

**INTERVENTI PREVISTI DAL PROGRAMMA DI ATTUAZIONE DEL PNRR
MISSIONE 2, COMPONENTE 4, INVESTIMENTO 3.3 “RINATURAZIONE DELL’AREA DEL PO”
FINANZIATO DALL’UNIONE EUROPEA – NEXTGENERATIONEU**

PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICO ED ECONOMICA

**INTERVENTO N. 8 - KM 222 – P
BASSIGNANA (AL)**

CODICE ELABORATO:

PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A

TITOLO ELABORATO:

Relazione idraulica

SCALA	COMMESSA	WBS			CODICE		REVISIONE
-	16299	Fase	Scheda	Opera	Argomento	Tipo. Elab.	Rev.
		PF	008	IDR	ID	RT	A

PROGETTAZIONE

Raggruppamento temporaneo di professionisti

Mandataria



Mandanti



STAZIONE APPALTANTE

**Agenzia Interregionale
per il Fiume Po**
 Strada G. Garibaldi n.75
 43121 Parma (PR)

**Responsabile Unico
del Procedimento**
 Ing. Mirella Vergnani

Responsabile dell'integrazione delle prestazioni specialistiche

Ing. Stefano Luca Possati

Coordinatore della Sicurezza in fase di progettazione

Ing. Andrea Piacenti

**Responsabile
dell'elaborato**

Ing. Rudi Bertagnolli – ingena
 Ing. Federico De Piccoli – ingena

A	07/08/2023	Prima emissione	FC	FDP	S.L.Possati
REV	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P**BASSIGNANA (AL)***Codice elaborato:* **PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A***Titolo elaborato:* **Relazione idraulica**

pag. 1 / 38

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P	
BASSIGNANA (AL)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione idraulica

pag. 2 / 38

Sommario

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO	5
3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO.....	7
3.1	Costruzione del modello	7
3.2	Calibrazione del modello.....	9
3.3	Condizioni al contorno per la modellazione a fondo fisso.....	11
4	ANALISI DELLO STATO DI FATTO	12
5	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	17
5.1	Scelte progettuali	17
5.2	Interventi previsti.....	18
5.2.1	Adeguamento del pennello	19
5.2.2	Canale	20
5.2.3	Argine	21
6	ANALISI DELLO STATO DI PROGETTO	23
7	MODIFICHE IDRAULICHE A SEGUITO DEGLI INTERVENTI	26
8	ANALISI MORFOLOGICA	30
8.1	Risultati della modellazione a fondo mobile	33

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P**BASSIGNANA (AL)***Codice elaborato:* **PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A***Titolo elaborato:* **Relazione idraulica**pag. **3** / 38

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P	
BASSIGNANA (AL)	
<i>Codice elaborato:</i>	PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A
<i>Titolo elaborato:</i>	Relazione idraulica

pag. 4 / 38

1 PREMESSA

La presente relazione fa riferimento all'intervento previsto all'interno degli interventi finanziati con il programma di attuazione della Misura 2, la Componente 4 – Tutela del territorio e della risorsa idrica – ha l'obiettivo di affrontare una serie di carenze che si protraggono da tempo in materia di gestione delle risorse idriche e dei rischi idrogeologici, nonché di adottare una serie di misure volte a preservare la biodiversità.

L'intervento è stato concettualmente definito nella *Scheda di intervento n°8 - INTERVENTO km 222* ubicato nel comune Bassignana (AL) e prevede ridurre l'artificialità dell'alveo attraverso l'adeguamento di un'opera di difesa spondale posta in destra idraulica, progr. km 221. La lunghezza complessiva del tratto di pennello su cui si prevede di intervenire è pari a circa 300 m.

L'obiettivo specifico dell'intervento è l'incremento della funzionalità ecologica attraverso la riqualificazione di aree umide, l'ampliamento delle superfici forestali e il contrasto alla diffusione delle specie vegetazionali alloctone, in continuità con interventi già realizzati o in via di realizzazione nell'ambito del programma per la realizzazione della "Foresta condivisa del Po piemontese".

2 INQUADRAMENTO

L'intervento relativo alla scheda 8 si colloca nel territorio del Comune di Bassignana (AL), subito a monte della confluenza Po – Tanaro (Figura 1). In quest'area il corso del Po risulta unicursale in relazione alla pregressa regimazione attuata.



Figura 1 - Inquadramento dell'area di intervento della scheda 8. In rosse è evidenziata l'area di intervento secondo Piano d'Azione.

La relazione idraulica oggetto del presente elaborato riguarda l'area situata al confine tra Regione Piemonte e Regione Lombardia (rappresentata in Figura 2), ove sono situati gli interventi di natura idraulica previsti per questa scheda. All'interno di quest'area è infatti presente una lanca che risulta attualmente chiusa dal pennello presente in destra idraulica presso la progressiva chilometrica 221 del fiume. La presenza di tale opera costringe il Po, durante i periodi di magra, ad aggirare l'area seguendo l'alveo di magra, che, come visibile in Figura 2, in questa zona forma un'ansa che si sviluppa verso settentrione.

Gli interventi previsti dal presente progetto hanno quindi come obiettivo quello di diminuire l'artificialità dell'alveo tramite l'abbassamento della quota di sommità del pennello presente, di modo da aumentare la frequenza con cui l'acqua allaga la lanca e le aree golenali circostanti.



Figura 2 – L'area di intervento della Linea M, situata nel territorio comunale di Bassignana (AL). In rosso è localizzato il pennello oggetto di intervento.

3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO

Per la modellazione bidimensionale a fondo fisso e fondo mobile è stato utilizzato il software HEC-RAS sviluppato dall' Hydrologic Engineering Center for the US Army Corps of Engineers (HEC), versione 6.4^[1]

3.1 Costruzione del modello

Per l'analisi è stato definito un dominio di calcolo di circa 34.5 km² ed un'estensione, misurata lungo l'alveo di Po di circa 15.6 km, da Valenza (progressiva 214) fino alla Isola Sant'Antonio (progressiva 230.3). Il tratto in questione, a valle dell'area di progetto, considera l'apporto del fiume Tanaro.

Il dominio è costituito da 12'540 elementi poligonali della dimensione massima di 25x25 m per le zone interne all'alveo, di 100x100 m per le zone golenali non interessate al progetto e di 50x50 m in corrispondenza delle discontinuità di quota (pennelli longitudinali, trasversali e opere) per descrivere con maggior dettaglio la morfologia del terreno. La mesh è stata inoltre raffinata in corrispondenza degli interventi progettuali previsti. In figura 3 si riporta il dominio di calcolo e la mesh utilizzata per la modellazione idraulica. In figura 4 e figura 5 si riporta il dettaglio della suddetta mesh in corrispondenza degli interventi di progetto in relazione all'ortofoto e al modello digitale del terreno.

La morfologia del terreno è stata ricavata dal DTM 2021-2022, la parte non rilevata in quanto sommersa è stata definita considerando la larghezza dell'alveo sommerso che si evince dai rilievi Lidar 2021-2022 e la batimetria, adattata a questa larghezza, che descritta dalle sezioni rilevate nel 2004. Per quanto riguarda il Tanaro sono state utilizzate le sezioni rilevate nel 2001. L'interpolazione è stata effettuata in ambiente GIS tramite il software XS Interpolator^[2].



figura 3– Dominio e mesh di calcolo su ortofoto.

¹ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

² <https://shop.m3eweb.com/home/32-xs-interpolator.html>



figura 4: Particolare della mesh di calcolo nella lanca su ortofoto.

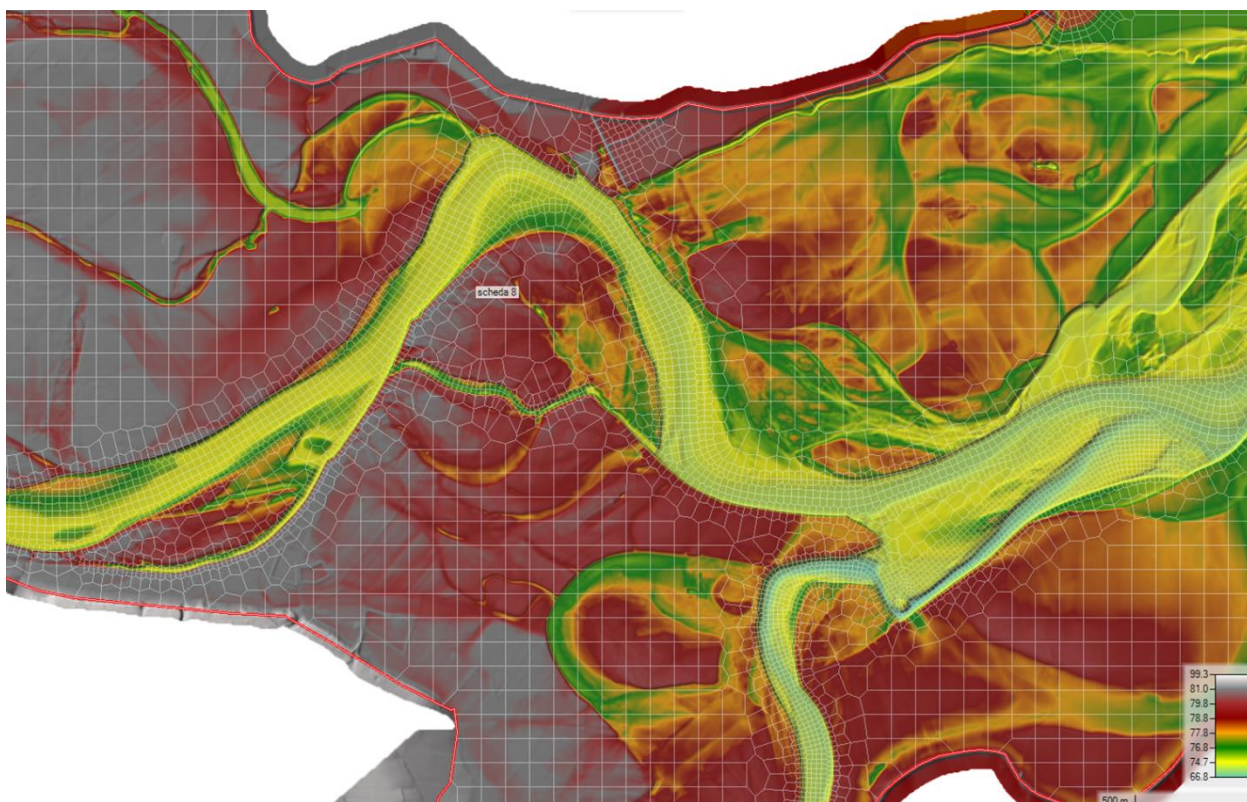


figura 5: Particolare della mesh di calcolo nella lanca su DTM.

3.2 Calibrazione del modello

La taratura del modello è stata eseguita sulla base dei modelli 1D della catena HEC del modello di previsione in tempo reale FEWS di competenza. In particolare per il tratto in questione è stato considerato il tratto Valenza – Isola Sant'Antonio calibrando sui livelli di Valenza sulla base della piena del novembre 2016 (figura 6). Per quanto riguarda il Tanaro si sono utilizzati i dati a Montecastello.

Come condizioni al contorno di valle è stata utilizzata la scala della portate estratta dal modello 1D, riporta in figura 7: Scala di deflusso definita come condizione al contorno di valle.

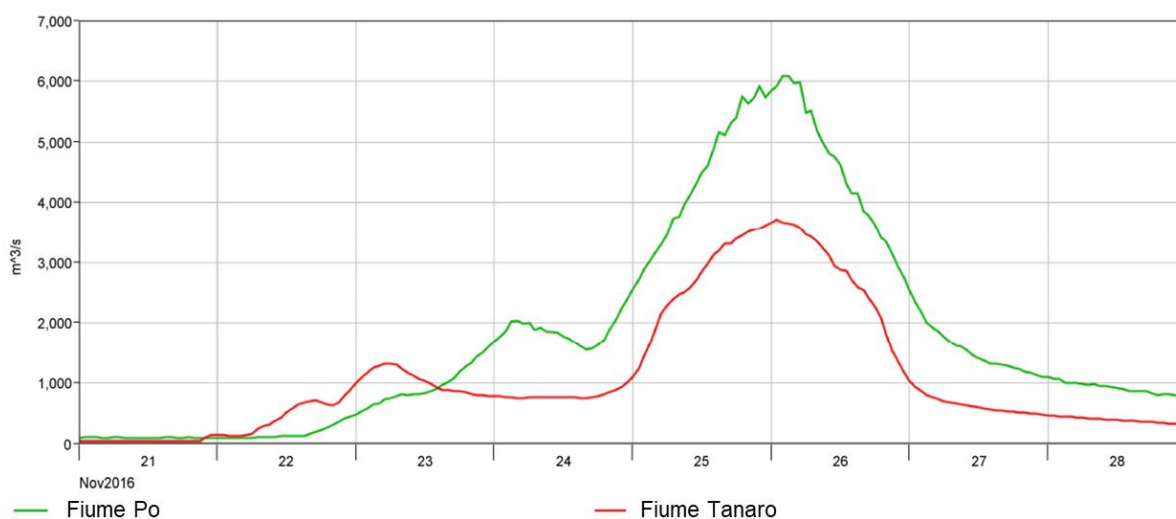


figura 6: Idrogramma di piena novembre 2016 utilizzato per la calibrazione e la modellazione a fondo fisso.

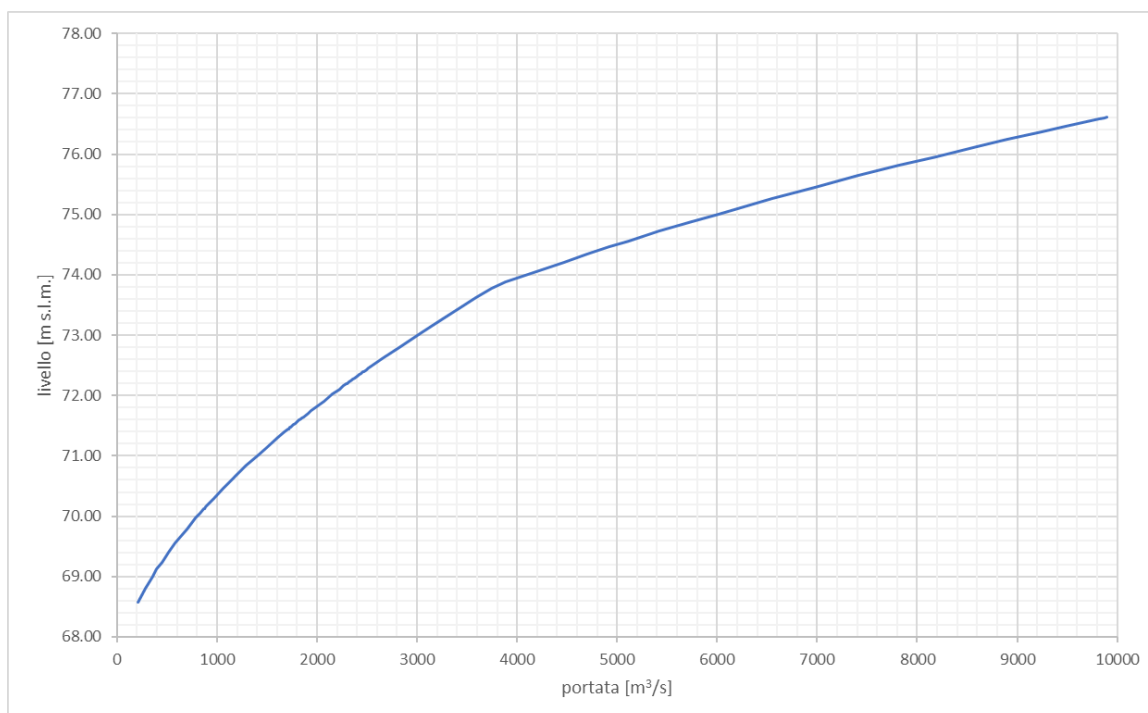


figura 7: Scala di deflusso definita come condizione al contorno di valle.

In figura 6 si riporta il confronto tra la quota della superficie libera estratta dal modello 1D nella sezione di ingresso per l'idrogramma considerato e i livelli di superficie libera risultanti dal modello.

I livelli calcolati a valenza hanno una buona corrispondenza con quelli risultanti dal modello 1D. Il picco è sottostimato di circa 50 cm, tuttavia la fase di crescita e di decrescita sono ben descritte. Le due curve si scostano maggiormente nella fase iniziale, questa differenza è imputabile al fatto che nel modello 1D, da cui sono stati estratti i livelli per la taratura, può essere assegnato un valori variabile di scabrezza al variare delle portate.

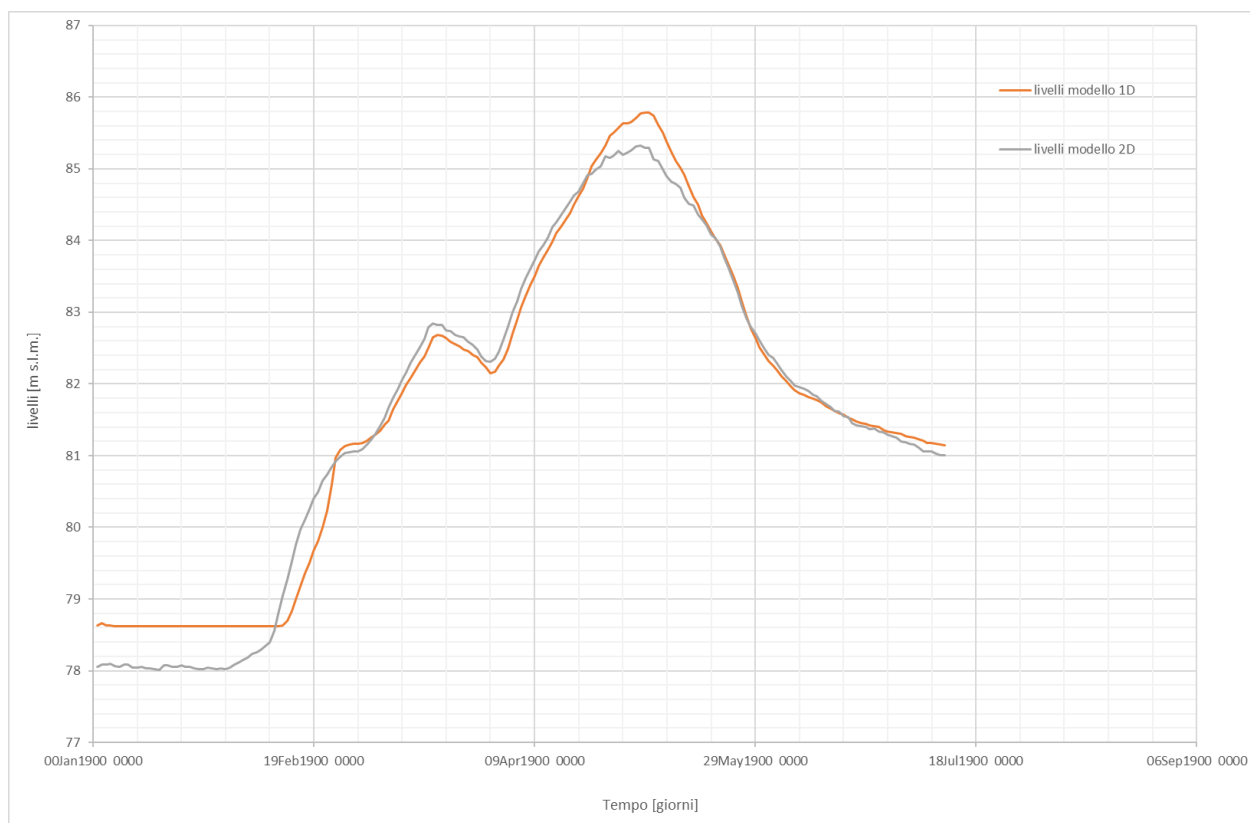


figura 8: Confronto tra i livelli del modello 1D e del modello 2D per la calibrazione.

I risultati presentati sono stati ottenuti sulla base delle scabrezze definite della classificazione degli usi del suolo Corine Land Cover³, riportati in figura 9 e in tabella 1.

Il parametro più rilevante per la taratura è stata la scabrezza in alveo, che ha costituito il vero parametro di calibrazione. La procedura di calibrazione ha portato a definire per l'alveo un valore di Manning pari a $0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

³ <https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/suolo-e-territorio/suolo/copertura-del-suolo/corine-land-cover>

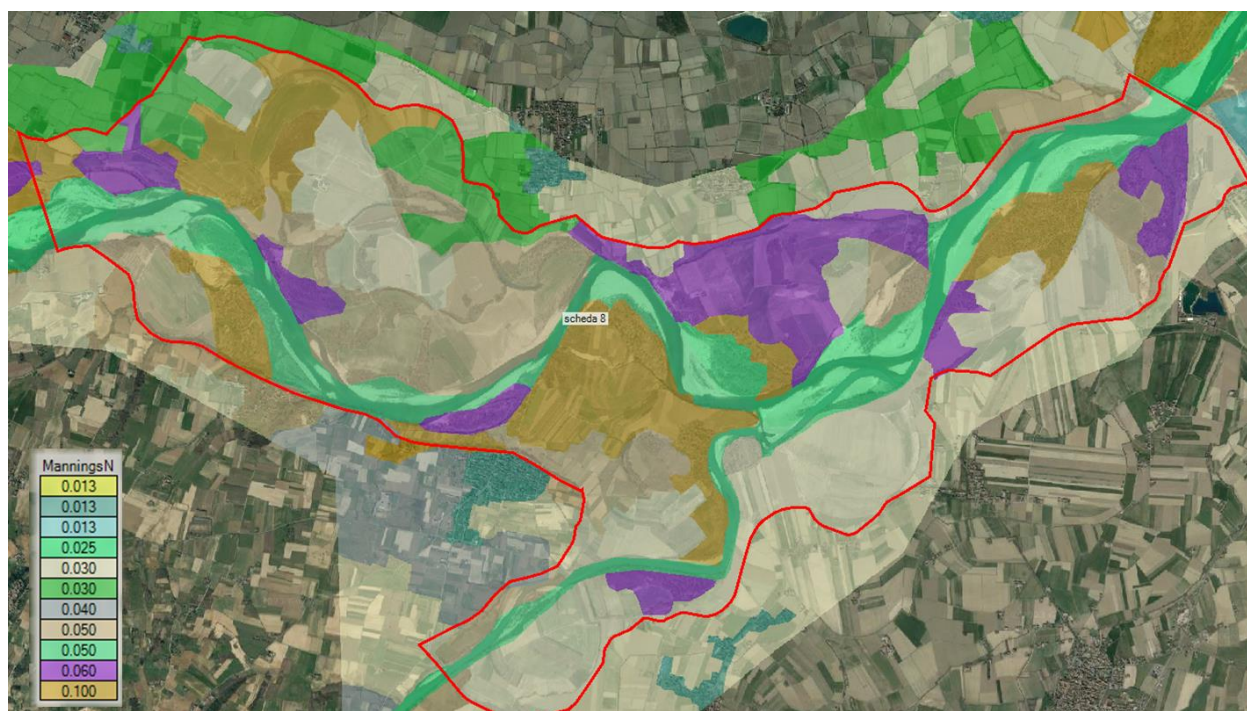


figura 9: Suddivisione del dominio di calcolo in aree a equal scabrezza.

tabella 1 – Scabrezze, secondo la notazione di Manning, utilizzate nel modello

Codice Corine	Descrizione	Coefficiente scabrezza [s/m ^{1/3}]
111	Edifici - rado	0.013
112	Edifici - denso	0.013
131	Aree estrattive	0.013
141	Aree verdi	0.025
211	Seminativi	0.030
231	Prati	0.035
243	Colture	0.050
311	Boschi	0.100
324	Vegetazione	0.060
331	Dune	0.025
411	Paludi	0.040
512	Acqua	0.050
511	Alveo	0.035

3.3 Condizioni al contorno per la modellazione a fondo fisso

La piena del novembre del 2016, riportata in figura 6, è stata utilizzata anche nell'ambito delle modellazioni a fondo fisso per la verifica degli interventi progettuali.

Come condizione di valle è stata imposta la scala delle portate riportata in figura 9.

4 ANALISI DELLO STATO DI FATTO

Allo stato di fatto, per portate circa inferiori ai 670 m³/s, il deflusso del fiume Po nell'area di studio risulta condizionato dalla presenza del pennello idraulico presente in destra idraulica in corrispondenza della progressiva chilometrica 221 del fiume Po. Sotto tali portate, infatti, il deflusso dell'acqua avviene interamente all'interno dell'alveo di magra, e il pennello agisce da opera arginale, impedendo al fiume di espandersi in direzione della lanca presente in destra idraulica. Come si vede dalla Figura 10, nella quale è riportata la curva di durata relativa all'idrometro di Valenza (idrometro di riferimento per la scheda 8), tale valore di portata risulta mediamente superato circa 34 giorni all'anno.

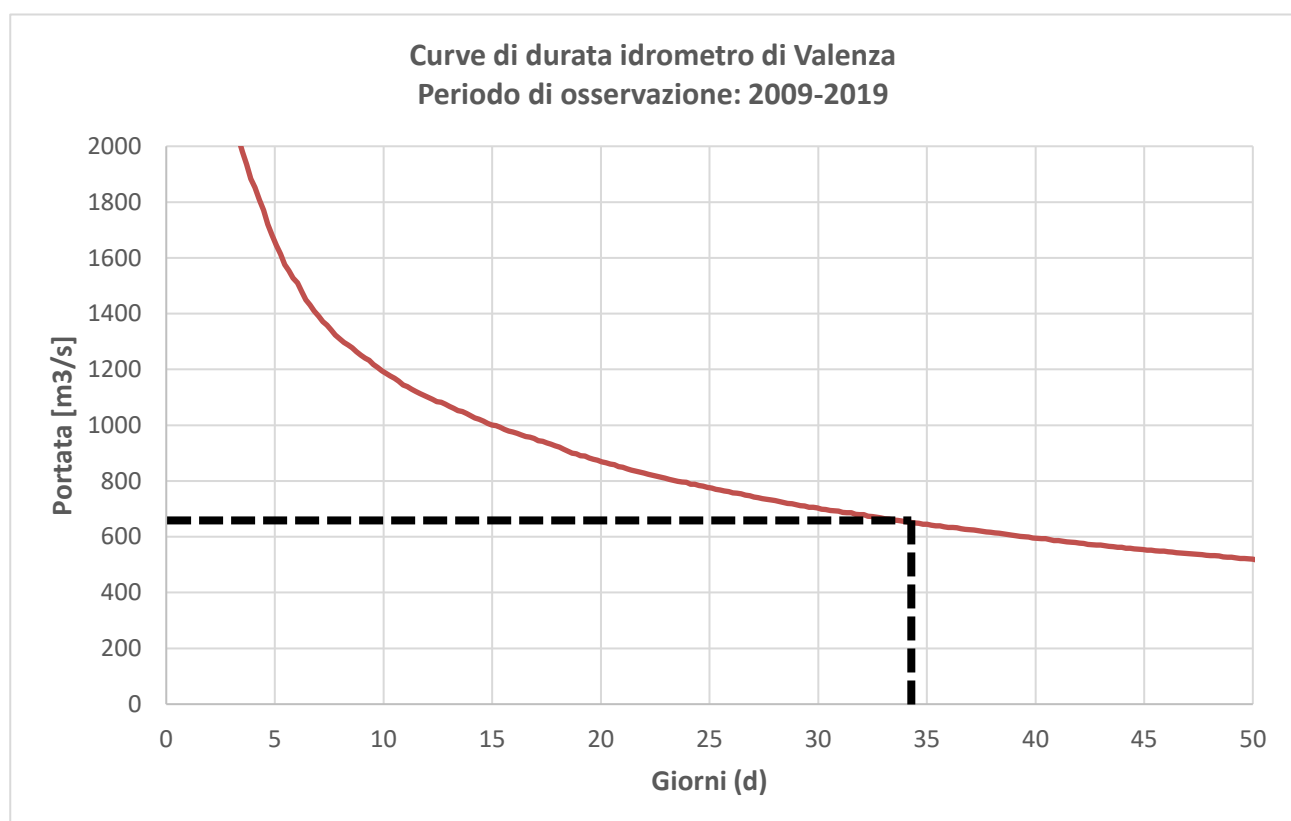


Figura 10 - Curva di durata relativa all'idrometro di Valenza per il periodo di osservazione 2009-2019. In tratteggio è evidenziata la attuale portata di sormonto del pennello.

Di seguito sono riportati i risultati forniti dal modello idraulico per un intervallo di portate che va dai 670 m³/s (valore di sormonto attuale del pennello) ai 2800 m³/s, di modo da analizzare il comportamento del Po a diverse portate.

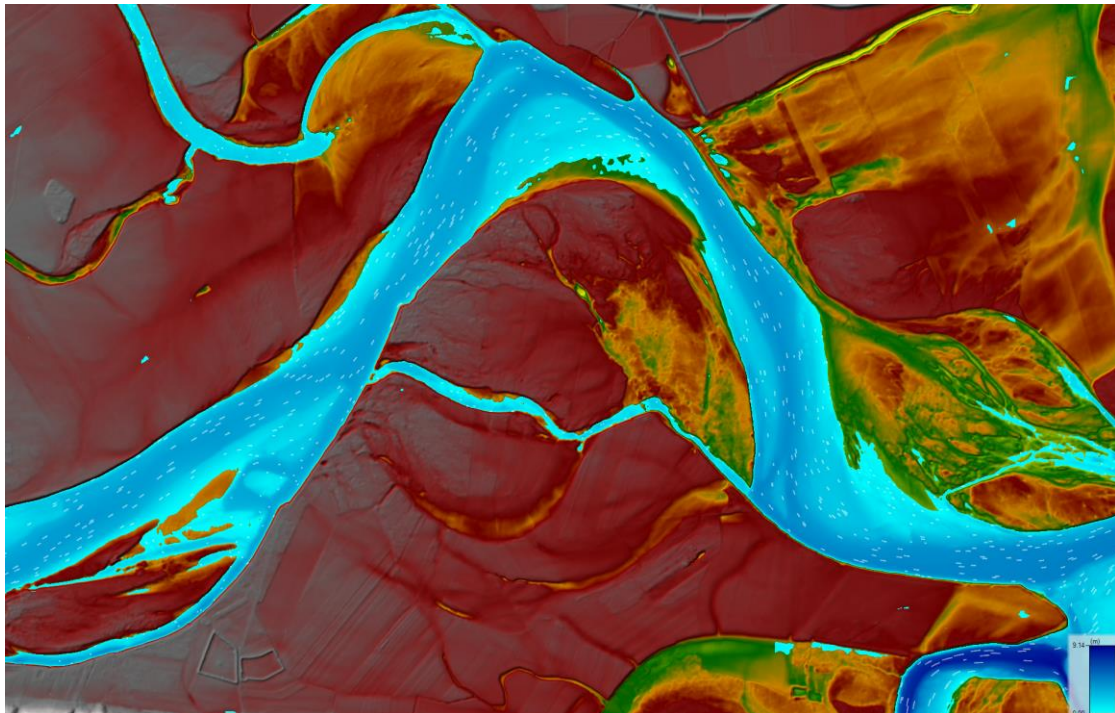


Figura 11 - Stato di fatto: tirante idraulico per portata di circa 670 m³/s (valore attuale di sormonto del pennello).

Come si evince dalla Figura 11, attualmente, per portate circa pari a 670 m³/s, il pennello presente in destra idraulica risulta sormontato, a causa della presenza nella struttura del pennello di due depressioni aventi quota pari a circa 77.10 m s.l.m.m. (Figura 12). La parte di monte della lanca si allaga quindi per effetto sormonto, mentre quella di valle per effetto rigurgito.

In Figura 12 si osserva inoltre, oltre alla presenza della lanca retrostante il pennello, anche una seconda lanca, situata più a Sud. Per portate superiori ai 1750 m³/s circa, questa lanca secondaria risulta allagata nella sua porzione di valle per effetto rigurgito (Figura 14).

Al crescere della portata aumenta quindi l'estensione della lanca secondaria che risulta allagata per rigurgito da valle, fino a che, per portate superiori ai 2800 m³/s si osserva il sormonto nella porzione di monte del pennello con conseguente collegamento tra le aree allagate per sormonto da monte e le aree allagate per rigurgito da valle (Figura 15).

In tale situazione, a causa dell'allagamento di entrambe le lanche, si ha quindi la formazione di due isole: la prima, a settentrione, situata tra l'alveo di magra del Po e la lanca principale, e la seconda, a meridione, posta tra la lanca principale e quella secondaria.



Figura 12 - Morfologia della zona del pennello. Il DTM evidenzia come nella zona evidenziata in verde siano presenti due depressioni nella struttura del pennello. In tali aree la quota risulta circa pari a 77.10 m s.l.m.m.

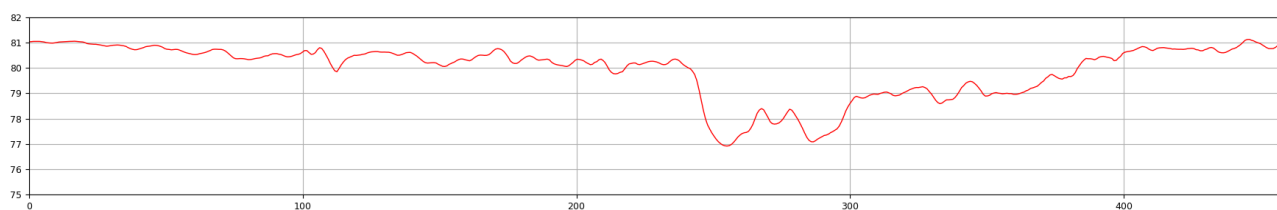


Figura 13 - Profilo longitudinale del pennello. Risultano visibili le depressioni poste circa a quota 77.10 m s.l.m.m.

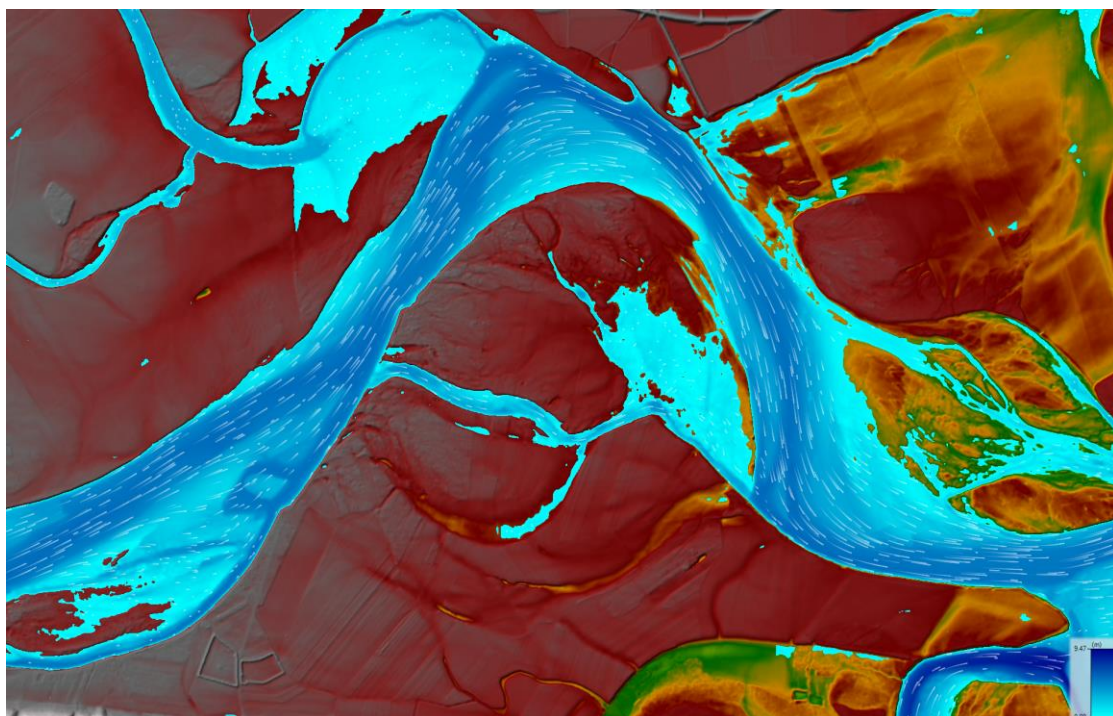


Figura 14 - Stato di fatto: tirante idraulico per portata di circa 1750 m³/s. Si osserva l'allagamento, per effetto rigurgito, della parte di valle della lanca secondaria.

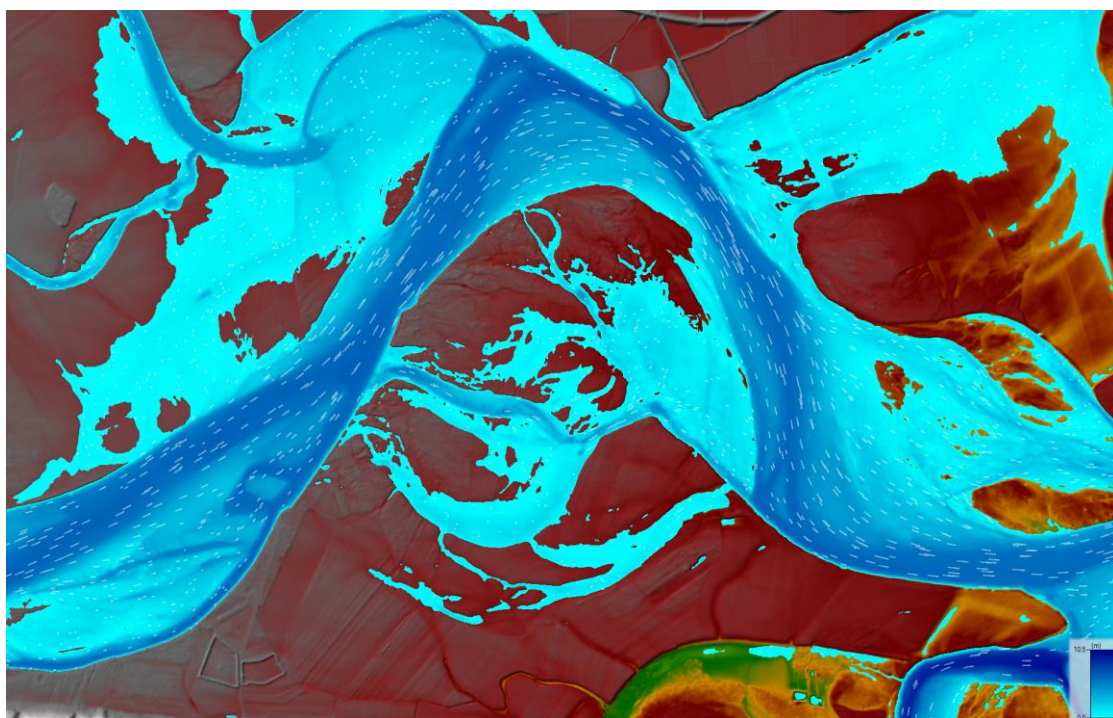


Figura 15 - Stato di fatto: tirante idraulico per portata di circa 2800 m³/s. Si osserva l'allagamento di entrambe le lanche, dato dal sormonto della parte di monte del pennello, con conseguente formazione di due isole

Per portate ancora superiori ($6000 \text{ m}^3/\text{s}$ circa - Figura 16), non di interesse ai fini del presente progetto, l'intera area golenale risulta allagata, con gli argini maestri a contenere l'esondazione del Po al di fuori delle sue aree di espansione.

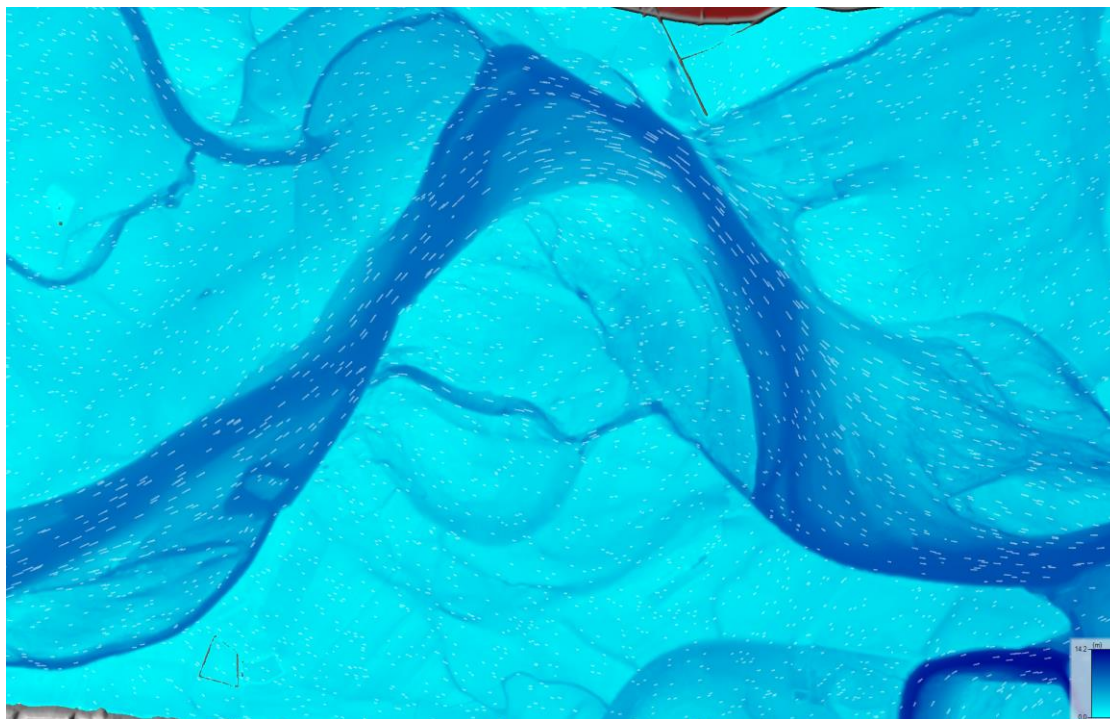


Figura 16 - Stato di fatto: tirante idraulico per portata di circa $6000 \text{ m}^3/\text{s}$.

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO	
Progetto di fattibilità tecnica ed economica	
INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P	
BASSIGNANA (AL)	
Codice elaborato:	PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A
Titolo elaborato:	Relazione idraulica

pag. 17 / 38

5 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1 Scelte progettuali

Gli interventi previsti da Piano d'Azione per la Linea M della scheda 8 sono:

- la riduzione dell'artificialità dell'alveo (con adeguamento dei pennelli di navigazione, dismissione/modifica delle opere di difesa)

Per la realizzazione dell'intervento, in accordo con gli obiettivi del piano programma d'azione, era previsto di intervenire sul pennello presente in destra idraulica al km 221 del fiume Po, abbassandone la quota da circa 81 m s.l.m.m. a circa 75 m s.l.m.m., di modo da favorire il sormonto per basse portate e una più frequente riattivazione della lanca.

Tali interventi risultano tuttavia di difficile attuazione dal momento che la morfologia della lanca retrostante il pennello non risulta coerente con un abbassamento del pennello fino alla quota prevista da Piano d'Azione. Le quote della lanca risultano infatti molto superiori alla quota di 75 m s.l.m.m., collocandosi, nella parte di monte della lanca, su una quota media superiore ai 76 m s.l.m.m. con zone aventi quota superiore ai 77 m s.l.m.m. La realizzazione dell'abbassamento del pennello secondo l'entità prevista da Piano d'Azione determinerebbe quindi la necessità di uno scavo di sbancamento di ingente volume all'interno della lanca stessa, intervento non previsto da PdA e non compatibile con la natura dell'area interessata, che risulta parte del Parco del Po Piemontese e all'interno della quale sono presenti habitat di assoluto pregio.

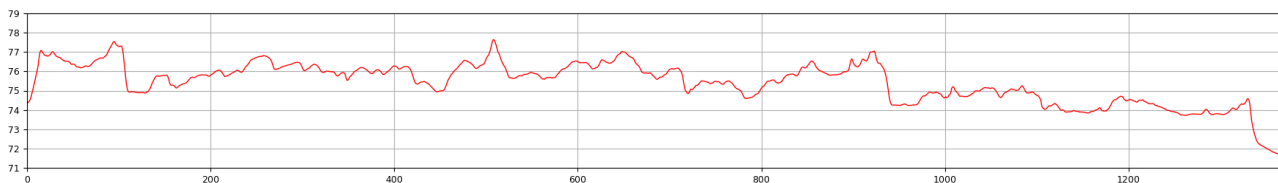


Figura 17 - Profilo longitudinale della lanca principale.

Per tali ragioni, in fase di progettazione, gli interventi da realizzare sono stati rivisti secondo i seguenti concetti:

- Adeguamento della parte di valle del pennello ad una quota pari a 77.10 m s.l.m.m., di modo da mantenere invariata la frequenza di allagamento della lanca principale, senza che sia necessario realizzare scavi all'interno di aree di elevato valore naturalistico
- Adeguamento della parte di monte del pennello ad una quota di 78.8 m s.l.m.m., con scavo di un canale nella parte di monte della lanca secondaria, di modo da aumentare la frequenza di allagamento della lanca stessa, generando così con maggiore costanza la formazione delle due isole vegetate
- Realizzazione di una difesa di sponda (erodibile) in destra idraulica della lanca secondaria, nella zona individuata in Figura 18. Si sottolinea che, non prevedendo gli interventi del presente progetto la generazione di nuove aree allagabili, tale opera non risulta a scopo

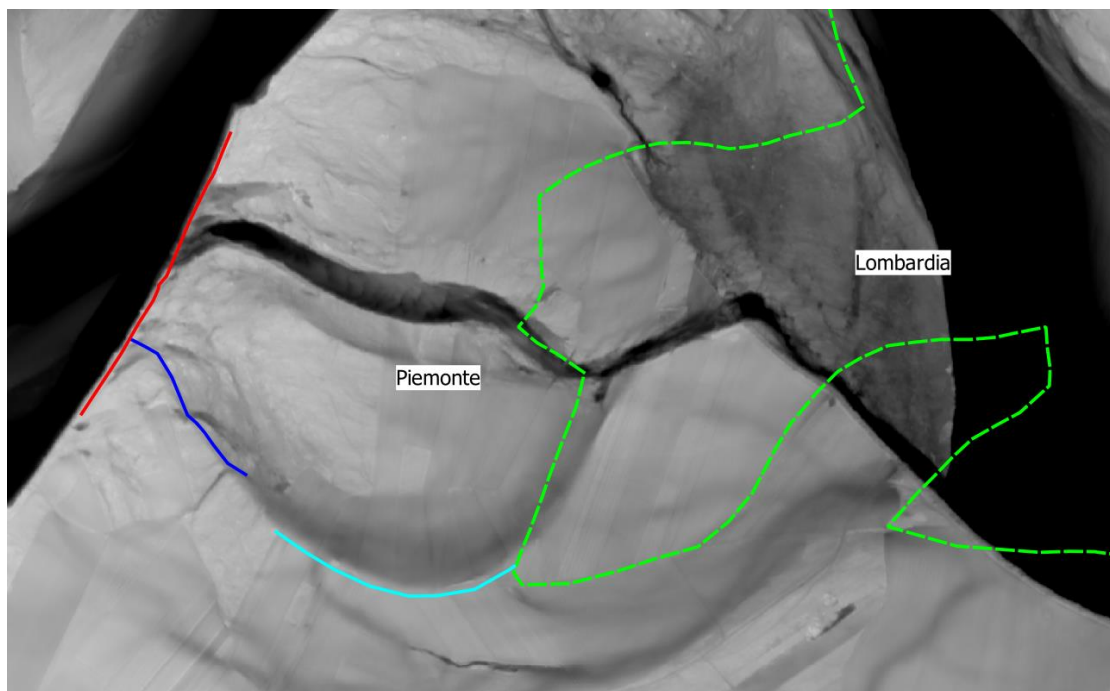


Figura 18 - Planimetria degli interventi previsti: in rosso l'adeguamento del pennello idraulico, in blu lo scavo del canale per l'attivazione della lanca secondaria, in ciano l'argine in destra idraulica della lanca secondaria. Come si vede dal confine indicato in verde, gli interventi sono tutti collocati all'interno del territorio della Regione Piemonte.

Per quanto concerne l'entità dell'abbassamento del pennello, sia a monte che a valle la scelta è stata effettuata sulla base della morfologia del terreno retrostante il pennello stesso, di modo da cercare di ridurre i volumi di scavo e non rendere necessari ingenti scavi di sbancamento nella lanca (non previsti da Piano d'Azione). Seguendo tale logica si è quindi scelto di riprofilare il pennello come mostrato in Figura 19, tenendo tre quote di riferimento:

- La quota di 78.80 m s.l.m.m. a monte è stata scelta sulla base della morfologia della lanca secondaria, superando la parte di monte della lanca (caratterizzata da quote più elevate) e ricollegandosi alla parte della lanca che risulta più "canalizzata" già allo stato di fatto e che coincide con l'area che attualmente, per portate superiori ai 1750 m³/s, risulta allagata per effetto rigurgito
- La quota di 77.90 m s.l.m.m. coincide con un'area in cui la morfologia del terreno non consente un allagamento della lanca o delle aree golenali, essendo a quota più elevata del pennello. In questa zona è stato quindi scelto di abbassare il pennello e di realizzare sul lato della lanca uno scivolo con invito per il deflusso dell'acqua in direzione delle aperture presenti nella lanca e raffigurate in verde in Figura 12
- La quota di 77.10 m s.l.m.m. è stata scelta sulla base della quota delle depressioni esistenti, di modo da mantenere invariata la frequenza di allagamento della lanca principale, uniformando tuttavia la zona di apertura con interventi di adeguamento, riprofilatura e corazzamento del pennello

5.2 Interventi previsti

Nel presente paragrafo si presentano gli interventi che, seguendo i nuovi concetti progettuali sopra esposti, sono previsti per la scheda 8. In particolare essi sono:

INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P**BASSIGNANA (AL)**Codice elaborato: **PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione idraulica**

pag. 19 / 38

- l'adeguamento del pennello esistente secondo le quote precedentemente descritte e visibili in Figura 19
- la realizzazione di un canale di collegamento tra il pennello e la lanca secondaria, di modo che questa sia alimentata con maggiore frequenza
- La realizzazione di un'arginatura in destra idraulica della lanca secondaria

Come si osserva dalla Figura 18, tutti gli interventi previsti sono collocati all'interno della Regione Piemonte.

5.2.1 Adeguamento del pennello

L'adeguamento del pennello interessa circa 400 m di pennello (Figura 19), risultando un intervento più rilevante di quanto previsto da Piano d'Azione (ove era previsto un abbassamento di circa 300 m) per effetto della scelta progettuale di riapertura della lanca secondaria tramite abbassamento della porzione di monte del pennello stesso.

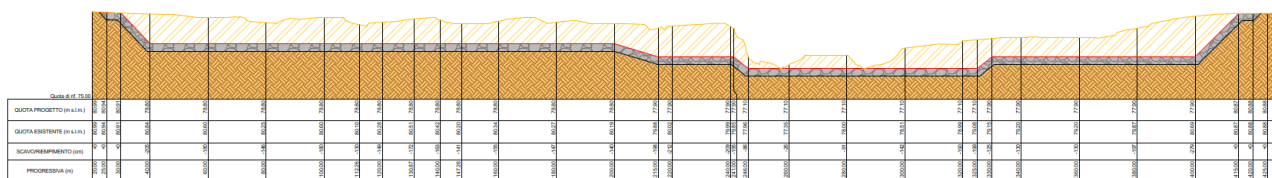


Figura 19 - Profilo longitudinale di progetto del pennello. Estratto della tavola PF.0.0.8.PRG.GE.S.Z.0.0.2.A.

Allo stato di fatto, il pennello idraulico presenta un coronamento posto a quota 80.80-80.30 m s.l.m. con una parte centrale avente quota di circa 79.20 m s.l.m. e due depressioni aventi quota 77.10 m s.l.m. (Figura 19). Il nucleo del pennello esistente risulta costituito da blocchi di CLS, con un paramento lato alveo avente pendenza di circa 3:2. Lato campagna il pennello presenta invece un andamento altimetricamente costante o addirittura crescente (Figura 20), con la sola eccezione della zona in cui sono presenti le depressioni, in cui la quota retrostante il pennello risulta leggermente calante in direzione della lanca principale (Figura 21).

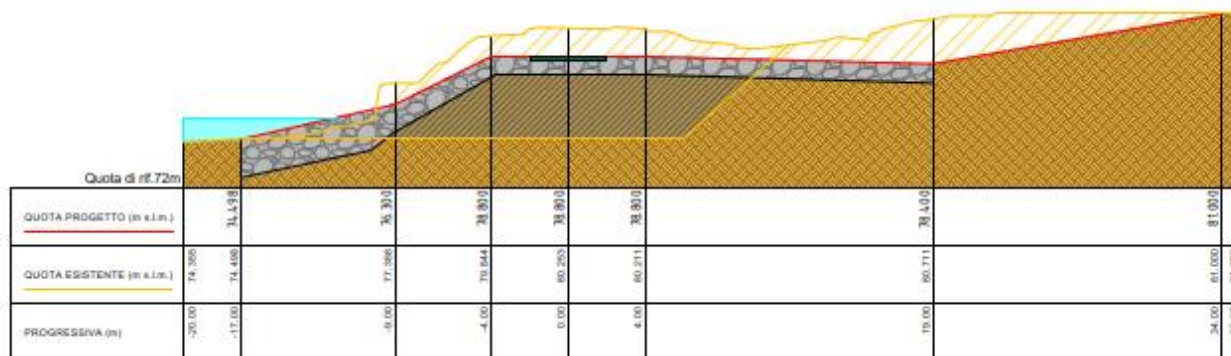


Figura 20 - Sezione del pennello nella zona di monte. In giallo è riportato il profilo dello stato di fatto, mentre in rosso lo stato di progetto. Estratto della tavola PF.0.0.8.PRG.GE.S.Z.0.0.2.A.

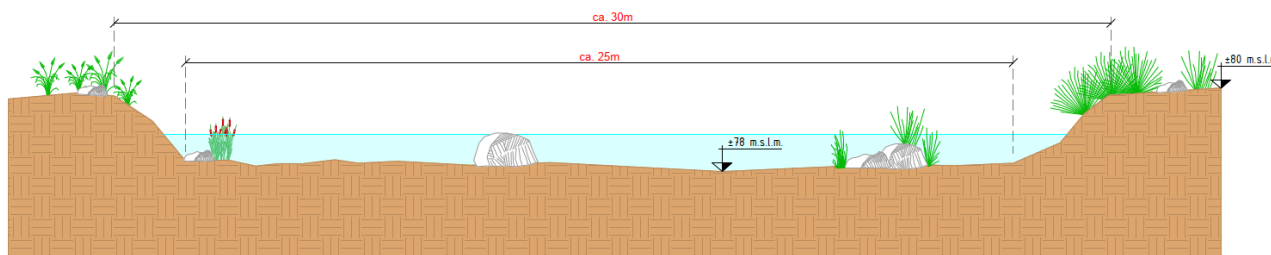


Figura 23 - Sezione tipologica del canale principale. Estratto della tavola PF.0.0.8.TIP.GE.S.Z.0.0.1.A.

5.2.3 Argine

In destra idraulica della lanca secondaria è prevista la realizzazione di un argine di piccole dimensioni, il cui profilo è riportato in Figura 24.

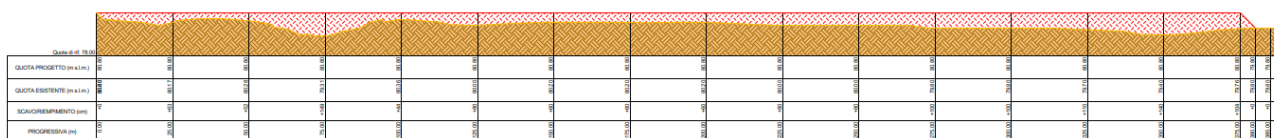


Figura 24 - Profilo longitudinale di progetto del canale principale. Estratto della tavola PF.0.0.8.PRG.GE.S.Z.0.0.2.A.

Il nucleo di tale opera è previsto sia costituito da una quota parte del terreno proveniente dagli scavi previsti dagli altri interventi. I paramenti dell'argine, profilati secondo una pendenza 2:1, saranno naturalizzati tramite un intervento di copertura diffusa con astoni di salice (Figura 26). Sul coronamento dell'argine, di larghezza pari a 4 m, è invece prevista la realizzazione di una pista di servizio con uno strato di base di spessore 20 cm in ghiaia mista naturale di cava (tout veneant) ed uno strato di finitura di spessore 10 cm di materiale granulare stabilizzato.

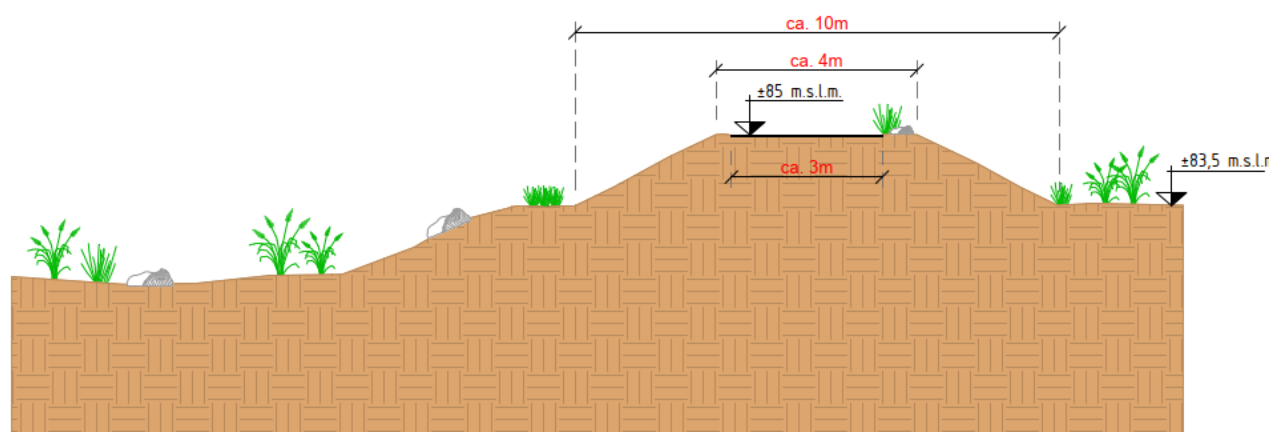


Figura 25 - Sezione del canale principale. Estratto della tavola PF.0.0.8.TIP.GE.S.Z.0.0.1.A.

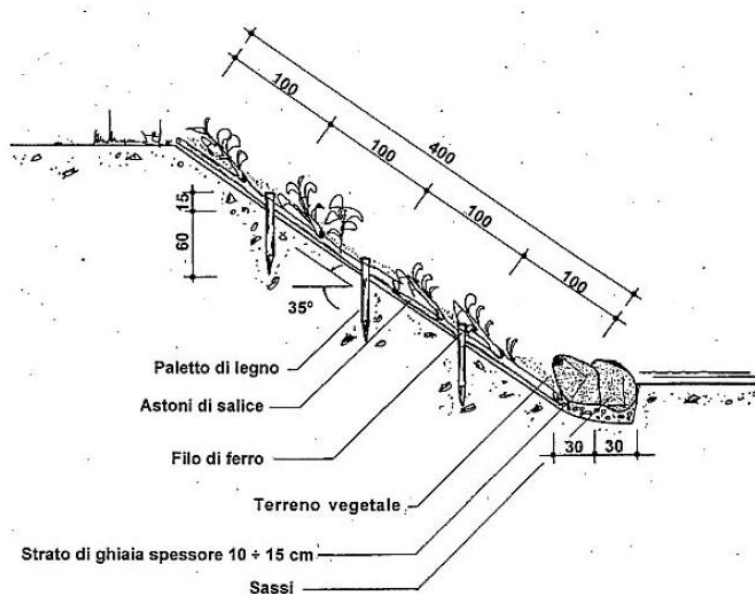


Figura 26 - Dettaglio della copertura diffusa con astoni di salice prevista per i paramenti dell'argine. Fonte: Quaderno delle Opere tipo - AdBPo.

6 ANALISI DELLO STATO DI PROGETTO

La verifica idraulica del progetto è stata realizzata implementando nel modello idraulico gli interventi idraulici previsti, e simulando lo stato di progetto così definito. In questo capitolo si procede alla descrizione e rappresentazione dei risultati ottenuti.

Come si osserva dalla Figura 27, per una portata di circa 670 m³/s si verifica il sormonto del pennello idraulico adeguato alla quota di 77.10 m s.l.m.m (Figura 28).

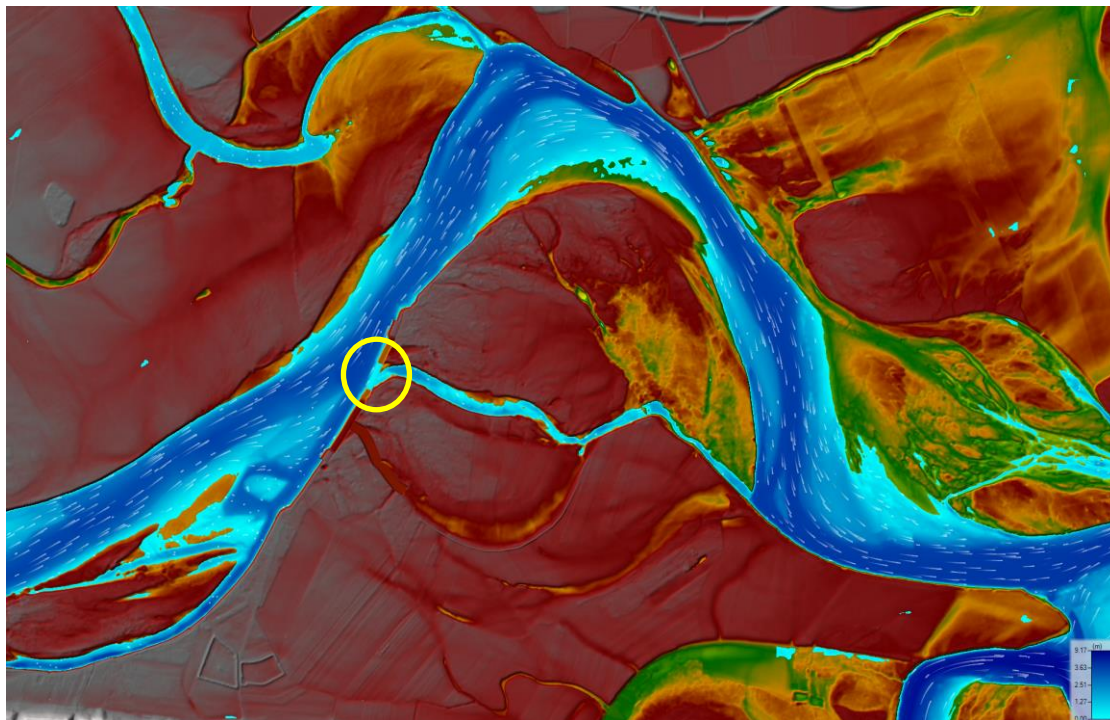


Figura 27 - Stato di progetto: tirante idraulico per portata di circa 670 m³/s (valore attuale di sormonto del pennello). In giallo sezione figura 21.

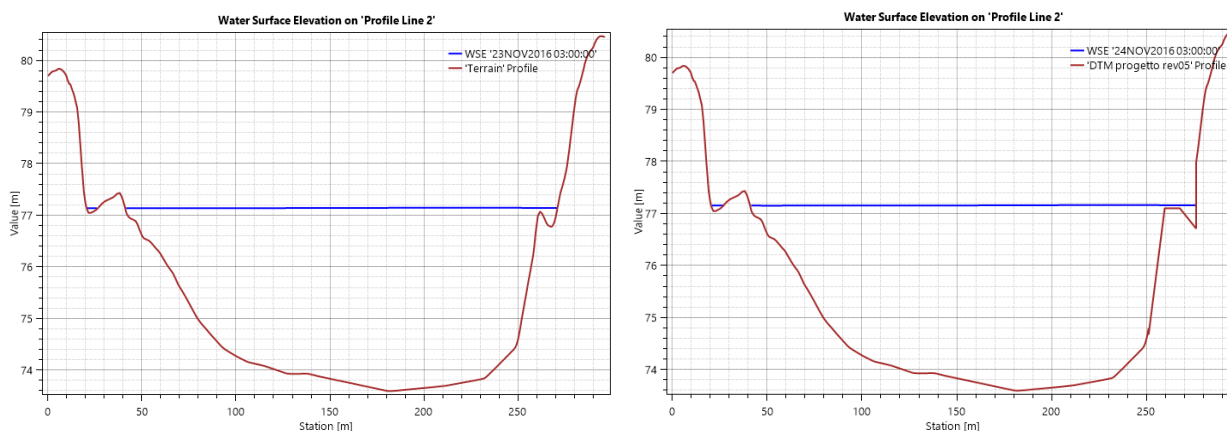


Figura 28 – Il confronto tra stato di fatto (a sinistra) e stato di progetto (a destra) in una sezione posizionata in corrispondenza della depressione attualmente presente nel pennello idraulico evidenzia come, per portate di circa 670 m³/s, l'area retrostante il pennello risulti ugualmente allagata.

Per una portata superiore, pari a circa 1500 m³/s, nella configurazione di progetto si osserva il sormonto del pennello anche nella sua parte di monte (Figura 29), con conseguente allagamento della lanca secondaria sia per effetto sormonto da monte che per effetto rigurgito da valle. Si osserva così la formazione delle due isole già per portate di molto inferiori allo stato di fatto (Figura 30).

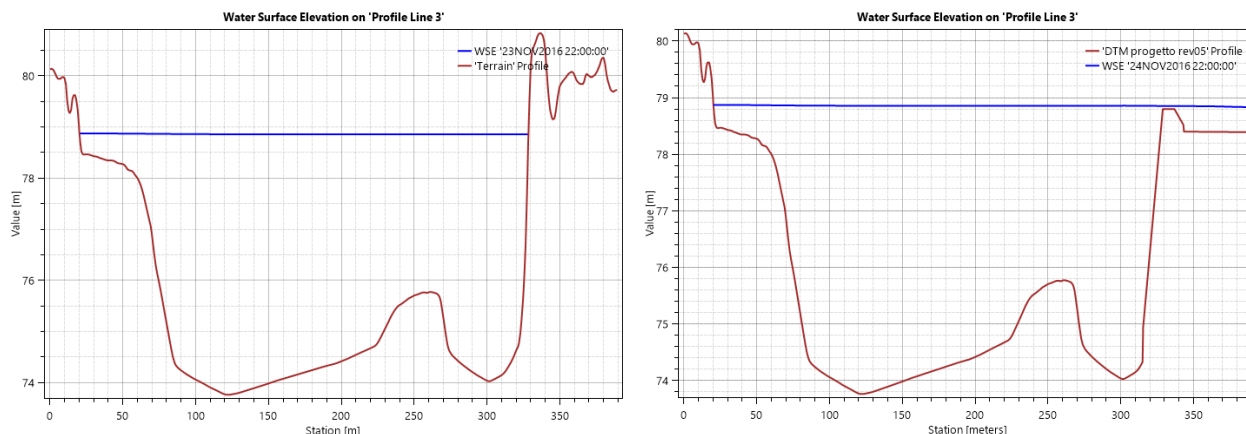


Figura 29 - Il confronto del tirante idraulico in una sezione posizionata nella parte di monte del pennello idraulico (ove è previsto l'abbassamento a una quota di 78.80 m s.l.m.m. e lo scavo del canale di collegamento con la lanca) evidenzia come, per portate di circa 1500 m³/s, allo stato di progetto (a destra) si abbia il sormonto del pennello con conseguente allagamento della lanca secondaria.

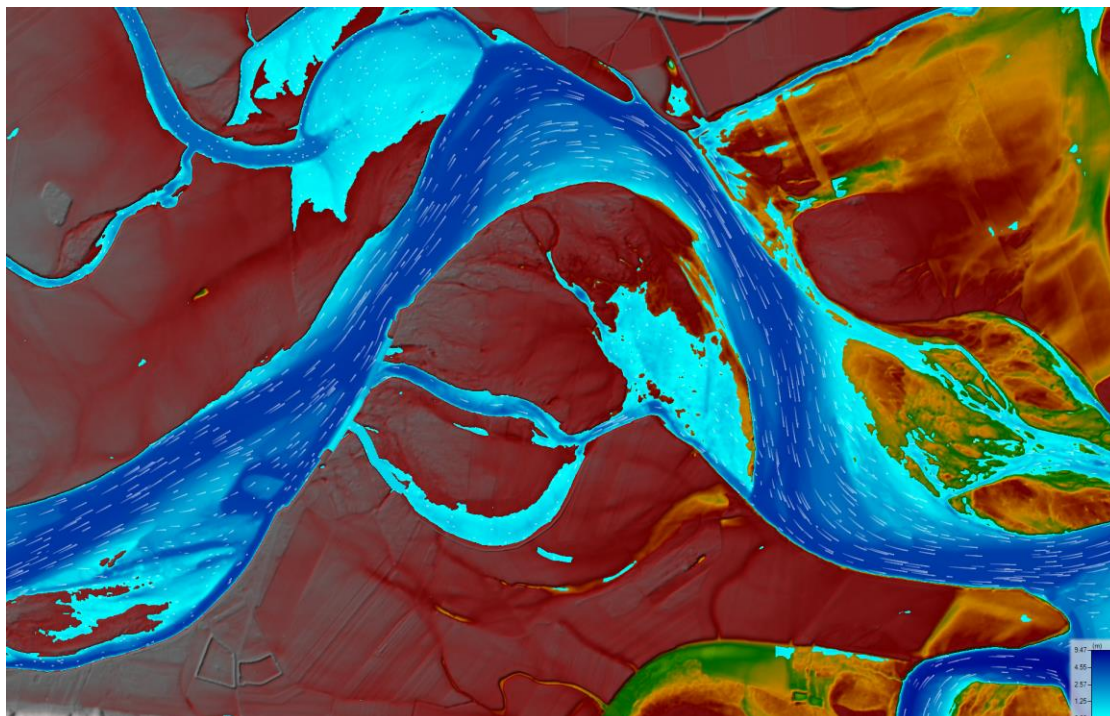


Figura 30 - Stato di progetto: tirante idraulico per portata di circa 1750 m³/s.

Al crescere della portata si osserva il graduale interessamento delle aree golenali e delle due isole (Figura 31), fino a che per portate superiori (circa 6000 m³/s) e non di interesse ai fini degli interventi oggetto del presente progetto, l'intera area risulta allagata come già accade per lo stato di fatto.

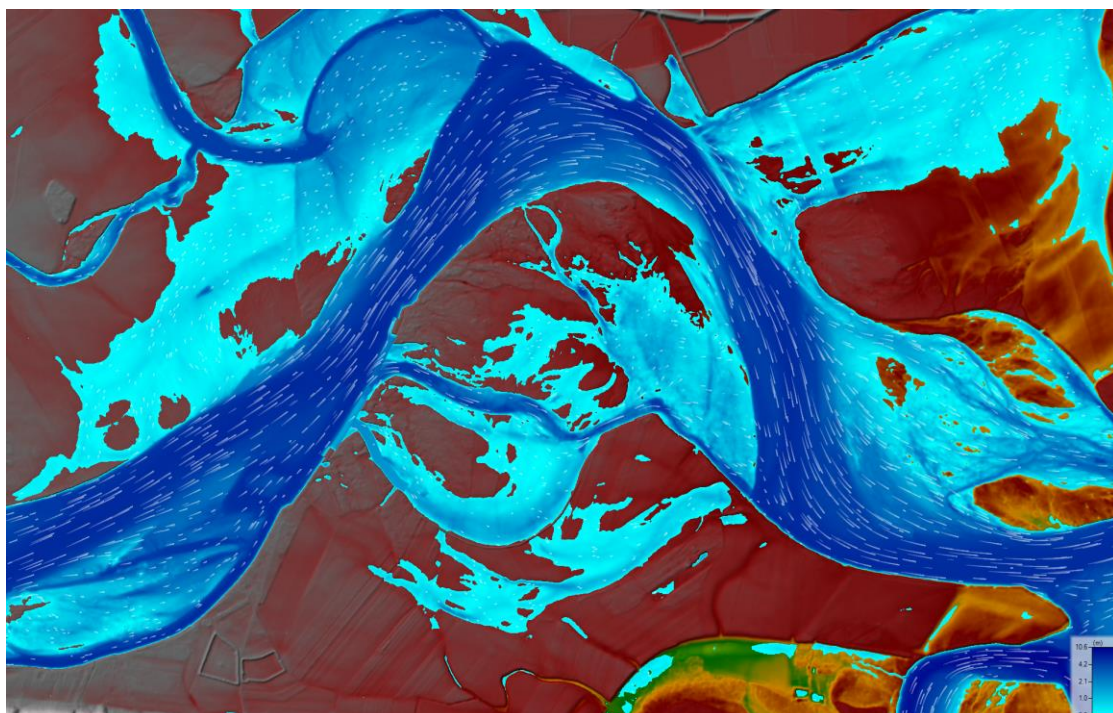


Figura 31 - Stato di progetto: tirante idraulico per portata di circa 2800 m³/s (valore di sormonto attuale della lanca secondaria).

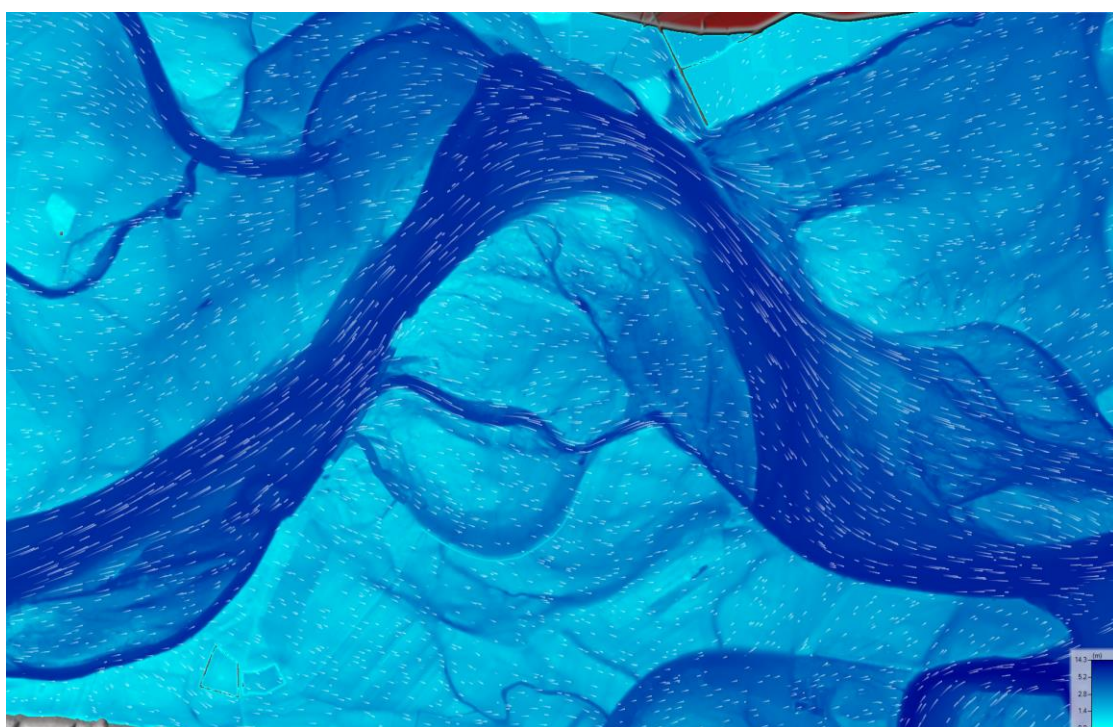


Figura 32 - Stato di progetto: tirante idraulico per portata di circa 6000 m³/s.

7 MODIFICHE IDRAULICHE A SEGUITO DEGLI INTERVENTI

Nel presente capitolo vengono riportati i confronti, desunti dalla modellazione idraulica, tra lo stato di fatto e lo stato di progetto, allo scopo di valutare le modifiche che si vengono a creare all'interno dell'area di studio per effetto degli interventi previsti da progetto per la scheda 8.

In Figura 33 si osserva come, per una portata di circa $670 \text{ m}^3/\text{s}$, le variazioni tra stato di fatto e stato di progetto risultano pressoché inesistenti, con il sormonto del pennello e l'allagamento della lanca principale che avvengono sostanzialmente inalterate in entrambi i casi.

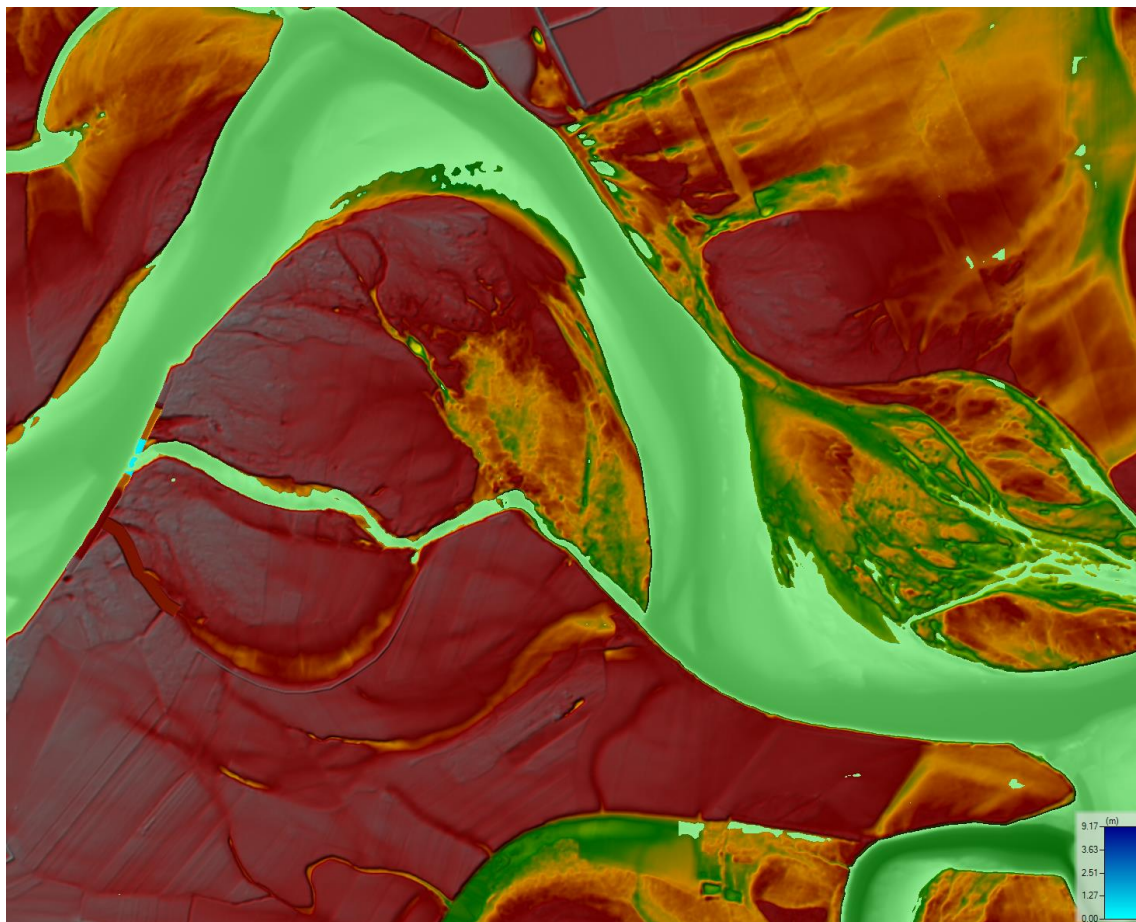


Figura 33 - Confronto tra il tirante idraulico relativo allo stato di fatto (in verde) e allo stato di progetto (in blu) per una portata di $670 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente alla portata di sormonto attuale e di progetto della parte di valle del pennello.

Analizzando la Figura 34 si nota, per una portata di $1500 \text{ m}^3/\text{s}$, la lanca secondaria appaia interamente allagata allo stato di progetto mentre sia asciutta allo stato di fatto. Tale variazione risulta legata all'abbassamento della parte di monte del pennello e al conseguente deflusso dell'acqua verso la lanca attraverso il canale secondario. Dall'immagine appare inoltre evidente la formazione, allo stato di progetto, delle due isole che allo stato di fatto si ottiene solo per portate superiori ai $2800 \text{ m}^3/\text{s}$. Come si nota dalla Figura 35 infine, analizzando la scala di deflusso per una sezione presa nella parte inalterata della lanca secondaria, l'abbassamento del pennello risulta garantire non solamente un allagamento più frequente ma anche un maggiore apporto di acqua.

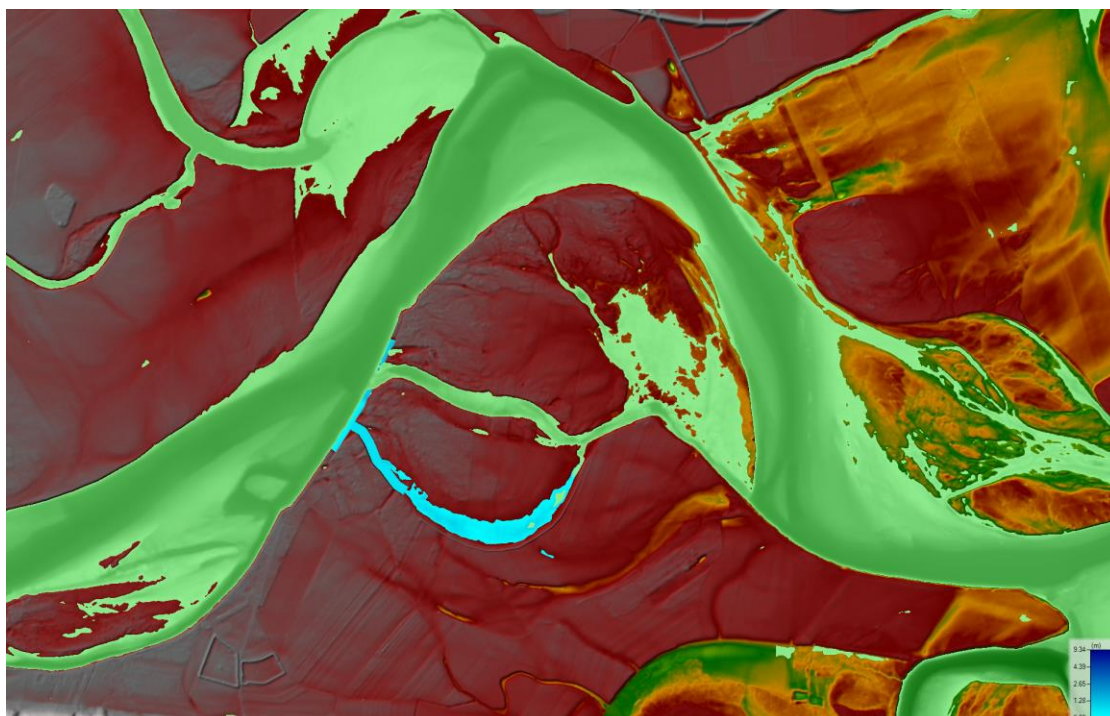


Figura 34 - Confronto tra il tirante idraulico relativo allo stato di fatto (in verde) e allo stato di progetto (in blu) per una portata di 1500 m³/s, corrispondente alla portata di sormonto attuale del pennello.

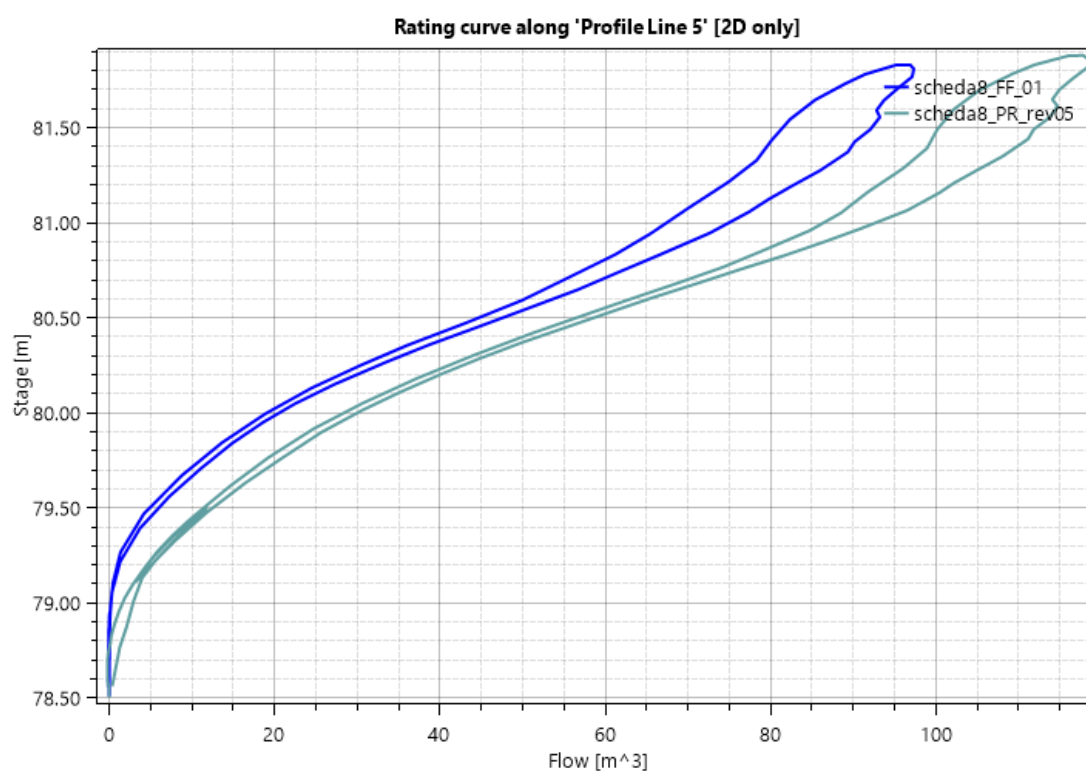


Figura 35 – Confronto, per la lanca secondaria, tra la scala di deflusso allo stato di fatto (in blu) e allo stato di progetto (in ciano).

Analizzando l'evoluzione delle configurazioni di stato e di progetto per una portata di circa 3150 m³/s (Figura 36), si osserva una sostanziale similarità tra le aree interessate dagli allagamenti. A partire da un range di portate di 3000-3200 m³/s circa, pertanto, si osserva come gli effetti degli interventi idraulici sull'area risultino quasi totalmente azzerati. Tale aspetto risulta concorde con gli obiettivi del progetto, che non riguardano gli eventi di piena bensì gli eventi di morbida in cui al fiume viene garantita la possibilità di espandersi maggiormente verso le lanche e le aree golenali qui presenti.

Analizzando i massimi di velocità (Figura 37) e di sforzo tangenziale (Figura 38) allo stato di fatto e di progetto, si osserva infine come gli effetti degli interventi previsti dal presente progetto non vadano ad impattare in maniera significativa né sulla lanca principale né su quella secondaria, non determinando quindi un possibile impatto negativo a livello naturalistico/ambientale sulle aree di pregio ivi presenti. I valori massimi raggiunti nelle zone in cui sono stati implementati gli interventi risultano infatti di entità trascurabile e compatibili con le parti dell'area oggetto di studio che non risultano interessata dal presente progetto. L'unica differenza evidente si riscontra nella zona immediatamente a valle del pennello, in cui la variazione ottenuta risulta tuttavia legata ad uno scalino derivante dall'implementazione della geometria di progetto all'interno del DTM e non ad una reale criticità dovuta alla tipologia di intervento.

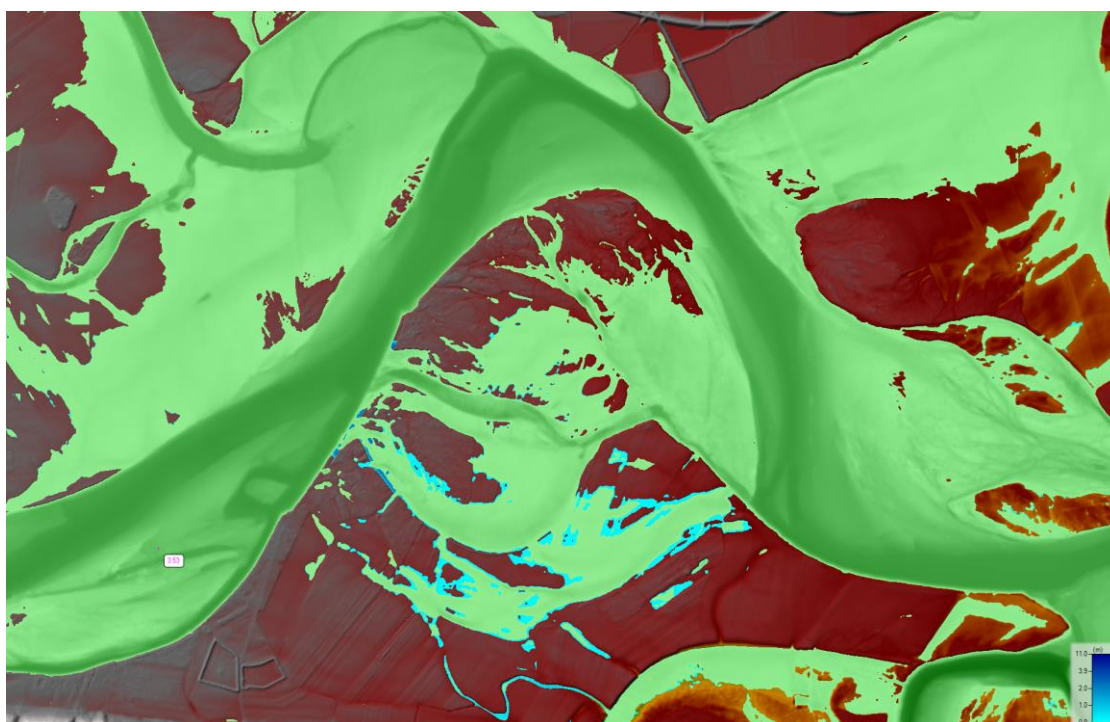


Figura 36 - Confronto tra il tirante idraulico relativo allo stato di fatto (in verde) e allo stato di progetto (in blu) per una portata di circa 2400 m³/s.

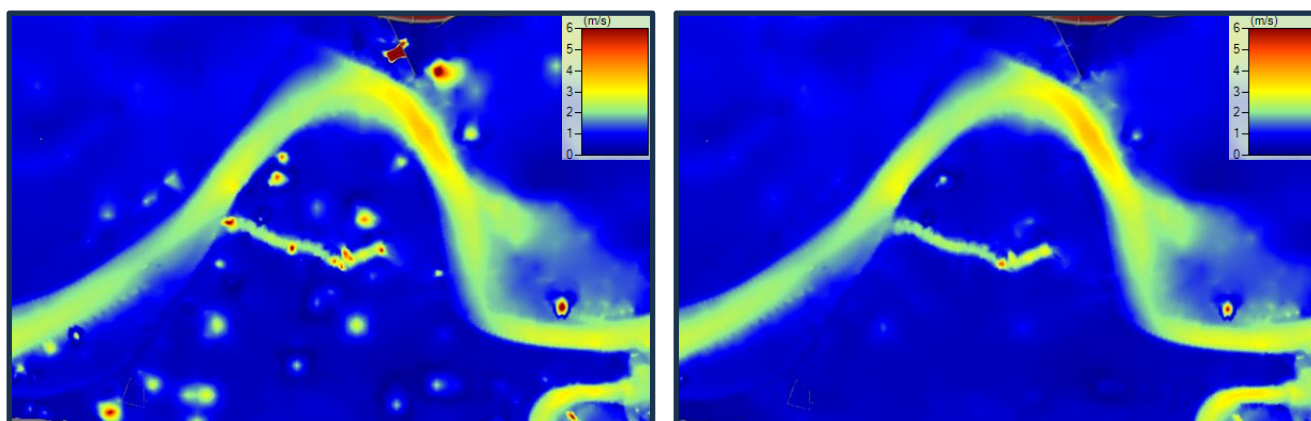


Figura 37 - Confronto tra i massimi di velocità di stato di fatto (a sinistra) e stato di progetto (a destra).

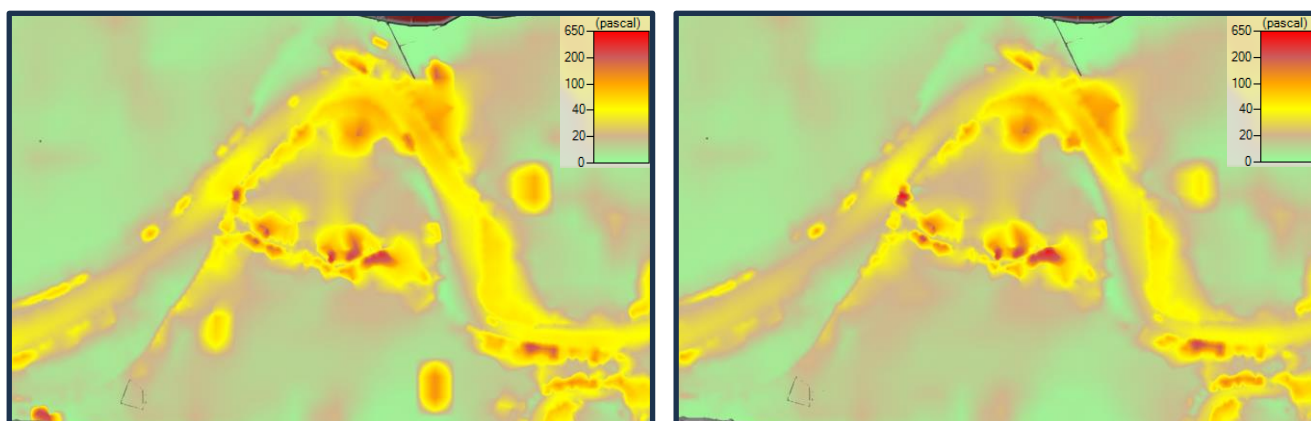


Figura 38 - Confronto tra i massimi di sforzo tangenziale di stato di fatto (a sinistra) e stato di progetto (a destra).

8 ANALISI MORFOLOGICA

Lo scopo della modellazione idraulica bidimensionale a fondo mobile è quello di poter analizzare in dettaglio le modifiche e gli effetti dello stato di progetto rispetto allo stato di fatto, in relazione al comportamento idraulico e idromorfologico del fiume Po in una scala temporale simulata definita e adeguatamente lunga.

Per quanto riguarda il tratto analizzato si è utilizzato un idrogramma sintetico di piene e morbide dal 2010 al 2019 (figura 39 in alto). Per questioni di tempistiche della modellazioni sono state considerate le portate superiori a 500 m³/s. Tale valore è stato definito sulla base della portata di sfioro considerata per lo stato di progetto e in base a considerazioni morfologiche. Per il Tanaro, figura 39 in basso, sono stati utilizzati i corrispondenti intervalli temporali.

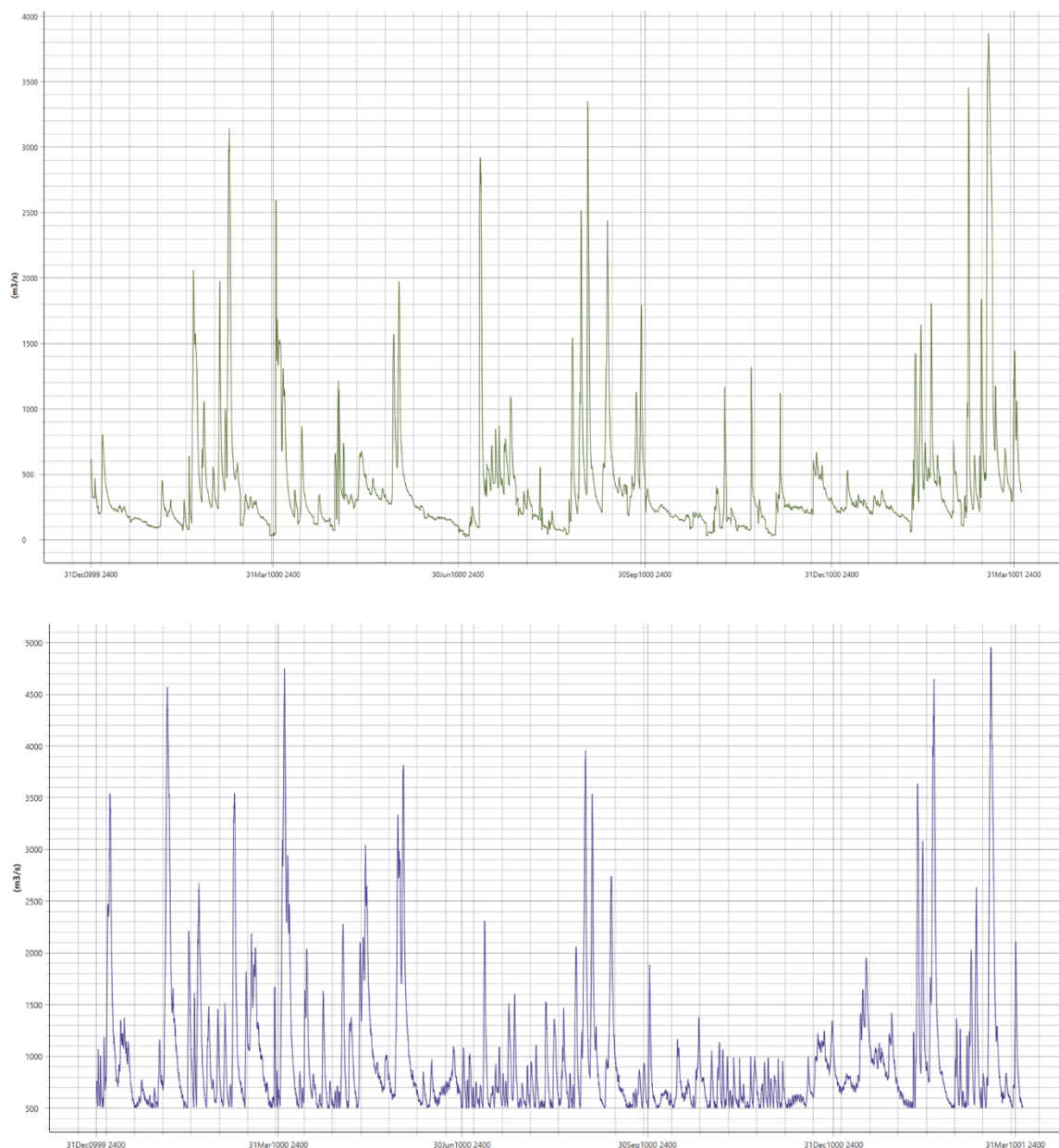


figura 39: Idrogramma sintetico per la modellazione morfologica per il fiume Po, in alto, e per il Tanaro, in basso.

Per quanto riguarda le portate solide in ingresso è stata fatta l'assunzione che la sezione di input sia in equilibrio, quindi, la portata solida in ingresso è automaticamente calcolata dal modello sulla base delle granulometrie e della formula di trasporto.

Per la definizione della granulometria si è fatto riferimento al “Programma generale di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po. Stralcio confluenza Arda incile Po di Goro. Relazione Tecnica” Autorità di Bacino del fiume Po, Maggio 2007. Per il tratto in questione sono state utilizzate le granulometrie rilevate alla sezione S00A1A.

In particolare l'**alveo del Po** è descritto tramite due strati:

1. strato superficiale di spessore 0.5 m caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 1, campionato alla progressiva 219 (figura 40);
2. strato profondo caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 1a, campionato alla progressiva 168.5 (figura 41).

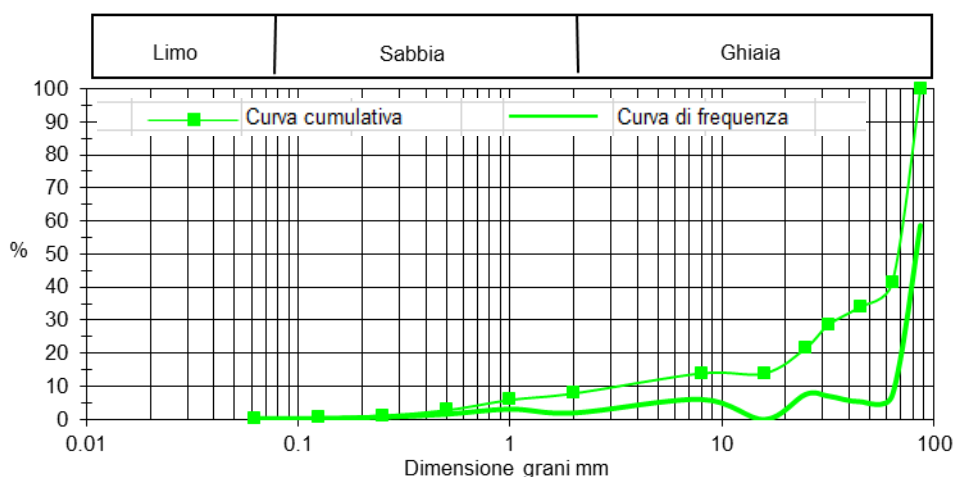
Anche le **aree golenali del Po** sono state descritte tramite due strati:

1. strato superficiale di spessore 1.0 m caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 1a, campionato alla progressiva 219 (figura 41);
2. strato profondo caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 2, campionato alla progressiva 219 (figura 42).

Le **barre del Po** sono state descritte da un singolo strato:

1. strato singolo caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 1a, campionato alla progressiva 168.5 (figura 41).

I pennelli sono stati considerati inerodibili.



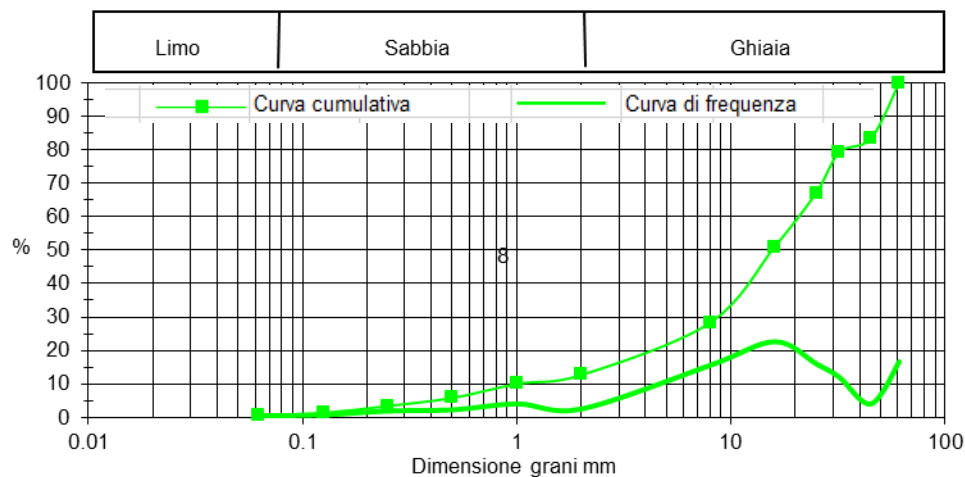
Media	Cernita	Asimmetria	Appuntimento
M_D	σ_K	S_{KD}	K_G
49.000	31.500	-0.024	0.712

D_5	D_{16}	D_{50}	D_{84}
0.90	17.00	50.00	80.00

figura 40: Curva granulometrica – Campione T6/S00A1A/B/1

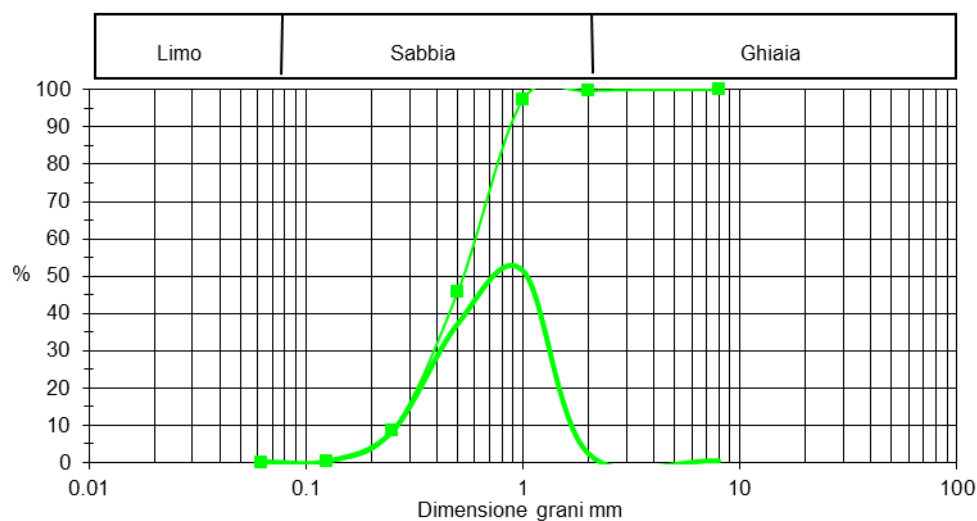
INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P**BASSIGNANA (AL)**Codice elaborato: **PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A**Titolo elaborato: **Relazione idraulica**

pag. 32 / 38



Media	Cernita	Asimmetria	Appuntamento	\mathcal{D}_5	D_{16}	D_{50}	D_{84}
l_D	σ_K	S_{KD}	K_G				
22.933	23.600	0.220	1.083	0.35	2.80	16.00	50.00

figura 41: Curva granulometrica – Campione T6/S00A1A/B/1.



Media	Cernita	Asimmetria	Appuntamento	D_5	D_{16}	D_{50}	D_{84}
M_D	σ_K	S_{KD}	K_G				
0.543	0.260	0.096	0.973	0.23	0.30	0.51	0.82

figura 42: Curva granulometrica – Campione T6/S00A1A/B/2.

Non essendoci campioni di granulometria nel tratto di Tanaro considerato per l'alveo del fiume è stato considerato un solo strato:

1. strato singolo caratterizzato dalla granulometria rilevata alla sezione S00A1A BARRA 1, campionato alla progressiva 219 (figura 40).

8.1 Risultati della modellazione a fondo mobile

Nel presente capitolo si riportano i risultati preliminari della modellazione a fondo mobile. Un'analisi più dettagliata sarà riportata in fase di progettazione definitiva.

In questa fase preliminare sono state eseguite alcune simulazioni per testare la stabilità del modello e la sensitività sui parametri principali. Queste simulazioni preliminari hanno evidenziato come in alcuni tratti sia la definizione della granulometria che la batimetria è in contrasto con le formule di trasporto utilizzate, portando a forti erosioni o depositi. Questo effetto ha due principali cause: le formule di trasporto riescono solo in parte ad interpretare un fenomeno complesso; la condizione iniziale, in termini di batimetrie e granulometrie, è un'approssimazione dello stato reale.

Per quanto riguarda la batimetria, il DTM in alveo deriva dall'unione di tre diverse campagne: Lidar 2021, Lidar 2022, batimetria in acqua con MultiBeam ed interpolazione tra questi dati nelle aree scoperte; quindi, di fatto, non rappresenta la batimetria in un preciso istante, batimetria che in ogni caso è in continua evoluzione.

Viste queste problematiche, nella modellazione morfologica a lungo termine, per definire lo stato iniziale su cui valutare le variazioni morfologiche, è stata eseguita preliminarmente una simulazione con una successione di 2 piene con colmo 3000-4000 m³/s in modo che sia la batimetria che la granulometria si modifichino in una conformazione più stabile.

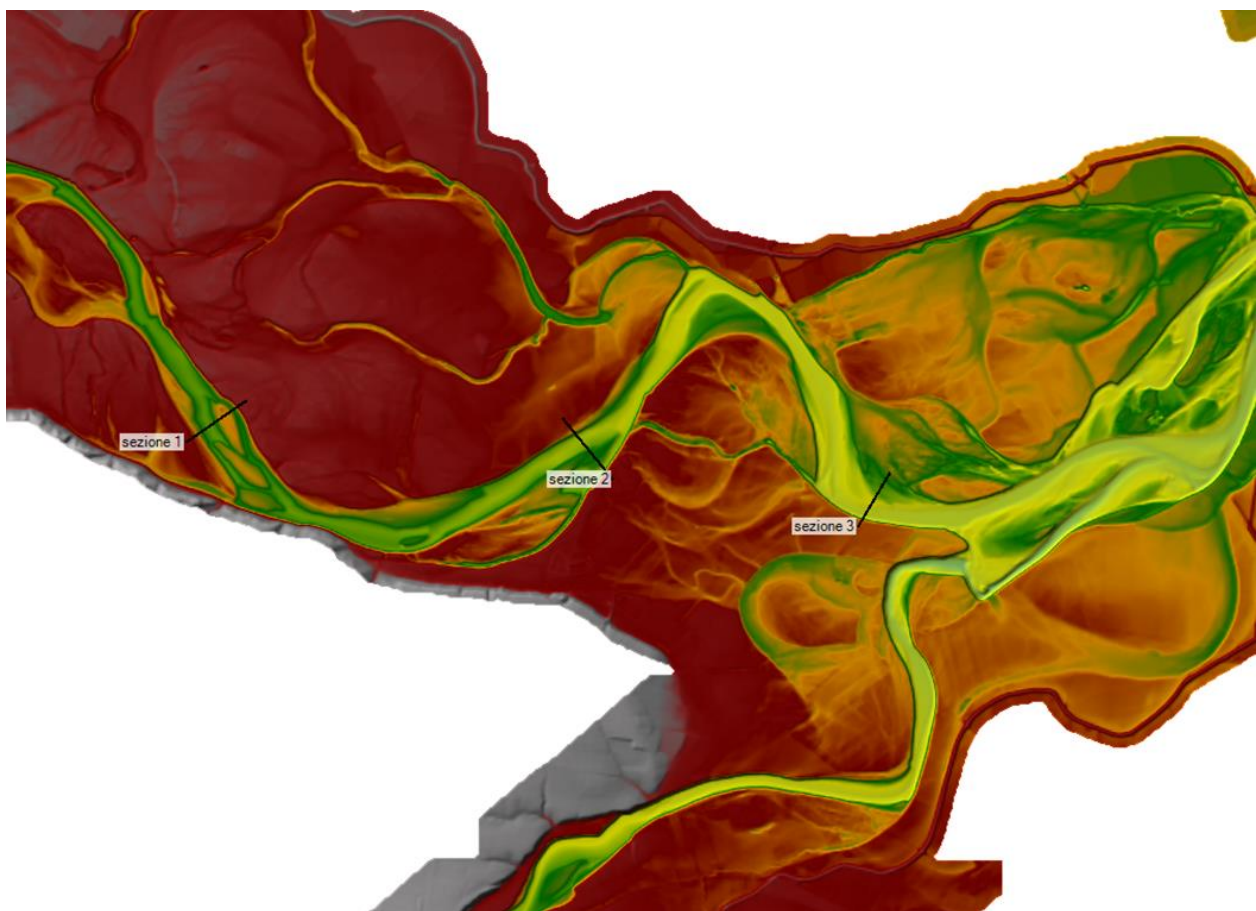


figura 43: Planimetria delle sezioni considerate per il confronto tra stato attuale e stato di progetto.

Sulla base dei risultati ottenuti da queste simulazioni preliminari sono state eseguite le simulazioni a lungo termine. In figura 47 si riporta la configurazione finale di scavi e depositi per lo stato di fatto e lo stato di progetto in corrispondenza dell'area di intervento.

Per valutare gli effetti delle opere di progetto sulla morfologia si sono confrontate alcune sezioni rappresentative, riportate in figura 43. La sezione 1 e la sezione 2 sono localizzate a monte dell'area di intervento, la sezione 3 si trova in corrispondenza della lanca e la sezione 4 si trova a valle della lanca.

In figura 44, figura 45 e figura 46 si riporta il confronto tra stato attuale e stato di progetto per le sezioni considerate.

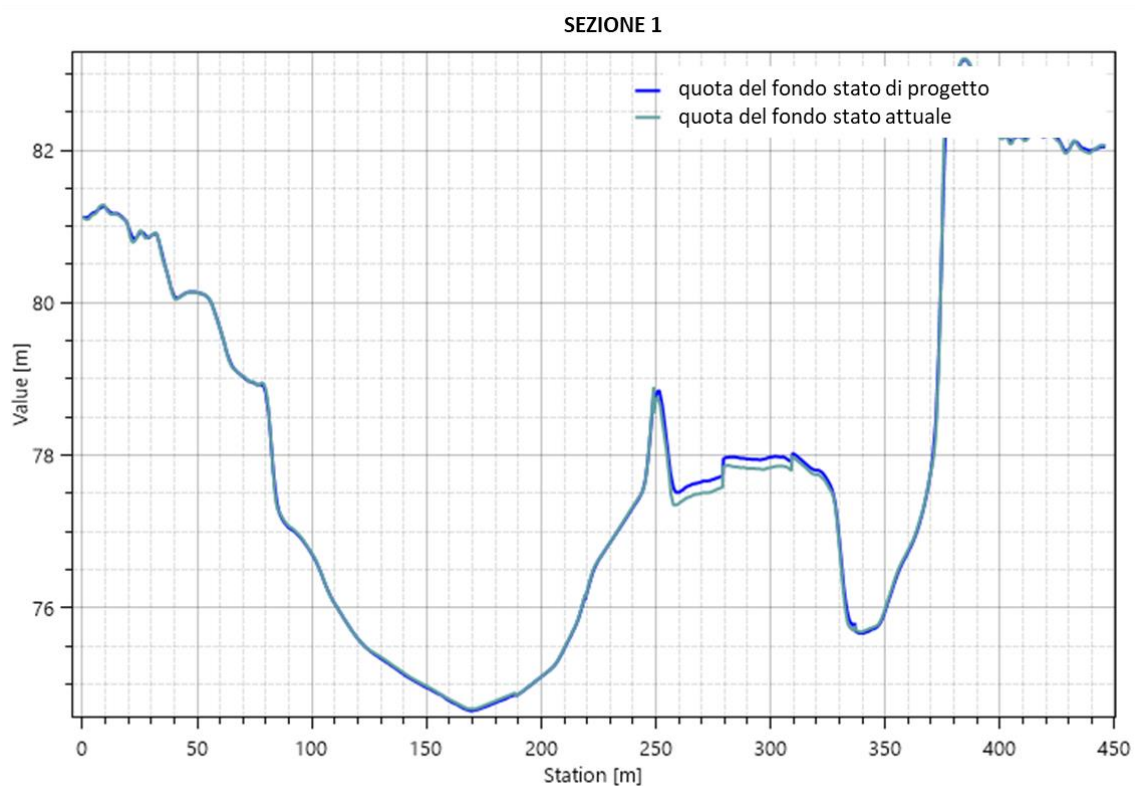


figura 44: Sezione 1 – Confronto tra le quote del fondo per lo stato attuale e lo stato di progetto in relazione alla configurazione finale.

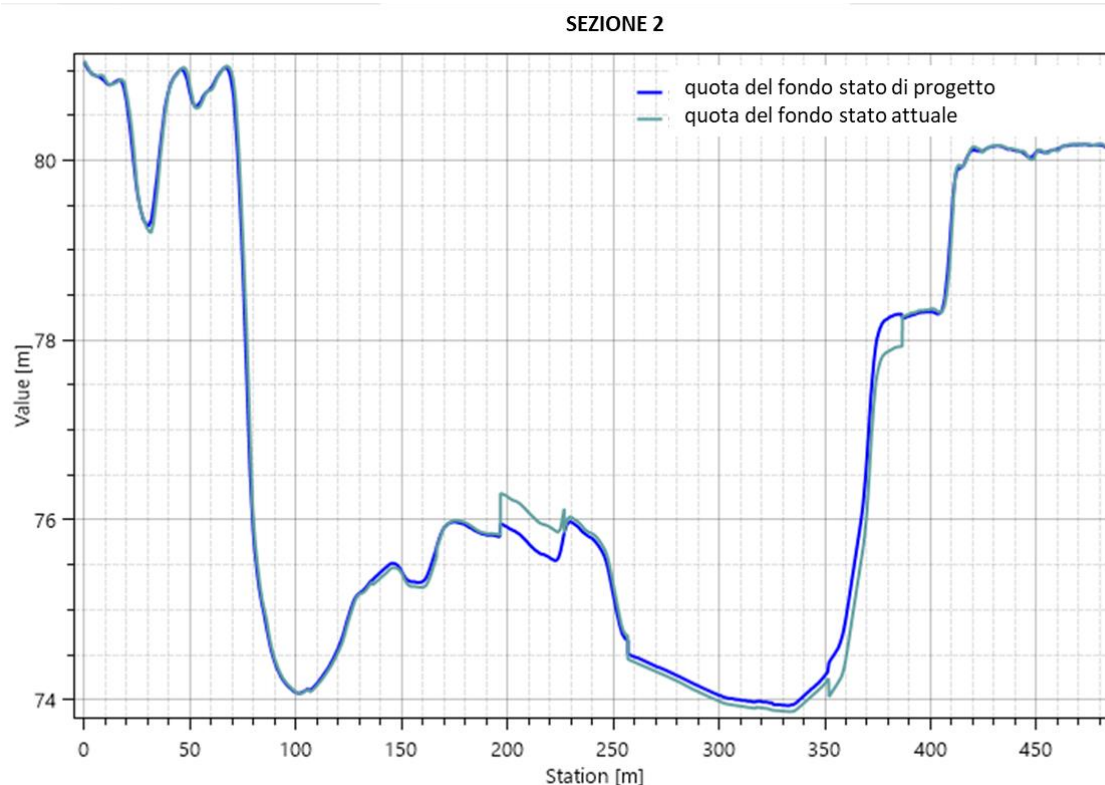


figura 45: Sezione 2 – Confronto tra le quote del fondo per lo stato attuale e lo stato di progetto in relazione alla configurazione finale.

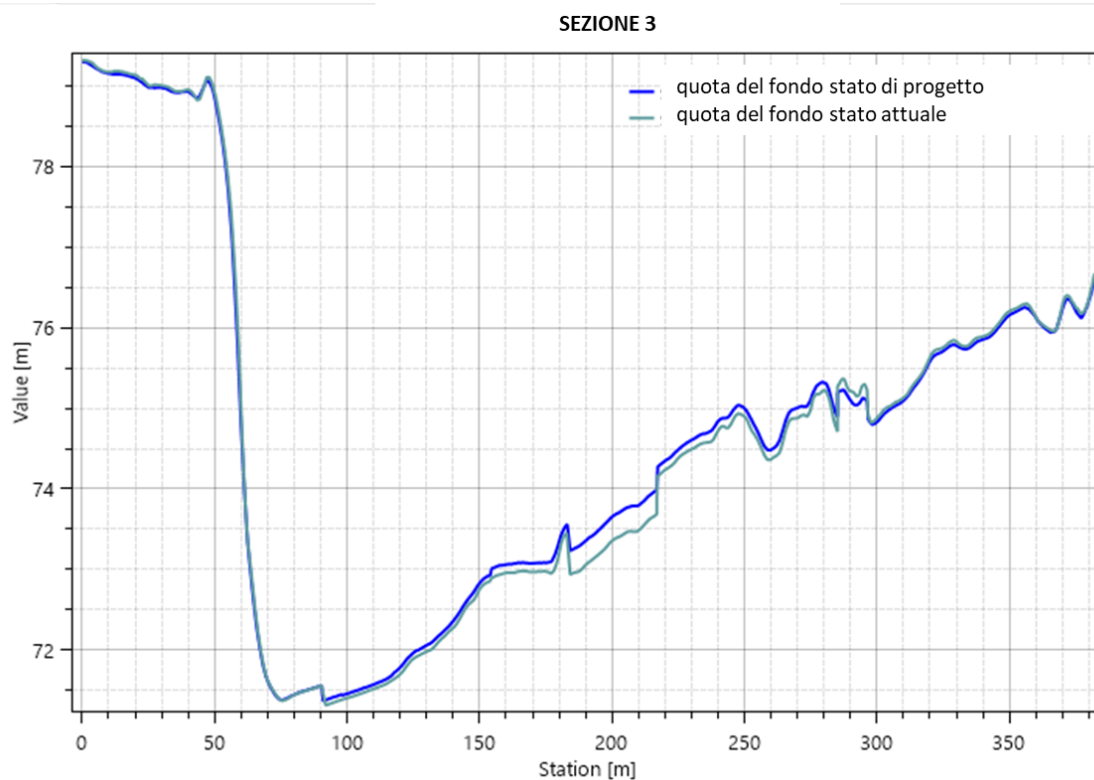


figura 46: Sezione 3 – Confronto tra le quote del fondo per lo stato attuale e lo stato di progetto in relazione alla configurazione finale.

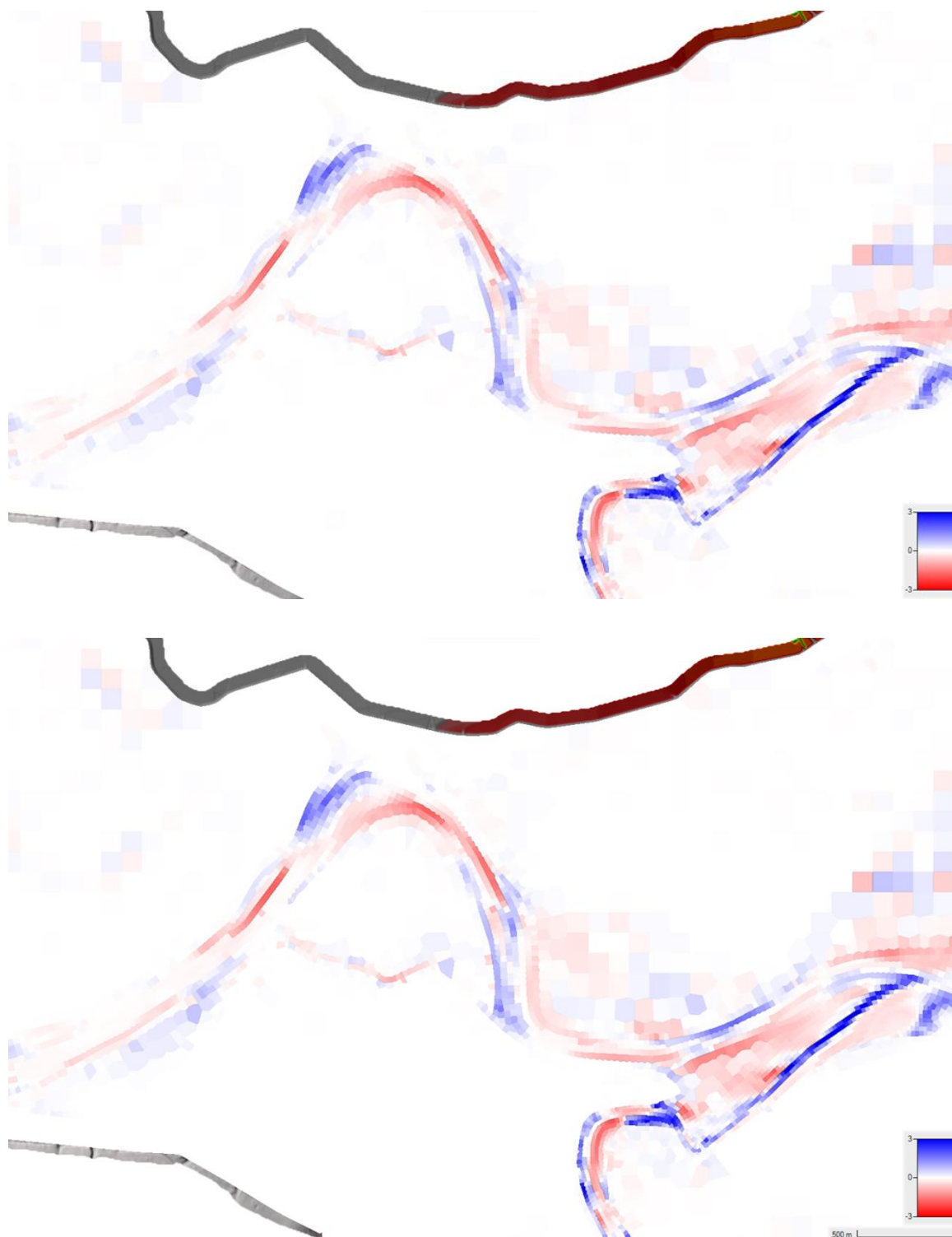


figura 47: Confronto stato attuale – stato di progetto tra la configurazione finale di scavi (in rosso) e depositi(in blu).

PNRR - M2C4 Investimento 3.3 - RINATURAZIONE DELL'AREA DEL PO

Progetto di fattibilità tecnica ed economica

INTERVENTO N. 8 – KM 222 - P**BASSIGNANA (AL)***Codice elaborato:* **PF.0.0.8.IDR.ID.R.T.0.0.1.A***Titolo elaborato:* **Relazione idraulica**pag. **37** / 38