà del fenomeno di deflusso. Non si può dire altrettanto per aree pianeggianti, estese ed urbanizzate, in quanto si innescano processi di deflusso secondari particolarmente complessi da modellare.

Sembrerebbe proprio questo il caso in cui ricade il Rio Prandi. Si ritiene, infatti, che l'onda di piena in corrispondenza dell'attraversamento della Strada Provinciale n. 453 possa riversarsi sulla viabilità esistente per poi interessare i terreni posti verso valle. E' lecito ipotizzare l'instaurazione di un deflusso principale lungo le strade, che attraverso gli accessi, possa coinvolgere i terreni circostanti in maniera più o meno consistente in funzione dei tiranti e delle velocità di deflusso (schema canali/invasi).

Nella fig. 6.1 si riporta uno schema delle vie di deflusso che potrebbero essere potenzialmente interessante dall'esondazione del Rio Prandi.

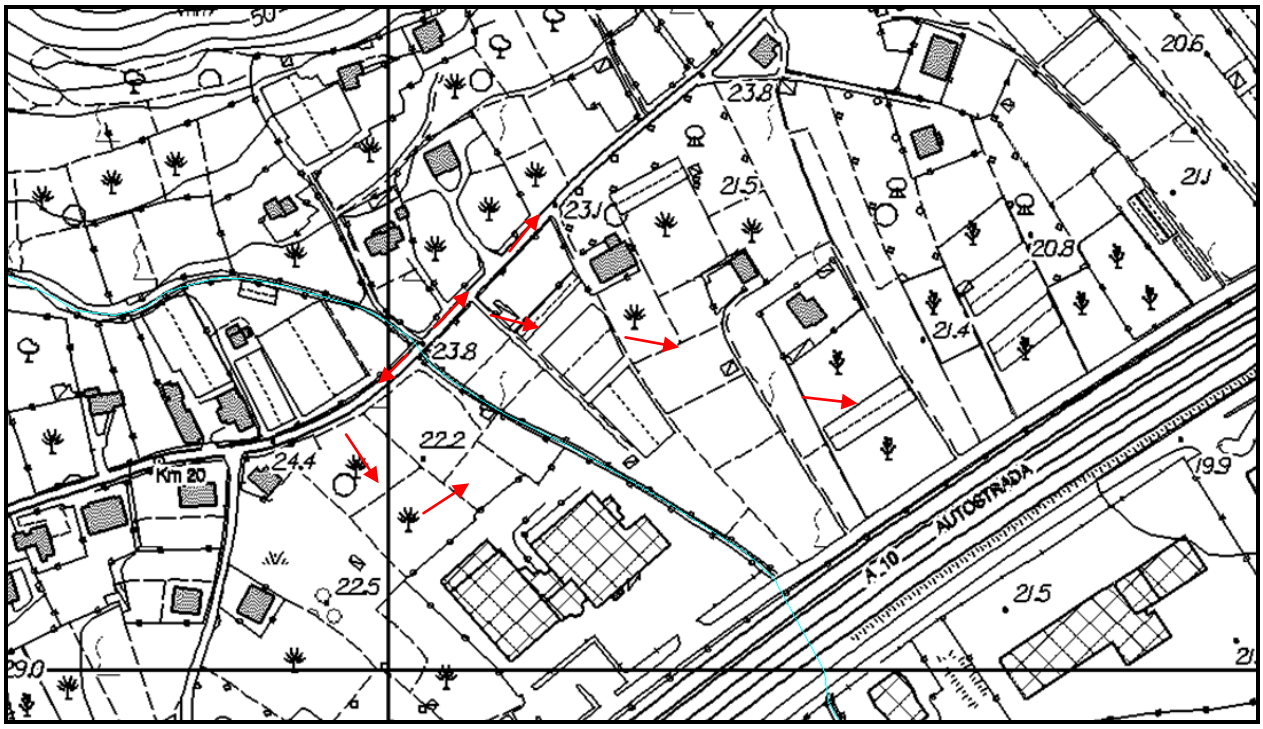


fig. 6.1 Schema ipotetico di deflusso dovuto all'esondazione del Rio Prandi.

Data la conformazione del territorio si ritiene che l'allagamento in sinistra orografica si sviluppi verso il Torrente Alveglia, mentre in destra il rilevato della proprietà FLEXOPACK s.r.l. possa circoscrivere l'esondazione al di fuori della propria area.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Come si è detto pocanzi una tale simulazione risulterebbe particolarmente complicata ed impegnativa, anche e soprattutto in relazione allo scopo che si vuole perseguire: la perimetrazione delle fasce sui terreni oggetto di edificazione.

Si è pertanto deciso di condurre uno studio idraulico basato sul metodo del deflusso, una metodologia semplice ma allo stesso tempo cautelativa, al fine di ottenere dei risultati pratici e prudenziali.

Con questa metodologia si intende considerare solo il deflusso delle portate di massima piena sia all'interno dell'alveo sia esternamente al corso d'acqua, escludendo la possibilità di fenomeni di invaso. Il modello idraulico che discende da tale metodo è illustrato al cap. n.4 (modello idraulico monodimensionale).

Per semplicità è stata modellata l'asta finale a valle della Strada Provinciale.

In questa tratta (RS 0/-2) l'alveo non contiene le portate di massima piena, cosicché si potrebbe realizzare un versamento delle portate di supero lateralmente. A tale fine gli argini sono stati modellati come degli stramazzi laterali. Questa opzione è stata riservata solo per la sponda sinistra, in quanto si è ritenuto semplificativo escludere il fenomeno di allagamento in destra. Quest'ultima assunzione si deve al fatto che, proprio in destra, le acque esondate potrebbero ritornare in alveo a monte del rilevato della proprietà FLEXOPACK s.r.l.

Viste le caratteristiche territoriali (fig. 5.1) si è ipotizzato che le portate di supero in sinistra difficilmente possano rientrare in alveo. Pertanto la tratta a valle rispetto alla RS -2 è stata modellata con le portate potenzialmente defluibili all'interno del rio, calcolate dal programma Hec Ras sulla base delle portate scolmate (opzione *"Lateral structure"*).

All'altezza delle opere di attraversamento di Via dell'Industria, Via del Commercio e del rilevato autostradale è stata trascurata la possibile laminazione dell'esondazione, considerando concentrato il deflusso all'interno del sedime del rio/canale, in modo da massimizzare il rigurgito idraulico.

I risultati del metodo in questione confermano la tendenza all'esondazione del Rio Prandi a monte del rilevato autostradale e si ipotizza che la pericolosità sia molto elevata (fascia A).

Per quanto riguarda l'asta del Rio Prandi posta a valle dell'attraversamento autostradale, si evidenzia una suscettibilità all'esondazione poco a monte della confluenza, come si può evincere dallo stralcio del profilo idraulico rappresentato nella fig. 6.2.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

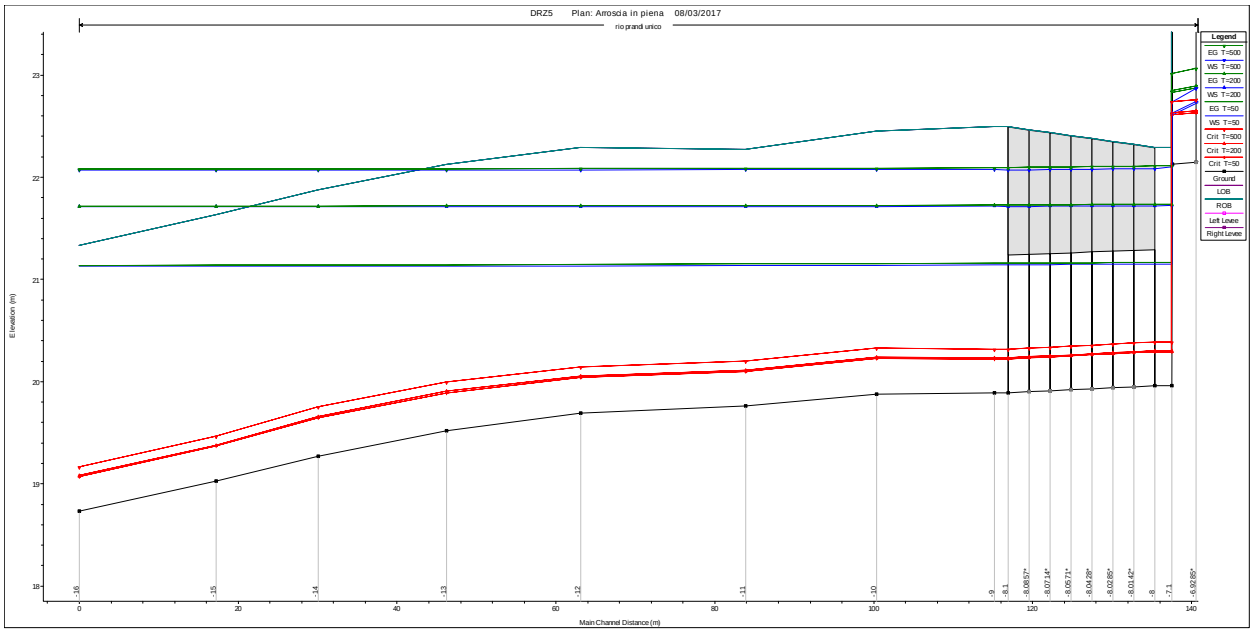


fig. 6.2 Stralcio del profilo idraulico del Rio Prandi.

Per eventi caratterizzati da tempo di ritorno maggiore di duecento anni, le portate di massima piena tendono ad esondare a valle della RS-13.

Tenuto presente quanto sopra si è inteso, comunque, procedere alla perimetrazione delle fasce allagabili secondo uno specifico principio.

Il metodo utilizzato per la perimetrazione delle fasce allagabili consiste nell'individuare i limiti dell'esondazione come intersezione fra il livello del **carico piezometrico con il franco vigente (valore maggiore tra carico cinetico e franco geometrico)**, determinato per le diverse portate di riferimento, e la superficie morfologica naturale del terreno o delle opere di arginatura.

La metodologia proposta è semplificativa ma nel contempo molto cautelativa.

Non si esclude che con un'analisi maggiormente approfondita si possa conseguire uno scenario meno impattante e comunque sufficientemente prudenziale; tuttavia nel caso in esame si ritiene utile procedere come sopra esposto.

Nella fig. 6.3 sono illustrate le aree potenzialmente allagabili nella tratta del Rio Prandi di interesse.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

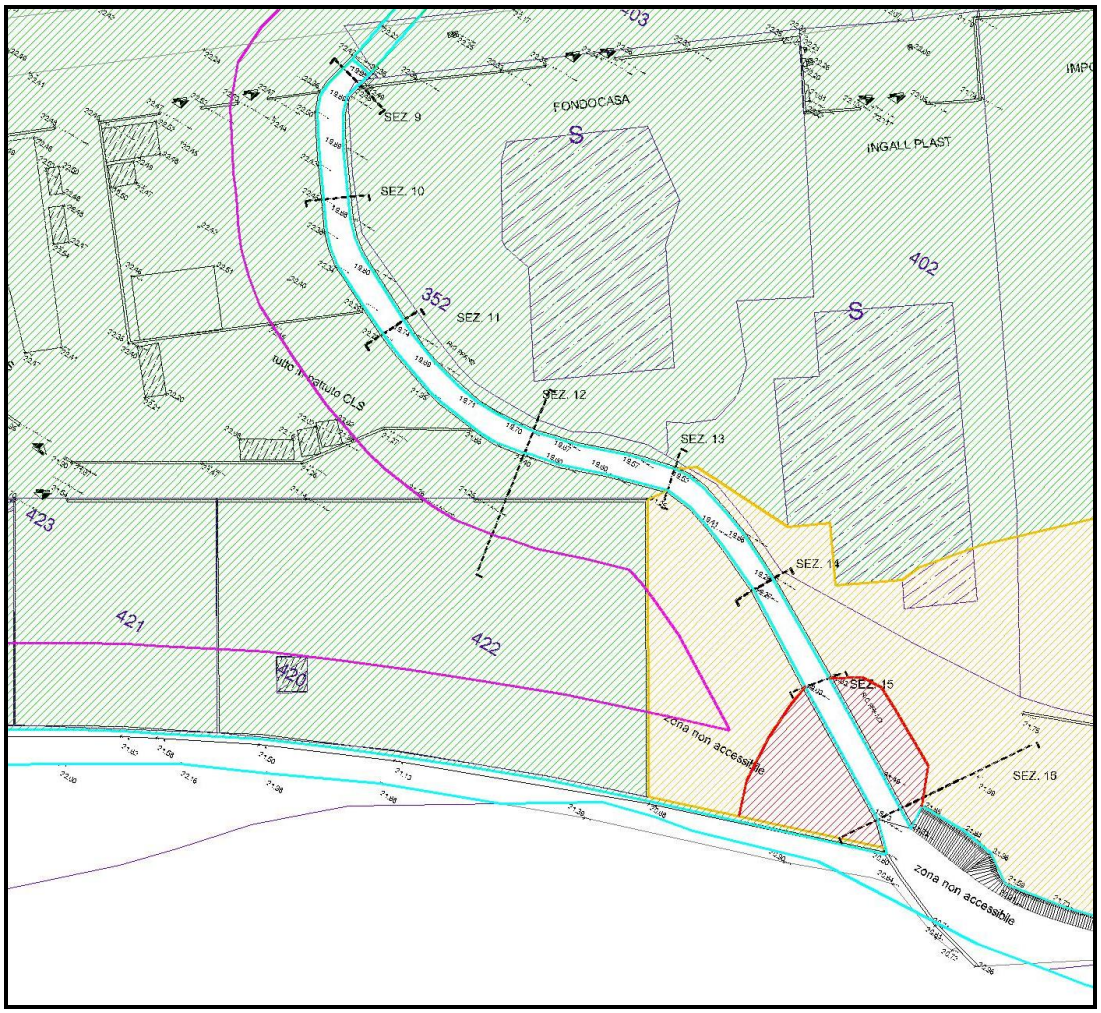


fig. 6.3 Stralcio della planimetria delle aree allagabili.

Il S.U.A. nelle fasce A e B prevede la sopraelevazione della sponda destra per questioni legate ad aspetti di fruibilità dei luoghi e per le prescrizioni imposte dalla Delibera della Giunta Regionale n. 1314 del 31/12/2016 riguardanti la zona FV6 (verde pubblico).

Stante quanto sopra si è reputato utile proporre un intervento che permettesse il contenimento, con opportuno franco idraulico, dell'onda di massima piena duecentennale così come calcolato.

Nel paragrafo seguente si illustrerà l'intervento idraulico in progetto.

7 Intervento di contenimento delle aree allagabili

Si prevede la contestuale sopraelevazione di entrambi gli argini del Rio Prandi dalla RS-12 fino allo sbocco.

Per la modellazione dell'intervento proposto è stata utilizzata la funzione *Levee*.

Il Piano Particolareggiato prevede tra la RS-15 e la RS-16 la costruzione di una passerella.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Il modello idraulico è stato quindi implementato con l'inserimento di due sezioni apposite RS-15.5 e RS-15.6, atte alla rappresentazione dell'imbocco e dello sbocco del manufatto di attraversamento.

L'impalcato è stato modellato con l'opzione *Lid*.

Si riportano i tabulati dei risultati del calcolo in moto permanente.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)			
unico	0	T=50	23.13	24.42	24.92	23.87	23.87	-0.55	-0.55	0.5	0.50	0.50	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=50	23.00	23.82	23.87	23.74	23.74	-0.08	-0.08	0.05	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=50	22.89	23.61	23.66	23.77	24.56	0.16	0.95	0.05	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=50	22.49	23.28	23.31	23.40	24.43	0.12	1.15	0.03	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=50	22.34	23.28	23.29	**22.84**	**22.84**	-0.44	-0.44	0.01	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=50	22.34	23.28	23.29	**22.84**	**22.84**	-0.44	-0.44	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=50	22.34	23.19	23.25	**22.84**	**22.84**	-0.35	-0.35	0.06	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=50	22.34	23.12	23.15	**22.84**	**22.84**	-0.28	-0.28	0.03	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=50	22.37	23.04	23.14	**24.87**	**24.87**	1.83	1.83	0.11	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=50	22.13	22.61	22.83	**24.63**	**24.63**	2.02	2.02	0.22	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=50	19.96	21.15	21.16	22.29	22.29	1.14	1.14	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=50	19.96	21.15	21.16	**21.29**	**21.29**	0.14	0.14	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=50	19.89	21.14	21.16	**21.24**	**21.24**	0.10	0.10	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=50	19.89	21.14	21.16	22.49	22.49	1.35	1.35	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=50	19.88	21.14	21.15	22.45	22.45	1.31	1.31	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=50	19.76	21.14	21.15	22.27	22.27	1.13	1.13	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=50	19.69	21.13	21.14	22.29	22.29	1.16	1.16	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=50	19.52	21.13	21.14	22.21	22.21	1.08	1.08	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=50	19.27	21.13	21.14	22.30	22.30	1.17	1.17	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=50	19.03	21.13	21.13	22.30	22.30	1.17	1.17	0	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-15.5	T=50	18.86	21.13	21.13	**22.71**	**22.71**	1.58	1.58	0	1.00	1.00	verifica	verifica	sezione interpolata
unico	-15.6	T=50	18.81	21.13	21.13	**22.71**	**22.71**	1.58	1.58	0	1.00	1.00	verifica	verifica	sezione interpolata
unico	-16	T=50	18.73	21.13	21.13	22.30	22.30	1.17	1.17	0	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)															

tab. 7.1 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 50 anni.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
unico	0	T=200	23.13	24.65	25.41	23.87	23.87	-0.78	-0.78	0.76	0.50	0.76	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=200	23.00	23.85	23.91	23.74	23.74	-0.11	-0.11	0.06	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=200	22.89	23.63	23.68	23.77	24.56	0.14	0.93	0.05	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=200	22.49	23.31	23.34	23.40	24.43	0.09	1.12	0.03	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=200	22.34	23.30	23.31	**22.84**	**22.84**	-0.46	-0.46	0.01	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=200	22.34	23.30	23.31	**22.84**	**22.84**	-0.46	-0.46	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=200	22.34	23.21	23.28	**22.84**	**22.84**	-0.37	-0.37	0.06	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=200	22.34	23.14	23.17	**22.84**	**22.84**	-0.30	-0.30	0.03	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=200	22.37	23.05	23.16	**24.87**	**24.87**	1.82	1.82	0.11	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=200	22.13	22.62	22.85	**24.63**	**24.63**	2.01	2.01	0.22	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=200	19.96	21.73	21.73	22.29	22.29	0.56	0.56	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=200	19.96	21.72	21.73	**21.29**	**21.29**	-0.43	-0.43	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=200	19.89	21.71	21.72	**21.24**	**21.24**	-0.47	-0.47	0.01	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=200	19.89	21.72	21.72	22.49	22.49	0.77	0.77	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=200	19.88	21.71	21.72	22.45	22.45	0.74	0.74	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=200	19.76	21.71	21.72	22.27	22.27	0.56	0.56	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=200	19.69	21.71	21.72	22.29	22.29	0.58	0.58	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=200	19.52	21.71	21.72	22.21	22.21	0.50	0.50	0.01	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=200	19.27	21.71	21.71	22.30	22.30	0.59	0.59	0.00	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=200	19.03	21.71	21.71	22.30	22.30	0.59	0.59	0.00	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-15.5	T=200	18.86	21.71	21.71	**22.71**	**22.71**	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	verifica	verifica	sezione interpolata
unico	-15.6	T=200	18.81	21.71	21.71	**22.71**	**22.71**	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	verifica	verifica	sezione interpolata
unico	-16	T=200	18.73	21.71	21.71	22.30	22.30	0.59	0.59	0.00	0.50	0.50	verifica	verifica	sezione rilevata
Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)															

tab. 7.2 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 200 anni.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Tratto	Sezione R.S.	Profilo	Quota fondo alveo	Quota carico piezometrico	Quota carico totale	Quota argine sx	Quota argine dx	Franco sx	Franco dx	Franco cinetico	Franco geometrico	Franco ammissibile	Condizione sx	Condizione dx	Note
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
unico	0	T=500	23.13	24.84	25.70	23.87	23.87	-0.97	-0.97	0.86	0.50	0.86	non verifica	non verifica	copia RS-1
unico	-1	T=500	23.00	24.07	24.14	23.74	23.74	-0.33	-0.33	0.07	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-2	T=500	22.89	23.82	23.89	23.77	24.56	-0.05	0.74	0.06	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-3	T=500	22.49	23.48	23.52	23.40	24.43	-0.08	0.95	0.04	0.50	0.50	non verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-4	T=500	22.34	23.47	23.49	**22.84**	**22.84**	-0.63	-0.63	0.02	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRU	T=500	22.34	23.47	23.49	**22.84**	**22.84**	-0.63	-0.63	0.07	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-4.5BRD	T=500	22.34	23.33	23.46	**22.84**	**22.84**	-0.49	-0.49	0.08	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-5	T=500	22.34	23.32	23.36	**22.84**	**22.84**	-0.48	-0.48	0.05	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-6	T=500	22.37	23.21	23.35	**24.87**	**24.87**	1.66	1.66	0.14	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7	T=500	22.13	22.74	23.01	**24.63**	**24.63**	1.89	1.89	0.28	1.50	1.50	verifica	verifica	sezione rilevata
unico	-7.1	T=500	19.96	22.10	22.11	22.29	22.29	0.19	0.19	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8	T=500	19.96	22.08	22.11	**21.29**	**21.29**	-0.79	-0.79	0.02	1.50	1.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-8.1	T=500	19.89	22.07	22.09	**21.24**	**21.24**	-0.83	-0.83	0.02	1.50	1.50	non verifica	non verifica	copia RS-9
unico	-9	T=500	19.89	22.08	22.09	22.49	22.49	0.41	0.41	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-10	T=500	19.88	22.08	22.09	22.45	22.45	0.37	0.37	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-11	T=500	19.76	22.08	22.08	22.27	22.27	0.19	0.19	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-12	T=500	19.69	22.07	22.08	22.29	22.29	0.22	0.22	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-13	T=500	19.52	22.07	22.08	22.21	22.21	0.14	0.14	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-14	T=500	19.27	22.07	22.08	22.30	22.30	0.23	0.23	0.01	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-15	T=500	19.03	22.07	22.07	22.30	22.30	0.23	0.23	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata
unico	-15.5	T=500	18.86	22.07	22.07	**22.71**	**22.71**	0.64	0.64	0.00	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione interpolata
unico	-15.6	T=500	18.81	22.07	22.07	**22.71**	**22.71**	0.64	0.64	0.00	1.00	1.00	non verifica	non verifica	sezione interpolata
unico	-16	T=500	18.73	22.07	22.07	22.30	22.30	0.23	0.23	0.00	0.50	0.50	non verifica	non verifica	sezione rilevata

Nota: in grassetto sono riportate le quote di intradosso dell'impalcato (corrispondenti a 2/3 della luce nel caso di ponte ad arco)

tab. 7.3 Risultati simulazione Rio Prandi. Portata T = 500 anni.

Visto e considerato che il deflusso è condizionato dallo stato idrometrico del Torrente Arroscia, il carico piezometrico non varia tra la situazione attuale e quella in progetto.

Come si può osservare nella tratta finale oggetto di intervento il profilo idraulico calcolato risulta affrancato.

Nella fig. 7.1 si espone la planimetria delle aree allagabili post intervento.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

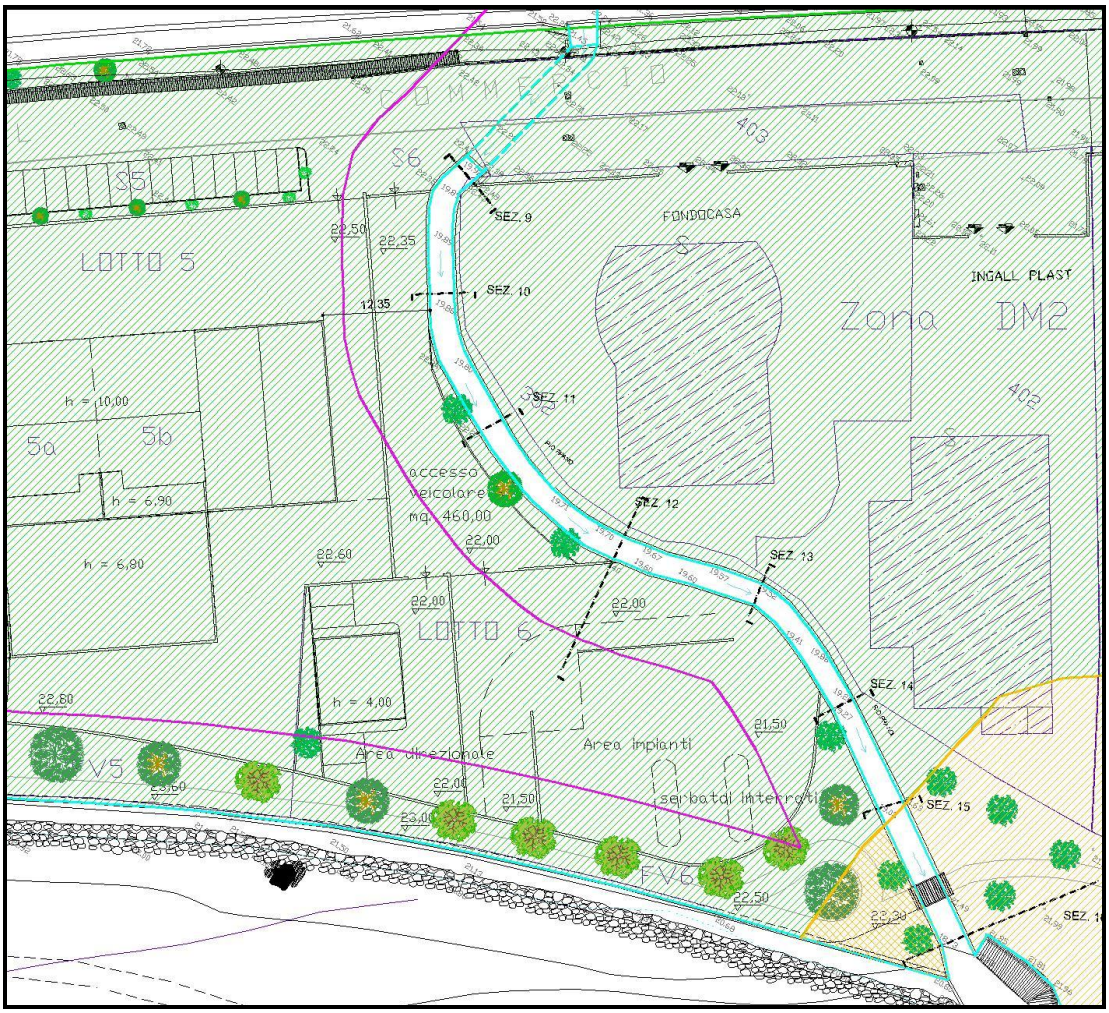


fig. 7.1 Stralcio della planimetria delle aree allagabili nella situazione in progetto.

Si è inteso conservare in sponda destra la fascia B così come individuata dal Piano di Bacino a memoria della potenziale pericolosità, nonostante gli effetti benefici dell'intervento previsto in progetto.

8 Conclusioni

Il Comune di Villanova d'Albenga intende promuovere lo Strumento Urbanistico Attuativo inerente la zona "DRZ5" in Località Coasco (Foglio n. 5 Mappali n. 419-420-421-422-423-424-433).

L'area di intervento sorge in destra orografica rispetto al Rio Prandi, affluente di sinistra del Torrente Arroscia ed in sponda sinistra rispetto a quest'ultimo.

Il Torrente Arroscia è stato indagato e sono state individuate dal Piano di Bacino delle fasce allagabili, mentre il Rio Prandi risulta individuato dalla Carta dei Corsi d'acqua del Piano ma non analizzato dal punto di vista idraulico.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Risultando la fascia di rispetto pari a 20 m, si è reso pertanto necessario redigere il presente studio al fine di determinare la perimetrazione delle fasce allagabili come prescritto dall'art. 8 comma 3 delle Norme Tecniche d'Attuazione del suddetto Piano.

Le valutazioni in merito alla perimetrazione delle fasce inondabili sono state eseguite sulla base delle risultanze dei metodi adottati, rapportate poi alla conformazione territoriale dei luoghi dedotta dal rilievo, dalla cartografia ufficiale e dai sopralluoghi effettuati.

Alla luce dei risultati ottenuti si è potuto verificare che nella situazione attuale l'area oggetto di intervento risulta essere caratterizzata da delle fasce di inondabilità.

Per questa ragione si è ritenuto necessario proporre un intervento di sopraelevazione degli argini del Rio Prandi nei pressi della confluenza con il Torrente Arroscia, al fine di contenere il profilo di massima piena della portata duecentennale dedotto dalla modellazione idraulica.

E' stata altresì verificata la passerella che sarà realizzata per collegare le aree destinate a verde pubblico.

Il progetto si ritiene assentibile ai sensi delle Norme Tecniche d'Attuazione del Piano di Bacino del Centa.

IL TECNICO

Ing. Iunior Antonello PERANO



E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

APPENDICE - Descrizione della procedura di calcolo

La determinazione del profilo in moto permanente del corpo idrico in esame è stata condotta mediante l'uso dello specifico codice di calcolo HEC–RAS (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, versione 4.0.0 – Marzo 2008).

La procedura utilizzata dal codice citato è basata sulla risoluzione dell'equazione del moto delle correnti a pelo libero nella schematizzazione monodimensionale. Il calcolo delle perdite di carico è effettuato mediante l'equazione di Manning. Nella letteratura anglosassone la procedura in questione è indicata come Standard Step Method.

Le equazioni fondamentali su cui essa si basa sono le seguenti:

$$Y_2 + Z_2 + a_2 V_2^2/2g = Y_1 + Z_1 + a_1 V_1^2 /2g + h_e$$

$$h_e = LS_f + C / a_2 V_2 2 / 2g – a_1 V_1^2 /2g /$$

dove:

Y_l, Y_2 = profondità della corrente nelle sezioni agli estremi del tratto;

Z_1, Z_2 quote del punto più basso del fondo alveo nelle sezioni agli estremi del tratto;

V_1, V_2 = velocità medie (rapporto portata/sezione bagnata);

a_1, a_2 = coefficienti di ragguaglio dell'energia cinetica

g = accelerazione di gravità

h_e = perdita di carico

L = lunghezza del tratto (corretta secondo la distribuzione delle portate)

S_f = cadente del carico totale

C = coefficiente di perdita per contrazione – espansione.

Nei casi in cui il profilo libero dell'acqua passa attraverso la profondità critica, l'equazione dell'energia non è più applicabile.

L'equazione dell'energia può essere, infatti, applicata solo in condizioni di moto gradualmente variato, mentre il passaggio da regime supercritico a subcritico, o viceversa, rappresentano condizioni di moto rapidamente variato.

Tale passaggio può essere causato da vari fattori, come un cambio significativo della pendenza del fondo, brusche variazioni di sezione o restringimenti determinati ad esempio dalla presenza di ponti con pile in alveo, confluenze, ecc.

In alcuni di questi casi è possibile fare uso di equazioni empiriche, in altri è necessario applicare l'equazione del Momento per ottenere una soluzione attendibile.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

L'espressione per la variazione del Momento nell'unità di tempo può essere scritta come:

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

dove:

P = pressione idrostatica nelle due sezioni consecutive del corso d'acqua;
W = forza peso dell'acqua nella direzione x (direzione del moto);
F_f = forza d'attrito;
Q = portata del corso d'acqua;
ρ = densità dell'acqua;
ΔVx = variazione della velocità tra le due sezioni consecutive.

Le sezioni sono riportate nel modello del programma di calcolo con una numerazione crescente dalla foce verso monte.

Il calcolo è eseguito iterativamente a partire da una condizione al contorno (all'estremo di monte e/o di valle del tronco fluviale); la soluzione si propaga alla sezione successiva dopo aver bilanciato il carico fra due sezioni contigue con uno scarto assegnato, che nel caso in esame si è posto inferiore a 1 centimetro.

Per i dettagli computazionali si rimanda alla documentazione del codice di calcolo (U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center: HEC – RAS River Analylis System, HYDRAULIC REFERENCE MANUAL, Davis, 1997).

L'applicazione della procedura per la determinazione del profilo di moto permanente associato alla porta di progetto richiede di disporre dei seguenti dati fondamentali:

- descrizione geometrica completa del tronco fluviale: deve essere costituita dalla rappresentazione geometrica delle sezioni trasversali e dal loro posizionamento plani – altimetrico;
- definizione del tipo di corrente (lenta, veloce o mista) nel tronco;
- condizioni al contorno di valle o di monte, rispettivamente per correnti lente o veloci;
- caratterizzazione della resistenza dell'alveo mediante la definizione del coefficiente di scabrezza n (secondo Manning) e dei coefficienti di contrazione C_c e di espansione C_e;
- definizione geometrica ed idraulica d'eventuali singolarità presenti in alveo (ponti, confluenze, etc.)

Per quanto riguarda il tipo di corrente, si è proceduto ipotizzando nei tronchi la presenza di una corrente mista, con passaggi da corrente veloce a corrente lenta.

E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

Per la caratterizzazione della resistenza degli alvei, da esprimere in termini del coefficiente *n* di Manning (in $m^{-1/3}$ s), si è fatto ricorso ai valori riportati nelle tabelle del manuale di riferimento prima citato, in particolare si è ritenuto opportuno adottare valori del coefficiente di resistenza a seconda della natura del fondo e della tortuosità del corso d'acqua in esame; per la definizione di tali valori si fa riferimento in seguito.

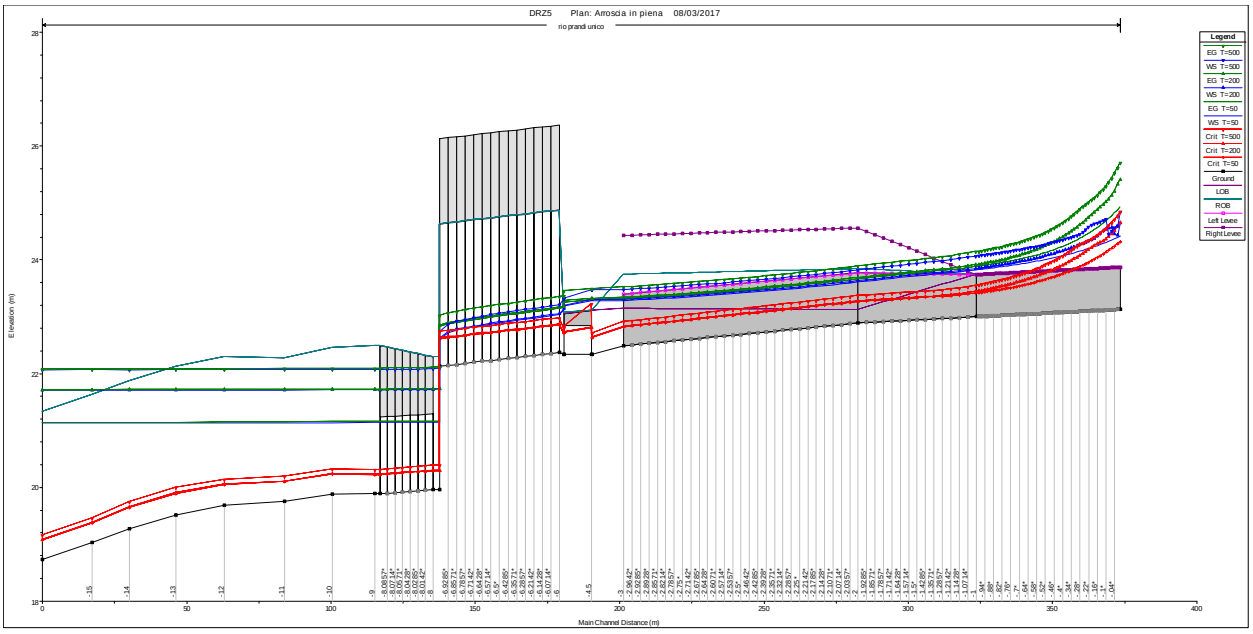
Per quanto riguarda invece i coefficienti d'espansione e contrazione, il loro valore è stato attribuito caso per caso in funzione delle caratteristiche della coppia di sezioni contigue, rispettivamente nel campo 0.1/0.6 per C_c e 0.3/0.8 per C_e, con valori tanto più elevati dei coefficienti quanto più brusche sono le variazioni di forma e dimensioni delle sezioni.

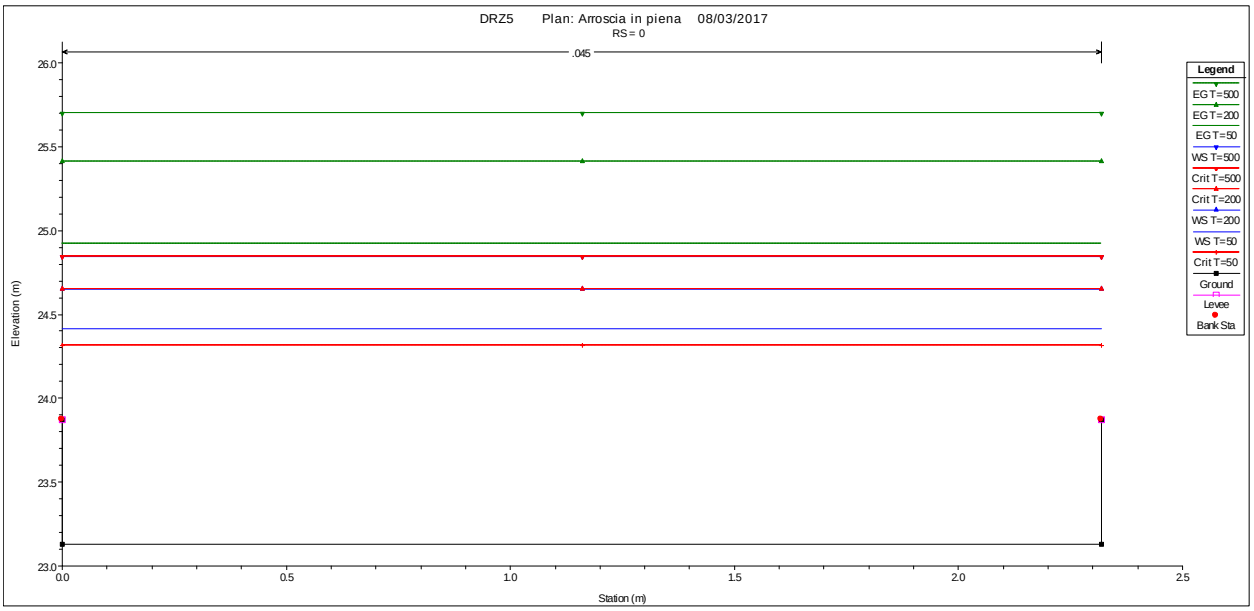
La presenza di strutture in alveo impone l'introduzione di due coppie di sezioni da porre a monte e a valle del manufatto. In particolare, le sezioni immediatamente a monte e a valle devono essere posizionate sufficientemente vicine alle sezioni di ingresso e di uscita in modo da rappresentare l'alveo in adiacenza dell'opera. Le sezioni estreme devono essere posizionate, invece, laddove il flusso non è influenzato dagli effetti dovuti alla contrazione e all'espansione della corrente.

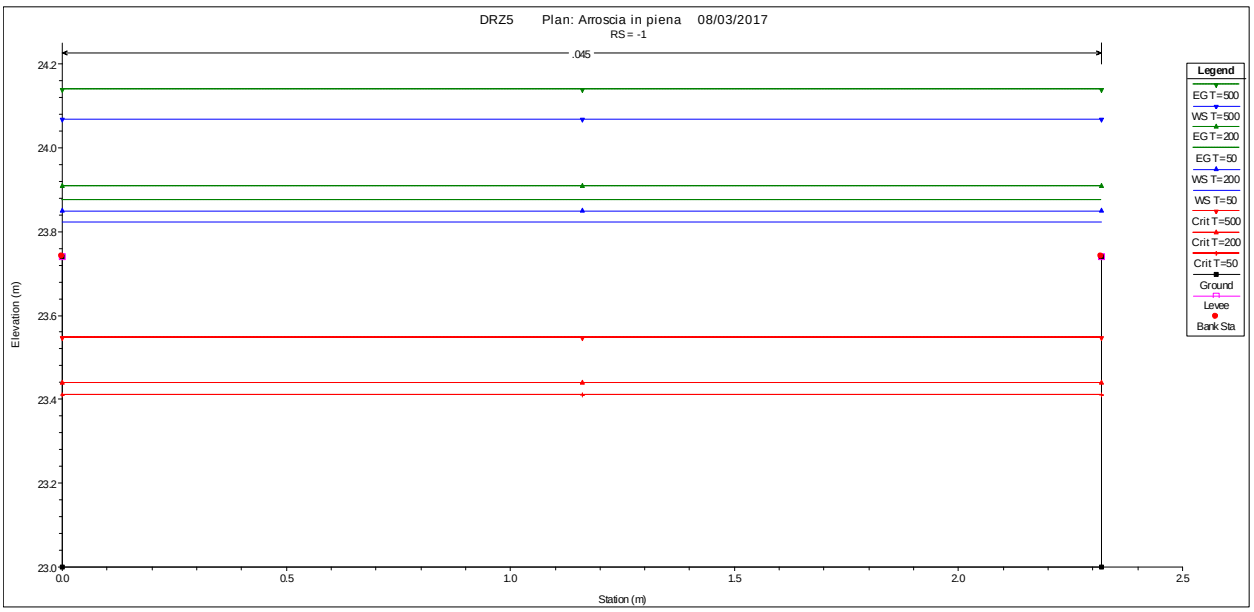
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

ALLEGATI GRAFICI HEC-RAS

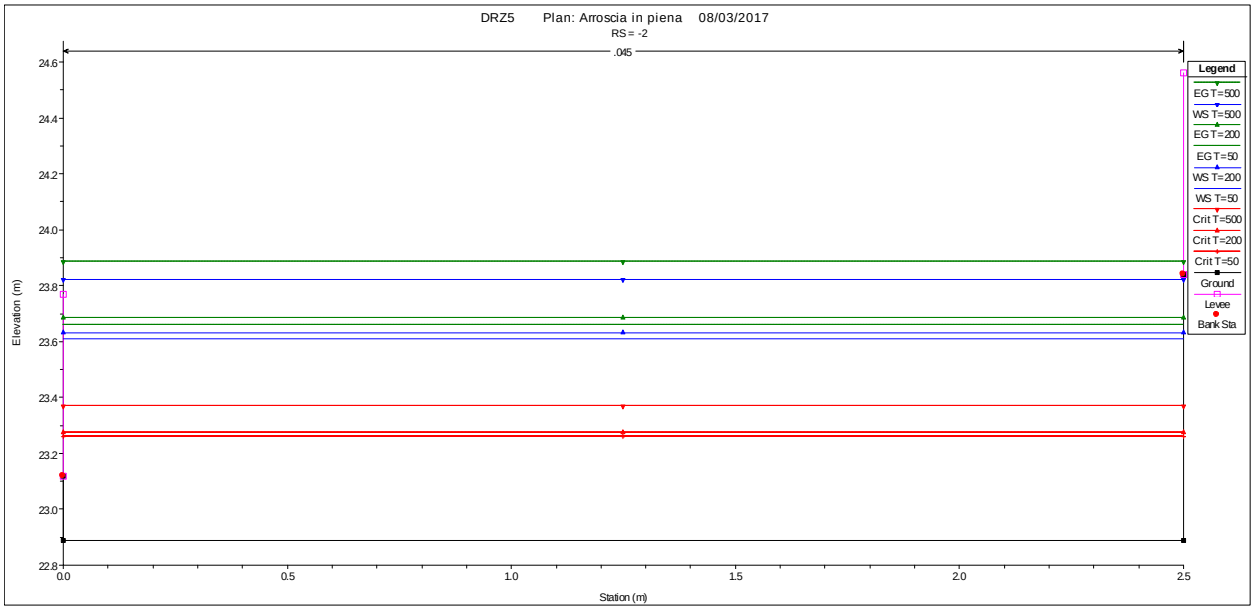
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

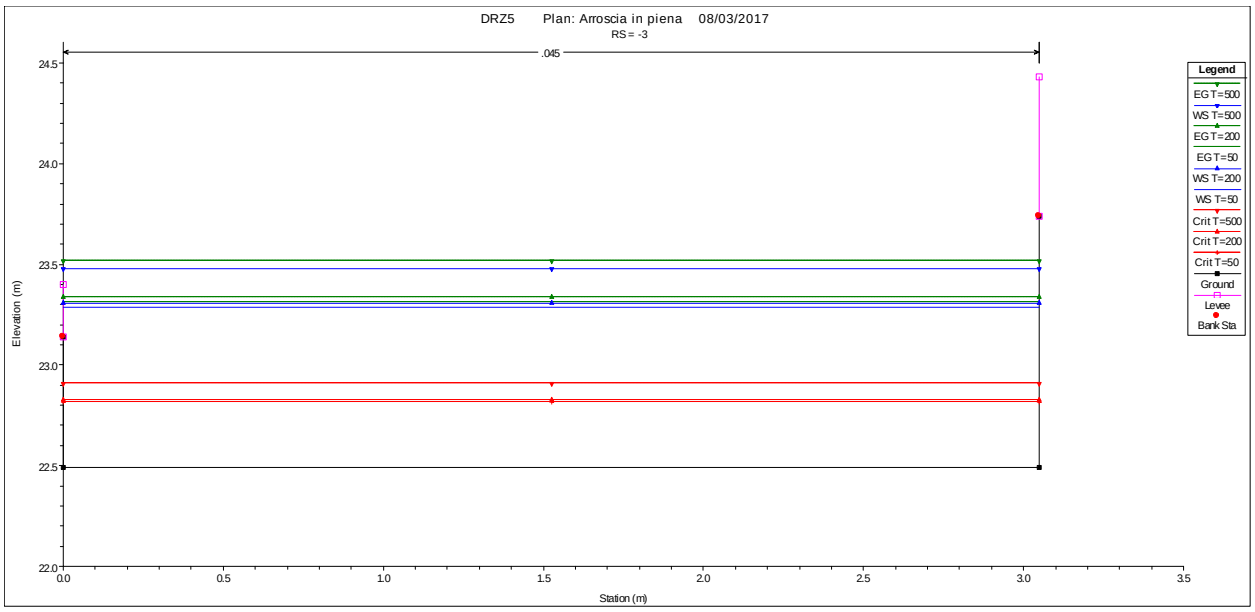


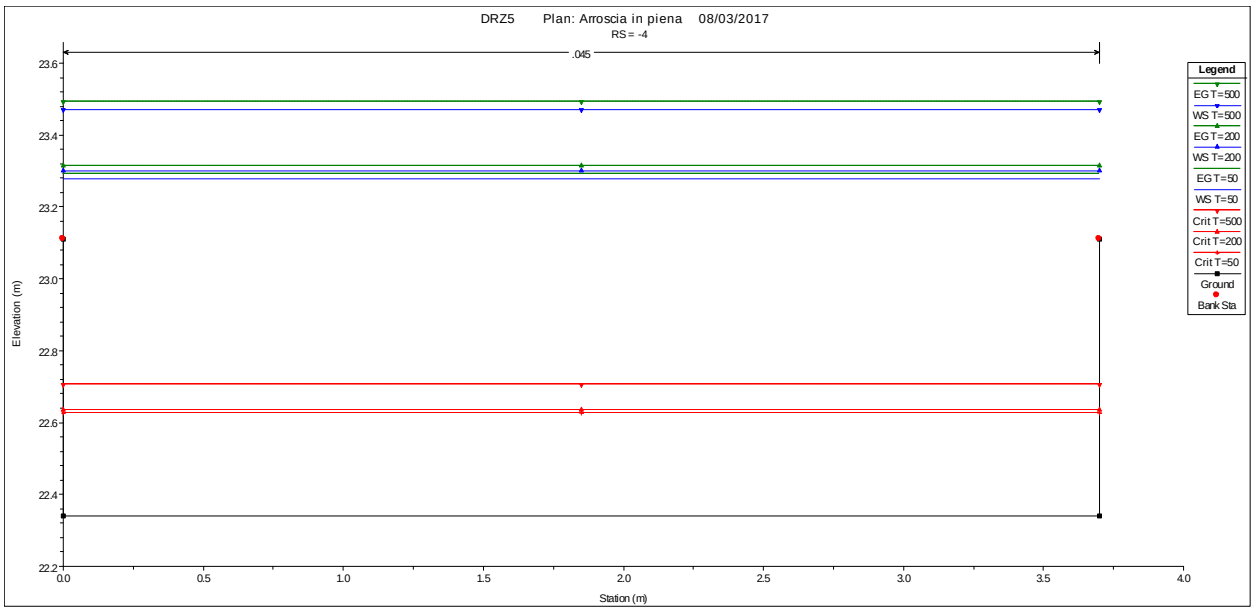




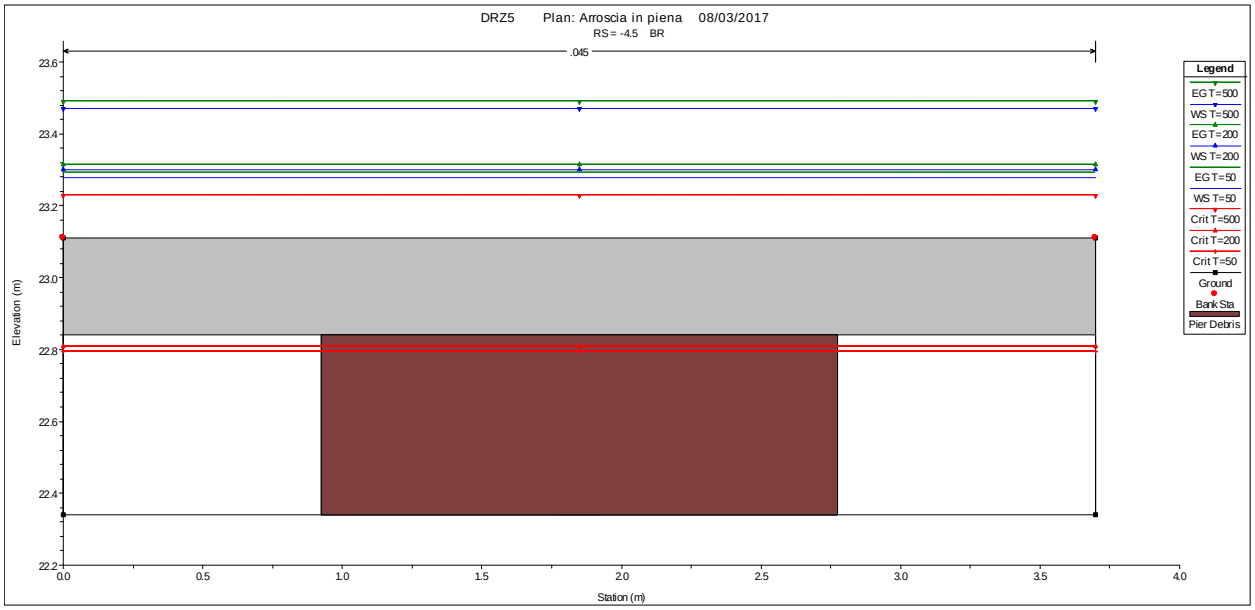
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento
senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

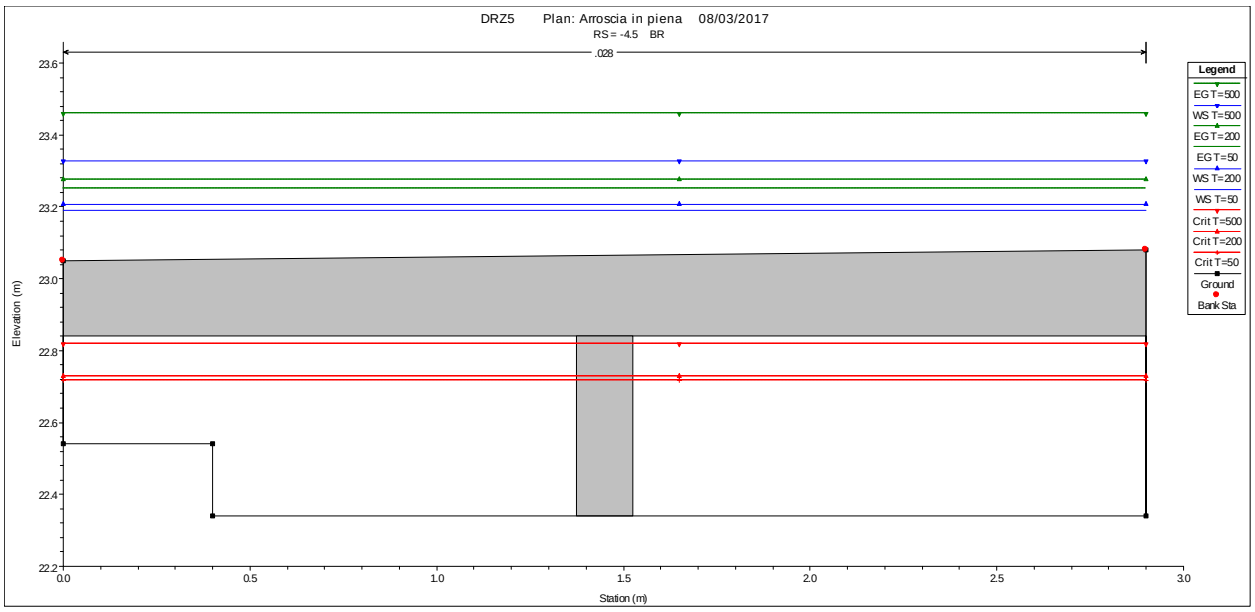


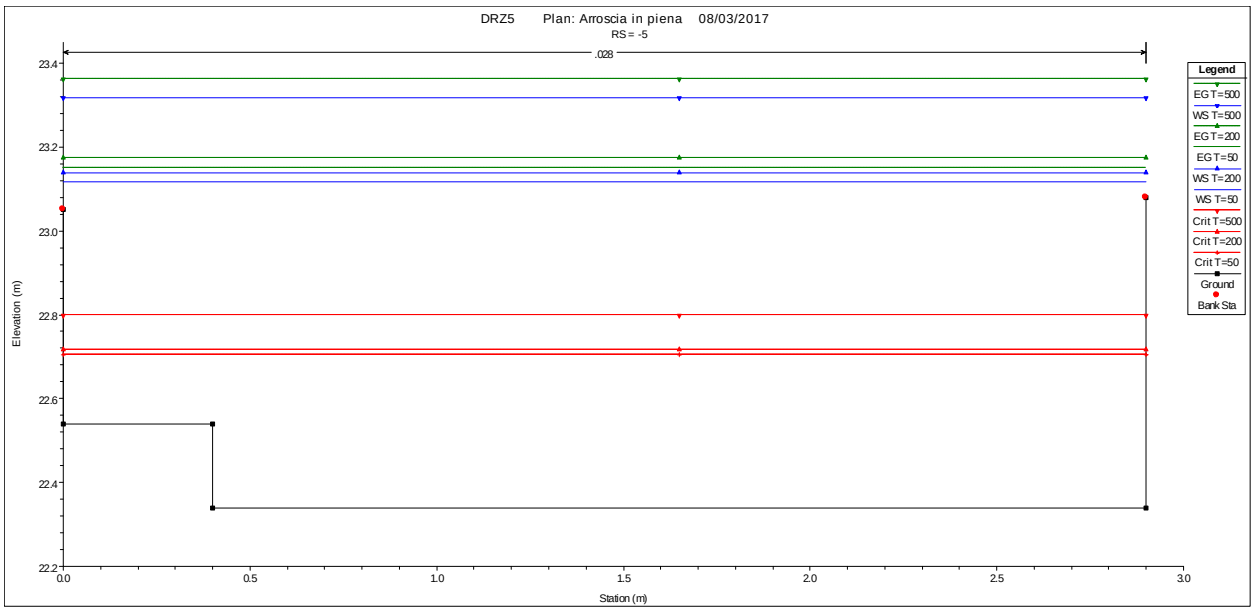




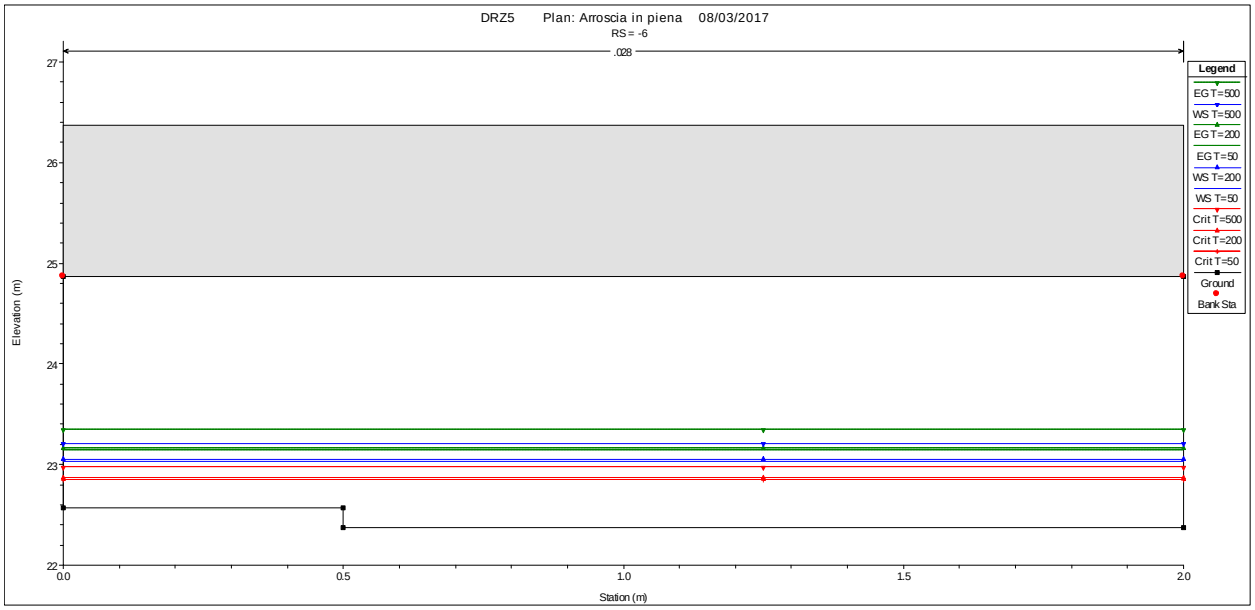
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento
senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

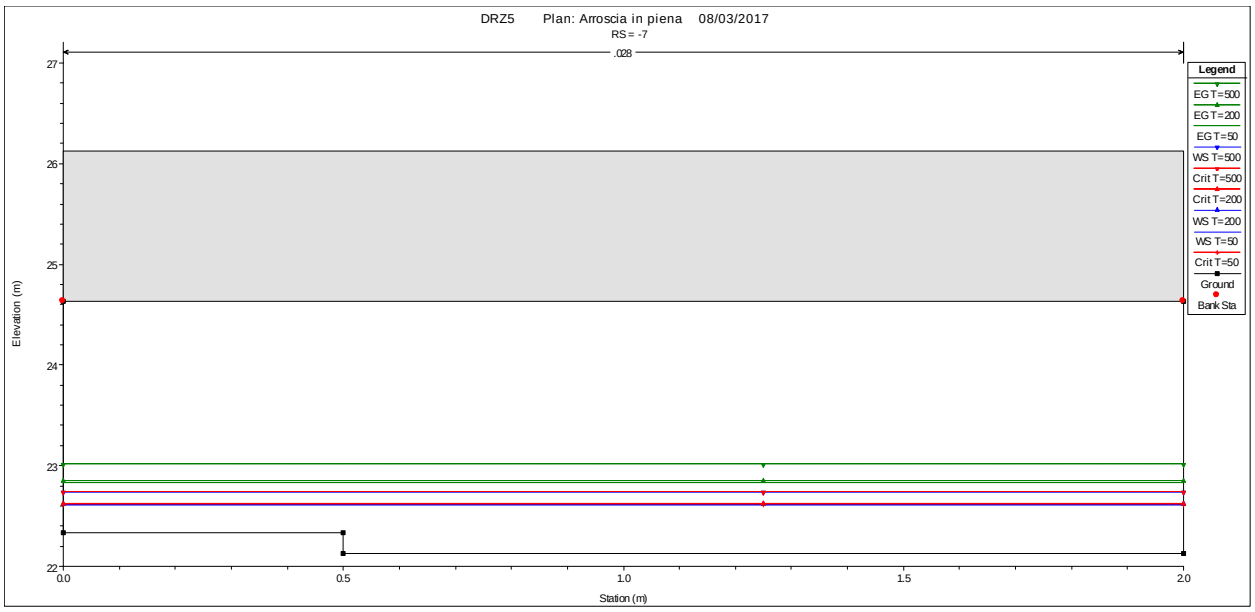


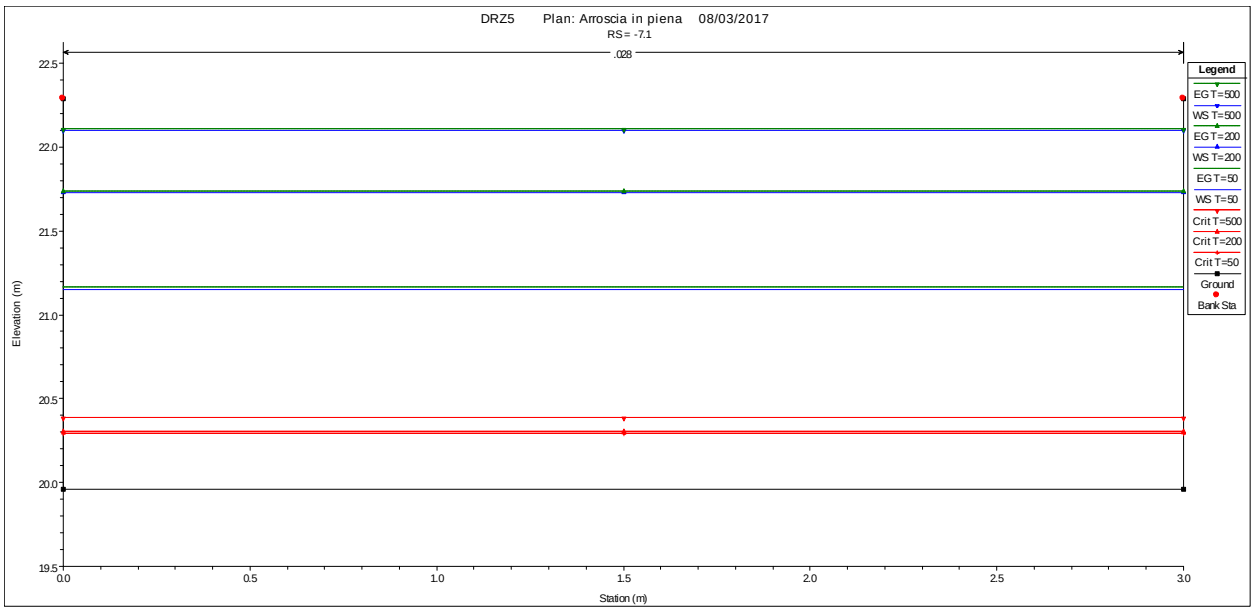




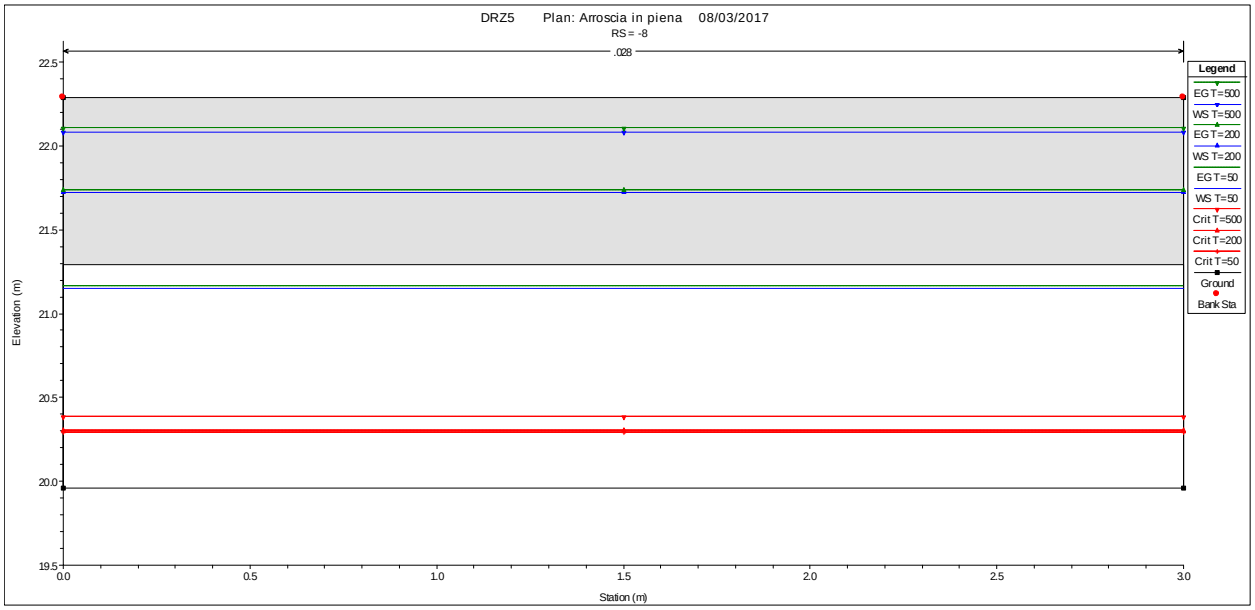
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

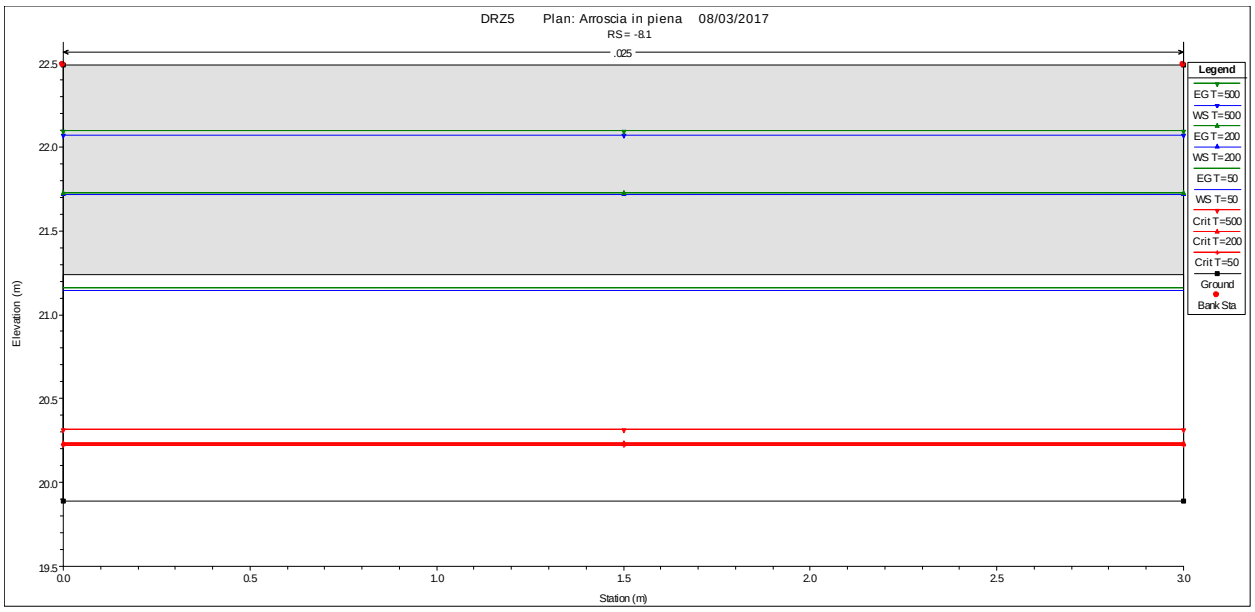


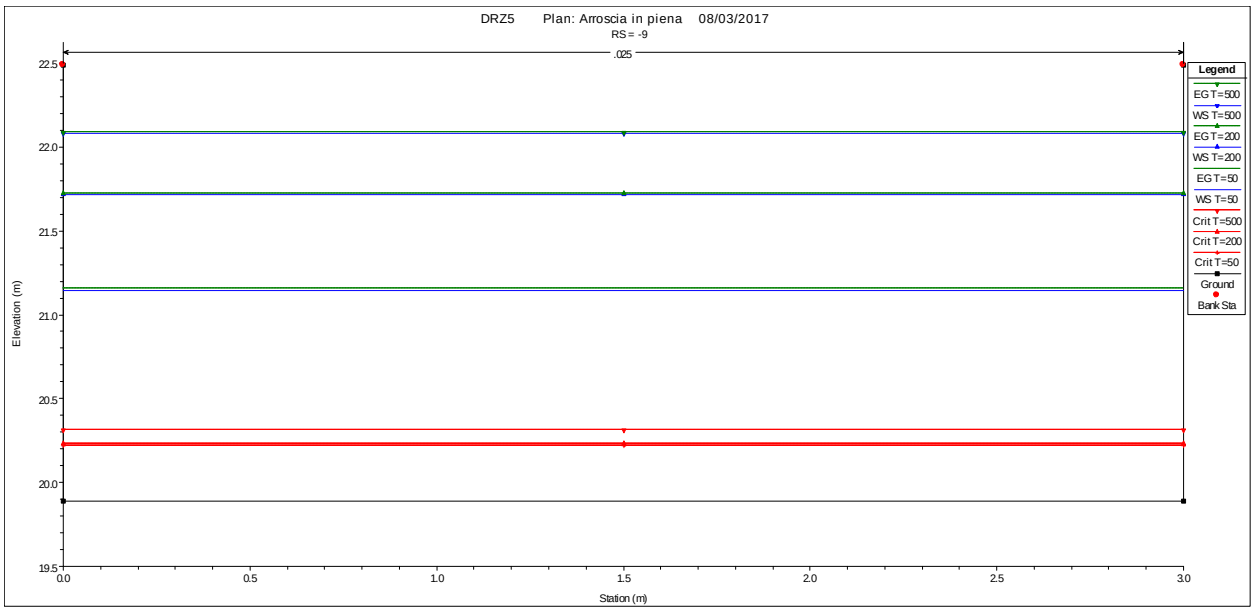




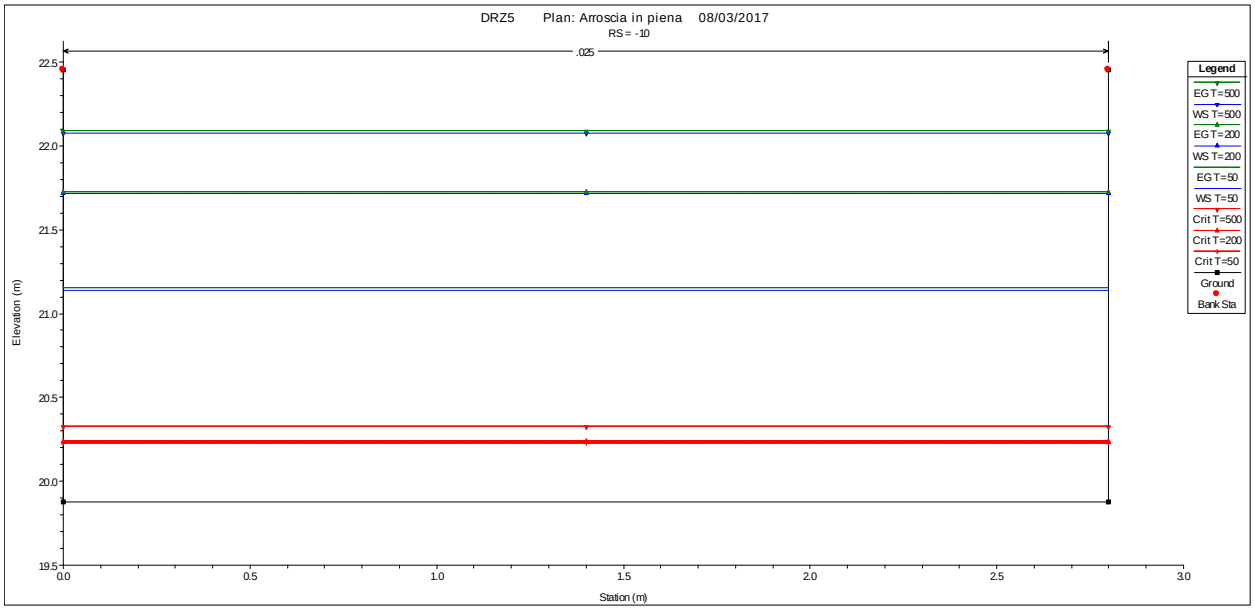
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

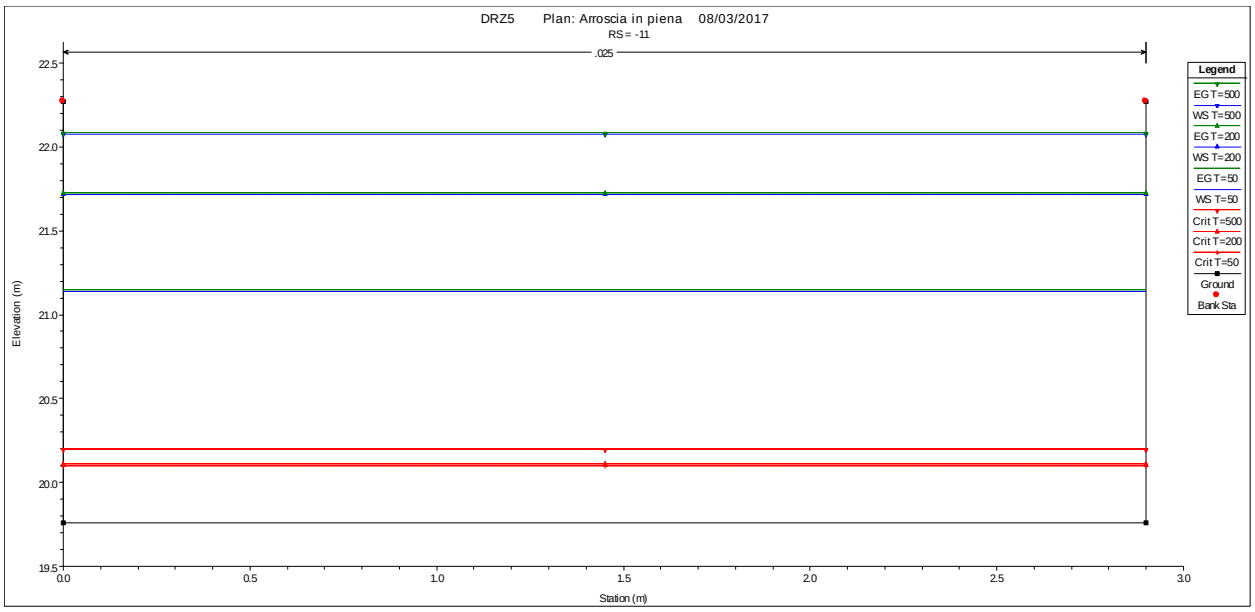


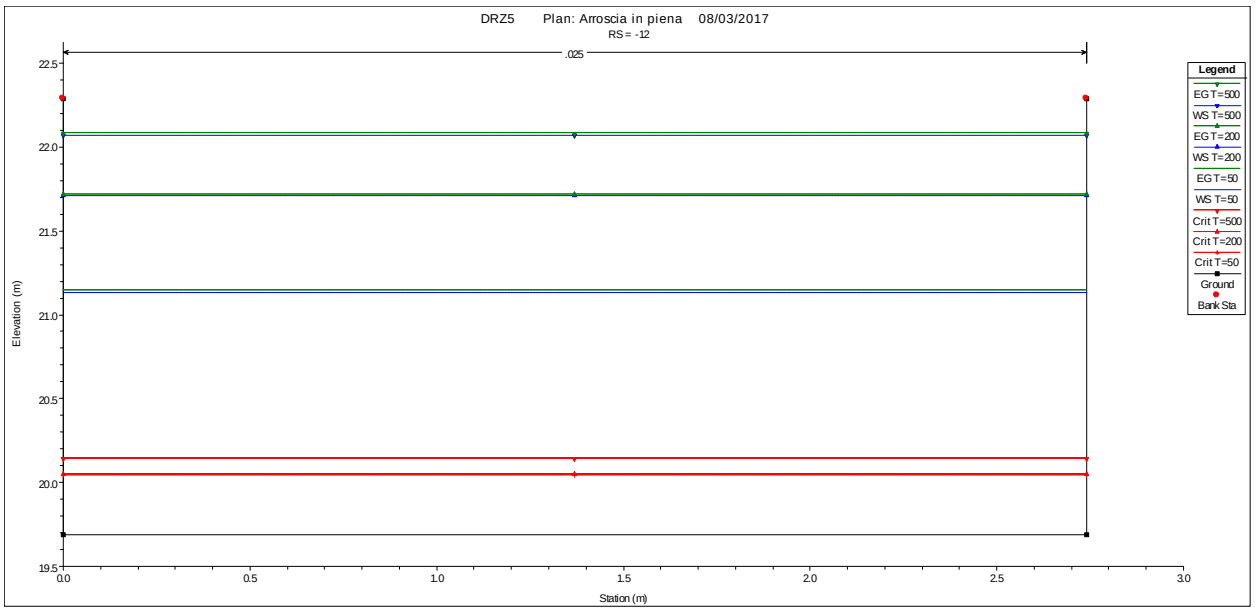




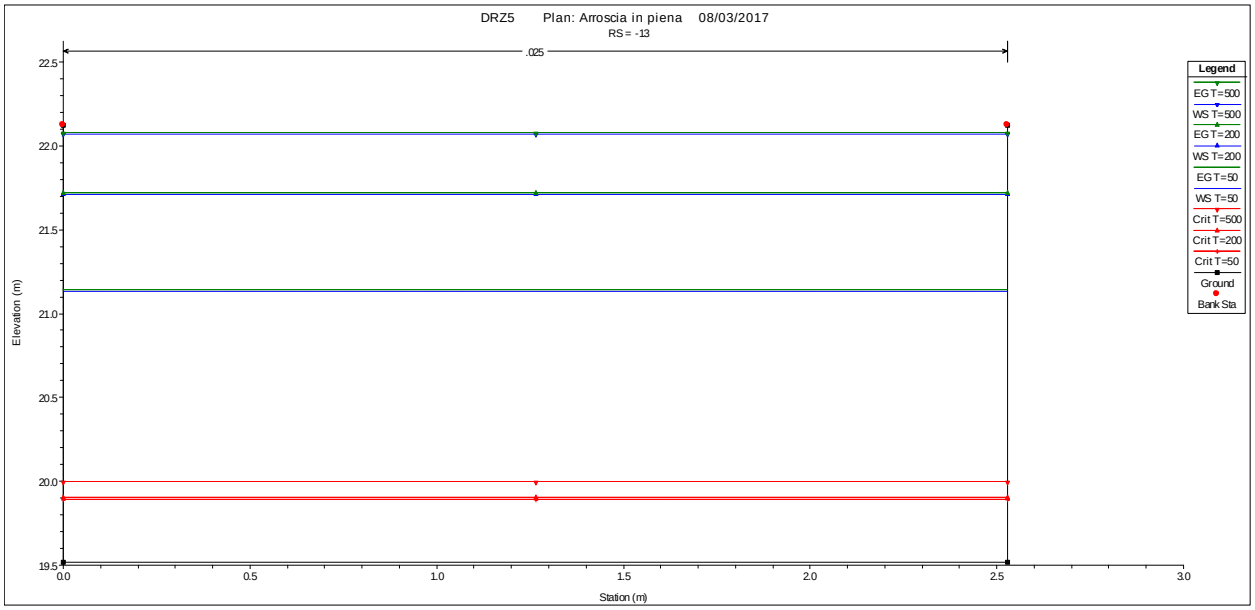
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.

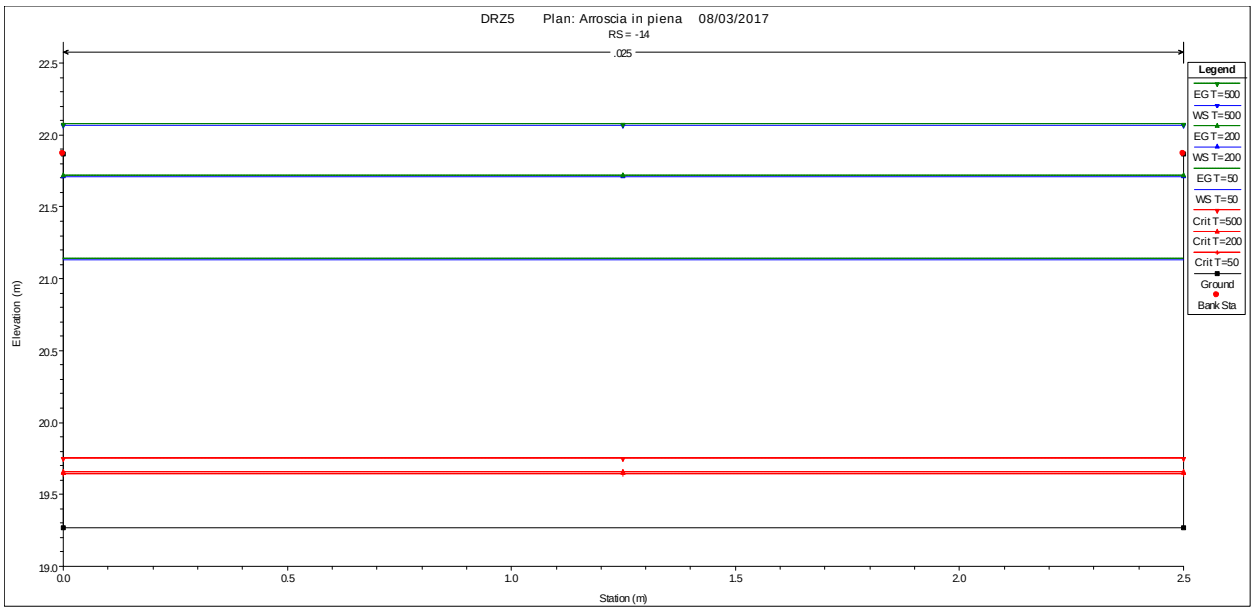




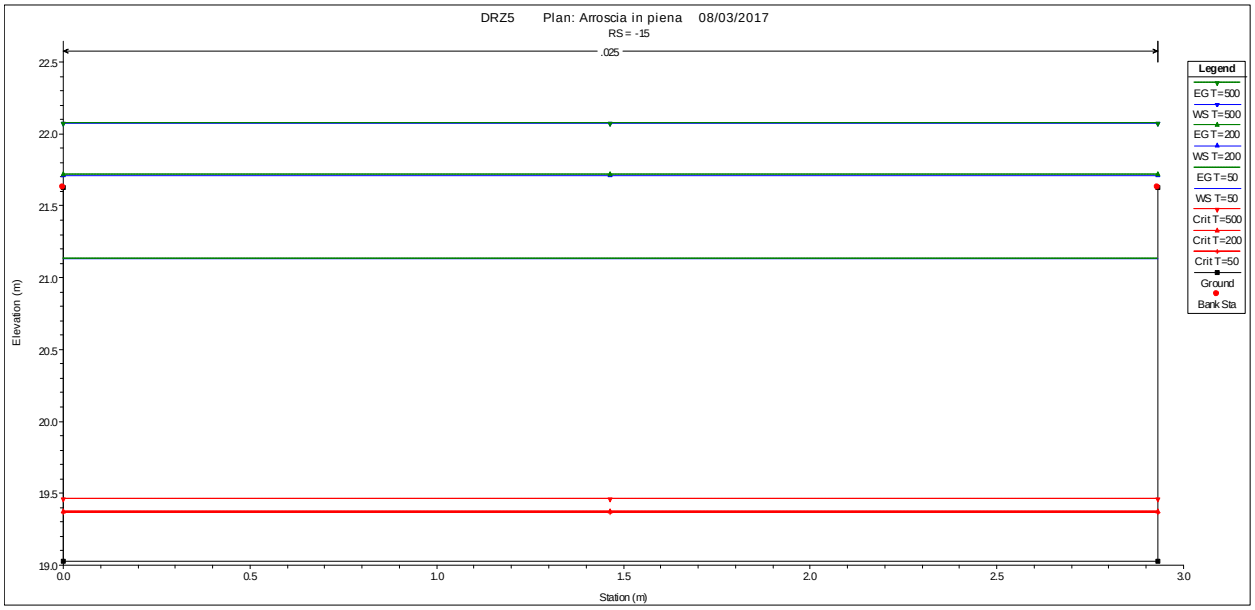


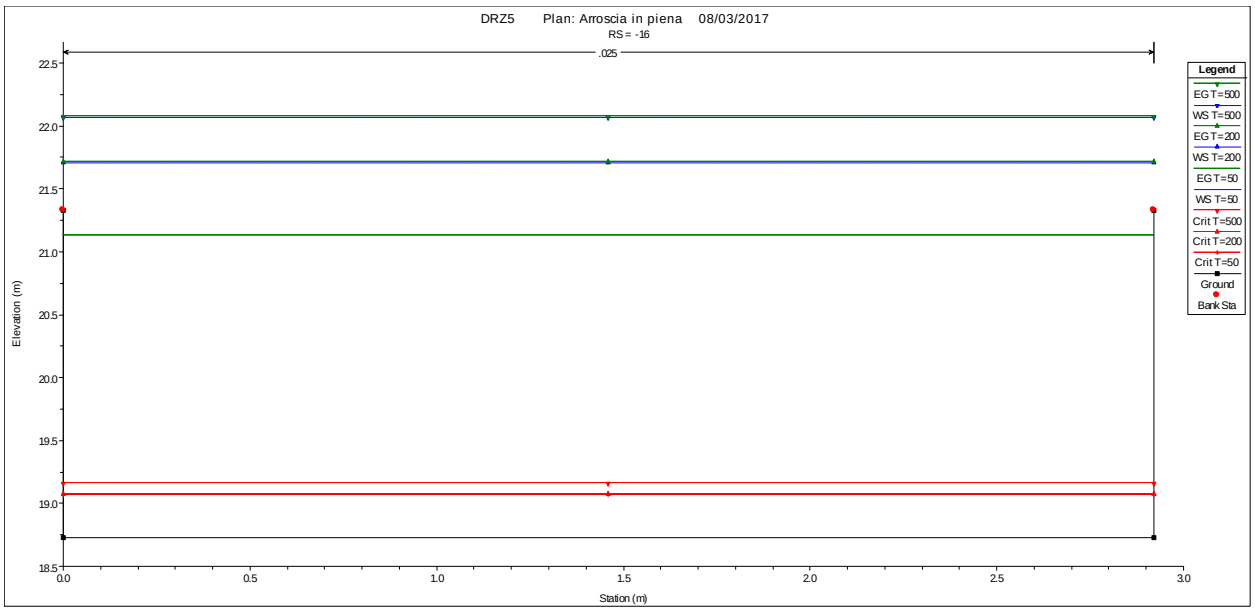
E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.





E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.





E' vietata la copia e la riproduzione del presente documento senza l'esplicita autorizzazione dell'autore.