

Associazione Temporanea di Imprese tra:



HY.M. STUDIO
Ingegneria idraulica



Hy.M.Studio mandataria:
via Pomba 23 - 10123 TORINO tel. 011 56 13 103, fax 011 55 92 891
e-mail: hym@hymstudio.it www.hymstudio.it

Hydrodata S.p.A. capogruppo mandataria:
via Pomba 23 - 10123 TORINO tel. 011 55 92 811, fax 011 56 20 620
e-mail: hydrodata@hydrodata.it www.hydrodata.it



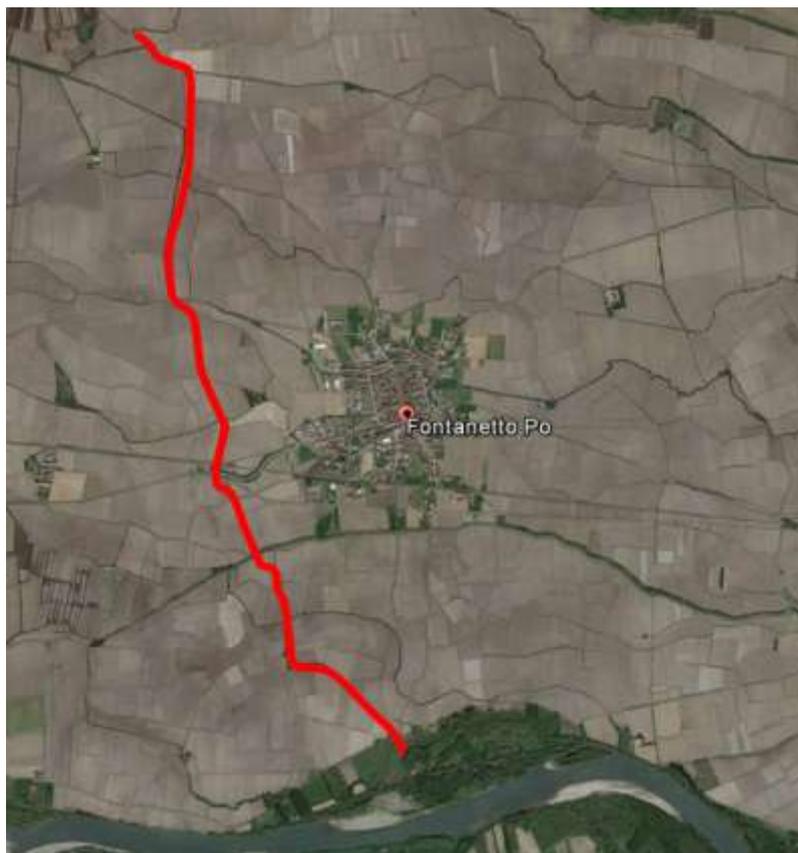
COMUNE DI FONTANETTO PO

Provincia di Vercelli



REALIZZAZIONE CANALE SCOLMATORE AD OVEST DI FONTANETTO PO

PROGETTO ESECUTIVO



Relazione idrologica

CODICE DOCUMENTO

ELABORATO

3218	-	0	9	-	0	0	3	0	1	.	DOC			3.1
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	--	--	------------

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE
01	MAR. 22	L.DUTTO	R.BERTERO	C.SOLDERA	
00	OTT. 21	L.DUTTO	R.BERTERO	C.SOLDERA	

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI CRITICA DELLO STATO DEI LUOGHI	1
2.1	Fonti utilizzate	1
2.2	Individuazione dell'area contribuente	2
2.3	Individuazione del reticolo idrografico principale	4
3.	IMPOSTAZIONE METODOLOGICA	8
3.1	Metodologie di trasformazione afflussi-deflussi	8
3.1.1	Modello afflussi-deflussi dell'invaso semplificato italiano	8
3.1.2	Metodo SCS (Soil Conservation Service) modificato	10
3.2	Analisi degli idrogrammi di portata	13
3.3	Interferenza con il fiume Po	14
4.	ANALISI IDROLOGICA	17
4.1	Delimitazione delle aree contribuenti	17
4.2	Pluviometria di riferimento	20
4.3	Calcolo delle portate di piena	21
4.3.1	Applicazione dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi	21
4.3.2	Confronto con i valori pregressi	23
4.3.2.1	Confronto dei volumi afferenti al nodo idraulico di Spinapesce	24
4.3.2.2	Confronto delle portate defluenti nella roggia Stura	27
4.3.2.3	Confronto delle portate afferenti allo scolmatore in progetto	27
4.4	Determinazione degli idrogrammi di piena	28
5.	ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI	31
5.1	Dati topografici	31
5.2	Descrizione sintetica del codice di calcolo	33
5.3	Modello di dettaglio dell'abitato di Fontanetto	34
5.4	Modello generale della rete dei canali	38
5.5	Condizioni al contorno e coefficienti di resistenza distribuiti (scabrezze)	40
6.	ANALISI IDRAULICA DELLA RETE CONSORTILE	40
6.1	Condizioni di deflusso nell'abitato di Fontanetto Po	40
6.1.1	Simulazione per lo Scenario 1	41
6.1.2	Simulazione per lo Scenario 2	47
6.2	Condizioni di deflusso nella rete consortile	54
7.	DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO	60

ALLEGATO 1 - Descrizione del modello idrodinamico

ALLEGATO 2 - Sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici nello Scenario 1

ALLEGATO 3 - Sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici nello Scenario 2

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce relazione idrologica del progetto esecutivo per la realizzazione di un canale scolmatore ad Ovest dell'abitato di Fontanetto Po.

In particolare il documento contiene la descrizione delle metodologie di analisi adottate per determinare le portate massime di piena afferenti allo scolmatore mediante la rete delle rogge irrigue principali, oltre che la capacità massima di deflusso senza esondazioni delle rogge stesse, dati alla base dell'impostazione progettuale del nuovo canale.

Il territorio in esame (piana alluvionale in sinistra Po a valle della confluenza della Dora Baltea, tra Crescentino e Trino Vercellese) è fortemente condizionato per molteplici aspetti dalla presenza di un fitto reticolo idrografico, artificiale o comunque regolato dall'uomo, in termini di livelli idrici e di regimi di portata.

L'interazione con il territorio chiaramente si esplicita con forza anche per gli aspetti relativi alla formazione e propagazione di eventi di piena: il reticolo idrografico cosiddetto "minore", che attraversa o lambisce i principali centri abitati, in relazione alla propria capacità di portata e alla propria funzione di drenaggio del territorio e collettamento delle acque, può essere responsabile di locali allagamenti nel corso di eventi idrologici intensi, anche in aree lontane dalle esondazioni dirette dei corsi d'acqua principali (Po e Dora).

D'altro canto le caratteristiche morfologiche uniche di queste aree agricole - vaste porzioni di territorio coltivate a riso, con conformazione "terrazzata" dovuta al susseguirsi delle camere di risaia attraverso le quali la portata immessa transita da un estremo all'altro degli appezzamenti, unite alla fittissima rete di colatori e canali che ridistribuiscono la portata in altre camere o alimentano i ricettori terminali - costituiscono un complesso sistema di regolazione dei deflussi che anche in condizioni di piena svolge un'importantissima funzione di "laminazione diffusa" delle portate, con formazione di "micro-invasi" che ritardano la propagazione dei contributi di piena sfasandone i colmi, ottenendo un globale effetto di riduzione delle portate massime.

A questo effetto si somma un elemento di pari importanza qual è la gestione delle portate da parte dei tecnici del Consorzio, in grado di spostare anche ingenti volumi d'acqua da una roggia all'altra grazie alle regolazioni operate sui numerosi manufatti posti a presidio del territorio.

Per le peculiarità specifiche dell'area in esame l'analisi idrologica non può quindi prescindere da una ricostruzione sul territorio delle aree contribuenti (drenate) da ciascuna roggia e da un'analisi idraulica del reticolo nel suo complesso, funzionale a valutare le modalità di formazione degli idrogrammi di piena e la loro propagazione/sovrapposizione lungo i canali. Per le finalità dello studio idrologico è stato pertanto necessario allestire una modellistica numerica a grande scala, con schema monodimensionale.

2. ANALISI CRITICA DELLO STATO DEI LUOGHI

2.1 Fonti utilizzate

La ricostruzione del reticolo idrografico principale all'interno della fitta rete di canali irrigui che caratterizza l'area oggetto di studio è stata effettuata sulla base dell'analisi delle foto aeree, di consultazione di documentazione ufficiale, di sopralluoghi in sito e mediante confronto diretto con i rappresentanti dei Consorzi Irrigui operanti

nell'area di interesse (Consorzio Irriguo di Crescentino, Consorzio Ovest Sesia e Consorzio Irriguo di Fontanetto Po).

Per quanto concerne la documentazione ufficiale è stato fatto riferimento principalmente a quanto segue:

- Comune di Crescentino, "Piano Regolatore Generale – Variante Strutturale n. 3", 2014;
- Comune di Palazzolo Vercellese, "Piano Regolatore Generale Comunale", 2014;
- Comune di Livorno Ferraris, "Piano Regolatore Generale Comunale – Variante generale", 2015;
- Consorzio Di Irrigazione e Bonifica Ovest Sesia Baraggia, "Nodo critico di Trino - Studio preliminare per una serie di interventi da realizzarsi sulla rete idrografica minore finalizzati allo smaltimento delle piene in condizioni di criticità nell'area in sinistra Po da Crescentino a Morano", Steci S.r.l., 2003;
- Associazione D'Irrigazione Ovest Sesia, "Evento alluvionale 2000, Programma Stralcio Piani Generali di Ricostruzione O.M. 3090/2000 – Primo Lotto – Tratto di manufatto scolmatore Canale Magrelli a restituzione in Po", Steci S.r.l., aprile 2014.
- Comune di Fontanetto Po, "Realizzazione canale scolmatore ad Ovest di Fontanetto Po – Studio di Fattibilità", 2014;
- E.ON, "Centrale a ciclo combinato da 800 MW alimentata a gas naturale di Livorno Ferraris (VC) – Piano di monitoraggio dei corpi idrici superficiali e sotterranei", Hydrodata S.p.A., 2005.

2.2 Individuazione dell'area contribuyente

La pianura ricompresa tra il Po, il Canale Cavour ed il rilievo che muove da Livorno Ferraris fino a Trino Vercellese costituisce una sorta di "imbuto" nel quale i corpi idrici con giacitura Ovest-Est si diramano nel territorio per poi ricongiungersi in corrispondenza di Trino, zona critica anche in ragione della maggiore vulnerabilità rispetto alle alluvioni di Po. Quest'ultima si esplicita anche nell'impossibilità di scaricare per gravità in Po in presenza di livelli di piena elevati, con necessità di sollevamento e conseguente effetto di rigurgito, con riverberi a monte (allagamenti e minore capacità di smaltimento dello scolmatore della Roggia Stura e del Roggione di Palazzolo).

Le rogge che si sviluppano nel territorio servito dallo scolmatore in progetto confluiscono tutte nell'importante nodo idraulico di Spinapesce, ove afferisce anche il canale Magrelli, che origina dal Naviglietto di Saluggia e delimita a Ovest il comprensorio.

L'area che contribuisce alla formazione delle piene sulle rogge di interesse per il presente progetto è ubicata a sud del Canale Cavour e del Canale Del Rotto (che assume poi il nome di Naviglietto di Saluggia ed infine di Canale Lamporasso, e delimita a Nord l'area contribuyente per la porzione di territorio in esame) nella zona dei comuni di Crescentino, Lamporo, Livorno Ferraris, Fontanetto Po (Figura 1).

Per quanto concerne l'area a valle dello scolmatore in progetto, vengono interessati i comuni di Palazzolo Vercellese e Trino.

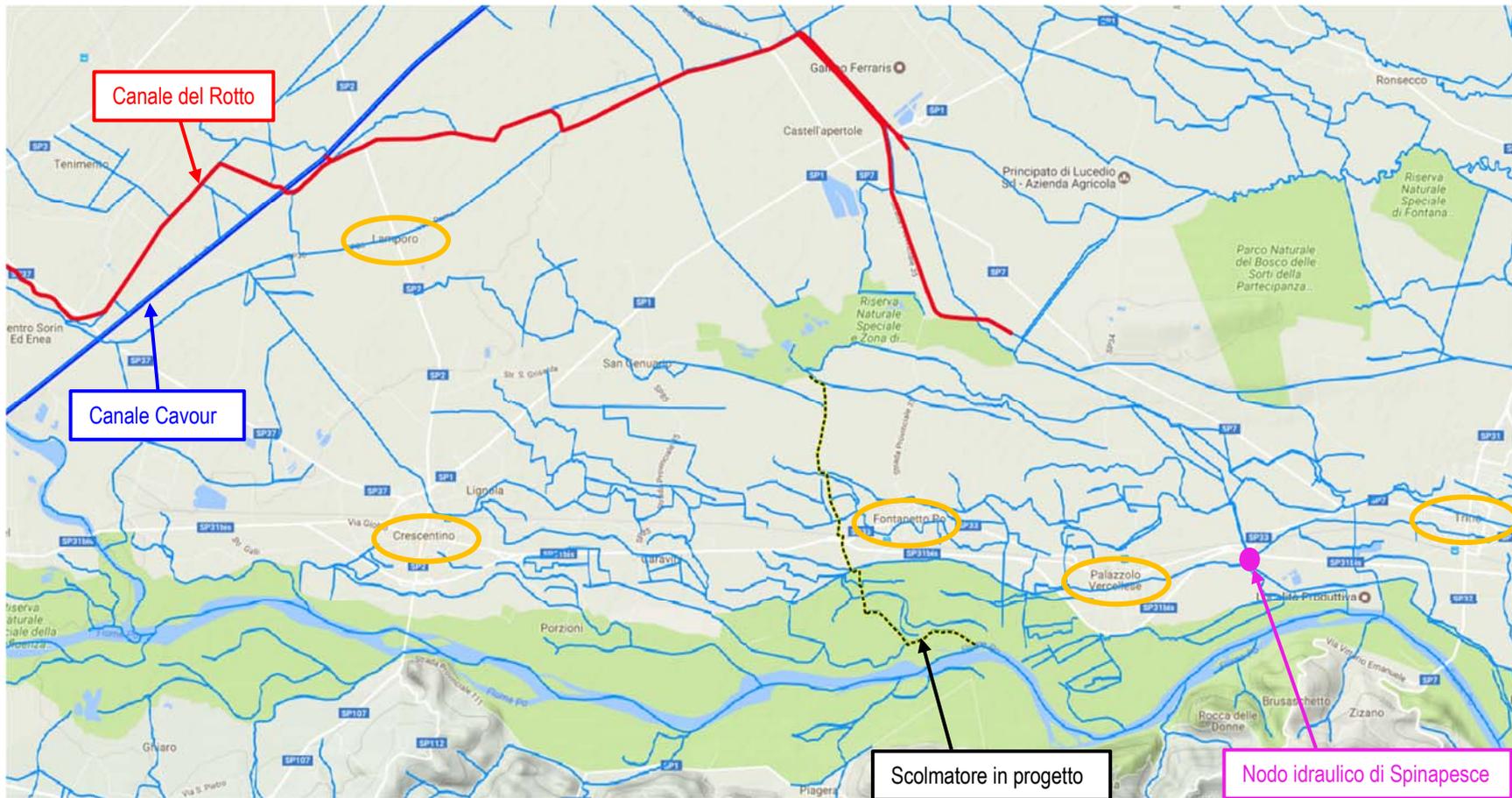


Figura 1 - Individuazione dell'area di interesse.

2.3 Individuazione del reticolo idrografico principale

Lo schema del reticolo idrografico principale ricostruito dal Canale Cavour sino al nodo di Spinapesce (a monte dell'abitato di Trino) è riportato nella figura alla pagina successiva.

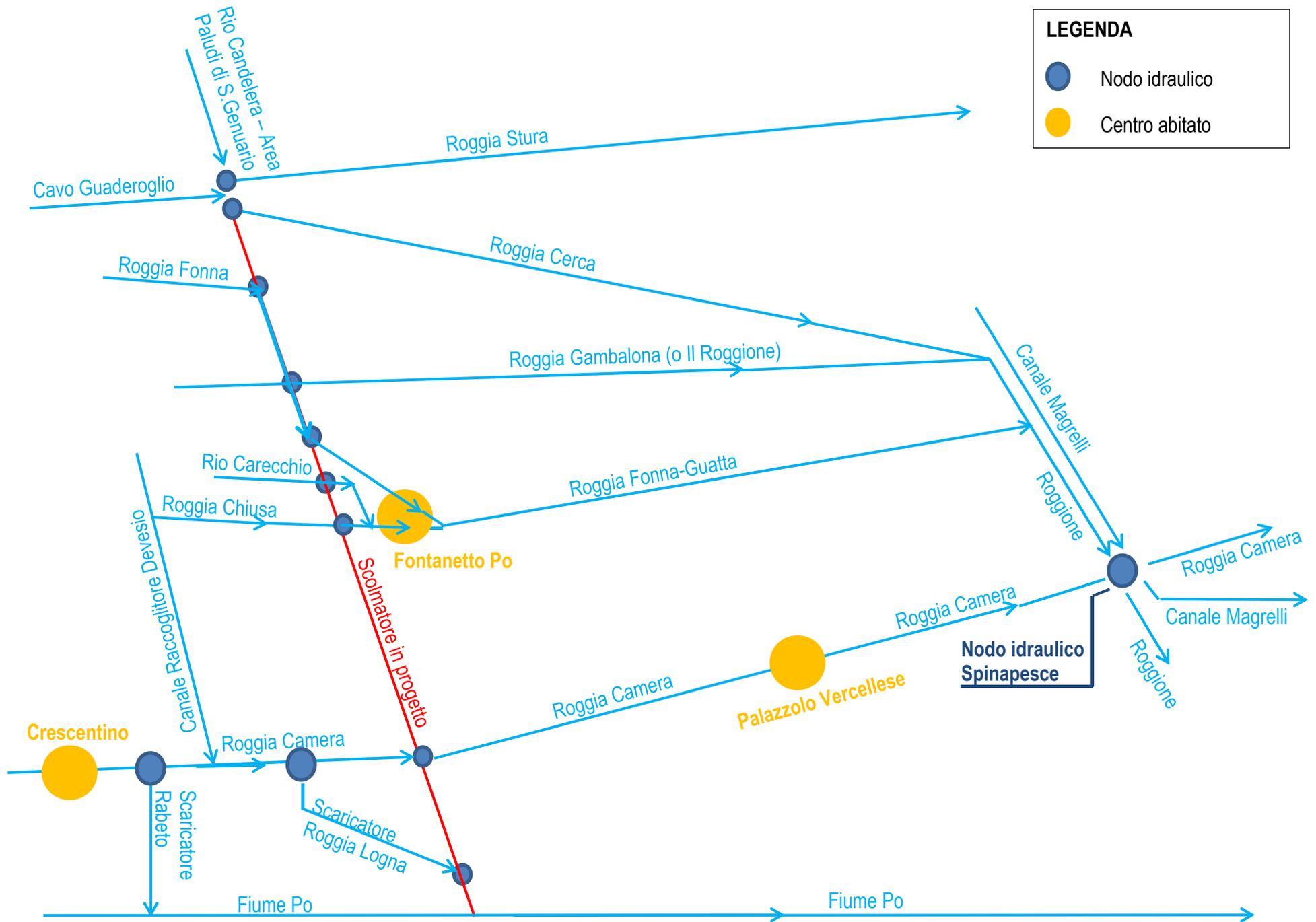
Nell'area in esame, il reticolo idrografico minore è rappresentato in misura prevalente da rogge e canali destinati all'uso irriguo. Attraverso un processo di progressiva strutturazione ed espansione, la rete irrigua ha modificato e si è successivamente sovrapposta sull'idrografia naturale preesistente. Rii e torrenti che drenavano originariamente questo settore, affluenti di sinistra del Fiume Po, sono ora parzialmente o totalmente regolamentati in modo artificiale e presentano quasi sempre un alveo a morfologia mista, in parte naturale in parte rettificata, del tutto simile a quella degli stessi canali artificiali. Questi canali interagiscono con il territorio interferendo con i centri abitati.

Le caratteristiche morfologiche delle aree agricole (vaste porzioni di territorio coltivate a risaia), unite alla fittissima rete di colatori e canali che alimentano i ricettori terminali, costituiscono un naturale sistema di regolazione dei deflussi, il cui contributo, unito all'efficienza delle opere idrauliche che regolano le portate e gli scambi di portata tra i canali, si manifesta con un generale effetto di laminazione delle portate di piena mediante un comportamento d'insieme di vaso (tranne nella stagione irrigua in cui i terreni sono già allagati per la coltivazione del riso).

La rete irrigua è strutturata gerarchicamente, con suddivisione a livello regionale in canali principali alimentatori (o di 1° ordine) che derivano acque dal Po e dalla Dora Baltea, da cui si originano canali secondari (o di 2° ordine) che possono essere sia alimentatori sia scolatori. Esistono poi canali minori di livello gerarchico inferiore, da quelli derivati dai canali di 2° ordine fino ai canali interpoderali: questi ultimi delimitano i vari appezzamenti agricoli e sono utilizzati solo nei periodi di irrigazione.

I canali principali che costituiscono l'ossatura del sistema irriguo nel comprensorio di Fontanetto Po sono, da Nord verso Sud: Roggia Stura, Roggia Cerca, Canale Guaderoglio, Roggia Fonna-Guatta, Roggia Chiusa, Roggia Camera e Roggia Logna.

A questi canali fa capo l'intero sistema irriguo e, attualmente, anche il sistema di salvaguardia dal rischio idraulico.



LEGENDA

- Nodo idraulico
- Centro abitato

La Roggia Camera origina¹ in Comune di Saluggia dal Canale Depretis, naturale proseguimento del Canale del Rotto (anch'esso gestito da AIOS – Associazione Irrigua Ovest Sesia) che, a sua volta, deriva direttamente dalla Dora Baltea. Essa giunge nel territorio di Crescentino dapprima costeggiando il confine comunale con Saluggia con andamento SW-NE per poi, in prossimità del Ponte Bocchetto, dirigersi verso il concentrico con andamento NW-SE, proseguendo quindi per Fontanetto Po con decorso W-E, lambisce le frazioni di San Silvestro e Caravini.

A valle dell'abitato di Crescentino le sue acque vengono ripartite una prima volta attraverso lo Scolmatore di Rabeto, denominato anche Roggia Garavella, che le recapita nella Doretta Morta e successivamente in Po. Tale scolmatore permette il deflusso, in condizioni ordinarie, di 6 m³/s. Al confine con Fontanetto Po un ulteriore elemento, la Roggia Logna, consente di scolmare una portata di 2 m³/s con restituzione diretta nel F.Po. Da Fontanetto Po la Roggia Camera attraversa Palazzolo Vercellese e Trino oltrepassando il nodo idraulico di Spinapesce e decorrendo parallelamente al Po.

Da indicazioni dei Consorzi Irrigui, in caso di piena le paratoie di regolazione della Roggia Camera a monte del Canale Cavour vengono mantenute chiuse, pertanto l'area a monte del canale Cavour non concorre alla formazione del colmo di piena nell'area di interesse.

Il Canale Raccogliore Devesio¹ deriva acque pubbliche, risorgive, fontanili, ed è gestito dall'AIOS unicamente per il tratto compreso a Nord della frazione Monticelli. In comune di Crescentino assume andamento N-S per il primo tratto fino a Sud della Frazione Ferreri, quindi prosegue fino a Cascina Devesio con decorso W-E e infine segna il confine comunale con Fontanetto Po per poi confluire nella Roggia Camera. Il suo decorso è regolamentato e mantenuto, ma non ha alcuna struttura di regimazione all'imbocco.

In corrispondenza del confine comunale subito a Sud della Cascina Devesio, dal canale omonimo mediante un sistema di paratoie si origina la Roggia Chiusa, che attraversa l'abitato di Fontanetto Po dopo aver ricevuto anche il contributo del rio Carecchio, piccolo affluente che si sviluppa a Sud-Est della Cascina Devesio. Da indicazioni del Consorzio Irriguo di Fontanetto Po, in caso di piena la portata in arrivo dal Canale Raccogliore viene ripartita all'incirca a metà tra il Canale stesso e la Roggia Chiusa.

Nell'abitato di Fontanetto scorre anche la Roggia Fonna, importante roggia che raccoglie i contributi di un'ampia area che, a valle del Canale Cavour, interessa gli abitati di Lamporo e San Genuario. Nei pressi della Cascina Cesiola Vecchia sono presenti alcuni nodi di regolazione tra tale roggia e il Canale Devesio.

L'alveo della Fonna verrà a coincidere per un tratto di circa 1 km con il tracciato dello scolmatore: subito a monte del nodo con il rio Carecchio la roggia Fonna curva di circa 90° rispetto al tracciato dello scolmatore in progetto e attraversa l'abitato di Fontanetto, a valle del quale assume il nome di Roggia Fonna-Guatta e riceve i contributi della Roggia Chiusa (e del rio Carecchio che vi confluisce).

Il percorso della roggia prosegue poi verso Est sino alla confluenza nella Roggia Gambalona (o Il Roggione). Si tratta di un importante canale che ha origine ad est dell'abitato di San Genuario e che allo stato attuale sottopassa la Roggia Fonna nel tratto che andrà a coincidere con il tracciato dello scolmatore in progetto.

¹ Comune di Crescentino, "Piano Regolatore Generale – Variante Strutturale n. 3", 2014.

A valle della Fonna la Roggia Gambalona (Roggione) prosegue in direzione Est scorrendo a Nord di Fontanetto Po. Nel suo percorso riceve i contributi della Roggia Cerca, della Roggia Fonna Guatta ed infine confluisce nel nodo di Spinapesce.

La Roggia Cerca ha origine nella sezione in cui è previsto l'imbocco del canale scolmatore. Il suo tracciato, di lunghezza pari a circa 6 km, si sviluppa in direzione Sud-Est sino alla confluenza nel Roggione.

In corrispondenza dell'imbocco della Roggia Cerca si ha la confluenza con il Cavo Guaderoglio. Si tratta di un canale che ha origine subito ad Est dell'abitato di San Genuario e che viene alimentato anche da un fontanile. In condizioni ordinarie la portata non confluisce nella Roggia Cerca, ma defluisce verso Nord e va ad alimentare la Roggia Stura.

Quest'ultima è una importante Roggia, regolata all'imbocco mediante due paratoie ed uno scolmatore, che scorre verso Est dopo aver ricevuto parte dei contributi del rio Candelera e del reticolo secondario che caratterizza l'area delle Paludi di San Genuario, per poi attraversare l'abitato di Trino.

Lo scolmatore in progetto intercetterà il corso delle seguenti rogge (elencate da Sud verso Nord) riducendone o annullandone completamente la portata defluente a valle:

- Roggia Logna;
- Roggia Camera;
- Roggia Chiusa;
- Roggia Fonna;
- Roggia Gambalona;
- Roggia Cerca;

e riceverà inoltre nella parte di testata una quota parte (al netto della portata rilasciata in alveo alla roggia Cerca) della portata afferente dall'area delle Paludi San Genuario (rivone Candelera) e del Cavo Guaderoglio. Altri canali significativi interferiti ma non derivati dallo scolmatore sono il rio Carecchio e la roggia Reale.

3. IMPOSTAZIONE METODOLOGICA

3.1 Metodologie di trasformazione afflussi-deflussi

La determinazione delle portate di piena di progetto per ciascuna area contribuente è stata effettuata mediante applicazione di due modelli di trasformazione afflussi-deflussi di tipo concettuale al set di parametri di pioggia critica di progetto, nell'assunzione che ad eventi di precipitazione associati a determinati tempi di ritorno corrispondano eventi di piena caratterizzati dalla medesima probabilità di occorrenza.

Tale approccio è reso necessario dall'assenza di misure di portate di piena nell'area in esame che possano fornire elementi più diretti per la stima dei valori di riferimento.

3.1.1 Modello afflussi-deflussi dell'invaso semplificato italiano

Per descrivere correttamente le dinamiche di trasformazione afflussi-deflussi di bacini che si presentano come piccole aree drenate di modesta pendenza, senza una chiara struttura di reticolo idrografico superficiale, è stato

applicato il metodo dell'invaso semplificato italiano utilizzando il software Hydren², sviluppato da Hydrodata.

Poiché la zona in esame risulta quasi interamente occupata da risaie, il volume che può essere "immagazzinato" sul terreno non può essere trascurato e può avere un importante effetto nella riduzione del colmo di piena. Al fine di considerare adeguatamente tale capacità di invaso è stato applicato il metodo dell'invaso semplificato italiano e non il metodo dell'invaso lineare, che utilizza la costante di invaso K per esprimere l'effetto combinato di tutti i fattori che determinano il complesso fenomeno della formazione della piena nel bacino. Tale parametro risulta infatti indipendente dalla capacità di invaso propria del generico bacino, pertanto l'utilizzo di tale metodologia può portare, in un contesto come quello in esame, ad una sovrastima del valore al colmo.

Il metodo italiano dell'invaso lineare, originariamente concepito da Paladini (1901) e Fantoli³ (1904) come metodo di verifica, fu trasformato in metodo di progetto in particolare da Puppini⁴ (1932) e Supino⁵ (1933), che determinarono la durata della pioggia critica e il valore della corrispondente portata in funzione di alcune caratteristiche del bacino, della rete e della curva di possibilità pluviometrica, ben prima che nella bibliografia internazionale apparisse il metodo dell'invaso lineare (IUH).

Il metodo assume lineare il legame tra il volume complessivamente invasato W(t) e la portata Q(t) contemporaneamente defluente nella sezione in esame; la portata al colmo viene stimata in funzione del volume immagazzinato nel sistema bacino-rete.

Riconducendoci al metodo generale dell'invaso lineare, assumendo $K = Q / W_M$, dove Q e W_M rappresentano rispettivamente la portata massima e il volume di invaso massimo, l'equazione di massima piena usata nel metodo dell'invaso lineare, ovvero $Q[m^3 / s] = \varphi \cdot \frac{I(t_p) \cdot S}{360} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_p}{K}}\right)$, può essere riscritta, adottando una

curva di possibilità pluviometrica monomia di parametri (a, n) e imponendo che il valore di Q sia massimo come:

$$Q = n \cdot (\varphi \cdot a \cdot S)^{\frac{1}{n}} \cdot W_M^{\frac{n-1}{n}} \cdot f(n),$$

dove $f(n)$ è una funzione che dipende solo da n.

In particolare $f(n)$ risulta poco variabile con n (per valori di n compresi tra 0,3 e 0,6 essa assume valori variabili tra 0,78 e 0,84). Assumendo quindi cautelativamente per $f(n)$ un valore costante pari a 0,78, la relazione precedente può essere scritta come:

$$Q[m^3 / s] = \frac{u \cdot S}{1000},$$

con S in [ha], dove u [l/s/ha] è il coefficiente udometrico, definito come:

$$u = 2168 \cdot \frac{n \cdot (\varphi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{w^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}},$$

dove il parametro a va inserito in [m/hⁿ].

² HYDRODATA S.p.A. (2010). *HYDren – Software per il dimensionamento di reti di drenaggio delle acque di pioggia*, Torino.

³ Fantoli, G. (1904). *Le acque di piena nelle reti delle fognature di Milano* – Comune di Milano: relazione della commissione Cipolletti, Fantoli, Soldati.

⁴ Puppini, U. (1932). *Coefficienti udometrici per generica scala di deflusso* – L'Ingegnere.

⁵ Supino, G. (1933). *Coefficienti udometrici per canali di fognatura* – Ricerche di Ingegneria.

Il parametro w [m^3/m^2] rappresenta il volume di invaso specifico, ovvero $w = W_M/S$.

Il volume di invaso massimo W_M può essere determinato come somma dei seguenti fattori:

$$W_M = w_0 \cdot S + W_P + \sum_i W_i,$$

dove:

w_0 è il volume dei piccoli invasi, ovvero un volume di invaso distribuito sulla superficie contribuyente;

W_P è il volume di invaso proprio, immagazzinato all'interno del ramo in esame;

W_i è il volume invasato nell' i -esimo tratto a monte di quello in esame.

Noto W_M , la portata può essere determinata mediante le equazioni sopra riportate; poiché però il volume di invaso proprio dipende dal livello idrico nel collettore in esame, e quindi dalla portata in esso defluente, occorre procedere per via iterativa fino a convergenza.

Nel caso in esame il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a $\phi = 0,5$, mentre il volume dei piccoli invasi è stato posto pari a **5 cm**. Si considera infatti cautelativamente che l'evento di piena di progetto avvenga nel corso della stagione irrigua, con camere di risaia già piene. Il valore indicato rappresenta l'incremento di invaso dovuto all'attivazione degli sfiori di comunicazione tra le varie camere, definito anche in questo caso in via cautelativa, in quanto gli arginelli perimetrali consentono in genere sovralti di livello significativamente superiori.

I valori definiti sono stati considerati omogenei per tutta l'estensione delle aree contribuenti, inglobando anche le viabilità e le aree urbanizzate; in ragione delle ipotesi cautelative sopra descritte i parametri idrologici adottati appaiono rappresentativi delle caratteristiche medie del territorio in esame.

La pendenza media rappresentativa delle aree contribuenti è pari a 0,5‰.

3.1.2 Metodo SCS (Soil Conservation Service) modificato

Il metodo di derivazione empirica del Soil Conservation Service, modificato per tenere conto dell'effetto di invaso, calcola il valore al colmo della portata come:

$$Q_c = 0,28 \cdot \frac{R_0 \cdot A \cdot c_L}{t_p} \quad (m^3/s)$$

dove:

R_0 = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm);

A = superficie del bacino (km^2);

t_p = tempo di crescita dell'onda di piena (ore);

c_L = coefficiente di laminazione, che tiene conto del volume invasato nel bacino.

Il tempo di crescita dell'onda di piena t_p è funzione del tempo di ritardo (lag) t_L calcolato mediante la formula di Mockus:

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}$$
$$t_p = 1,111 \cdot t_L$$

Il coefficiente di laminazione c_L , introdotto da chi scrive per ottenere una migliore rappresentatività della formula alle caratteristiche idrologiche del territorio in esame, è stato invece definito come:

$$c_L = 1 - \frac{V_L}{V_P}$$

dove V_P è il volume di piena corrispondente alla portata Q_c calcolata senza l'applicazione del c_L e V_L è il volume laminato dal bacino, calcolato, analogamente a quanto effettuato per il metodo italiano dell'invaso, considerando un'altezza d'acqua di 5 cm invasata sull'intera superficie contribuyente.

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del volume netto di pioggia per unità di superficie R_0 :

$$R_0 = \frac{(h_r - 0,2 \cdot S)^2}{h_r + 0,8 \cdot S} \text{ (mm)}$$

dove

h_r = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);

S = valore massimo dell'invaso per infiltrazione (mm).

L'altezza di pioggia ragguagliata è calcolata come $h_r = h \cdot r$. Ai valori di altezza di pioggia critica h [mm], ottenuti in funzione delle curve di possibilità climatica di progetto, è stato applicato un coefficiente di ragguaglio areale che tiene conto della non uniformità della precipitazione sull'intera superficie dei bacini in esame, utilizzando le espressioni sotto riportate ⁽¹⁾:

$$r = 1 - (0,0394 \cdot A^{0,354}) d^{(-0,40 + 0,0208 \cdot \ln(4,6 - \ln(A)))} \text{ se } S < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 \cdot A^{0,354}) d^{(-0,40 + 0,003832 \cdot (4,6 - \ln(A)))} \text{ se } S > 20 \text{ km}^2$$

con

A = area del bacino in km^2 ;

d = durata dell'evento di pioggia.

Tale coefficiente è stato inserito per introdurre una correzione forfettaria alla sovrastima che si introduce nella somma degli idrogrammi di piena dei vari bacini contribuenti.

Il parametro S rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, la cui espressione risulta:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \cdot 25,4$$

CN è il "Runoff Curve Number", coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture).

Il valore di CN si ricava normalmente con riferimento ai dati riportati nella Tabella 1 assegnando le seguenti condizioni: classe di appartenenza del suolo, tipo di copertura, destinazione d'uso del suolo e condizioni idrologiche.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.

⁽¹⁾ Flood Studies Report (Wallingford Institute, UK - 1977).

- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

La classificazione del tipo di copertura del complesso è condotta attraverso la stima di 3 fattori: la destinazione d'uso del suolo, il tipo di utilizzo e la condizione idrologica del suolo. Essi sono riassunti nella Tabella 1. Il contenuto d'acqua del suolo in condizioni naturali ha un effetto significativo sia sul volume d'acqua in gioco sia sul deflusso superficiale. Sono distinte tre condizioni:

- Condizione I: suoli asciutti.
- Condizione II: suoli in condizioni medie.
- Condizione III: suoli saturi.

Per analogia con quanto effettuato nel documento, citato al capitolo 2.1, "Nodo critico di Trino - Studio preliminare per una serie di interventi da realizzarsi sulla rete idrografica minore finalizzati allo smaltimento delle piene in condizioni di criticità nell'area in sinistra Po da Crescentino a Morano", il coefficiente CN è stato assunto pari a circa **91**.

La pendenza delle aree contribuenti s è stata mantenuta pari a 0,5‰.

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and $I_a * 0.2 S$)

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition		Hydrologic Soil Group				
		A	B	C	D	
Residential:						
Average lot size	Average Impervious					
1/8 acre or less	65	77	85	90	92	
1/4 acre	38	61	75	83	87	
1/3 acre	30	57	72	81	86	
1/2 acre	25	54	70	80	85	
1 acre	20	51	68	79	84	
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.		98	98	98	98	
Streets and roads:						
paved with curbs and storm sewers		98	98	98	98	
gravel		76	85	89	91	
dirt		72	82	87	89	
Commercial and business area (85% impervious)		89	92	94	94	
Industrial districts (72% impervious)		81	88	91	93	
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.						
good condition: grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80	
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84	
Fallow	Straight row	77	86	91	94	
Row crops	Straight row	72	81	88	91	
	Straight row	67	78	85	89	
Small grain	Contoured	70	79	84	88	
	Contoured	65	75	82	86	
	Contoured & terraced	66	74	80	82	
	Contoured & terraced	62	71	78	81	
	Straight row	65	76	84	88	
		Good	63	75	83	87
		Poor	63	74	82	85
		Good	61	75	81	84
Close - seeded legumes 4/ or rotation meadow	Contoured & terraced	61	72	79	82	
		Good	59	70	78	81
	Straight row	66	77	85	89	
	Straight row	58	72	81	85	
Pasture or range	Contoured	64	75	83	85	
	Contoured	55	69	78	83	
	Contoured & terraced	63	73	80	83	
	Contoured & terraced	51	67	76	80	
Meadow	Poor	68	79	86	89	
	Fair	49	69	79	84	
	Good	39	61	74	80	
	Contoured	47	67	81	88	
Woods or Forest land	Contoured	6	35	70	79	
	Good	30	58	71	78	
Farmsteads	Poor	45	66	77	83	
	Fair	36	60	73	79	
	Good	25	55	70	77	
	---	59	74	82	86	

Tabella 1 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

3.2 Analisi degli idrogrammi di portata

Per quanto già osservato in precedenza, a seguito della definizione degli idrogrammi di piena teorici prodotti da ciascun'area contribuyente (v. capitolo 4), è stato necessario procedere a un'analisi di tipo idraulico, per tenere

conto delle modalità di propagazione e sovrapposizione dei colmi, sfasati tra loro in relazione alla dimensione del bacino e alla conseguente celerità con cui le acque raggiungono l'asta di drenaggio principale.

Occorre inoltre poter stimare la capacità di portata senza esondazioni delle rogge nel tratto di interesse, per verificare l'effettiva capacità di recapito delle portate idrologiche, oltre che i valori limite per consentire il deflusso della piena in condizioni di sicurezza nell'area di Fontanetto.

Si è proceduto pertanto all'allestimento di modellistica numerica monodimensionale rappresentativa della rete delle rogge principali che drenano il territorio in esame, basata su rilievi topografici di sezioni d'alveo distribuite nel tratto di interesse e comprendenti alcuni punti di possibile criticità per lo smaltimento delle acque di piena indicati dai rappresentanti dei Consorzi.

Il modello (descritto nel capitolo 5) riceve in input gli idrogrammi delle singole aree contribuenti (definiti nel capitolo 4.4) e consente di determinare l'effettiva portata afferente allo scolmatore e alle aree a valle.

Da tale modello si è ricavato quello di progetto, utilizzato per la verifica idraulica dello scolmatore, come descritto nella *Relazione idraulica*.

Le analisi si sono concentrate in particolare sull'evento associato a un tempo di ritorno di 100 anni, assunto come riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto, come descritto nella *Relazione idraulica* e in continuità con l'impostazione progettuale pregressa (studio di fattibilità).

3.3 Interferenza con il fiume Po

Non è stata analizzata in dettaglio l'interferenza in termini di idrodinamica locale delle portate recapitate dallo scolmatore con i deflussi golenali del fiume Po in condizioni di piena gravosa, bensì unicamente l'effetto di rigurgito prodotto dai livelli di piena di Po sul nuovo canale.

Non ci si attendono in ogni caso significativi effetti, sia per i due ordini di grandezza di differenza tra le portate in gioco (tra scolmatore e fiume Po), sia per le modeste velocità ed energia con cui la portata dello scolmatore raggiunge la gola fluviale, in ragione delle limitate pendenze di fondo.

Come riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto, in continuità con l'impostazione progettuale pregressa, sono stati valutati gli effetti di rigurgito prodotti da livelli di piena associati a un tempo di ritorno TR=200 anni.

È stata però anche condotta un'analisi di sensitività dei risultati ottenuti alla condizione di valle adottata, considerando anche la contemporaneità dell'evento di progetto per lo scolmatore con una piena di Po di minore intensità (TR=20 anni) e con livelli di Po non influenti sull'idrodinamica dello scolmatore, così da individuare la condizione più gravosa di verifica e analizzare il comportamento idrodinamico del nuovo canale anche nel tratto di valle al netto dei forti condizionamenti dovuti al rigurgito del fiume.

Le condizioni al contorno considerate nella sezione terminale dello scolmatore (in corrispondenza della sua confluenza in Po) sono quindi le seguenti:

- livello di piena di Po per tempo di ritorno 200 anni;
- livello di piena di Po per tempo di ritorno 20 anni;
- livello di piena di Po ininfluente rispetto al deflusso dello scolmatore.

I livelli riferiti alle piene con tempo di ritorno 200 e 20 anni sul Po sono stati desunti dagli elaborati prodotti dall'Autorità di bacino del fiume Po a supporto della redazione del "Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni" in riferimento all'Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010.

In particolare i livelli idrometrici di Po in corrispondenza della confluenza dello scolmatore sono stati desunti dal documento del sopraccitato Piano denominato "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale", in cui vengono riportate le quote di piena per tempo di ritorno 20 e 200 anni riferite alle "mappe di pericolosità da alluvione" del PRGA e alle Fasce fluviali del PAI.

Di seguito si riportano gli estratti di mappa rispettivamente della pericolosità idraulica (Figura 2) e delle Fasce fluviali (Figura 3); su quest'ultima sono riportate le localizzazioni delle sezioni idrauliche di calcolo dei profili di piena per tempo di ritorno 20 e 200 anni.

La determinazione dei livelli idrici in corrispondenza del nodo di confluenza dello scolmatore in Po è stata eseguita per interpolazione lineare considerando i valori di piena a tempo di ritorno 20 e 200 anni riportati nelle sezioni 199 e 198; in Tabella 2 si riporta un estratto dei dati di profili di piena riportati nel PGRA, con i quali è stata verificata la congruenza.

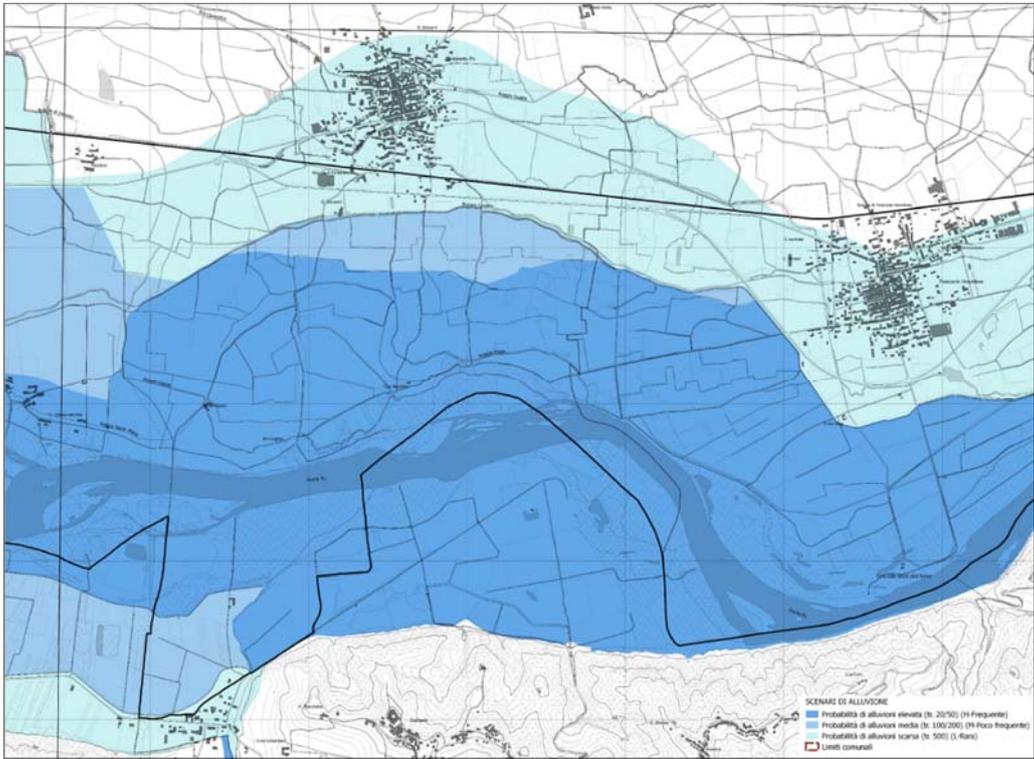


Figura 2 - Mappa della pericolosità da alluvione nel tratto di interesse (fonte:PGRA).

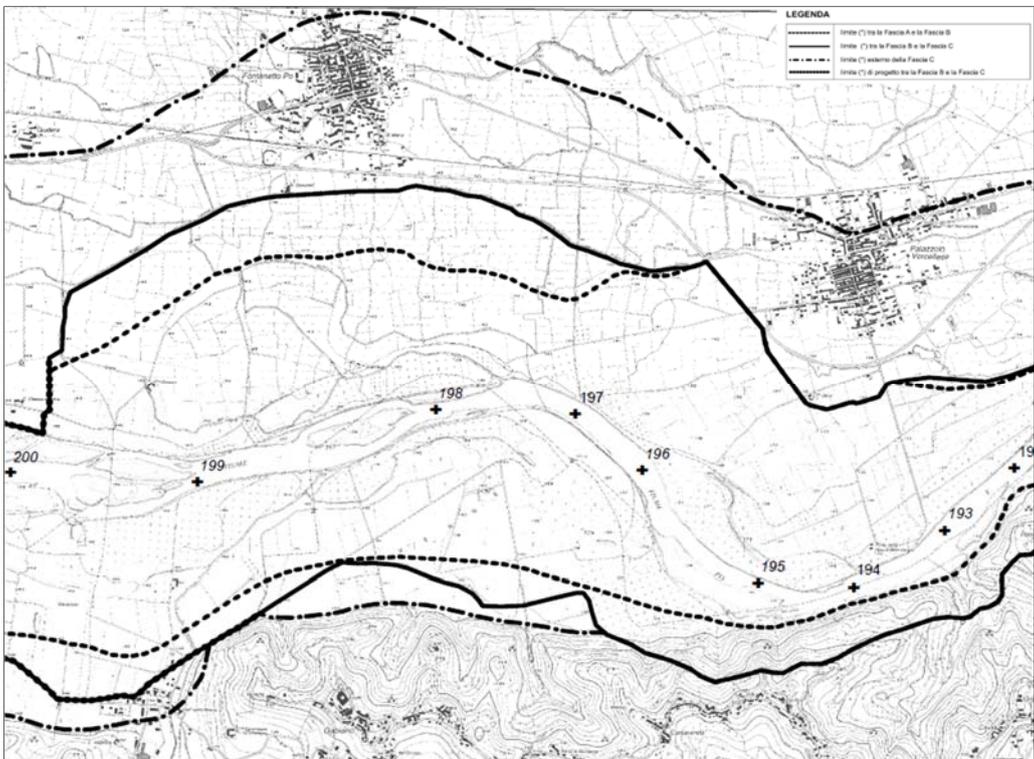


Figura 3 - Cartografia di delimitazione delle Fasce fluviali – FOGLIO 157 SEZ.I - TRINO

Tab. 5.1_c: profili di piena per il Po nel tratto da Crescentino a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) per diversi scenari

Sez. PAI	Progr. PAI (km)	Sez. modello SdF	Progr. modello SdF (km)	T = 20	Scen.	T = 500	Sez. PAI	Progr. PAI (km)	Sez. modello SdF	Progr. modello SdF (km)	T = 20	Scen.	T = 500
				anni	Piena ott. 2000	anni					Piena ott. 2000	anni	Piena ott. 2000
				Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)					Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)
		80112	150.981	152.68	153.46	154.34			45424	185.669	109.66	110.44	111.18
		80096	150.996	152.53	153.24	153.97	155	185.370	45245	185.849	109.25	109.91	110.58
		80081	151.012	152.52	153.23	153.95			44823	186.270	108.88	109.70	110.46
		79686	151.407	151.49	152.17	152.87	153	186.490	44142	186.951	108.55	109.29	109.95
207	151.493	79319	151.774	150.70	151.33	152.04			43672	187.421	108.36	109.22	109.97
		78935	152.158	149.96	150.61	151.31			43660	187.433	108.21	109.08	109.82
		78547	152.546	149.57	150.19	150.87			43590	187.503	108.06	108.90	109.60
		78474	152.619	149.50	150.11	150.79	152	187.050	43576	187.517	108.01	108.86	109.55
		78171	152.921	149.26	149.89	150.56			43284	187.809	108.08	108.91	109.59
206	152.679	77941	153.152	149.11	149.76	150.43			42986	188.108	107.76	108.58	109.25
		77744	153.349	148.92	149.54	150.15			42754	188.339	107.48	108.33	108.97
		77221	153.872	148.04	148.56	149.04	150	188.170	42509	188.584	107.37	108.19	108.82
204	153.865	76795	154.298	147.07	147.56	148.06			41993	189.101	107.06	107.90	108.44
		76357	154.735	146.79	147.31	147.92			41882	189.211	107.12	107.96	108.51
		75933	155.159	146.44	146.85	147.28	149	189.290	41635	189.458	106.81	107.77	108.27
202	155.051	75551	155.542	146.58	147.11	147.66			41416	189.677	105.97	107.00	107.78
		75312	155.781	145.77	146.36	146.93			41229	189.864	105.75	106.55	107.14
		75064	156.029	144.95	145.62	146.30			41044	190.050	105.96	106.71	107.31
		74658	156.435	144.45	145.03	145.68			40576	190.517	105.89	106.65	107.24
		74321	156.772	144.20	144.76	145.38			40388	190.705	105.76	106.54	107.15
		73963	157.130	143.91	144.44	145.05			40119	190.974	105.32	106.14	106.77
		73511	157.582	143.35	143.86	144.44	147	190.962	39789	191.305	104.97	105.86	106.52
		73230	157.863	143.04	143.56	144.14			39580	191.514	104.42	105.41	106.11
199	157.424	72945	158.148	142.55	143.10	143.72			39363	191.731	103.72	104.86	105.38
		72592	158.501	141.78	142.33	143.08			39107	191.986	103.75	104.62	105.24
		72204	158.889	141.35	141.92	142.60			38926	192.168	103.64	104.54	105.14
		71819	159.274	141.14	141.73	142.44			38609	192.484	102.73	103.76	104.60
198	158.612	71407	159.885	140.91	141.40	141.96			38333	192.760	101.80	102.46	103.22
		70925	160.168	140.85	141.41	142.06	146	192.619	38152	192.941	101.49	101.97	102.45
197	159.800	70589	160.504	139.92	140.53	141.24			37924	193.170	101.66	102.13	102.54

Tabella 2 - Estratto da PGRA della tabella profili di piena del fiume Po per tempi di ritorno 20, 200 e 500 anni.

4. ANALISI IDROLOGICA

4.1 Delimitazione delle aree contribuenti

Per l'esecuzione dell'analisi idrologica occorre innanzitutto delimitare le superfici contribuenti per ogni corpo idrico principale presente nell'area di interesse, al fine di poter determinare le corrispondenti portate di piena di progetto.

Si evidenzia a tal proposito la complessità nel definire in modo netto e univoco il limite fisico di separazione fra due "bacini imbriferi", sia per la morfologia pianeggiante e con deflusso condizionato dal fitto reticolo artificiale, sia per i numerosi manufatti di regolazione e agli scolmatori già esistenti, in particolare su Roggia Stura e Camera, che consentono di attuare "scambi" di portata e rendono di fatto idraulicamente comunicanti ampie porzioni del comprensorio. Per tale ragione più che a "bacini" sottesi dai canali si è fatto riferimento a "aree contribuenti".

Queste ultime sono state definite anche a valle dello scolmatore in progetto, sino al nodo idraulico di Spinapesce. Tutte le aree sono state chiuse in alcune sezioni significative (in corrispondenza dello scolmatore o di confluenze).

Come riferimento cartografico per il tracciamento è stata utilizzata la Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000 della Regione Piemonte. Le aree individuate sono riportate in Figura 4 e nello specifico elaborato grafico di progetto, mentre in Tabella 3 se ne riportano i dati fisiografici salienti.

Al nodo idraulico di Spinapesce giungono anche i contributi del canale Magrelli, che si origina dal Canale Lamporasso nel comune di Livorno Ferraris. Tale corso d'acqua non viene in alcun modo interessato dallo scolmatore in progetto; l'analisi idrologica è stata comunque effettuata per verificare la congruenza con i volumi complessivamente defluenti a Spinapesce riportati negli studi pregressi (in particolare lo "Studio preliminare per una serie di interventi da realizzarsi sulla rete idrografica minore finalizzati allo smaltimento delle piene in condizioni di criticità nell'area in sinistra Po da Crescentino a Morano"⁶).

ID Area	Corso d'acqua	Area [km ²]	Quota max [m s.m.]	Quota media [m s.m.]	Quota min [m s.m.]	Lasta [km]	i _{lasta} [%]
1	Camera a Rabeto	9,57	175,00	162,81	148,00	8,42	0,28
2	Camera tra Rabeto e Canale Devesio	6,68	157,00	149,61	144,00	4,42	0,11
3	Camera tra Devesio e scolmatore	1,12	145,00	143,80	143,00	1,47	0,07
4	Camera tra scolmatore e Spinapesce	2,73	144,00	138,45	131,00	6,11	0,15
5	Devesio a sez. 5	3,81	166,00	161,49	154,00	3,32	0,24
6	Devesio tra sez. 5 e sez. 1	2,05	166,00	151,53	145,00	4,46	0,25
7	Devesio tra sez. 1 e Camera	1,77	148,00	145,39	144,00	2,07	0,10
8	Chiusa tra Devesio e scolmatore	1,25	148,00	144,19	143,00	2,11	0,09
9	Chiusa tra scolmatore e Fonna	0,43	144,00	143,05	142,00	1,85	0,11
10	Carecchio a scolmatore	0,71	149,00	145,91	143,00	1,49	0,13
11	Carecchio tra scolmatore e Chiusa	0,16	144,00	143,97	143,00	0,79	0,13
12	Fonna a sez. 8	11,25	174,00	161,28	147,00	10,12	0,17
13	Fonna tra sez. 8 e scolmatore	0,59	146,00	144,34	143,00	2,56	0,20
14	Fonna tra scolmatore e conf. Chiusa	0,98	144,00	143,24	142,00	1,77	0,11
15	Fonna Guatta tra confluenza e Roggia Gambalona	4,95	143,00	139,04	134,00	4,94	0,10
16	Roggia Gambalona a scolmatore	0,85	148,00	145,30	144,00	1,81	0,11
17	Roggia Gambalona tra scolmatore e conf. Cerca	2,69	145,00	141,88	136,00	6,31	0,14
18	Roggione tra conf. Cerca e Spinapesce	0,97	141,00	138,46	133,00	1,63	0,12
19	Bacino a imbocco Stura	8,81	164,00	156,41	143,00	12,98	0,14
20	Bacino cavo Guaderoglio (imbocco Cerca)	0,57	151,00	147,17	143,00	2,12	0,19
21	Bacino Cerca tra imbocco e Roggia Gambalona	2,20	145,00	143,72	137,00	5,71	0,18
22	Stura tra imbocco e sez. 14	6,07	161,00	153,67	144,00	1,90	0,27
23	Stura tra sez. 14 e ponte canale su Magrelli	1,47	147,00	141,99	139,00	3,80	0,08
24	Magrelli a Spinapesce	7,97	156,00	150,62	133,00	11,06	0,22
25	Roggia Logna	1,20	147,00	142,98	138,00	2,72	0,22
26	Rio Carecchio complessivo (aree 10+11)	0,87	149,00	145,5	143,00	2,29	0,13

Tabella 3 - Dati fisiografici delle aree contribuenti.

⁶ Consorzio Di Irrigazione e Bonifica Ovest Sesia Baraggia, "Nodo critico di Trino - Studio preliminare per una serie di interventi da realizzarsi sulla rete idrografica minore finalizzati allo smaltimento delle piene in condizioni di criticità nell'area in sinistra Po da Crescentino a Morano", Steci S.r.l., 2003.

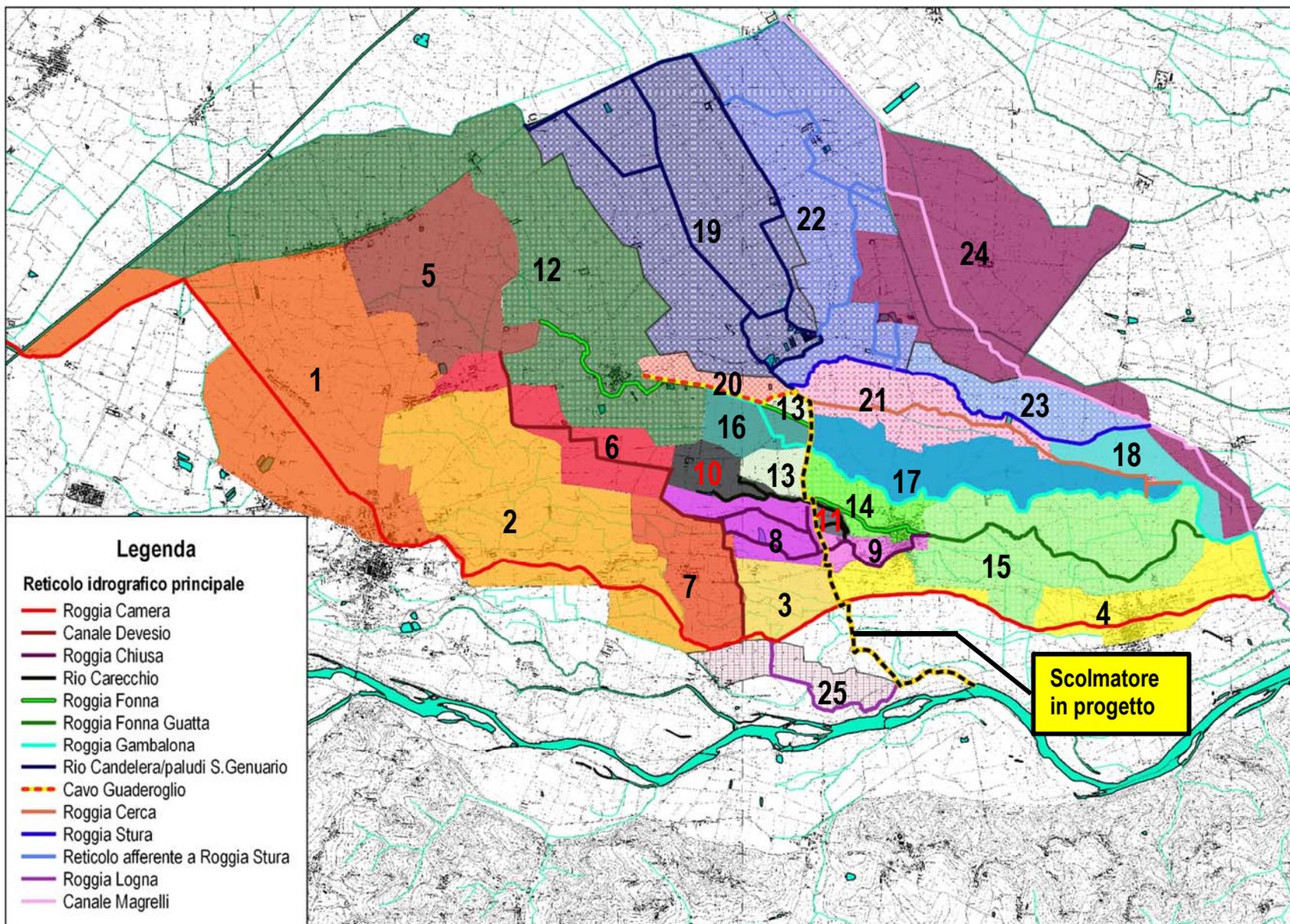


Figura 4 - Reticolo idrografico principale e aree contribuenti (l'etichetta indica il codice ID di Tabella 3).

4.2 Pluviometria di riferimento

Per le finalità dello studio si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica (o climatica) derivanti dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, con assegnato tempo di ritorno, realizzata ad opera dell'Autorità di Bacino del fiume Po⁷ su griglia spaziale a maglia quadrata di lato 2 km.

Tali curve sono espresse nella forma:

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

dove h [mm] è l'altezza di pioggia, t [ore] il tempo di pioggia, a [mm/oreⁿ] e n [-] i parametri della curva, funzione del tempo di ritorno.

I dati utilizzati derivano da un'interpolazione spaziale, mediante il metodo Kriging, dei parametri a e n ottenuti mediante regressione statistica sulla base delle serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Mareografico Italiano, relative ai massimi annuali delle precipitazioni di durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive.

Le analisi statistiche condotte hanno permesso di definire per ciascuna cella spaziale i valori dei parametri delle curve per i tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni. Le matrici dei parametri a , n sono state intersecate mediante un software GIS con il contorno delle aree contribuenti riportate in Tabella 3, ottenendo come media spaziale delle celle interessate i valori corrispondenti ai tempi di ritorno $T_r = 20, 100$ e 200 anni.

I risultati ottenuti per ciascuna area contribuente sono riportati in Tabella 4.

Alle altezze di pioggia critiche di progetto sono stati applicati nel calcolo della portata di piena coefficienti di ragguaglio che tengono conto della non uniformità della precipitazione su un'area relativamente vasta.

Tali coefficienti, descritti nel capitolo 3.1.2, sono stati adottati solo per i bacini di maggiori dimensioni, per i quali, come descritto in seguito, è stato applicato il modello SCS di trasformazione afflussi-deflussi.

⁷ Autorità di Bacino del fiume Po, 2001, *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Norme di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.*

ID Area	Corso d'acqua	Tr = 20 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni	
		a [mm/ore ⁿ]	n [-]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]
1	Camera a Rabeto	49,84	0,248	64,55	0,240	70,86	0,238
2	Camera tra Rabeto e Canale Devesio	49,97	0,251	65,14	0,242	71,63	0,240
3	Camera tra Devesio e scolmatore	49,50	0,255	64,72	0,247	71,23	0,244
4	Camera tra scolmatore e Spinapesce	49,22	0,256	64,40	0,247	70,88	0,244
5	Devesio a sez. 5	49,68	0,249	64,23	0,242	70,46	0,240
6	Devesio tra sez. 5 e sez. 1	49,84	0,251	64,81	0,243	71,21	0,241
7	Devesio tra sez. 1 e Camera	49,72	0,254	64,97	0,245	71,50	0,243
8	Chiusa tra Devesio e scolmatore	49,55	0,254	64,75	0,246	71,25	0,244
9	Chiusa tra scolmatore e Fonna	49,38	0,256	64,55	0,248	71,02	0,245
10	Carecchio a scolmatore	49,63	0,253	64,69	0,245	71,12	0,242
11	Carecchio tra scolmatore e Chiusa	49,51	0,255	64,70	0,246	71,20	0,244
12	Fonna a sez. 8	49,61	0,250	64,10	0,243	70,29	0,241
13	Fonna tra sez. 8 e scolmatore	49,58	0,253	64,56	0,245	70,98	0,242
14	Fonna tra scolmatore e conf. Chiusa	49,40	0,256	64,52	0,247	70,98	0,245
15	Fonna Guatta tra confluenza e Roggia Gambalona	49,26	0,256	64,41	0,247	70,88	0,245
16	Roggia Gambalona a scolmatore	49,59	0,252	64,54	0,245	70,93	0,242
17	Roggia Gambalona tra scolmatore e conf. Cerca	49,45	0,254	64,48	0,246	70,91	0,243
18	Roggia Gambalona tra conf. Cerca e Spinapesce	49,49	0,253	64,58	0,244	71,03	0,241
19	Bacino a imbocco Stura	49,62	0,251	64,19	0,244	70,43	0,242
20	Bacino cavo Guaderoglio (imbocco Cerca)	49,68	0,252	64,63	0,244	71,02	0,242
21	Bacino Cerca tra imbocco e Roggia Gambalona	49,54	0,253	64,51	0,245	70,92	0,243
22	Stura tra imbocco e sez. 14	49,59	0,252	64,20	0,245	70,44	0,242
23	Stura tra sez. 14 e ponte canale su Magrelli	49,53	0,253	64,54	0,245	70,95	0,242
24	Magrelli a Spinapesce	49,63	0,252	64,48	0,244	70,82	0,242
25	Roggia Logna	49,36	0,259	64,75	0,250	71,34	0,247
26	Rio Carecchio complessivo (aree 10+11)	49,61	0,253	64,69	0,245	71,13	0,242

Tabella 4 - Parametri a,n ottenuti per interpolazione su ogni area contribuente.

4.3 Calcolo delle portate di piena

4.3.1 Applicazione dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi

La portata di piena di progetto è quella associata a un tempo di ritorno centennale.

In Tabella 5 sono riportate le portate al colmo di piena ottenute, a partire dalle altezze di pioggia critica definite nel capitolo precedente, applicando i modelli di trasformazione afflussi-deflussi definiti nel capitolo 3.1: metodo semplificato dell'invaso e metodo SCS.

Per quest'ultimo, a titolo di confronto, si forniscono i risultati ottenuti con e senza l'applicazione del coefficiente di laminazione c_L introdotto per tenere conto dell'effetto di laminazione dovuto all'invaso proprio nel bacino.

ID Area	Corso d'acqua	Metodo invaso semplificato	Metodo SCS senza c _L	Metodo SCS con c _L
		Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]	Q [m ³ /s]
1	Camera a Rabeto	12,60	17,93	11,62
2	Camera tra Rabeto e Canale Devesio	9,37	19,10	11,48
3	Camera tra Devesio e scolmatore	1,61	6,03	2,92
4	Camera tra scolmatore e Spinapesce	3,48	6,61	4,20
5	Devesio a sez. 5	5,32	12,66	7,17
6	Devesio tra sez. 5 e sez. 1	2,75	5,91	3,58
7	Devesio tra sez. 1 e Camera	2,58	7,91	4,17
8	Chiusa tra Devesio e scolmatore	1,83	5,55	2,94
9	Chiusa tra scolmatore e Fonna	0,57	2,03	1,04
10	Carecchio a scolmatore	1,03	3,79	1,85
11	Carecchio tra scolmatore e Chiusa	0,24	1,23	0,50
12	Fonna a sez. 8	14,01	19,97	13,33
13	Fonna tra sez. 8 e scolmatore	0,82	2,36	1,30
14	Fonna tra scolmatore e conf. Chiusa	1,38	4,67	2,36
15	Fonna Guatta tra confluenza e Roggia Gambalona	6,56	13,48	8,28
16	Roggia Gambalona a scolmatore	1,20	4,06	2,07
17	Roggia Gambalona tra scolmatore e conf. Cerca	3,43	6,45	4,12
18	Roggia Gambalona tra conf. Cerca e Spinapesce	1,41	4,93	2,44
19	Bacino a imbocco Stura	13,29	17,66	11,57
20	Bacino cavo Guaderoglio (imbocco Cerca)	0,80	2,50	1,33
21	Bacino Cerca tra imbocco e Roggia Gambalona	2,86	5,57	3,51
22	Stura tra imbocco e sez. 14	8,95	14,61	9,17
23	Stura tra sez. 14 e ponte canale su Magrelli	1,88	4,69	2,77
24	Magrelli a Spinapesce	9,97	9,37	13,78
25	Roggia Logna	1,74	4,60	2,59
26	Rio Carecchio complessivo (aree 10+11)	1,23	3,74	2,04

Tabella 5 - Portate di piena ottenute per ogni area contribuente con le varie metodologie.

Si osserva come con l'introduzione del coefficiente di laminazione il modello SCS fornisca portate del tutto confrontabili, per quanto generalmente maggiorative, con quelle calcolate mediante il metodo dell'invaso italiano semplificato. Per le ragioni espresse nel capitolo 3.1.1 non si ritiene ragionevole trascurare l'importante capacità di invaso delle aree contribuenti, pur valutata cautelativamente e considerando che l'evento di progetto abbia luogo nel corso della stagione irrigua, con le camere di risaia già piene.

Da un'analisi di significatività dei risultati, tenendo presente i limiti di applicazione dei modelli utilizzati in termini di estensione dell'area contribuente considerata, le portate al colmo di piena di progetto, riassunte in Tabella 6, sono state adottate pari a quelle calcolate con:

- per le aree contribuenti caratterizzate da superfici ridotte – metodo italiano dell'invaso semplificato;
- per le aree contribuenti di maggiore superficie (ID 1, 2, 5, 12, 15, 19, 22 e 24) – metodo SCS con applicazione del coefficiente di laminazione.

ID Area	Corso d'acqua	Portata di piena di progetto (Tr 100) [m ³ /s]
1	Camera a Rabeto	11,62
2	Camera tra Rabeto e Canale Devesio	11,48
3	Camera tra Devesio e scolmatore	1,61
4	Camera tra scolmatore e Spinapesce	3,48
5	Devesio a sez. 5	7,17
6	Devesio tra sez. 5 e sez. 1	2,75
7	Devesio tra sez. 1 e Camera	2,58
8	Chiusa tra Devesio e scolmatore	1,83
9	Chiusa tra scolmatore e Fonna	0,57
10	Carecchio a scolmatore	1,03
11	Carecchio tra scolmatore e Chiusa	0,24
12	Fonna a sez. 8	13,33
13	Fonna tra sez. 8 e scolmatore	0,82
14	Fonna tra scolmatore e conf. Chiusa	1,38
15	Fonna Guatta tra confluenza e Roggia Gambalona	8,28
16	Roggia Gambalona a scolmatore	1,20
17	Roggia Gambalona tra scolmatore e conf. Cerca	3,43
18	Roggia Gambalona tra conf. Cerca e Spinapesce	1,41
19	Bacino a imbocco Stura	11,57
20	Bacino cavo Guaderoglio (imbocco Cerca)	0,80
21	Bacino Cerca tra imbocco e Roggia Gambalona	2,86
22	Stura tra imbocco e sez. 14	9,17
23	Stura tra sez. 14 e ponte canale su Magrelli	1,88
24	Magrelli a Spinapesce	9,37
25	Roggia Logna	1,74
26	Rio Carecchio complessivo (aree 10+11)	1,23

Tabella 6 - Portate di piena di progetto.

4.3.2 Confronto con i valori pregressi

Per poter effettuare un confronto con quanto riportato nei precedenti studi⁸ si è proceduto accorpando le varie aree contribuenti e calcolandone le portate di piena con le medesime metodologie descritte nei capitoli precedenti, in modo da verificare la congruenza con i dati pregressi.

⁸ Consorzio Di Irrigazione e Bonifica Ovest Sesia Baraggia, "Nodo critico di Trino - Studio preliminare per una serie di interventi da realizzarsi sulla rete idrografica minore finalizzati allo smaltimento delle piene in condizioni di criticità nell'area in sinistra Po da Crescentino a Morano", Steci S.r.l., 2003.

Associazione D'Irrigazione Ovest Sesia, "Evento alluvionale 2000, Programma Stralcio Piani Generali di Ricostruzione O.M. 3090/2000 – Primo Lotto – Tratto di manufatto scolmatore Canale Magrelli a restituzione in Po", Steci S.r.l., aprile 2014.

Comune di Fontanetto Po, "Realizzazione canale scolmatore ad Ovest di Fontanetto Po – Studio di Fattibilità", 2014;

Tutte le considerazioni che seguono sono state effettuate in riferimento allo stato attuale, ovvero senza la presenza dello scolmatore in progetto.

4.3.2.1 Confronto dei volumi afferenti al nodo idraulico di Spinapesce

Nel “Programma Stralcio Piani Generali di Ricostruzione O.M. 3090/2000 – Primo Lotto⁸” redatto da Steci Srl sono calcolate le portate relative ai bacini di Tabella 7, che rappresentano i contributi afferenti al nodo idraulico di Spinapesce.

Nella medesima tabella viene riportato il confronto con i corrispondenti valori ottenuti mediante l’analisi idrologica presentata nei capitoli precedenti (nella prima colonna per ogni bacino definito dallo studio della Steci è riportato il codice ID delle corrispondenti aree contribuenti definite nel capitolo 4.1).

La portata “aggiornata” complessivamente defluente a Spinapesce deriva invece dalla modellazione idraulica effettuata così come descritto nel capitolo 5. Rispetto a quanto indicato in Tabella 7, il contributo del bacino a monte dell’imbocco della Roggia Stura (bacino 19) è stato ripartito nel modello idraulico tra le rogge Stura e Cerca, considerando l’effettiva idrodinamica del nodo, e in particolare l’effetto prodotto da un ponte canale ribassato e da un sostegno con paratoia. I valori di superficie contribuyente e di portata descritti in corsivo nella tabella seguente risultano pertanto sovrastimati rispetto a quelli di riferimento per il presente progetto.

ID area corrispondente	corso d’acqua	studio Steci Srl		analisi aggiornata	
		S [km ²]	Q [m ³ /s]	S [km ²]	Q [m ³ /s]
1+2+3+4+5+6+7	Camera a Spinapesce	13,9	9,38	27,7	23,51
8+9+26	Chiusa a confluenza Fonna	3,7	3,35	2,6	3,43
12+13+14	Fonna a confluenza Chiusa	22,0	19,88	12,8	12,99
12+13+14+15	Fonna Guatta a confluenza Roggia Gambalona escluso il contributo della Chiusa	27,9	23,24	17,8	15,81
16+17	Roggia Gambalona a confluenza Cerca	3,3	2,85	3,5	4,85
19+20+21	Cerca a confluenza Roggia Gambalona	10,8	8,13	<i>11,6</i>	<i>12,09</i>
24	Magrelli a Spinapesce	9,8	8,40	8,0	9,37
Complessivo a Spinapesce (compreso bacino 18)		69,35	49,71*	<i>72,09</i>	47,43

*Valore ricavato dalla “Relazione idrologica e idraulica” dello studio.

Tabella 7 - Portate di piena e superfici contribuenti riportate nello studio di Steci a confronto con le corrispondenti di progetto.

Il confronto evidenzia come le maggiori differenze riguardino le superfici della Roggia Camera e della Roggia Fonna (Fonna Guatta). Tale differente ripartizione delle superfici scolanti è dovuta principalmente alla mancata individuazione, nello studio pregresso, del Canale Raccogliatore Devesio che, come riportato nella descrizione del capitolo 2.3 estratta dal Piano Regolatore del Comune di Crescentino e successivamente confermata dai Consorzi Irrigui che ne gestiscono i deflussi, confluisce nella Roggia Camera.

In Figura 5 è riportato il confronto tra i bacini della Roggia Camera (sopra) e della Roggia Fonna Guatta (sotto) definiti nello studio Steci e nel presente documento.

Nel complesso, comunque, l’area totale afferente al nodo di valle di Spinapesce risulta congruente con quella dello studio pregresso. Si osserva anche una buona congruenza nella portata complessiva afferente a tale nodo.

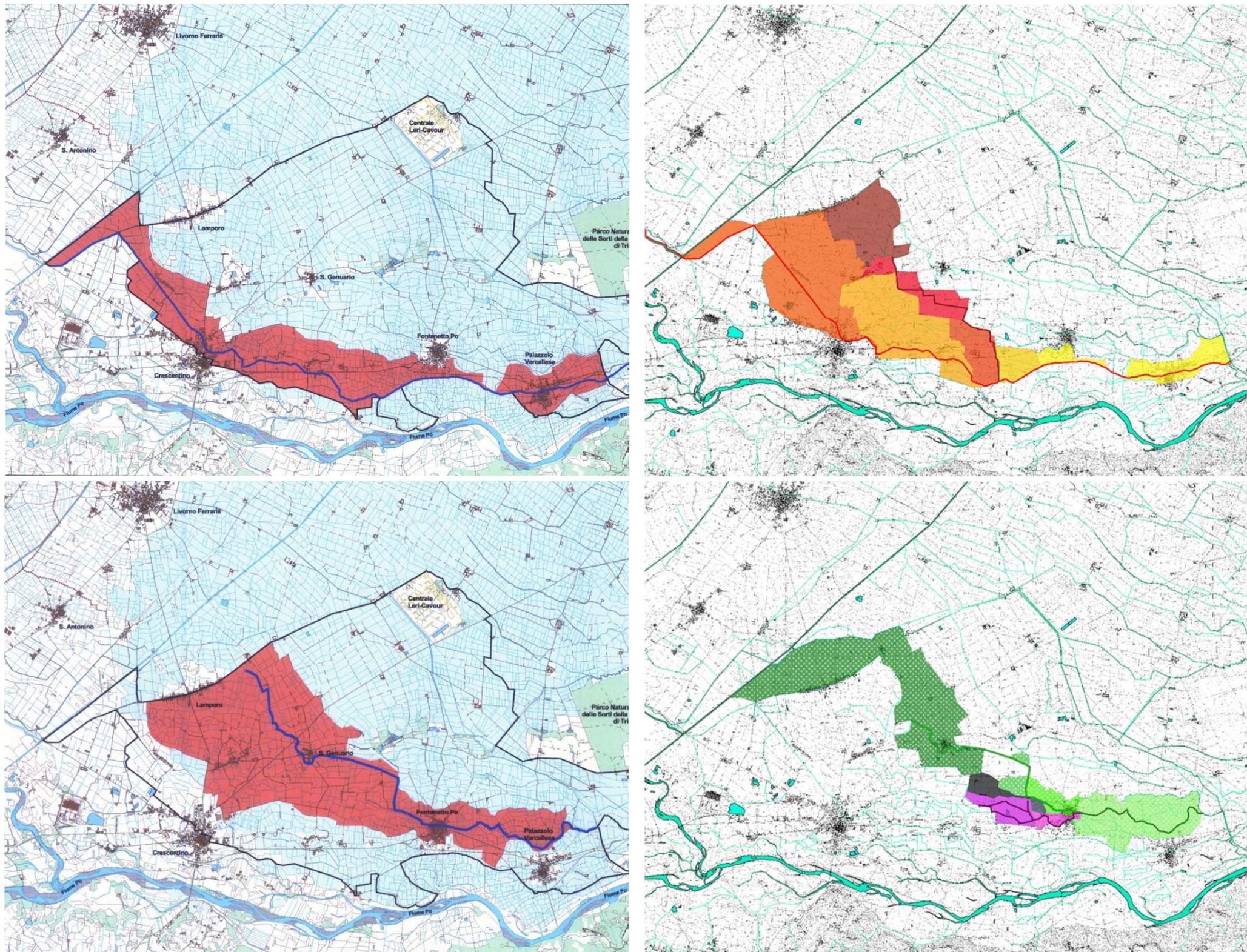


Figura 5 - Confronto tra le aree complessivamente contribuenti della Roggia Camera (sopra) e della Roggia Fonna Guatta (sotto) definite nello studio Steci (sinistra) e nel presente documento (destra).

4.3.2.2 Confronto delle portate defluenti nella roggia Stura

Nel medesimo studio citato in precedenza⁸ sono riportate le portate defluenti nella Roggia Stura allo scolmatore di Trino. Le aree contribuenti e il relativo bacino complessivo sono riportate in Tabella 8.

Nella medesima tabella sono descritti i corrispondenti valori relativi all'analisi idrologica aggiornata desunti dal modello idraulico predisposto; in particolare, l'analisi è stata estesa non sino allo scolmatore di Trino, bensì solo fino al ponte canale sul Canale Magrelli ubicato più a monte. Il bacino residuo tra le due sezioni di chiusura è caratterizzato da un'area ΔA di 4,08 km².

Analogamente a quanto effettuato nel capitolo 4.3.2.1, la portata "aggiornata" indicata deriva dalla modellazione idraulica effettuata a cui, come descritto nella nota 9, è stato aggiunto il contributo del bacino residuo. Analogamente al caso precedente, pertanto, la superficie del bacino 19 non risulta integralmente contribuyente al deflusso nella roggia Stura, con conseguente sovrastima della superficie totale "aggiornata" (valori in corsivo) rispetto ai valori poi adottati in progetto.

La congruenza in questo caso è ottima in termini di superficie sottesa e di portata massima al colmo.

ID Area corrispondente	corso d'acqua	studio Steci Srl		analisi aggiornata	
		S [km ²]	Q [m ³ /s]	S [km ²]	Q [m ³ /s]
19+22+23+ ΔA	Stura allo scolmatore di Trino	21,05	23,69	<i>20,44</i>	<i>24,31⁹</i>

Tabella 8 - Portate di piena e superficie contribuyente della Roggia Stura riportate nello studio di Steci a confronto con le corrispondenti di progetto.

4.3.2.3 Confronto delle portate afferenti allo scolmatore in progetto

Come descritto nel capitolo 2.3 rispetto alla condizione "naturale" di deflusso di piena (descritta in Tabella 7), alcune rogge risentono in maniera importante delle regolazioni effettuate dai consorzi irrigui in caso di evento gravoso. In particolare, la portata defluente nella Roggia Chiusa, che attraversa l'abitato di Fontanetto Po dopo aver ricevuto anche il contributo del rio Carecchio, da indicazioni del Consorzio Irriguo di Fontanetto Po in caso di piena viene incrementata di una portata pari all'incirca alla metà del deflusso in arrivo dal Canale Raccogliitore.

Si è pertanto proceduto introducendo tali regolazioni nell'analisi delle aree complessive ed effettuando il confronto, in termini di portate e di superfici contribuenti nell'area a monte dello scolmatore in progetto, con quanto riportato nello "Studio di fattibilità per la realizzazione canale scolmatore ad Ovest di Fontanetto Po"⁸.

Per confronto, in Tabella 9 sono anche riportati, ove presenti, i corrispondenti valori dedotti dalla configurazione di progetto dello studio Steci.

⁹ Il valore allo scolmatore di Trino è stato calcolato come quello al ponte canale sul Magrelli (derivante dalla modellazione presentata nel capitolo 5.4) a cui è stato aggiunto un ΔQ calcolato come $\Delta Q = \Delta A \cdot q$, dove q è il contributo specifico medio [l/s km²] delle aree contribuenti alla Roggia Stura e ΔA è l'area di 4,08 km² del bacino residuo compreso tra il ponte canale e lo scolmatore di Trino.

ID Area corrispondente	Corso d'acqua	Studio di fattibilità		Studio Steci		Analisi aggiornata	
		S [km ²]	Q [m ³ /s]	S [km ²]	Q [m ³ /s]	S [km ²]	Q [m ³ /s]
25	Roggia Logna allo scolmatore	1,18	3,07	n.d.	n.d.	1,20	1,74
1+2+3+5+6+7	Camera allo scolmatore	28,13	32,56	7,88	4,78*	24,98	20,92
8+10	Chiusa allo scolmatore	1,95	6,46	3,01	3,35	1,96	6,82
12+13+16	Fonna allo scolmatore	12,07	19,40	21,96	19,88	12,69	13,63
20	Cavo Guaderoglio allo scolmatore	0,79	3,07	n.d.	n.d.	0,57	0,80
19	Rio Candelora (area Paludi San Genuario) a imbocco roggia Cerca	8,40	18,24	n.d.	7,00	8,81	11,57
Bilancio superfici		52,52 km ²		--		50,21 km ²	

*valore al netto della portata scaricata dallo scolmatore Rabeto di Crescentino (dimensionato per 6 m³/s).

Tabella 9 - Portate di piena e superfici contribuenti riportate nello studio di fattibilità a confronto con le corrispondenti di progetto.

I confronti sopra riportati evidenziano come l'area complessiva contribuente analizzata sia congruente con quella definita nello studio di fattibilità. In termini di portate defluenti, si osservano alcuni scostamenti dovuti principalmente all'introduzione nell'analisi della capacità di invaso propria delle varie aree, che riduce la portata effettivamente defluente alla sezione dello scolmatore.

Come evidenziato in Tabella 9, comunque, le portate definite mediante l'aggiornamento dell'analisi idrologica risultano superiori a quelle corrispondenti determinate nel primo studio di Ovest Sesia. Analogamente a quanto riscontrato in precedenza, le maggiori differenze sono legate alla diversa ripartizione delle superfici scolanti (e di conseguenza dei valori al colmo) tra la roggia Camera e la roggia Fonna.

4.4 Determinazione degli idrogrammi di piena

L'idrogramma di piena di riferimento per il metodo SCS è di tipo triangolare asimmetrico, con il picco in corrispondenza del tempo t_p definito nel capitolo 3.1.2.

Il SCS ha rilevato che mediamente i 3/8 (ovvero il 37,5%) del deflusso diretto transitano durante la fase di concentrazione della portata (ramo ascendente dell'idrogramma) e i restanti 5/8 durante la fase di esaurimento.

Di conseguenza il ramo ascendente dell'idrogramma ha durata pari a t_p , mentre il ramo discendente pari a $\frac{5}{3}t_p$.

Per la definizione dell'idrogramma di piena delle aree contribuenti caratterizzate da una superficie contenuta ed analizzate mediante metodo dell'invaso semplificato italiano, si è proceduto determinando i parametri caratteristici (tempo di pioggia e costante di invaso, non presenti nel metodo di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato) mediante il metodo dell'invaso lineare i cui parametri sono stati tarati per ottenere la congruenza con i valori di progetto.

Per tali aree, pertanto, l'idrogramma è stato determinato a partire dall'idrogramma istantaneo unitario, costruendo il ramo di crescita e quello di esaurimento secondo le equazioni seguenti:

- per il ramo di crescita:
$$Q(t) = P \cdot \left[1 - \exp\left(\frac{-t}{K}\right) \right];$$

- per il ramo di esaurimento:
$$Q(t) = Q_{tp} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t-t_p}{K}\right) \right];$$

dove t è il generico istante di tempo, t_p è il tempo di pioggia, P è la precipitazione, Q_{tp} è la portata in corrispondenza del tempo di pioggia e K è la costante di invaso

Le portate di piena di progetto e i corrispettivi tempi t_p sono riportate in Tabella 10.

ID Area	Corso d'acqua	Portata di piena di progetto (Tr 100) Q_{tp} [m ³ /s]	t_p [h]
1	Camera a Rabeto	11,62	15,8
2	Camera tra Rabeto e Canale Devesio	11,48	9,1
3	Camera tra Devesio e scolmatore	1,61	1,4
4	Camera tra scolmatore e Spinapesce	3,48	2,1
5	Devesio a sez. 5	7,17	7,2
6	Devesio tra sez. 5 e sez. 1	2,75	1,9
7	Devesio tra sez. 1 e Camera	2,58	1,6
8	Chiusa tra Devesio e scolmatore	1,83	1,5
9	Chiusa tra scolmatore e Fonna	0,57	1,2
10	Carecchio a scolmatore	1,03	1,3
11	Carecchio tra scolmatore e Chiusa	0,24	0,9
12	Fonna a sez. 8	13,33	17,6
13	Fonna tra sez. 8 e scolmatore	0,82	1,3
14	Fonna tra scolmatore e conf. Chiusa	1,38	1,4
15	Fonna Guatta tra confluenza e Roggia Gambalona	8,28	9,9
16	Roggia Gambalona a scolmatore	1,20	1,4
17	Roggia Gambalona tra scolmatore e conf. Cerca	3,43	2,1
18	Roggia Gambalona tra conf. Cerca e Spinapesce	1,41	1,4
19	Bacino a imbocco Stura	11,57	15,0
20	Bacino cavo Guaderoglio (imbocco Cerca)	0,80	1,3
21	Bacino Cerca tra imbocco e Roggia Gambalona	2,86	2,0
22	Stura tra imbocco e sez. 14	9,17	11,6
23	Stura tra sez. 14 e ponte canale su Magrelli	1,88	1,8
25	Roggia Logna	1,74	1,6
26	Rio Carecchio complessivo (aree 10+11)	1,23	1,4

Tabella 10 - Portate di piena di progetto e tempi di crescita dell'idrogramma.

I bacini modellizzati con il metodo dell'invaso, generalmente di modesta estensione, sono caratterizzati da tempi di pioggia critici assai inferiori a quelli delle aste principali, per cui il colmo transita nelle aste principali ben prima dell'arrivo del colmo delle aree contribuenti principali.

Al fine di evitare la sottostima delle portate defluenti a causa del rapido esaurimento del colmo di piena delle aree caratterizzate da brevi tempi di pioggia si è proceduto limitando inferiormente il ramo di esaurimento ad un valore costante calcolato come:

$$Q_{cost} = Q_{tp} \cdot \frac{i_{tx}}{i_{tp}}$$

dove Q_{tp} è la portata di piena di progetto, i_{tp} è l'intensità di pioggia corrispondente e i_{tx} è l'intensità di pioggia calcolata in funzione di un tempo t_x pari a 15 ore, ovvero all'incirca il valore medio del tempo di crescita dell'idrogramma delle aree contribuenti analizzate mediante metodo SCS.

In questo modo si mantiene un deflusso costante proveniente dai bacini minori sostanzialmente pari (in relazione a verifiche effettuate) al valore al colmo che si genererebbe in tale bacino con un evento di pioggia di lunga durata.

In Figura 6 e Figura 7 sono riportati a titolo di esempio alcuni idrogrammi ottenuti con le diverse metodologie descritte.

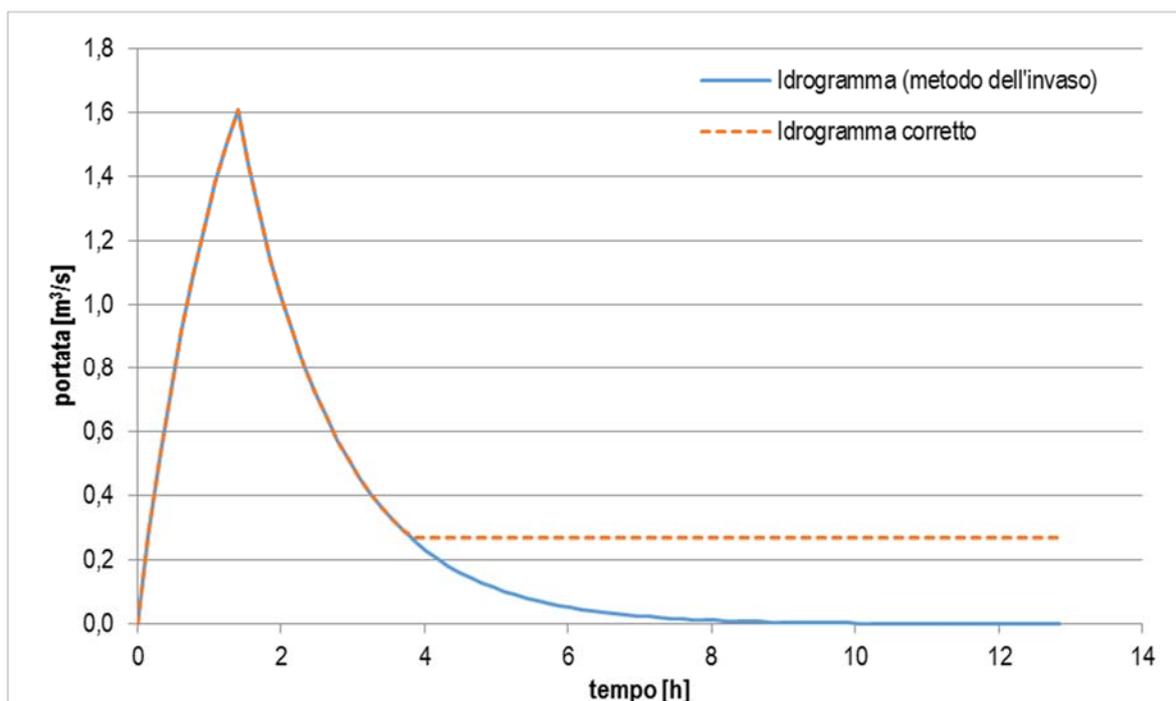


Figura 6 - Esempio degli idrogrammi ottenuti per piccoli bacini.

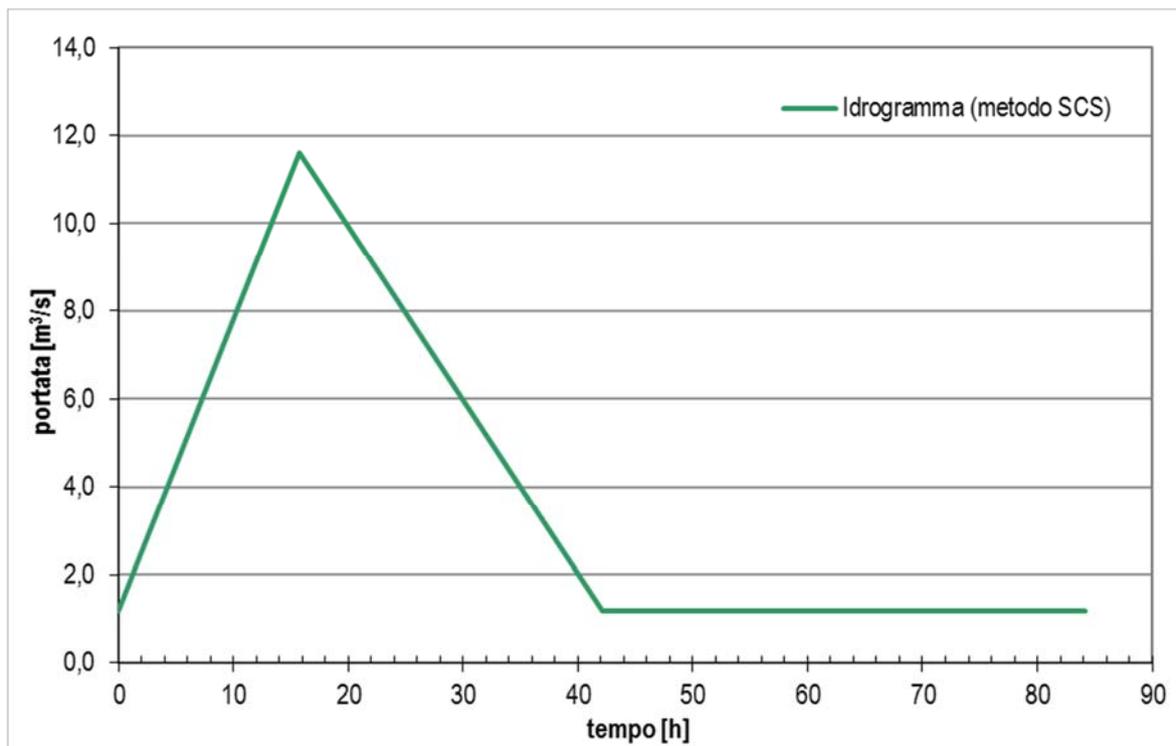


Figura 7 - Esempio degli idrogrammi ottenuti per le aree contribuenti principali.

5. ALLESTIMENTO DEI MODELLI NUMERICI

5.1 Dati topografici

Per la predisposizione dei modelli numerici utilizzati nel presente progetto sono stati eseguiti rilievi topografici a diverso livello di dettaglio della rete idrografica artificiale presente sul territorio del comune in modo da ottenere:

1. una caratterizzazione geometrica di dettaglio dei canali irrigui che transitano nel centro abitato di Fontanetto Po, comprensiva dei manufatti di attraversamento e regolazione presenti; tale attività è funzionale alla quantificazione delle massime portate ammissibili in grado di transitare senza causare allagamenti nel concentrico;
2. un rilievo celerimetrico di estremo dettaglio di una fascia di territorio a cavallo del tracciato di progetto dello scolmatore, con restituzione di piani quotati descrittivi della rete dei canali principali e minori, funzionale all'impostazione del progetto ma utilizzata anche per le analisi idrauliche;
3. una caratterizzazione geometrica di minor precisione dell'intera rete dei canali principali presenti nell'area di interesse, funzionale a quantificare e rappresentare la propagazione degli idrogrammi di piena in termini di valore al colmo, forma e volume generati dalle aree contribuenti sottese da ciascuna asta.

In Figura 8 è rappresentata la traccia delle sezioni oggetto del rilievo di cui al punto 3. Oltre a una distribuzione delle stesse idonea alla descrizione dell'idrodinamica dei canali, sono state aggiunte alcune "aree critiche" (A, B, C) per possibili esondazioni, segnalate dai rappresentanti dei Consorzi.

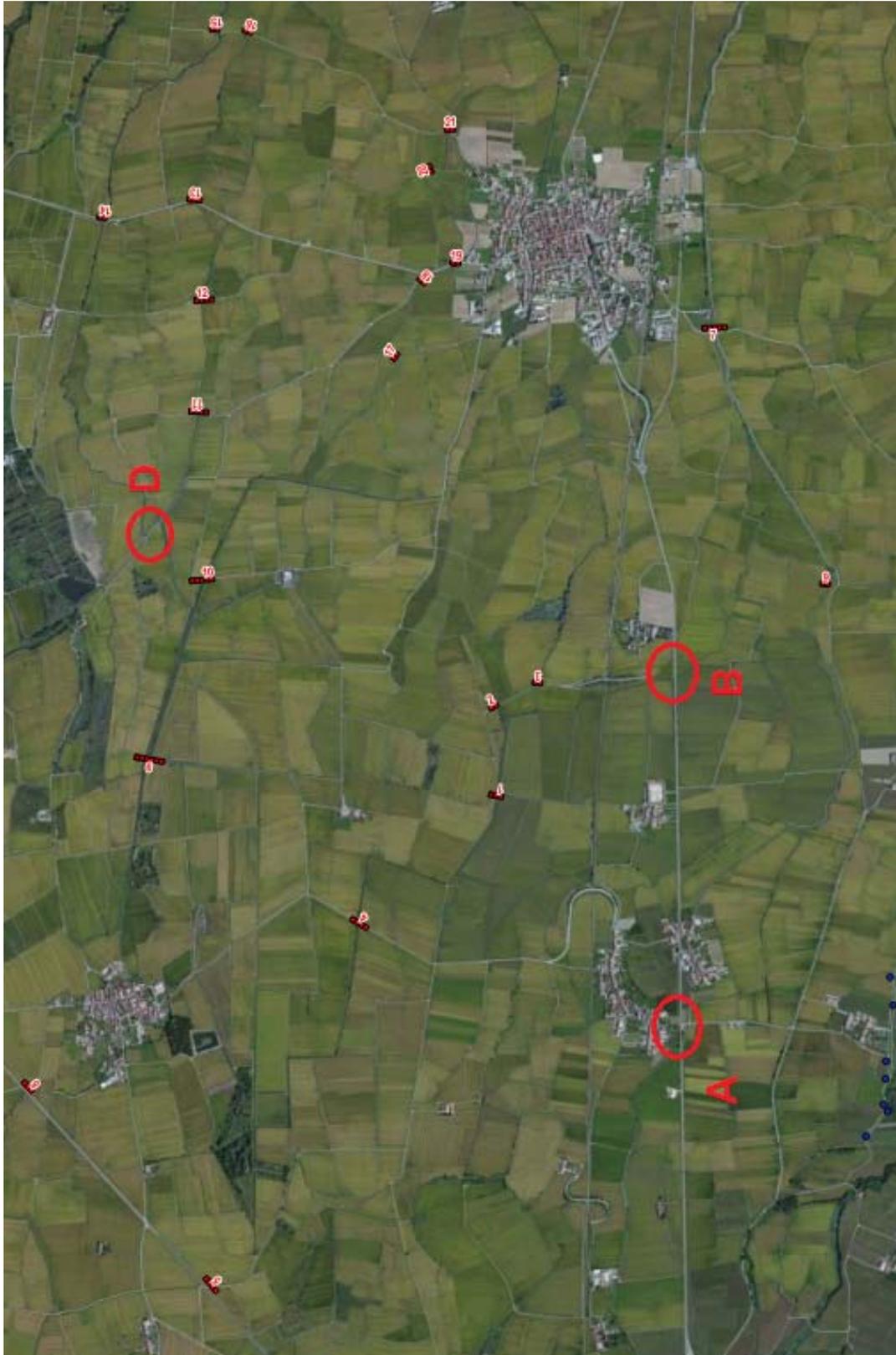


Figura 8 - Stralcio planimetrico del modello idrodinamico generale nell'intorno dell'abitato di Fontanetto Po con rappresentazione delle sezioni di rilievo e delle aree critiche.

Il rilievo di dettaglio descritto al punto 1 descrive topograficamente le aste della roggia Fonna, della roggia Chiusa e del canale minore che le collega idraulicamente da Nord a Sud. In particolare la roggia Fonna si sviluppa in direzione Ovest-Est nella parte settentrionale dell'abitato e dopo averlo attraversato riceve i deflussi della roggia Chiusa che si sviluppa a Sud del concentrico. La traccia delle sezioni di rilievo è rappresentata nel capitolo 5.3.

Il rilievo descritto al punto 3 ha permesso di rappresentare idrodinamicamente in modo schematico il reticolo idrografico artificiale a grande scala, avendo come solo obiettivo quello di determinare la distribuzione delle portate nella rete di canali e la propagazione/sovrapposizione degli idrogrammi fino all'area di interesse.

5.2 Descrizione sintetica del codice di calcolo

Lo studio idraulico è stato eseguito mediante l'applicazione del codice di calcolo MIKE 11 del DHI, di cui si riporta una descrizione sintetica in allegato al presente documento.

Il modello idrodinamico simula il deflusso in moto stazionario e non, secondo schematizzazione monodimensionale o quasi bidimensionale, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, descrivibile attraverso i diversi approcci dell'"onda cinematica", dell'"onda diffusiva" e dell'"onda dinamica" e con la messa in conto principalmente delle seguenti condizioni:

- portate laterali,
- flusso libero o rigurgitato,
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi,
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate,
- aree d'espansione,
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e H alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico H, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La soluzione del sistema di equazioni di De Saint Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte verso valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini versanti.

Gli attraversamenti esistenti (o in progetto nella successiva fase descritta nella *Relazione idraulica*) sono stati schematizzati nell'ambito del modello con una struttura di tipo "culvert", di forma geometrica variabile secondo una relazione quota-larghezza che tiene conto della luce di deflusso netta compresa tra le spalle dell'attraversamento (escludendo quindi l'eventuale area trasversale occupata dalle pile).

Tale assunzione risulta valida, in quanto il comportamento della corrente è regolato principalmente dal restringimento della sezione in presenza del ponte e dalle perdite di carico concentrate dovute allo stesso, più che da quelle distribuite lungo la struttura. Il piano viabile è stato rappresentato come una potenziale linea di sfioro inserita come struttura aggiuntiva (di tipo "weir") a quota coincidente con il piano viabile e quindi capace di rappresentare eventuali fenomeni di sormonto del ponte stesso.

Le soglie di fondo e gli sfioratori sono schematizzate da strutture di tipo “weir” capaci di simulare idrodinamicamente il deflusso attraverso una qualsivoglia tipologia di stramazzo a soglia fissa o regolata tramite paratoie.

In corrispondenza delle strutture la sezione di rilievo che le rappresenta è stata duplicata per esigenze di modellizzazione.

5.3 Modello di dettaglio dell'abitato di Fontanetto

Il rilievo utilizzato nel modello per descrivere la geometria delle rogge nel tratto cittadino è composto complessivamente 58 sezioni trasversali, di cui 36 si riferiscono all'alveo inciso e 22 ai manufatti di attraversamento e di regolazione presenti; in particolare sono state misurate 20 sezioni sulla roggia Fonna (su un'estensione di asta pari a circa 1756 m), 31 sezioni sulla Chiusa (per un'estensione di circa 1665 m) e 7 sezioni sul piccolo canale che le collega (per un'estensione di circa 322 m).

In Figura 9 si riporta uno stralcio planimetrico dell'abitato di Fontanetto in cui in rosso si evidenziano le sezioni trasversali introdotte nel modello ed in blu gli assi dei canali nello schema modellistico.

In Tabella 11, Tabella 12 e Tabella 13 si riportano i profili longitudinali del modello, in cui per ciascuna asta sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo.

Il modello è stato utilizzato con uno schema di calcolo in moto permanente, in quanto l'obiettivo principale è la definizione delle massime portate ammissibili senza esondazione.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
	SF1	0	143,61
	SF2	601,02	142,88
	SF3	905,96	142,48
	SF4	919,65	142,38
	SF5	943,94	142,39
	SF6	967,42	142,36
monte manufatto	SM1	975,73	142,52
valle manufatto	SM1	985,73	142,50
	SF7	1033,8	142,30
monte manufatto	SM2	1044,69	142,36
valle manufatto	SM2	1054,69	142,36
monte manufatto	SM3	1101,04	142,56
valle manufatto	SM3	1109,04	142,54
monte manufatto	SM4	1145,78	142,43
valle manufatto	SM4	1205,78	141,30
	SF8	1252,67	140,57
monte manufatto	SM5	1322,45	140,31

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
valle manufatto	SM5	1342,45	140,28
	SF9	1406,04	140,23
	SF10	1441,91	140,12
	SF11	1485,05	139,97
monte manufatto	SM6	1584,79	139,87
valle manufatto	SM6	1594,79	139,82
	SF12	1630,99	139,67
	SF13	1673,45	139,68
	SF14	1755,5	139,53

Tabella 11 - Profilo longitudinale della roggia Fonna.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
	SF15	0	141,82
	SF16	231,28	141,78
monte manufatto	SM7	474,57	141,22
valle manufatto	SM7	484,57	141,22
	SF17	529,8	141,27
	SF18	592,2	141,23
	SF19	670,54	141,26
monte manufatto	SM8	756,26	141,03
valle manufatto	SM8	771,26	140,98
	SF20	783,71	140,83
	SF21	900,63	140,68
	SF22	960,69	140,64
	SF23	1030,55	140,63
monte manufatto	SM9	1037,29	140,69
valle manufatto	SM9	1047,29	140,69
	SF24	1054,63	140,67
	SF24A	1065,75	140,62
	SF25	1125,25	140,73
monte manufatto	SM10	1148,72	140,62
valle manufatto	SM10	1168,72	140,57
	SF26	1183,87	140,47
monte manufatto	SM11	1187,23	140,65
valle manufatto	SM11	1212,23	140,60
	SF27	1221,02	140,62
monte manufatto	SM12	1226,99	140,66
valle manufatto	SM12	1234,99	140,66
monte manufatto	SM13	1243,54	140,67
valle manufatto	SM13	1252,54	140,62
	SF28	1276,74	140,62
monte manufatto	SM14	1285,07	140,57

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
valle manufatto	SM14	1300,07	140,52
monte manufatto	SM15	1331,4	140,46
valle manufatto	SM15	1345,4	140,46
monte manufatto	SM16	1395,23	140,46
valle manufatto	SM16	1417,23	140,41
	SF29	1466,9	140,27
	SF30	1493,2	140,20
	SF31	1532,19	140,20
monte manufatto	SM17	1603,04	140,19
valle manufatto	SM17	1611,04	140,19
	SF32	1632,55	140,17
monte manufatto	SM18	1647,48	140,23
valle manufatto	SM18	1653,48	140,18
	SF33	1664,43	139,13

Tabella 12 - Profilo longitudinale della roggia Chiusa.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
	Immissione da Fonna	0	142,36
monte manufatto	SM19	72,39	141,44
valle manufatto	SM19	85,39	141,40
monte manufatto	SM19B	90,58	141,35
valle manufatto	SM19B	99,58	141,30
monte manufatto	SM20	122,58	141,14
valle manufatto	SM20	132,58	141,14
monte manufatto	SM21	137,38	141,32
valle manufatto	SM21	146,38	141,32
monte manufatto	SM22	173,31	141,39
valle manufatto	SM22	280,31	141,34
	SM23	321,75	140,72

Tabella 13 - Profilo longitudinale della roggia di collegamento.

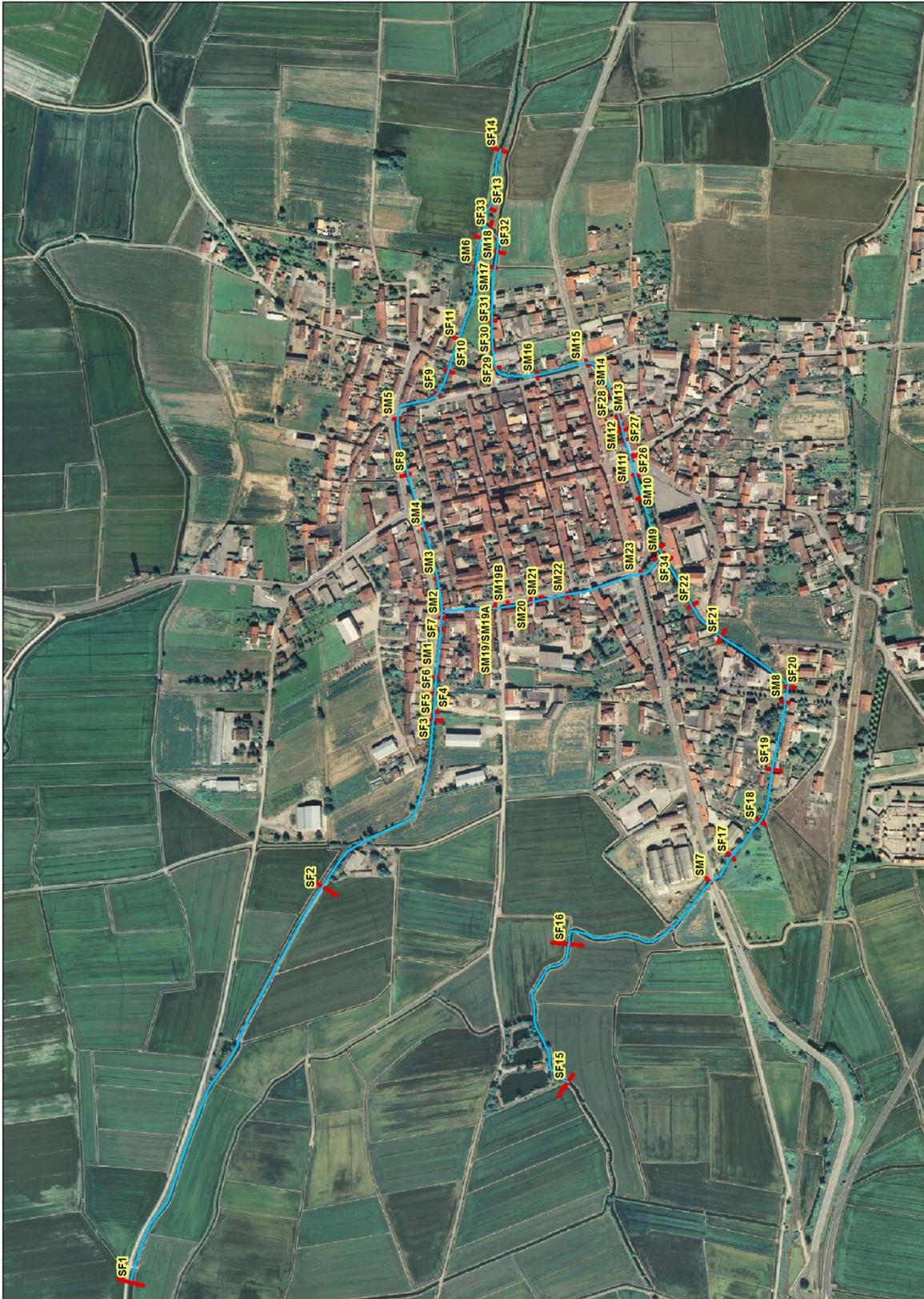


Figura 9 - Stralcio planimetrico del modello idrodinamico con rappresentazione delle sezioni di rilievo e degli assi dei canali.

5.4 Modello generale della rete dei canali

Il modello complessivo della rete dei canali è stato predisposto sulla base di 21 sezioni di rilievo integrate dalle 3 aree critiche denominate A, B e D; tali sezioni sono localizzate sulle principali canalizzazioni irrigue nel seguito elencate:

- fosso Raccogliitore su cui si sono rilevate le sezioni 1, 2, 3, 4, 5 e l'area B;
- roggia Camera su cui si sono rilevate le sezioni 6, 7 e l'area A; in essa confluisce il canale Raccogliitore;
- roggia Fonna su cui si sono rilevate le sezioni 8, 9 e 10;
- roggia Cerca su cui si sono rilevate le sezioni 11, 12, 13 e 16;
- roggia Stura (che si origina dalla roggia Cerca) su cui si sono rilevate le sezioni 14, 15 e l'area D;
- canale Roggione su cui si sono rilevate le sezioni 17, 18, 19, 20 e 21.

In Figura 8 si riporta uno stralcio planimetrico dell'area di rilievo con la rappresentazione delle sezioni trasversali sopra elencate in colore rosso. Nel modello le sezioni sono state integrate con quanto ricavabile dal rilievo celerimetrico di dettaglio in asse allo scolmatore e mediante opportune interpolazioni tra due sezioni di rilievo, per una migliore rappresentazione idrodinamica.

In Figura 10 si riporta lo schema del modello allestito, con indicate le sezioni di calcolo e le strutture idrauliche inserite (in blu) in alcuni tratti in cui sono risultati presenti manufatti che causano una interferenza significativa con il deflusso della portata di piena.

Il modello è stato utilizzato con uno schema di calcolo in moto vario, dovendo simulare la propagazione e sovrapposizione degli idrogrammi di piena nei canali.

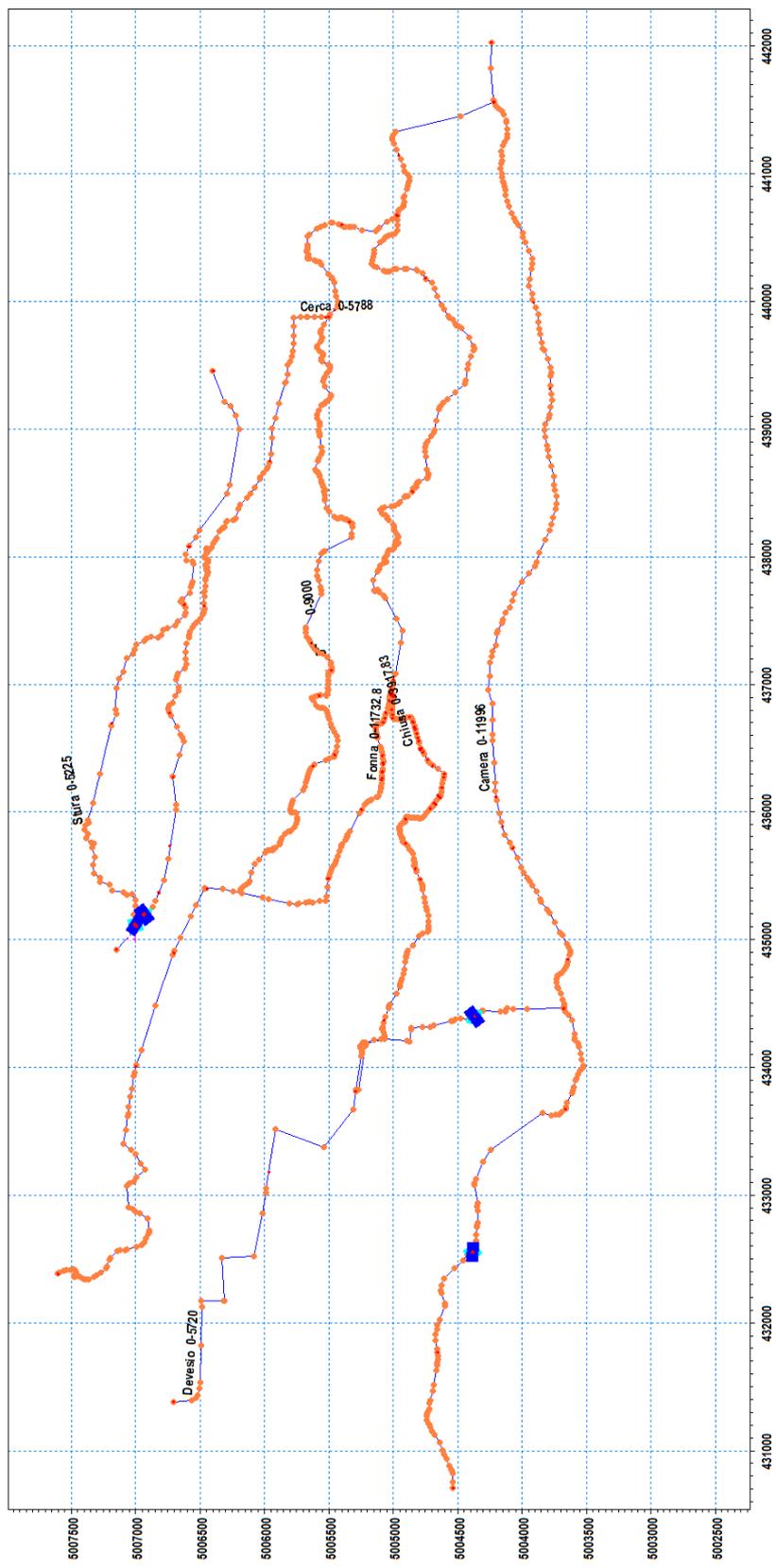


Figura 10 - Schema del modello monodimensionale rappresentativo delle condizioni di stato attuale.

5.5 Condizioni al contorno e coefficienti di resistenza distribuiti (scabrezze)

Le condizioni al contorno utilizzate nei modelli sono le seguenti:

- portata (costante o idrogramma) assegnata nella sezione più a monte del singolo ramo;
- aggiunte di contributi di portata concentrati (nel caso di immissioni di canali) o distribuite (per aree contribuenti per le quali non è individuabile un singolo punto preciso di immissione nell'asta principale);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione terminale di valle del modello.

Per la valutazione dei coefficienti di scabrezza da inserire nel modello si sono eseguiti sopralluoghi in campo in cui si sono valutati lo stato di manutenzione dei canali e delle opere esistenti, le caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo e quelle morfologiche (brusche variazioni di geometria della sezione). Le indicazioni acquisite nelle ricognizioni di campo sono state quindi riferite alla metodologia prescritta nella Deliberazione 11 maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po – aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 Aprile 2006 "*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B*" e degli altri riferimenti normativi in essa citati.

In conclusione si sono assunti cautelativamente coefficienti di scabrezza espressi secondo Strickler pari a 30 $m^{1/3}/s$ per le aree di alveo con presenza di vegetazione e di 40 $m^{1/3}/s$ per quelle (parzialmente) rivestite in cls (valore cautelativo).

Le capacità di portata dei vari tratti sono state stimate in via cautelativa assumendo per l'alveo delle rogge i coefficienti di scabrezza sopra definiti, nonostante esse spesso mostrino condizioni di manutenzione tale da comportare verosimilmente minori resistenze al moto. Tale assunzione costituisce un ulteriore elemento di sicurezza per la valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica dell'abitato di Fontanetto. Relativamente alla rete dei canali nel modello a grande scala, si tiene conto invece forfettariamente della presenza di singolarità che possano ridurre tale capacità di deflusso.

Per valutare invece la significatività delle portate considerate afferenti allo scolmatore (capitolo 7), in termini di effettiva possibilità che esse defluiscano almeno nel tratto terminale delle rogge considerate (senza esondare già diffusamente nel tratto a monte) si è considerato in via cautelativa l'assegnazione alle sezioni d'alveo di un coefficiente di scabrezza espresso secondo Strickler pari a 60 $m^{1/3}/s$, che costituisce il massimo ipotizzabile per una sezione in terra o parzialmente rivestita con assenza di vegetazione e materiale fine sul fondo.

6. ANALISI IDRAULICA DELLA RETE CONSORTILE

6.1 Condizioni di deflusso nell'abitato di Fontanetto Po

Le simulazioni eseguite per l'abitato di Fontanetto Po fanno riferimento a 2 scenari idrodinamici:

- Scenario 1: massima portata transitabile sulle rogge Fonna e Chiusa con portata entrante nella roggia di collegamento attraverso la paratoia di regolazione localizzata sull'incile della stessa (lato Fonna) con geometria di apertura $B \times H = 1,0 \times 0,2$ m.
- Scenario 2: stesse condizioni geometriche dello scenario precedente ma considerando completamente chiusa la paratoia localizzata all'incile della roggia di collegamento.

La ricerca della massima portata transitabile nell'abitato con franco di sicurezza circa nullo è avvenuta eseguendo successive simulazioni fino a raggiungere le condizioni di deflusso a "bordi pieni" della roggia Fonna

(garantendo comunque un franco minimo di 20 cm in ogni punto) e della roggia Chiusa (la condizione di franco quasi nullo viene raggiunta solo su 2 sezioni, mentre nel resto del tratto il franco è sempre superiore ai 20 cm). Per quanto attiene la roggia di collegamento essa viene riempita dalla portata in transito dalla paratoia parzialmente aperta nello Scenario 1, e per solo rigurgito indotto da valle dalla roggia Chiusa nello Scenario 2.

6.1.1 Simulazione per lo Scenario 1

La simulazione relativa allo **Scenario 1** ha ipotizzato un deflusso massimo pari a 2,0 m³/s sulla roggia Fonna, di 6,0 m³/s sulla roggia Chiusa; le condizioni di apertura della paratoia posta sull'incile del canale di collegamento generano un'immissione di portata in esso pari a 0,26 m³/s, recapitate alla roggia Chiusa.

La distribuzione delle portate risulta quindi la seguente:

Roggia Fonna

- 2,00 m³/s in entrata nella sezione SF1 posta all'estremo di monte del modello;
- 1,74 m³/s dalla sezione SM3 (localizzata a valle della paratoia sull'incile della roggia di collegamento) alla sezione SF12,
- 8,00 m³/s nel tratto a valle della confluenza della roggia Chiusa nella Fonna (sezioni SF13 e 14).

Roggia Chiusa

- 6,00 m³/s in entrata nella sezione SF15 posta all'estremo di monte del modello;
- 6,26 m³/s nella sezione SM9, localizzata a valle della confluenza della roggia di collegamento;

Roggia di collegamento

- 0,26 m³/s in entrata dalla paratoia di monte parzialmente aperta.

Di seguito si riportano le tabelle dei risultati e i profili di corrente relativi a ciascuna roggia, mentre in ALLEGATO 2 si forniscono le sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici massimi

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
	SF1	0	143,61	0,76	144,37	144,39	2,00	0,62	3,24	5,93	0,27
	SF2	601,02	142,88	0,86	143,74	143,77	2,00	0,81	2,47	3,78	0,32
	SF3	905,96	142,48	0,79	143,27	143,29	2,00	0,59	3,37	5,17	0,23
	SF4	919,65	142,38	0,89	143,27	143,28	2,00	0,52	3,84	4,75	0,18
	SF5	943,94	142,39	0,86	143,25	143,27	2,00	0,57	3,51	4,57	0,21
	SF6	967,42	142,36	0,88	143,24	143,26	2,00	0,61	3,29	4,14	0,22
monte manufatto	SM1	975,73	142,52	0,71	143,23	143,25	2,00	0,70	2,86	4,12	0,27
valle manufatto	SM1	985,73	142,50	0,72	143,22	143,25	2,00	0,70	2,84	4,12	0,27
	SF7	1033,8	142,30	0,90	143,20	143,22	2,00	0,58	3,45	4,33	0,21
monte manufatto	SM2	1044,69	142,36	0,84	143,20	143,22	2,00	0,55	3,65	4,45	0,19
valle manufatto	SM2	1054,69	142,36	0,83	143,19	143,21	2,00	0,56	3,59	4,45	0,20
monte manufatto	SM3	1101,04	142,56	0,61	143,17	143,19	1,74	0,57	3,04	4,99	0,23
valle manufatto	SM3	1109,04	142,54	0,62	143,16	143,18	1,74	0,56	3,09	4,99	0,23

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
monte manufatto	SM4	1145,78	142,43	0,63	143,06	143,17	1,74	1,49	1,17	1,87	0,60
valle manufatto	SM4	1205,78	141,30	0,43	141,73	141,97	1,74	2,15	0,81	1,87	1,04
	SF8	1252,67	140,57	0,48	141,05	141,07	1,74	0,65	2,67	5,85	0,31
monte manufatto	SM5	1322,45	140,31	0,71	141,02	141,03	1,74	0,44	3,94	6,48	0,18
valle manufatto	SM5	1342,45	140,28	0,73	141,01	141,02	1,74	0,43	4,02	6,48	0,18
	SF9	1406,04	140,23	0,76	140,99	141,00	1,74	0,48	3,60	6,42	0,21
	SF10	1441,91	140,12	0,86	140,98	140,99	1,74	0,43	4,01	5,54	0,16
	SF11	1485,05	139,97	1,01	140,98	140,99	1,74	0,41	4,23	5,14	0,14
monte manufatto	SM6	1584,79	139,87	1,09	140,96	140,97	1,74	0,37	4,66	5,40	0,13
valle manufatto	SM6	1594,79	139,82	1,14	140,96	140,97	1,74	0,36	4,78	5,39	0,12
	SF12	1630,99	139,67	1,28	140,95	140,96	1,74	0,36	4,82	5,52	0,12
	SF13	1673,45	139,68	1,25	140,93	140,95	8,00	0,68	11,80	7,32	0,17
	SF14	1755,5	139,53	1,27	140,80	140,87	8,00	1,17	6,84	6,97	0,38

Tabella 14 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia Fonna nello Scenario 1.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
	SF15	0	141,82	1,44	143,26	143,31	6,00	0,95	6,31	7,19	0,32
	SF16	231,28	141,78	1,18	142,96	143,00	6,00	0,93	6,47	8,69	0,34
monte manufatto	SM7	474,57	141,22	1,39	142,61	142,67	6,00	1,06	5,66	4,33	0,30
valle manufatto	SM7	484,57	141,22	1,36	142,58	142,64	6,00	1,08	5,55	4,33	0,30
	SF17	529,8	141,27	1,24	142,51	142,57	6,00	1,04	5,76	6,79	0,36
	SF18	592,2	141,23	1,22	142,45	142,49	6,00	0,88	6,81	8,79	0,32
	SF19	670,54	141,26	1,06	142,32	142,40	6,00	1,29	4,65	4,62	0,41
monte manufatto	SM8	756,26	141,03	1,20	142,23	142,28	6,00	1,03	5,81	5,12	0,31
valle manufatto	SM8	771,26	140,98	1,17	142,15	142,21	6,00	1,07	5,63	5,11	0,32
	SF20	783,71	140,83	1,31	142,14	142,19	6,00	0,99	6,08	5,73	0,31
	SF21	900,63	140,68	1,41	142,09	142,12	6,00	0,77	7,76	7,65	0,25
	SF22	960,69	140,64	1,42	142,06	142,10	6,00	0,86	6,95	5,98	0,26
	SF23	1030,55	140,63	1,39	142,02	142,06	6,00	0,89	6,73	5,19	0,25
monte manufatto	SM9	1037,29	140,69	1,33	142,02	142,06	6,00	0,85	7,09	5,69	0,24
valle manufatto	SM9	1047,29	140,69	1,32	142,01	142,05	6,26	0,89	7,02	5,69	0,26
	SF24	1054,63	140,67	1,36	142,03	142,04	6,26	0,49	12,89	12,19	0,15
	SF24A	1065,75	140,62	1,40	142,02	142,04	6,26	0,66	9,49	9,44	0,21
	SF25	1125,25	140,73	1,25	141,98	142,01	6,26	0,78	8,00	7,62	0,24
monte manufatto	SM10	1148,72	140,62	1,35	141,97	142,00	6,26	0,80	7,82	6,94	0,24
valle manufatto	SM10	1168,72	140,57	1,33	141,90	141,93	6,26	0,82	7,65	6,59	0,24
	SF26	1183,87	140,47	1,39	141,86	141,92	6,26	1,08	5,82	4,06	0,29
monte manufatto	SM11	1187,23	140,65	1,20	141,85	141,93	6,26	1,26	4,96	4,42	0,38
valle manufatto	SM11	1212,23	140,60	1,23	141,83	141,91	6,26	1,24	5,06	4,42	0,37
	SF27	1221,02	140,62	1,21	141,83	141,89	6,26	1,12	5,59	4,79	0,33

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m³/s	m/s	m²	m	-
monte manufatto	SM12	1226,99	140,66	1,15	141,81	141,89	6,26	1,23	5,10	4,76	0,38
valle manufatto	SM12	1234,99	140,66	1,12	141,78	141,86	6,26	1,26	4,95	4,77	0,40
monte manufatto	SM13	1243,54	140,67	1,09	141,76	141,85	6,26	1,29	4,84	4,76	0,41
valle manufatto	SM13	1252,54	140,62	1,12	141,74	141,82	6,26	1,28	4,89	4,75	0,40
	SF28	1276,74	140,62	1,08	141,70	141,79	6,26	1,32	4,74	4,75	0,42
monte manufatto	SM14	1285,07	140,57	1,13	141,70	141,78	6,26	1,23	5,08	4,69	0,38
valle manufatto	SM14	1300,07	140,52	1,15	141,67	141,75	6,26	1,22	5,14	4,69	0,37
monte manufatto	SM15	1331,4	140,46	1,16	141,62	141,70	6,26	1,26	4,95	4,62	0,39
valle manufatto	SM15	1345,4	140,46	1,13	141,59	141,68	6,26	1,30	4,80	4,61	0,41
monte manufatto	SM16	1395,23	140,46	1,09	141,55	141,61	6,26	1,07	5,87	6,49	0,36
valle manufatto	SM16	1417,23	140,41	1,13	141,54	141,60	6,26	1,05	5,99	6,48	0,35
	SF29	1466,9	140,27	1,22	141,49	141,55	6,26	1,12	5,59	5,46	0,35
	SF30	1493,2	140,20	1,28	141,48	141,52	6,26	0,93	6,72	6,58	0,29
	SF31	1532,19	140,20	1,23	141,43	141,48	6,26	1,00	6,28	6,10	0,31
monte manufatto	SM17	1603,04	140,19	1,13	141,32	141,38	6,26	1,06	5,91	6,06	0,34
valle manufatto	SM17	1611,04	140,19	1,12	141,31	141,37	6,26	1,07	5,85	6,06	0,35
	SF32	1632,55	140,17	1,10	141,27	141,33	6,26	1,06	5,91	7,52	0,38
monte manufatto	SM18	1647,48	140,23	0,92	141,15	141,32	6,26	1,85	3,38	3,38	0,59
valle manufatto	SM18	1653,48	140,18	0,91	141,09	141,30	6,26	2,04	3,07	3,38	0,68
	SF33	1664,43	139,13	1,82	140,95	140,96	6,26	0,36	17,63	14,15	0,10

Tabella 15 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia Chiusa nello Scenario 1.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m³/s	m/s	m²	m	-
	Immissione	0	142,36	0,20	142,56	142,57	0,26	0,52	0,50	1,00	0,23
monte manufatto	SM19	72,39	141,44	0,64	142,08	142,08	0,26	0,22	1,19	1,93	0,09
valle manufatto	SM19	85,39	141,40	0,67	142,07	142,07	0,26	0,21	1,25	1,93	0,08
monte manufatto	SM19B	90,58	141,35	0,72	142,07	142,07	0,26	0,19	1,37	2,74	0,09
valle manufatto	SM19B	99,58	141,30	0,76	142,06	142,06	0,26	0,19	1,40	2,71	0,08
monte manufatto	SM20	122,58	141,14	0,92	142,06	142,06	0,26	0,15	1,72	2,51	0,06
valle manufatto	SM20	132,58	141,14	0,91	142,05	142,05	0,26	0,15	1,69	2,38	0,06
monte manufatto	SM21	137,38	141,32	0,72	142,04	142,04	0,26	0,20	1,27	2,45	0,09
valle manufatto	SM21	146,38	141,32	0,72	142,04	142,04	0,26	0,21	1,25	2,43	0,09
monte manufatto	SM22	173,31	141,39	0,64	142,03	142,03	0,26	0,19	1,37	2,80	0,09
valle manufatto	SM22	280,31	141,34	0,68	142,02	142,02	0,26	0,18	1,42	2,74	0,08
	SM23	321,75	140,72	1,30	142,02	142,02	0,26	0,05	5,44	4,72	0,01

Tabella 16 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia di collegamento nello Scenario 1.

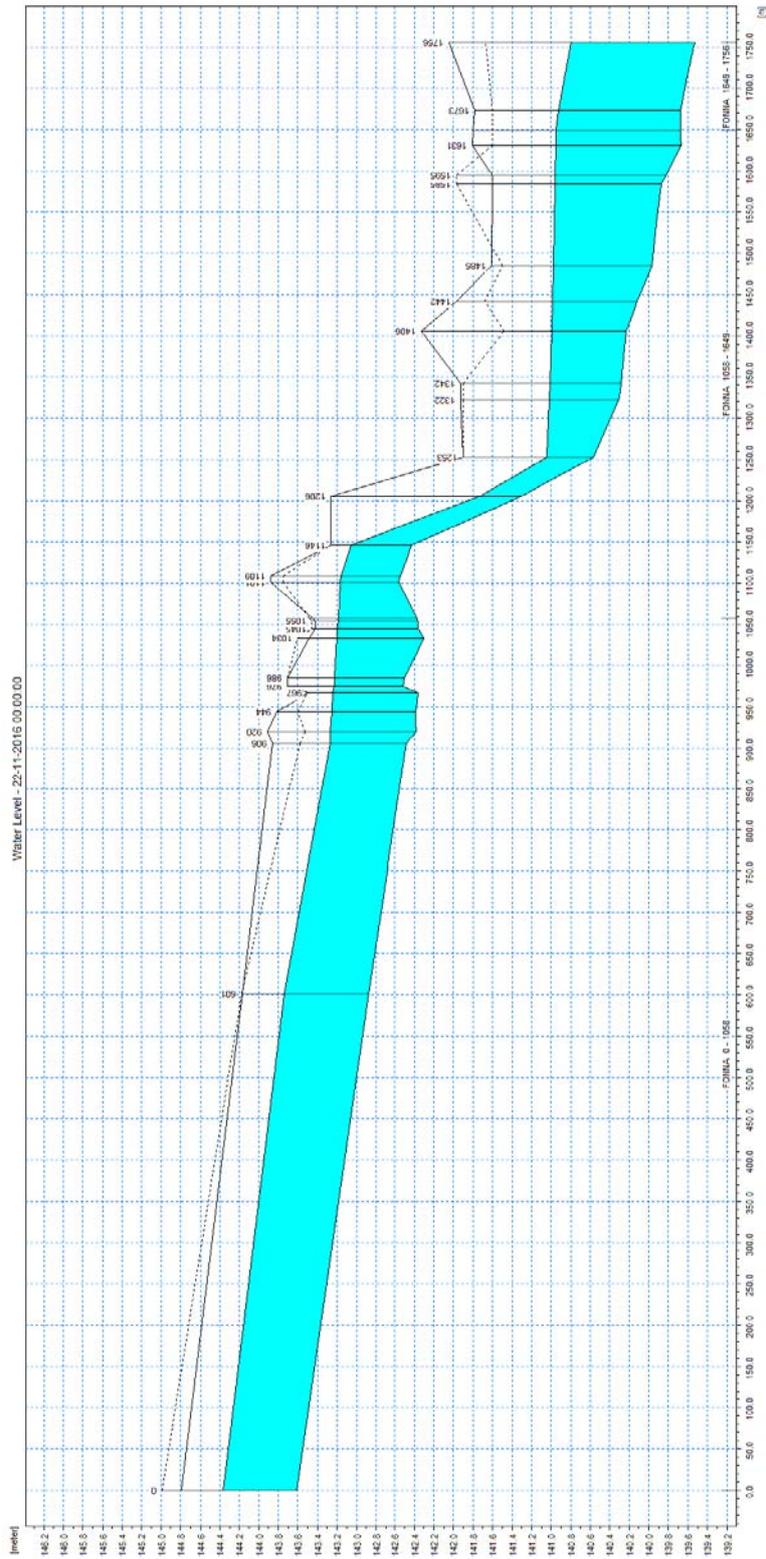


Figura 11 - Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia Fonna nello Scenario 1.

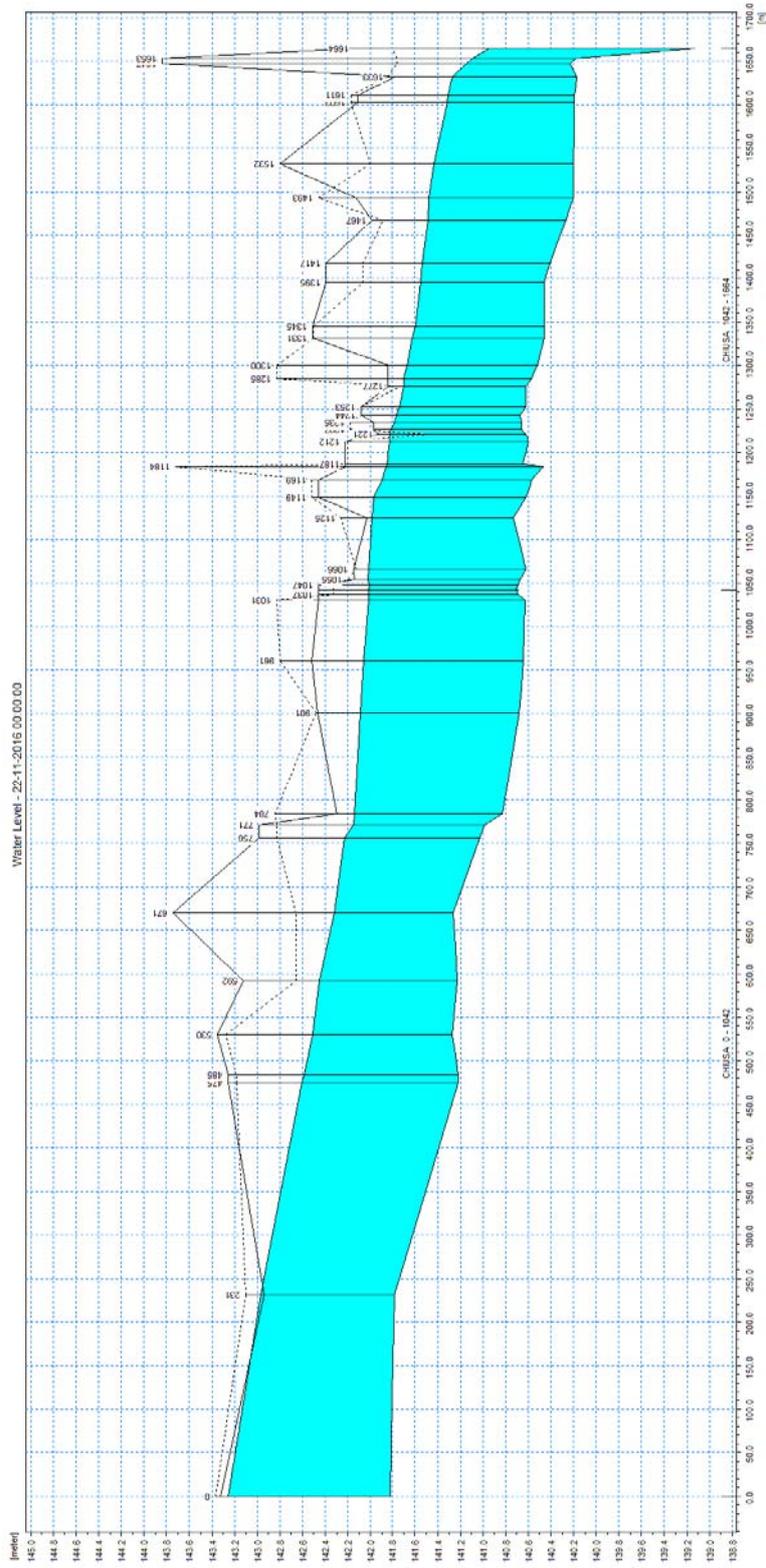


Figura 12 - Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia Chiusa nello Scenario 1.

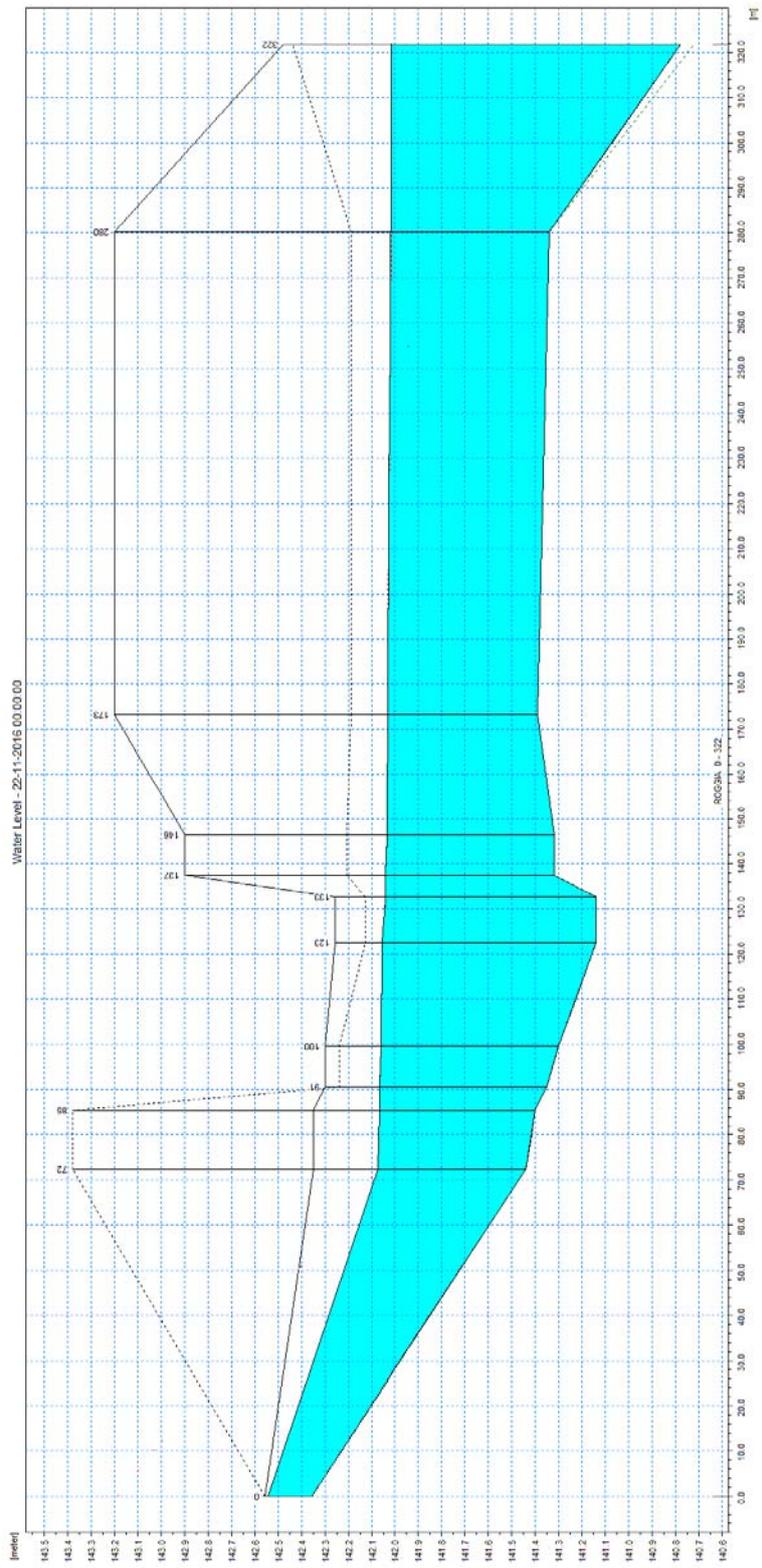


Figura 13 - Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia di collegamento nello Scenario 1.

Nello Scenario 1 la roggia Fonna risulta in maggiore sicurezza idraulica in quanto da valle del manufatto 2 vi è una diminuzione di portata (malgrado sia di piccola entità) che consente il transito nell'abitato con franchi sempre superiori a 0,3 m ad eccezione delle sezioni localizzate in prossimità del manufatto SM2 dove in sinistra si registra un franco idraulico di sicurezza di 0,26 m mentre in destra di 0,22 m.

La roggia di collegamento, che percorre corso Duca d'Aosta, trasferisce la portata di 0,26 m³/s con ampi franchi rispetto alle sponde.

Sulla roggia Chiusa si registrano franchi di sicurezza molto limitati in corrispondenza della sezione SF27 in sinistra dove la presenza di un muretto impedisce di qualche centimetro che il livello allaghi una proprietà privata.

6.1.2 Simulazione per lo Scenario 2

La simulazione relativa allo **Scenario 2** ha ipotizzato le stesse condizioni di deflusso dello scenario precedente ma con la paratoia sulla roggia di collegamento completamente chiusa.

La distribuzione delle portate risulta quindi la seguente.

Roggia Fonna

- 2,0 m³/s in entrata nella sezione SF1 posta all'estremo di monte del modello;
- 8,0 m³/s nel tratto a valle della confluenza della roggia chiusa in Fonna (sezioni SF13 e 14).

Roggia Chiusa

- 6,0 m³/s in entrata nella sezione SF15 posta all'estremo di monte del modello.

Roggia di collegamento

- assenza di portata in entrata a monte con riempimento della sezione per effetto del rigurgito indotto dalla roggia Chiusa.

Di seguito si riportano le tabelle dei risultati e i profili di corrente relativi a ciascuna roggia, mentre in ALLEGATO 3 si forniscono le sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici massimi.

I risultati non si discostano molto da quelli di scenario 1, con condizioni di deflusso leggermente più gravose per la roggia Fonna e meno gravose per la Chiusa.

Si confermano in ogni caso i valori individuati come capacità di portata limite di 2,0 m³/s e 6,0 m³/s per le rogge Fonna e Chiusa, da considerare per le finalità del dimensionamento dello scolmatore.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m³/s	m/s	m²	m	-
	SF1	0	143,61	0,76	144,37	144,39	2,00	0,62	3,24	5,93	0,27
	SF2	601,02	142,88	0,87	143,75	143,78	2,00	0,80	2,50	3,79	0,31
	SF3	905,96	142,48	0,84	143,32	143,34	2,00	0,55	3,63	5,25	0,21
	SF4	919,65	142,38	0,94	143,32	143,33	2,00	0,49	4,08	4,75	0,17
	SF5	943,94	142,39	0,92	143,31	143,32	2,00	0,53	3,76	4,58	0,19
	SF6	967,42	142,36	0,94	143,30	143,32	2,00	0,57	3,52	4,15	0,20
monte manufatto	SM1	975,73	142,52	0,77	143,29	143,31	2,00	0,65	3,10	4,13	0,24
valle manufatto	SM1	985,73	142,50	0,78	143,28	143,30	2,00	0,65	3,08	4,13	0,24
	SF7	1033,8	142,30	0,97	143,27	143,28	2,00	0,54	3,72	4,35	0,19
monte manufatto	SM2	1044,69	142,36	0,90	143,26	143,27	2,00	0,51	3,93	4,46	0,17
valle manufatto	SM2	1054,69	142,36	0,89	143,25	143,26	2,00	0,52	3,87	4,46	0,18
monte manufatto	SM3	1101,04	142,56	0,67	143,23	143,25	2,00	0,60	3,34	4,99	0,23
valle manufatto	SM3	1109,04	142,54	0,68	143,22	143,24	2,00	0,59	3,40	4,99	0,23
monte manufatto	SM4	1145,78	142,43	0,69	143,12	143,24	2,00	1,55	1,29	1,87	0,60
valle manufatto	SM4	1205,78	141,30	0,47	141,77	142,03	2,00	2,27	0,88	1,87	1,06
	SF8	1252,67	140,57	0,50	141,07	141,10	2,00	0,72	2,79	5,86	0,33
monte manufatto	SM5	1322,45	140,31	0,73	141,04	141,05	2,00	0,49	4,05	6,49	0,20
valle manufatto	SM5	1342,45	140,28	0,75	141,03	141,04	2,00	0,48	4,13	6,49	0,19
	SF9	1406,04	140,23	0,77	141,00	141,02	2,00	0,54	3,67	6,42	0,23
	SF10	1441,91	140,12	0,87	140,99	141,00	2,00	0,49	4,06	5,54	0,18
	SF11	1485,05	139,97	1,01	140,98	140,99	2,00	0,47	4,23	5,14	0,17
monte manufatto	SM6	1584,79	139,87	1,09	140,96	140,97	2,00	0,43	4,66	5,40	0,15
valle manufatto	SM6	1594,79	139,82	1,14	140,96	140,97	2,00	0,42	4,78	5,39	0,14
	SF12	1630,99	139,67	1,28	140,95	140,96	2,00	0,41	4,82	5,52	0,14
	SF13	1673,45	139,68	1,25	140,93	140,95	8,00	0,68	11,80	7,32	0,17
	SF14	1755,5	139,53	1,27	140,80	140,87	8,00	1,17	6,84	6,97	0,38

Tabella 17 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia Fonna nello Scenario 2.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m³/s	m/s	m²	m	-
	SF15	0	141,82	1,44	143,26	143,31	6,00	0,95	6,31	7,19	0,32
	SF16	231,28	141,78	1,18	142,96	143,00	6,00	0,93	6,47	8,69	0,34
monte manufatto	SM7	474,57	141,22	1,38	142,60	142,66	6,00	1,07	5,61	4,33	0,30
valle manufatto	SM7	484,57	141,22	1,35	142,57	142,63	6,00	1,09	5,51	4,32	0,31
	SF17	529,8	141,27	1,23	142,50	142,56	6,00	1,06	5,67	6,70	0,37
	SF18	592,2	141,23	1,20	142,43	142,47	6,00	0,90	6,67	8,65	0,33
	SF19	670,54	141,26	1,04	142,30	142,39	6,00	1,32	4,54	4,62	0,43
monte manufatto	SM8	756,26	141,03	1,17	142,20	142,26	6,00	1,06	5,64	5,11	0,32
valle manufatto	SM8	771,26	140,98	1,14	142,12	142,18	6,00	1,09	5,49	5,11	0,34
	SF20	783,71	140,83	1,28	142,11	142,16	6,00	1,02	5,91	5,70	0,32
	SF21	900,63	140,68	1,38	142,06	142,09	6,00	0,80	7,49	7,57	0,26
	SF22	960,69	140,64	1,38	142,02	142,06	6,00	0,89	6,73	5,95	0,27

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
	SF23	1030,55	140,63	1,35	141,98	142,02	6,00	0,92	6,51	5,19	0,26
monte manufatto	SM9	1037,29	140,69	1,29	141,98	142,02	6,00	0,88	6,85	5,69	0,25
valle manufatto	SM9	1047,29	140,69	1,27	141,96	142,00	6,00	0,88	6,78	5,69	0,26
	SF24	1054,63	140,67	1,31	141,98	141,99	6,00	0,48	12,38	11,63	0,15
	SF24A	1065,75	140,62	1,35	141,97	141,99	6,00	0,66	9,10	9,21	0,21
	SF25	1125,25	140,73	1,21	141,94	141,97	6,00	0,78	7,67	7,61	0,25
monte manufatto	SM10	1148,72	140,62	1,31	141,93	141,96	6,00	0,80	7,52	6,59	0,24
valle manufatto	SM10	1168,72	140,57	1,29	141,86	141,89	6,00	0,81	7,40	6,58	0,24
	SF26	1183,87	140,47	1,36	141,83	141,89	6,00	1,06	5,65	4,05	0,29
monte manufatto	SM11	1187,23	140,65	1,16	141,81	141,89	6,00	1,25	4,80	4,42	0,38
valle manufatto	SM11	1212,23	140,60	1,20	141,80	141,88	6,00	1,22	4,93	4,42	0,37
	SF27	1221,02	140,62	1,18	141,80	141,86	6,00	1,10	5,44	4,79	0,33
monte manufatto	SM12	1226,99	140,66	1,12	141,78	141,85	6,00	1,21	4,96	4,76	0,38
valle manufatto	SM12	1234,99	140,66	1,09	141,75	141,83	6,00	1,25	4,81	4,76	0,40
monte manufatto	SM13	1243,54	140,67	1,06	141,73	141,81	6,00	1,28	4,70	4,75	0,41
valle manufatto	SM13	1252,54	140,62	1,09	141,71	141,79	6,00	1,26	4,75	4,75	0,40
	SF28	1276,74	140,62	1,05	141,67	141,76	6,00	1,30	4,60	4,74	0,42
monte manufatto	SM14	1285,07	140,57	1,10	141,67	141,75	6,00	1,21	4,94	4,69	0,38
valle manufatto	SM14	1300,07	140,52	1,12	141,64	141,71	6,00	1,20	5,01	4,69	0,37
monte manufatto	SM15	1331,4	140,46	1,14	141,60	141,68	6,00	1,24	4,82	4,61	0,39
valle manufatto	SM15	1345,4	140,46	1,11	141,57	141,65	6,00	1,28	4,68	4,61	0,41
monte manufatto	SM16	1395,23	140,46	1,06	141,52	141,58	6,00	1,05	5,69	6,46	0,36
valle manufatto	SM16	1417,23	140,41	1,10	141,51	141,56	6,00	1,03	5,81	6,44	0,35
	SF29	1466,9	140,27	1,19	141,46	141,52	6,00	1,10	5,44	5,45	0,35
	SF30	1493,2	140,20	1,25	141,45	141,49	6,00	0,92	6,54	6,57	0,29
	SF31	1532,19	140,20	1,21	141,41	141,46	6,00	0,98	6,12	6,06	0,31
monte manufatto	SM17	1603,04	140,19	1,10	141,29	141,35	6,00	1,04	5,75	6,05	0,34
valle manufatto	SM17	1611,04	140,19	1,09	141,28	141,34	6,00	1,05	5,69	6,05	0,35
	SF32	1632,55	140,17	1,07	141,24	141,30	6,00	1,05	5,71	7,44	0,38
monte manufatto	SM18	1647,48	140,23	0,89	141,12	141,30	6,00	1,87	3,21	3,38	0,61
valle manufatto	SM18	1653,48	140,18	0,90	141,08	141,28	6,00	1,99	3,02	3,38	0,67
	SF33	1664,43	139,13	1,82	140,95	140,96	6,00	0,34	17,63	14,15	0,10

Tabella 18 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia Chiusa nello Scenario 2.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
	Immissione	0	142,36	0,00	142,36	142,36	0,00	0,00	0,10	1,00	0,00
monte manufatto	SM19	72,39	141,44	0,53	141,97	141,97	0,00	0,00	0,99	1,93	0,00
valle manufatto	SM19	85,39	141,40	0,57	141,97	141,97	0,00	0,00	1,07	1,93	0,00
monte manufatto	SM19B	90,58	141,35	0,62	141,97	141,97	0,00	0,00	1,11	2,61	0,00
valle manufatto	SM19B	99,58	141,30	0,67	141,97	141,97	0,00	0,00	1,17	2,61	0,00
monte manufatto	SM20	122,58	141,14	0,83	141,97	141,97	0,00	0,00	1,53	1,90	0,00
valle manufatto	SM20	132,58	141,14	0,83	141,97	141,97	0,00	0,00	1,53	1,90	0,00
monte manufatto	SM21	137,38	141,32	0,65	141,97	141,97	0,00	0,00	1,10	2,21	0,00
valle manufatto	SM21	146,38	141,32	0,65	141,97	141,97	0,00	0,00	1,10	2,21	0,00
monte manufatto	SM22	173,31	141,39	0,58	141,97	141,97	0,00	0,00	1,20	2,63	0,00
valle manufatto	SM22	280,31	141,34	0,63	141,97	141,97	0,00	0,00	1,31	2,63	0,00
	SM23	321,75	140,72	1,25	141,97	141,97	0,00	0,00	5,24	4,72	0,00

Tabella 19 - Massimo deflusso in transito sulla Roggia di collegamento nello Scenario 2.

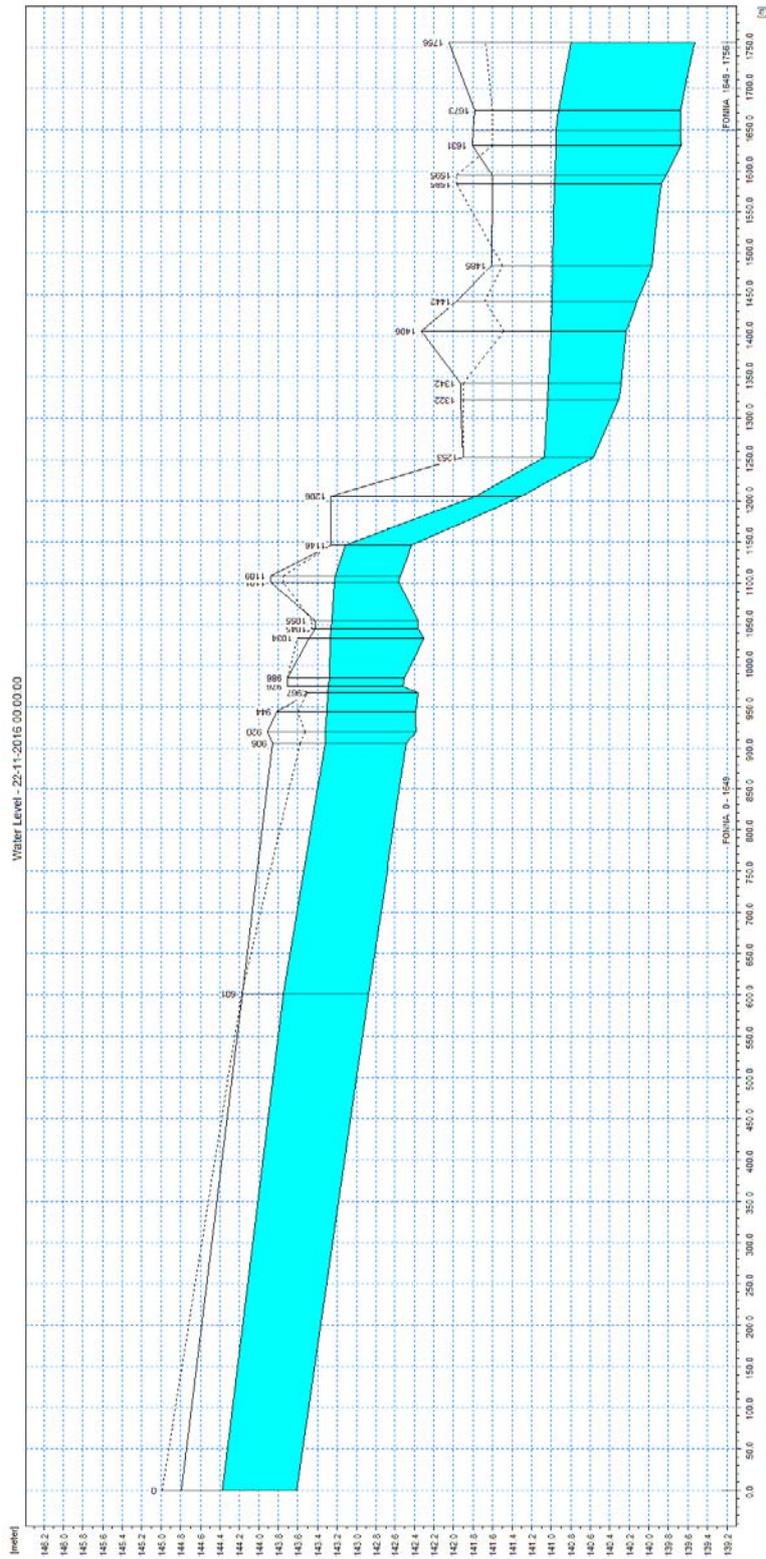


Figura 14 - Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia Fonna nello Scenario 2.

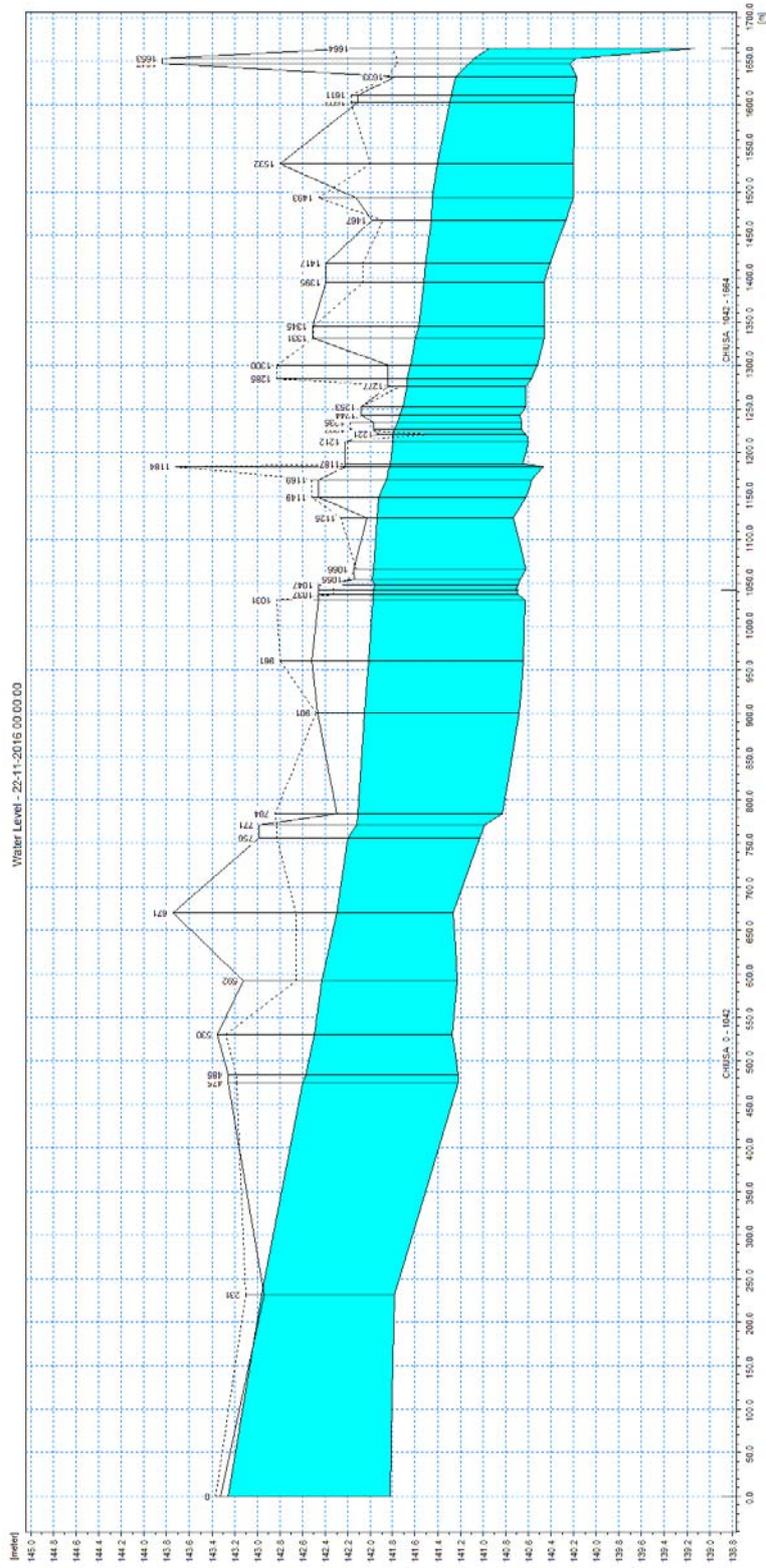


Figura 15 – Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia Chiusa nello Scenario 2.

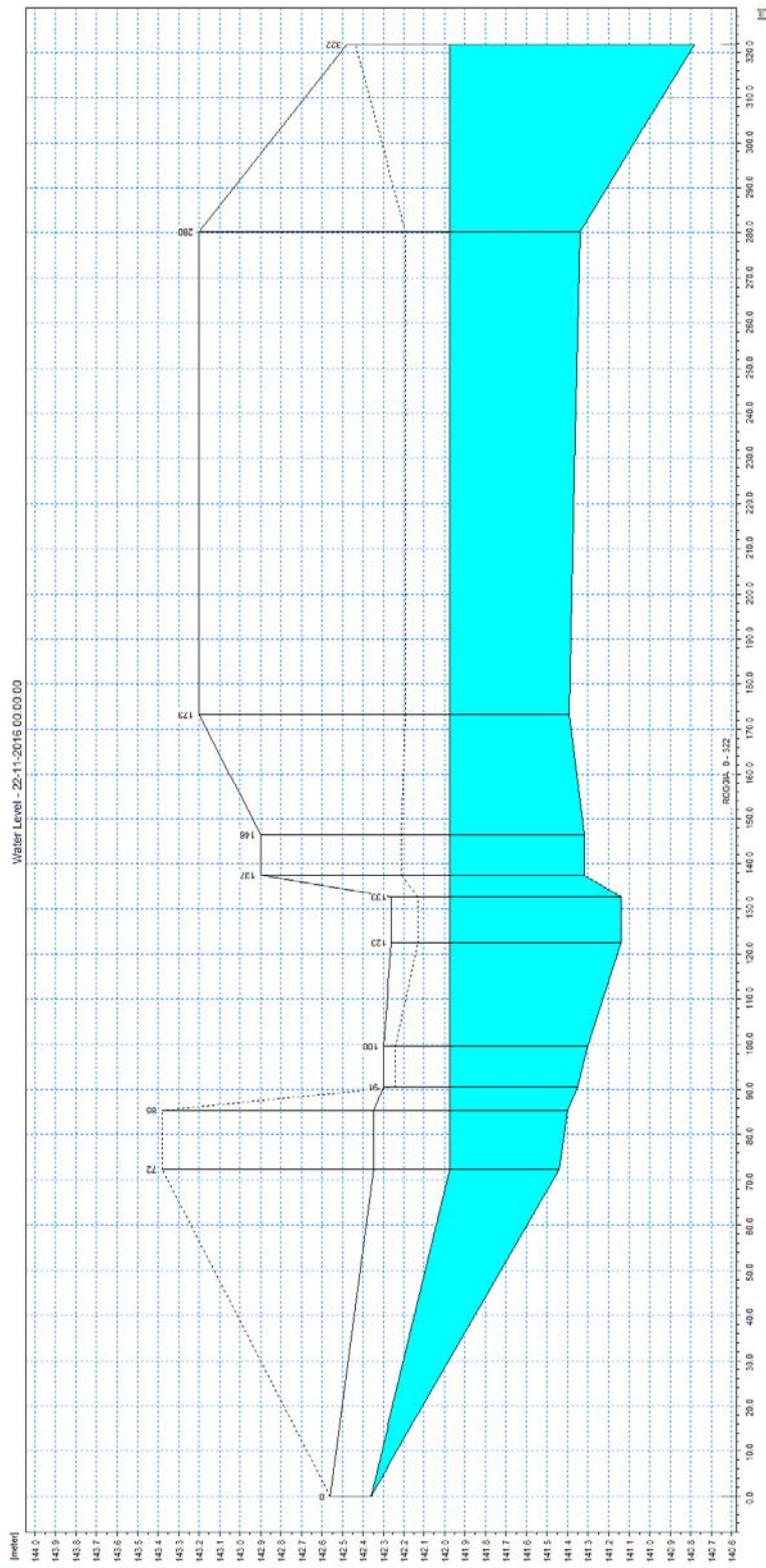


Figura 16 - Profilo di corrente relativo al massimo deflusso in transito sulla Roggia di collegamento nello Scenario 2.

6.2 Condizioni di deflusso nella rete consortile

L'analisi modellistica condotta, acquisendo in input gli idrogrammi di piena determinati per ciascuna area contribuente nel capitolo 4, riferiti a un tempo di ritorno di 100 anni, ha permesso di valutare la propagazione degli idrogrammi di piena e la loro progressiva crescita lungo lo sviluppo delle rogge, tenendo conto anche delle ripartizioni operate presso i principali nodi di regolazione.

Di seguito si riportano alcune figure che confrontano gli idrogrammi di piena defluenti in diverse sezioni delle rogge più significative per le finalità del progetto, e l'idrogramma complessivo alla sezione di chiusura di valle del modello (nodo di Spinapesce).

Per quanto riguarda il nodo Stura-Cerca, si evidenzia come allo stato attuale la maggior parte della portata in ingresso da monte defluisca entro la Stura, a causa dell'effetto di rigurgito dovuto a un ponte canale ribassato e a un'opera di sostegno con paratoia che fanno attivare lo sfioro all'incile della roggia. La Cerca defluisce poi fino a confluenza nella Gambalona (o Roggione) senza eccessivi incrementi di portata dalle aree drenate, mentre la Stura riceve da Nord importanti contributi di piena che portano a una portata al colmo complessiva di quasi 19 m³/s.

Relativamente alla roggia Fonna si nota come gli apporti diretti nell'area di Fontanetto siano modesti rispetto alle portate "potenziali" in ingresso (differenza tra le curve "intersezione scolmatore" e "monte confluenza Chiusa"). Più a valle, dove essa prende il nome di Fonna-Guatta, si ha invece un apporto significativo da parte delle aree esterne, di entità superiore all'iniziale incremento dovuto al contributo della Chiusa, con crescita del colmo dell'ordine di 4 m³/s.

Si evidenzia comunque come le portate in arrivo a monte di Fontanetto siano assai superiori alla capacità di portata valutata per la roggia nel concentrico, per cui si verificherebbero significative esondazioni sia nel tratto a monte dell'abitato che nell'abitato stesso, con conseguente riduzione dei valori massimi di portata defluenti a valle. Nelle simulazioni condotte, volendo analizzare l'entità delle portate complessive in gioco, tali esondazioni non sono state rappresentate.

Per quanto riguarda il nodo Chiusa-Devesio, si osserva dal grafico come la maggior parte della portata in ingresso sia stata considerata deviata verso la Chiusa, vista la presenza sul Devesio di un tratto critico più a valle con un attraversamento che riduce la capacità di portata. A causa del rigurgito dovuto a quest'ultimo l'onda di piena viene laminata, e la portata che confluisce nella roggia Camera presenta un valore al colmo inferiore rispetto a quello in uscita dal nodo di regolazione (a meno del primo picco di breve durata dovuto all'apporto del bacino più prossimo).

Sulla Roggia Camera si osserva il rilevante incremento di portata tra la sezione a valle dello scaricatore Rabeto (inizio modello, "monte confluenza Devesio" nel grafico) e quella in prossimità dello scolmatore in progetto, a valle della confluenza Devesio; successivamente invece, fino al nodo di Spinapesce, gli apporti di aree esterne drenate sono assai modesti.

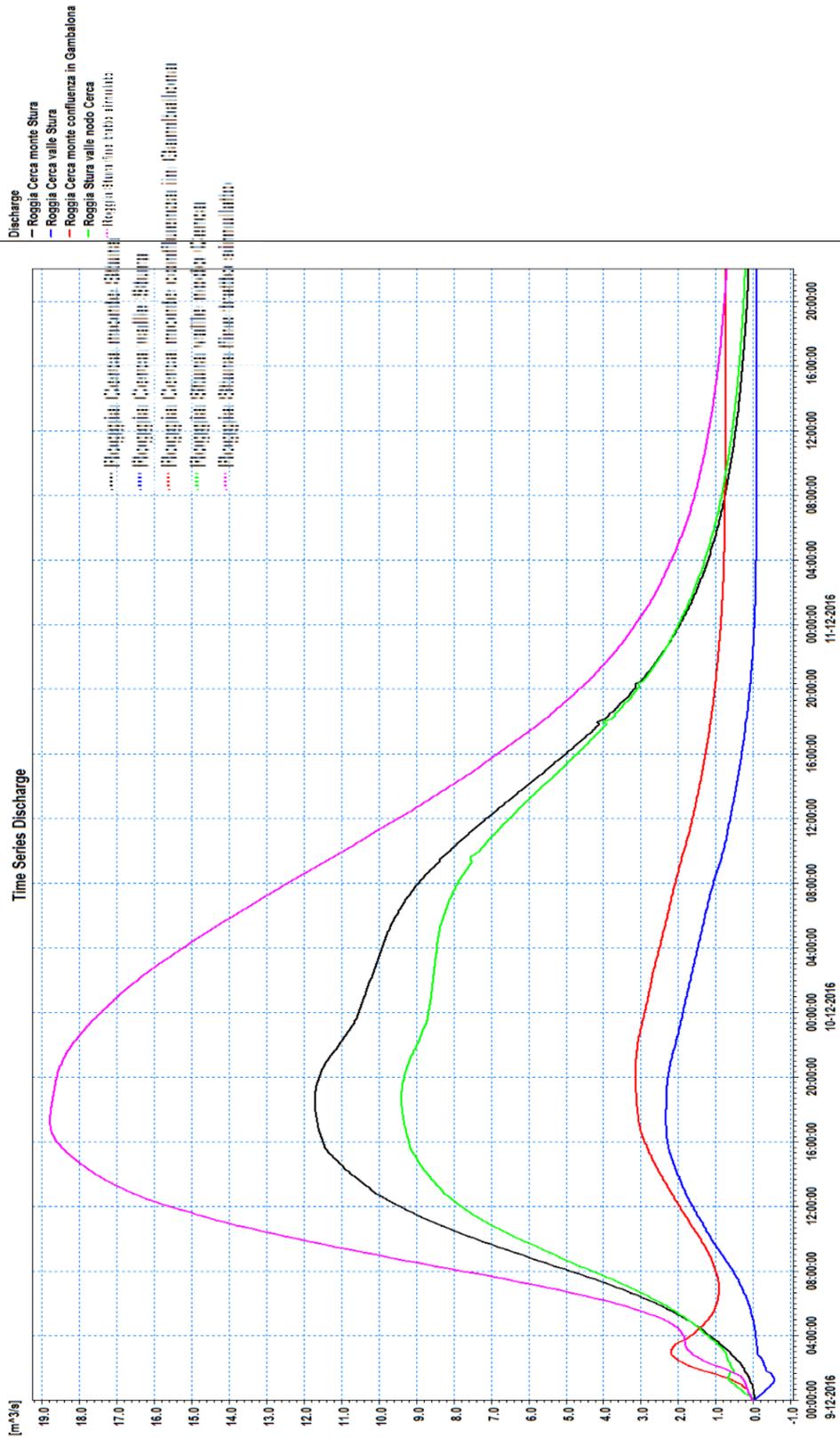


Figura 17 - Idrogrammi di piena (TR=100 anni) per le rogge Stura e Cerca.

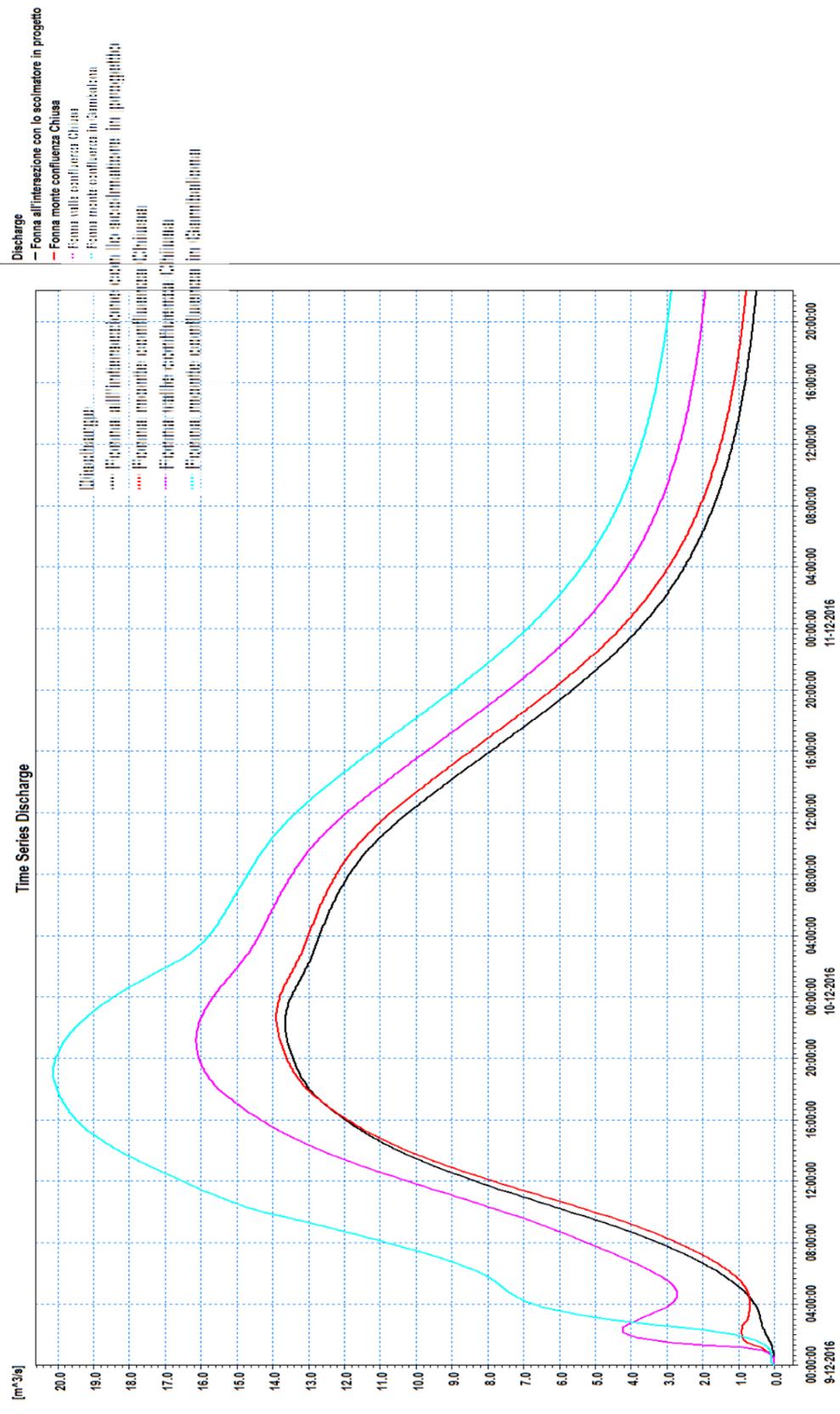


Figura 18 - Idrogrammi di piena (TR=100 anni) per la roggia Fonna.

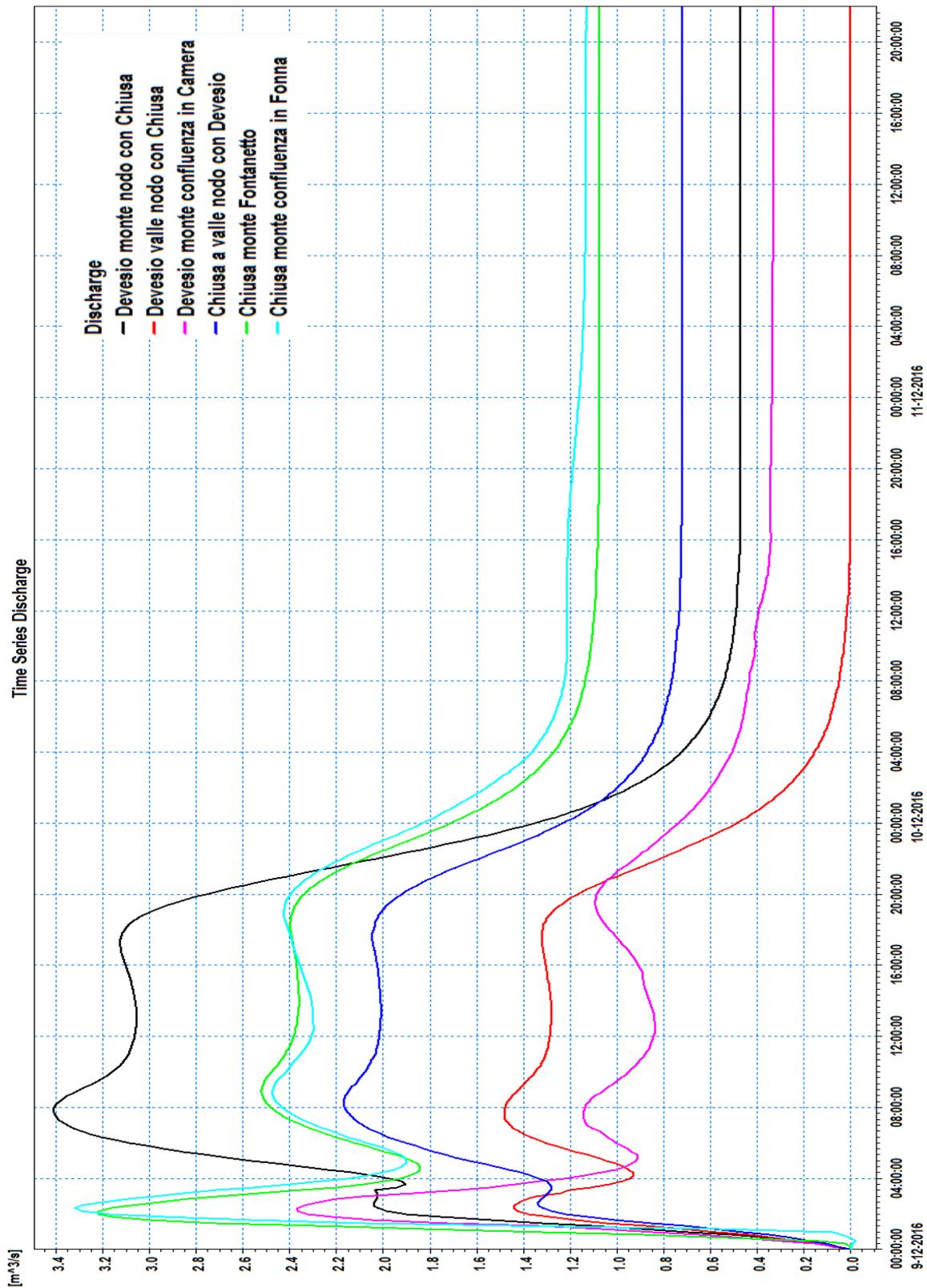


Figura 19 - Idrogrammi di piena (TR=100 anni) per le rogge Chiusa e Devesio.

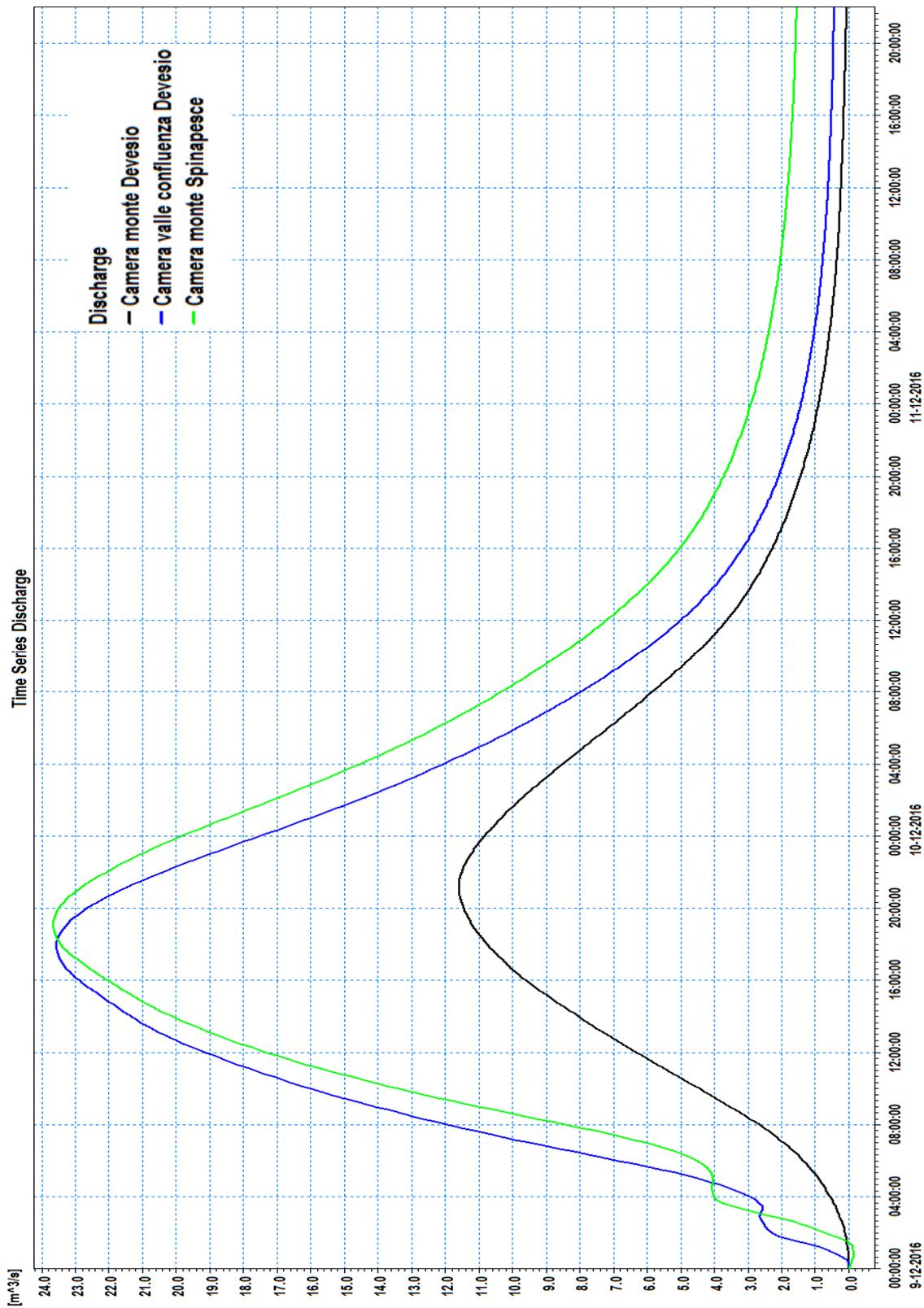


Figura 20 - Idrogrammi di piena (TR=100 anni) per la roggia Camera.

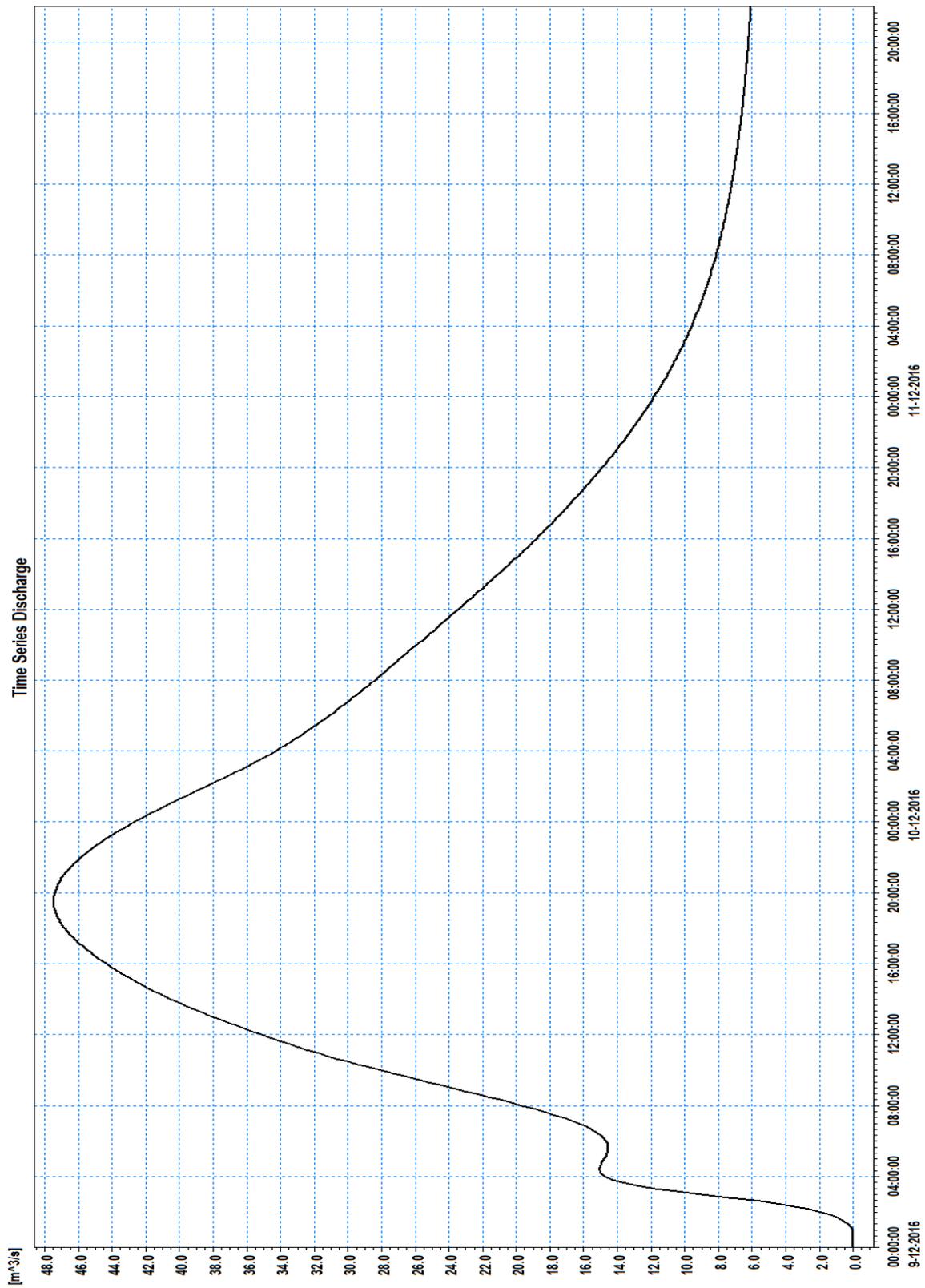


Figura 21 - Idrogramma di piena (TR=100 anni) a chiusura modello (nodo di Spinapesce).

7. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO

Grazie all'analisi modellistica di larga scala condotta sull'intero reticolo principale delle rogge esistenti nell'area di interesse è stato possibile:

- ricostruire il valore massimo della portata idrologica di piena afferente alla sezione dello scolmatore in corrispondenza dell'intersezione con tali rogge;
- valutare l'incremento di portata dovuto al drenaggio del bacino contribuente nel tratto più a valle, in asse all'abitato di Fontanetto Po;
- stimare, sulla base di un rilievo speditivo della sezione corrente dell'alveo e trascurando eventuali elementi singolari (ponticelli, paratoie, tombini, sifoni) che potrebbero ridurre la luce di deflusso, la portata massima defluibile in alveo senza esondazioni ("capacità di portata") nel tratto in corrispondenza dell'abitato di Fontanetto Po.

Relativamente all'ultimo punto, l'analisi è finalizzata a definire la massima portata di progetto che lo scolmatore può lasciar defluire a valle nelle rogge principali, garantendo adeguate condizioni di sicurezza idraulica presso l'abitato di Fontanetto Po. Si nota infatti come in eventi storici e più recenti il concentrico fu interessato da significativi allagamenti dovuti proprio alle tracimazioni delle rogge che lo attraversano e di quelle defluenti nel territorio a Nord, le cui esondazioni si propagano verso l'abitato.

La Tabella 20 presenta un confronto tra le capacità di portata stimate e le portate massime idrologiche afferenti allo stato attuale, come valore massimo in corrispondenza dell'intersezione con lo scolmatore e dell'abitato di Fontanetto. Si evidenzia come tali portate tengano conto della sovrapposizione di idrogrammi con diverso tempo di risposta all'evento di pioggia di progetto, in relazione alla dimensione e morfologia delle aree contribuenti: i valori massimi riportati in tabella non coincidono necessariamente con la somma dei valori al colmo di portata prodotti da ciascun bacino riportati nel capitolo 4.

Per il nodo delle rogge Stura e Cerca i valori indicati tengono conto della ripartizione attuale delle portate in ingresso dal bacino di monte, con grande maggioranza del deflusso che defluisce nella Stura a causa della presenza sulla Cerca di un ponte canale ribassato e di un sostegno con paratoia che provocano un significativo effetto di rigurgito. Si evidenzia comunque come l'apporto della sola roggia Stura a valle dello scolmatore (circa 9 m³/s) sia già superiore alla capacità di portata stimata della roggia.

Roggia	capacità di portata (tratto Fontanetto)	Qmax a scolmatore	Qmax a valle (tratto Fontanetto)
Stura	8.00	9.55	18.78
Cerca	5.00	2.31	2.61
Gambalona	5.00	1.20	1.87
Fonna	2.00	13.66	13.87
Chiusa	6.00	2.90	3.30
Camera	10.00	22.58	23.18

Tabella 20 - Portate massime defluibili nelle rogge principali all'altezza di Fontanetto e portate idrologiche di piena per un evento con TR=100 anni.

Per valutare invece la significatività delle portate considerate afferenti allo scolmatore, in termini di effettiva possibilità che esse defluiscano almeno nel tratto terminale delle rogge considerate (senza esondare già diffusamente nel tratto a monte), come già detto si è considerato in via cautelativa l'assegnazione alle sezioni

d'alveo di un coefficiente di scabrezza espresso secondo Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, che costituisce il massimo ipotizzabile per una sezione in terra o parzialmente rivestita con assenza di vegetazione e materiale fine sul fondo.

Con tali condizioni le rogge risultano in grado di veicolare le portate considerate in progetto, pur se al limite di riempimento delle sezioni per gli apporti più elevati (Camera, Fonna, Candelera a monte del nodo Stura-Cerca).

Si evidenzia pertanto:

- che lo schema di portate considerato è verosimile e adeguato come scenario di progetto cautelativo; nella realtà credibilmente le portate effettivamente in arrivo allo scolmatore saranno inferiori a causa di fuoriuscite laterali nelle aree più a monte, in particolare in presenza di elementi singolari quali attraversamenti o paratoie;
- che l'assunzione di considerare un tempo di ritorno di progetto per le nuove opere pari a 100 anni è consistente, in quanto già corrispondente al limite (cautelativo) della capacità di portata delle rogge principali: considerare tempi di ritorno superiori non avrebbe effetto sulle portate afferenti allo scolmatore ma incrementerebbe solo le esondazioni nei tratti più a monte.

ALLEGATO 1 - Descrizione del modello idrodinamico

1. PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHI\MIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

2. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.
- c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m^2);
C = coefficiente di attrito di Chezy ($m^{1/2}s^{-1}$);
g = accelerazione di gravità ($m s^{-2}$);
h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
Q = portata (m^3/s);
R = raggio idraulico (m);
 α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
q = portata laterale addotta (m^2/s).

3. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

E' possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un vaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

4. RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

5. CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

6. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

7. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

8. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione. Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;
- d = altezza d'acqua media;
- V = velocità media della corrente;
- g = accelerazione di gravità;
- Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario. Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

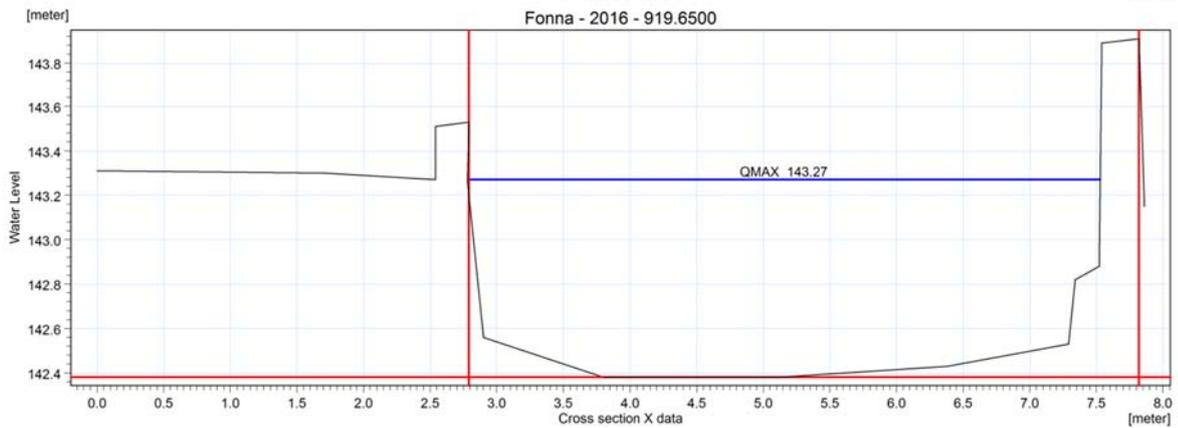
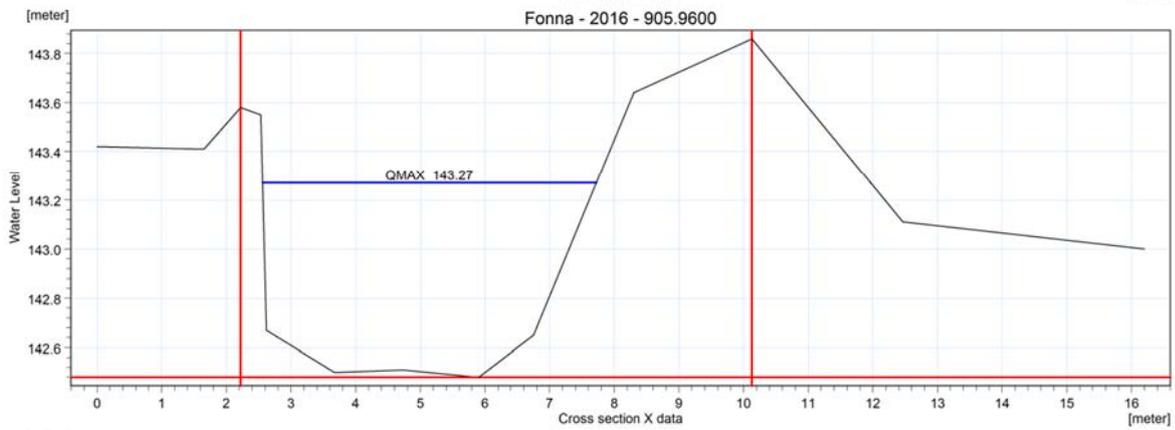
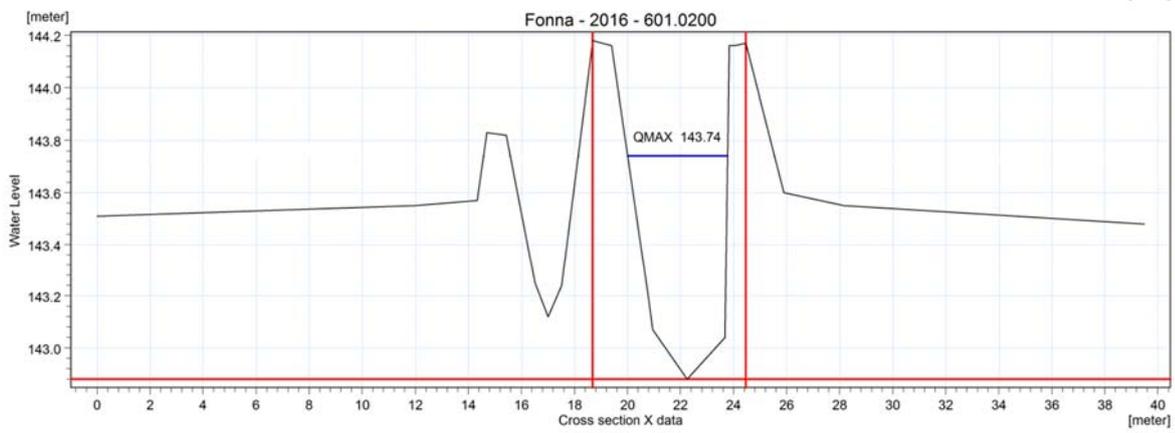
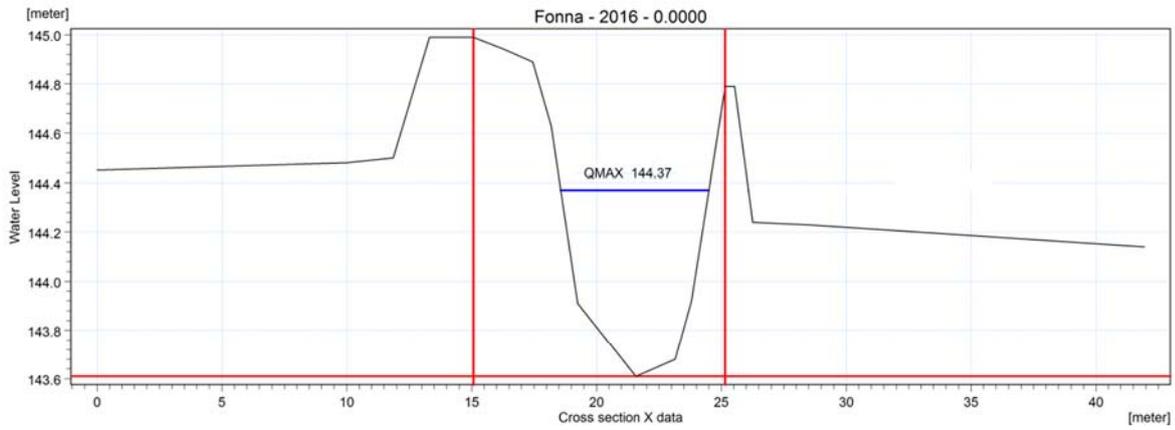
$$V \cdot Dt < Dx$$

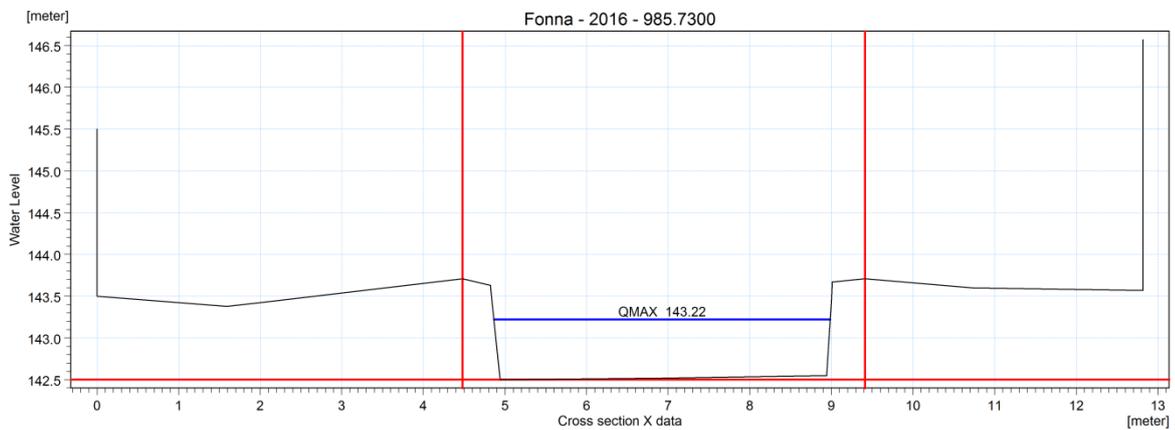
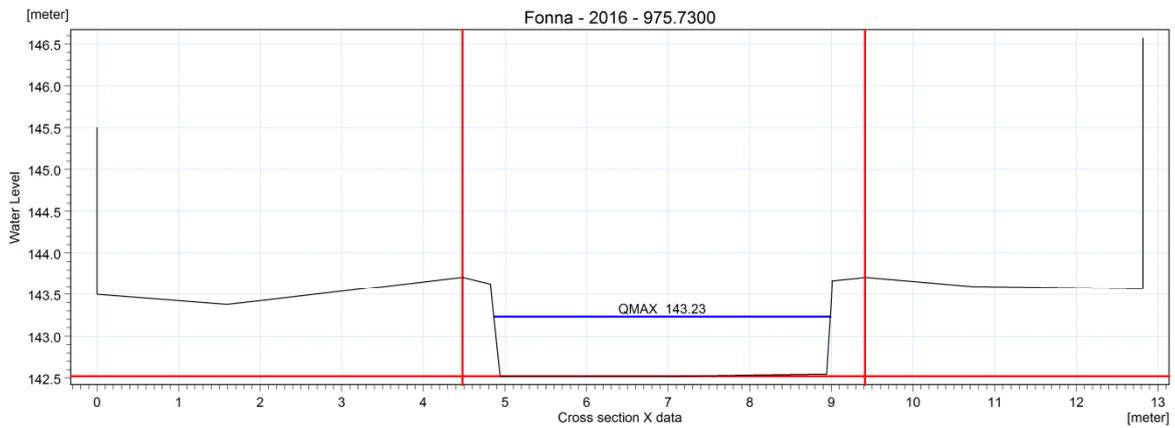
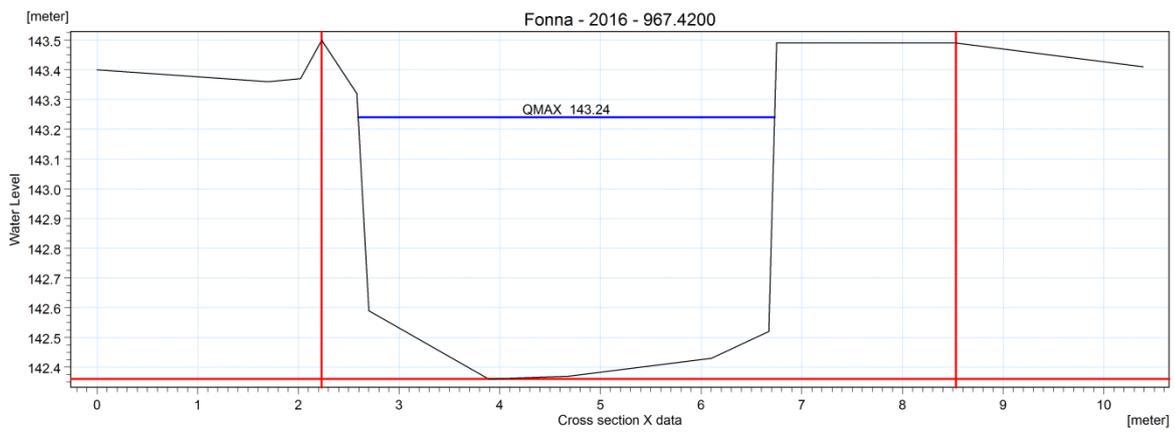
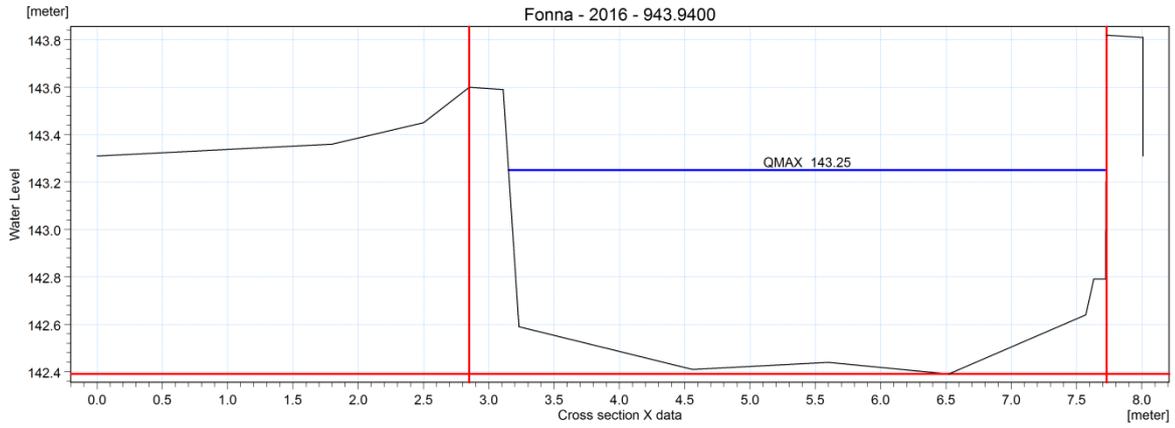
dove V è velocità media della corrente.

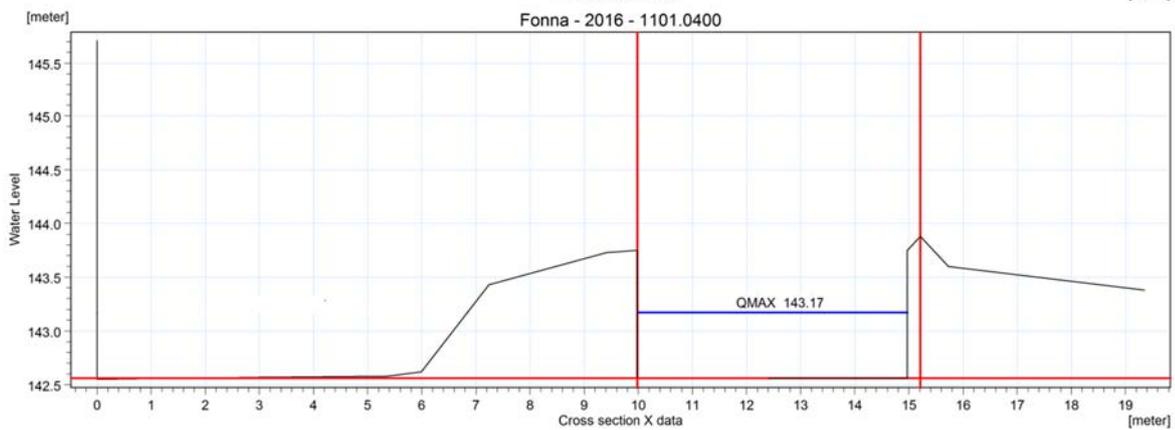
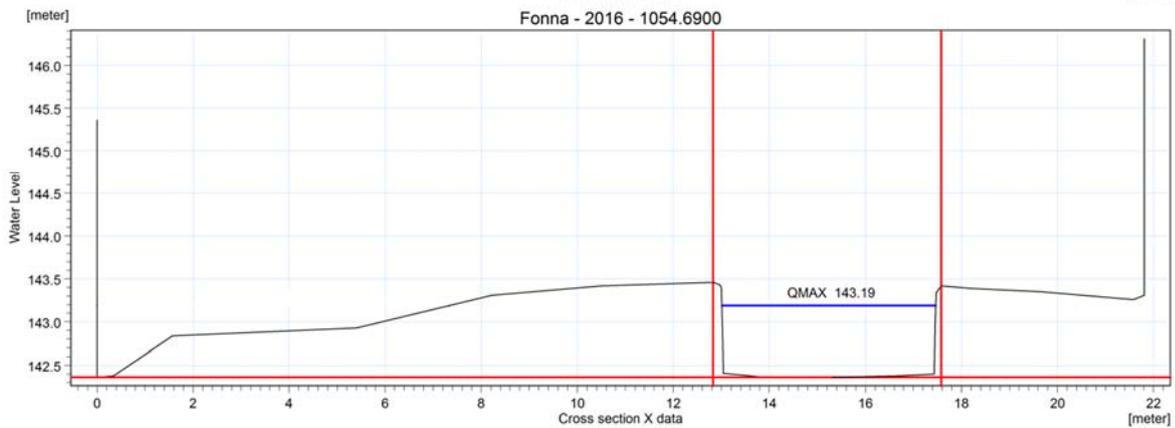
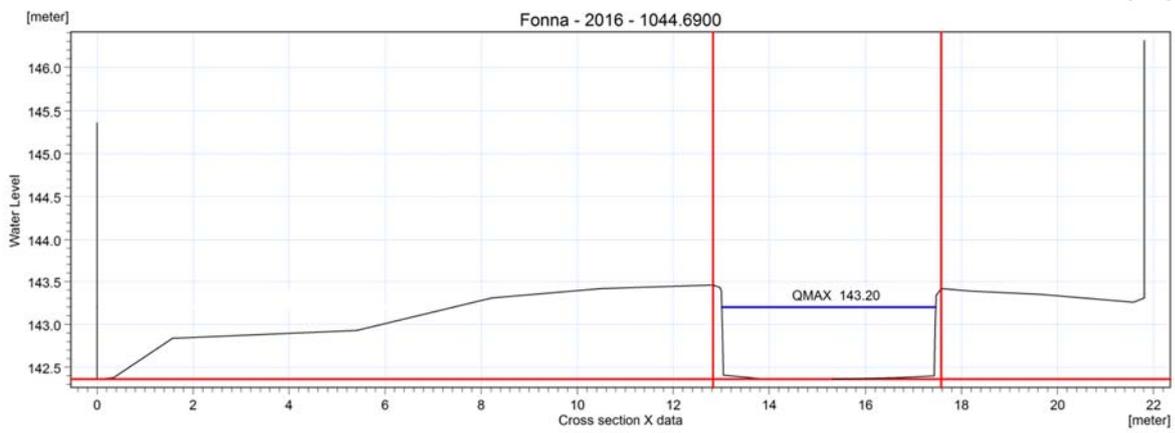
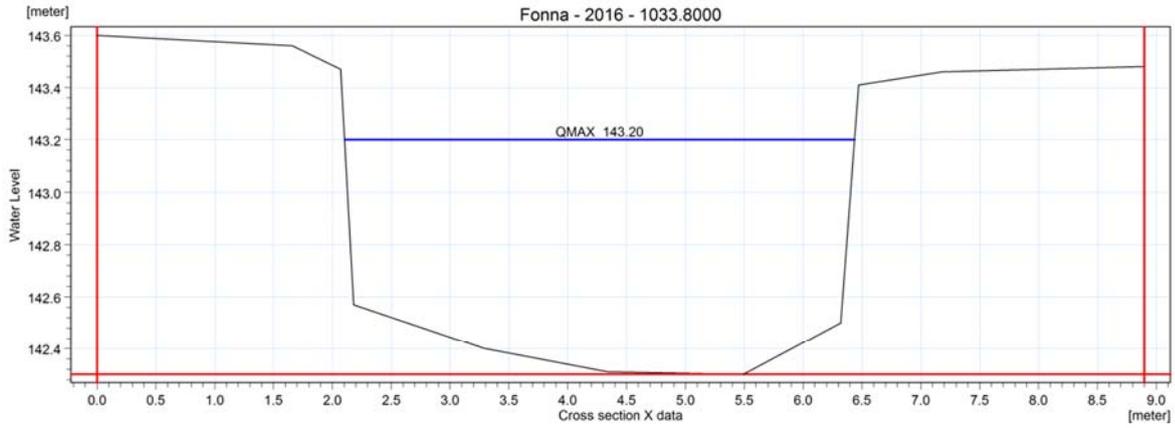
In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

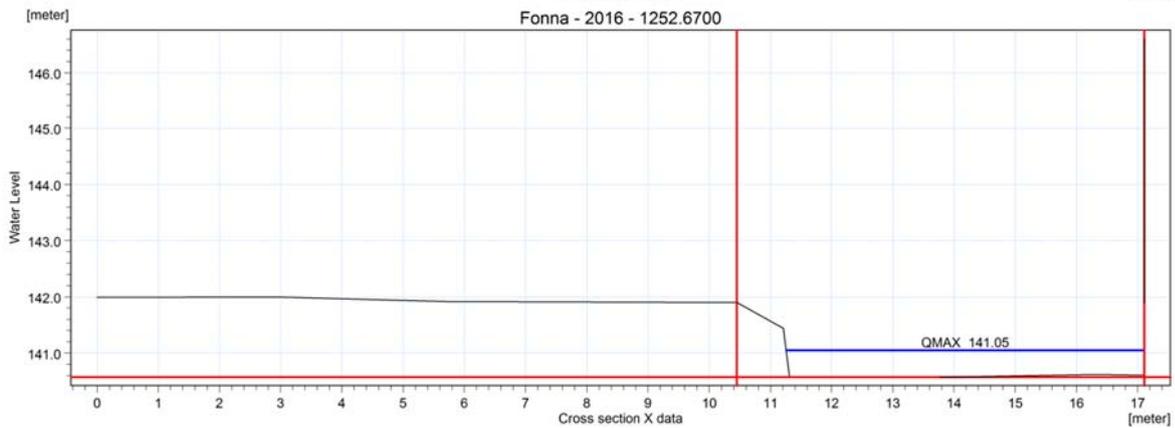
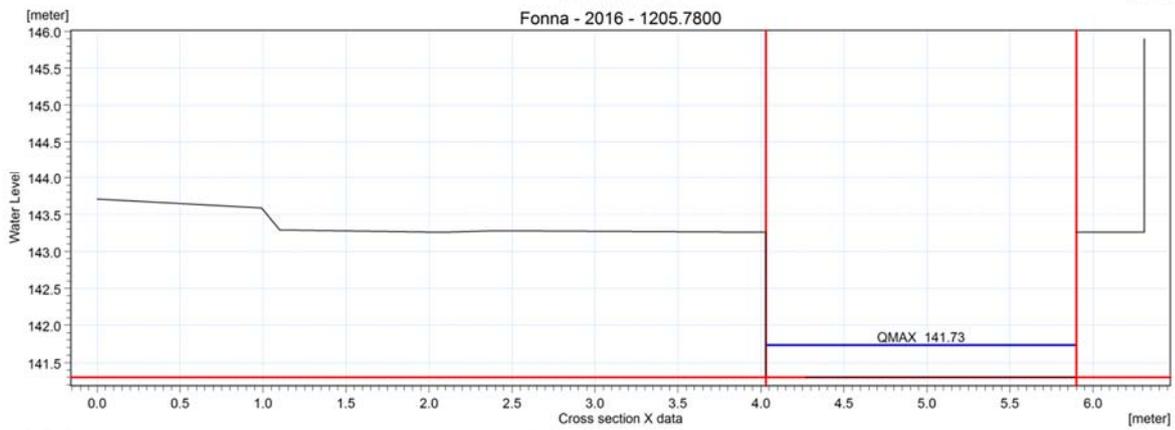
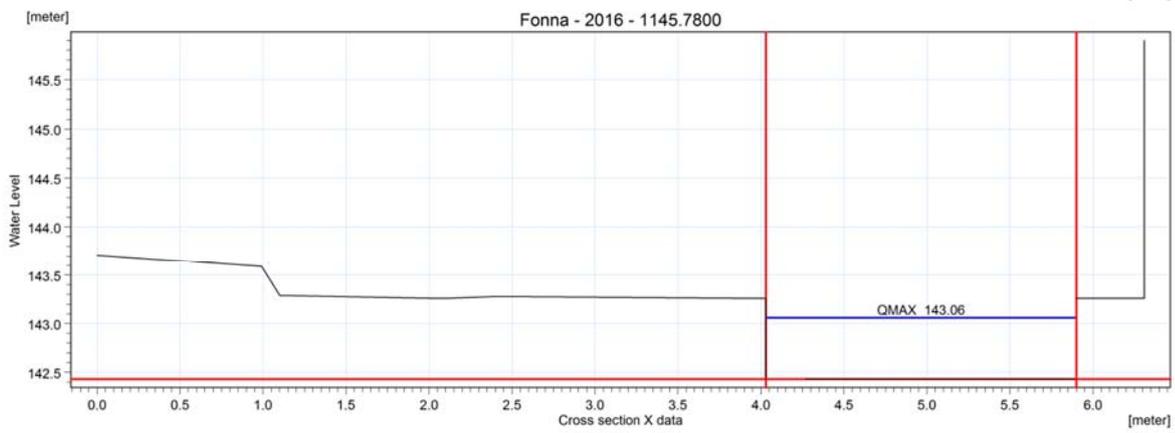
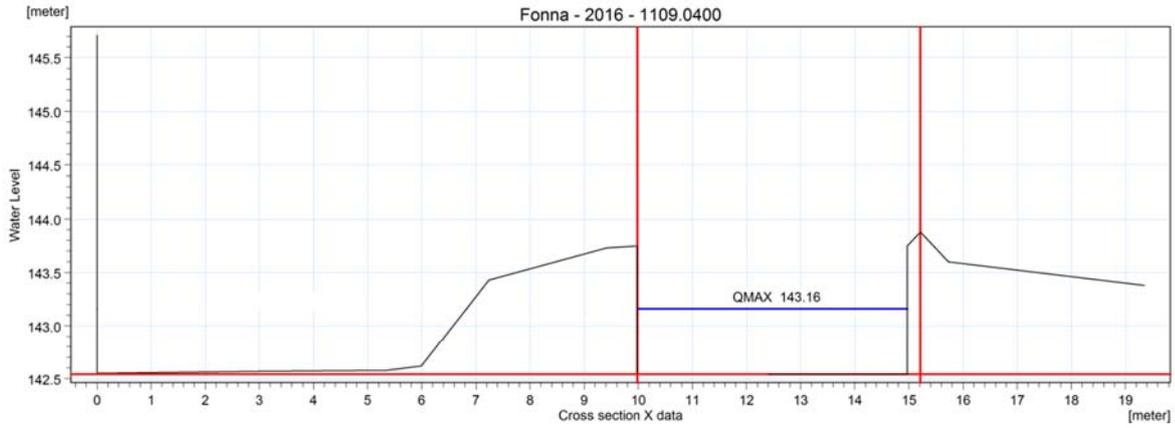
Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

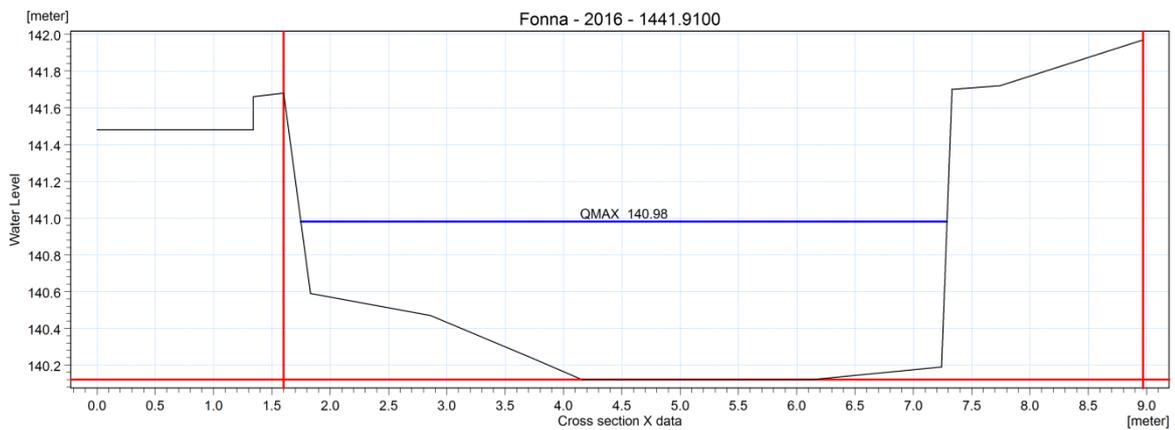
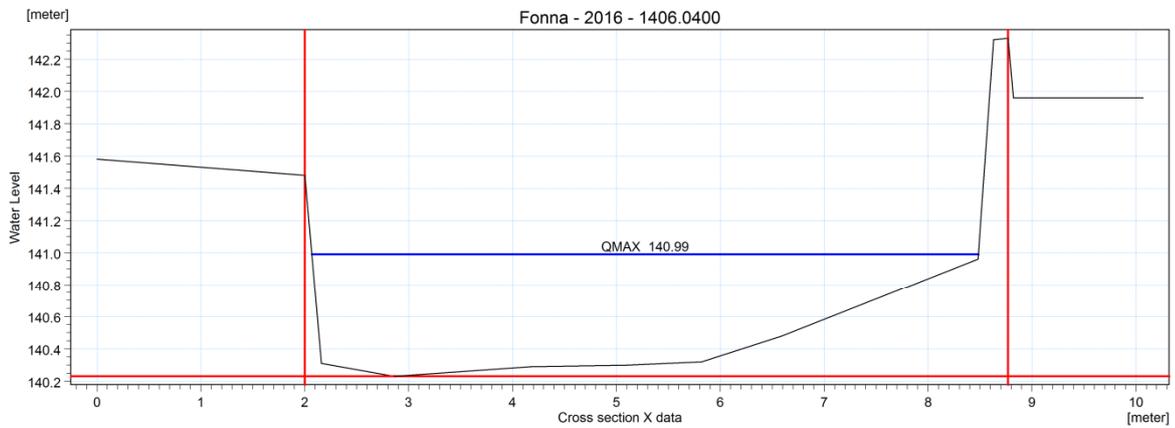
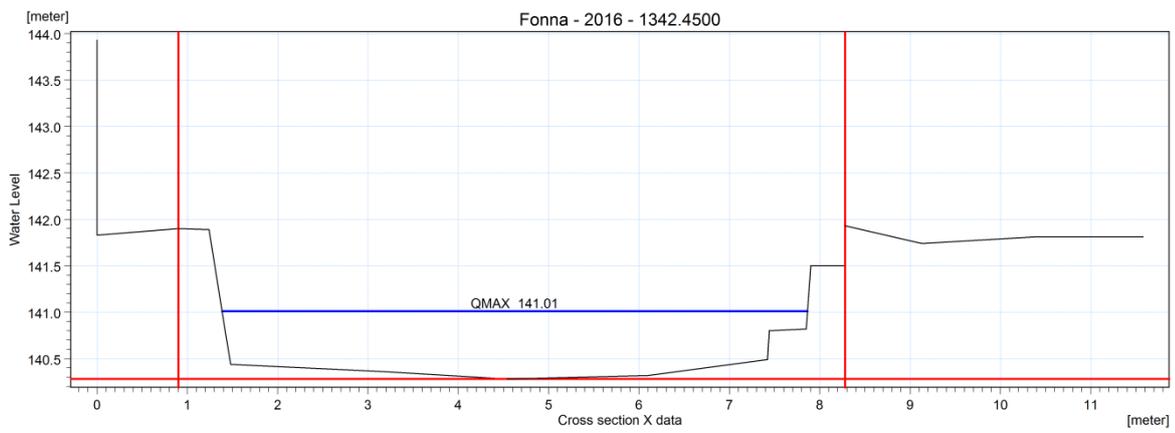
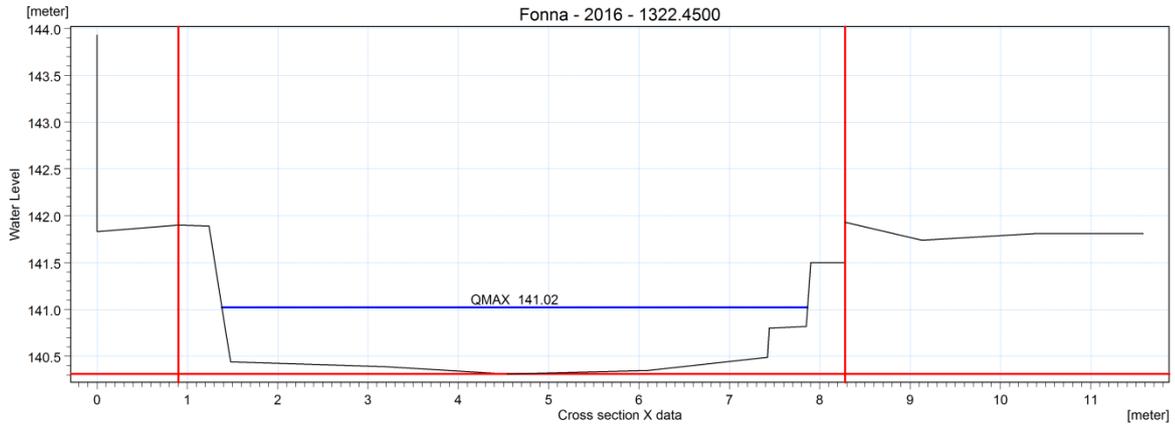
ALLEGATO 2 - Sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici nello Scenario 1

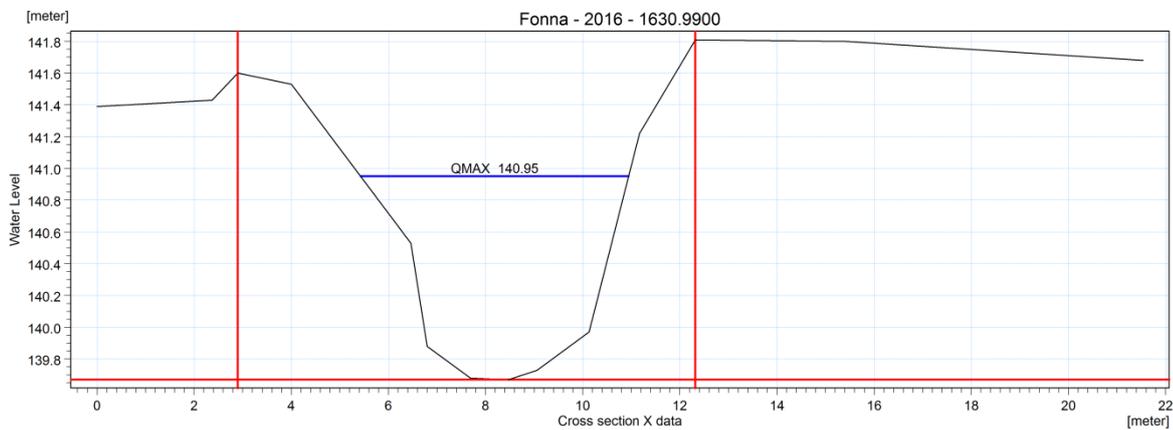
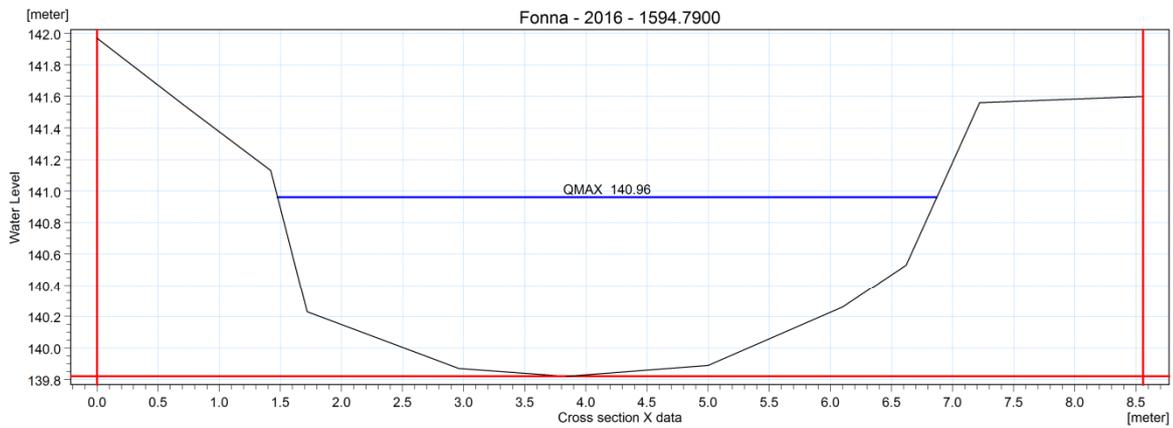
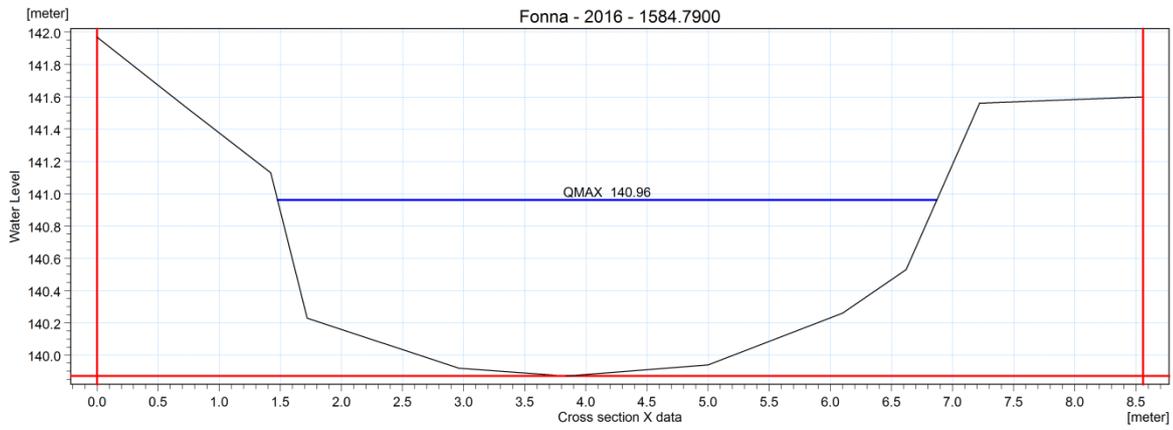
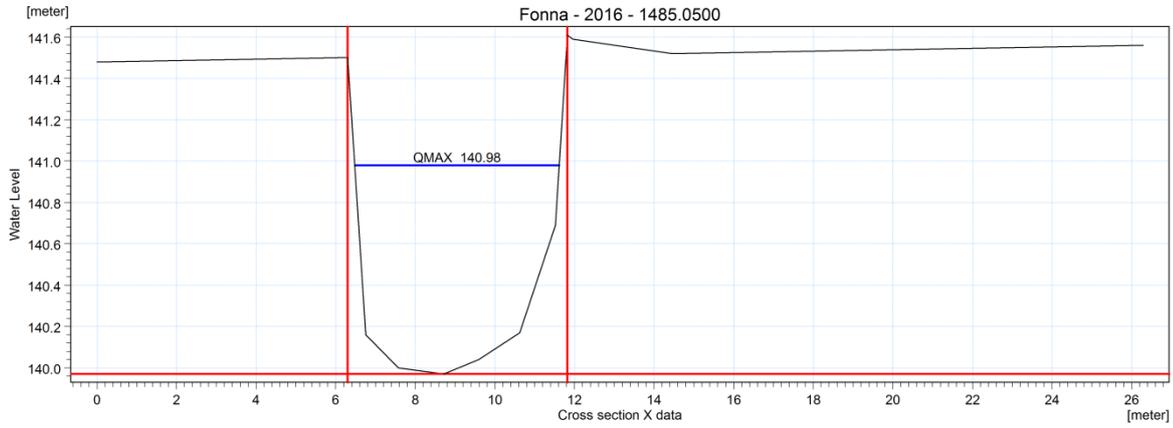


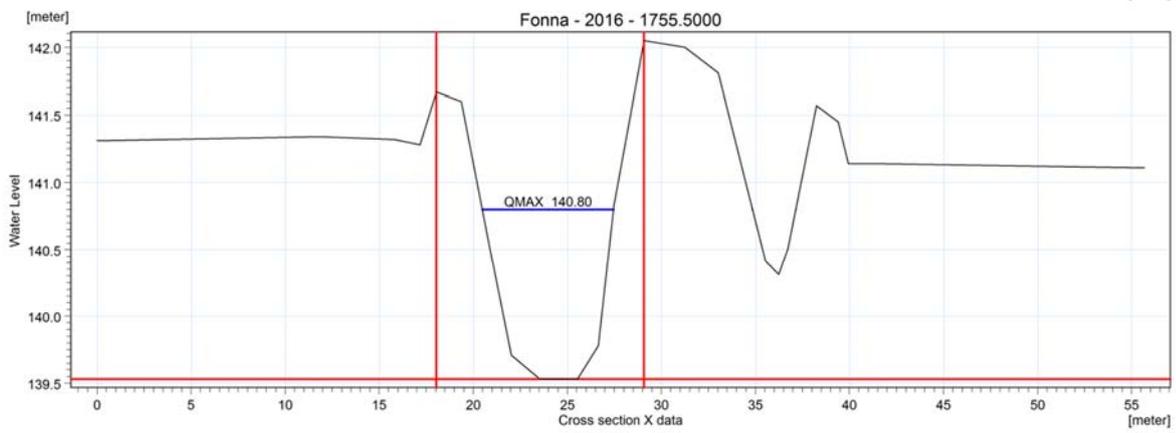
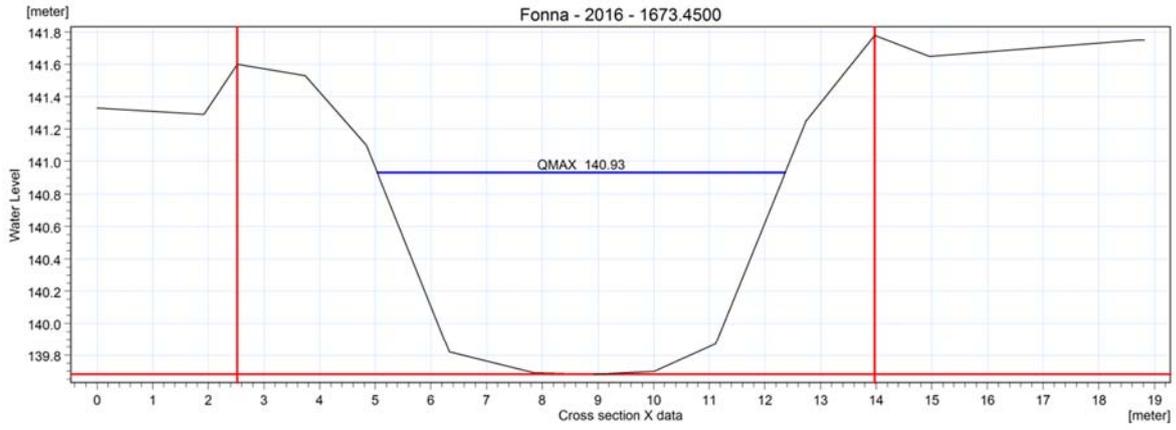


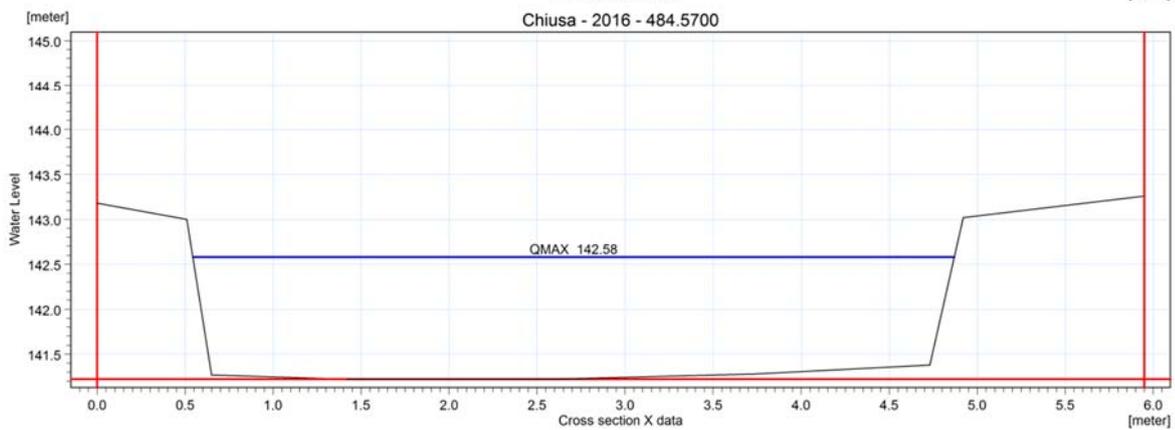
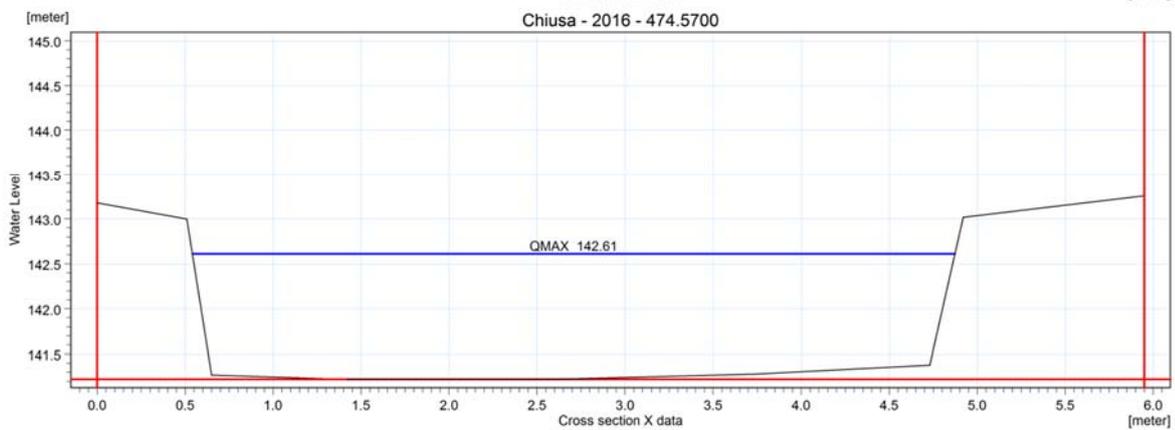
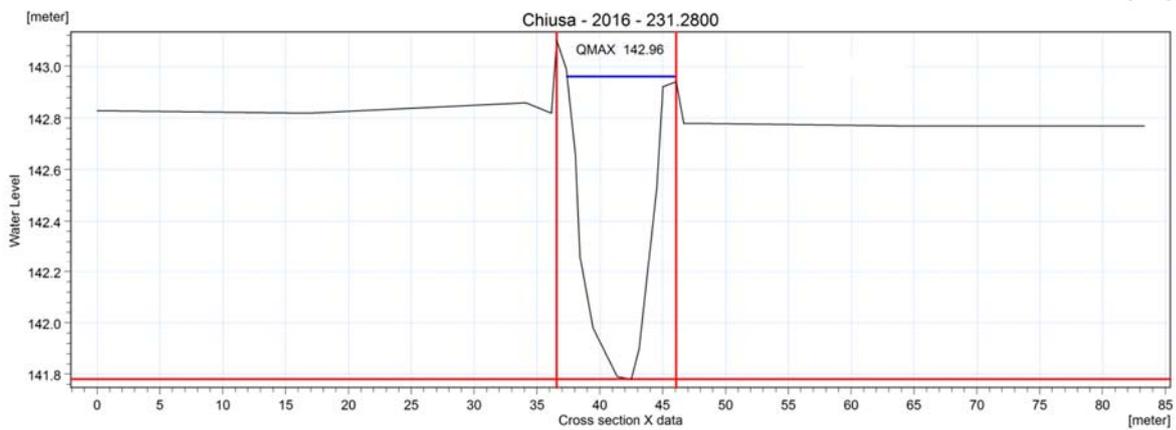
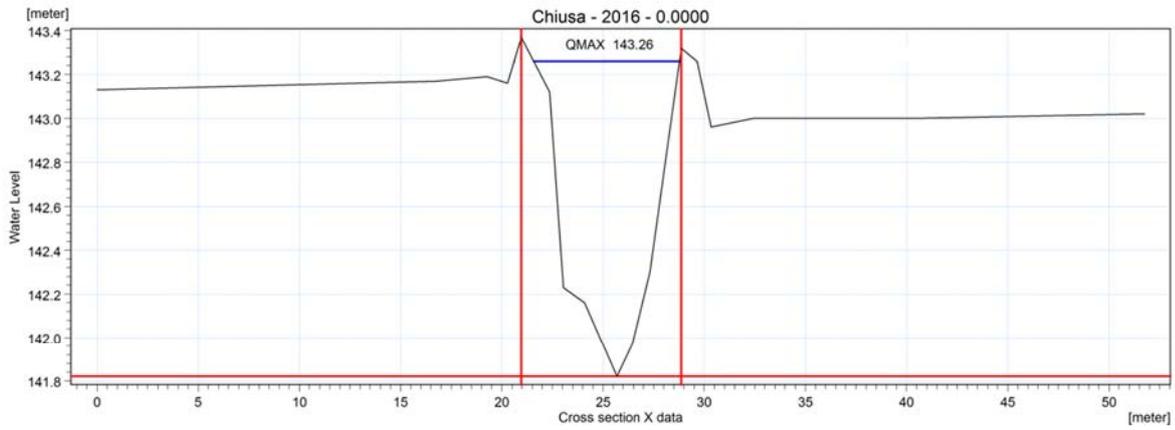


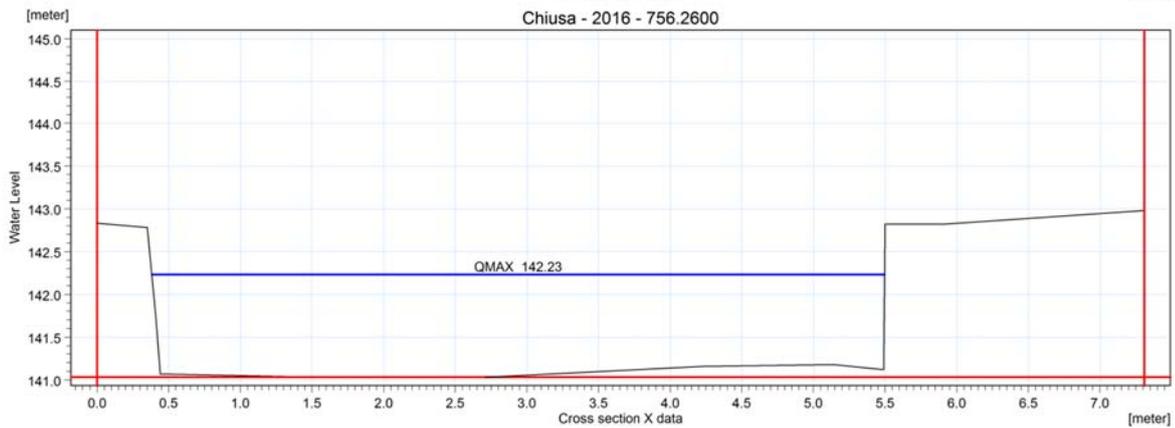
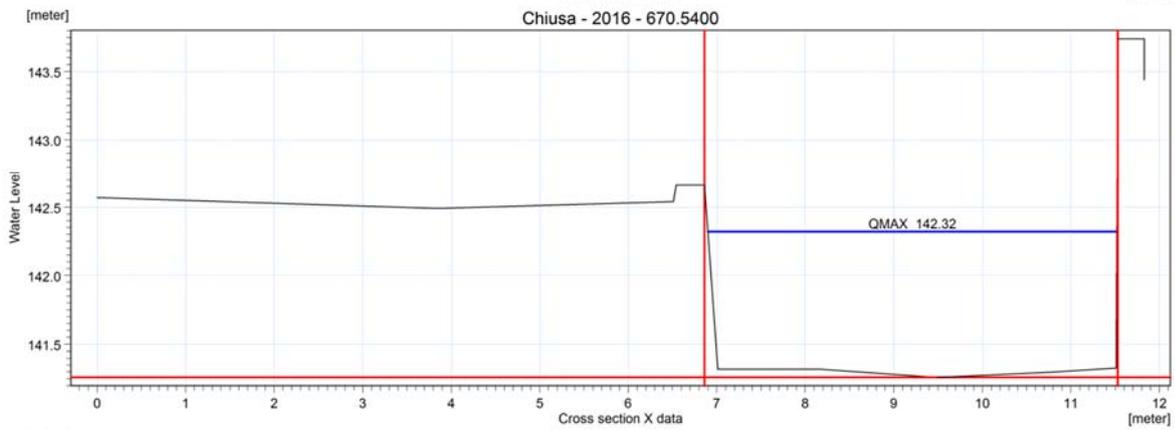
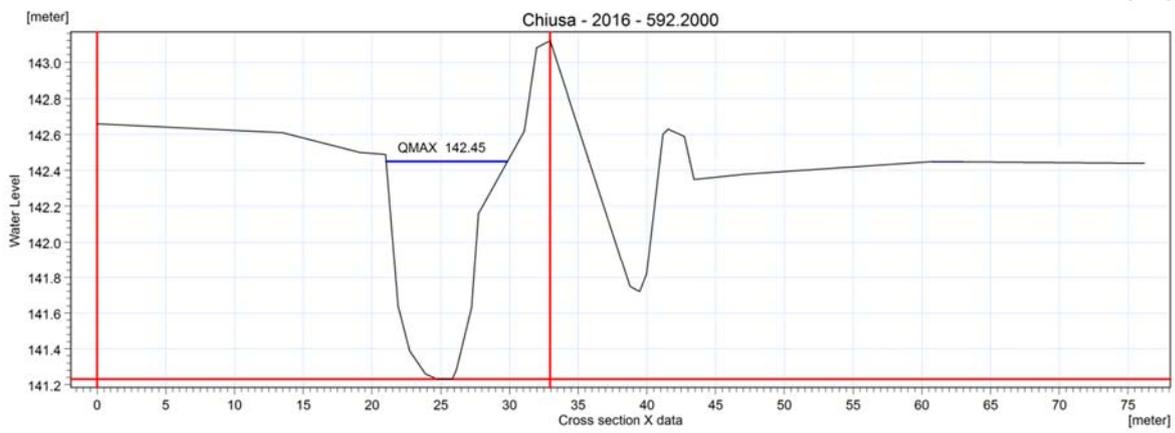
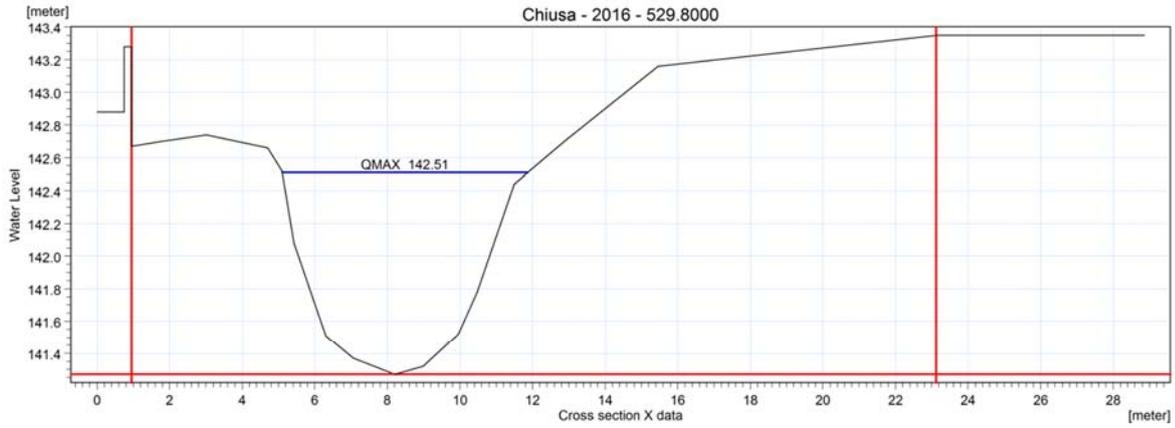


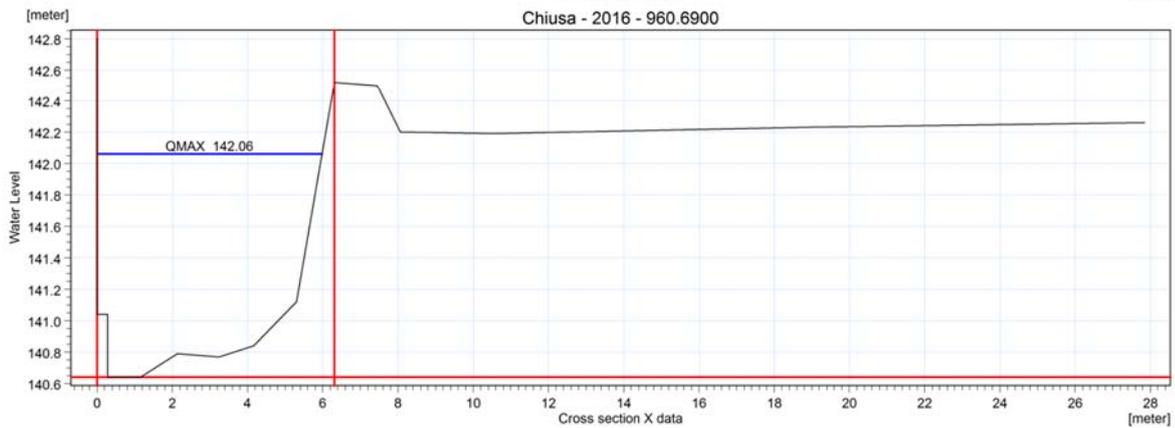
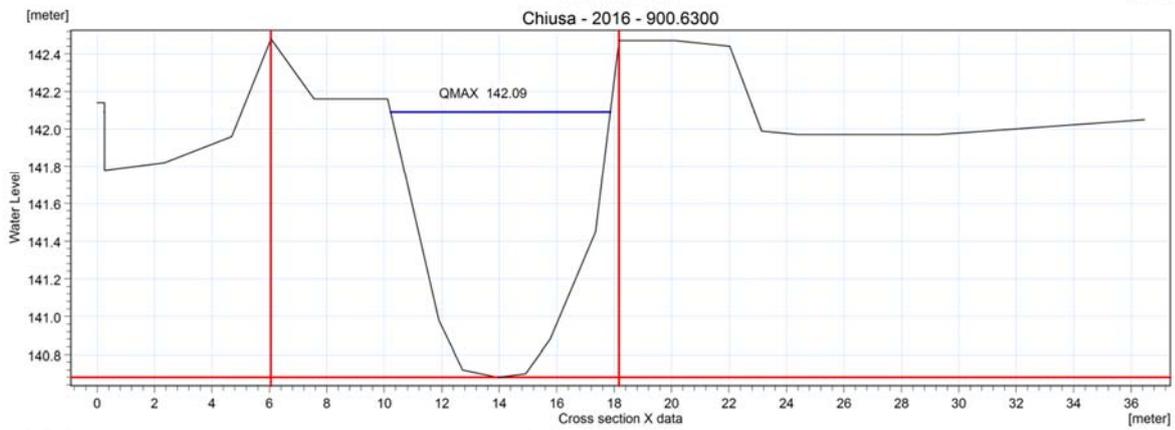
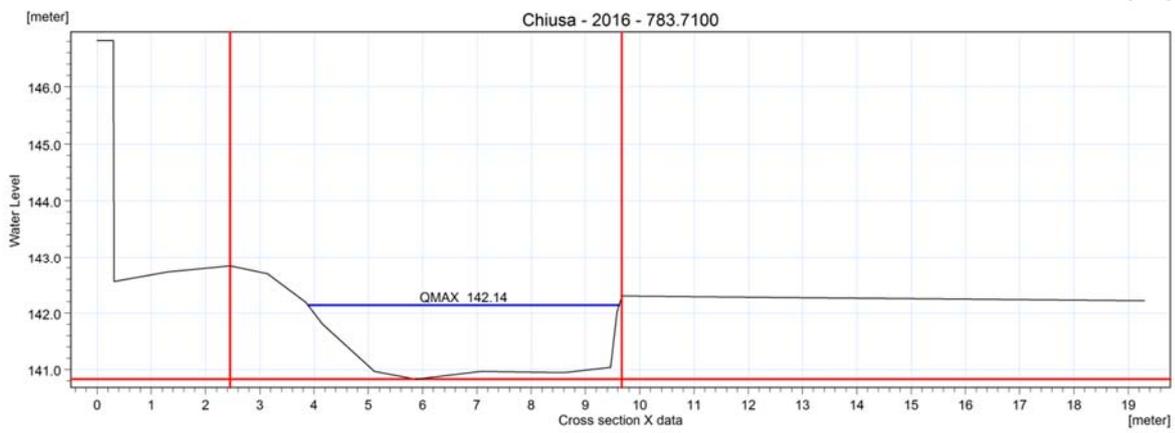
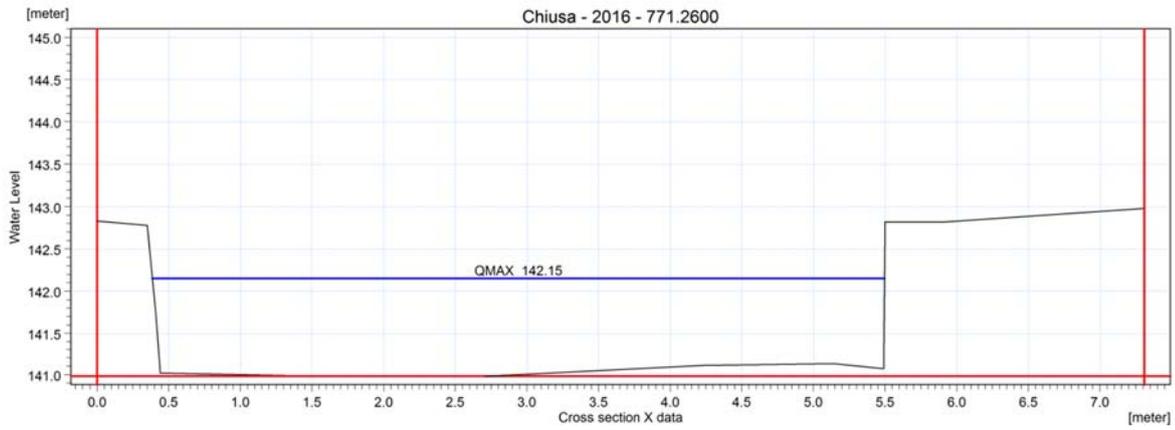


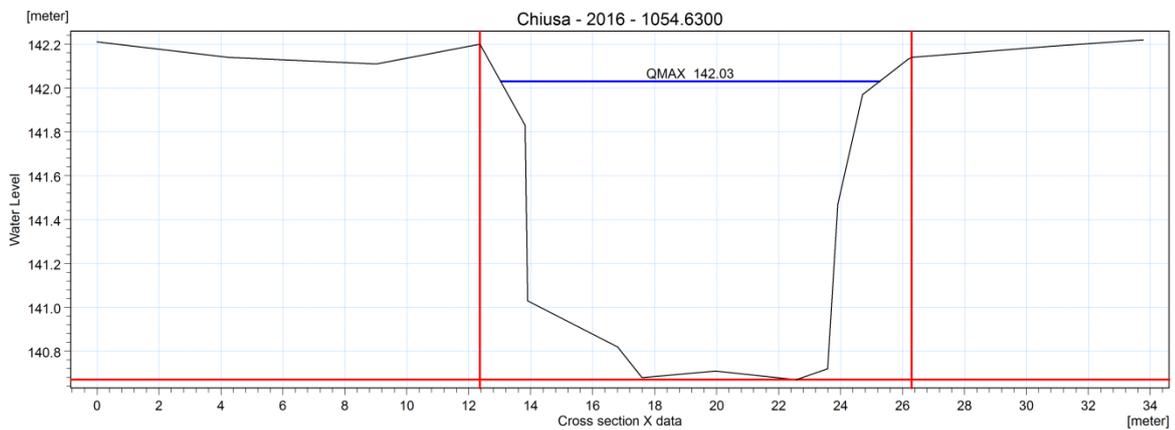
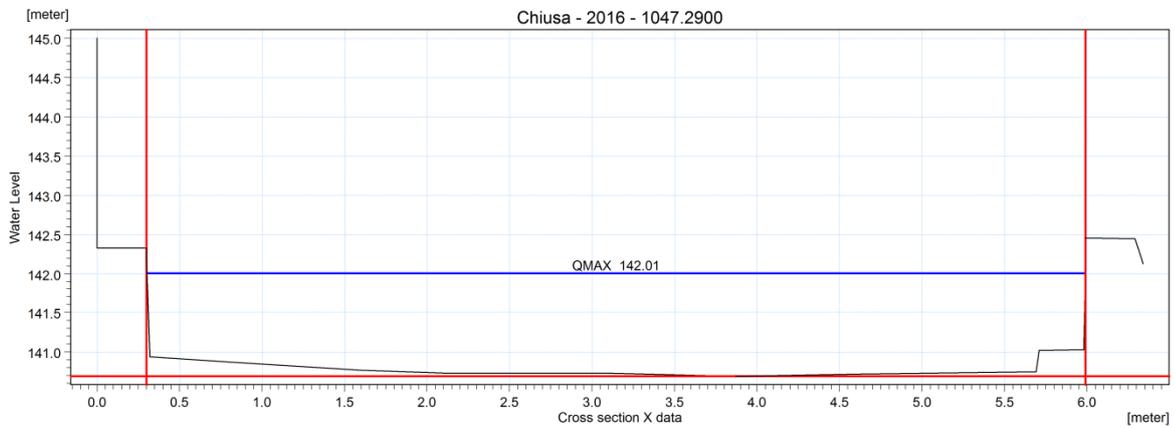
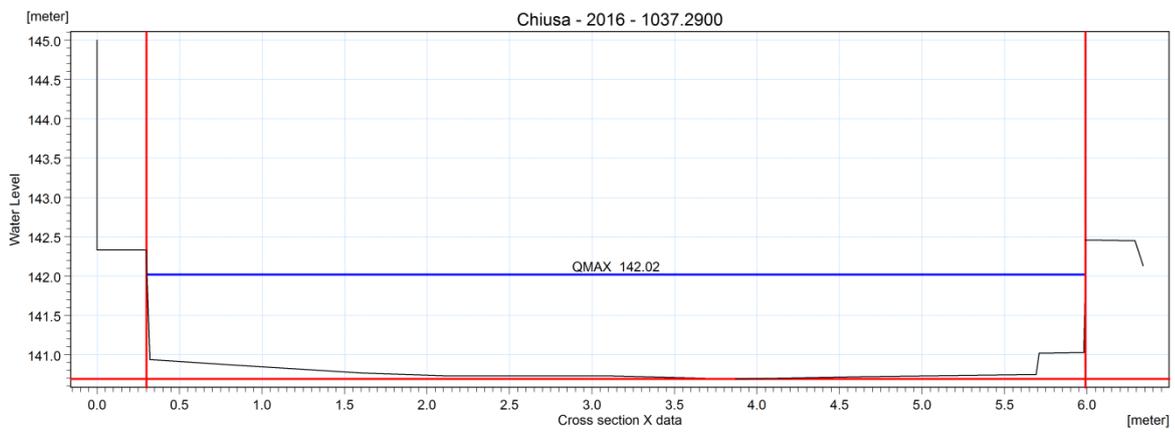
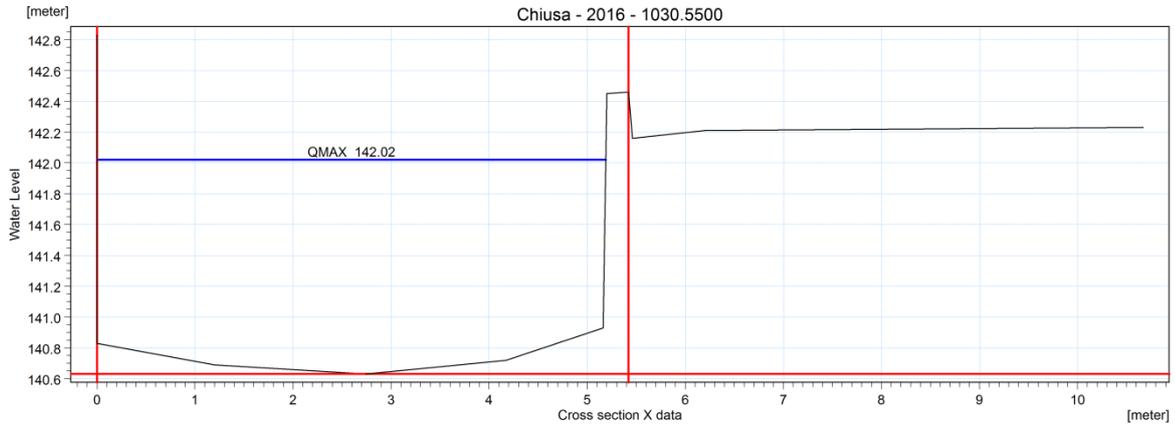


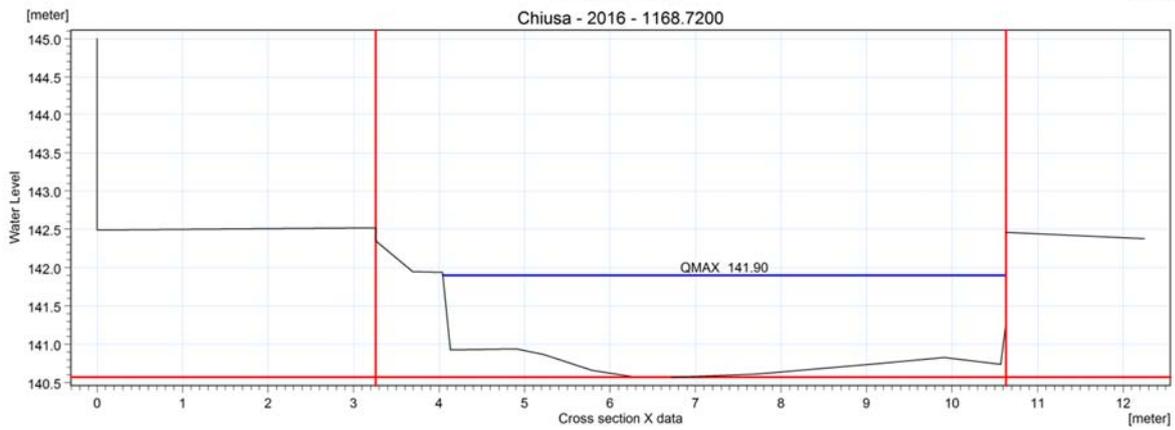
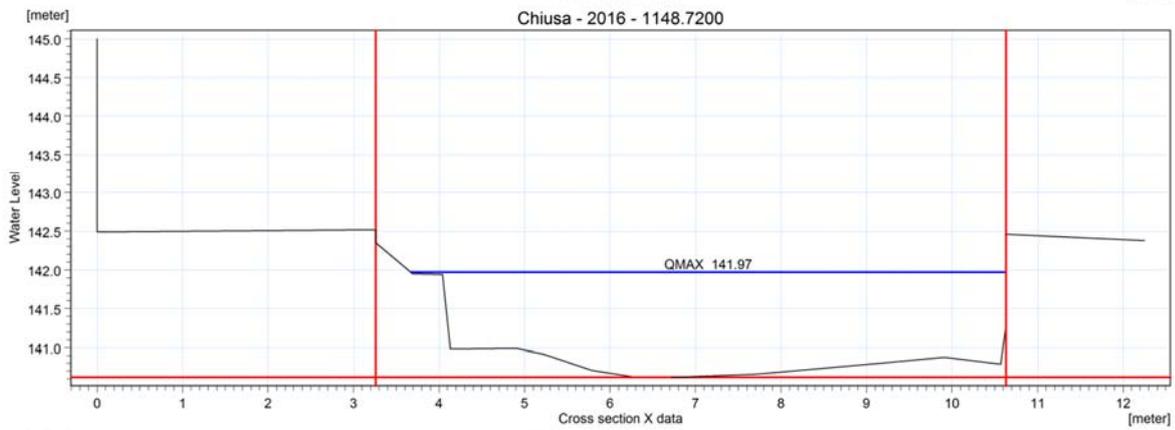
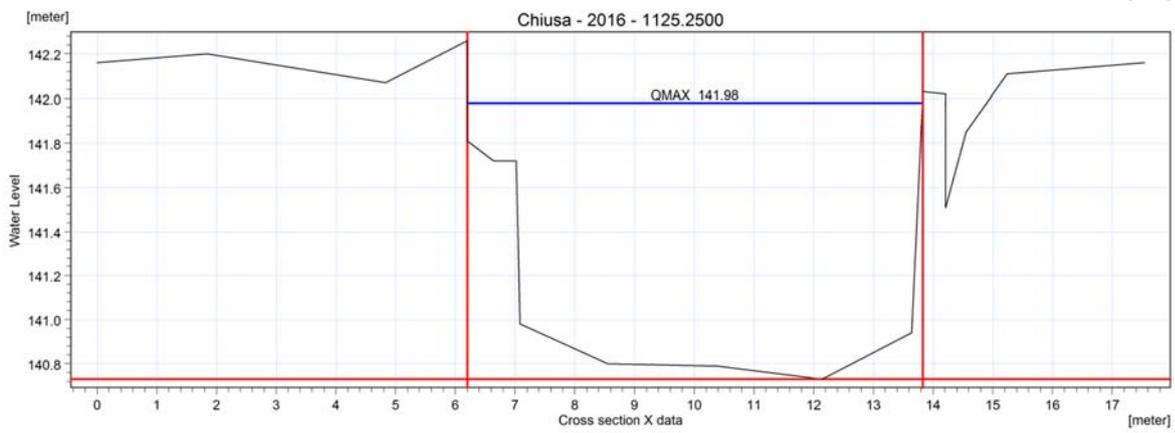
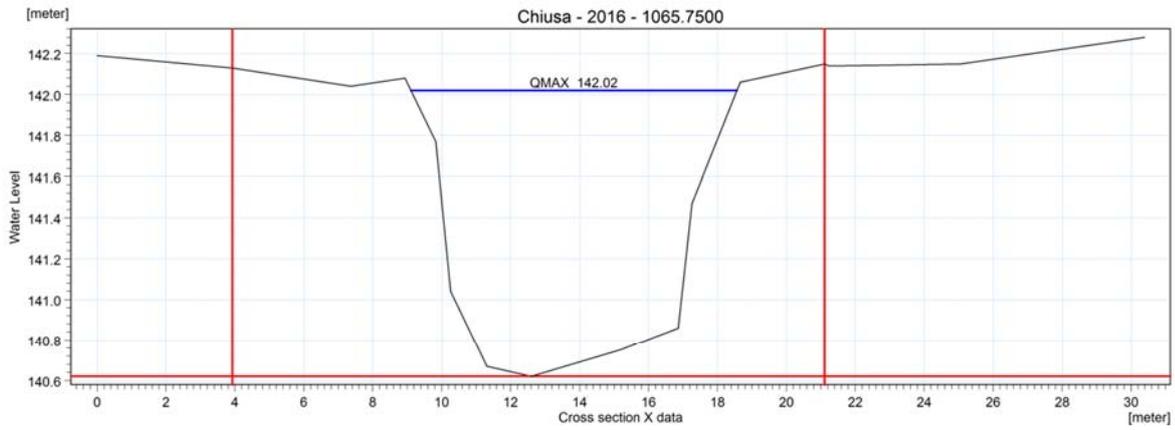


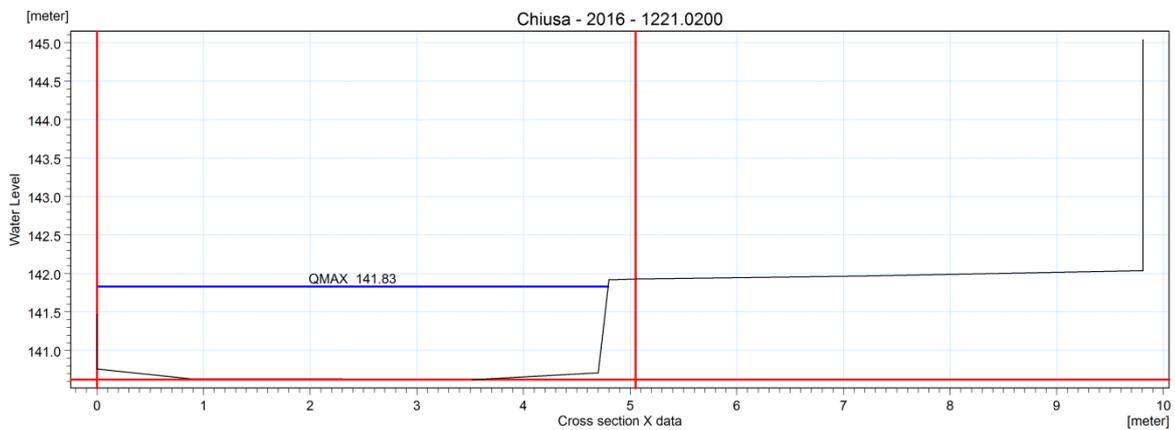
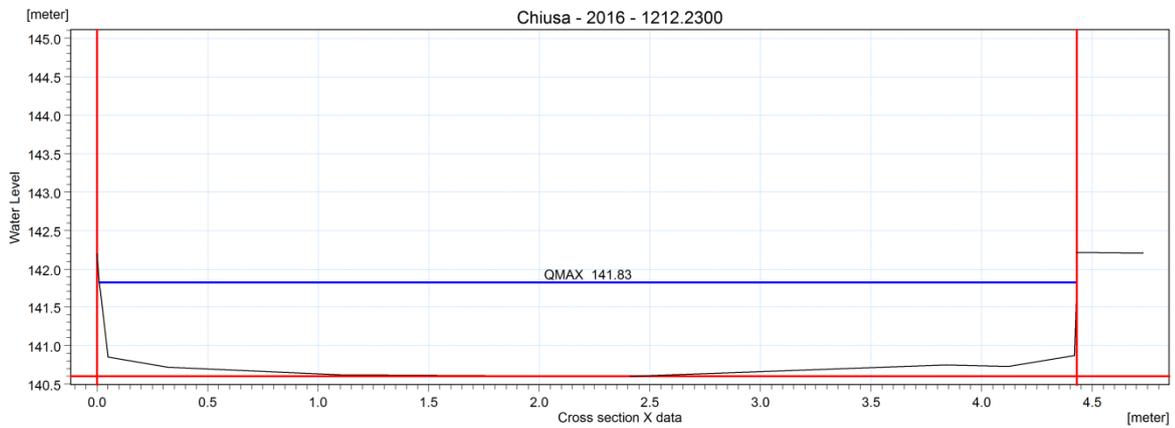
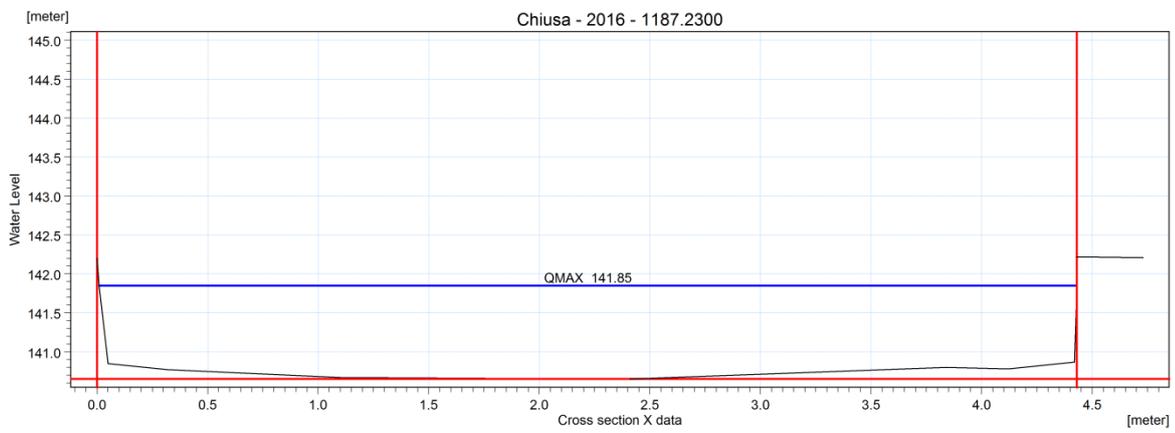
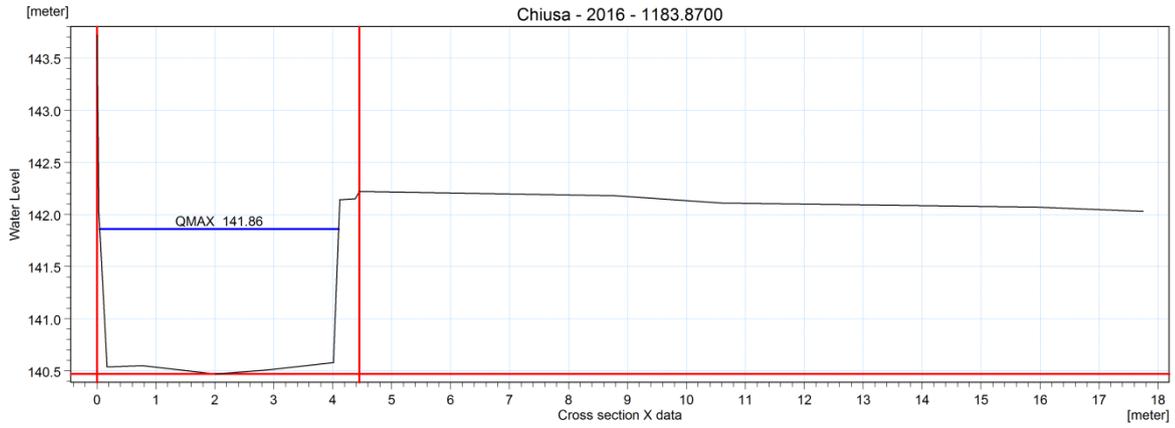


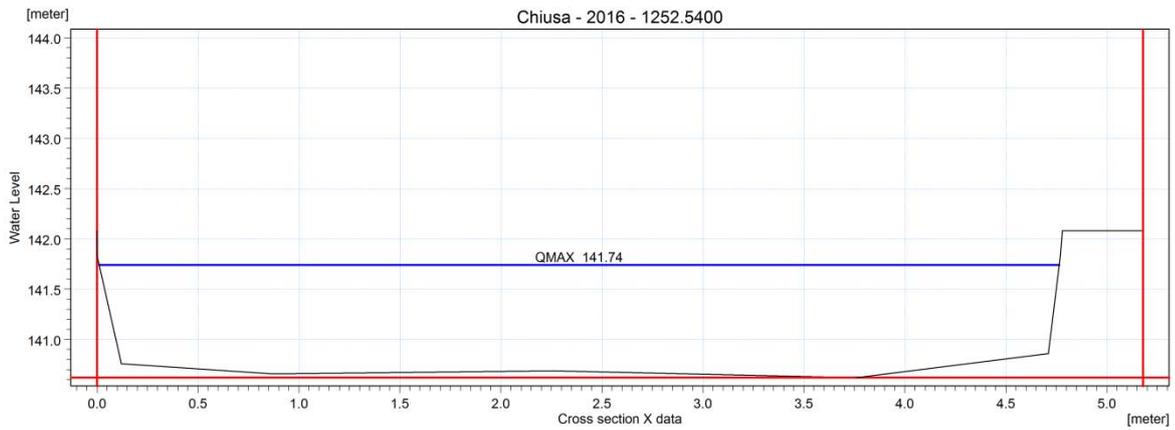
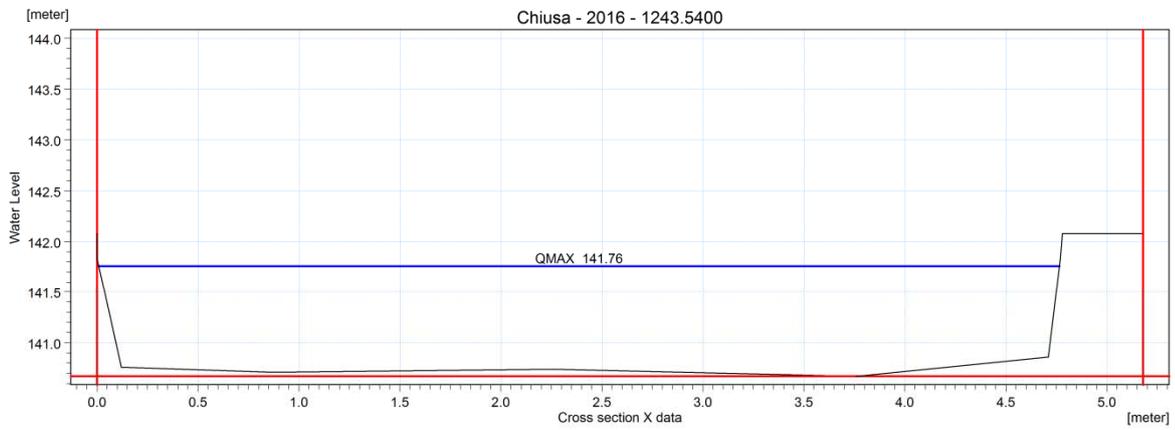
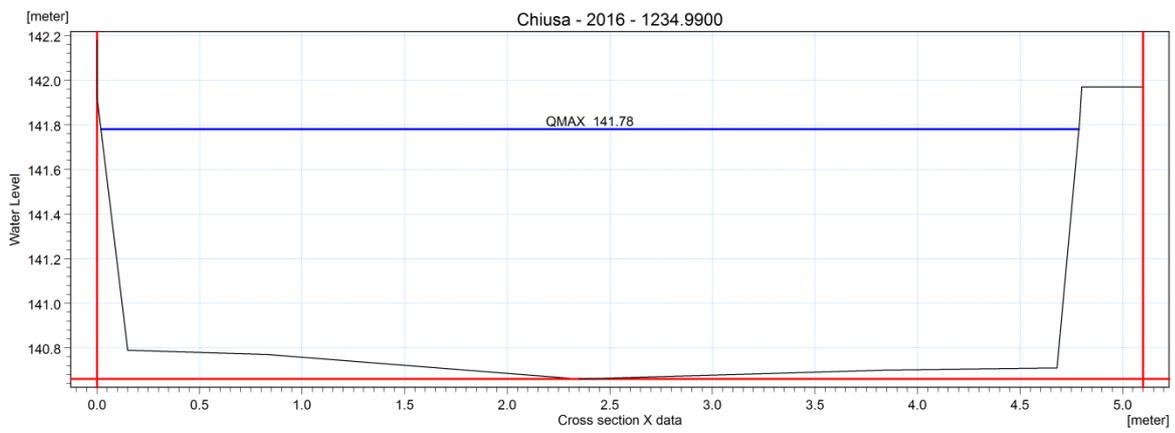
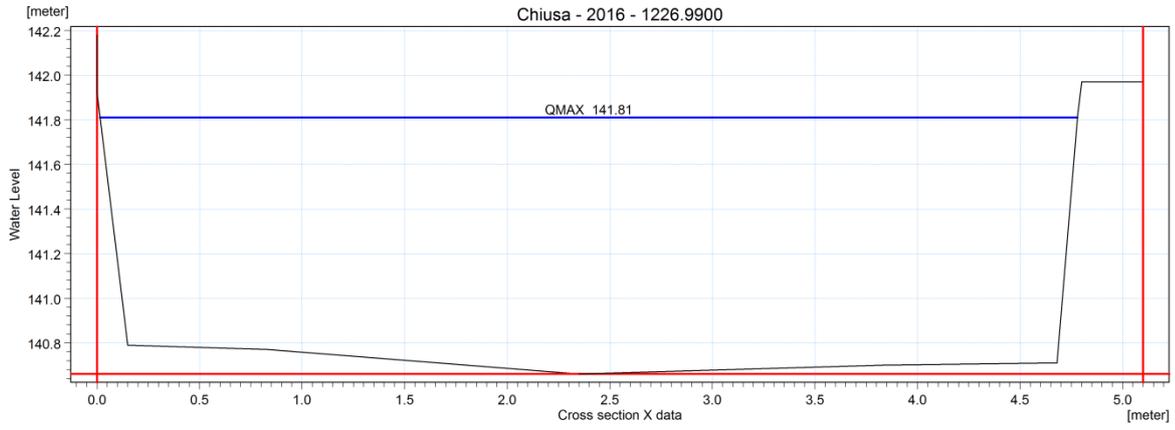


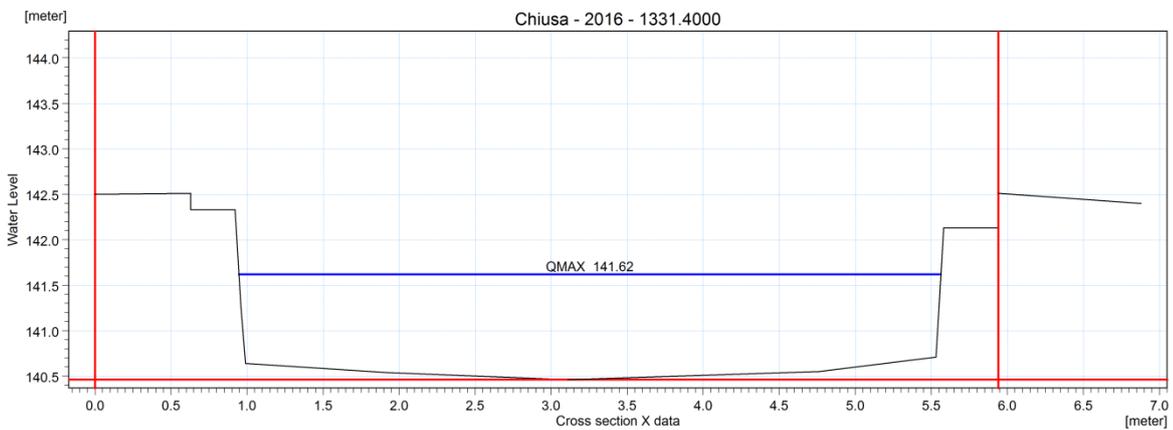
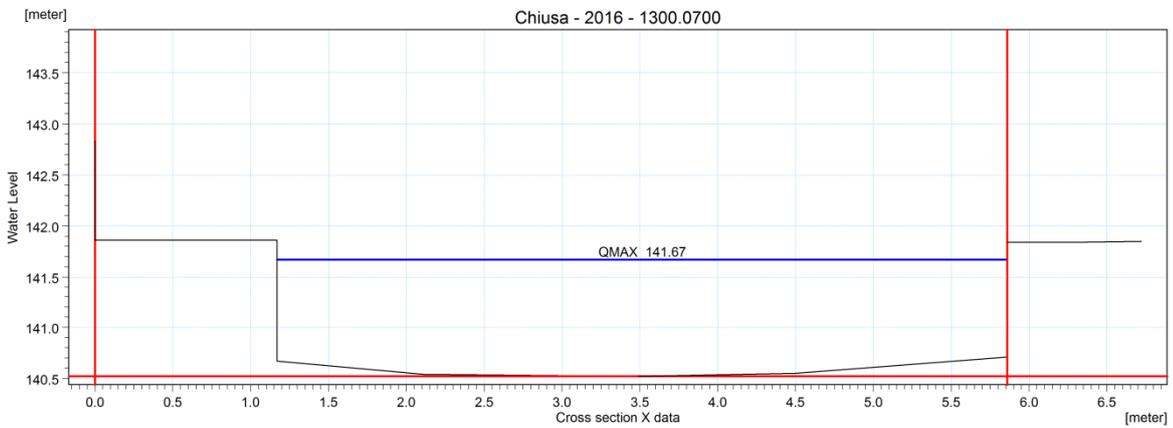
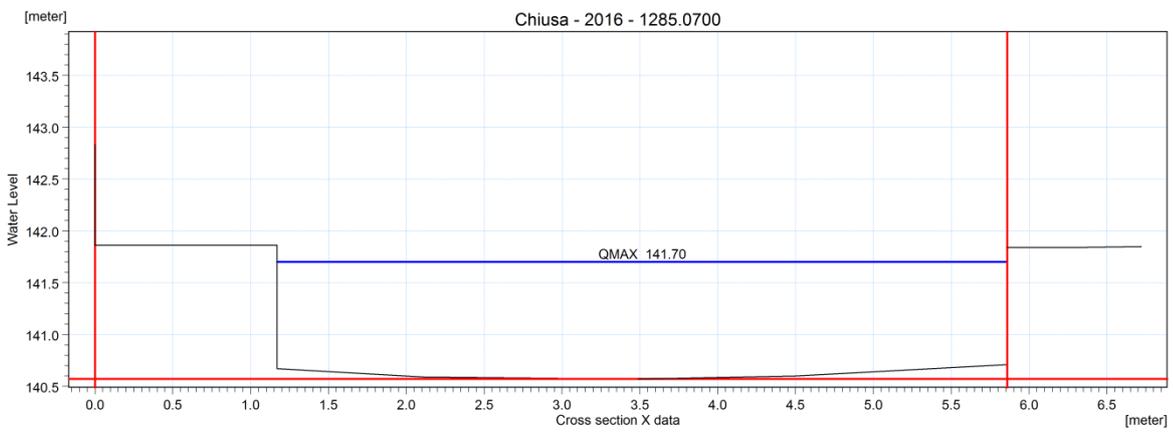
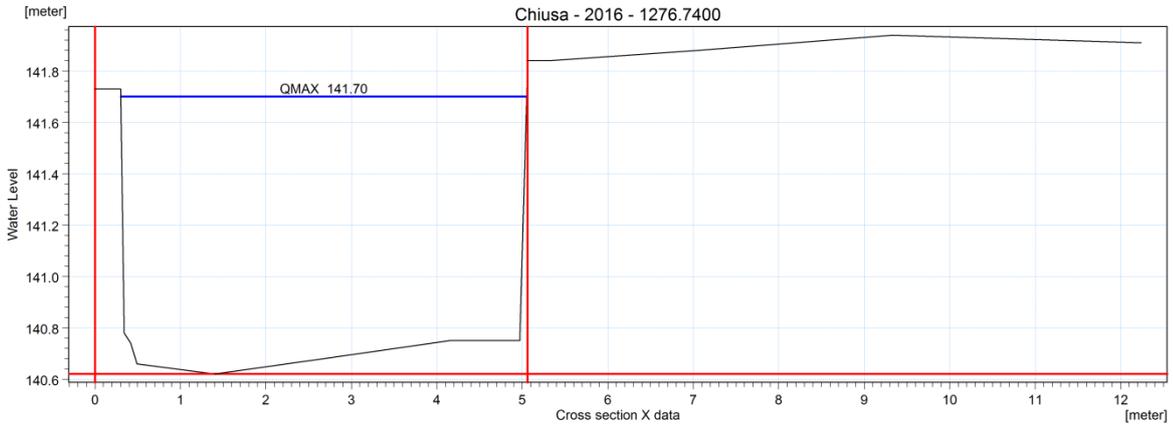


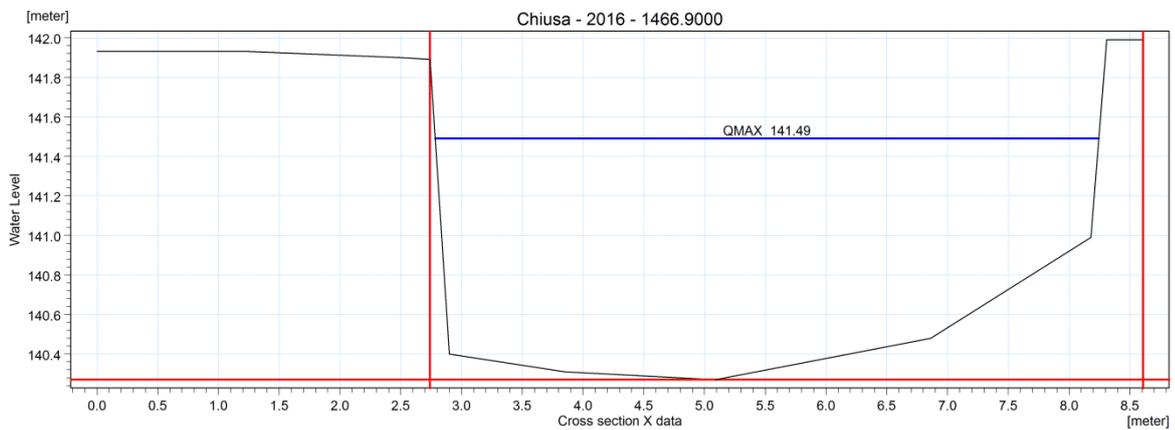
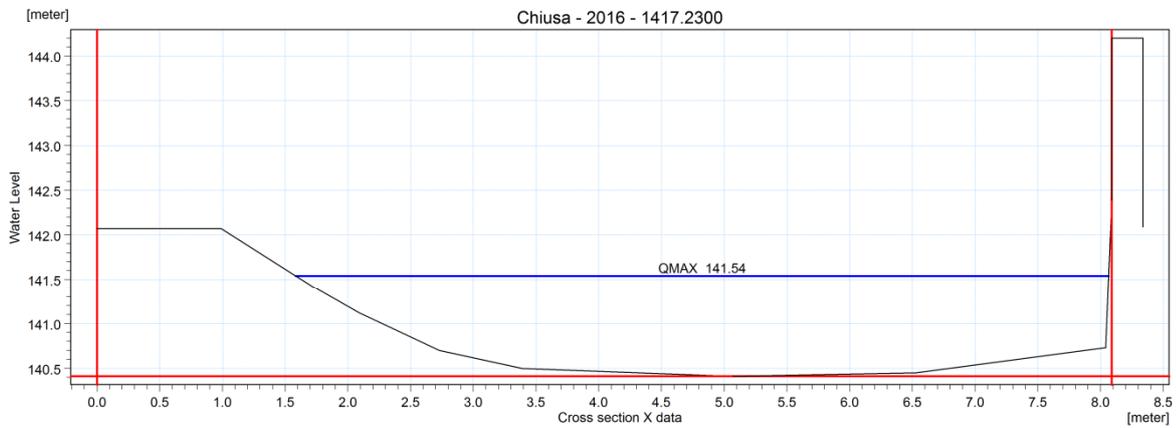
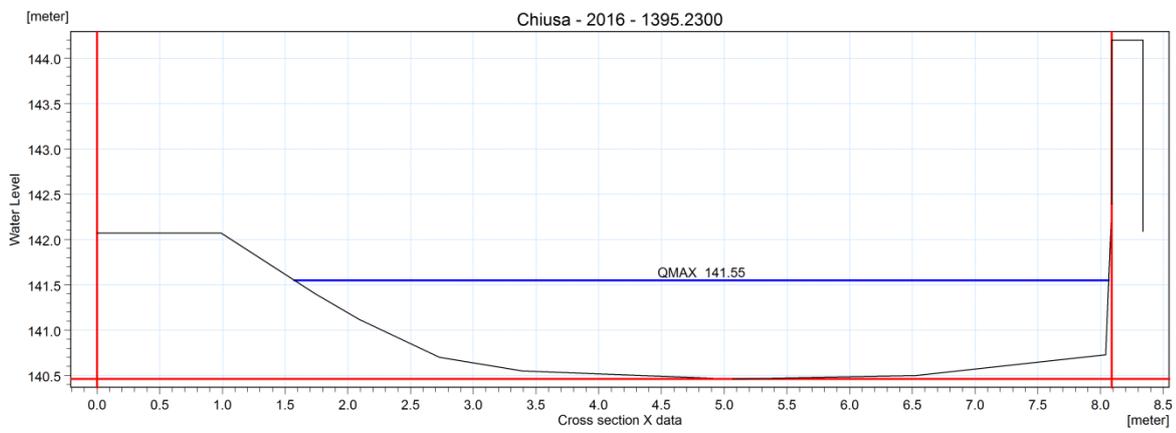
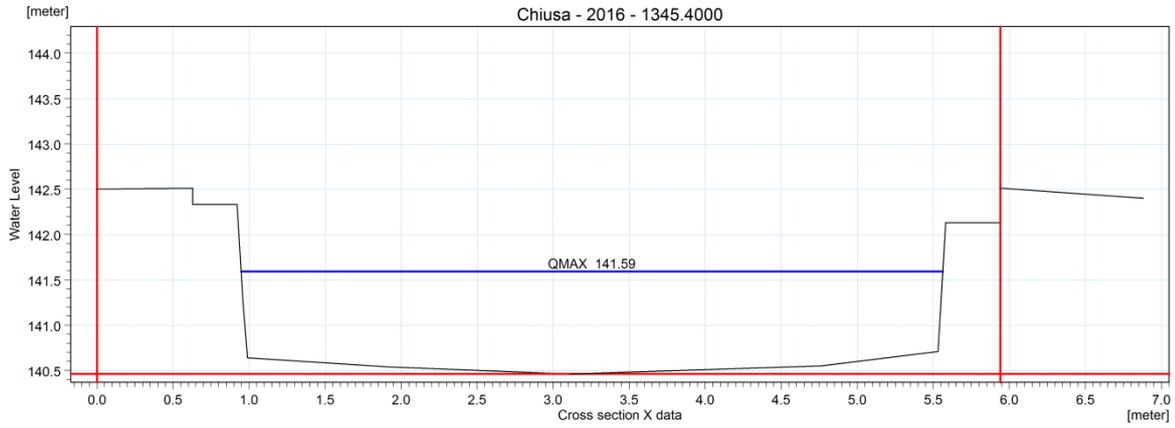


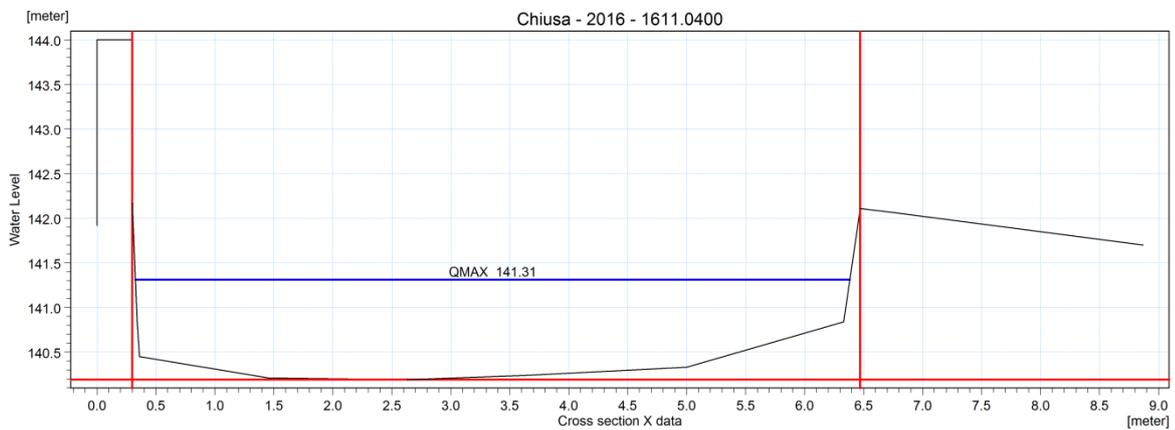
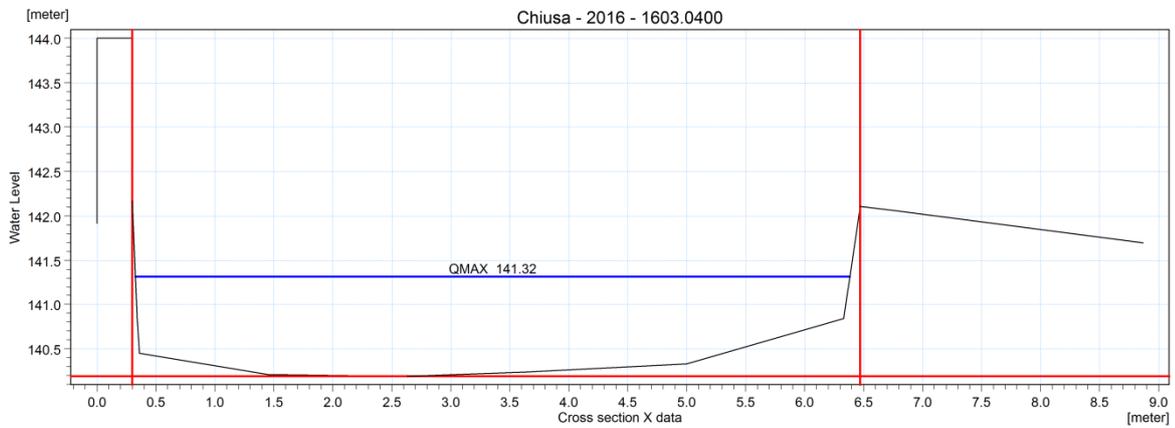
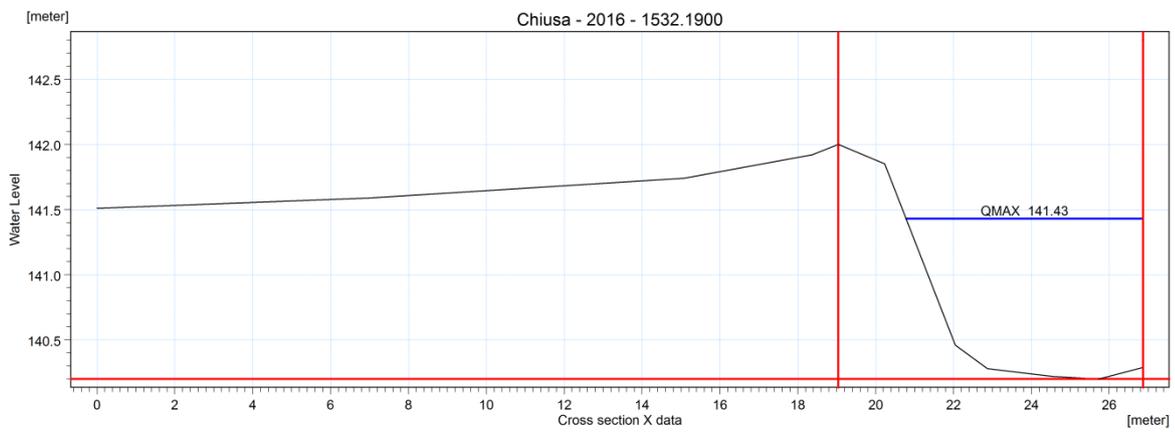
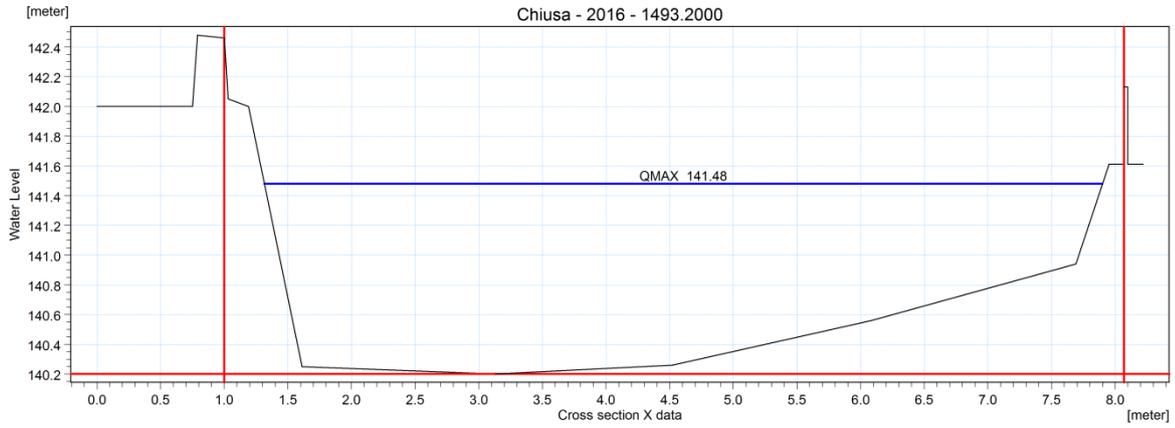


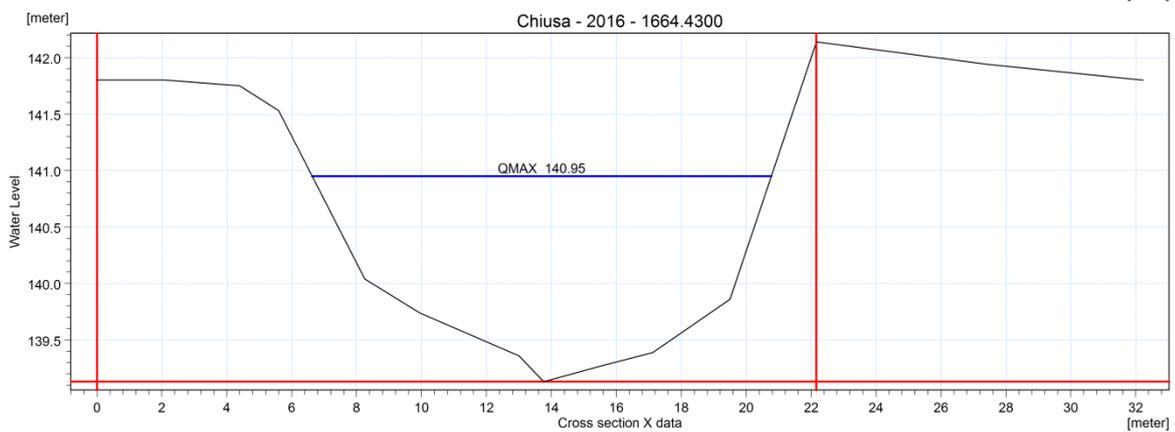
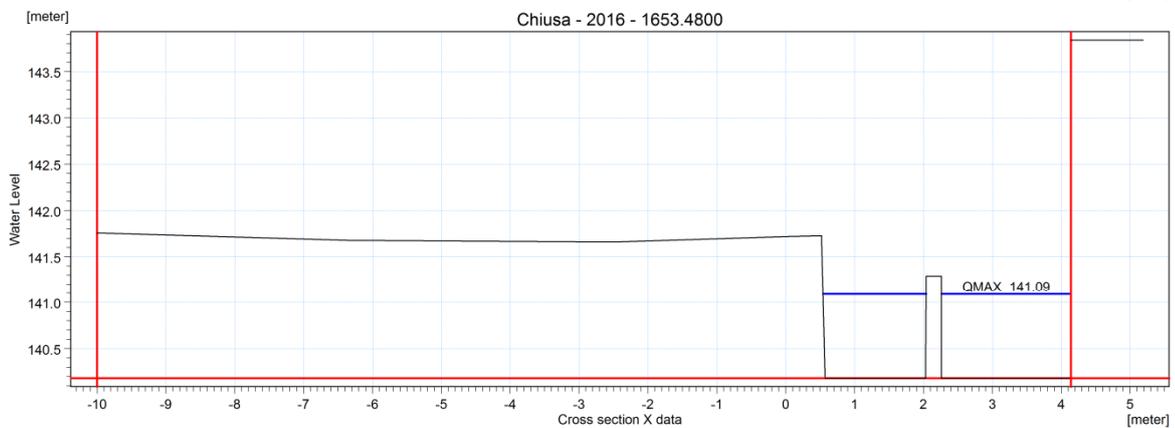
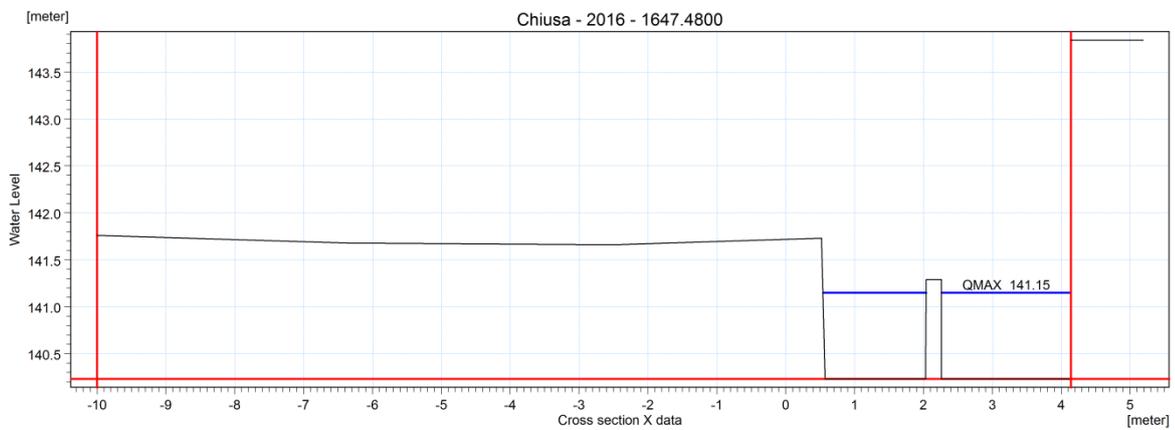
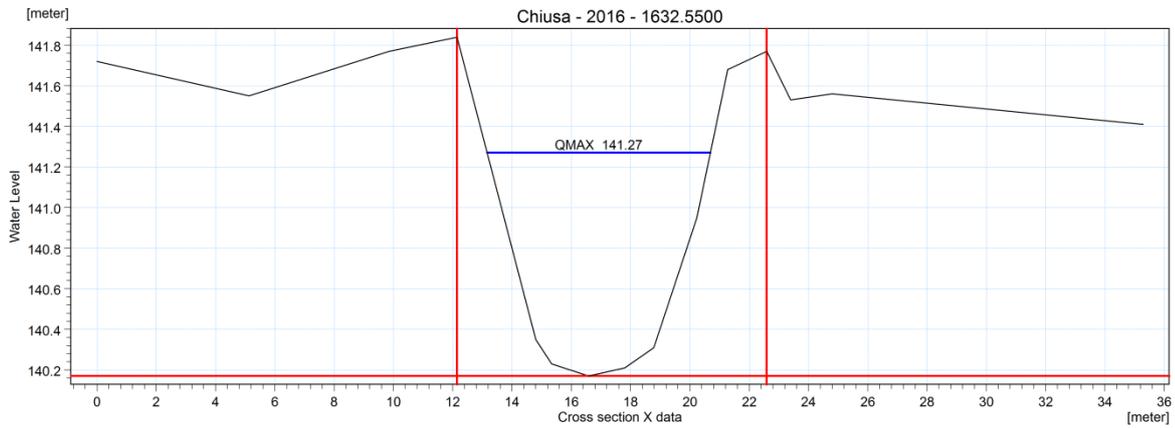


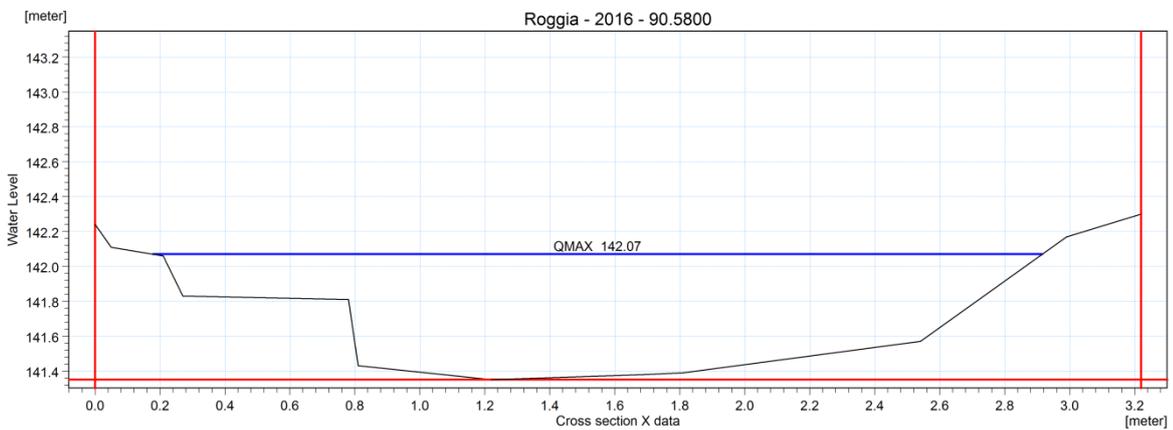
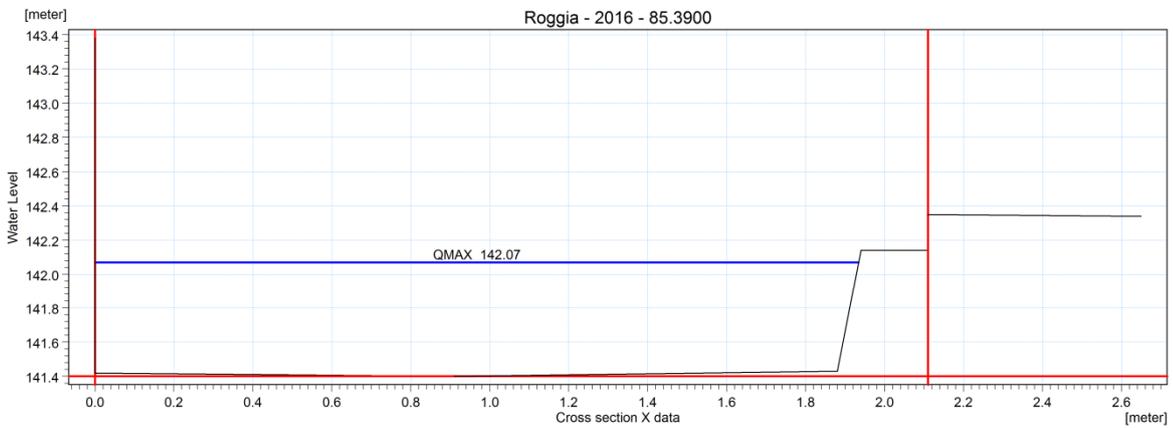
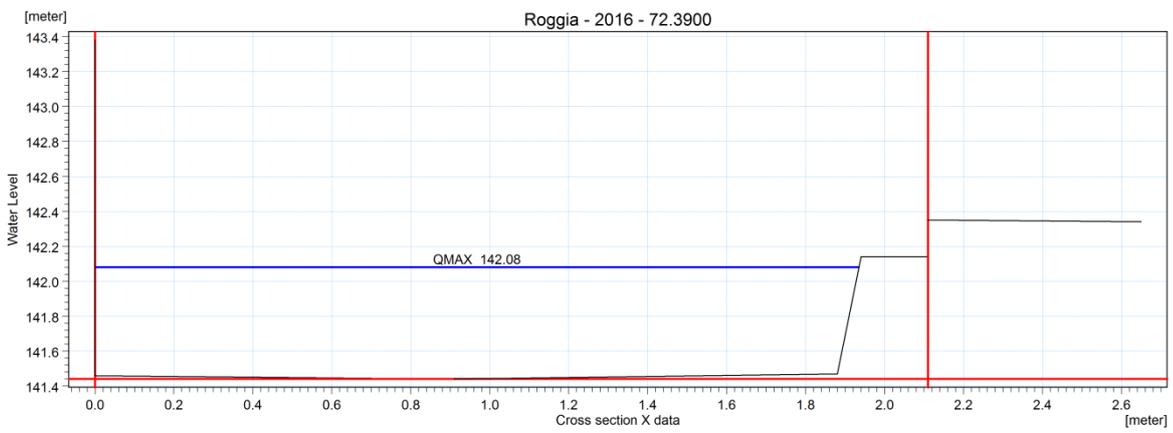
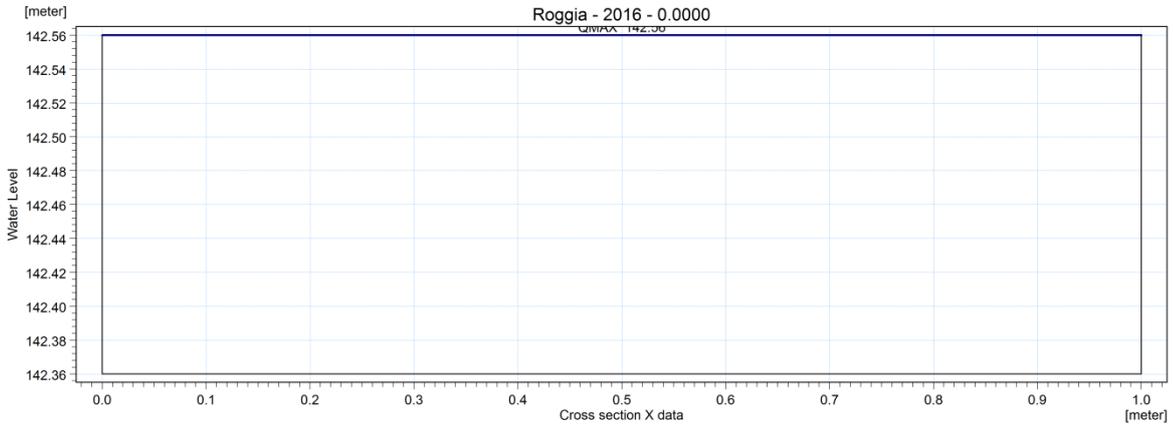


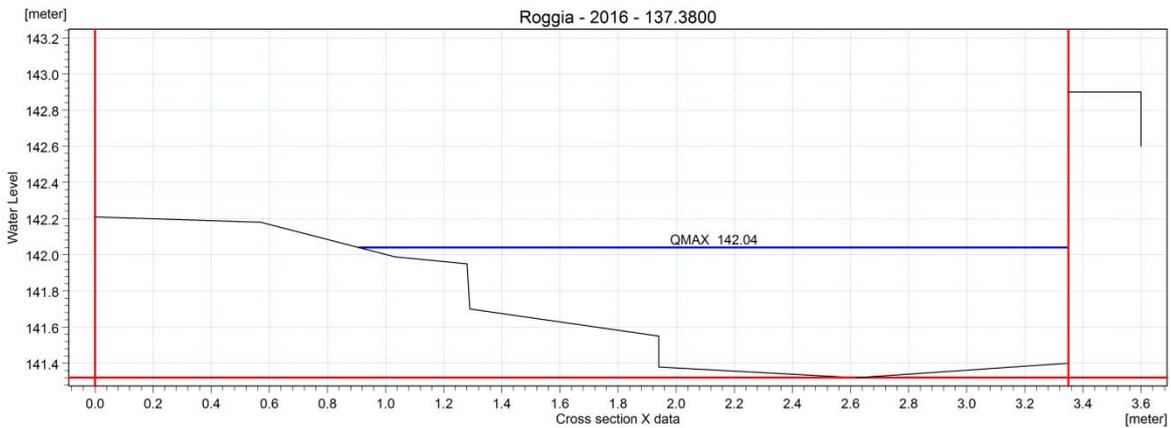
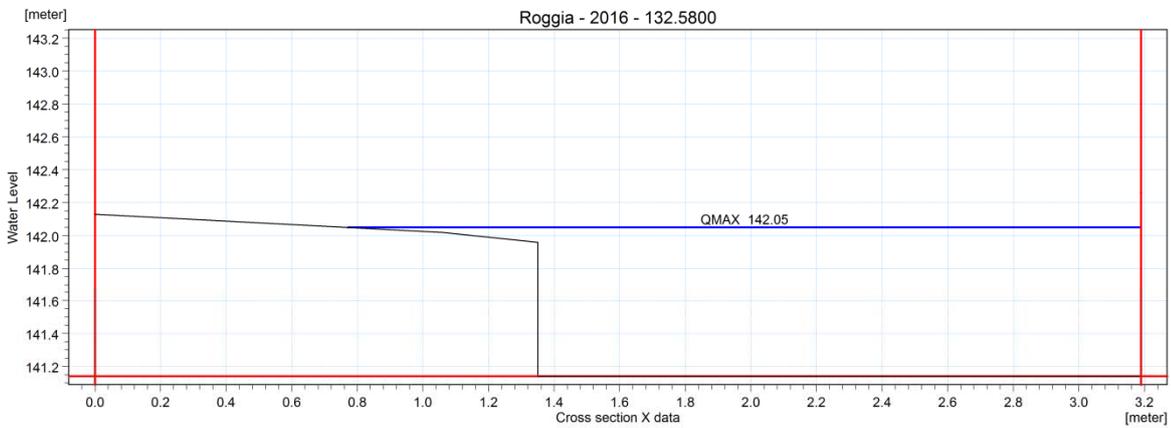
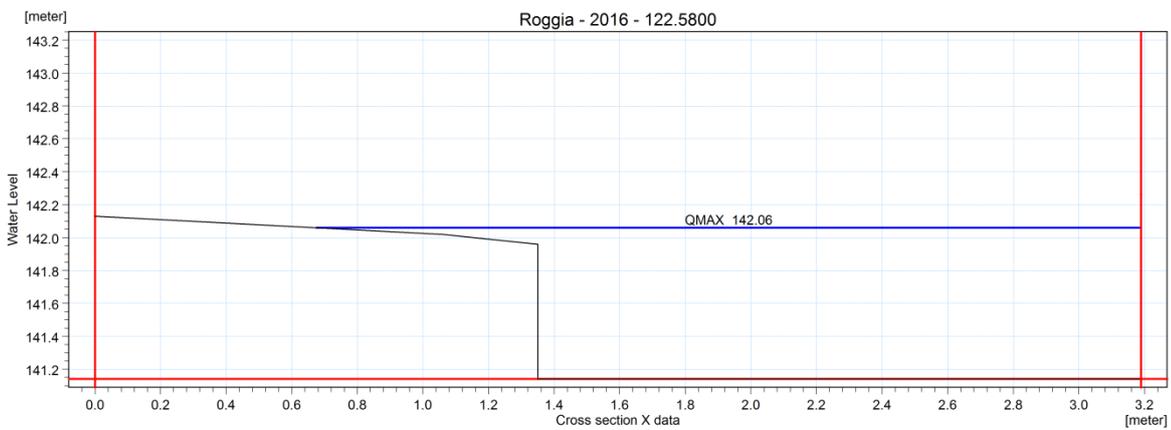
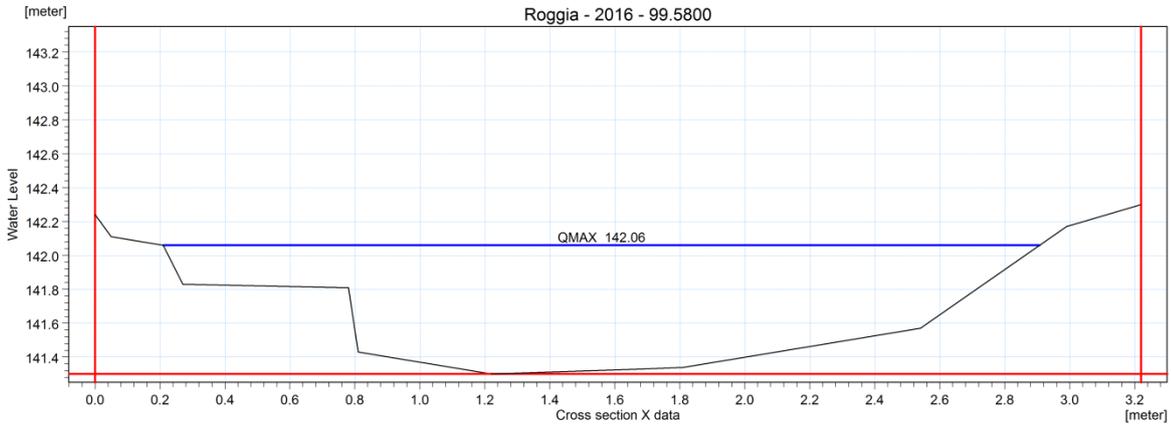


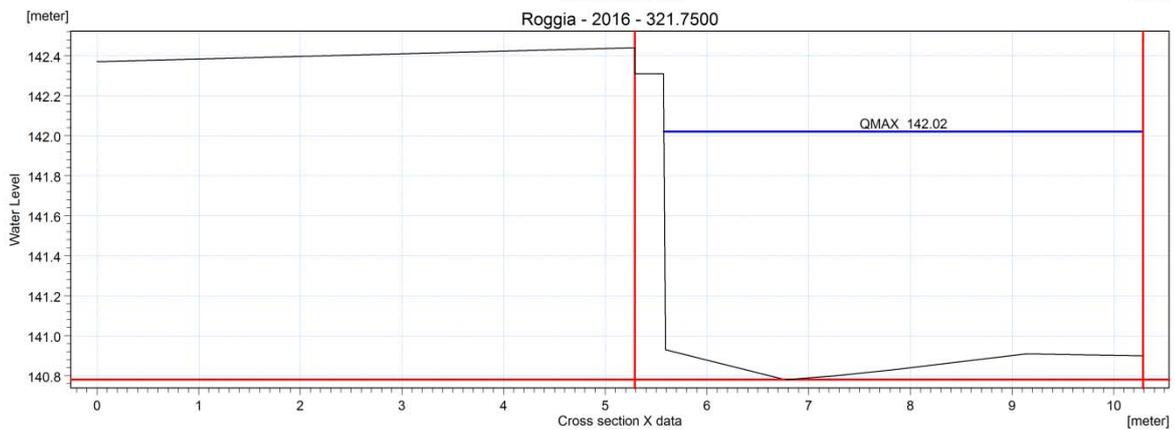
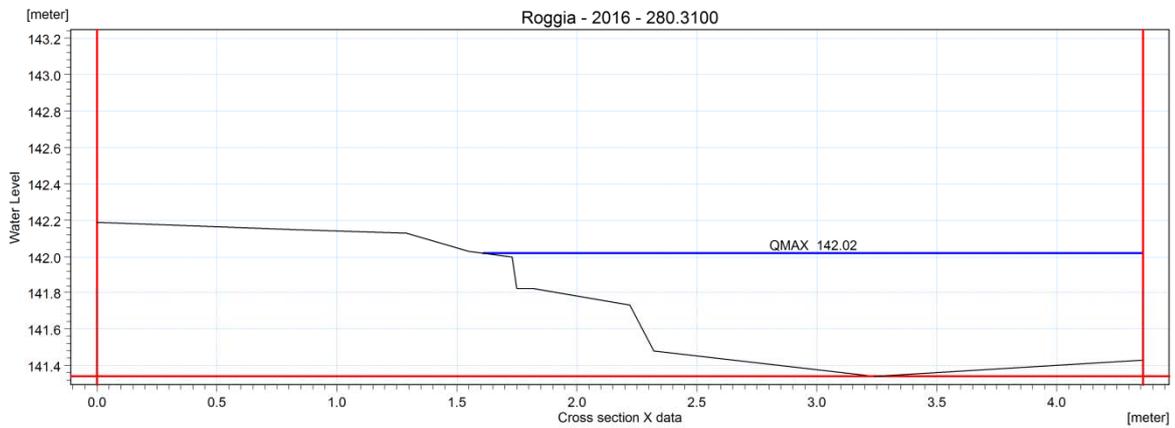
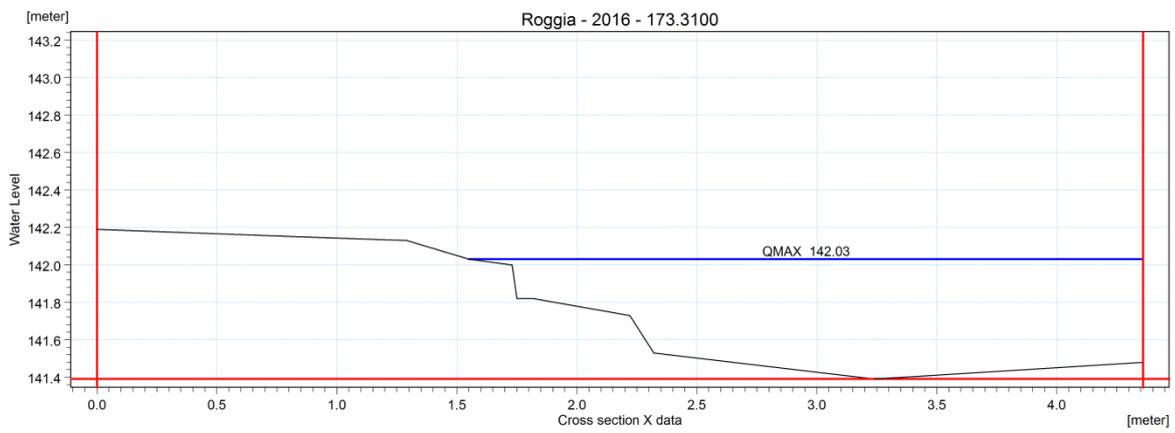
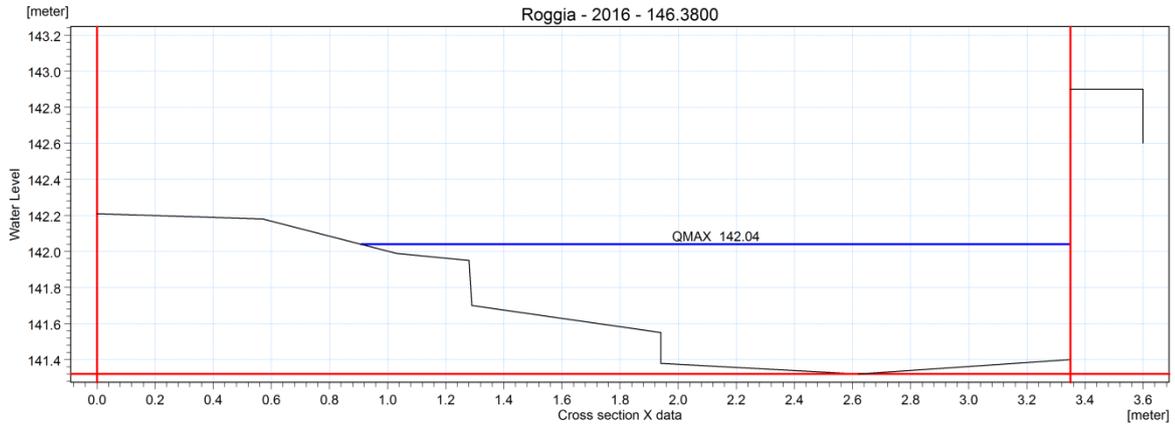












ALLEGATO 3 - Sezioni di modello con rappresentazione dei livelli idrici nello Scenario 2

