

CONSORZIO BONIFICA PARMENSE

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE SPELTA AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA - 1° LOTTO

CUP: G58B23000090001

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA



TITOLO ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

ELABORATO

02.02

SCALA

-

COD. PROG. 2023 - 073 LIV. PROG. PFTE COD. ELAB. 2023 - 073 - PFTE - 02 . 02 REV. -

IL PROGETTISTA:

Ing. Giulia Mainardi

COLLABORATORE:

Ing. Alessio Gianni

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Chiara Miodini

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE
-	12/2025	Fattibilità tecnico economica	Ing. Mainardi	Ing. Mainardi	Ing. Miodini

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	4
2.1. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	4
3. ANALISI IDROLOGICA	6
3.1. DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	6
3.2. IETOGRAMMA TRIANGOLARE	7
3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE E DEL TEMPO DI RITARDO	7
3.4. MODELLAZIONE IDROLOGICA	8
3.4.1. <i>Basin Model</i>	8
3.4.2. <i>Modello meteorologico</i>	11
3.4.3. <i>Specifiche di controllo</i>	11
3.4.4. <i>Idrogrammi di piena e portate al colmo</i>	11
4. VERIFICA IDRAULICA	15
4.1. MODELLO IDRAULICO	15
4.1.1. <i>Modello matematico a moto permanente monodimensionale</i>	15
4.1.2. <i>Caratteristiche geometriche del modello idraulico</i>	18
4.1.3. <i>Parametri di scabrezza</i>	19
4.1.4. <i>Condizioni al contorno</i>	19
4.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE NUMERICA	19
4.2.1. <i>Stato di fatto</i>	19
4.2.2. <i>Stato di progetto</i>	21
5. CONCLUSIONI	24

1. INTRODUZIONE

La presente Relazione ha come obiettivo il dimensionamento del tratto di canale Spelta che si sviluppa dal Molino della Resga fino all'abitato di San Geminiano, al fine di garantire una corretta funzionalità idraulica del canale e una migliore efficienza in termini di distribuzione della risorsa idrica e di risparmio idrico.

Tale relazione è stata redatta in assoluta conformità a quanto prescritto dalle vigenti Normative Tecniche per le Costruzioni NTC2018 (D.M. 17/01/2018) ed in ottemperanza a quanto prescritto dal Regolamento di Polizia idraulica vigente, redatto dal Consorzio della Bonifica Parmense.

Il progetto prevede, per circa 500 m di canale, la realizzazione del rivestimento attraverso l'impiego di calcestruzzo armato. Al contempo, per riqualificare l'area in cui ricade l'intervento in oggetto che su sponda sinistra presenta una generalizzata condizione di degrado, è previsto l'innalzamento di tale sponda ad un'altezza utile a garantire sostegno eliminando, quindi, le problematiche presenti.

Attraverso lo studio idrologico del bacino afferente è stato possibile definire le portate in arrivo da monte generate per eventi di pioggia con tempo di ritorno TR200.

La modellazione idrologica è stata eseguita con l'ausilio del software HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*).

HMS è un software sviluppato dal *US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*, tramite il quale si sono ricavati gli idrogrammi di piena alla sezione di chiusura del bacino.

La successiva modellazione idraulica è stata eseguita con l'ausilio del software HEC-RAS (*River Analysis System*).

2. CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

L'area oggetto di intervento si trova nel Comune di Montechiarugolo, in località San Geminiano, in sinistra idraulica del T. Enza (Figura 1).



FIGURA 1 - COROGRAFIA E INQUADRAMENTO DEL RETICOLO IDROGRAFICO (SCALA 1:10'000)

Il canale Spelta è uno dei più antichi e importanti canali del comprensorio parmense per la sua fondamentale funzione irrigua.

Preleva le acque dal Torrente Enza mediante la traversa di Cerezzola in provincia di Reggio Emilia, per poi convogliare le acque, sottopassando il torrente attraverso funzionamento a sifone, in territorio parmense nel casello irriguo denominato Guardasone.

L'opera in progetto ricade nell'elemento della *Cartografia Tecnica Regionale CTR in scala 1:10.000 n° 200060*.

2.1. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

Attraverso l'analisi delle curve di livello e dalle mappature dei comprensori di scolo catalogate all'interno dei sistemi informatici del Consorzio, è stato possibile individuare il bacino idrografico utile per l'analisi idrologica, facendo coincidere la sezione di chiusura con la sezione iniziale del tratto oggetto di progettazione, a valle del Molino della Resga (Figura 2).

L'estensione complessiva presa in esame è di circa 5.9 km², per una lunghezza dell'asta principale di circa 9 km, dalla sezione di monte in Loc. Scornavacca in Comune di Montechiarugolo (PR), fino alla sezione di chiusura descritta precedentemente.

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE DELLA SPELTA
AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA – 1° LOTTO

Tale bacino è stato individuato considerando che nel tratto prima, dove si origina il Canale Spelta fino al Torrente Termina, la funzione che tale canale svolge è esclusivamente irrigua, quindi di apporto trascurabile per l'analisi idrologica.

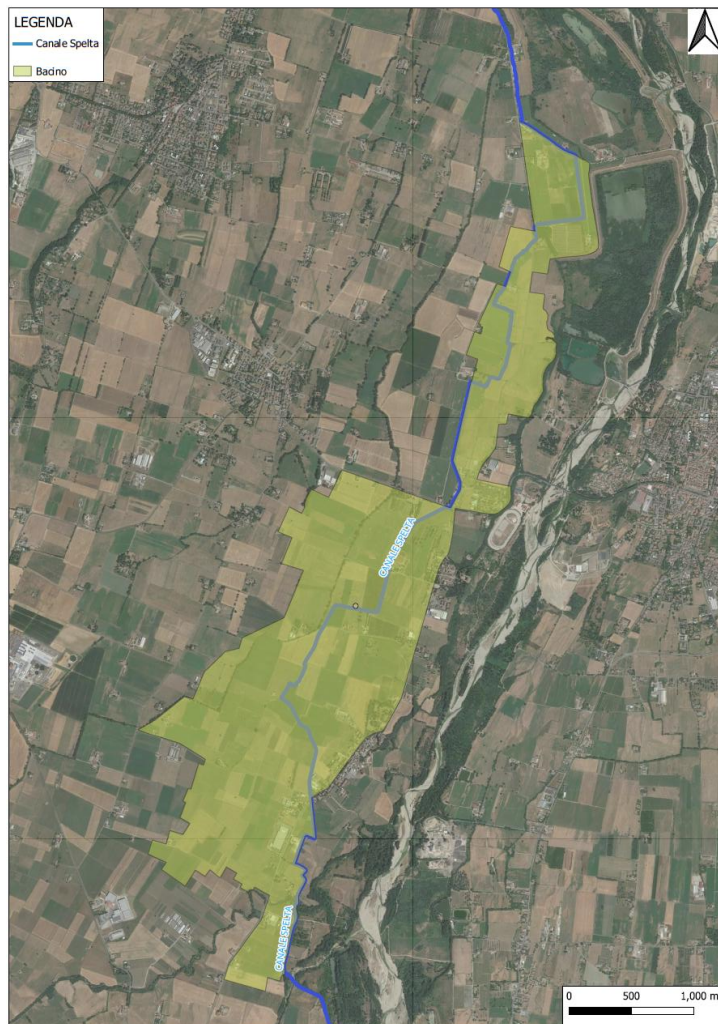


FIGURA 2 - BACINO IDROGRAFICO

3. ANALISI IDROLOGICA

Lo scopo di tale analisi è la definizione delle onde di piena con relative portate al colmo, per un tempo di ritorno di 200 anni (TR_{200}), al variare della durata critica T_p dell'evento e, tra queste, individuare la più gravosa e verificarne il regolare deflusso in corrispondenza del tratto in progetto.

Si è provveduto in un primo momento a definire le curve di possibilità pluviometrica cpp per i diversi tempi di ritorno e, successivamente, la massima altezza di pioggia di progetto per TR_{200} .

Ai fini dell'Analisi Idrologica sono stati presi a riferimento i dati della Stazione Pluviometrica di Parma Città dalla quale sono state estrapolate misurazioni di pioggia per un range di anni tale da ritenersi valido ai fini statistici con riferimento a durate di precipitazione pari a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 ore.

La distribuzione probabilistica adottata è quella di Gumbel con stima dei parametri caratteristici dal Metodo dei Momenti, che risulta essere la soluzione migliore in termini di adattabilità al campione di dati disponibile. I valori di precipitazione determinati dall'analisi statistica sono stati utilizzati ai fini dell'Analisi Idrologica effettuata con il software HEC-HMS.

Le caratteristiche geometriche del bacino impiegate nel modello idrologico allo stato di fatto, si basano su osservazioni e dati di letteratura, che necessiteranno di essere implementate con maggiore dettaglio in una fase di progettazione esecutiva.

3.1. DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

È stata effettuata un'analisi statistica preliminare delle precipitazioni atmosferiche registrate nell'area al fine di determinare le curve di possibilità pluviometrica cpp per i diversi tempi di ritorno.

Come già accennato, a tal scopo si sono raccolti i dati pluviometrici messi a disposizione da ARPAE Emilia-Romagna sugli annali idrologici (Parte II). I dati sono quelli del pluviometro di Parma per durate degli eventi pari a 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12 ore consecutive, con riferimento a valori di pioggia con ricorrenza duecentennale.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica esprimono il legame esistente tra l'altezza di pioggia h e la sua durata d , per assegnato tempo di ritorno T , attraverso l'espressione:

$$h = a d^n$$

dove:

h è l'altezza di pioggia espressa in mm

d è la durata di pioggia espressa in ore

a ed n sono parametri che vengono stimati a partire dalle elaborazioni delle serie storiche dei valori massimi annuali delle altezze di precipitazione di durata assegnata.

Attraverso la distribuzione di probabilità di Gumbel, con successiva regressione ai minimi quadrati, si sono calcolati i coefficienti a ed n per $T_R=200$ anni e si è quindi determinata la curva di possibilità climatica, linea segnalatrice di possibilità climatica.

PARAMETRI DELLE LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ CLIMATICA PER PRECIPITAZIONI ORARIE		
TR (anni)	a	n
200	69,2450	0,3071

**TABELLA 1 - PARAMETRI DELLE LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ CLIMATICA
PER PRECIPITAZIONI ORARIE**

Per la determinazione, attraverso un modello afflussi-deflussi, della massima portata al colmo in funzione di un prefissato tempo di ritorno T, sarebbe opportuno utilizzare ietogrammi reali.

Non disponendo di una serie sufficientemente lunga di eventi meteorici reali significativi, si costruisce uno ietogramma sintetico di progetto a partire dalle curve di possibilità pluviometriche. Nel caso specifico si è deciso di utilizzare uno ietogramma di tipo triangolare.

3.2. IETGRAMMA TRIANGOLARE

Per una durata di pioggia t_p , l'intensità media di questa tipologia di ietogramma è uguale a quella del tipo rettangolare, ma le intensità hanno un andamento linearmente crescente da zero verso un massimo che vale il doppio della media.

$$i_{max} = 2 \cdot a \cdot t_p^{n-1}$$

E che si raggiunge in un istante:

$$t_r = k \cdot \theta \quad (k \leq 1)$$

E poi decrescente fino a zero.

L'intensità $i(t)$ e l'altezza di pioggia $h(t)$ corrispondente sono quindi espresse dalle seguenti equazioni:

$$i(t) = 2 \cdot a \cdot t_p^{n-2} \left(\frac{t}{k}\right) \quad h(t) = a \cdot t_p^{n-2} \left(\frac{t^2}{k}\right) \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = 2 \cdot a \cdot t_p^{n-2} \left(\frac{t_p-t}{1-k}\right) \quad h(t) = a \cdot t_p^{n-2} \left[t_p^2 - \frac{(t_p-t)^2}{(1-k)} \right] \quad \text{per } t \geq t_r$$

3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE E DEL TEMPO DI RITARDO

Preliminarmente all'utilizzo del modello idrologico HEC-HMS® per la trasformazione afflussi-deflussi relativa al bacino sopra identificato ci si è serviti di metodi empirici tradizionali, basati sul metodo razionale, per la determinazione dei tempi di corrivazione t_c e dei tempi di ritardo t_L (*lag time*), quest'ultimo utilizzato nel modello in Hec-HMS, del bacino scolante.

Il tempo di corrivazione t_c , comunemente definito come il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame, varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

La formula empirica utilizzata per il presente studio è quella di *Giandotti Modificata (Aronica-Paltrinieri)*, adatta per piccoli bacini minori di 10 km².

Il tempo di ritardo t_L (*lag time*) è definito come l'intervallo temporale che separa il baricentro della distribuzione delle piogge di progetto dal baricentro dell'idrogramma del deflusso superficiale. Anche tale parametro è normalmente stimato per mezzo di formule empiriche. Nel caso in esame si è utilizzato il valore medio di 4 diverse formulazioni proposte da vari autori, ovvero *Kirpich, Mockus-SCS, Watt&Chow e Chow*.

PARAMETRI TEMPORALI DEL BACINO IDROGRAFICO		
Tempo di corrivazione (t_c)	ore	3.10
Tempo di ritardo (t_L)	ore	3.03

TABELLA 2 – PARAMETRI TEMPORALI DEL BACINO IDROGRAFICO

3.4. MODELLAZIONE IDROLOGICA

La modellazione idrologica è stata effettuata con il software HEC-HMS® ver.4.10.

Il software HEC-HMS permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura, riferite sia a grandi bacini idrografici sia a piccole aree urbane o naturali.

Una simulazione idrologica viene definita dalla combinazione di un componente *Basin Model*, di un componente *Meteorologic Model* e di un componente *Control Specification*.

3.4.1. Basin Model

La rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico viene configurata nel Modello di Bacino.

Il componente *Basin Model* permette di definire i bacini idrografici, le relative caratteristiche, i metodi di calcolo delle perdite di bacino e i metodi di calcolo della trasformazione afflussi-deflussi.

Per modellare le perdite per infiltrazione nel terreno vi sono diverse opzioni disponibili. Tutti i metodi di calcolo rispettano il principio fisico di conservazione della massa, per cui la somma delle perdite idrologiche e degli afflussi netti è sempre pari agli afflussi lordi del bacino idrografico.

Nello specifico si è utilizzato il metodo empirico *SCS Curve Number*. L'aliquota di precipitazione che non viene coinvolta nelle varie perdite idrologiche e la precipitazione che cade sulle aree impermeabili costituiscono la precipitazione efficace, la quale dà origine allo scorrimento superficiale e, muovendosi attraverso il bacino idrografico verso la sezione di chiusura dello stesso, dà origine all'idrogramma dei deflussi nella sezione considerata.

Tale metodo si avvale del parametro CN per stimare quanta acqua delle precipitazioni si infiltra nel suolo e quanta invece ne scorre superficialmente, e prevede l'incrocio di informazioni quali il gruppo idrologico, l'uso del suolo, le pratiche colturali e le condizioni idrologiche dei suoli. Il parametro CN è un numero adimensionale che varia tra 100 (per corpi idrici e suoli completamente impermeabili) e circa 30 per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione.

I gruppi idrologici indicano il comportamento potenziale dei suoli nel generare scorrimento superficiale dell'acqua. Si basano sul presupposto che suoli all'interno di una medesima regione climatica che sono simili per profondità, per capacità di infiltrazione, per tessitura, struttura e per profondità della tavola d'acqua hanno la stessa risposta al *runoff* cioè allo scorrimento superficiale. In accordo alla metodologia sono presenti quattro gruppi principali, A, B, C e D a *runoff* potenziale crescente.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

FIGURA 3 – CLASSI DI SUOLO

Nella scelta del parametro CN si è fatto riferimento ad una condizione di umidità del suolo di tipo standard, indicata come AMCII (*Antecedent Moisture Condition*).

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE DELLA SPELTA
AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA – 1° LOTTO

Tipo di copertura			Classe del suolo			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi dritti	–	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi dritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi dritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi dritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi dritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi dritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi dritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
		discreta	25	59	75	83
		buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		–	59	74	82	86
Strade sterrate		–	72	82	87	89
Str. pavimentate		–	74	84	90	92

FIGURA 4 - VALORI DI CN TABULATI IN LETTERATURA

Per l'assegnazione del valore CN si è deciso di eseguire una media pesata dei dati forniti dal database Uso del Suolo della Regione Emilia-Romagna e incrociare tali dati con i valori di CN ottenuti da letteratura. Il valore medio del CN considerato è **74** considerato l'uso del suolo per l'area sottesa dal bacino di progetto (colture, prati, boschi e carraie).

L'altro parametro richiesto nel metodo empirico *SCS Curve Number* è il valore % delle aree impermeabili del bacino direttamente connesse con la rete idrografica e che quindi non contribuiscono ai processi di infiltrazione. Tali aree non devono essere considerate nel calcolo del CN medio dell'elemento *subbasin*. Su queste aree non vi sono perdite idrologiche, per cui tutta la pioggia che qui cade si trasforma in deflusso.

Le aree impermeabili del bacino sono state definite considerando che il bacino in esame ricade prettamente in zona pianeggiante o pedecollinare, in aree al di fuori di centri abitati e prettamente dedite all'agricoltura. Per tali ragioni si è deciso di attribuire una percentuale di *impervious* (così definite le aree impermeabili nel programma di calcolo) pari ad 1, per ragioni cautelative.

In aggiunta al valore del CN si può immettere anche il valore delle perdite iniziali *Initial Abstraction [mm]* che definiscono l'ammontare di pioggia che si deve avere prima che inizi il deflusso superficiale. Se il campo è lasciato in bianco, come in questo caso, HMS valuta automaticamente le perdite iniziali pari a 0.2 volte la ritenzione massima, secondo le ipotesi classiche del metodo del CN.

Per trasformare la precipitazione efficace in un idrogramma dei deflussi si è deciso di utilizzare il metodo basato sulla teoria dell'idrogramma unitario del *Soil Conservation Service*.

L'idrogramma unitario SCS è stato originariamente ricavato da analisi di dati osservati in bacini agricoli.

I dati sperimentali sono stati poi generalizzati al fine di ricavare un idrogramma adimensionale in grado di essere applicato come idrogramma unitario di prima approssimazione di un bacino idrografico.

L'idrogramma adimensionale viene poi scalato in base al tempo di ritardo (*lag time*) per generare l'idrogramma effettivamente usato nella trasformazione afflussi-deflussi.

Il *lag time* è stato stimato così come definito precedentemente nel paragrafo 3.3 della presente Relazione.

3.4.2. Modello meteorologico

Il *meteorological model* definisce l'evento pluviometrico di progetto (*rainfall simulation*). L'evento pluviometrico assegnato è inserito, nel caso in esame, utilizzando il metodo dello *specified hyetograph*, utilizzando cioè ietogrammi di pioggia di tipo triangolare con diverse durate.

3.4.3. Specifiche di controllo

La funzione delle specificazioni di controllo è semplicemente quella di impostare le date e le ore iniziali e finali della simulazione ed inoltre l'intervallo temporale di calcolo.

3.4.4. Idrogrammi di piena e portate al colmo

Dalle simulazioni condotte è stata individuata come durata di pioggia critica per l'intero bacino quella di 8 ore.

Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena alla sezione di chiusura del bacino per gli eventi di rilievo simulati: TR200-tp2h, TR200-tp4h, TR200-tp5h, TR200-tp6h, TR200-tp8h e TR200-tp12h. Sono indicate in rosso le perdite e in blu i deflussi effettivi.

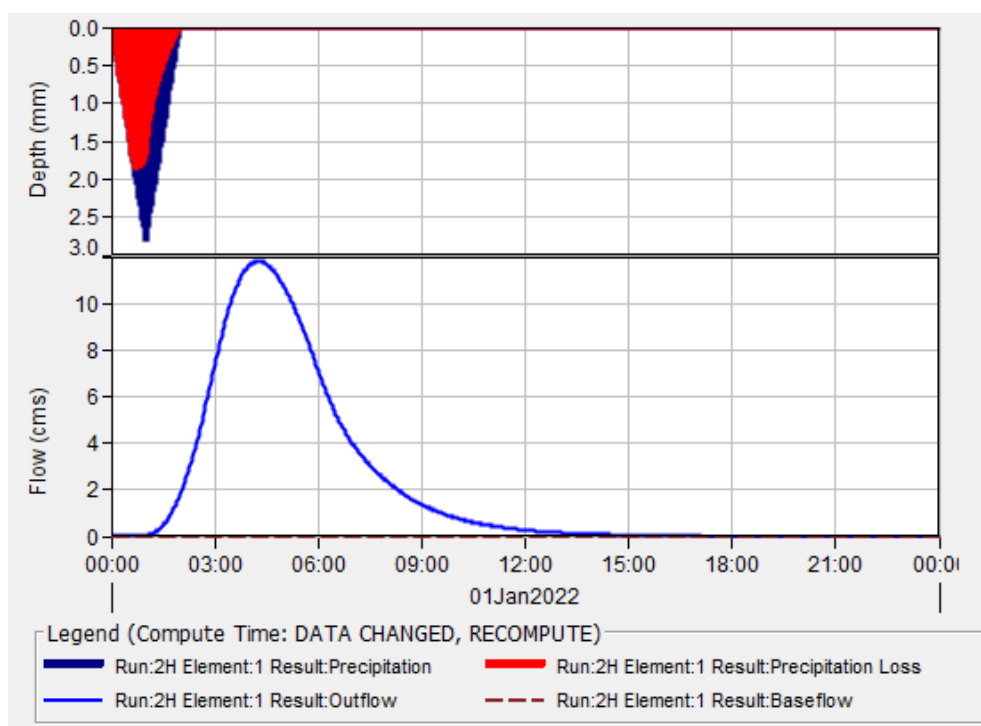


FIGURA 5 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP2H. Q MAX = 11.8 M3/S

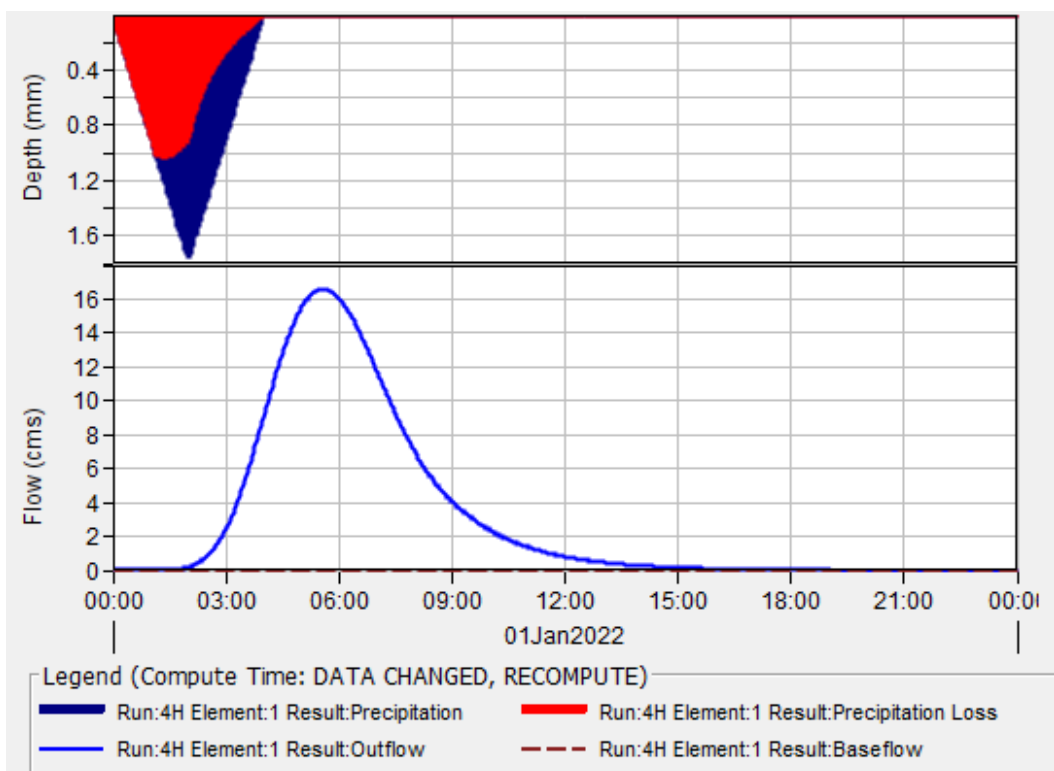


FIGURA 6 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP4H. Q MAX = 16.6 M3/S

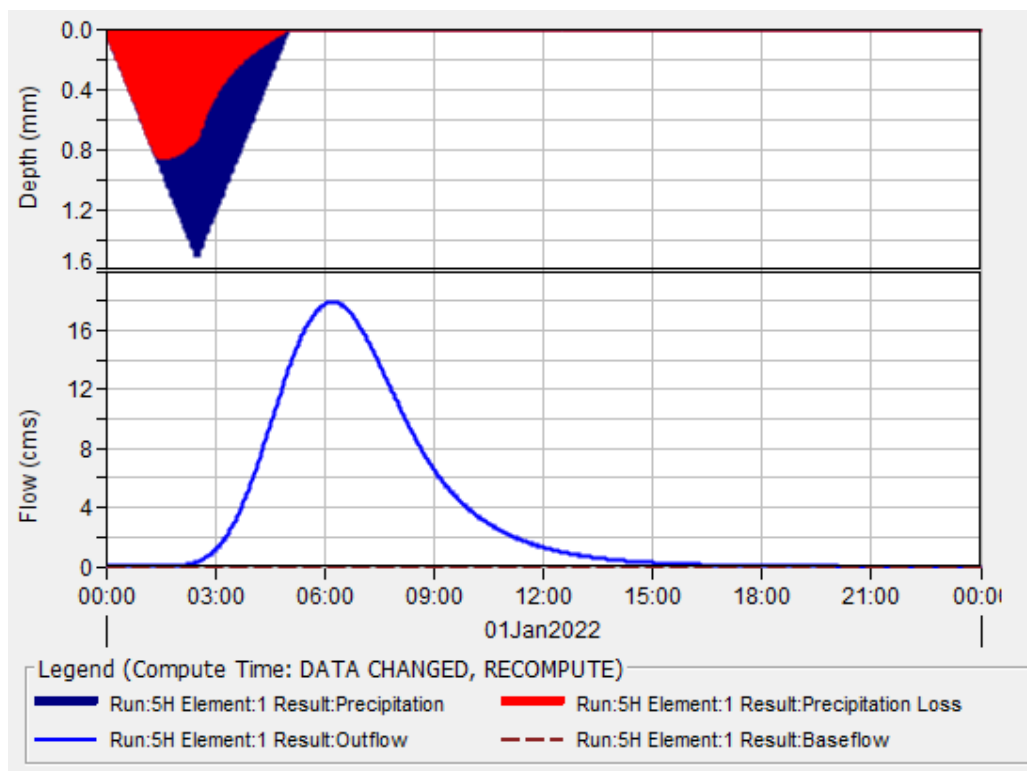


FIGURA 7 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP5H. Q MAX = 17.9 M3/S

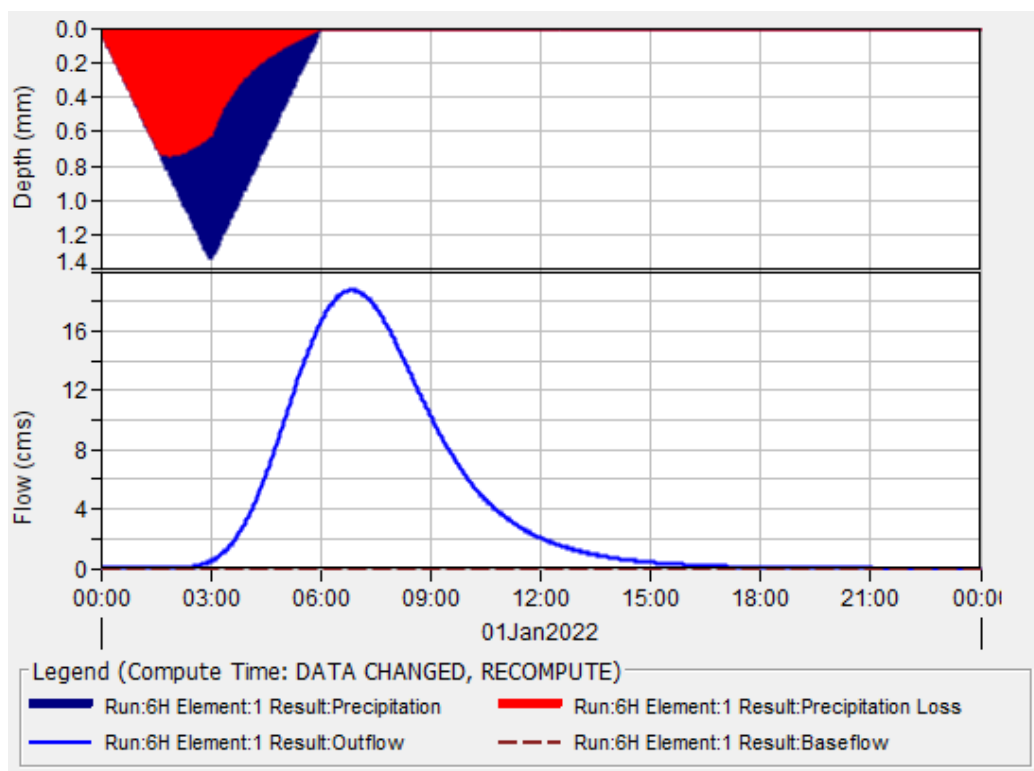


FIGURA 8 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP6H. Q MAX = 18.8 M3/S

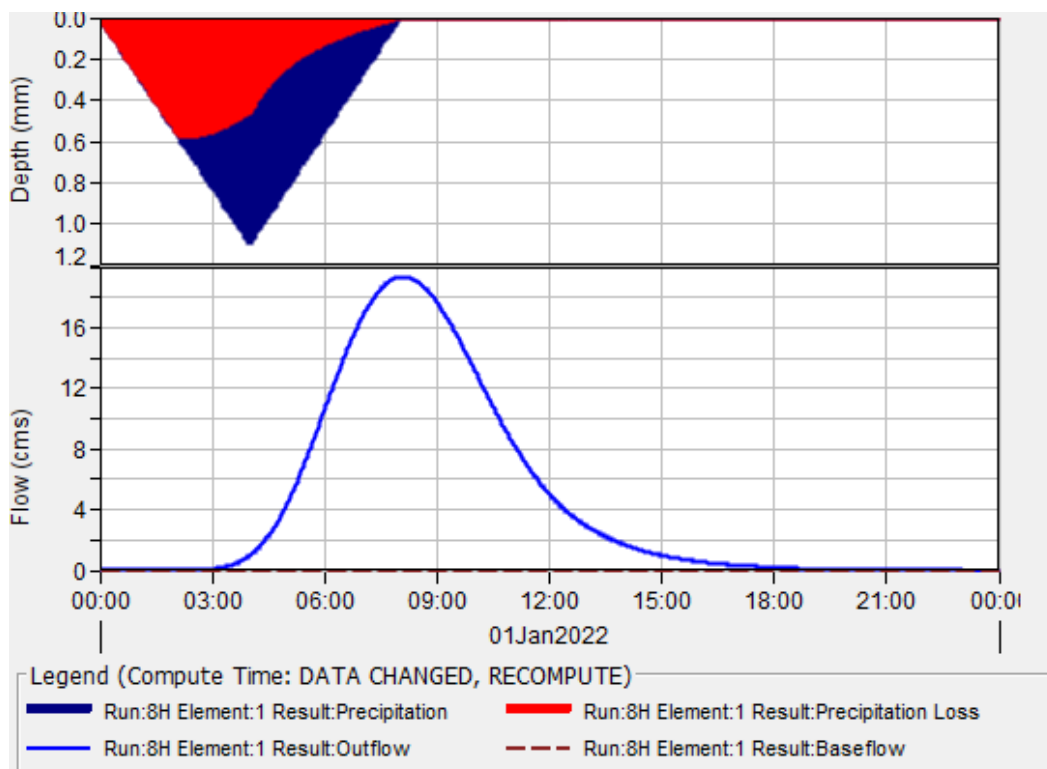


FIGURA 9 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP8H. Q MAX = 19.4 M3/S

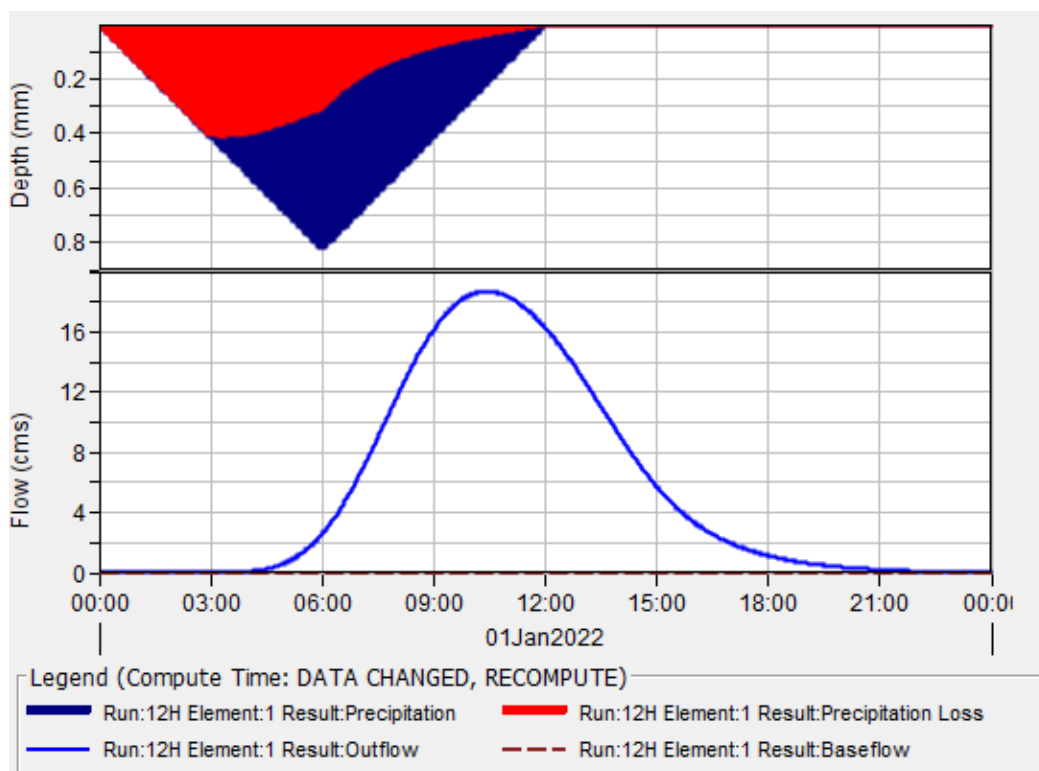


FIGURA 10 - IDROGRAMMA DI PIENA PER EVENTO T200-TP8H. Q MAX = 18.8 M3/s

L'evento più gravoso è quello caratterizzato da una durata di pioggia di 8 ore. Tale evento comporta un'onda di piena con portata al colmo pari a 19.4 m³/s che transita dalla sezione di chiusura del bacino 8 ore e 8 minuti dopo l'inizio dell'evento.

4. VERIFICA IDRAULICA

Il modello idraulico implementato ha lo scopo di verificare il regolare deflusso della portata di piena di progetto attraverso la modellazione idraulica condotta sul tratto oggetto di intervento di circa 500 m del Canale Spelta al fine di comprendere il funzionamento idraulico del tratto e dimensionare il canale compatibilmente con la portata di progetto ottenuta.

Per le seguenti verifiche ci si è avvalsi del modello idrologico idraulico HEC-RAS® (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*), prodotto e reso disponibile gratuitamente dall'USACE (*United States Army Corps of Engineering*); includendo nella modellazione idraulica l'analisi idrologica discussa precedentemente.

4.1. MODELLO IDRAULICO

4.1.1. Modello matematico a moto permanente monodimensionale

La modellistica idraulica di moto permanente consente di trasformare le portate associate agli eventi di piena, definiti nella fase di modellazione idrologica, in livelli idrometrici nelle sezioni fluviali.

La procedura di calcolo si basa sulla risoluzione, con un metodo alle differenze finite, dell'equazione di moto permanente gradualmente variato, ricavata dal bilancio dell'energia secondo lo schema monodimensionale. Tale equazione è espressa dalla seguente forma differenziale:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f$$

con:

$$H = z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

In cui:

- H è il carico totale della corrente nella sezione generica di ascissa x, misurato rispetto ad un riferimento orizzontale;
- S_f è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue;
- z è la quota del fondo alveo rispetto ad un riferimento orizzontale;
- y è la profondità della corrente misurata dal fondo dell'alveo; V è la velocità media della corrente nella sezione generica di ascissa x;
- α è il coefficiente di ragguglio delle altezze cinetiche;
- g è l'accelerazione di gravità.

Passando alle differenze finite, l'equazione del profilo liquido tra due sezioni distanti Δx diventa:

$$H_2 - H_1 = -S_{fm}\Delta x$$

In cui:

- H1 è il carico totale della corrente nella sezione iniziale;

- H_2 è il carico totale della corrente nella sezione finale;
- - S_{fm} è la perdita di carico unitaria dovuta alle resistenze continue media tra le due sezioni.

Quindi, per sostituzione, si ottiene:

$$z_1 + y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} - z_2 - y_2 - \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \frac{J_1 + J_2}{2} \Delta x = 0$$

Ovvero:

$$z_1 + y_1 + \frac{Q^2}{2gA_1^2} - z_2 - y_2 - \frac{Q^2}{2gA_2^2} + \frac{1}{2} \left(\frac{Q^2 n^2}{A_1^2 R_1^3} + \frac{Q^2 n^2}{A_2^2 R_2^3} \right) \Delta x = 0$$

Dove:

- Q è la portata;
- A_1 è l'area liquida della corrente nella sezione iniziale;
- A_2 è l'area liquida della corrente nella sezione finale;
- n è il coefficiente di scabrezza di Manning;
- R è il raggio idraulico della sezione (rapporto tra area liquida ed contorno bagnato).

I termini del bilancio energetico fra due sezioni trasversali del corso d'acqua sono schematicamente rappresentati nella seguente figura.

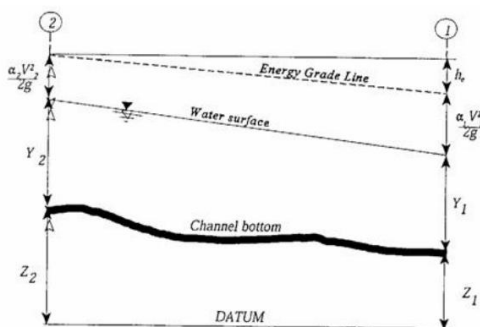


FIGURA 11 – BILANCIO ENERGETICO TRA DUE SEZIONI TRASVERSALI

Essendo le caratteristiche geometriche di una data sezione funzione della sola altezza liquida, l'equazione non lineare appena trovata permette di determinare la quota liquida nella sezione terminale di un tratto di corrente di lunghezza Δx una volta che sia nota la quota liquida in corrispondenza della sezione iniziale o viceversa (condizione al contorno). La determinazione del profilo liquido di moto permanente relativo ad un tronco fluviale richiede quindi:

- la suddivisione del tronco di interesse in una successione finita di tratti delimitati da sezioni di cui sia nota la geometria;
- l'immissione del valore di portata liquida in ingresso alla sezione di monte ed eventuali variazioni dovute a immissioni localizzate o distribuite;
- l'imposizione delle condizioni al contorno nelle sezioni estreme del tronco in esame.

A partire dunque dalle condizioni al contorno, l'applicazione reiterata dell'equazione dell'energia permette di determinare la quota del pelo liquido in ogni sezione. In particolare, il modello consente di adottare uno dei seguenti schemi di calcolo: -

- *Corrente lenta* (subcritical flow), applicabile quando la corrente è ovunque lenta, ossia con un'altezza liquida superiore alla critica in ogni sezione di calcolo; in tal caso la condizione al contorno è richiesta in corrispondenza dell'estremo di valle del tronco fluviale considerato.
- *Corrente veloce* (supercritical flow), applicabile quando la corrente è ovunque veloce, ossia in presenza di un'altezza liquida inferiore alla critica in tutte le sezioni di calcolo; in tal caso la condizione al contorno va imposta sulla sezione di monte del tratto in esame.
- *Corrente mista* (mixed flow), utilizzata quando all'interno del tronco esaminato si verificano transizioni da un tipo di corrente all'altro (es. risalto idraulico), che danno luogo ad una successione di tratti con differenti caratteristiche di moto. Tale schema richiede una condizione al contorno in corrispondenza di entrambe le sezioni estremità (monte e valle).

Va inoltre osservato che, per la soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, le perdite di carico sono dovute alla scabrezza, quindi determinate tramite l'equazione di Manning, e in corrispondenza di brusche variazioni di velocità, dovute ad irregolarità d'alveo, tramite appositi coefficienti di espansione/contrazione della vena fluida moltiplicatori della variazione di energia cinetica.

Le irregolarità idrauliche (salti di fondo, confluenze, sbarramenti, ecc.) nelle quali si viene a determinare una brusca variazione nel profilo del pelo libero della corrente, sono modellate attraverso la conservazione della spinta totale (equazione dei momenti).

In definitiva, i dati da inserire per la costruzione e la successiva implementazione della modellistica idraulica di moto permanente con il software HEC-RAS sono riassunti di seguito.

- Dati geometrici relativi alle sezioni trasversali ed alle eventuali strutture presenti (ponti, traverse, sfioratori);
- Coefficiente di scabrezza di Manning e coefficienti di contrazione/espansione, per il calcolo delle perdite energetiche, rispettivamente, distribuite e concentrate, in corrispondenza di ogni sezione fluviale.
- Portata liquida in ingresso alla sezione di monte ed eventuali contributi dovuti a immissioni laterali sulla base dei risultati della modellistica idrologica.
- Condizioni al contorno per le sezioni estreme del tronco in esame, secondo lo schema di calcolo adottato.

Le scelte possibili comprendono: -

- Known Water Surface Elevation, per cui si immette un valore noto dell'altezza d'acqua;
- Critical depth, si assume il valore di altezza critica calcolato dal programma;
- Normal depth, prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del tratto di canale;
- Rating curve, che permette la definizione per punti della scala di deflusso.

Attraverso la discretizzazione dell'equazione di moto nel dominio spaziale, la soluzione viene definita solo in corrispondenza delle sezioni trasversali in cui il corso d'acqua è stato schematizzato e non con continuità su tutto il dominio. Il grado di risoluzione conseguibile deriva quindi dalla densità delle sezioni fluviali rilevate, da integrare in fase esecutiva.

4.1.2. Caratteristiche geometriche del modello idraulico

Si è provveduto a definire, per mezzo dell'apposita componente del programma, la schematizzazione del tronco (elemento *Reach*) del Canale Spelta che si è scelto di considerare. La geometria di calcolo è stata implementata allo stato di fatto, sulla base di un rilievo del reticolo idrografico a cura dell'ente gestore che necessiterà di essere implementato con maggiori sezioni in una fase di progettazione esecutiva.

La modellazione idraulica ha riguardato il tratto di 500 m di Canale Spelta oggetto di intervento, considerando le sezioni appena a monte e a valle di tale tratto, al fine di una maggior completezza di analisi. In particolare, è stato considerato, tramite semplificazione vista la mancanza di informazioni, il salto idraulico a monte dovuto alla presenza di un Mulino ormai in disuso.

Si è tracciato un *Reach* di circa 1 km, a partire dal tratto rivestito appena a monte del Mulino fino a qualche decina di metri a valle dell'attraversamento che segna la sezione di chiusura del tratto oggetto di intervento, come rappresentato in FIGURA 12.

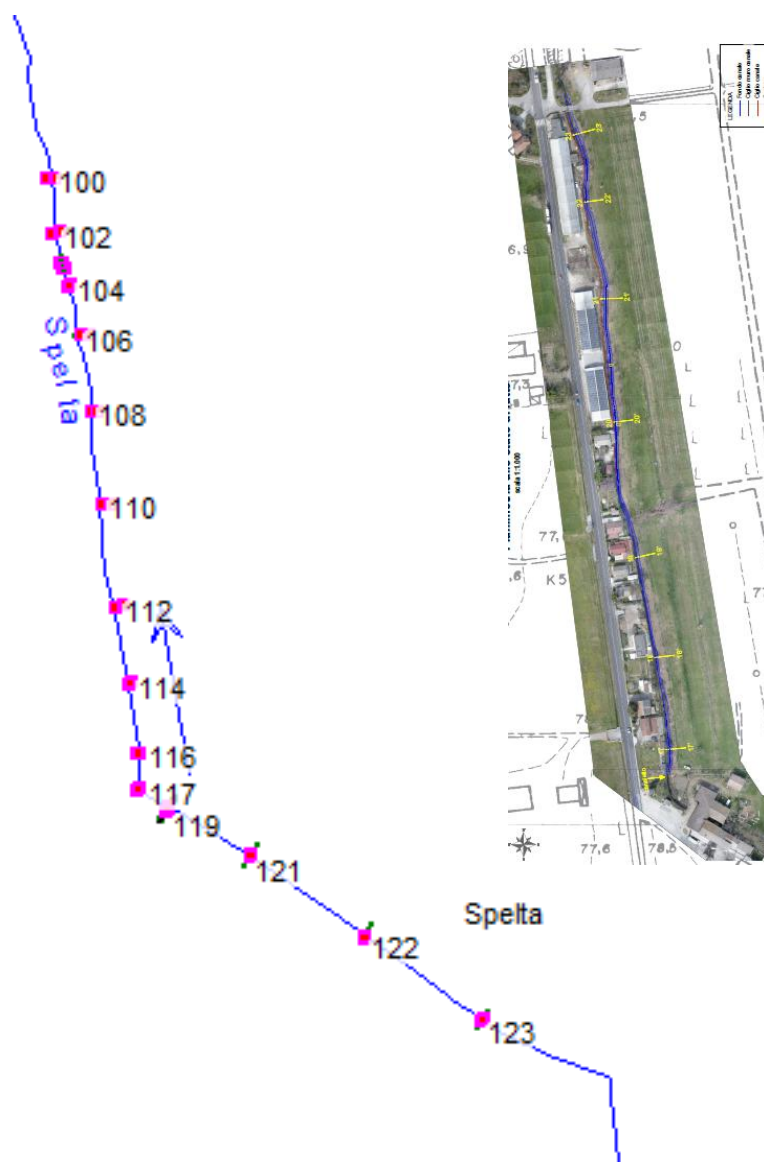


FIGURA 12 – MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO

Lo scopo è quello di armonizzare il funzionamento dell'intero sistema e permettere di far defluire il transito di una portata di piena con Tempo di Ritorno 200 anni.

Su questo tratto sono state battute, durante i rilievi preliminari, n°7sezioni trasversali. Queste sono state poi inserite nel modello geometrico in fase di costruzione, ed andranno implementate in fase di progettazione esecutiva.

L'unico attraversamento stradale presente, in prossimità della sezione di chiusura, è stato rappresentato in HEC-RAS mediante un elemento di tipo *Bridge/Culvert*.

Il salto idraulico del Mulino, nel tratto iniziale, è stato semplificato e rappresentato mediante un elemento *Inline Structure*.

L'intera geometria configurata, assegnata al modello, rappresenta il più fedelmente possibile, con i dati a disposizione, le caratteristiche "di Fatto" e "Di Progetto" sia per quanto riguarda gli attraversamenti, sia per quanto riguarda le sezioni trasversali.

4.1.3. Parametri di scabrezza

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati avvalendosi delle conoscenze assorbite nel corso dei sopralluoghi effettuati. Nello specifico sono state assegnate:

- **$n=0.030$** per i fondi e per le sponde laterali, allo stato di fatto, in quanto alvei in terra a ricoprimento erboso e/o con presenza sporadica di elementi arbustivi;
- **$n=0.022$** per i rivestimenti in cls esistenti;
- **$n=0.012$** per i rivestimenti in cls di progetto.

4.1.4. Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno impiegate nelle analisi sono:

- Condizioni al contorno di monte: in testa al corso d'acqua è stato assegnato l'idrogramma di piena determinato dall'analisi idrologica;
- Condizioni al contorno di valle: avendo scelto un'analisi in corrente lenta, è stata impostata una *normal depth* pari alla pendenza del canale.

4.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE NUMERICA

4.2.1. Stato di fatto

La simulazione nello stato attuale ha permesso di evidenziare, in primo luogo, i punti critici lungo l'asta del Canale Spelta oggetto di studio, e in un secondo momento di definire gli interventi di adeguamento della sezione idraulica del canale stesso e il dimensionamento dello scatolare in prossimità dell'attraversamento a valle, con l'obiettivo di far defluire in sicurezza la portata di piena duecentennale.

A seguire vengono riportati, sotto forma di grafico, i risultati ottenuti.

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE DELLA SPELTA
AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA – 1° LOTTO

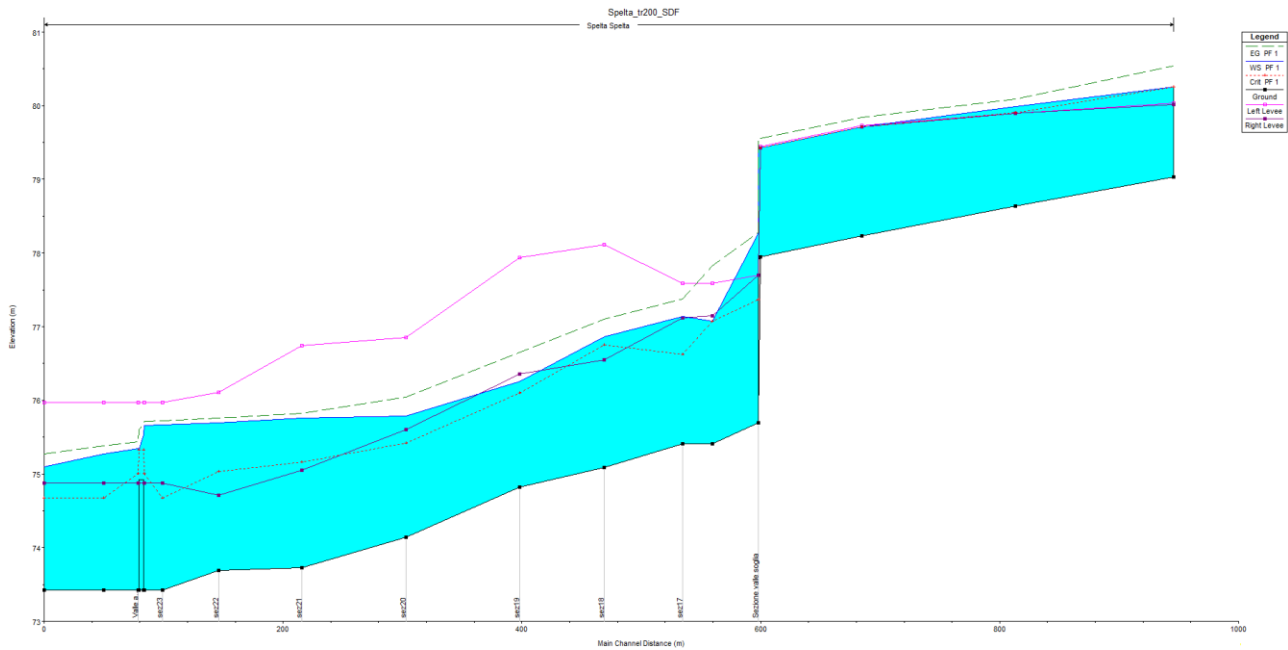


FIGURA 13 – PROFILO DI DEFLUSSO DEL PICCO DI PIENA DELL'EVENTO TR200 TP8H CON GEOMETRIA ALLO STATO DI FATTO

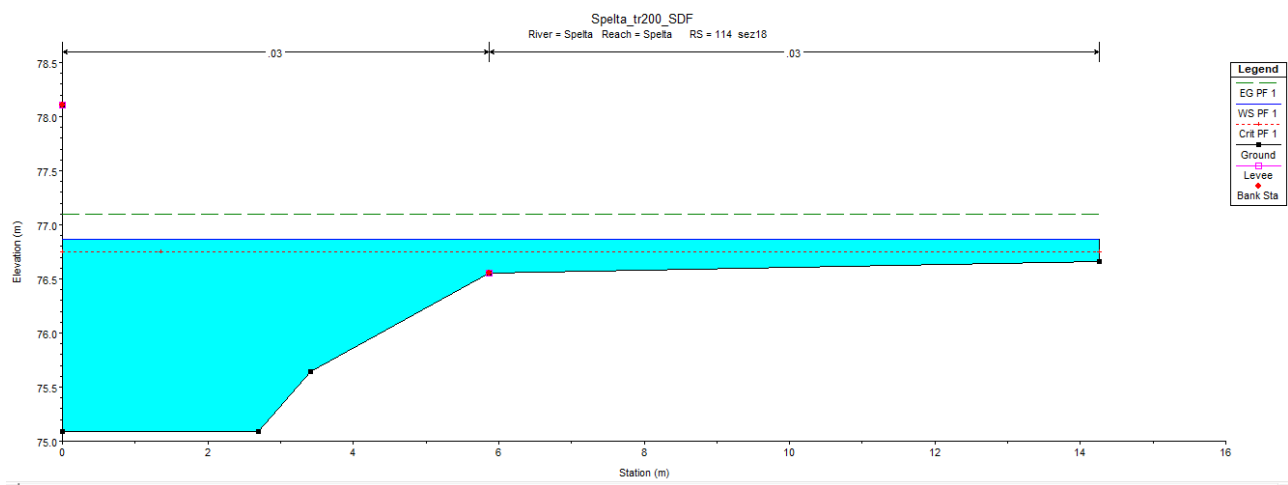


FIGURA 14 – SEZIONE TRASVERSALE 18, A MONTE DEL TRATTO OGGETTO DI INTERVENTO

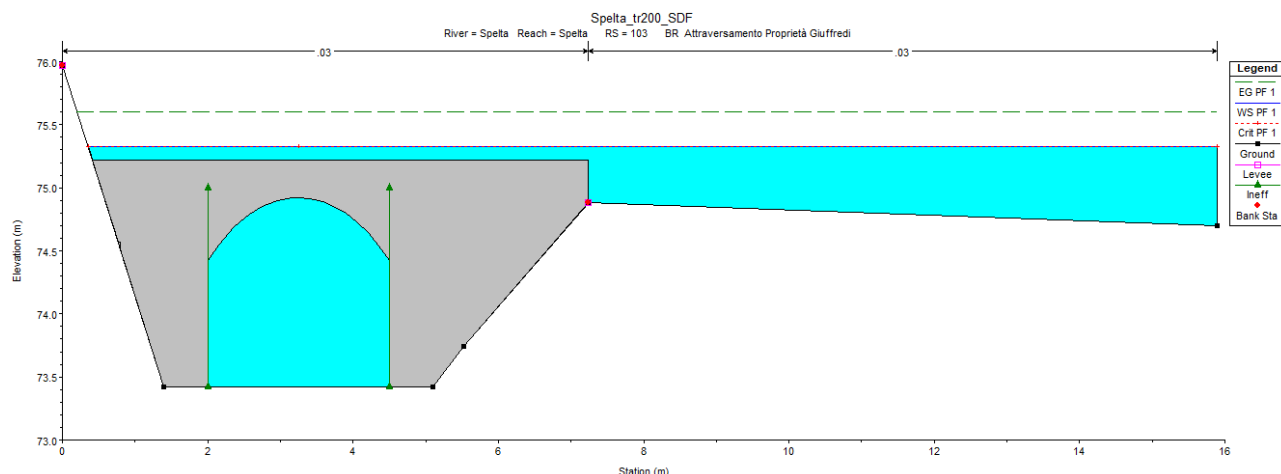


FIGURA 15 – SEZIONE TRASVERSALE DELL'ATTRAVERSAMENTO A VALLE DEL TRATTO DI INTERVENTO

4.2.2. Stato di progetto

Nel presente paragrafo vengono riportati i risultati della simulazione con la geometria di progetto. Come si evince dalla FIGURA 16, una situazione di instabilità persiste a monte del Mulino della Resga, tratto non oggetto del nostro intervento.

La scelta progettuale è stata quella di imporre una sezione trasversale standardizzata con larghezza al fondo pari a 3 metri e sponda destra alta 2.25 metri. Un approccio differente è stato adottato per definire l'altezza della sponda sinistra, che varia da un minimo di 3.00 metri ad un massimo di 3.50 metri; tale scelta è stata presa considerando la situazione generale di degrado di tale sponda, al fine che questa funga anche da opera contenitiva in grado di sostenere il terreno e le proprietà private adiacenti.

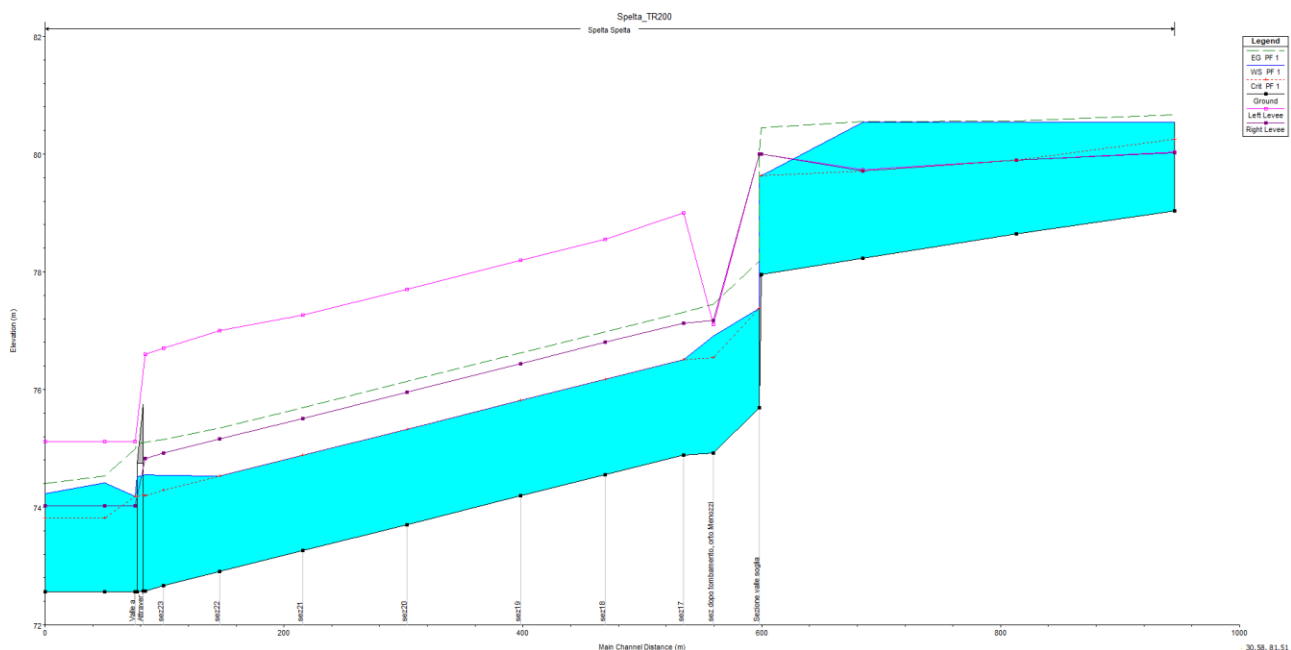


FIGURA 16 – PROFILO DI DEFLUSSO DEL PICCO DI PIENA DELL'EVENTO TR200 TP6H CON GEOMETRIA ALLO STATO DI PROGETTO

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE DELLA SPELTA
AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA – 1° LOTTO

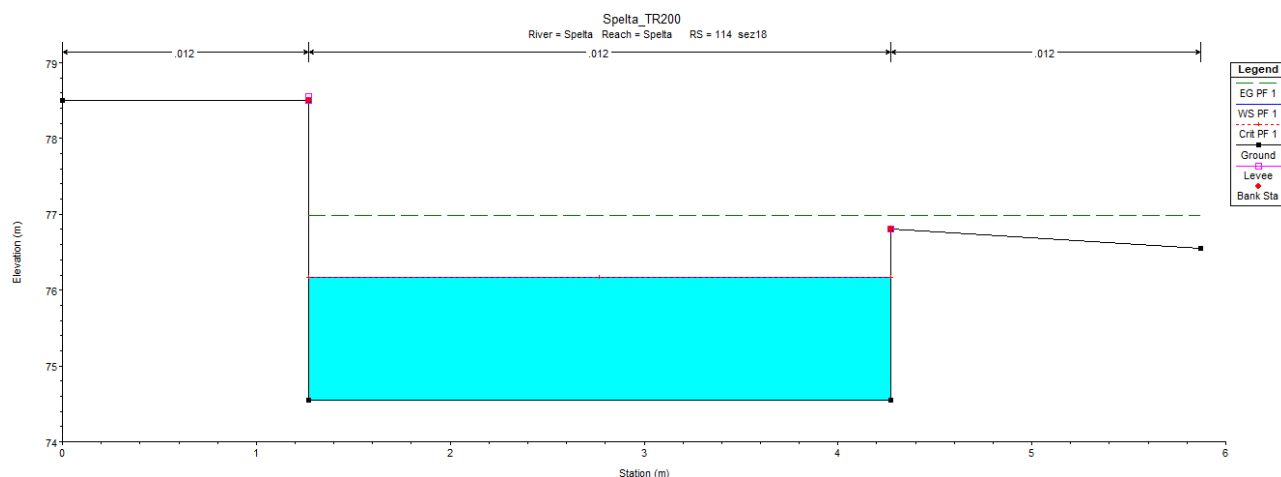


FIGURA 17 - SEZIONE TRASVERSALE 18, A MONTE DEL TRATTO OGGETTO DI INTERVENTO

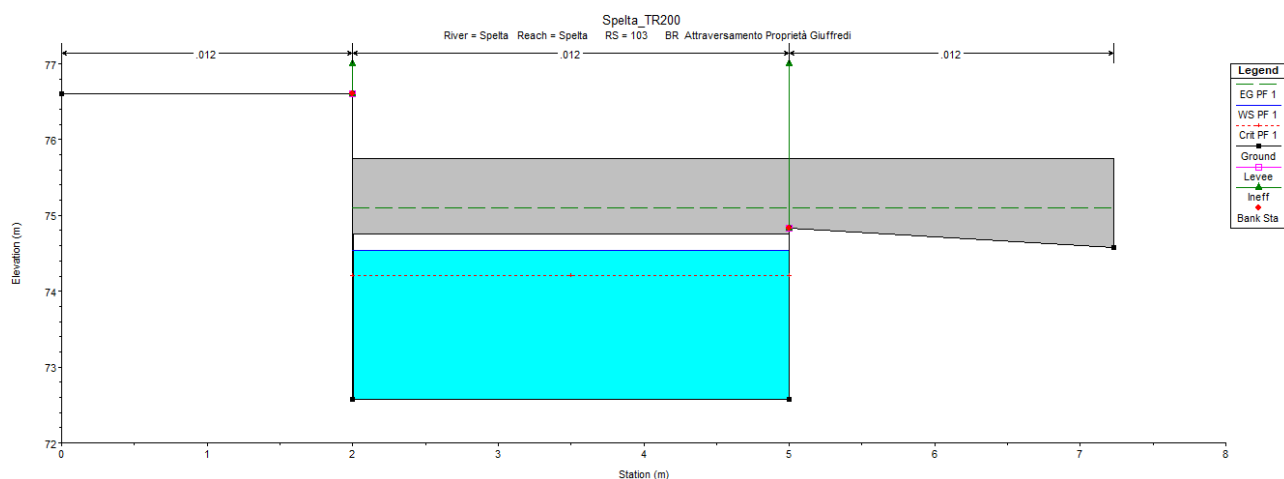


FIGURA 18 - SEZIONE TRASVERSALE DELL'ATTRAVERSAMENTO A VALLE DEL TRATTO DI INTERVENTO

A seguire si riportano i risultati ottenuti, in forma tabellare, dalla simulazione idraulica per ogni sezione di progetto (TABELLA 3).

RIQUALIFICAZIONE E MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CANALE DELLA SPELTA
AI FINI DEL RISPARMIO IDRICO E DELLA MESSA IN SICUREZZA – 1° LOTTO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Spelta	123	PF 1	19.40	79.03	80.54	80.25	80.66	0.001587	1.71	13.56	22.43	0.45
Spelta	122	PF 1	19.40	78.64	80.54	79.90	80.57	0.000245	0.73	27.76	23.65	0.17
Spelta	121	PF 1	19.40	78.23	80.54	79.71	80.55	0.000082	0.46	42.03	27.83	0.10
Spelta	119	PF 1	19.40	77.95	79.63	79.63	80.44	0.010473	3.99	4.86	3.01	1.00
Spelta	118.5		Inl Struct									
Spelta	118	PF 1	19.40	75.69	77.37	77.37	78.18	0.010443	3.98	4.87	3.01	1.00
Spelta	117	PF 1	19.40	74.92	76.91	76.54	77.45	0.006337	3.26	5.95	3.00	0.74
Spelta	116	PF 1	19.40	74.88	76.50	76.50	77.31	0.003186	3.98	4.87	3.00	1.00
Spelta	114	PF 1	19.40	74.55	76.17	76.17	76.98	0.003190	3.99	4.87	3.00	1.00
Spelta	112	PF 1	19.40	74.19	75.81	75.81	76.62	0.003192	3.99	4.87	3.00	1.00
Spelta	110	PF 1	19.40	73.70	75.32	75.32	76.13	0.003190	3.99	4.87	3.00	1.00
Spelta	108	PF 1	19.40	73.26	74.88	74.88	75.69	0.003190	3.99	4.87	3.00	1.00
Spelta	106	PF 1	19.40	72.91	74.53	74.53	75.34	0.003187	3.98	4.87	3.00	1.00
Spelta	104	PF 1	19.40	72.67	74.54	74.29	75.15	0.002209	3.46	5.60	3.00	0.81
Spelta	103.5	PF 1	19.40	72.58	74.55	74.20	75.10	0.001927	3.29	5.90	3.00	0.75
Spelta	103		Bridge									
Spelta	102.5	PF 1	19.40	72.56	74.18	74.18	74.99	0.007527	3.99	4.86	15.39	1.00
Spelta	102	PF 1	19.40	72.56	74.42	73.81	74.52	0.001712	1.57	14.39	15.52	0.41
Spelta	100	PF 1	19.40	72.56	74.23	73.81	74.41	0.003001	1.93	11.57	15.42	0.54

TABELLA 3 – RISULTATI NUMERICI DEL MODELLO IDRAULICO CON GEOMETRIA DI PROGETTO

5. CONCLUSIONI

Tutte le verifiche condotte sono da considerarsi soddisfatte nel rispetto di quanto prescritto dalle Normative prese come riferimento, in particolare NTC 2018 e Regolamento di Polizia Idraulica redatto e adottato dal Consorzio gestore.

Inoltre, i risultati ottenuti si sono rivelati attendibili sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, in linea con le grandezze idrauliche tipiche di bacini simili. Tuttavia, si sottolinea che, per condurre verifiche complete, sia idrologiche sia idrauliche, sullo stato di fatto, è necessario arricchire i modelli con ulteriori dettagli geometrici, derivanti da un rilievo più approfondito.

Dalle simulazioni condotte risulta una portata di picco critica in arrivo da monte per TR200 pari a 19.4 m³/s.

Lo scenario di calcolo dello stato di fatto ha permesso di definire gli interventi di adeguamento della sezione idraulica del canale Spelta, con l'obiettivo di far defluire in sicurezza la portata di piena duecentennale.

Come si evince dai profili di deflusso del picco di piena è possibile osservare un abbassamento dei livelli idrici nella simulazione di progetto rispetto alla simulazione dello stato di fatto. La portata di progetto, dalle simulazioni effettuate, risulta confinata in alveo.

Inoltre, per riqualificare l'area in cui ricade l'intervento in oggetto, che su sponda sinistra presenta una generalizzata condizione di degrado, è previsto l'innalzamento di tale sponda ad un'altezza utile a garantire sostegno eliminando, quindi, le problematiche presenti.

Si ritiene tuttavia di fondamentale importanza riportare alcune considerazioni:

- Alla luce della collocazione nel contesto urbano e territoriale, si ritiene indispensabile prendere le dovute precauzioni per prevenire fenomeni erosivi di qualsiasi sorta nell'intorno delle opere in progetto, soprattutto a favore del mantenimento delle regolari sezioni di deflusso.
- Gli eventi di piena più gravosi si ritiene possano verificarsi nei periodi autunnali-primaverili. Se a questo si aggiunge l'elevata presenza di sedimenti e residui vegetali caratteristici delle suddette stagioni, risulta di immediata comprensione la prescrizione di provvedere alla costante manutenzione e pulizia dell'intero reticolo di canali e, per quanto possibile, alla corretta gestione del reticolo minore afferente.
- Dovranno essere fornite le dovute garanzie in merito al mantenimento in condizioni di massima funzionalità e alla pulizia periodica dei canali con rimozione di tutto il materiale di deposito di origine sedimentaria o arborea, alla regolarizzazione dell'alveo in prossimità dei tratti tombati, con rimozione di qualsiasi tipologia di ostruzione al fine del mantenimento della sezione di regolare deflusso.