

Hy.M.Studio

Associazione Professionale
Via Pomba, 23
10123 Torino - Italy
Tel. +39 11 56 13 103
Fax +39 11 55 92 891
e-mail: hym@hymstudio.it
sito web: www.hymstudio.it



COMUNE DI FONTANETTO PO
PROVINCIA DI VERCELLI

REALIZZAZIONE CANALE SCOLMATORE
AD OVEST DI FONTANETTO PO

STUDIO DI FATTIBILITA'
Relazione idrologico-idraulica



CODICE DOCUMENTO

ELABORATO

S	4	7	1	-	0	1	-	0	0	2	0	0	.	D	O	C			2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	---

00	FEB. 14	M.CODO	A.DENINA	M.CODO															
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE														

Certificazione qualità ISO 9001



RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	1
1.1	Valutazione delle caratteristiche dei bacini e determinazione del tempo di corrivazione e del coefficiente di deflusso	1
1.2	Valutazione delle caratteristiche dei bacini e determinazione del tempo di corrivazione e del coefficiente di deflusso	2
1.3	Caratterizzazione pluviometrica	5
1.4	Calcolo delle portate di piena: metodo razionale	7
2.	INTERAZIONI CON LE FASCE FLUVIALI DEL FIUME PO	11
3.	IPOTESI DI BASE DELLA SIMULAZIONE IDRODINAMICA SULLO SCOLMATORE IN RAPPORTO ALLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO DEL FIUME PO	14
4.	EFFETTI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO SUL FIUME PO	15
5.	SCHEMA IDRAULICO DI PROGETTO	17
6.	VERIFICHE IDRAULICHE	19
6.1	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	19
6.2	Rappresentazione idrodinamica delle opere in sifone	25
6.3	Condizioni al contorno	25
6.3.1	Situazione di concomitanza di piena tra scolmatore e fiume Po	25
6.3.2	Situazione di piena TR100 anni sul solo canale scolmatore	26
6.4	Coefficienti di resistenza distribuita	27
6.5	Verifica idraulica situazione di progetto in condizioni di concomitanza temporale di piena	28
6.5.1	Modello di valle (da roggia Camera a roggia Reale)	28
6.5.2	Modello intermedio (da valle sifone FF.SS a monte sifone roggia Camera)	32
6.5.3	Modello di monte (da cavo Guaderoglio a monte sifone FF.SS)	35
6.6	Verifica idraulica situazione di progetto in condizioni di piena sul solo canale scolmatore	39
6.6.1	Modello di valle (da roggia Camera a confluenza in Po)	39

ALLEGATI

ALLEGATO 1 - Il codice di calcolo Hec-Ras

ALLEGATO 2 – Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra le rogge Camera e Reale.

ALLEGATO 3 - Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra la Linea ferroviaria Chivasso Casale M. e la roggia Camera.

ALLEGATO 4 - Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra il cavo Guaderoglio e la Linea ferroviaria Chivasso Casale M.

1. INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Nei paragrafi seguenti viene affrontato lo studio idrologico dei bacini idrografici delle rogge irrigue, attraversanti il territorio comunale di Fontanetto Po, in sinistra idrografica del fiume Po, interessate dagli interventi in progetto, calcolando la portata alla sezione di chiusura del bacino di competenza in corrispondenza dell'intersezione con lo scolmatore in progetto.

L'analisi idrologica è finalizzata all'individuazione dei valori di portata di piena al colmo in funzione dell'assegnato tempo di ritorno progettuale, in modo da definire gli elementi utili alla progettazione.

In considerazione dell'importanza delle opere in progetto per l'assetto idrogeologico del territorio e secondo le indicazioni del PAI, è stato assunto come tempo di ritorno per il calcolo delle portate di progetto **Tr= 100 anni**.

Relativamente alle interazioni dello scolmatore ad ovest di Fontanetto Po con il fiume Po, come indicato dalla Direttiva AdbPo contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "a" e "b", la portata di piena di riferimento da assumere per le valutazioni idrauliche è quella per cui è stata condotta la delimitazione della Fascia B.

Per quanto riguarda le portate di piena ed i relativi livelli del Po è stato assunto pertanto come tempo di ritorno di riferimento **Tr= 200 anni**.

Nel seguito sono descritte le diverse fasi di svolgimento dello studio:

- reperimento della cartografia di base (CTR scala 1:10.000) relativa ai bacini idrologici in esame e tracciamento dei rispettivi limiti di bacino;
- interpretazione della cartografia e ricerca delle caratteristiche morfologiche dei bacini individuati (superficie, altitudini massima, media e minima, lunghezza dell'asta, pendenza media dell'asta e dei versanti);
- analisi probabilistica della piovosità intensa tramite elaborazione dei dati misurati nelle stazioni pluviometrografiche ritenute più significative per l'area in esame e definizione delle curve di possibilità climatica per diversi tempi di ritorno (sulla base della "direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali - anno 2001" redatta dall'Autorità di Bacino del fiume PO);
- determinazione delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno, utilizzando il ben noto metodo razionale.

Nella valutazione delle portate massime probabili, per la mancanza di osservazioni dirette, si è quindi fatto riferimento a schemi di calcolo basati su una determinazione indiretta partendo dalle precipitazioni, attribuendo alle piene sintetiche calcolate con tale criterio lo stesso tempo di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

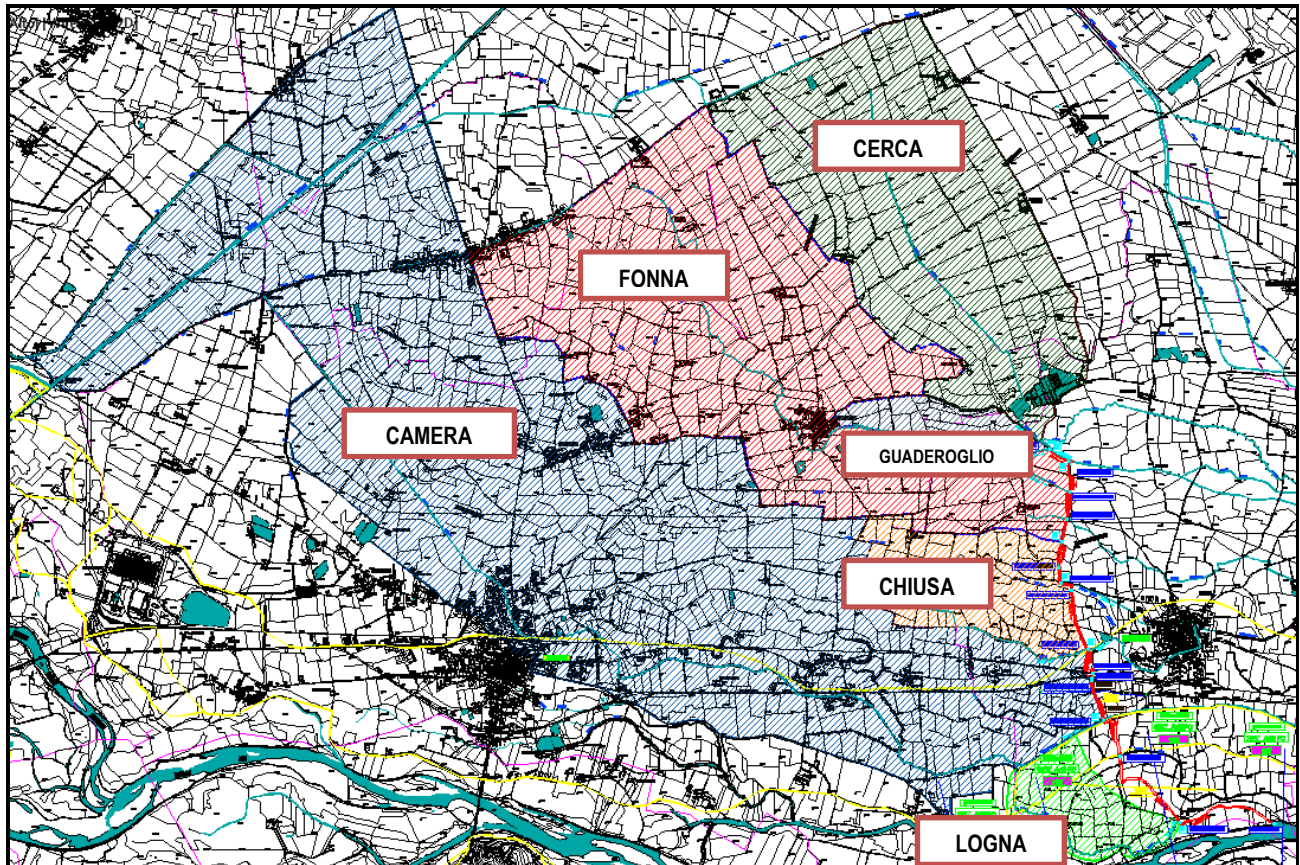
1.1 Valutazione delle caratteristiche dei bacini e determinazione del tempo di corrvazione e del coefficiente di deflusso

Per i bacini idrografici in esame sono state determinate le seguenti caratteristiche geometriche:

- superficie (S) in km²;
- altitudine massima (Hmax) in m s.m.;
- altitudine media (Hm) in m s.m.;
- altitudine della sezione di chiusura (Hsez) in m s.m.;

- lunghezza dell'asta principale, ovvero del punto idrologicamente più distante dalla sezione di chiusura (L) in km;
- pendenza dell'asta principale (i) in % ;
- pendenza dei versanti (y_v) in % .

Si riporta nel seguito la planimetria con la delimitazione dei bacini idrografici.



Una ulteriore grandezza è la velocità media di scorrimento sui versanti $-v$ (m/s)-; essa è stata valutata pari a circa 0,15 m/s, valore derivante dalle tabelle sperimentali pubblicate in letteratura, in relazione al fatto che i bacini presentano pendenze medie dei versanti scarse o quasi nulle (bacini di pianura).

1.2 Valutazione delle caratteristiche dei bacini e determinazione del tempo di corrivazione e del coefficiente di deflusso

Per la definizione della precipitazione critica sui bacini in esame è stato necessario valutare il tempo di corrivazione utilizzando formule sperimentali e definendone i valori di riferimento per il bacino in esame in relazione alla letteratura tecnica sull'argomento e all'esperienza maturata nel campo dell'idrologia dei bacini di pianura.

Le formule adottate per la stima e la verifica del tempo di corrivazione dei bacini in esame sono le seguenti:

- formula di Giandotti;
- formula di Pezzoli;
- formula di Ventura;

- formula di Horton;
- formula di Pasini;
- formula di Kirpich.

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche del bacino definito alla sezione di chiusura prestabilita e individuate già in precedenza.

Vengono di seguito espone le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati; i simboli indicati rappresentano le grandezze precedentemente elencate.

Formula di Giandotti:
$$tc = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{(Hm - Hsez)}}$$

Formula di Pezzoli:
$$tc = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:
$$tc = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Horton:
$$tc = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

Formula di Pasini :
$$tc = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$$

Formula di Kirpich:
$$tc = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left(\frac{1000 \cdot L}{(H_{\max} - H_{\min})} \right)^{0.385}$$

La scelta del valore di tempo di corrivazione più corretto è stata condotta in base ad alcune considerazioni di carattere generale sui campi di applicabilità delle formule utilizzate e sui valori ottenuti.

Dalla letteratura sull'argomento si rileva che la formula di Horton considera bacini di dimensioni anche inferiori ai 10 km² e fa riferimento alla velocità fittizia di avanzamento dell'acqua, secondo tabelle di origine sperimentale in funzione della pendenza; la formula di Pezzoli è stata sviluppata sui dati di bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km², mentre Ventura e Pasini considerano bacini di dimensioni medie anche fino a 40 km².

Giandotti ricavò invece la sua formula lavorando sperimentalmente su bacini di dimensioni superiori ai 100 km². La formula di Kirpich è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini rurali americani molto allungati, anche piuttosto pendenti.

La portata di progetto è inversamente proporzionale al tempo di corrivazione: aumentando il tempo di corrivazione, la portata diminuisce.

Si ritiene opportuno utilizzare, per il calcolo della portata di progetto, il valore del tempo di corrivazione derivante dalla media dei risultati ottenuti, con l'esclusione dei valori ottenuti con i metodi di Pezzoli e Kirpich, poiché ritenuti poco significativi per il caso in esame.

La stima del coefficiente di deflusso “C” è piuttosto complessa e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, peraltro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di “C” in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti l'evento stesso.

E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di “C” cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Normalmente per i bacini di piccole dimensioni si trascura l'effetto di invaso, mentre un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita nella letteratura scientifica.

Per la valutazione del coefficiente di deflusso si è fatto pertanto riferimento a valori di letteratura (vedi tabella seguente cfr: "Applied Hydrology", Ven Te Chow) definiti anche in funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini riscontrate durante i sopralluoghi; è stato adottato il valore **c= 0,50** per un tempo di ritorno pari a 100 anni.

Tale valore tiene conto del fatto che gran parte dei terreni costituenti il bacino idrografico in esame è formata da camere di risaia, che durante alcuni mesi dell'anno sono in una condizione di allagamento con completa imbibizione del terreno sottostante.

Runoff coefficients for use in the rational method

Character of surface	Return Period (years)						
	2	5	10	25	50	100	500
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
<i>Poor condition (grass cover less than 50% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep, over 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
<i>Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
<i>Good condition (grass cover larger than 75% of the area)</i>							
Flat, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep, over 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep, over 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							
Flat, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Forest/Woodlands							
Flat, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Average, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Steep, over 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

1.3 Caratterizzazione pluviometrica

Per la determinazione degli afflussi meteorici si fa riferimento alle “curve di massima probabilità pluviometrica” che, per un assegnato tempo di ritorno dell'evento (TR), forniscono l'altezza di pioggia (h in mm) in funzione della durata dell'evento di pioggia (t in ore).

Le suddette curve vengono espresse nella forma:

$$h = a \cdot t^n$$

dove:

h (mm) altezza della pioggia

t (ore) tempo di pioggia

a (mm) massima precipitazione di durata 1 ora (funzione di TR)

n (-) esponente funzione di TR

con opportuna scelta dei parametri a ed n, che può essere rappresentata in un diagramma in scala logaritmica, di ascissa log t ed ordinata log h, a mezzo di una retta.

Da questa, si può ottenere la linea delle massime intensità probabili di pioggia:

$$i = h/t = a \cdot t^{(n-1)}$$

I parametri a ed n vengono determinati sulla base di quanto riportato nel documento “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali - anno 2001”, redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

I dati sono relativi alle stazioni pluviometrografiche ritenute più significative per l'area in esame, localizzate nell'ambito del comprensorio o a poca distanza dal suo perimetro. Tale significatività riguarda principalmente il tipo di dato registrato, la localizzazione geografica (cioè la vicinanza alle aree in esame), la lunghezza della serie storica dei dati a disposizione (al fine di poter condurre correttamente elaborazioni statistiche).

Si è quindi fatto riferimento alle elaborazioni disponibili per le seguenti stazioni:

Stazione di misura		T = 20 anni		T = 100 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
Cod.	Denominazione	a	n	a	n	a	n	a	n
1233	VERCELLI (Staz. Ris.)	49.46	0.255	63.52	0.248	69.52	0.246	77.42	0.243
1317	Strambino	51.84	0.277	67.22	0.270	73.78	0.267	82.45	0.265
1319	Mazze' C.Le	46.85	0.243	58.29	0.242	63.17	0.242	69.67	0.241

Nella tabella seguente sono riportate le relative curve di possibilità climatica per il tempo di ritorno utile per la definizione degli interventi (100 anni):

	Tr 100 anni
VERCELLI	$h = 63,52 \cdot t^{0,248}$
STRAMBINO	$h = 67,22 \cdot t^{0,270}$
MAZZE'	$h = 58,29 \cdot t^{0,242}$

Come si evince dallo stralcio cartografico seguente, Fontanetto Po si trova in una posizione intermedia rispetto all'ubicazione delle stazioni pluviometriche considerate.



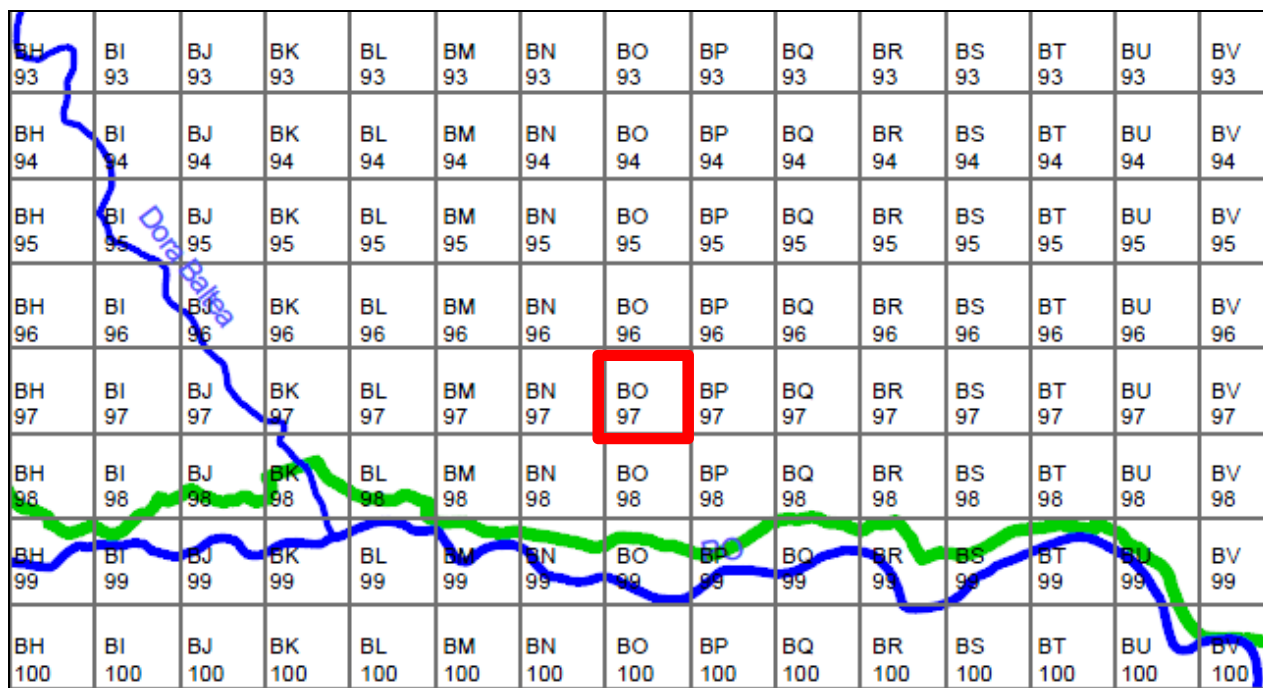
Si procede pertanto al perfezionamento dei dati di input della curva pluviometrica secondo quanto indicato nelle *Norme di attuazione della Direttiva Sulla Piena Di Progetto* da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica contenute nel **Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti** (Legge 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6ter Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001).

Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense

Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette AdBPo ha condotto un'interpolazione spaziale con il metodo di kriging dei parametri a e n delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato.

Gli elaborati prodotti consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione secondo le coordinate geografiche.

I valori indicati costituiscono il riferimento assunto per la presente progettazione.



Secondo quanto indicato dall'immagine precedente riportante il reticolo di suddivisione geografica delle precipitazioni intense, i bacini idrografici oggetto di studio sono rappresentati nella casella BO97; si riportano a seguire i relativi parametri di pioggia per diversi tempi di ritorno.

Cella	Coordinate Est UTM cella di calcolo	Coordinate Nord UTM cella di calcolo	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
BO97	433000,00000	5007000,00000	49,80	0,251	64,74	0,243	71,13	0,241	79,56	0,238

Nella tabella seguente è riportata la curva di possibilità climatica per il tempo di ritorno 100 anni, che viene assunta a base della progettazione:

	Tr 100 anni
BO97 – Fontanetto Po	$h = 64,74 \cdot t^{0,243}$

1.4 Calcolo delle portate di piena: metodo razionale

Utilizzando le altezze di precipitazione precedentemente definite ed i valori stimati dei tempi di corrivazione, sono state valutate, in funzione dei tempi di ritorno assegnati, le portate di piena ed i relativi contributi specifici per ciascun bacino.

Il metodo razionale di correlazione afflussi-deflussi, per il calcolo della portata di piena, utilizza la formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km²);

- c = coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni derivanti dall'analisi fisiografica condotta sul bacino e dalle indicazioni di letteratura;
h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);
tc = valore del tempo di corrivazione del bacino assunto (ore).

I risultati ottenuti sono riportati nel seguito: assegnate le caratteristiche dei bacini, il valore stimato del coefficiente di deflusso, il calcolo del tempo di corrivazione e della rispettiva altezza di precipitazione, è riportato il calcolo dei valori delle portate di piena per i tempi di ritorno progettuali e dei relativi contributi specifici del bacino (q) o riferiti ad una superficie pari a 100 km² (q₁₀₀), calcolati mediante le seguenti espressioni:

$$q = Q/S \quad (m^3/s \text{ km}^2)$$

$$q_{100} = q / (100/S)^n \quad (m^3/s \text{ km}^2)$$

dove:

Q = portata al colmo (m³/s);

S = superficie del bacino (km²);

n = esponente che vale:

2/3 per S maggiore di 10 km²;

1/2 per S compreso tra 5 e 10 km²;

1/3 per S minore di 5 km².

L'analisi idrologica condotta ha permesso di valutare le precipitazioni di assegnato tempo di ritorno (Tr= 100 anni), utilizzando le indicazioni della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali - anno 2001", a cura dell' Autorità di Bacino del fiume Po.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di piena, relativi alle diverse rogge interferenti con lo scolmatore in progetto, calcolati con il metodo razionale.

CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA								
con curva di possibilità climatica: <u>Coord. EST UTM cella di calcolo 433000</u>								
Coord. <u>NORD UTM cella di calcolo 500700</u>								
$h = a \cdot t^n$		Tr= 100 anni						
a=	64,74							
n=	0,243							
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
FONNA	12,070	165	155	144	6,950	0,30	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	9,38	6,95	8,03	12,87	2,76	8,60		9,720
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,50	9,720	112,5	19,40	1,61	0,39		
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
CERCA	8,400	163	154	144	4,288	0,44	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	7,31	3,54	5,53	7,94	1,64	5,36		6,535
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,50	6,535	102,2	18,24	2,17	0,63		
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
CAMERA	27,740	178	160	142	11,816	0,30	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	11,43	11,77	12,12	21,88	4,13	13,49		14,730
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,50	14,730	124,5	32,56	1,17	0,50		

CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA								
con curva di possibilità climatica: Coord. EST UTM cella di calcolo 433000								
h = a • t ⁿ			Coord. NORD UTM cella di calcolo 500700					
a=	64,74	Tr= 100 anni						
n=	0,243							
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
GUADEROGLIO	0,785	152	148	144	2,114	0,38	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	4,20	1,89	1,83	3,91	1,01	2,08		3,005
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,50	3,005	84,6	3,07	3,91	0,78		
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
CHIUSA	2,330	150	147	143	2,576	0,27	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	6,66	2,72	3,72	4,77	1,34	3,77		4,729
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,50	4,729	94,4	6,46	2,77	0,79		
CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE								
BACINO	S	Hmax	Hm	Hsez	L	i asta	y vers	v
	(km²)	(ms.m.)	(ms.m.)	(ms.m.)	(km)	(%)	(%)	(m/s)
LOGNA	1,180	143	139	135	2,713	0,29	0,10	0,15
TEMPI DI CORRIVAZIONE								
	GIANDOTTI	PEZZOLI	VENTURA	HORTON	KIRPICH	PASINI		
	tc	tc	tc	tc	tc	tc		tc medio
	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)	(ore)		
	5,26	2,75	2,54	5,02	1,35	2,93		3,939
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI								
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100		
	c		(Tr=20)	(Tr=20)				
		(ore)	(mm)	(m³/s)	(m³/s/km²)	(m³/s/km²)		
	0,40	3,939	90,3	3,01	2,55	0,58		

Di conseguenza si assumono come portata di massima piena, per le diverse rogge, i valori riportati nella tabella seguente:

	BACINO (kmq)	Qmax (mc/s) Tr 100 anni
FONNA	12,07	19,40
CERCA	8,40	18,24
CAMERA	27,74	32,56
GUADEROGLIO	0,79	3,07
CHIUSA	2,33	6,46
LOGNA	1,18	3,01

2. INTERAZIONI CON LE FASCE FLUVIALI DEL FIUME PO

Al fine di una corretta pianificazione e conseguente progettazione delle opere in oggetto, considerato che il canale scolmatore ha come ricettore finale il fiume Po, è necessario valutare le interazioni con le fasce fluviali.

Il Piano stralcio delle Fasce Fluviali sui corsi d'acqua principali del bacino idrografico del fiume Po – PSFF - è lo strumento per la delimitazione della regione fluviale, funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli e direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (a fini insediativi, agricoli e industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali e ambientali.

Il Piano stralcio delle Fasce Fluviali è principalmente un piano di misure non strutturali, atte a perseguire obiettivi di difesa del rischio idraulico, di mantenimento e recupero dell'ambiente fluviale, di conservazione dei valori paesaggistici, storici, artistici e culturali all'interno delle regioni fluviali; esso contiene la definizione e la delimitazione cartografica delle fasce fluviali dei corsi d'acqua principali del bacino del PO.

L'alveo fluviale e la parte di territorio limitrofo, costituente nel complesso la regione fluviale, sono oggetto della seguente articolazione in fasce:

- **Fascia di deflusso della piena (Fascia A)**, costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;

Si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:

- fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0,4 m/s (criterio prevalente nei corsi d'acqua mono o pluricursali);

- limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);

- **Fascia di esondazione (Fascia B)**, esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo.

Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

Si assume come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

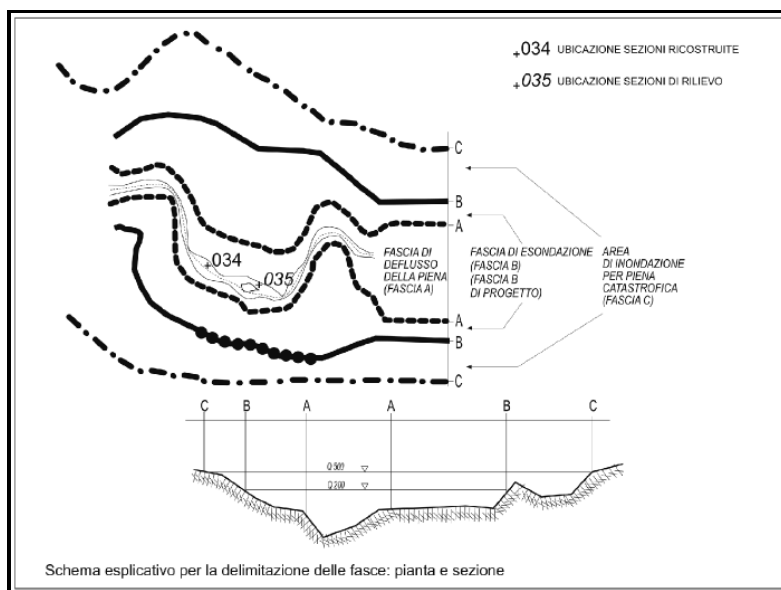
La delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:

- le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;

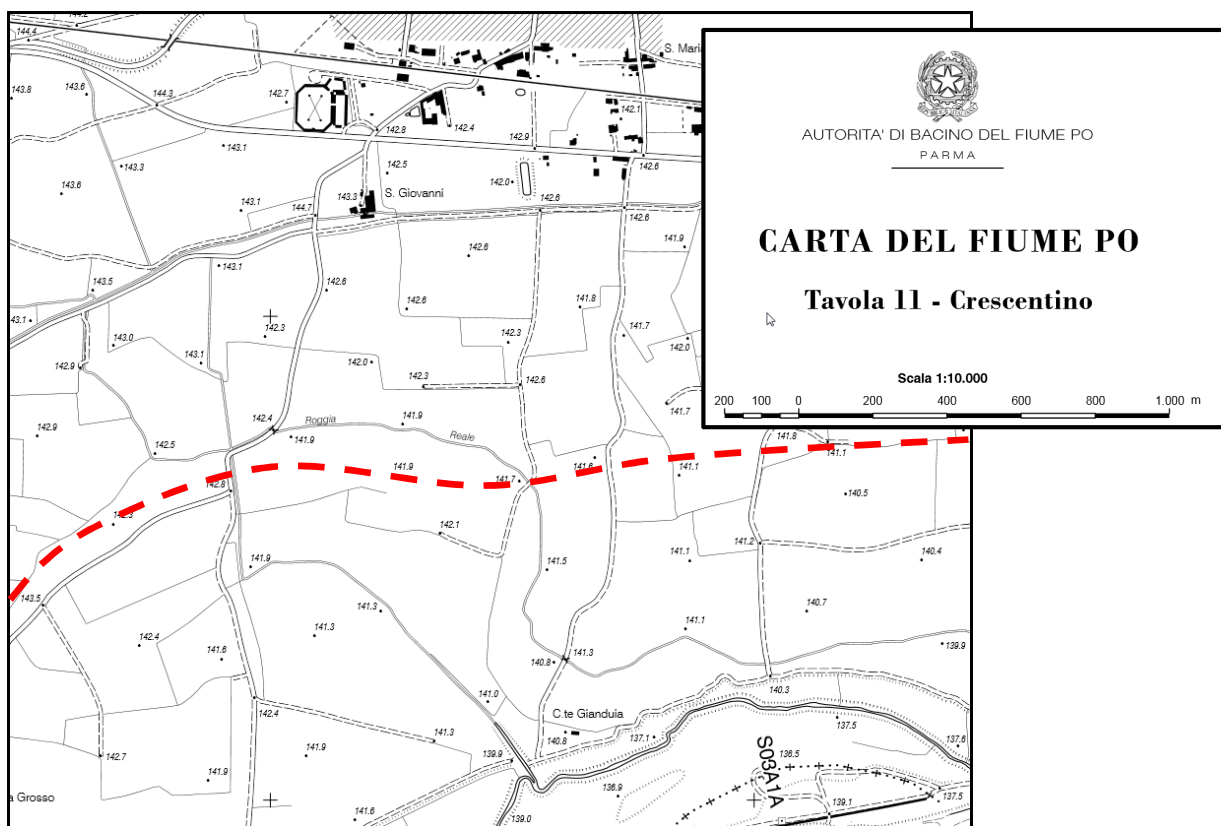
- le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.

- altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini,
- altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

Lo schema esplicativo seguente rappresenta la materializzazione delle fasce fluviali su una sezione tipo di territorio:



La “Carta del fiume Po” messa a disposizione da AdBPo, integrata dai rilievi appositamente eseguiti per la presente progettazione, evidenzia come la quota idrometrica di riferimento, in corrispondenza della Roggia Cavone, pari a 141,30 m s.m. (si vedano paragrafi successivi), oggetto di ricalibratura e trasformazione in canale scolmatore, conduca ad un’esondatazione diretta, per Tr 200 anni, che lambisce la Roggia Reale, senza raggiungere la Roggia Camera.



IPOTESI DI BASE DELLA SIMULAZIONE IDRODINAMICA SULLO SCOLMATORE IN RAPPORTO ALLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO DEL FIUME PO

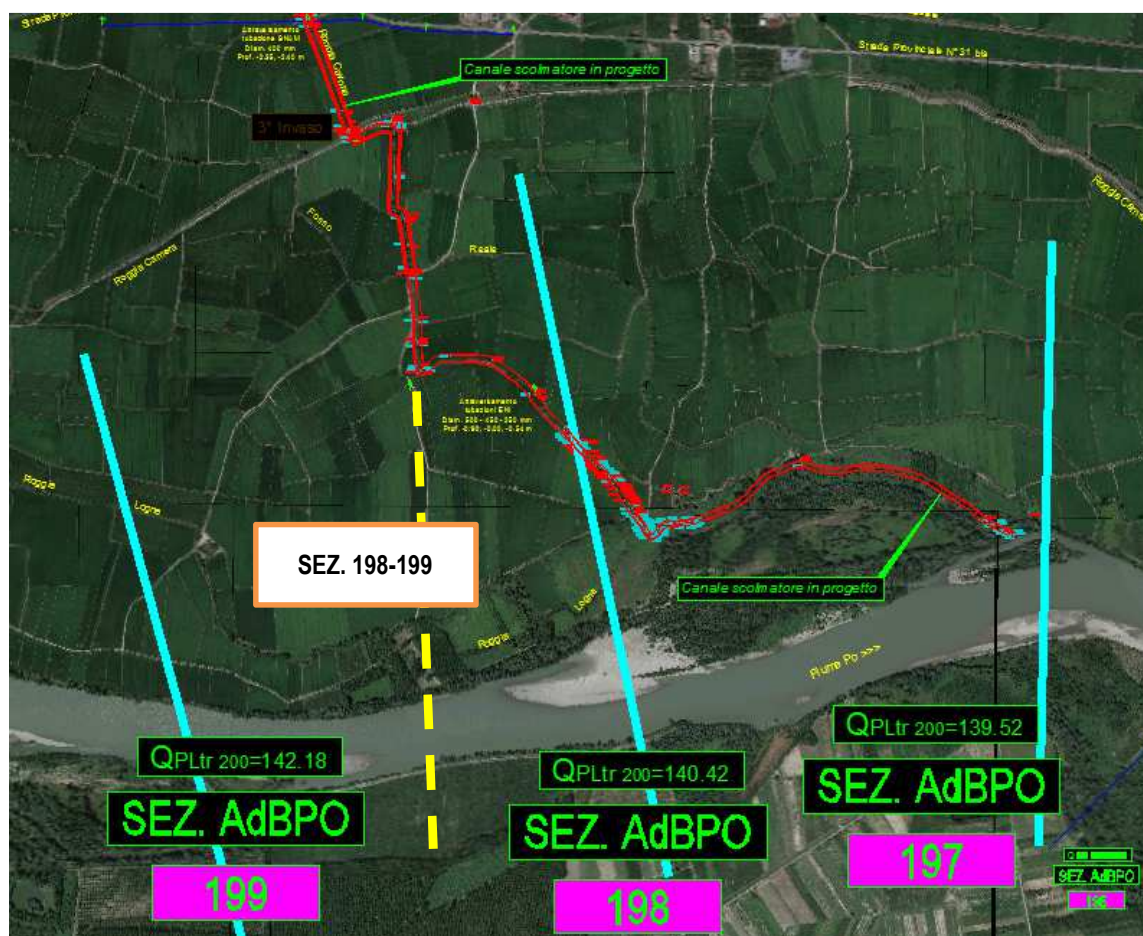
Per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) e del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), l'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPo) fornisce i profili di piena relativi alla portata di riferimento utilizzata per la delimitazione delle Fasce A e B di ciascun corso d'acqua.

Tale portata corrisponde alla *portata di progetto del corso d'acqua*, definita come il valore per cui è dimensionato il sistema di opere strutturali di difesa. In assenza di tale sistema, corrisponde al valore massimo per il quale l'estensione delle aree inondate è compatibile con l'assetto insediativo e infrastrutturale del territorio.

I profili sono pertanto relativi a condizioni di deflusso della piena nel corso d'acqua che corrispondono all'assetto di progetto dello stesso, quale individuato dalla definizione planimetrica delle Fasce A e B ad esso relative e dal corrispondente modello geometrico e idraulico dell'alveo.

I profili sono riferiti a una descrizione geometrica e idraulica dell'intera asta fluviale, finalizzata a rappresentare le caratteristiche di insieme delle condizioni di deflusso. Scostamenti locali del profilo di piena rispetto a quello rappresentato, dipendenti da una descrizione più accurata della geometria dell'alveo in corrispondenza di singolarità e dalla configurazione definitiva dello stesso a seguito della realizzazione delle opere di difesa in progetto sono possibili, a condizione che non risultino modificate le caratteristiche generali del regime idraulico di piena.

Con riferimento all'immagine successiva, in cui sono indicate le sezioni AdBPo lungo l'asta fluviale,



nelle tabelle seguenti sono riportate le portate di piena di riferimento del Po per vari tempi di ritorno:

Tabella 2: portate di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km ²	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro Denominazione
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.						
Alto Po	Po	29.700	325	Gambasca	214	370	540	650	760	
Alto Po	Po	53.787	311	Villafranca	670	900	1100	1300	1460	
Alto Po	Po	72.000	300	Piemonte	3500	1550	2100	2320	2630	
Alto Po	Po	90.100	287	Lombriasco	3820	1600	2150	2400	2720	
Alto Po	Po	98.051	281	La Loggia	4885	1730	2350	2600	2950	Po a Moncalieri
Alto Po	Po	118.464	255	Moncalieri	7408	2600	3600	4000	4600	Po a San Mauro
Alto Po	Po	132.692	234	San Mauro	8960	3200	4400	4800	5500	
Alto Po	Po	150.500	208	Chivasso	13640	4200	5600	6100	6900	Po a Palazzolo
Alto Po	Po	181.127	163	Palazzolo	13940	4200	5600	6100	6900	Po a Casale Monferrato
Alto Po	Po	198.690	136	Vercellese	16780	5300	7000	7500	8400	
Alto Po	Po	204.761	125	Casale	17030	5400	7100	7600	8500	
Alto Po	Po	223.273	97	Monferrato	25320	7000	9500	10300	11600	
				Breme						
				Valenza						
				Isola						
				Sant'Antonio						

ed i profili di piena per il fiume Po, corpo recettore naturale dello scolmatore di Fontanetto Po in progetto:

Tabella 32 profilo di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro)

Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni		Sez.	Progr. (km)	T = 200 anni	
		Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m ³ /s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m ³ /s)			Quota idrometrica (m s.m.)	Q (m ³ /s)
277	103.267	220.09		200	156.237	143.77		123	205.866	91.86	
276	104.845	219.41		199	157.424	142.18		122	206.418	90.58	
275	105.590	218.90		198	158.612	140.42	6100	121	207.170	89.59	
274	106.290	218.49		197	159.800	139.52		120	207.707	89.09	
273	106.990	217.74		196	160.394	139.03		119	208.244	88.88	

La sezione di interesse, ai fini della verifica idraulica e del dimensionamento del canale scolmatore nella condizione più critica di contemporaneità con il picco di piena duecentennale del Po è la sezione 198-199, equidistante dalle sezioni 198 e 199.

Per interpolazione lineare tra le due sezioni ufficiali, si può determinare la quota idrometrica di piena Tr 200 anni:

$$(140,42+142,18)/2 = 141,30 \text{ m s.m.}$$

Tale quota rappresenta la condizione al contorno imposta nella simulazione idraulica per rappresentare l'evento critico.

La portata di riferimento, Tr 200 anni, del fiume Po, all'altezza di Fontanetto Po, risulta pari a **6.100 m³/s**.

4. EFFETTI DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO SUL FIUME PO

Sulla base del quadro delle analisi di cui al presente elaborato progettuale, vanno identificati e quantificati gli effetti dell'intervento in progetto sull'assetto del corso d'acqua rispetto alla situazione precedente all'intervento.

I criteri di compatibilità definiti all'art. 38 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico prescrivono che gli interventi "non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di

particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo".

Ai fini della valutazione di compatibilità vengono pertanto essere evidenziati in particolare i seguenti punti costituenti gli effetti del progetto sul tronco di corso d'acqua interessato.

E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena. Rappresentano l'effetto di restringimenti di sezioni o di ostacoli al deflusso nel tratto di corso d'acqua interessato derivanti dall'intervento: le modifiche devono essere quantificate sulla base del confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e quello a intervento realizzato; vanno inoltre evidenziati, qualora presenti, effetti temporanei dello stesso tipo connessi alle fasi di realizzazione dell'opera.

Le opere in progetto non alterano il profilo inviluppo di piena del fiume Po, poiché già attualmente naturale recettore delle acque raccolte dai bacini idrografici delle rogge scolmate all'interno dello scolmatore ad Ovest di Fontanetto Po.

E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo. Vanno quantificate, ove presenti, le riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale, per mezzo delle simulazioni idrauliche di cui ai punti precedenti mettendo in evidenza la riduzione del volume di invaso e il corrispondente aumento del colmo di piena.

Al fine di evitare la riduzione della capacità di invaso dell'alveo del Po e delle relative aree golenali, le strade alzaie del canale in progetto (aventi anche funzione arginale) sono state interrotte in corrispondenza della roggia Reale, ove, considerati i livelli di piena del Po e la morfologia del territorio, si può collocare il limite esterno di piena duecentennale riconducibile ad esondazione in corrispondenza della sezione 198-199 di riferimento.

E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti. Vanno evidenziate localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto che danno luogo alle possibili interazioni e gli accorgimenti adottati (distanze di rispetto, soluzioni costruttive) per garantire l'assenza di effetti negativi sulla stabilità e sull'efficienza di funzionamento delle opere idrauliche.

In progetto non sono previste interferenze con difese ed argini esistenti.

E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento. Nel caso in cui l'intervento in progetto comporti la necessità di realizzare opere idrauliche di sistemazione dell'alveo, queste ultime vanno definite a livello di progetto definitivo, esplicitandone la compatibilità e l'integrazione con le opere idrauliche esistenti.

Allo stato attuale del livello di progettazione (studio di fattibilità) non sono previste opere di sistemazione dell'alveo del Po.

E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena. Valutazione degli effetti della soluzione progettuale proposta per l'intervento in rapporto all'assetto morfologico attuale dell'alveo e alla sua prevedibile evoluzione, con evidenziazione degli elementi che garantiscono l'assenza di modificazioni indotte sia sull'alveo inciso (effetti erosivi di fondo e/o di sponda, modificazioni di tracciato planimetrico) che su quello di piena (attivazione di vie di deflusso preferenziali incompatibili con l'assetto e le opere esistenti).

Al fine di evitare effetti erosivi della sponda sinistra e del fondo alveo, in corrispondenza dello sbocco dello scolmatore nel Po, è previsto il rivestimento del fondo e della sponda sinistra con difesa spondale in massi di cava.

E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale. Vanno evidenziate le modificazioni conseguenti alla realizzazione dell'opera e gli interventi di mitigazione adottati, con particolare riferimento alle emergenze connesse al sistema fluviale e alle componenti naturalistiche, ambientali e paesistiche più sensibili nei confronti degli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera.

L'opera in progetto insiste, per tutto il tracciato previsto, su canali e rogge esistenti; l'aspetto ambientale paesaggistico viene quindi modificato in misura trascurabile.

E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena. Vanno evidenziate le condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dell'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni. Vanno inoltre evidenziati gli accorgimenti e le misure tecniche adottati al fine di evitare condizioni di pericolo per le persone e di danno per i beni, come pure le eventuali riduzioni temporanee di funzionalità dell'intervento connesse al verificarsi di un evento di piena.

Le opere in progetto sono state dimensionate tenendo in considerazione l'eventuale contemporaneità delle piene del Po e del canale scolmatore; pertanto è stata verificata la funzionalità del canale anche con la sovrapposizione degli effetti di piena del fiume Po (Tr 200 anni).

5. SCHEMA IDRAULICO DI PROGETTO

Con riferimento alle portate (Q_{\max} Tr 100 anni) relative alle rogge calcolate al paragrafo 1.4,

FONNA	19,40
CERCA	18,24
CAMERA	32,56
GUADEROGLIO	3,07
CHIUSA	6,46
LOGNA	3,01

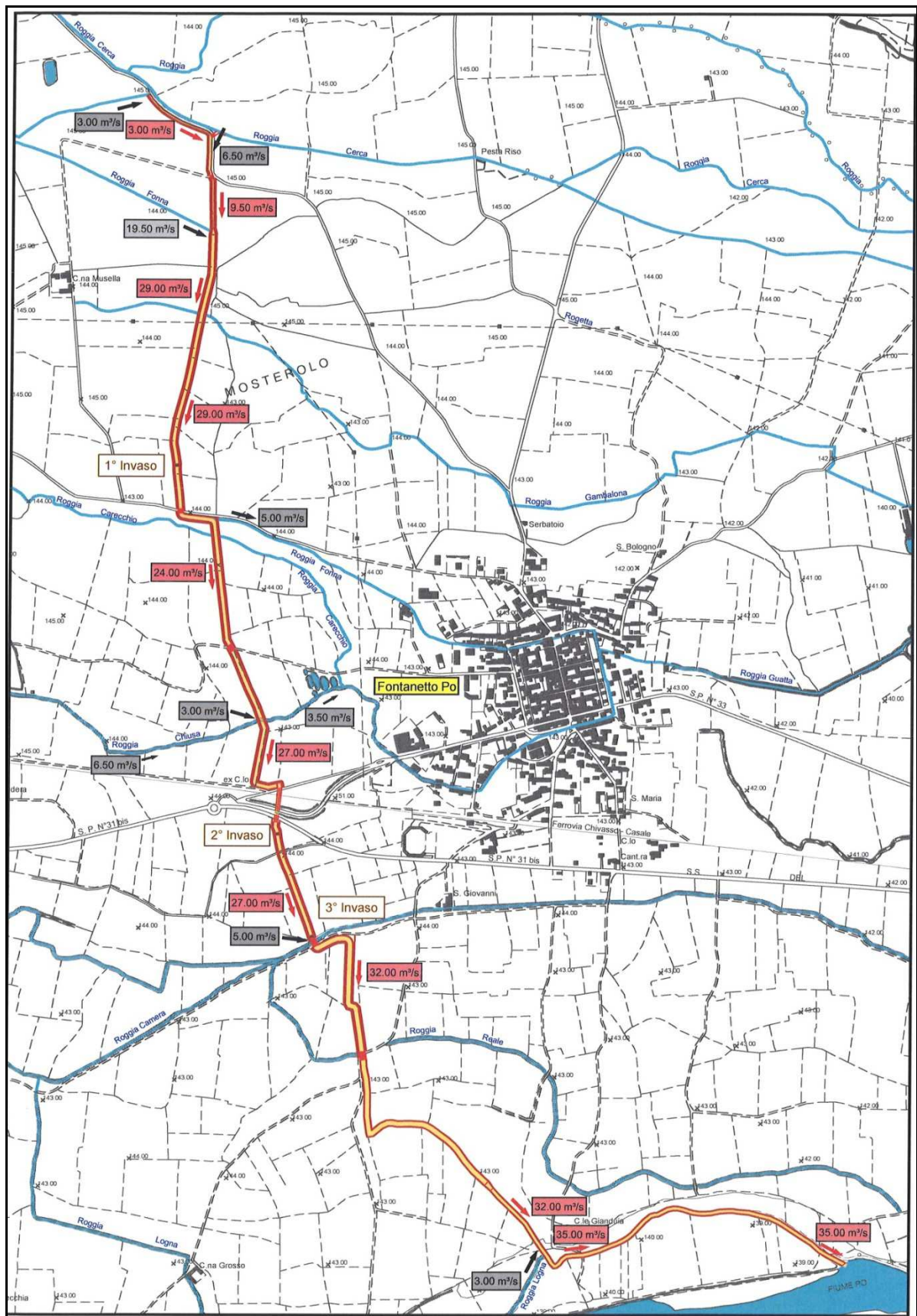
risulta di difficile determinazione la portata transitante in alcuni canali irrigui (Roggia Cerca e Roggia Camera) a valle dello scolmatore, poiché correlata alla ripartizione dei flussi od alla funzionalità in corrispondenza di manufatti idraulici di monte, quali ad esempio il ripartitore tra Roggia Stura e Roggia Cerca a monte del nodo idraulico N° 0 (immissione del Cavo Guaderoglio) e lo scaricatore Rabetto ed altri scaricatori lungo il tracciato della Roggia Camera.

E' invece identificata la portata transitante a valle dello scolmatore relativamente alle rogge che attraversano il centro abitato:

Roggia Fonna: $Q_{\text{valle}} = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$

Roggia Chiusa: $Q_{\text{valle}} = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Si riporta nel seguito lo schema idraulico di progetto.



6. VERIFICHE IDRAULICHE

6.1 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

Lo studio idraulico è stato condotto simulando il deflusso di piena con tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore in progetto secondo una schematizzazione di **moto stazionario**, con condizioni al contorno invarianti nel tempo. Dato il funzionamento dell'opera in progetto, atta a contenere l'intero deflusso centennale all'interno della sezione incisa, nel modello si è utilizzato uno schema di calcolo **monodimensionale**; i calcoli idrodinamici sono stati eseguiti tramite l'impiego del codice HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System). La descrizione del modello numerico è riportata nell'ALLEGATO 1.

Il modello geometrico rappresenta il canale scolmatore in progetto per un'estensione circa pari a 6015 m, a partire dall'intercettazione del cavo Guaderoglio (immediatamente a monte della sua attuale confluenza nella roggia Cerca) fino alla sua confluenza nel fiume Po. Il tracciato di progetto del canale scolmatore interferisce, a partire da monte verso valle, con le seguenti infrastrutture:

- strada campestre alla progressiva 515,10 m;
- strada San Genuario alla progressiva 1648,20 m;
- strada comunale delle Fonne alla progressiva 2230,10 m;
- strada comunale Fontanetto Po- Crescentino alla progressiva 2808,40 m;
- sifone di attraversamento Linea Ferroviaria Chivasso – Casale Monferrato circa tra le progressive 2820 e 2835 m;
- SP 33 alla progressiva 2880,10 m;
- SP 31bis alla progressiva 2903,10 m;
- strada della Guidra alla progressiva 3012,57 m;
- sifone di attraversamento della roggia Camera tra le progressive circa 3340 e 3355 m;
- attraversamento della strada vicinale Ronco a progr. 3907,45 m.

Data la presenza dei 2 sopraccitati sifoni in progetto il modello geometrico complessivo è stato suddiviso in 3 ulteriori modelli:

- modello di monte, compreso tra il cavo Guaderoglio (NODO 0 – progr. 130,35 m) e il sifone di attraversamento della Linea Ferroviaria (progr. 2808,40 m);
- modello intermedio, compreso tra il sifone di attraversamento della Linea Ferroviaria (progr. 2845,15 m) e quello di attraversamento della roggia Camera (3334,20 m);
- modello di valle esteso tra il sifone di attraversamento della roggia Camera (3359,20 m) e la sezione di valle del manufatto di attraversamento sulla roggia Reale (progr. 3907,45 m), in cui si attesta, di fatto, il limite di esondazione del fiume Po per tempo di ritorno 200 anni; formalmente il limite esterno di fascia B (cfr. Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Tavola di delimitazione delle Fasce Fluviali 157 sez. I) coincide con la roggia Camera.

Per il modello di valle si è inoltre costruito uno schema geometrico esteso fino in corrispondenza della sua confluenza nel fiume Po al fine di analizzare il deflusso della portata TR 100 anni lungo lo scolmatore in progetto in condizioni di “non interferenza” idrodinamica del fiume Po, corrispondente a uno stato idrologico ordinario del corso d'acqua e quindi tale da influenzare minimamente, in termini di livello, la portata defluente nel canale scolmatore.

Di seguito (Tabella 1, Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4) si riportano in forma tabulare i profili longitudinali di progetto del modello dello scolmatore (dati di input), in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo.

In Figura 1 e Figura 2 si riportano gli stralci planimetrici nei quali è possibile individuare i 3 modelli idrodinamici eseguiti, rispettivamente di colore rosa quello di monte, di colore verde quello intermedio e di colore arancione quello di valle.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
Nodo 0-Guaderoglio	62	130,35	146,54	146,54	144,54
Nodo 1-Cerca	61	371,95	146,29	146,29	144,29
monte strada campestre	60.5	509,10	146,19	146,19	144,19
	60	515,10	Culvert		
valle strada campestre	59.5	521,10	146,19	146,19	144,19
	59	600,00	146,13	146,13	144,13
Nodo 2-Fonna A	58	695,70	146,06	146,06	144,06
	57	820,95	145,98	145,98	143,98
Nodo 3-Fonna B	56	980,75	145,87	145,87	143,87
	55	1339,75	145,61	145,61	143,61
	54	1414,00	145,56	145,56	143,56
Nodo 4-1° invaso	53	1490,70	145,51	145,51	143,51
monte strada San Genuario	52.5	1642,20	145,40	145,40	143,40
Nodo 5-Fonna C	52	1648,20	Culvert		
valle strada San Genuario	51.5	1654,20	145,40	145,40	143,40
	51	1780,80	145,31	145,31	143,31
Nodo 6-Carecchio	50	1845,90	145,26	145,26	143,26
	49	1881,60	145,24	145,24	143,24
	48	1919,10	145,21	145,21	143,21
	47	1958,05	145,18	145,18	143,18
	46	2018,15	145,14	145,14	143,14
	45	2058,55	145,11	145,11	143,11
	44	2094,15	145,09	145,09	143,09
	43	2133,90	145,06	145,06	143,06
	42	2179,30	145,03	145,03	143,03
monte strada comunale delle Fonne	41.5	2224,10	144,99	144,99	142,99
	41	2230,10	Culvert		
valle strada comunale delle Fonne	40.5	2236,10	144,99	144,99	142,99
	40	2273,20	144,96	144,96	142,96
	39	2322,35	144,93	144,93	142,93
	38	2369,70	144,90	144,90	142,90
	37	2439,70	144,85	144,85	142,85
Nodo 7-Chiusa	36	2500,45	144,80	144,80	142,80
	35	2723,25	144,65	144,65	142,65
strada comunale Fontanetto Po-Crescentino	34	2808,40	144,59	144,59	142,59

Tabella 1 – Profilo longitudinale dello scolmatore in progetto nel tratto compreso tra le progressive 130,35 m e 2808,40 m (modello di monte).

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle sifone FFSS	33	2845,15	144,39	144,39	142,39
	32	2861,20	144,37	144,37	142,37
monte SP33	31	2875,10	144,36	144,36	142,36
	30.5	2880,10	Culvert		
valle SP33	30	2885,10	144,35	144,35	142,35
monte SP31bis	29	2898,10	144,34	144,34	142,34
	28.5	2903,10	Culvert		
valle SP31bis	28	2908,10	144,33	144,33	142,33
	27	2959,20	144,28	144,28	142,28
monte strada Guidra	26	3006,80	144,23	144,23	142,23
	25.5	3012,57	Culvert		
valle strada Guidra	25	3018,35	144,22	144,22	142,22
	24	3034,35	144,20	144,20	142,20
	23	3280,10	143,96	143,96	141,96
monte sifone Camera	22	3334,20	143,90	143,90	141,90

Tabella 2 – Profilo longitudinale dello scolmatore in progetto nel tratto compreso tra le progressive 2845,15 m e 3334,20 m (modello intermedio).

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359,20	143,69	143,69	141,69
	20	3483,00	143,55	143,55	141,55
	19	3619,40	143,40	143,40	141,40
	18	3745,40	143,26	143,26	141,26
Nodo 12 Reale	17	3885,05	143,10	143,10	141,10
condizione contorno		3907,45	143,08	143,08	141,08

Tabella 3 – Profilo longitudinale dello scolmatore in progetto nel tratto compreso tra le progressive 3359,20 m e 3907,45 m (modello di valle in condizioni di concomitanza di piena Po - scolmatore).

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359,20	143,69	143,69	141,69
	20	3483,00	143,55	143,55	141,55
	19	3619,40	143,40	143,40	141,40
	18	3745,40	143,26	143,26	141,26
Nodo 12 Reale	17	3885,05	143,10	143,10	141,10
	16	4025,10	142,95	142,95	140,95
monte salto	15	4085,85	142,88	142,88	140,88
valle salto	14	4086,05	142,56	142,56	140,56

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
monte salto	13	4157,40	142,48	142,48	140,48
valle salto	12	4157,60	142,12	142,12	140,12
	11	4258,45	142,04	142,04	140,04
	10	4370,50	141,95	141,95	139,95
	9	4507,45	141,83	141,83	139,83
	8	4635,30	141,73	141,73	139,73
	7	4760,80	141,52	141,52	139,02
	6	4814,75	141,24	141,24	138,74
	5	4896,60	139,35	139,35	136,85
Nodo 13 Logna	4	5009,10	138,20	138,20	135,70
	3	5130,65	137,91	137,91	135,41
	2	5469,85	137,06	137,06	134,56
Po	1	6014,25	136,38	136,38	133,88

Tabella 4 – Profilo longitudinale dello scolmatore in progetto nel tratto compreso tra le progressive 3359,20 m e 6014,25 m (modello di valle in condizioni di piena del solo scolmatore).

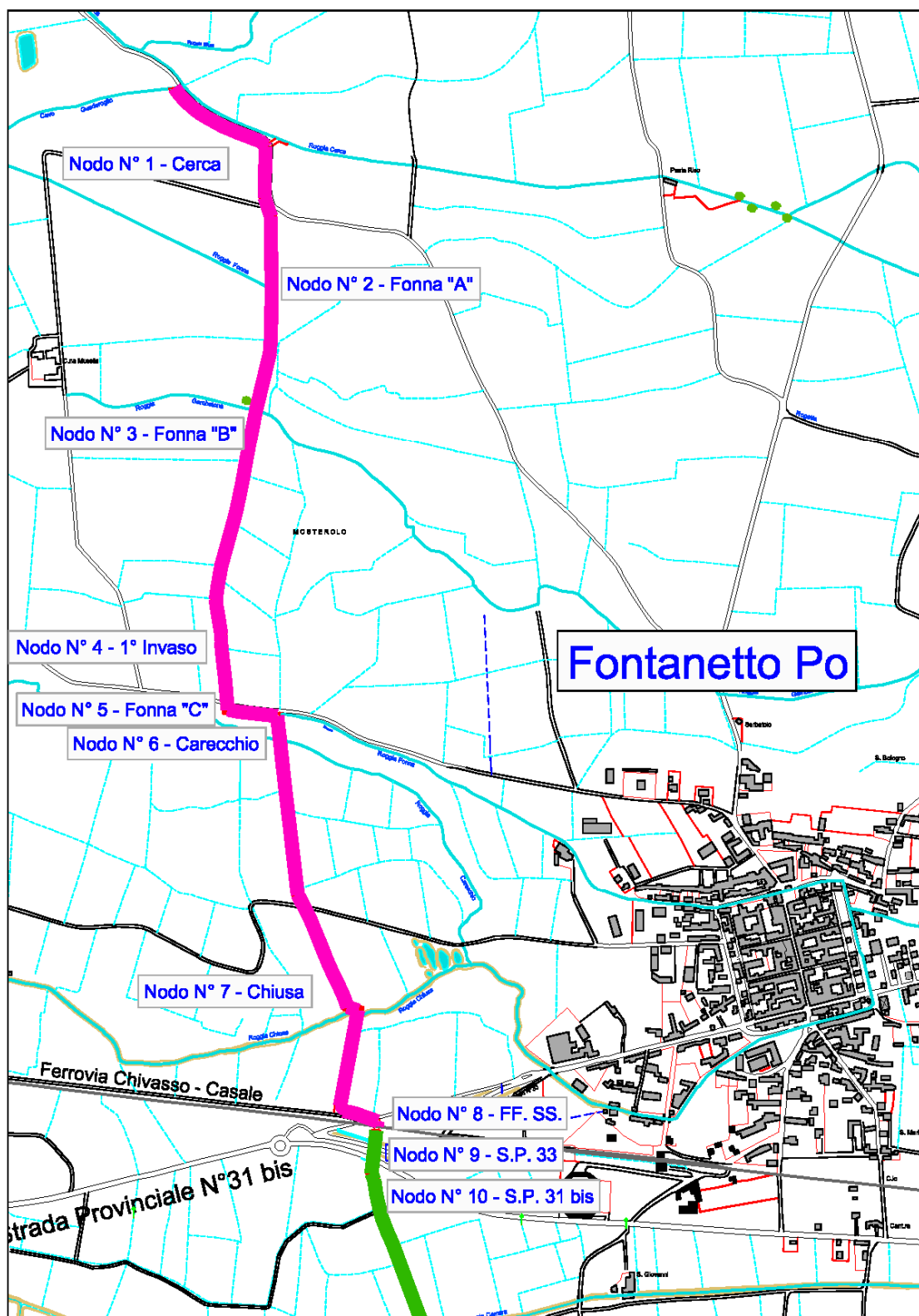


Figura 1 – Corografia del modello idrodinamico di simulazione: tratto cavo Guaderoglio – linea FFSS.

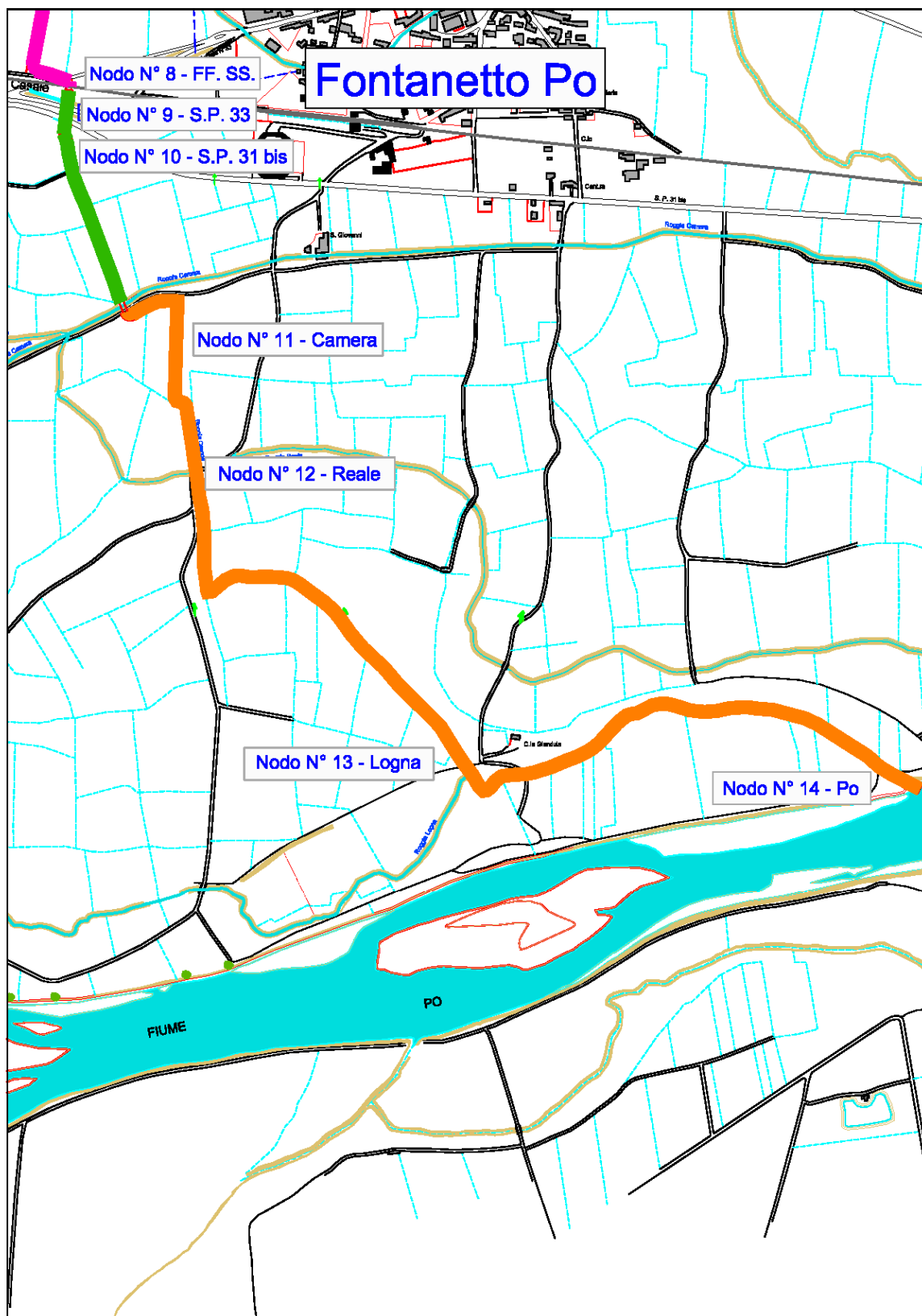


Figura 2 – Corografia del modello idrodinamico di simulazione: tratto linea FFSS – confluenza in Po.

6.2 Rappresentazione idrodinamica delle opere in sifone

La verifica idraulica delle opere di attraversamento in sifone ha avuto come obiettivo quello di ottimizzare il dimensionamento della sezione di progetto dell'opera, al fine di minimizzare le perdite idrauliche indotte dalla struttura e valutare quindi il sovrizzo di livello a monte dell'imbocco.

Il dimensionamento e la relativa verifica idraulica sono stati condotti tramite l'applicazione della formula illustrata nel seguito:

$$dh = 0.5 * \frac{Q^2}{A_1^2 * 2g} + \frac{Q^2}{C_1^2 R_1^{4/3} A_1^2} * L_1 + \frac{Q^2}{A_2^2 * 2g} + \frac{Q^2}{C_2^2 R_2^{4/3} A_2^2} * L_2 + \frac{Q^2}{C_3^2 R_3^{4/3} A_3^2} * L_3$$

dove

- Q portata di dimensionamento,
- A₁ area di deflusso dell'imbocco a monte,
- A₂ area di deflusso dello sbocco a valle,
- A₃ area di deflusso dell'opera scatolare;
- C₁ coefficiente di resistenza distribuita nel tratto di imbocco,
- C₂ coefficiente di resistenza distribuita nel tratto di sbocco,
- C₃ coefficiente di resistenza distribuita nel tratto di opera scatolare,
- R₁ raggio idraulico della sezione di imbocco,
- R₂ raggio idraulico della sezione di sbocco,
- R₃ raggio idraulico della sezione scatolare,
- L₁ lunghezza del manufatto di imbocco,
- L₂ lunghezza del manufatto di sbocco,
- L₃ lunghezza della sezione scatolare.

6.3 Condizioni al contorno

6.3.1 Situazione di concomitanza di piena tra scolmatore e fiume Po

In questa analisi si è ipotizzato cautelativamente che le piene generate sulle aste dello scolmatore (TR 100 anni) e del Po (TR 200 anni in ottemperanza al PAI) siano concomitanti in termini di valore al colmo. Pertanto le condizioni al contorno assegnate nei 3 modelli predisposti sono le seguenti:

- A. Modello di valle - tratto roggia Camera - roggia Reale
 - portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 32 m³/s in entrata a valle del sifone sulla roggia Camera (sez. 21 a progr. 3359,20 m);
 - livello idrico TR200 anni del fiume Po pari a 141,30 m s.m., nella sezione immediatamente a valle della roggia Reale. Tale valore è stato desunto dal PAI interpolando linearmente i livelli delle sezioni di calcolo riportate nella Tavola di delimitazione delle Fasce Fluviali Foglio 157 sez. I e nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" (ampiamente descritte al paragrafo 3 del presente documento). Come condizione al contorno nel modello si è assegnata una riduzione di pendenza del fondo alveo (rispetto a quella di progetto) misurata tra le 3359,20 e 3907,45 m.

- B. Modello intermedio – tratto valle sifone FF.SS. – monte sifone roggia Camera
- portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 27 m³/s in entrata a valle del sifone di attraversamento della Linea FF.SS (sez. 33 a progr. 2845,15 m);
 - livello idrico indotto dal passaggio della portata attraverso il sifone di attraversamento in progetto della roggia Camera, di valore pari a 143,52 m s.m. (sez. 22 progr. 3334,20 m).
- C. Modello di monte – tratto cavo Guaderoglio – monte sifone FF.SS
- portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 3 m³/s in entrata tra i nodi 0 (Guaderoglio) e 1 (Cerca);
 - incremento di portata di 6,5 m³/s a valle del nodo 1;
 - incremento di portata di 19,5 m³/s a valle del nodo 2 (Fonna A);
 - decremento di portata di 5,0 m³/s a valle del nodo 5 (Fonna C), derivata tramite uno sfioratore laterale che ne favorisce il suo trasferimento nella Fonna C;
 - incremento di portata di 3,0 m³/s a valle del nodo 7;
 - livello idrico indotto dal passaggio della portata TR100 (27,0 m³/s) attraverso il sifone in progetto di attraversamento della Linea ferroviaria, di valore pari a 144,40 m s.m. (sez. 34 progr. 2808,40 m).

6.3.2 Situazione di piena TR100 anni sul solo canale scolmatore

Questa analisi idrodinamica è stata eseguita con l'obiettivo di mostrare il funzionamento del canale scolmatore a valle della roggia Camera in condizioni di piena centennale, anticipata temporalmente rispetto ad un qualunque evento idrologico sul fiume Po e quindi minimamente influenzata dai livelli del Po stesso.

Le simulazioni eseguite hanno riguardato il tratto di canale scolmatore localizzato a valle della roggia Camera ed esteso questa volta fino alla confluenza in Po; si sono esaminate 3 possibili condizioni di livello del fiume Po di seguito elencate:

- D. livello del fiume Po a quota inferiore del fondo alveo del canale scolmatore
- portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 32 m³/s in entrata a valle del sifone sulla roggia Camera (sez. 21 a progr. 3359,20 m);
 - incremento di portata pari a 3,0 m³/s in entrata in corrispondenza dell'immissione della roggia Logna (nodo 13 a progr. 5009,10 m);
 - scala di deflusso in moto uniforme in corrispondenza della confluenza dello scolmatore in Po a progr. 6014,25 m (sez.1).
- E. livello del fiume Po a quota superiore di 1,0 m rispetto a quello di moto uniforme del canale scolmatore
- portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 32 m³/s in entrata a valle del sifone sulla roggia Camera (sez. 21 a progr. 3359,20 m);
 - incremento di portata pari a 3,0 m³/s in entrata in corrispondenza dell'immissione della roggia Logna (nodo 13 a progr. 5009,10 m);
 - livello idrico pari a 136,74 m s.m. (+1,0 m rispetto a simulazione D) in corrispondenza della confluenza dello scolmatore in Po a progr. 6014,25 m (sez.1).
- F. livello del fiume Po a quota superiore di 3,0 m rispetto a quello di moto uniforme del canale scolmatore
- portata di piena costante per TR100 anni di valore al colmo pari a 32 m³/s in entrata a valle del sifone sulla roggia Camera (sez. 21 a progr. 3359,20 m);
 - incremento di portata pari a 3,0 m³/s in entrata in corrispondenza dell'immissione della roggia Logna (nodo 13 a progr. 5009,10 m);

- livello idrico pari a 138,74 m s.m. (+3,0 m rispetto a simulazione D) in corrispondenza della confluenza dello scolmatore in Po a progr. 6014,25 m (sez.1).

6.4 Coefficienti di resistenza distribuita

La Direttiva AdBPo 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 n. 2 dell'11 maggio 1999 - aggiornata con deliberazione n. 10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006) fornisce la tabella seguente che riporta i valori di riferimento per i coefficienti di scabrezza, secondo le formule di Strickler e di Manning, riferiti alle situazioni tipiche dei corsi d'acqua.

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico ≥ 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico ≥ 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25
AREE GOLENALI (Raggio idraulico ≥ 1 m)	
- a pascolo, senza vegetazione arbustiva	40-20
- coltivate	50-20
- con vegetazione arbustiva spontanea	25-10
- con vegetazione arborea coltivata	30-20
Alveo artificiale in terra	
- materiale compatto, liscio	60
- sabbia compatta, con argilla o pietrisco	50
- sabbia e ghiaia, scarpata lastricata	50-45
- ghiaietto 10-30 mm	45
- ghiaia media 20-60 mm	40
- ghiaia grossa 50-150 mm	35
- limo in zolle	30
- grosse pietre	30-25
- sabbia, limo o ghiaia, con forte rivestimento vegetale	25-20

Alveo artificiale in roccia	
- con lavorazione accurata	30-25
- con lavorazione media	25-20
- con lavorazione grossolana	20-15
Alveo artificiale in muratura	
- muratura in pietra da taglio	80-70
- muratura accurata in pietra da cava	70
- muratura normale in pietra da cava	60
- pietre grossolanamente squadrate	50
- scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia	50-45
Alveo artificiale in calcestruzzo	
- pavimentazione in cemento	100
- calcestruzzo con casseforme metalliche	100-90
- calcestruzzo con intonaco	95-90
- calcestruzzo liscio	90
- intonaco di cemento intatto	90-80
- calcestruzzo con casseforme in legno, senza intonaco	70-65
- calcestruzzo costipato, superficie liscia	65-60
- calcestruzzo vecchio, superficie pulita	60
- rivestimento in calcestruzzo ruvido	55
- superfici irregolari in calcestruzzo	50

In accordo con la direttiva AdBPo, per il fondo e le sponde in terreno naturale del canale scolmatore, è stato assunto un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

Per i tratti intubati realizzati con manufatti in c.a. gettati in opera o prefabbricati si è adottato $C = 70 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$.

6.5 Verifica idraulica situazione di progetto in condizioni di concomitanza temporale di piena

Come già detto in precedenza il progetto è stato predisposto nell'ipotesi che esista concomitanza temporale tra il colmo del Po a tempo di ritorno 200 anni e quello centennale dello scolmatore.

6.5.1 Modello di valle (da roggia Camera a roggia Reale)

Il modello analizza idrodinamicamente il tratto compreso tra le rogge Camera e Reale in quanto a valle di quest'ultima si risente l'influenza del transito della piena duecentennale del Po.

La sezione di progetto nell'intero tratto è in terreno naturale, caratterizzata da una geometria trapezia avente una larghezza alla base pari a 18,0 m, di 22,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).

La portata centennale dello scolmatore è pari a $32 \text{ m}^3/\text{s}$ (trascurando l'apporto della roggia Logna localizzata nell'area esondabile del Po occupata dalla Fascia B); essa transita in corrente lenta, con altezze d'acqua variabili tra valori di 1,47 e 1,62 m e velocità circa pari a $1,0 \text{ m/s}$.

La sezione di progetto dello scolmatore smaltisce la portata di riferimento con franchi idraulici di sicurezza compresi tra valori di 0,38 e 0,53 m, malgrado l'influenza idrodinamica per tempo di ritorno 200 anni esercitata dal fiume Po.

Di seguito si allegano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare (Tabella 5) che grafica (Figura 3) rappresentando il profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni.

In ALLEGATO 2 si riportano le sezioni trasversali di progetto introdotte nel modello con la rappresentazione dei livelli idrici.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Franco idraulico sponde
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359.20	143.69	143.69	32	141.69	1.47	143.16	142.36	143.22	0.0010	1.12	28.54	20.93	0.31	0.53
	20	3483.00	143.55	143.55	32	141.55	1.49	143.04		143.10	0.0009	1.10	29.04	20.98	0.30	0.51
	19	3619.40	143.40	143.40	32	141.40	1.52	142.92		142.98	0.0009	1.08	29.66	21.04	0.29	0.48
	18	3745.40	143.26	143.26	32	141.26	1.56	142.82		142.87	0.0008	1.05	30.46	21.11	0.28	0.44
Nodo 12 Reale	17	3885.05	143.10	143.10	32	141.10	1.62	142.72		142.77	0.0007	1.01	31.68	21.23	0.26	0.38
condizione contorno		3907.45	143.08	143.08	32	141.08	1.62	142.70	141.75	142.75	0.0007	1.01	31.78	21.24	0.26	0.38

Tabella 5 – Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore, considerando il livello a tempo di ritorno 200 anni del Po a valle dell'interferenza con la roggia Reale.

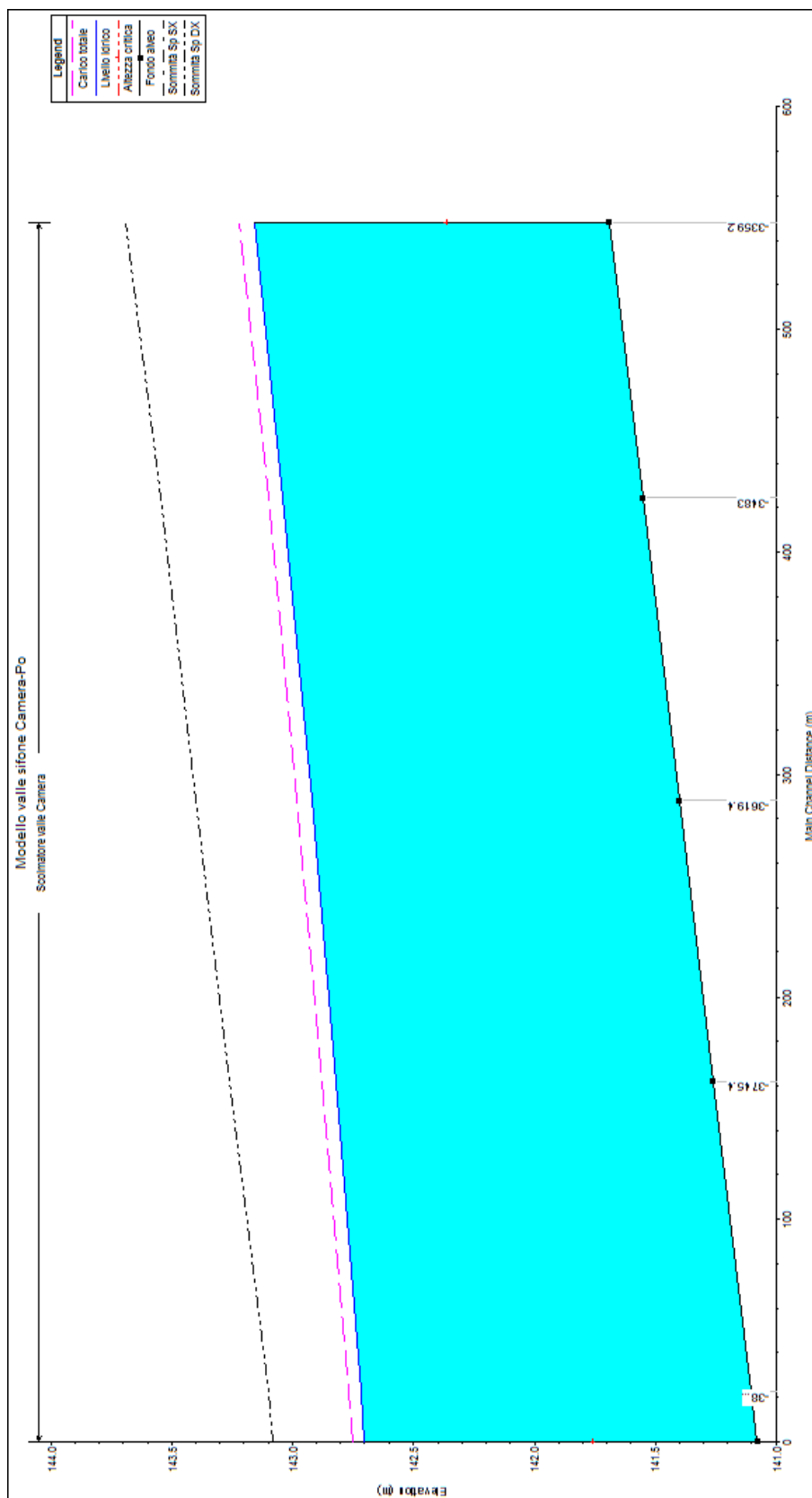


Figura 3 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore, considerando il livello a tempo di ritorno 200 anni del Po a valle dell'interferenza con la roggia Reale.

6.5.2 Modello intermedio (da valle sifone FF.SS a monte sifone roggia Camera)

Questa simulazione ha esaminato, a partire dal livello idrico generato dall'attraversamento in sifone della roggia Camera, il transito della portata centennale nel tratto di scolmatore in progetto compreso tra la Linea ferroviaria Chivasso – Casale Monferrato e la stessa roggia Camera. La portata di riferimento ha un valore al colmo pari a 27 m³/s.

La sezione di progetto nell'intero tratto è in terreno naturale, caratterizzata da una geometria trapezia avente una larghezza alla base pari a 14,0 m, di 18,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).

La piena a TR 100 anni transita nel tratto in corrente lenta, con altezze d'acqua circa pari a 1,60 m e velocità di circa 1,0 m/s.

Nel tratto è previsto il rifacimento di 3 attraversamenti viari, costituiti dalla SP 33, dalla SP 31bis e dalla strada vicinale della Guidra. Ciascuna opera di attraversamento deve essere costituita da 3 tombini scatolari affiancati di dimensioni minime BxH=5,0x1,8 m, in particolare la sezione dello scolmatore in corrispondenza delle opere idrauliche sarà caratterizzata da una larghezza di base di 16,0 m.

La sezione di progetto dello scolmatore smaltisce la portata di riferimento con franchi idraulici di sicurezza compresi tra valori di 0,38 e 0,42 m, gli attraversamenti hanno franchi prossimi a valori di 0,2 m.

Il sifone di attraversamento della roggia Camera è costituito da 2 luci rettangolari di dimensioni BxH=5,0x2,5 m; esso induce verso monte un rigurgito di 0,09 m.

Di seguito si allegano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare (Tabella 6) che grafica (Figura 4) rappresentando il profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni.

In ALLEGATO 3 si riportano le sezioni trasversali di progetto introdotte nel modello con la rappresentazione dei livelli idrici.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Intradosso	Franco idraulico sponde	Franco idraulico manufatti
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m s.m.)	(m)	(m)
valle sifone FFSS	33	2845.15	144.39	144.39	27	142.39	1.60	143.99	143.10	144.05	0.001	1.08	25.04	17.21	0.29		0.40	-
	32	2861.20	144.37	144.37	27	142.37	1.61	143.98		144.04	0.001	1.08	25.08	17.21	0.28		0.39	-
monte SP33	31	2875.10	144.36	144.36	27	142.36	1.62	143.98	143.02	144.03	0.001	0.99	27.17	17.62	0.26	144.16	0.38	0.18
	30.5	2880.10	Culvert															
valle SP33	30	2885.10	144.35	144.35	27	142.35	1.60	143.95		144.00	0.001	1.01	26.85	17.60	0.26	144.15	0.40	-
monte SP31bis	29	2898.10	144.34	144.34	27	142.34	1.60	143.94	142.99	143.99	0.001	1.00	26.92	17.60	0.26	144.14	0.40	0.20
	28.5	2903.10	Culvert															
valle SP31bis	28	2908.10	144.33	144.33	27	142.33	1.58	143.91		143.96	0.001	1.02	26.59	17.58	0.26	144.13	0.42	-
	27	2959.20	144.28	144.28	27	142.28	1.58	143.86		143.92	0.001	1.09	24.68	17.17	0.29		0.42	-
monte strada Guidra	26	3006.80	144.23	144.23	27	142.23	1.60	143.83	142.88	143.88	0.001	1.00	26.88	17.60	0.26	144.03	0.40	0.20
	25.5	3012.57	Culvert															
valle strada Guidra	25	3018.35	144.22	144.22	27	142.22	1.58	143.80		143.85	0.001	1.02	26.57	17.58	0.26	144.02	0.42	-
	24	3034.35	144.20	144.20	27	142.20	1.58	143.78		143.84	0.001	1.10	24.54	17.15	0.29		0.42	-
	23	3280.10	143.96	143.96	27	141.96	1.60	143.56		143.62	0.001	1.07	25.12	17.22	0.28		0.40	-
monte sifone Camera	22	3334.20	143.90	143.90	27	141.90	1.62	143.52	142.61	143.58	0.001	1.07	25.29	17.24	0.28		0.38	-

Tabella 6 - Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nel tratto da sifone FF.SS a sifone roggia Camera.

6.5.3 Modello di monte (da cavo Guaderoglio a monte sifone FF.SS)

Questa simulazione ha esaminato il deflusso della piena centennale nel tratto compreso tra il cavo Guaderoglio e la Linea ferroviaria Chivasso – Casale Monferrato, a partire dal livello idrico generato dall'attraversamento in sifone della ferrovia stessa.

La sezione di progetto nell'intero tratto è in terreno naturale, costituita da una geometria trapezia di dimensioni variabili, in particolare:

- da progr. 130,35 a 371,95 m (da nodo 0 a nodo 1) ha una larghezza alla base pari a 3,0 m, di 7,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°);
- da progr. 509,1 a 600,0 m (da nodo 1 a nodo 2) ha una larghezza alla base pari a 6,0 m, di 10,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°);
- da progr. 695,70 a 2808,40 m ha una larghezza alla base pari a 14,0 m, di 18,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).

La piena a TR 100 anni transita nel tratto in corrente lenta, con altezze d'acqua comprese tra valori di 1,50 e 1,81 m e velocità tra circa 0,40 e 1,15 m/s.

Nel tratto è previsto il rifacimento di 4 attraversamenti viari, costituiti da una strada campestre, dalla strada San Genuario, dalla strada comunale delle Fonne e dalla strada comunale Fontanetto Po- Crescentino.

Per la strada campestre è previsto un attraversamento costituito da 2 tombini scatolari affiancati di dimensioni minime BxH=3,5x2,0 m, mentre per tutte le altre infrastrutture l'opera di attraversamento deve essere costituita da 3 tombini scatolari affiancati di dimensioni minime BxH=5,0x2,0 m.

La sezione di progetto dello scolmatore smaltisce la portata di riferimento con franchi idraulici di sicurezza compresi tra valori di 0,19 e 0,50 m; gli attraversamenti hanno franchi compresi tra valori compresi tra 0,19 e 0,32 m.

Il sifone di attraversamento della Linea ferroviaria è costituito da 2 luci rettangolari di dimensioni BxH=5,0x2,5 m; esso induce verso monte un rigurgito di 0,11 m.

Di seguito si allegano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare (Tabella 7) che grafica (Figura 5) rappresentando il profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni.

In ALLEGATO 4 si riportano le sezioni trasversali di progetto introdotte nel modello con la rappresentazione dei livelli idrici.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Intradosso	Franco idraulico sponde	Franco idraulico manufatti
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m s.m.)	(m)	(m)
Nodo 0-Guaderoglio	62	130.35	146.54	146.54	3	144.54	1.50	146.04	144.98	146.05	0.0002	0.45	6.73	5.99	0.13		0.50	
Nodo 1-Cerca	61	371.95	146.29	146.29	3	144.29	1.70	145.99		146.00	0.0001	0.37	8.01	6.41	0.11		0.30	
monte strada campestre	60.5	509.10	146.19	146.19	9.5	144.19	1.76	145.95	144.72	145.97	0.0003	0.58	16.32	11.02	0.15	146.19	0.24	0.24
	60	515.10	culvert															
valle strada campestre	59.5	521.10	146.19	146.19	9.5	144.19	1.74	145.93		145.95	0.0003	0.59	16.09	10.98	0.16		0.26	
	59	600.00	146.13	146.13	9.5	144.13	1.77	145.90		145.92	0.0004	0.69	13.74	9.54	0.18		0.23	
Nodo 2-Fonna A	58	695.70	146.06	146.06	29	144.06	1.74	145.80		145.86	0.0007	1.06	27.45	17.49	0.27		0.26	
	57	820.95	145.98	145.98	29	143.98	1.73	145.71		145.77	0.0008	1.07	27.18	17.46	0.27		0.27	
Nodo 3-Fonna B	56	980.75	145.87	145.87	29	143.87	1.71	145.58		145.64	0.0008	1.08	26.92	17.43	0.28		0.29	
	55	1339.75	145.61	145.61	29	143.61	1.68	145.29		145.35	0.0008	1.10	26.33	17.36	0.29		0.32	
	54	1414.00	145.56	145.56	29	143.56	1.66	145.22		145.29	0.0009	1.11	26.07	17.33	0.29		0.34	
Nodo 4-1° invaso	53	1490.70	145.51	145.51	29	143.51	1.64	145.15		145.22	0.0009	1.13	25.74	17.29	0.29		0.36	
monte strada San Genuario	52.5	1642.20	145.40	145.40	24	143.40	1.68	145.08	144.00	145.11	0.0004	0.81	29.73	19.36	0.21	145.40	0.32	0.32
Nodo 5-Fonna C	52	1648.20	culvert															
valle strada San Genuario	51.5	1654.20	145.40	145.40	24	143.40	1.66	145.06		145.09	0.0005	0.82	29.25	19.31	0.21		0.34	
	51	1780.80	145.31	145.31	24	143.31	1.67	144.98		145.02	0.0006	0.92	26.20	17.34	0.24		0.33	
Nodo 6-Carecchio	50	1845.90	145.26	145.26	24	143.26	1.68	144.94		144.99	0.0006	0.91	26.42	17.37	0.24		0.32	
	49	1881.60	145.24	145.24	24	143.24	1.68	144.92		144.97	0.0006	0.91	26.41	17.37	0.24		0.32	
	48	1919.10	145.21	145.21	24	143.21	1.69	144.90		144.94	0.0006	0.90	26.57	17.39	0.23		0.31	
	47	1958.05	145.18	145.18	24	143.18	1.70	144.88		144.92	0.0006	0.90	26.72	17.40	0.23		0.30	
	46	2018.15	145.14	145.14	24	143.14	1.71	144.85		144.89	0.0005	0.89	26.86	17.42	0.23		0.29	
	45	2058.55	145.11	145.11	24	143.11	1.72	144.83		144.87	0.0005	0.89	27.00	17.44	0.23		0.28	
	44	2094.15	145.09	145.09	24	143.09	1.72	144.81		144.85	0.0005	0.89	27.02	17.44	0.23		0.28	
	43	2133.90	145.06	145.06	24	143.06	1.73	144.79		144.83	0.0005	0.88	27.18	17.46	0.23		0.27	
	42	2179.30	145.03	145.03	24	143.03	1.74	144.77		144.80	0.0005	0.88	27.30	17.47	0.22		0.26	

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Intradosso	Franco idraulico sponde	Franco idraulico manufatti
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m s.m.)	(m)	(m)
monte strada comunale delle Fonne	41.5	2224.10	144.99	144.99	24	142.99	1.76	144.75	143.59	144.78	0.0004	0.77	31.30	19.52	0.19	144.99	0.24	0.24
	41	2230.10	culvert															
valle strada comunale delle Fonne	40.5	2236.10	144.99	144.99	24	142.99	1.74	144.73		144.76	0.0004	0.78	30.85	19.48	0.20		0.26	
	40	2273.20	144.96	144.96	24	142.96	1.74	144.70		144.74	0.0005	0.87	27.45	17.49	0.22		0.26	
	39	2322.35	144.93	144.93	24	142.93	1.75	144.68		144.72	0.0005	0.87	27.55	17.50	0.22		0.25	
	38	2369.70	144.90	144.90	24	142.90	1.76	144.66		144.69	0.0005	0.87	27.66	17.51	0.22		0.24	
	37	2439.70	144.85	144.85	24	142.85	1.77	144.62		144.66	0.0005	0.86	27.95	17.54	0.22		0.23	
Nodo 7-Chiusa	36	2500.45	144.80	144.80	27	142.80	1.78	144.58		144.63	0.0006	0.96	28.07	17.56	0.24		0.22	
	35	2723.25	144.65	144.65	27	142.65	1.80	144.45		144.49	0.0006	0.95	28.41	17.60	0.24		0.20	
strada comunale Fontanetto Po- Crescentino	34	2808.40	144.59	144.59	27	142.59	1.81	144.40	143.30	144.45	0.0006	0.94	28.61	17.62	0.24	144.59	0.19	0.19

Tabella 7 - Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nel tratto dal cavo Guaderoglio al sifone FF.SS.

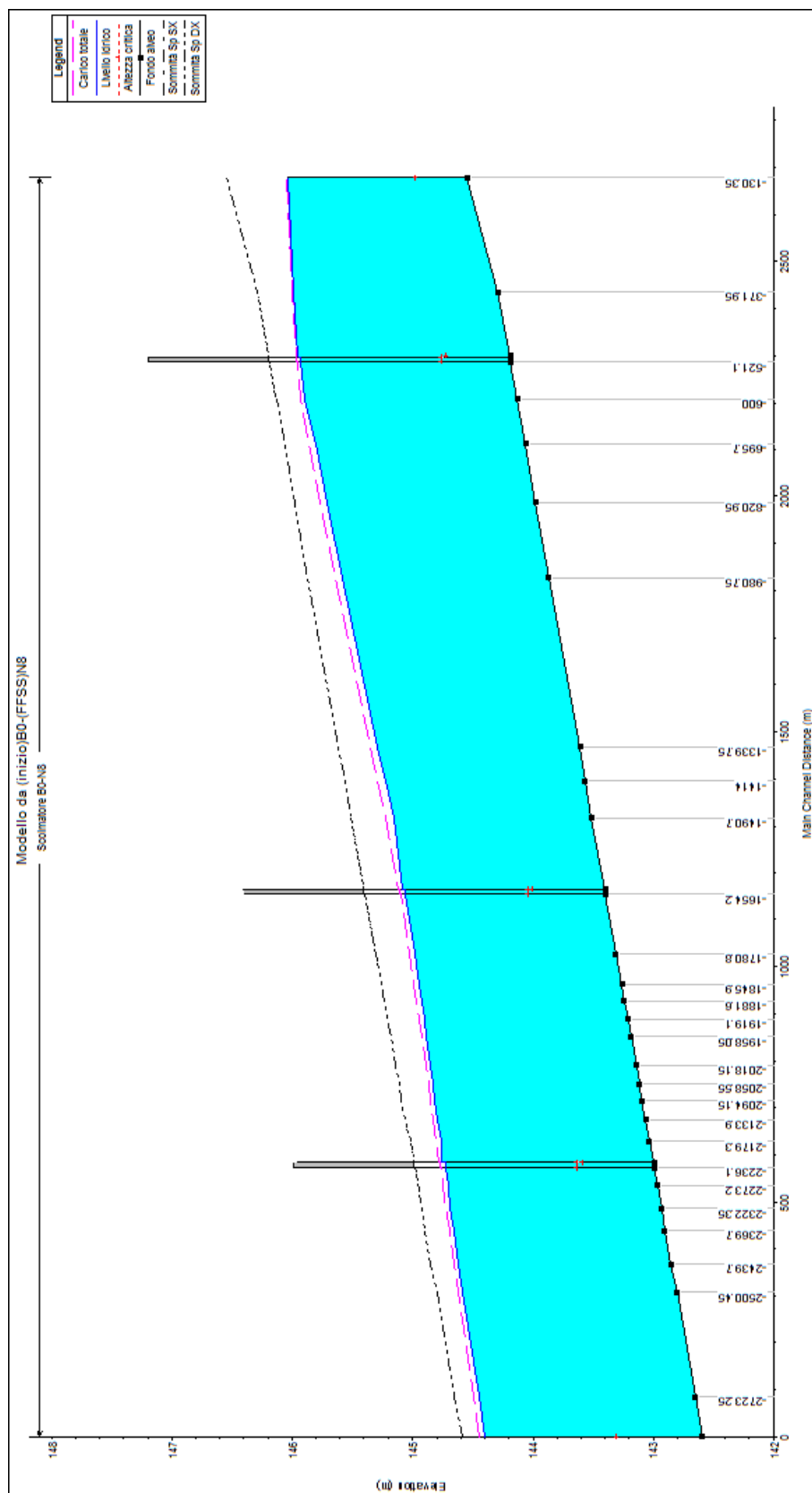


Figura 5 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nel tratto dal cavo Guaderoglio al sifone FF.SS.

6.6 Verifica idraulica situazione di progetto in condizioni di piena sul solo canale scolmatore

Questa analisi idrodinamica è stata eseguita con l'obiettivo di mostrare il funzionamento del canale scolmatore in condizioni di piena centennale, nel tratto esteso da valle della roggia Camera fino alla confluenza nel Po, ipotizzando un deflusso sul Po corrispondente a uno stato idrologico ordinario e quindi tale da influenzare minimamente in termini di livello la portata defluente nel canale scolmatore.

6.6.1 Modello di valle (da roggia Camera a confluenza in Po)

L'analisi ha riguardato l'intero tratto del modello di valle, a partire da valle del sifone di attraversamento della roggia Camera fino al nodo di confluenza nel fiume Po.

Il tratto analizzato idrodinamicamente misura una estensione di circa 2655 m ed è caratterizzato da pendenza di fondo variabile; la sezione di progetto prevista è in terreno naturale e risulta costituita dalle seguenti tipologie:

- geometria trapezia di larghezza alla base pari a 18,0 m, di 22,0 m in sommità, un'altezza di 2,0 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°) per un tratto di circa 1276 m, misurato a partire da valle della roggia Camera (da progr. 3359,20 a 4635,3 m); nel tratto sono presenti 2 salti di fondo a valle dei quali la pendenza passa dallo 0,11% allo 0,08%.
- geometria trapezia di larghezza alla base pari a 12,0 m, di 17,0 m in sommità, un'altezza di 2,5 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°) da progr. 4635,3 m fino alla confluenza in Po; il tratto è caratterizzato da pendenza più elevata del precedente con una sezione dello scolmatore più incisa nel piano golenale.

Come già detto in precedenza le simulazioni hanno analizzato il deflusso della portata centennale (32 m³/s fino all'immissione della roggia Logna e 35 m³/s da valle di essa alla confluenza in Po) in tre diverse condizioni di livello di Po:

1. livello del fiume Po a quota inferiore del fondo alveo del canale scolmatore;
2. livello del fiume Po a quota superiore di 1,0 m rispetto a quello di moto uniforme del canale scolmatore;
3. livello del fiume Po a quota superiore di 3,0 m rispetto a quello di moto uniforme del canale scolmatore.

I risultati delle analisi idrodinamiche condotte hanno mostrato che:

- la situazione simulata al punto 1 consente il deflusso della piena centennale lungo lo scolmatore senza generare esondazioni, con franchi idraulici di sicurezza abbondanti (mai inferiori a 0,56 m);
- la situazione simulata al punto 2 mostra un profilo circa equivalente al precedente, caratterizzato da esondazioni soltanto in corrispondenza delle ultime 2 sezioni del modello localizzate sulla confluenza in Po;
- la situazione simulata al punto 3 genera esondazioni in un tratto più esteso del precedente, individuabile tra l'immissione della roggia Logna e la confluenza in Po; in particolare dalla sezione 21 (progr. 3359,20 m) alla sezione 6 a monte della Logna (progr. 4814,75 m) il profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni non viene influenzato dai livelli di Po.

Di seguito si allegano i risultati per le 3 configurazioni idrodinamiche analizzate, sia in forma tabulare (Tabella 8, Tabella 9 e Tabella 10) che grafica (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Franco idraulico sponde
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359.20	143.69	143.69	32	141.69	1.38	143.07	142.36	143.15	0.0012	1.19	26.82	20.77	0.34	0.62
	20	3483.00	143.55	143.55	32	141.55	1.37	142.92		143.00	0.0012	1.20	26.63	20.75	0.34	0.63
	19	3619.40	143.40	143.40	32	141.40	1.35	142.75		142.83	0.0013	1.22	26.16	20.70	0.35	0.65
	18	3745.40	143.26	143.26	32	141.26	1.32	142.58		142.66	0.0014	1.25	25.50	20.64	0.36	0.68
Nodo 12 Reale	17	3885.05	143.10	143.10	32	141.10	1.26	142.36		142.45	0.0016	1.32	24.33	20.53	0.39	0.74
	16	4025.10	142.95	142.95	32	140.95	1.10	142.05		142.17	0.0025	1.52	21.05	20.20	0.48	0.90
monte salto	15	4085.85	142.88	142.88	32	140.88	0.87	141.75		141.94	0.0056	1.96	16.36	19.73	0.69	1.13
valle salto	14	4086.05	142.56	142.56	32	140.56	1.19	141.75		141.85	0.0020	1.41	22.77	20.37	0.42	0.81
monte salto	13	4157.40	142.48	142.48	32	140.48	1.08	141.56		141.68	0.0027	1.56	20.55	20.15	0.49	0.92
valle salto	12	4157.60	142.12	142.12	32	140.12	1.44	141.56		141.62	0.0010	1.15	27.93	20.87	0.32	0.56
	11	4258.45	142.04	142.04	32	140.04	1.40	141.44		141.51	0.0011	1.17	27.23	20.81	0.33	0.60
	10	4370.50	141.95	141.95	32	139.95	1.35	141.30		141.38	0.0013	1.22	26.18	20.71	0.35	0.65
	9	4507.45	141.83	141.83	32	139.83	1.27	141.10		141.18	0.0016	1.31	24.37	20.53	0.38	0.73
	8	4635.30	141.73	141.73	32	139.73	1.04	140.77		140.90	0.0031	1.62	19.78	20.08	0.52	0.96
	7	4760.80	141.52	141.52	32	139.02	1.20	140.22		140.43	0.0045	2.06	15.52	13.92	0.62	1.30
	6	4814.75	141.24	141.24	32	138.74	0.88	139.62	139.62	140.04	0.0125	2.87	11.14	13.40	1.01	1.62
	5	4896.60	139.35	139.35	32	136.85	0.62	137.47	137.73	138.33	0.0387	4.11	7.79	13.00	1.69	1.88
Nodo 13 Logna	4	5009.10	138.20	138.20	35	135.70	1.53	137.23	136.63	137.38	0.0024	1.73	20.24	14.45	0.47	0.97
	3	5130.65	137.91	137.91	35	135.41	1.54	136.95		137.10	0.0023	1.72	20.32	14.46	0.46	0.96
	2	5469.85	137.06	137.06	35	134.56	1.86	136.42		136.52	0.0012	1.40	25.03	14.97	0.35	0.64
Po	1	6014.25	136.38	136.38	35	133.88	1.86	135.74	134.81	135.84	0.0012	1.40	25.07	14.97	0.34	0.64

Tabella 8 - Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 1.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Franco idraulico sponde
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359.20	143.69	143.69	32	141.69	1.38	143.07	142.36	143.15	0.0012	1.19	26.82	20.77	0.34	0.62
	20	3483.00	143.55	143.55	32	141.55	1.37	142.92		143.00	0.0012	1.20	26.63	20.75	0.34	0.63
	19	3619.40	143.40	143.40	32	141.40	1.35	142.75		142.83	0.0013	1.22	26.16	20.70	0.35	0.65
	18	3745.40	143.26	143.26	32	141.26	1.32	142.58		142.66	0.0014	1.25	25.50	20.64	0.36	0.68
Nodo 12 Reale	17	3885.05	143.10	143.10	32	141.10	1.26	142.36		142.45	0.0016	1.32	24.33	20.53	0.39	0.74
	16	4025.10	142.95	142.95	32	140.95	1.10	142.05		142.17	0.0025	1.52	21.05	20.20	0.48	0.90
monte salto	15	4085.85	142.88	142.88	32	140.88	0.87	141.75		141.94	0.0056	1.96	16.36	19.73	0.69	1.13
valle salto	14	4086.05	142.56	142.56	32	140.56	1.19	141.75		141.85	0.0020	1.41	22.77	20.37	0.42	0.81
monte salto	13	4157.40	142.48	142.48	32	140.48	1.08	141.56		141.68	0.0027	1.56	20.55	20.15	0.49	0.92
valle salto	12	4157.60	142.12	142.12	32	140.12	1.44	141.56		141.62	0.0010	1.15	27.93	20.87	0.32	0.56
	11	4258.45	142.04	142.04	32	140.04	1.40	141.44		141.51	0.0011	1.17	27.23	20.81	0.33	0.60
	10	4370.50	141.95	141.95	32	139.95	1.35	141.30		141.38	0.0013	1.22	26.18	20.71	0.35	0.65
	9	4507.45	141.83	141.83	32	139.83	1.27	141.10		141.18	0.0016	1.31	24.37	20.53	0.38	0.73
	8	4635.30	141.73	141.73	32	139.73	1.04	140.77		140.90	0.0031	1.62	19.78	20.08	0.52	0.96
	7	4760.80	141.52	141.52	32	139.02	1.20	140.22		140.43	0.0045	2.06	15.52	13.92	0.62	1.30
	6	4814.75	141.24	141.24	32	138.74	0.88	139.62	139.62	140.04	0.0125	2.87	11.14	13.40	1.01	1.62
	5	4896.60	139.35	139.35	32	136.85	0.62	137.47	137.73	138.33	0.0387	4.11	7.79	13.00	1.69	1.88
Nodo 13 Logna	4	5009.10	138.20	138.20	35	135.70	1.67	137.37	136.63	137.49	0.0018	1.57	22.25	14.67	0.41	0.83
	3	5130.65	137.91	137.91	35	135.41	1.78	137.19		137.30	0.0014	1.47	23.83	14.84	0.37	0.72
	2	5469.85	137.06	137.06	35	134.56	2.38	136.94		137.00	0.0005	1.06	33.07	15.81	0.23	0.12
Po	1	6014.25	136.38	136.38	35	133.88	2.86	136.74	134.81	136.78	0.0003	0.86	40.76	16.00	0.17	-0.36

Tabella 9 - Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 2.

Manufatto	Sezione	Progressiva	Sommità sponda Sx	Sommità sponda Dx	Portata	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Altezza critica	Carico totale	Pend. Carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza pelo libero	Froude	Franco idraulico sponde
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m³/s)	(m s.m.)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)	(-)	(m)
valle sifone Camera Nodo 11	21	3359.20	143.69	143.69	32.00	141.69	1.38	143.07	142.36	143.15	0.0012	1.19	26.82	20.77	0.34	0.62
	20	3483.00	143.55	143.55	32.00	141.55	1.37	142.92		143.00	0.0012	1.20	26.63	20.75	0.34	0.63
	19	3619.40	143.40	143.40	32.00	141.40	1.35	142.75		142.83	0.0013	1.22	26.16	20.70	0.35	0.65
	18	3745.40	143.26	143.26	32.00	141.26	1.32	142.58		142.66	0.0014	1.25	25.50	20.64	0.36	0.68
Nodo 12 Reale	17	3885.05	143.10	143.10	32.00	141.10	1.26	142.36		142.45	0.0016	1.32	24.33	20.53	0.39	0.74
	16	4025.10	142.95	142.95	32.00	140.95	1.10	142.05		142.17	0.0025	1.52	21.05	20.20	0.48	0.90
monte salto	15	4085.85	142.88	142.88	32.00	140.88	0.87	141.75		141.94	0.0056	1.96	16.36	19.73	0.69	1.13
valle salto	14	4086.05	142.56	142.56	32.00	140.56	1.19	141.75		141.85	0.0020	1.41	22.77	20.37	0.42	0.81
monte salto	13	4157.40	142.48	142.48	32.00	140.48	1.08	141.56		141.68	0.0027	1.56	20.55	20.15	0.49	0.92
valle salto	12	4157.60	142.12	142.12	32.00	140.12	1.44	141.56		141.62	0.0010	1.15	27.93	20.87	0.32	0.56
	11	4258.45	142.04	142.04	32.00	140.04	1.40	141.44		141.51	0.0011	1.17	27.23	20.81	0.33	0.60
	10	4370.50	141.95	141.95	32.00	139.95	1.35	141.30		141.38	0.0013	1.22	26.18	20.71	0.35	0.65
	9	4507.45	141.83	141.83	32.00	139.83	1.27	141.10		141.18	0.0016	1.31	24.37	20.53	0.38	0.73
	8	4635.30	141.73	141.73	32.00	139.73	1.04	140.77		140.90	0.0031	1.62	19.78	20.08	0.52	0.96
	7	4760.80	141.52	141.52	32.00	139.02	1.20	140.22	139.90	140.43	0.0045	2.06	15.52	13.92	0.62	1.30
	6	4814.75	141.24	141.24	32.00	138.74	0.88	139.62	139.62	140.04	0.0125	2.87	11.14	13.40	1.01	1.62
	5	4896.60	139.35	139.35	32.00	136.85	1.99	138.84	137.73	138.91	0.0008	1.18	27.03	15.18	0.28	0.51
Nodo 13 Logna	4	5009.10	138.20	138.20	35.00	135.70	3.13	138.83		138.86	0.0002	0.78	45.01	16.00	0.15	-0.63
	3	5130.65	137.91	137.91	35.00	135.41	3.40	138.81		138.83	0.0002	0.71	49.33	16.00	0.13	-0.90
	2	5469.85	137.06	137.06	35.00	134.56	4.21	138.77		138.79	0.0001	0.56	62.42	16.00	0.09	-1.71
Po	1	6014.25	136.38	136.38	35.00	133.88	4.86	138.74	134.81	138.75	0.0001	0.48	72.76	16.00	0.07	-2.36

Tabella 10 - Simulazione idrodinamica per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 3.

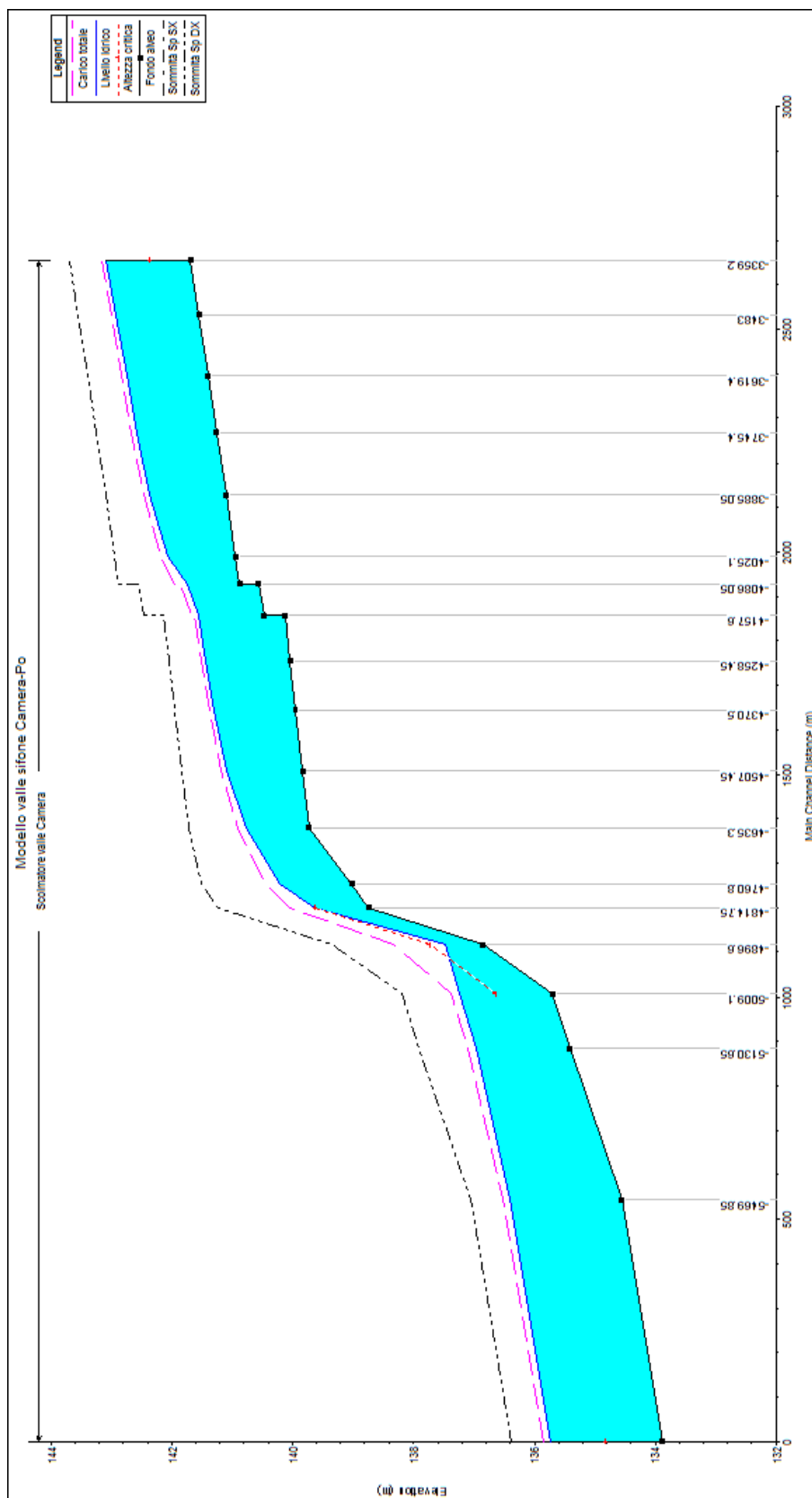


Figura 6 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 1.

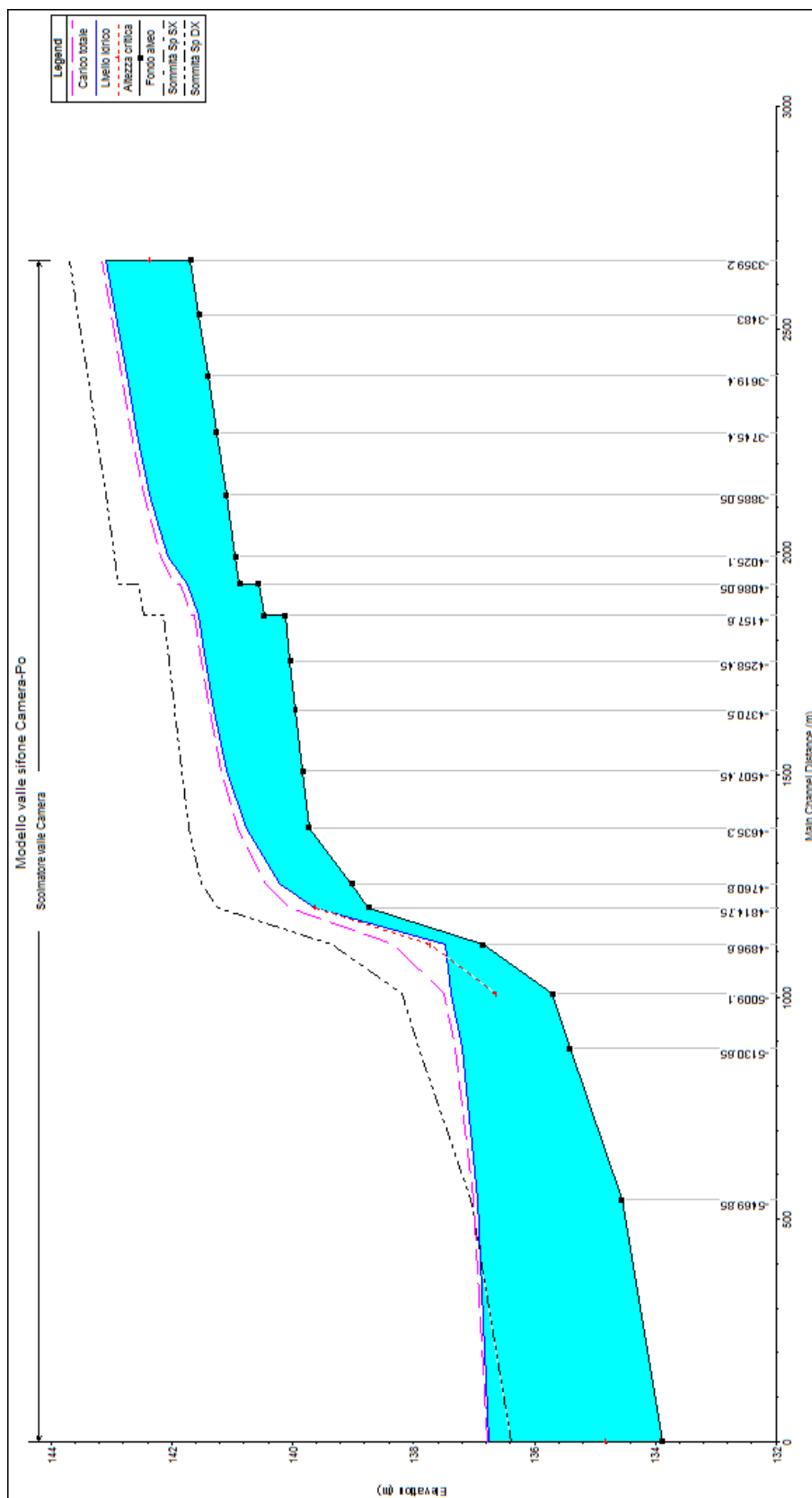


Figura 7 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 2.

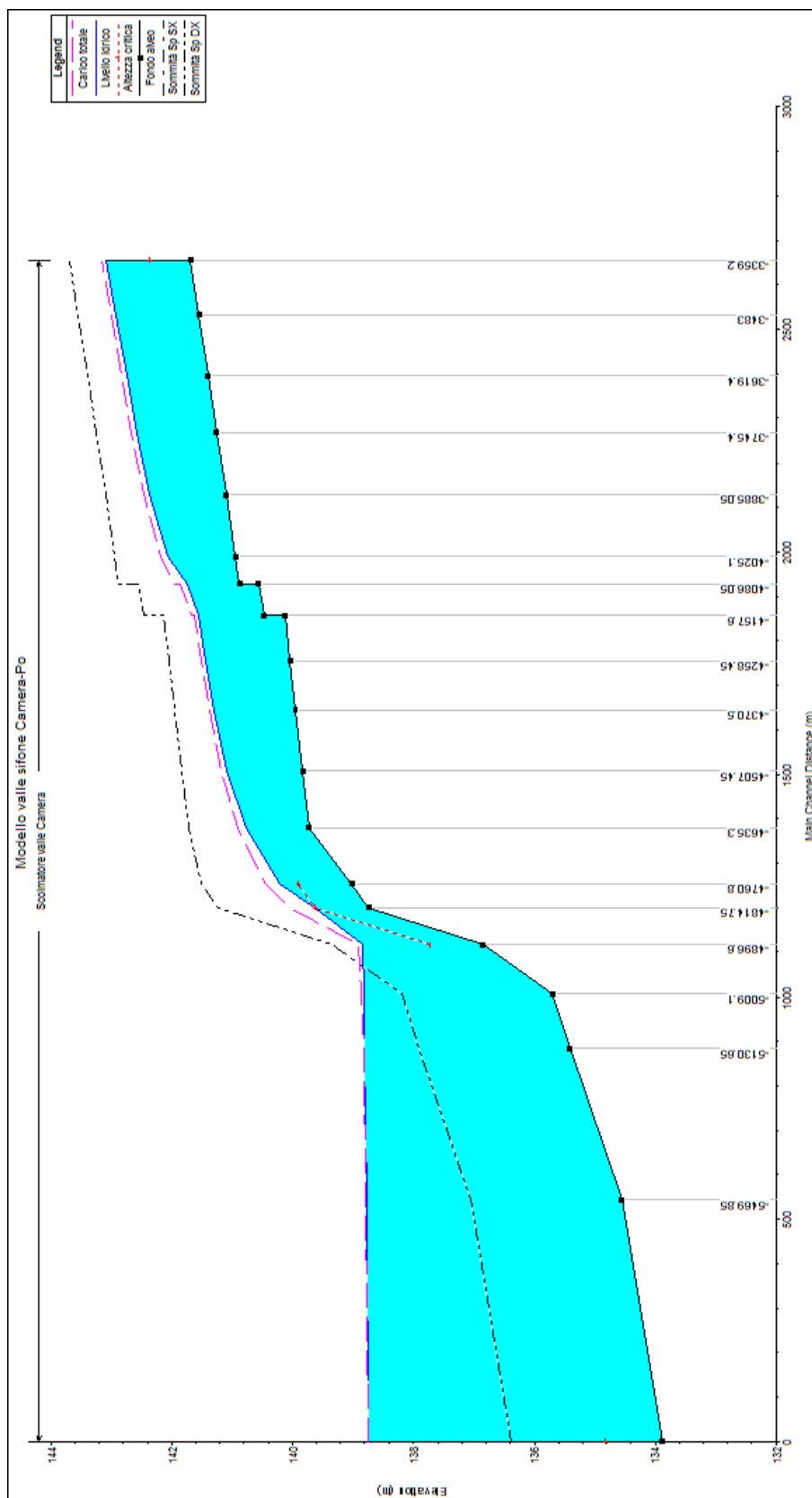


Figura 8 - Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni sul canale scolmatore nelle condizioni di livello idrico descritte al punto 3.

ALLEGATO 1 - Il codice di calcolo Hec-Ras

DESCRIZIONE

Il codice di calcolo HEC-RAS dell' U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e vario.

Possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione, ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, sia in ambito monodimensionale che QUASI 2D, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golenale in sponda sinistra, la golenale in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa a seconda delle caratteristiche della corrente, lenta o veloce, dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte, dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno, e procede verso l'altro estremo.

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (6.1)$$

dove (si veda la Figura 6.9):

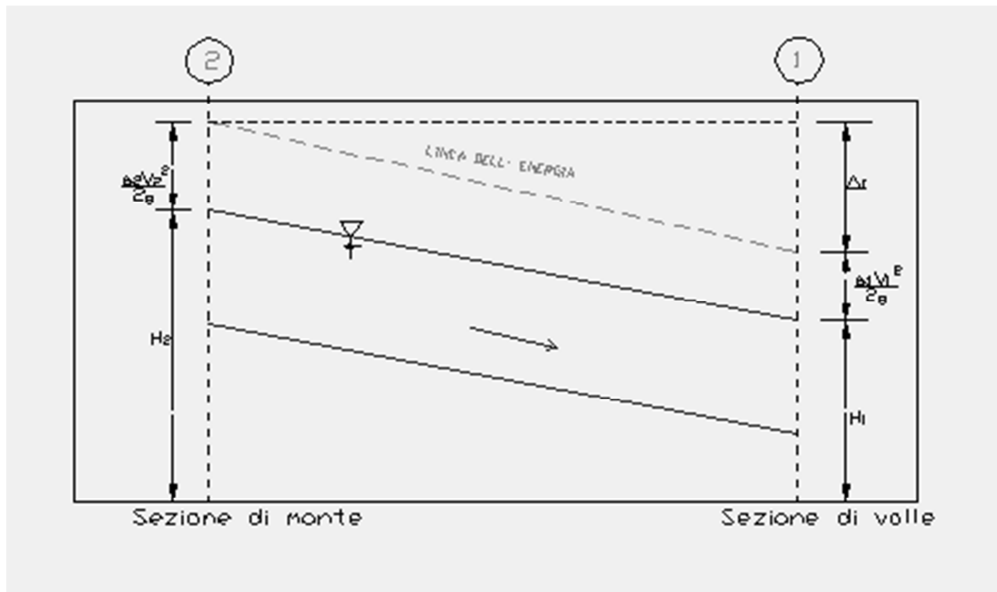


Figura 6.9: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia.

- H_1, H_2 : quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- v_1, v_2 : velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- ΔE : perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (6.2)$$

dove:

- L : lunghezza del tratto d'alveo in esame;
- J : cadente piezometrica;
- C : coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza L tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs} Q_{gs} + L_c Q_c + L_{gd} Q_{gd}}{Q_{gs} + Q_c + Q_{gd}} \quad (6.3)$$

dove:

- L_{gs}, L_{gd}, L_c : distanza percorsa dalla corrente rispettivamente in golena sinistra, destra e nel canale principale;

- Q_{gs} , Q_{gd} , Q_c : portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (6.4)$$

essendo:

- Q_1 , Q_2 : portata transitata rispettivamente alla sezione 1 e alla sezione 2;
- k_1 , k_2 : capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (6.5)$$

essendo:

- n : coefficiente di Manning;
- A : area bagnata;
- R : raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la (6.5) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguaglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3} \quad (6.6)$$

dove:

- A_t , A_{gs} , A_{gd} , A_c : rispettivamente area totale bagnata della sezione, area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;
- k_t , k_{gs} , k_{gd} , k_c : rispettivamente capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere in conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati in Tabella 6-11.

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0	0.0
Transizione graduale	0.1	0.3
Ponti	0.3	0.5
Transizioni molto brusche	0.6	0.8

Tabella 6-11: Valori tipici del coefficiente C.

La risoluzione delle equazioni (6.1) e (6.2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema.

Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso dalla (6.1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli di calcolo si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (6.1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto in corrente lenta e moto in corrente veloce e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a elevati cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata ed al manuale scientifico del codice di calcolo, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (6.7)$$

dove (vedi Figura 6.10):

- P_i : forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : forza legata agli attriti;

-
- The diagram illustrates a pipe of length L submerged in a fluid. The pipe is inclined at an angle, with its centerline at a depth Y_1 at section 1 and Y_2 at section 2. The fluid surface is at a height Z from a datum. The pipe is subjected to a pressure force P_1 at section 1 and P_2 at section 2. The weight of the pipe is W , acting at its center of gravity Y_C . The fluid pressure at section 2 is P_2 . The diagram is used to derive the equation for the manometric head H_m .

In corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni sono di seguito riportate:

- La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);
- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto; tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;
- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso di portata anche attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (cfr. *"Open Channel Hydraulics"*, V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito **"inlet control"**) o con sezione di controllo presso l'uscita (**"outlet control"**).

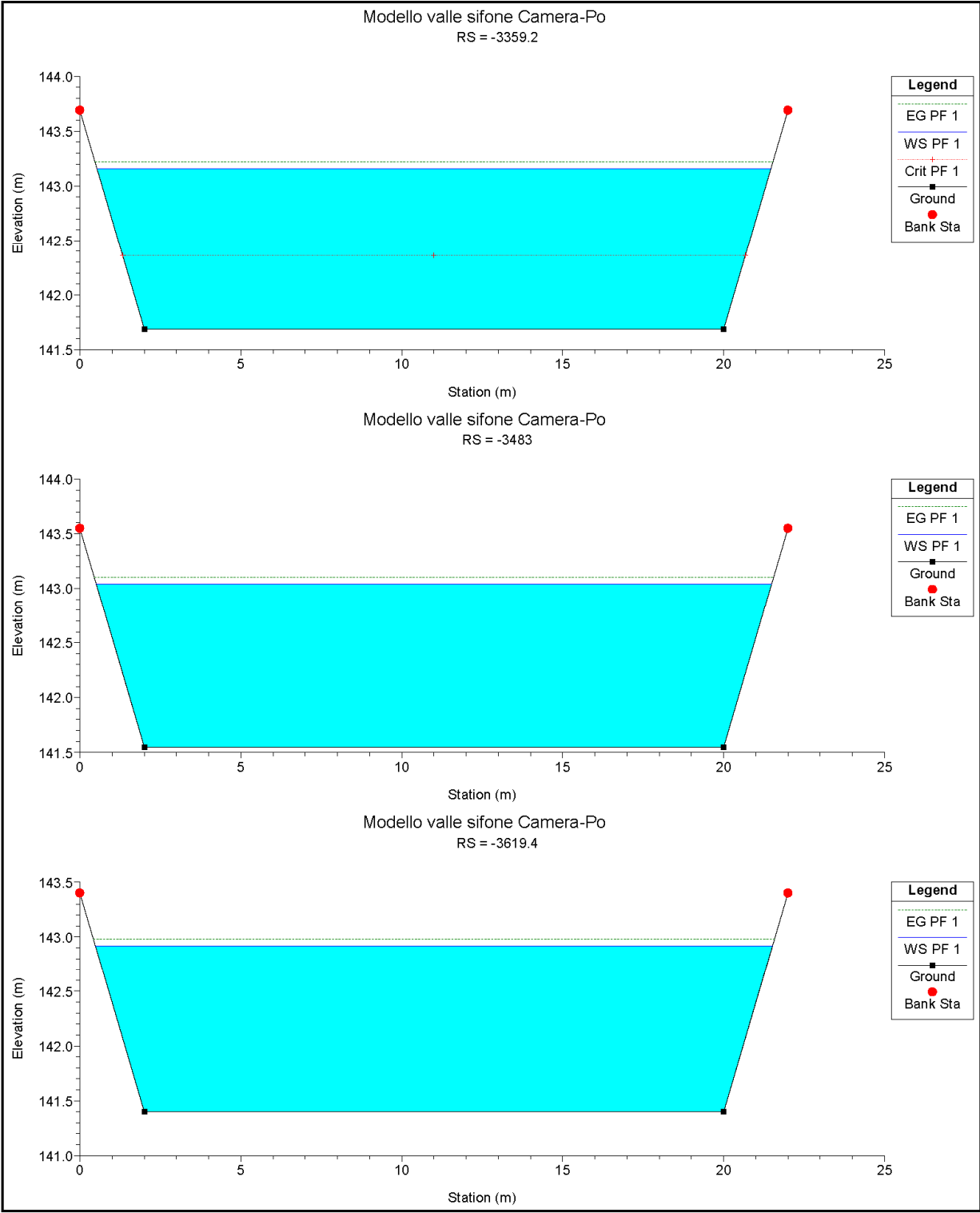
Nel caso di **"inlet control"** la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco. La scabrezza del tombino, la sua lunghezza e pendenza, le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

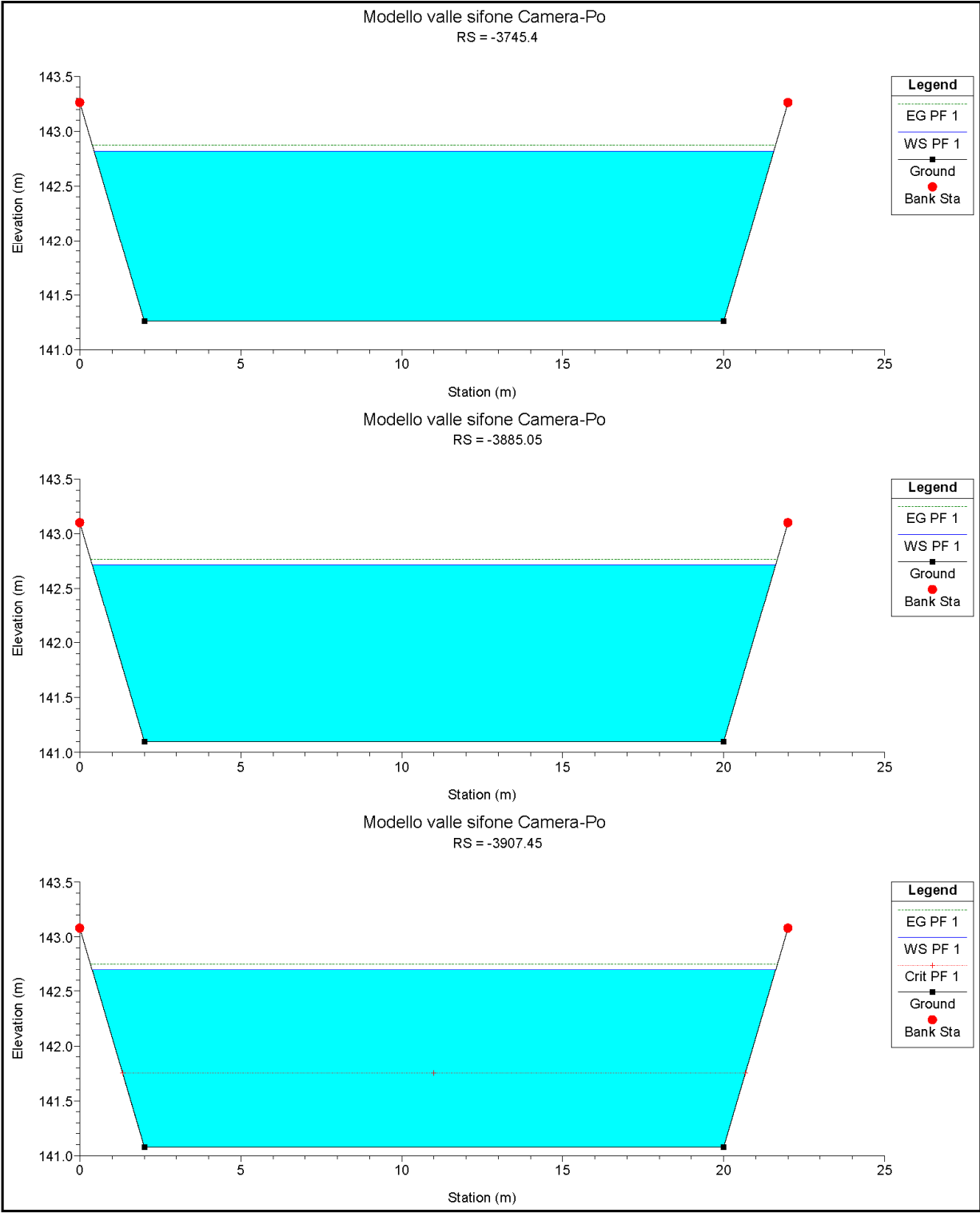
Nel caso di **"outlet control"** gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di **"inlet control"** sia quelle per i casi di **"outlet control"**. Si assume quindi che la soluzione è quella cui è associato il massimo tirante idrico.

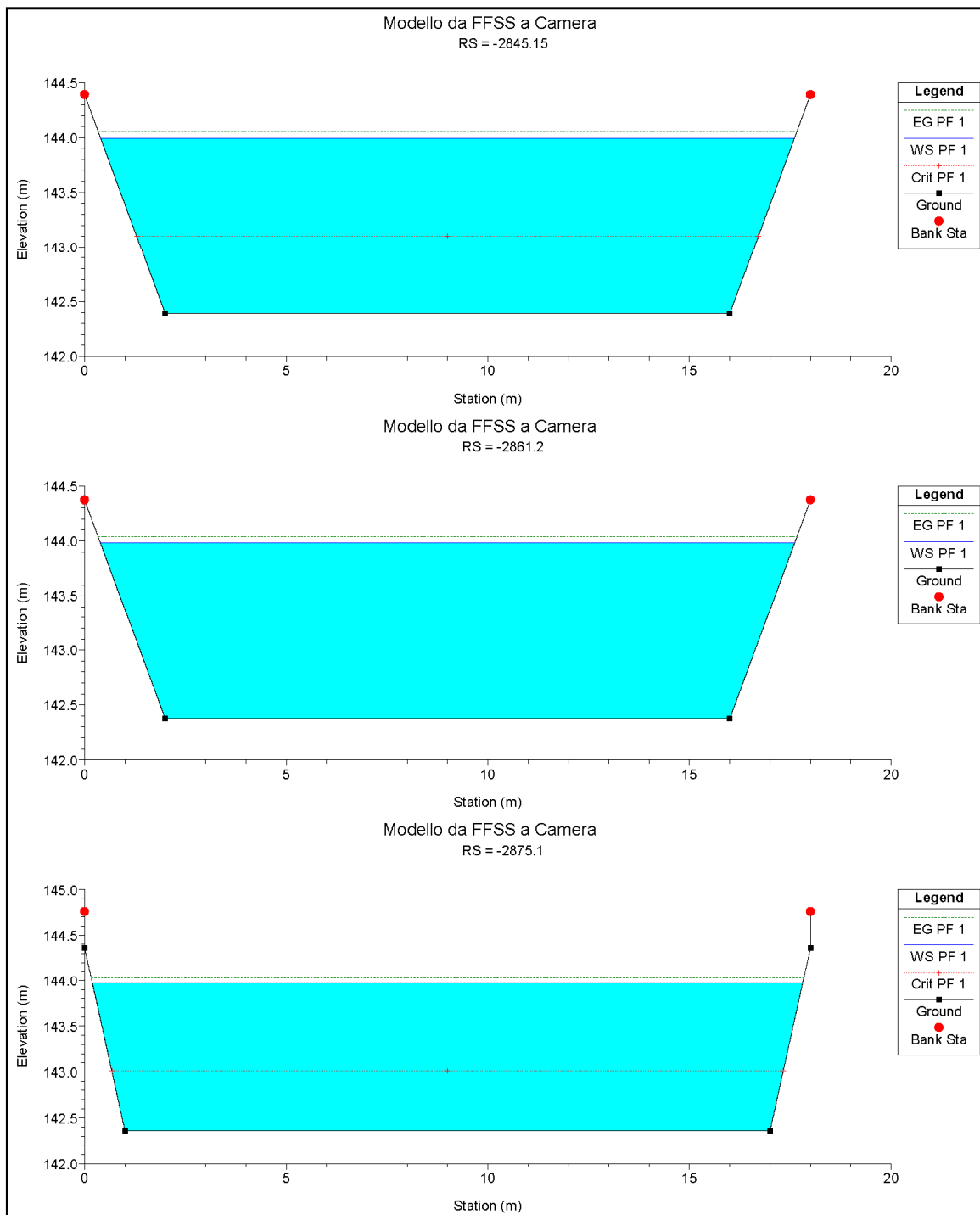
Nei casi di **"inlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di **"outlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.

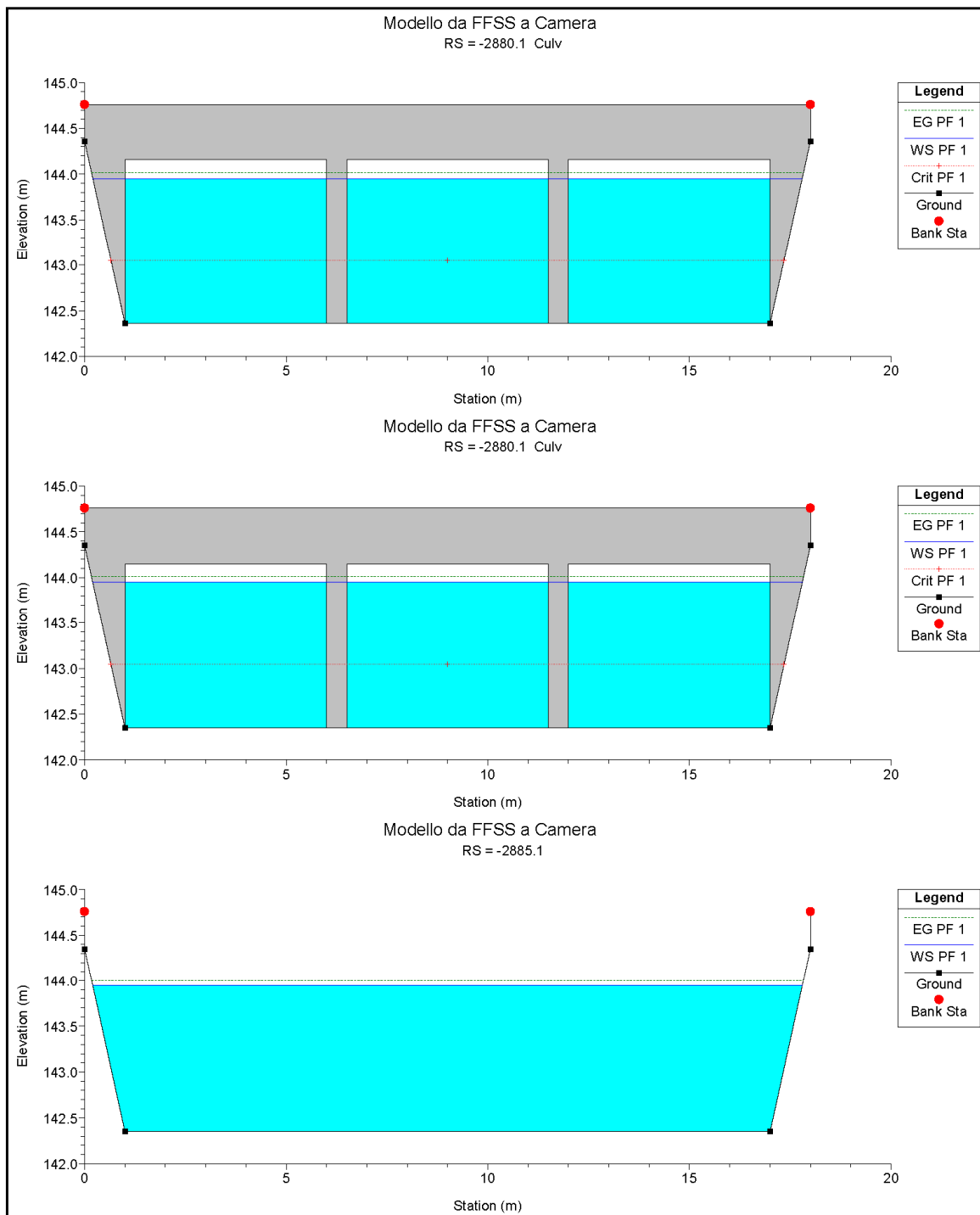
ALLEGATO 2 – Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra le rogge Camera e Reale.

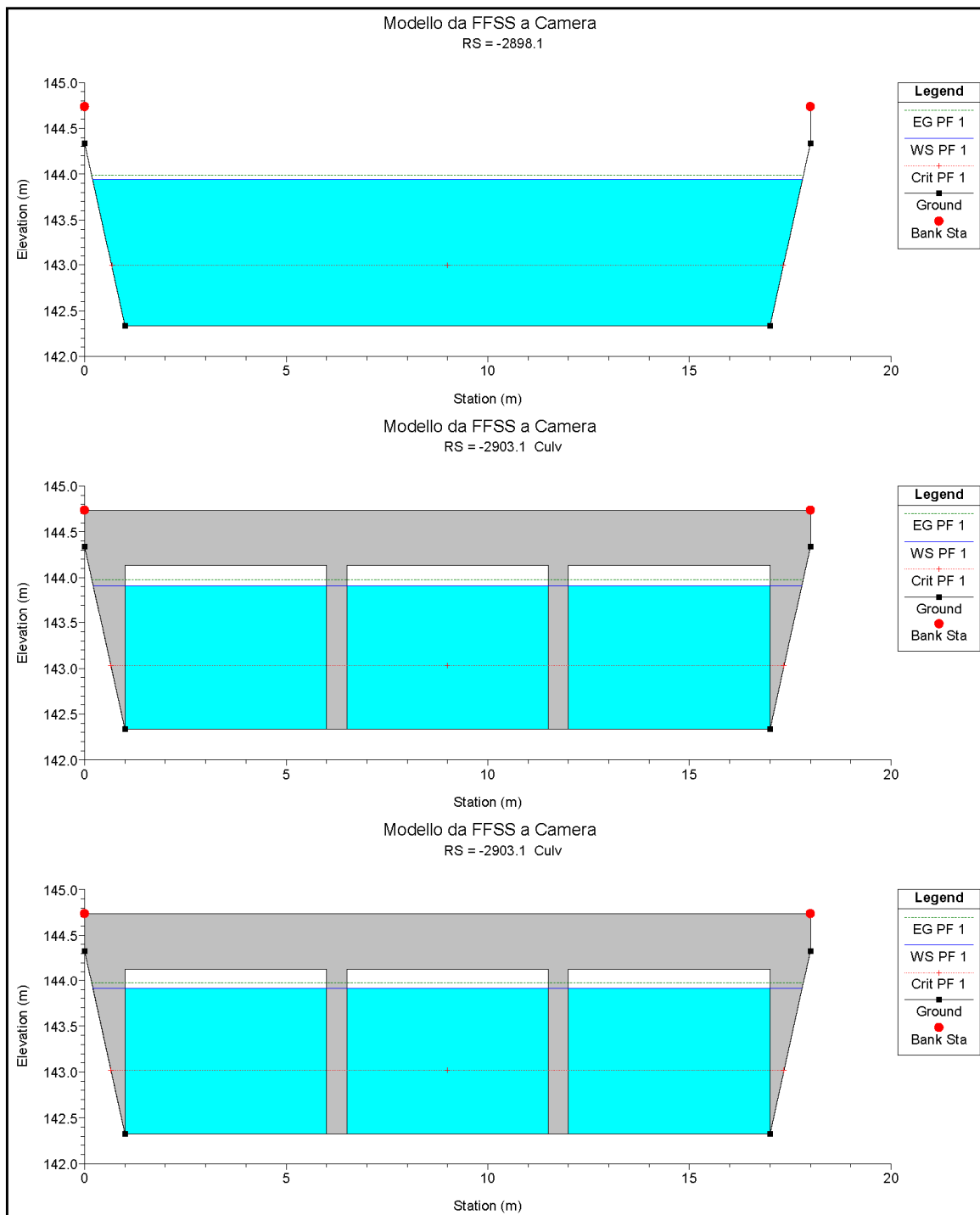


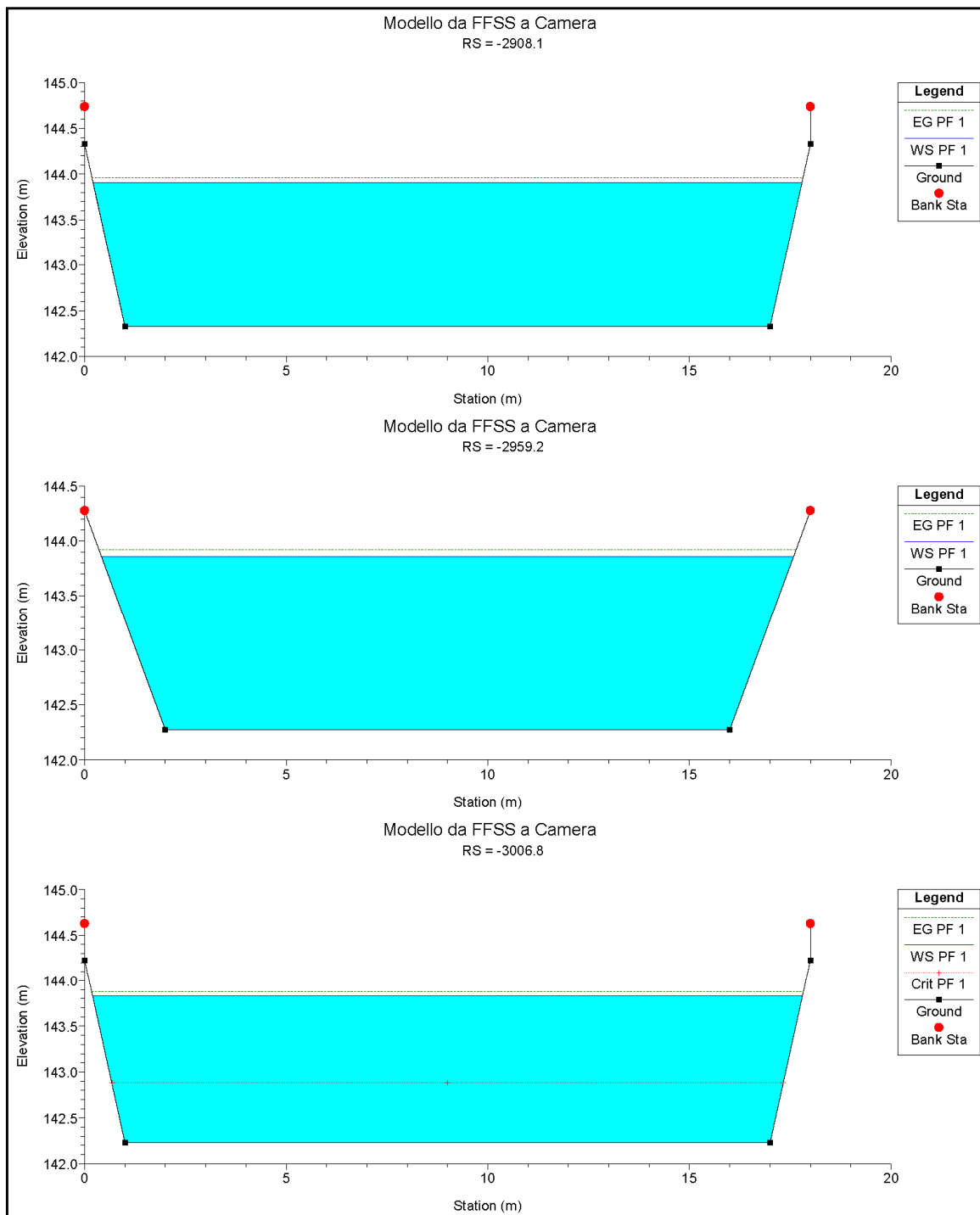


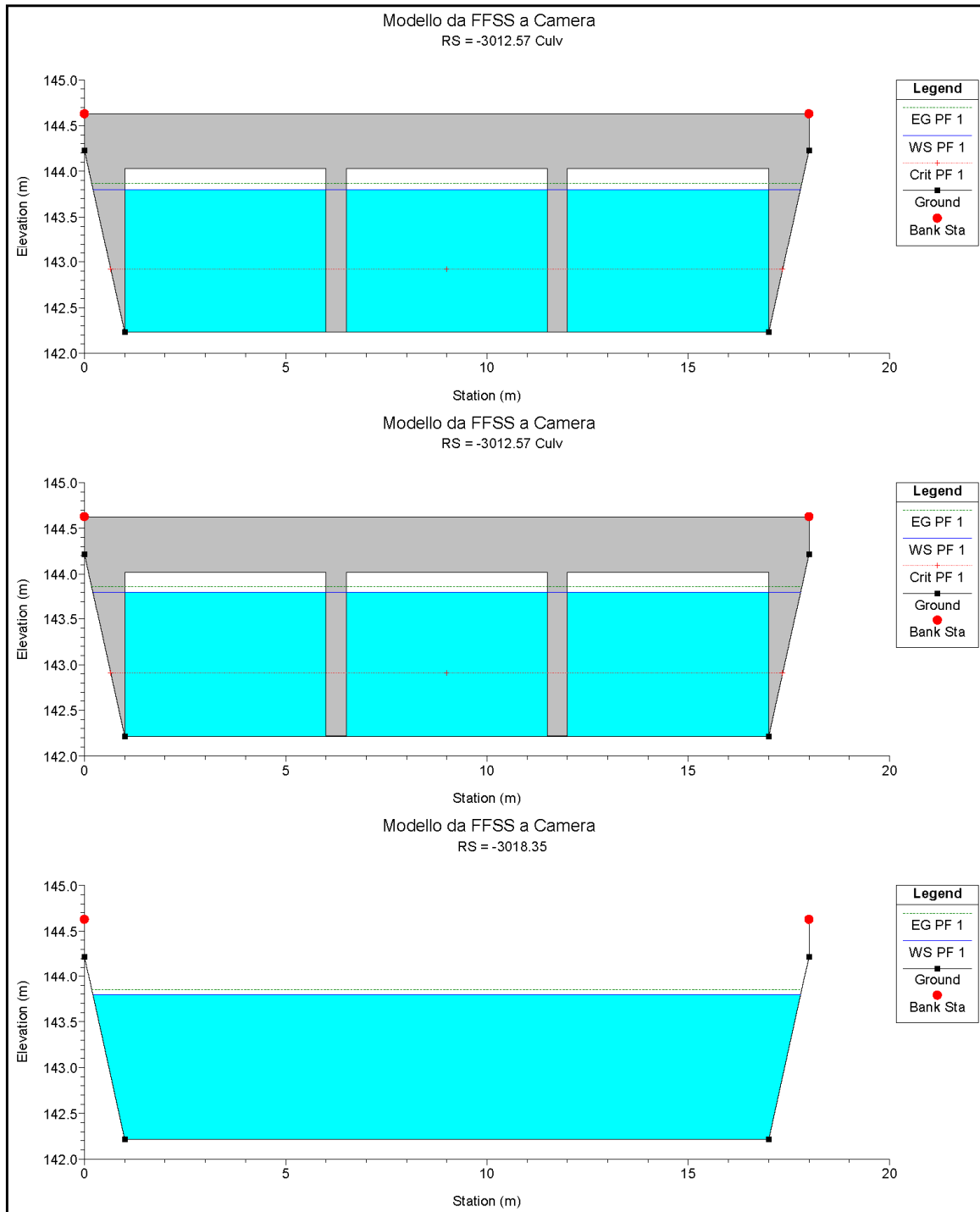
ALLEGATO 3 - Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra la Linea ferroviaria Chivasso Casale M. e la roggia Camera.

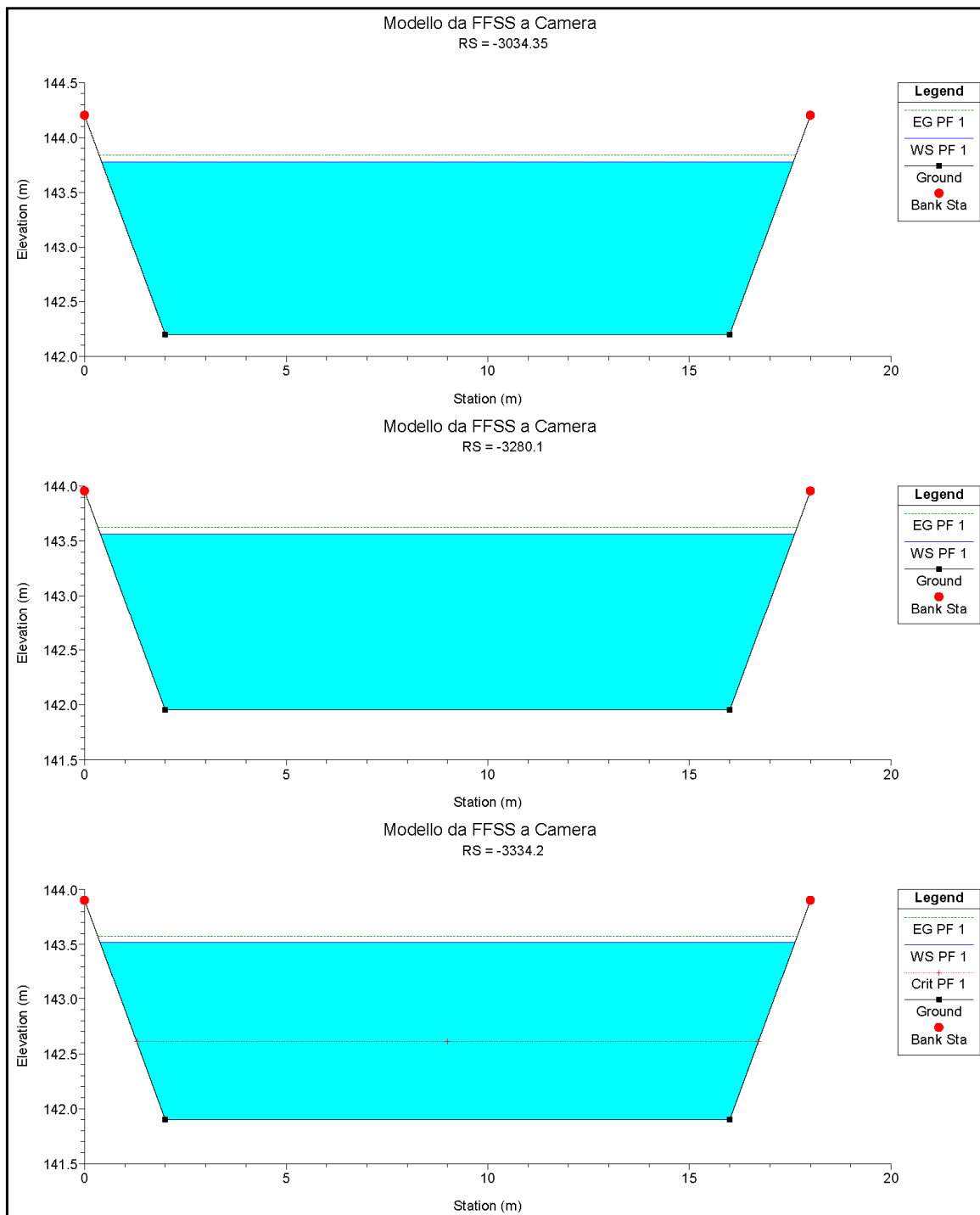












ALLEGATO 4 - Sezioni trasversali con rappresentazione dei livelli idrici per tempo di ritorno 100 anni nel tratto di scolmatore compreso tra il cavo Guaderoglio e la Linea ferroviaria Chivasso Casale M.

