



**AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO
AIPO**

UFFICIO OPERATIVO DI PARMA

Opere idrauliche di 2° categoria R.D. 11.02.1867 n. 3598

PROGETTO

Importo € 450.000,00

(PR-E-1060) INTERVENTI URGENTI DI RIRPRISTINO DELLE CONDIZIONI DI DEFLUSSO E MIGLIORAMENTO DELL'OFFICIOSITA' IDRAULICA NEL TRATTO DEL TORRENTE ENZA A VALLE DEL PONTE DI SAN POLO D'ENZA (RE)

ALLEGATO

**RELAZIONE ANALISI MORFOLOGICA:
STRALCIO INTERVENTO 7**

12

Gruppo di Progettazione :

ISTRUTTORE IDRAULICO
(Geom. Luca Zilli)

INGEGNERE
(Dott. Ing. Monica Larocca)

Visto : IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
(Dott. Ing. Mirella Vergnani)

PERIZIA N° 1179

DATA: 15 mag 2019

PROT. N°

AGGIORNAMENTI

DATA:



Affidamento del servizio di consulenza per la modellazione idraulica e morfologica del fiume Enza.

“Interventi urgenti di ripristino delle condizioni di deflusso e miglioramento dell’officiosità idraulica nel tratto del fiume Enza a valle del ponte di San Polo” (PR-E-1060)

CUP B42H19000060002 CIG Z5627B26A0

Intervento 7

Sant’Ilario d’Enza

Hydro Nova S.r.l.
Viale IV Novembre 82A
31100, Treviso - ITALY
e-mail: info@hydronova.tech
www.hydronova.tech



Rev.	Data	Responsabile
0	23/05/2019	Paolo Polo

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	3
2	EVOLUZIONE MORFOLOGICA.....	6
3	RICOSTRUZIONE DTM.....	12
4	MODELLO MORFOLOGICO.....	14
4.1	Codice di calcolo.....	14
4.2	Mesh di calcolo.....	14
4.3	Granulometria.....	15
4.4	Condizioni al contorno.....	18
4.4.1	Portate liquide a monte	18
4.4.2	Livelli a valle.....	19
4.4.3	Scabrezza.....	20
4.4.4	Formula di trasporto	21
4.4.5	Portate solide a monte.....	22
4.5	Scenari.....	23
4.5.1	Scenario attuale.....	25
4.5.2	Intervento Fase I	32
4.5.3	Intervento complessivo.....	43
5	CONCLUSIONI	53

1 Introduzione

Lo scopo del presente studio è la verifica degli interventi di riconfigurazione dell'alveo dell'Enza nel tratto tra San Polo d'Enza e l'attraversamento dell'autostrada A1.

AIPO ha individuato 12 tratti di intervento con apertura di nuovi canali per modificare l'attuale corso e migliorare il deflusso ed evitare l'erosione nei pressi di strutture. I tratti sono indicativamente rappresentati negli 8 interventi riportati nelle figure seguenti.

Per ogni tratto è stata eseguita l'analisi della stabilità morfologica dell'intervento mediante modello di trasporto solido per verificare l'evoluzione nel tempo dell'intervento. Come serie storica è stata utilizzata quella ottenuta per il periodo 2011-2015 dalla catena modellistica Topkapi-Sobek messa a punto per il sistema di previsione in tempo reale nel bacino del Po, per conto di AIPO, da HydroNova e Progea.

L'impatto complessivo degli interventi è stato verificato con un modello bidimensionale idraulico del tratto da San Polo d'Enza a Sorbolo, considerando la piena del dicembre 2017. L'analisi è stata condotta confrontando i risultati del modello tarato sulla situazione attuale con i risultati ottenibili modificando la batimetria come risultante dai modelli morfologici.

Nella presente relazione è riportata l'analisi per l'intervento 7, tratto a valle della briglia in località Ghiara nel comune di Sant'Ilario d'Enza.

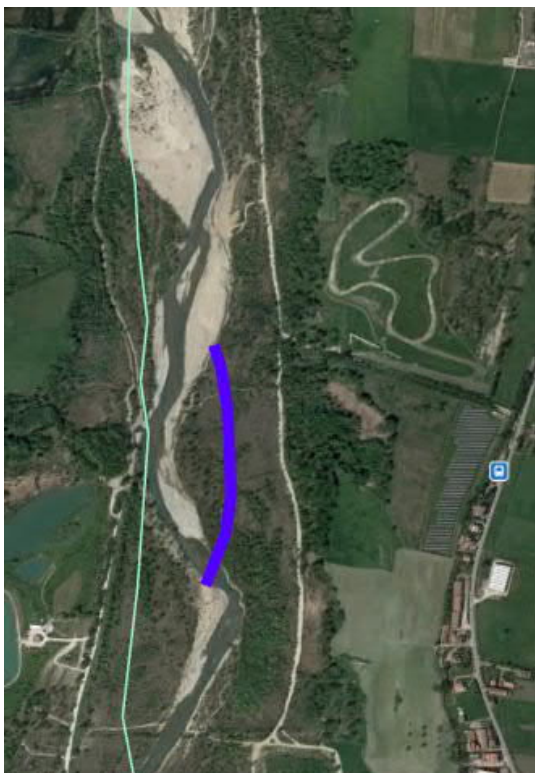


Figura 1.1 – Intervento 1, a valle di San Polo d’Enza

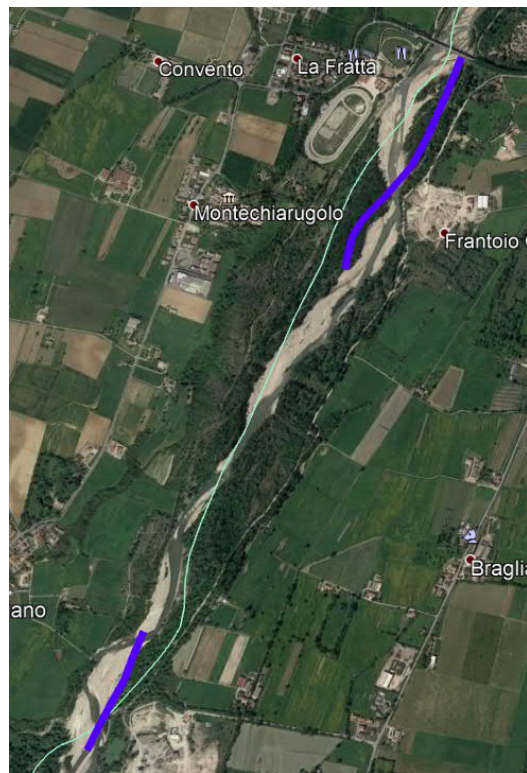


Figura 1.2 – Intervento 2, da Tortiano alla traversa a monte della cassa



Figura 1.3 – Intervento 3, dalla struttura di regolazione della cassa di monte alla briglia di valle



Figura 1.4 – Intervento 4, a monte dello scarico della cassa di monte

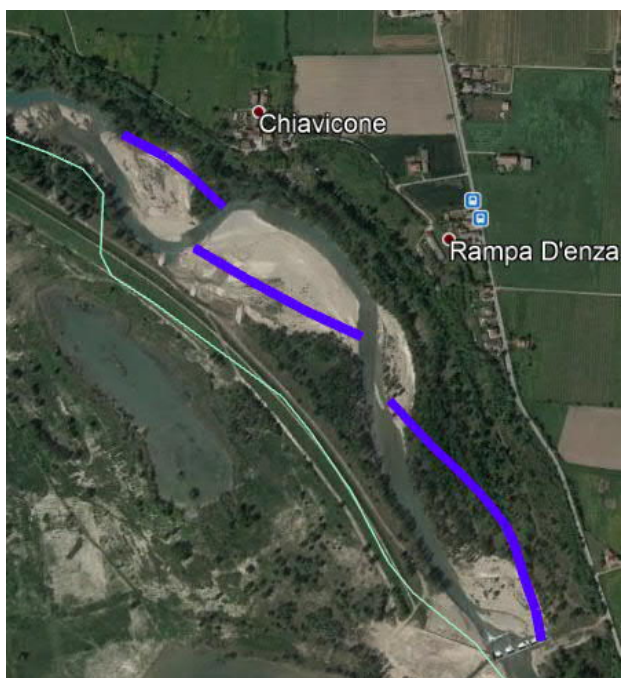


Figura 1.5 – Intervento 5, a valle della struttura di regolazione della cassa di valle



Figura 1.6 – Intervento 6, dalla restituzione della cassa di valle alla briglia in località Ghiara



Figura 1.7 – Intervento 7, a valle della briglia in località Ghiara



Figura 1.8 – Intervento 8, Tratto 2.5 km a monte dell'autostrada A1

2 Evoluzione morfologica

Per il fiume Enza sono disponibili 4 rilievi: 1973, 1988, 2011 e 2018. I primi due rilievi non sono fruibili, infatti non è presente la georeferenziazione delle sezioni ed a nome analogo corrispondono quote completamente diverse, indice che nel 2011 e 2018 è stata utilizzata una denominazione diversa.

Nel tratto in esame esiste una sola sezione rilevata sia nel 2011 che nel 2018, la sezione EN_65, riportata nella figura seguente.



Figura 2.1 – Sezione EN_65, in Sx posizione planimetrica con sovrapposizione della sezione 2018, in Dx confronto sezioni 2011 e 2018.

Il confronto mette in evidenza come la quota del fondo non si sia di fatto modificata, però si è avuto un allargamento dell'alveo inciso. Anche se un'unica sezione non consente un'analisi sull'evoluzione del profilo lungo l'alveo, si può ragionevolmente asserire che l'evoluzione morfologica sia prevalentemente planimetrica e che la pendenza del profilo di fondo sia complessivamente stabile, non essendo presenti recenti modifiche puntuali (traverse, ponti ecc.) che impongano una modifica del profilo.

L'evoluzione planimetrica è invece rilevabile dalle ortofoto consultabili in Google Earth, soprattutto nel tratto che va dalla traversa alla "brusca" curva verso sinistra (figure successive).

Le immagini vanno dal 2003 al 2018. Nel 2003 (Figura 2.2) l'alveo di magra è posizionato sulla sinistra del corso d'acqua, ma è evidente in destra la traccia di un ramo inciso che, pur a quota superiore, è più largo dell'alveo di magra. È probabile che tale ramo si sia costituito in fase di piena costituendo una via preferenziale per il deflusso.

L'ortofoto del 2011 (Figura 2.3) evidenzia come il ramo di destra risulti di fatto scomparso con crescita arborea in alcuni tratti del suo alveo, mentre il deflusso di magra sia convogliato interamente verso sinistra per tutta la larghezza della traversa.

L'immagine del 2014 (Figura 2.4) presenta una situazione in cui, a seguito di un intervento di AIPo, il fiume presenta un ramo in destra e si ha il consolidamento di un'isola tra i 2 rami, è evidente

comunque, osservando le aree bagnate, come il ramo di sinistra risulti a quote più basse rispetto a quello di destra.

Questo è confermato dall'immagine del 2016 (Figura 2.5) che presenta una situazione di magra in cui l'alveo inciso ritorna ad essere prevalentemente in sinistra. L'isola centrale tende a consolidarsi con la presenza di vegetazione arborea.

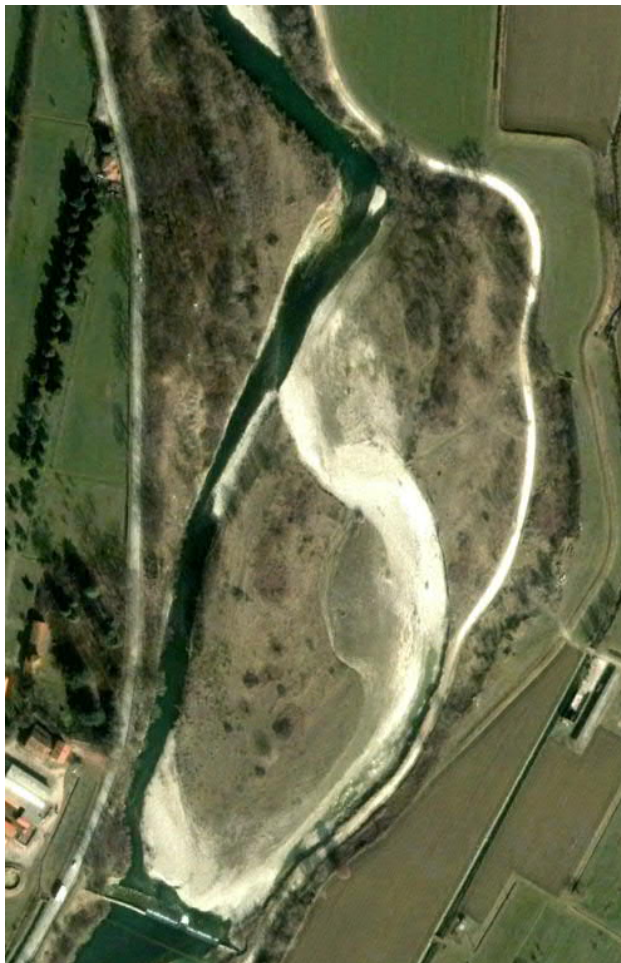


Figura 2.2 – Situazione al 10 Marzo 2003



Figura 2.3 – Situazione al 13 Maggio 2011

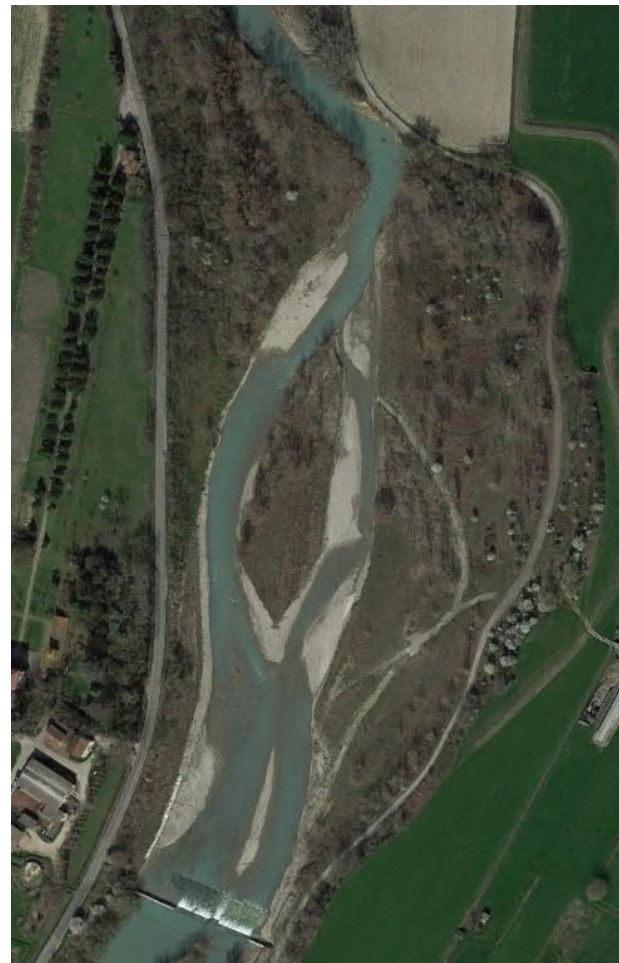


Figura 2.4 – Situazione al 12 Marzo 2014



Figura 2.5 – Situazione al 9 Luglio 2016



Figura 2.6 – Situazione al 25 Aprile 2018

L'immagine del 2018 (Figura 2.6) fotografa la situazione dopo il passaggio della rilevante piena del dicembre 2017. Sono evidenti le tracce di piena nel ramo di destra e anche l'isola risulta in parte asportata. Il deflusso però tende a privilegiare il lato sinistro dell'alveo, anche il filone di corrente che a valle della traversa si trova sul lato destro devia di quasi 90° per ricongiungersi con il filone di corrente posizionato a sinistra confluendovi quasi perpendicolarmente.

Tale effetto è stato riscontrato anche in fase di sopralluogo ed è legato alla notevole differenza di quota tra destra e sinistra dell'alveo come si può ben notare nella foto di Figura 2.7. La tendenza a mantenere l'alveo di magra sulla sinistra ha portato ad una progressiva erosione della sponda sinistra come evidenziato nella Figura 2.8 con il risultato di avere una sponda quasi a parete verticale (Figura 2.9) a meno di 20 m dalla Strada Provinciale n. 95.

L'analisi delle immagini nei diversi anni consente di dire che il fiume, in fase di piena, tende ad aprirsi un ramo sulla destra, ma che, a causa della maggiore profondità del ramo di sinistra, le magre e le morbide tendono a interrirla, favorendo il deflusso nella parte sinistra e quindi la migrazione dell'alveo di magra in questa direzione con conseguente erosione della sponda.



Figura 2.7 – Foto verso monte del tratto di confluenza dei 2 filoni di corrente a valle della traversa.



Figura 2.8 – Evoluzione della sponda sinistra, a Sx situazione al 2011, in Dx situazione al 2018.



Figura 2.9 – Foto verso valle dal punto di confluenza dei 2 filoni di corrente.

3 Ricostruzione DTM

L'informazione topografica disponibile è costituita dal DTM AIPo 2008 a 1 m. Come visto dal confronto delle ortofoto (da Figura 2.2 a Figura 2.6) la conformazione morfologica del tratto è mutata notevolmente e il DTM disponibile "fotografa" una situazione intermedia tra il 2003 (Figura 2.2) e il 2011 (Figura 2.3).

Si è pertanto cercato di modificare il DTM disponibile per la parte di maggior variazione identificabile dalle ortofoto, supportando tale modifica anche con le indicazioni assunte durante il sopralluogo.

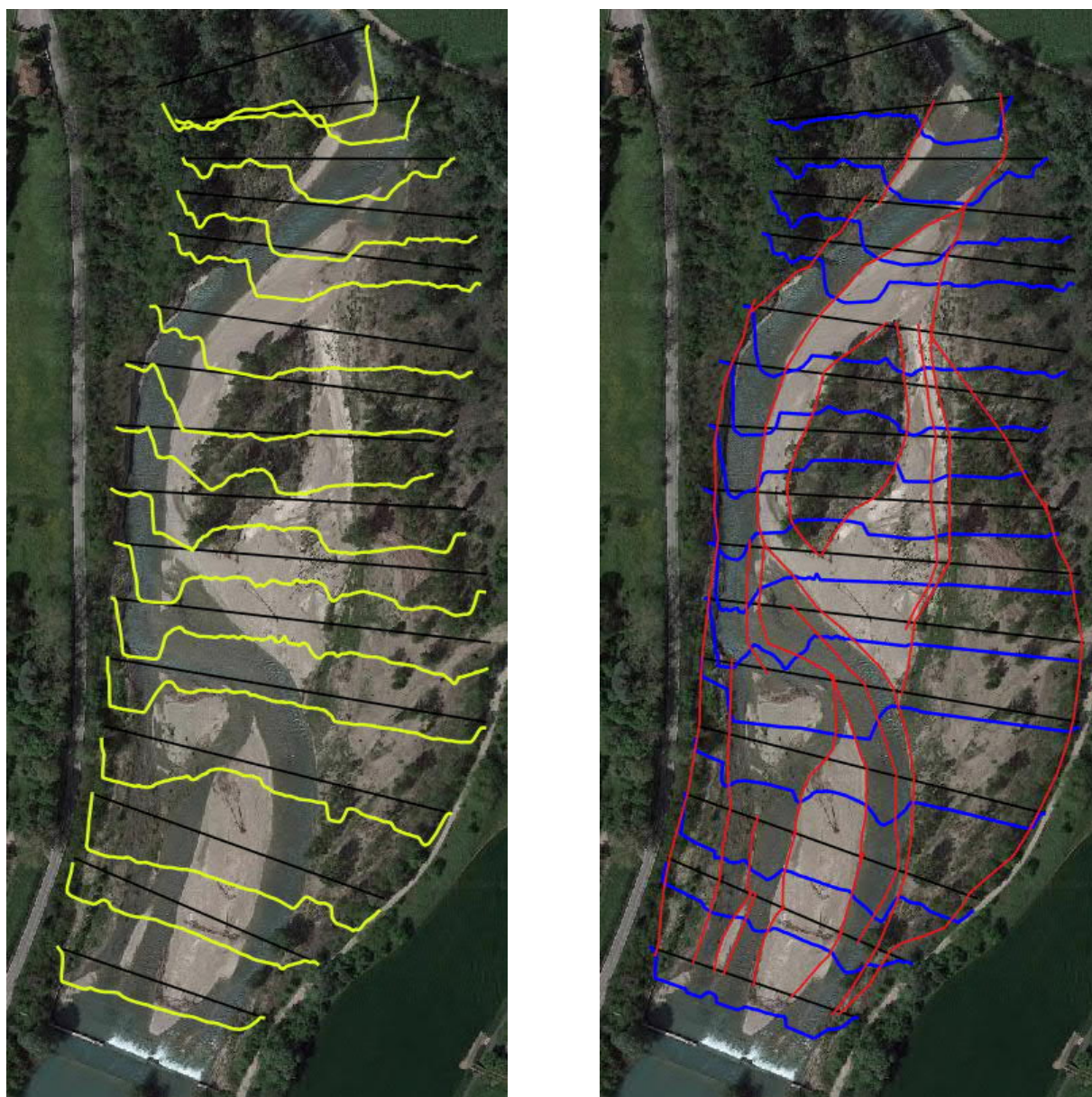


Figura 3.1 – In Sx sezioni estratte dal DTM AIPo 2008 sovrapposte all'ortofoto 2018, in Dx in rosso evidenziate le caratteristiche morfologiche identificabili dall'ortofoto, in blu le sezioni modificate per meglio rappresentare la situazione attuale.

La Figura 3.1 riassume la metodologia adottata. Innanzi tutto, sono state estratte dal DTM AIPo 2008 una serie di sezioni ad una distanza di circa 30 m. Sull'ortofoto sono state evidenziate le linee che identificano caratteristiche salienti della morfologia. Sulla base di tali linee le sezioni sono state modificate manualmente in modo da meglio rappresentare la morfologia attuale. Nelle modifiche è stata mantenuta la quota di fondo alveo, assumendo che, come per la sezione EN_65, questo non si sia modificato in modo apprezzabile

Le sezioni così ottenute sono state utilizzate come input al programma XS Interpolator (www.m3eweb.it/products/), realizzato dagli scriventi in collaborazione con M3E spin-off dell'Università di Padova. Il programma permette di interpolare le sezioni lungo linee preferenziali e di definire linee quotate che sono successivamente utilizzate per la creazione di DTM. Normalmente tale metodologia è utilizzata a partire da sezioni di rilievo, permettendo di ottenere un'informazione "continua" (DTM) da un'informazione "puntuale" (sezioni).

Nella figura seguente è riportato il confronto tra DTM originale e quello modificato.

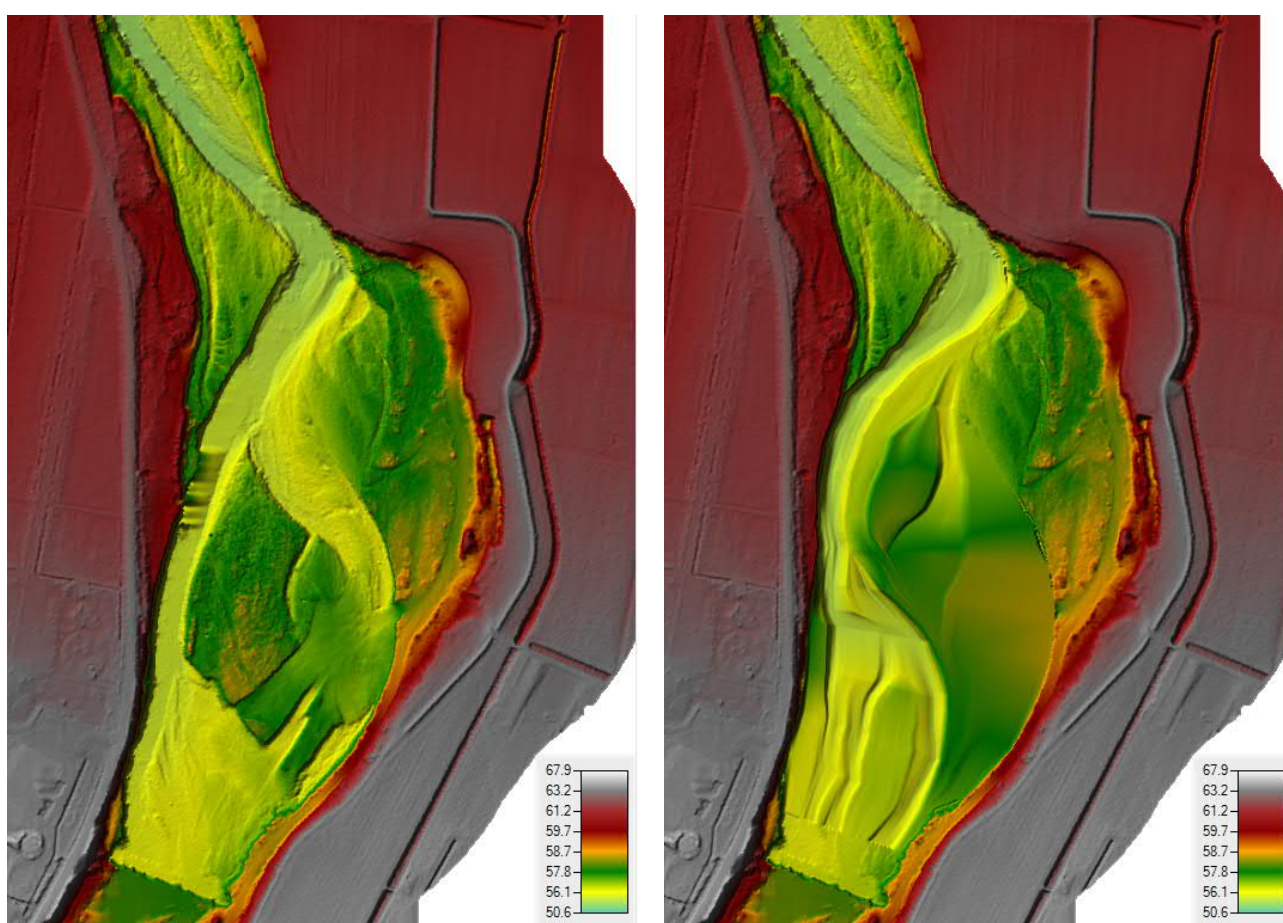


Figura 3.2 – A Sx DTM AIPo 2008, a Dx DTM modificato a rappresentare la situazione attuale.

4 Modello morfologico

4.1 Codice di calcolo

Per la verifica degli interventi previsti è stato utilizzato il codice di calcolo SRH-2D (version 3) sviluppato da: U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Technical Service Center Denver Colorado (USA), codice che si può scaricare gratuitamente da:

<https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/computer%20software/models/srh2d/index.html>

SRH-2D è un modello bidimensionale che risolve le equazioni del moto e del trasporto dei sedimenti in ambiti fluviali.

Le principali caratteristiche di SRH-2D sono:

- le equazioni idrodinamiche sono risolte in campo bidimensionale con la tecnica dei volumi finiti;
- possono essere simulate condizioni di moto stazionario o moto permanente;
- l'integrazione nel tempo è realizzata con uno schema implicito per ottenere una soluzione efficiente ed accurata;
- discretizzazione del dominio di calcolo con griglie non strutturate che possono includere sia elementi triangolari che quadrangolari;
- condizioni di corrente lenta, corrente rapida o di transizione possono essere simulati simultaneamente all'interno dello stesso dominio di calcolo;
- algoritmo di allagamento (asciugamento) accurato;
- possibilità di considerare nella simulazione diversi diametri della curva granulometrica;
- ogni classe di sedimenti considerata è simulata con le equazioni alle derivate parziali del trasporto (equazioni di trasporto diffusione), permettendo di considerare il trasporto in condizioni di non equilibrio;
- il fondo può essere schematizzato con vari livelli, ognuno dei quali con la sua curva granulometrica, è quindi possibile simulare gli effetti del corazzamento;
- scelta tra numerose formule di trasporto presenti in letteratura;
- il modello considera gli effetti delle correnti secondarie presenti nelle curve e della gravità;
- possono essere simulati sia sedimenti non coesivi che coesivi.

Il codice è stato largamente testato ed utilizzato, principalmente dagli sviluppatori, ed esistono diversi articoli nella letteratura scientifica dove sono presentati i risultati di casi test ed applicazioni a situazioni reali.

4.2 Mesh di calcolo

Per l'analisi dell'intervento a Sant'Ilario d'Enza è stato definito un dominio di calcolo con un'estensione di circa 800 m a partire da poco a valle della traversa (Figura 4.1 A). Il dominio di calcolo è stato suddiviso in elementi triangolari e quadrangolari, con maggior dettaglio in corrispondenza dell'alveo e dei tratti di intervento, dove sono da attendersi le maggiori variazioni del fondo. Nelle zone di dettaglio gli elementi hanno una larghezza tra 1 e 2 m ed una lunghezza di circa 10 m (Figura 4.1 B). Nella zona di incrocio tra l'alveo attuale e l'intervento gli elementi sono ancora più dettagliati per poter correttamente descrivere sia la situazione attuale che quella di

intervento (Figura 4.1 C). Infatti, è stata definita un'unica mesh sia per la situazione attuale che di intervento in modo da rendere più semplici i confronti tra i risultati.

Il dominio di calcolo copre un'area di circa 13 ha ed è suddiviso in 6205 elementi definiti da 5327 nodi.

I nodi della mesh sono stati quotati sulla base del DTM ricostruito come illustrato nel capitolo 3



Figura 4.1 – Mesh di calcolo, A) intero dominio, B) dettaglio della zona di monte, C) dettaglio nella zona in cui l'alveo attuale incrocia l'intervento.

4.3 Granulometria

Per il calcolo del trasporto solido è necessario definire la granulometria in tutto il dominio di calcolo. AIPo ha eseguito un campionamento per definire le caratteristiche granulometriche dei sedimenti presenti, i campioni sono stati prelevati immediatamente a valle della confluenza dei due filoni di corrente che partono dalla traversa (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Posizione del campionamento per la definizione della granulometria

Sul sito di campionamento è stata fatta un'analisi della granulometria di superficie con tecnica fotografica e processamento dell'immagine e prelevati 2 campioni: uno superficiale e uno a profondità di 1 m per l'analisi con setacciatura.

L'analisi fotografica evidenzia il corazzamento dello strato superficiale causato dall'asportazione della parte di sedimento più fine causato dalla capacità di trasporto della corrente idrica che ha interessato la zona.

Nella tabella e grafico seguenti sono riportate le curve granulometriche ottenute.

Tabella 4.1 – Curve granulometriche dei campioni prelevati

D [mm]	Passante [%]	
	Superficiale	Profondità 1 m
0.063	0.3	0.4
0.125	0.7	0.7
0.25	1.6	0.7
0.5	4.1	5.4
1	5.6	11.1
2	7.4	19.8
4	9.0	21.9
6.3	11.0	24.5
8	12.1	26.5
10	13.5	28.5
12.5	14.8	30.7
14	15.9	31.7

D [mm]	Passante [%]	
	Superficiale	Profondità 1 m
16	17.0	33.3
20	19.3	36.9
31.5	26.9	42.0
40	32.6	49.8
63	39.8	56.1
80	46.7	61.2
125	49.8	66.3
180	56.5	75.6
256	100.0	100.0

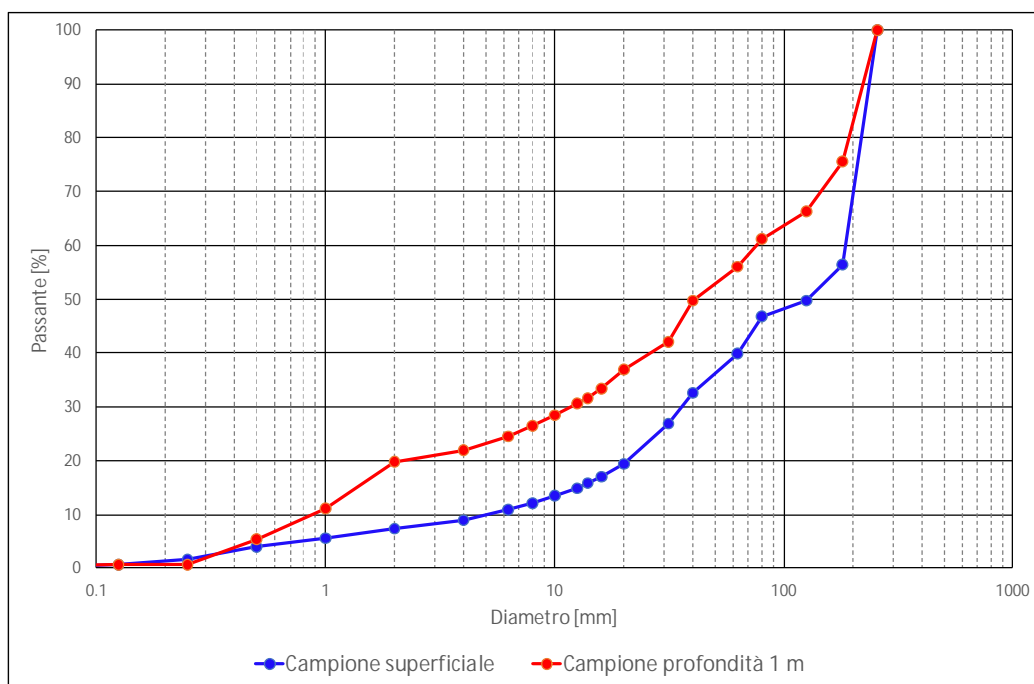


Figura 4.3 – Curva granulometrica ottenuta per setacciatura dei campioni prelevati.

L'analisi evidenzia una granulometria più grossolana nella parte superficiale con un D_{50} di circa 125 mm, contro un D_{50} di circa 40 mm a profondità 1 m. Questa caratteristica era già in parte stata messa in evidenza dall'analisi fotografica dello strato superficiale. Il punto di campionamento, anche se effettuato in asciutto, sembra caratteristico dell'alveo di magra, probabilmente la zona è interessata per deflussi poco superiori a quelli presenti alla data del prelievo, che sono in grado di asportare buona parte dei sedimenti compresi tra 0.5 e 2 mm, si noti infatti che lo scostamento tra le 2 curve avviene in corrispondenza di queste 2 granulometrie, per diametri superiori a 2 mm, le curve mantengono una distanza all'incirca costante.

Si è preferito pertanto caratterizzare l'intero dominio di calcolo con la granulometria definita dal campione di profondità 1 m, lasciando che il modello, attraverso le prime piene, effettui il corazzamento, evidenziato dalle analisi, nelle zone di deflusso principale.

Nel modello sono state utilizzate 5 classi di sedimenti, infatti il tempo di calcolo dipende direttamente dal numero di classi granulometriche simulate, quindi si deve trovare il giusto compromesso tra accuratezza e tempi di calcolo. Le classi utilizzate, con le relative percentuali, sono riportate nella tabella seguente.

Tabella 4.2 – Classi granulometriche considerate nel modello e distribuzione iniziale di tali classi.

Classe D [mm]	[%]
0.25-4	21.9
4-16	11.4
16-64	22.8
64-128	10.2
128-256	33.7

4.4 Condizioni al contorno

4.4.1 Portate liquide a monte

L'evoluzione morfologica è legata alla successione di piene, magre e morbide che si susseguono lungo un ampio intervallo di tempo. In un modello bidimensionale non è possibile simulare in continuo diversi anni se si vogliono contenere i tempi di calcolo entro limiti ragionevoli (1-3 giorni).

Per la definizione delle portate liquide è stata considerata la serie idrologica 2011-2015 ottenuta con la catena modellistica Topkapi-Sobek per l'incarico "Gestione del sistema di modellistica idraulica per la previsione e controllo delle piene fluviali dell'asta principale del fiume Po - Manutenzione straordinaria ed aggiornamento del sistema di previsione in tempo reale" affidato da AIPo all'ATI Progea Hydro Nova. La catena modellistica è stata calibrata e verificata sull'intera serie 2000-2015.

Dalle portate in continuo degli anni 2011-2015 sono state individuate tutte le piene con valore al colmo superiore a 50 m³/s. Per ogni piena individuata è stato considerato il periodo in cui le portate sono superiori a 20/25 m³/s. L'idrogramma di input è stato generato mettendo in successione le piene così individuate.

L'idrogramma così ottenuto ha una durata di 4260 ore (177 giorni) ed è riportato nella figura seguente.

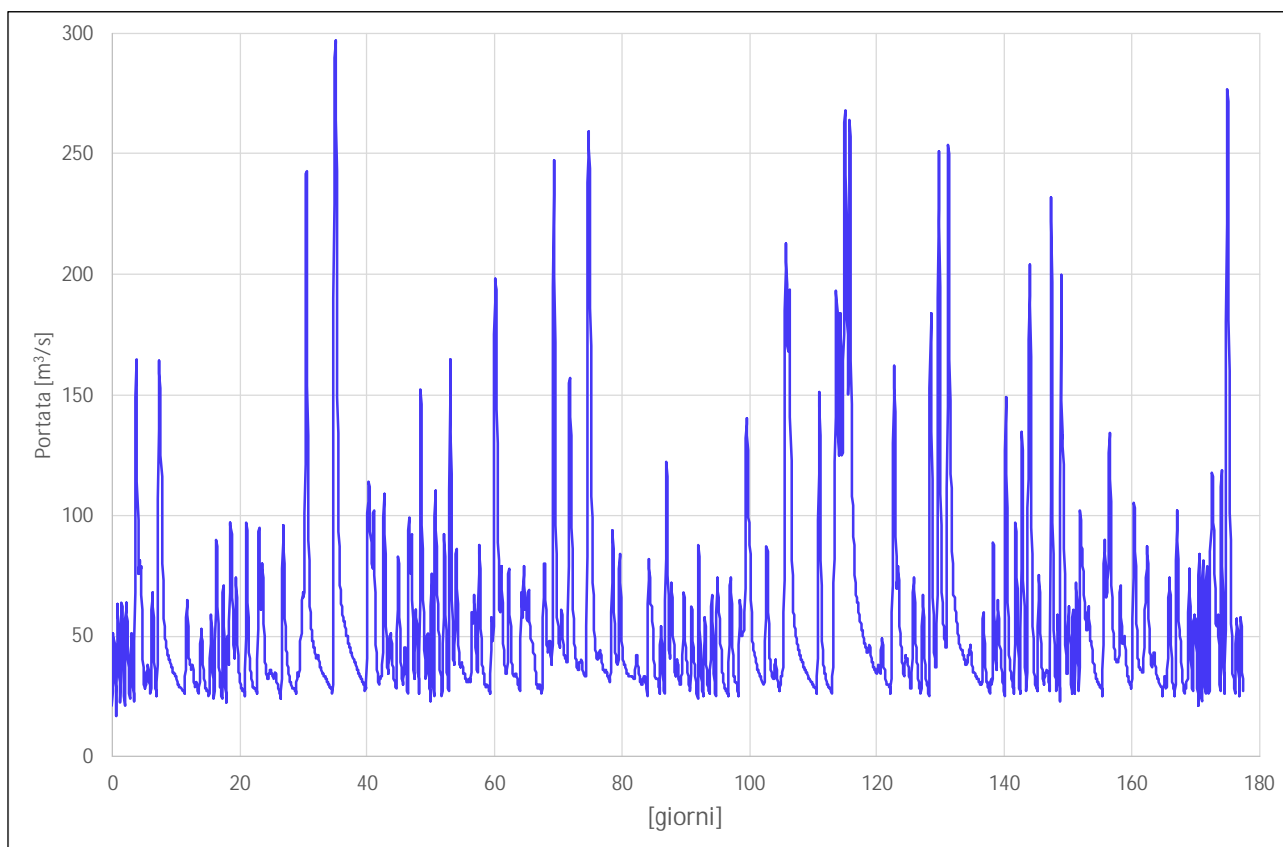


Figura 4.4 – Portate liquide considerate nella simulazione.

4.4.2 Livelli a valle

Come condizione di valle è stata utilizzata la scala di deflusso ottenuta dal modello idraulico complessivo dell'Enza tra San Polo d'Enza e Sorbolo per la sezione di valle del modello morfologico. La scala di deflusso è riportata nella figura seguente.

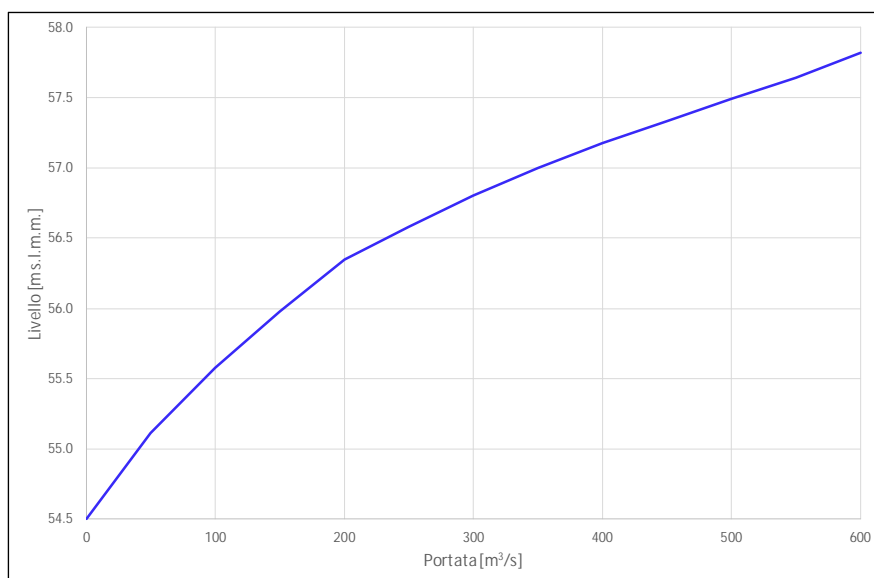


Figura 4.5 – Scala di deflusso imposta come condizione al contorno di valle.

4.4.3 Scabrezza

La scabrezza è stata definita secondo la formulazione di Manning imponendo i valori definiti nel modello tarato da San Polo d'Enza a Sorbolo. Sono state definite tre diverse coperture:

- Alveo, $k_s=0.045 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Golena, $k_s=0.060 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- Zone boscate, $k_s=0.10 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$

La distribuzione delle aree è riportata nella figura seguente.



Figura 4.6 – Definizione della scabrezza all'interno del dominio di calcolo.

4.4.4 Formula di trasporto

SRH-2D implementa diverse formule di trasporto, ovviamente ogni formula ha un ben definito campo di validità rispetto alla granulometria presente.

Le formule implementate in SRH2D che meglio si applicano alla granulometria rilevata sono:

- Parker (1990)
- Wilcox and Crowe (2003)
- Meyer-Peter and Muller (1948) modificata da Wong and Parker (2006)

Test preliminari hanno evidenziato come l'applicazione delle tre formule porti a risultati del tutto simili.

Per le simulazioni definitive è stata scelta la formulazione di Meyer-Peter and Muller modificata da Wong and Parker, che aveva fornito, per un caso analogo, la miglior corrispondenza con i dati misurati.

La formulazione originaria di Meyer-Peter and Muller è:

$$\frac{q_b}{\sqrt{g(s-1)d^3}} = 8 \left(\frac{(k_s/k_r)^{3/2} \gamma R_H i}{(\gamma_s - \gamma)d} - 0.047 \right)^{3/2}$$

dove:

q_b = volume di trasporto per unità di larghezza

γ e γ_s = peso specifico dell'acqua e dei sedimenti

s = densità relativa

i = pendenza della linea dell'energia

R_H = raggio idraulico

k_s = coefficiente di scabrezza di Strikler

$k_r = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$ = coefficiente di scabrezza di Muller

Wong e Parker rianalizzando i dati utilizzati da Meyer-Peter e Muller scoprirono che la correzione della pendenza della linea dell'energia ($k_s/k_r i$) non è necessaria. La formulazione modificata da loro suggerita è:

$$\frac{q_b}{\sqrt{g(s-1)d^3}} = 3.97 \left(\frac{R_H i}{(s-1)d} - 0.0495 \right)^{3/2}$$

ed è la formula implementata in SRH-2D

4.4.5 Portate solide a monte

Le portate solide che vengono trasportate durante le piene non dipendono solamente dalla capacità di trasporto della corrente, ma, soprattutto per la parte più fine, dalla natura dell'evento su tutto il bacino imbrifero. È pertanto molto più difficile definire la portata solida, anche in presenza di una buona stima della portata liquida.

Nella presente analisi per la definizione della portata solida è stato utilizzato il modello. Innanzitutto, è stata fatta girare una simulazione per l'intera serie idrologica adottata definendo come portata solida di input quella determinata dal modello sulla base della formula di trasporto adottata, assumendo che la sezione di monte sia in equilibrio e quindi non si abbia erosione e/o deposito. In questa simulazione la granulometria dell'alveo del primo tratto è stata imposta pari a quella del campione di superficie (cfr. paragrafo 4.3). Assumere che il trasporto sia direttamente collegato solo alla capacità di trasporto in condizioni di equilibrio limita la variabilità del trasporto anche all'interno della stessa piena, per ovviare in parte a questo problema dai risultati del modello è stata estratta la serie di portate solide in uscita dal modello. Questa serie è stata utilizzata per le successive simulazioni ed è riportata nel grafico seguente.

La Figura 4.8 riporta la relazione delle portate liquide e solide per gli eventi simulati.

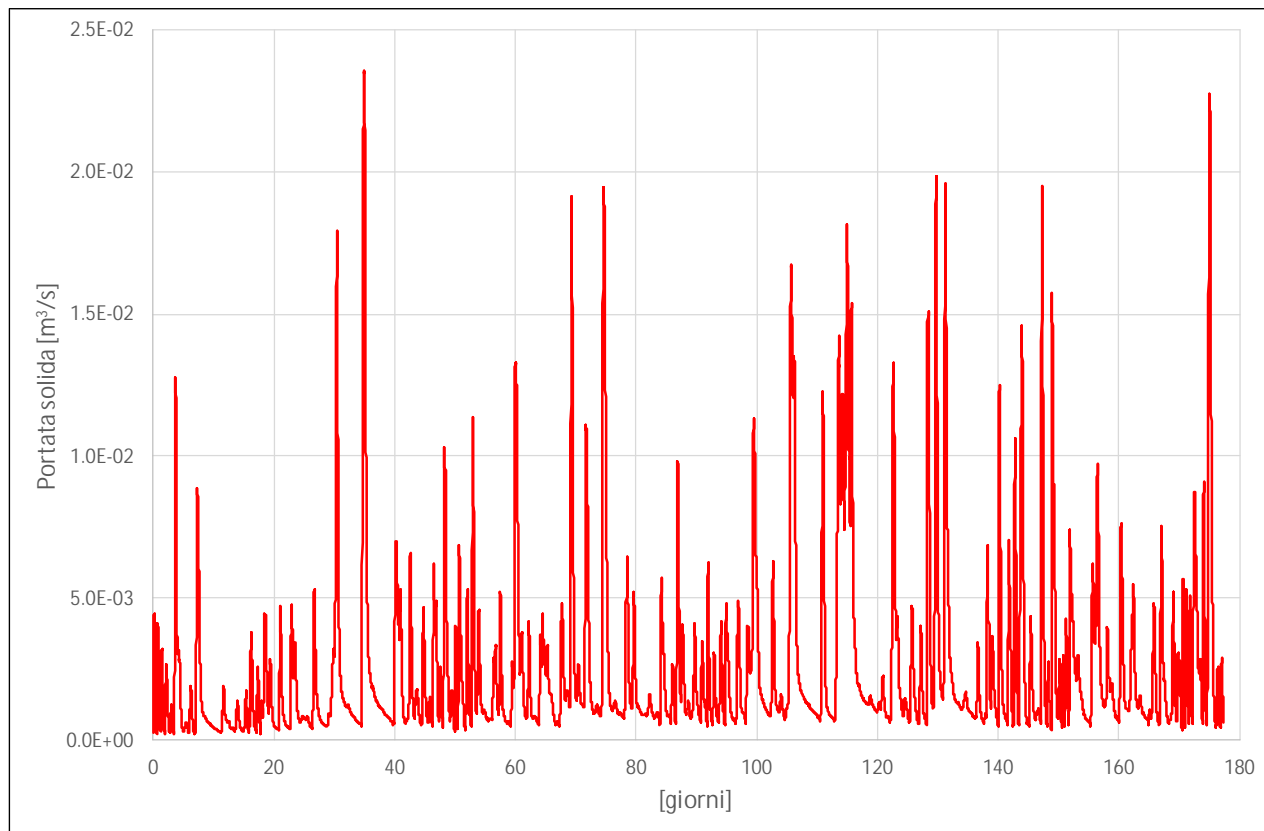


Figura 4.7 – Idrogramma delle portate solide utilizzate come input del modello.

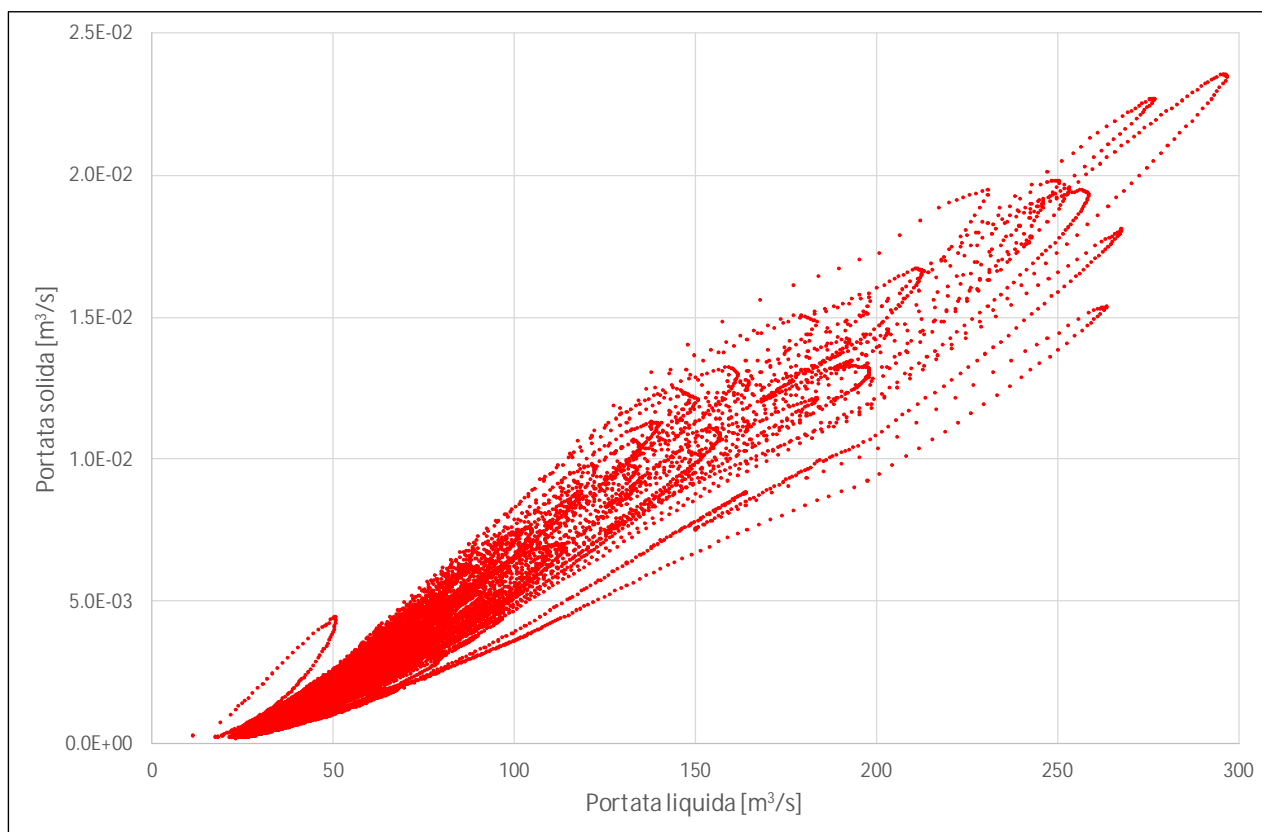


Figura 4.8 – Relazione tra portate liquide e solide per gli eventi simulati.

4.5 Scenari

Con il modello sono stati simulati 3 scenari diversi:

- Scenario attuale;
- Intervento Fase I;
- Intervento Complessivo.

Lo Scenario attuale serve come riferimento per valutare le modifiche indotte dagli interventi. Infatti, come visto nei capitoli precedenti, la batimetria di partenza si basa su un DTM datato a cui sono state apportate delle modifiche per renderlo più aderente alla situazione attuale. È stata utilizzata un'unica granulometria per definire tutto il dominio di calcolo, lasciando che il modello adatti, nelle varie zone, la curva granulometrica all'idrodinamica sulla base della formula di trasporto adottata. Infine, l'input idrodinamico ma soprattutto di trasporto non è detto che sia in equilibrio con la conformazione adottata per l'alveo.

Una corretta valutazione dell'impatto degli interventi è quindi fatta confrontando i risultati dello Scenario attuale con quelli degli interventi, adottando per le simulazioni le stesse condizioni al contorno.

Nell'intervento di Fase I si prevede lo scavo del solo canale di monte, mentre per l'intervento Complessivo si prevede lo scavo anche del canale più di valle (Fase II nella Figura 4.9). Per ogni scenario la condizione iniziale (batimetria e granulometria) è identica tranne che per lo scavo dei canali. Nello scenario Complessivo pertanto non si utilizza la condizione derivante dall'evoluzione

dello scenario di Fase I, ma di fatto si considera che l'intervento venga appunto realizzato complessivamente.

Nella Figura 4.9 sono individuati gli interventi e le sezioni e i profili in cui è stato effettuato il confronto dei risultati.

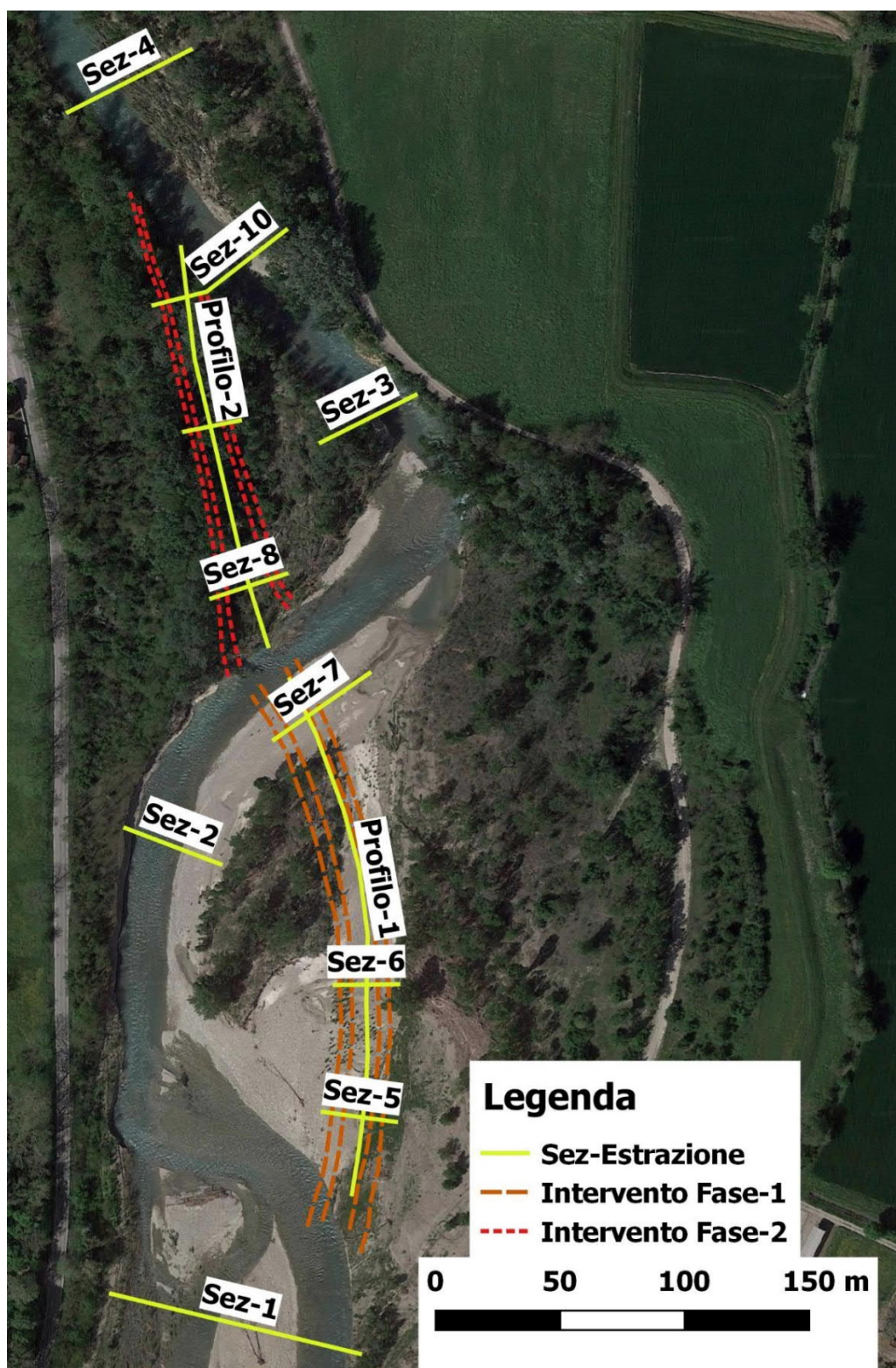


Figura 4.9 – Posizione delle sezioni e dei profili estratti per i confronti.

4.5.1 Scenario attuale

La simulazione dello Scenario attuale serve a verificare se il modello fornisce una risposta attendibile sull'evoluzione morfologica del dominio simulato e quindi come base di confronto per i due scenari di intervento.

La Figura 4.10 riporta il profilo iniziale e finale della sezione 1, posta poco a valle della traversa. Si nota come l'evoluzione porti ad approfondire l'alveo in sinistra ed a interrare i due canali in destra. Tale evoluzione sembra rispecchiare quella deducibile dalle immagini storiche (cfr. capitolo 2 e da Figura 2.2 a Figura 2.6). La Figura 4.11 riporta l'evoluzione nel tempo del thalweg della sezione 1, si noti come il D_{50} si porti "velocemente" a valori oltre 80 mm e poi oscilli in fasi diversi tra 80 e 140 mm in accordo con quanto rilevato nel campione superficiale (cfr. paragrafo 4.3).

La sezione 2 risulta sostanzialmente stabile con un leggero adattamento, anche in questo caso il D_{50} si porta sui valori misurati superficialmente, Figura 4.12 e Figura 4.13.

Interessante notare l'evoluzione determinata dal modello nella sezione 3 che si trova in corrispondenza della curva. Il profilo finale risulta più naturale per una sezione in curva, con approfondimento all'esterno e deposito all'interno, Figura 4.14.

Analoga evoluzione si ha nella sezione 4, anche questa in un tratto leggermente in curva, Figura 4.16.

La Figura 4.18 e la Figura 4.19 rappresentano rispettivamente la batimetria iniziale e alla fine del periodo di simulazione dello Scenario attuale. Nella Figura 4.20 è riportata la condizione complessiva di erosione/deposito nell'intero dominio di calcolo. Si nota nel tratto terminale una generalizzata tendenza al deposito che appare principalmente legata ad imprecisioni del DTM che in quel tratto presenta un profilo in contropendenza. Si è preferito non modificare il DTM assumendo che questo effetto è di fatto una forzante peggiorativa nell'analisi degli interventi, in quanto il deposito riduce il gradiente idraulico e quindi le velocità e capacità di trasporto anche nel tratto immediatamente a monte.

La distribuzione superficiale del D_{50} al termine del periodo di simulazione è riportata in Figura 4.21, questa risulta in accordo con il valore rilevato per il campione superficiale (125 mm), infatti nelle zone di alveo di magra il suo valore varia tra 80 e 120 mm e in ampie zone supera i 120 mm. Si rammenta che come condizione iniziale era stata posta una distribuzione granulometrica con un D_{50} pari a 45 mm.

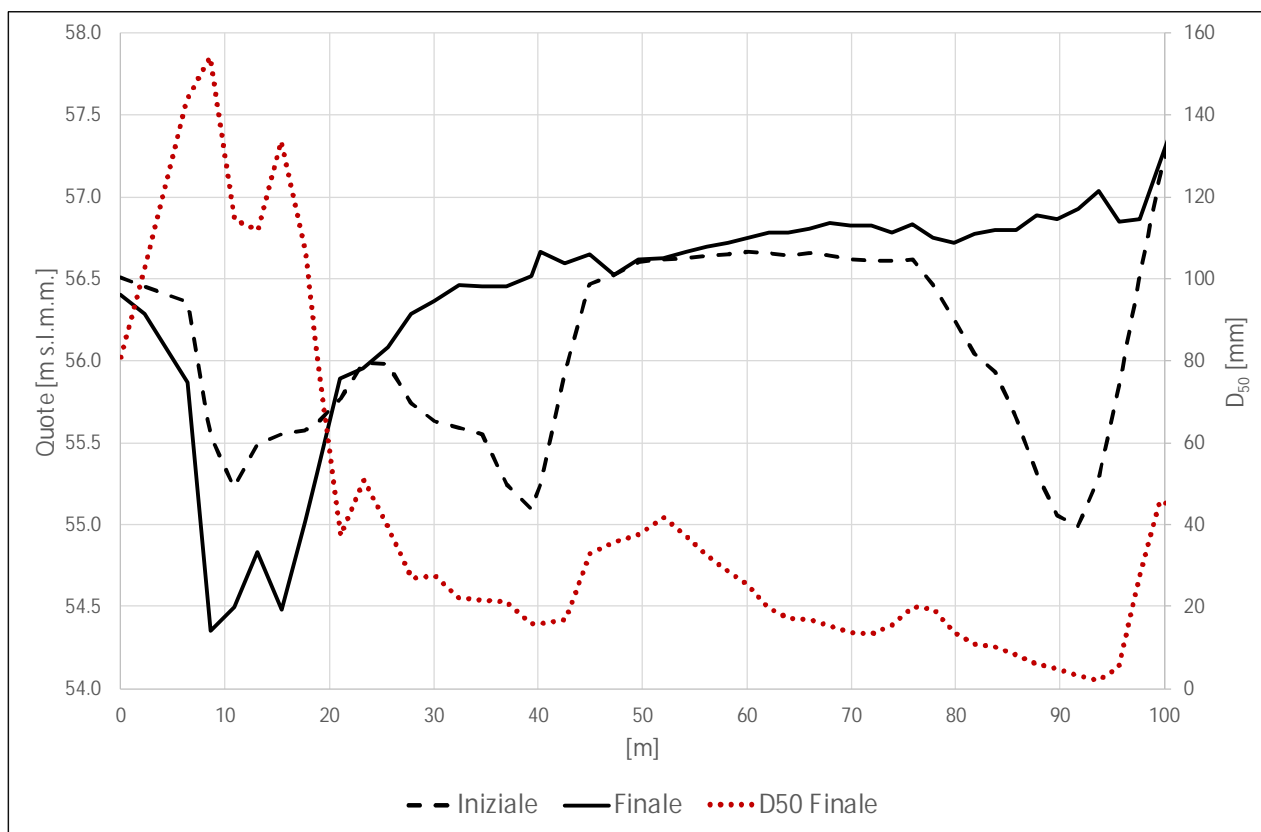


Figura 4.10 – Evoluzione della sezione 1.

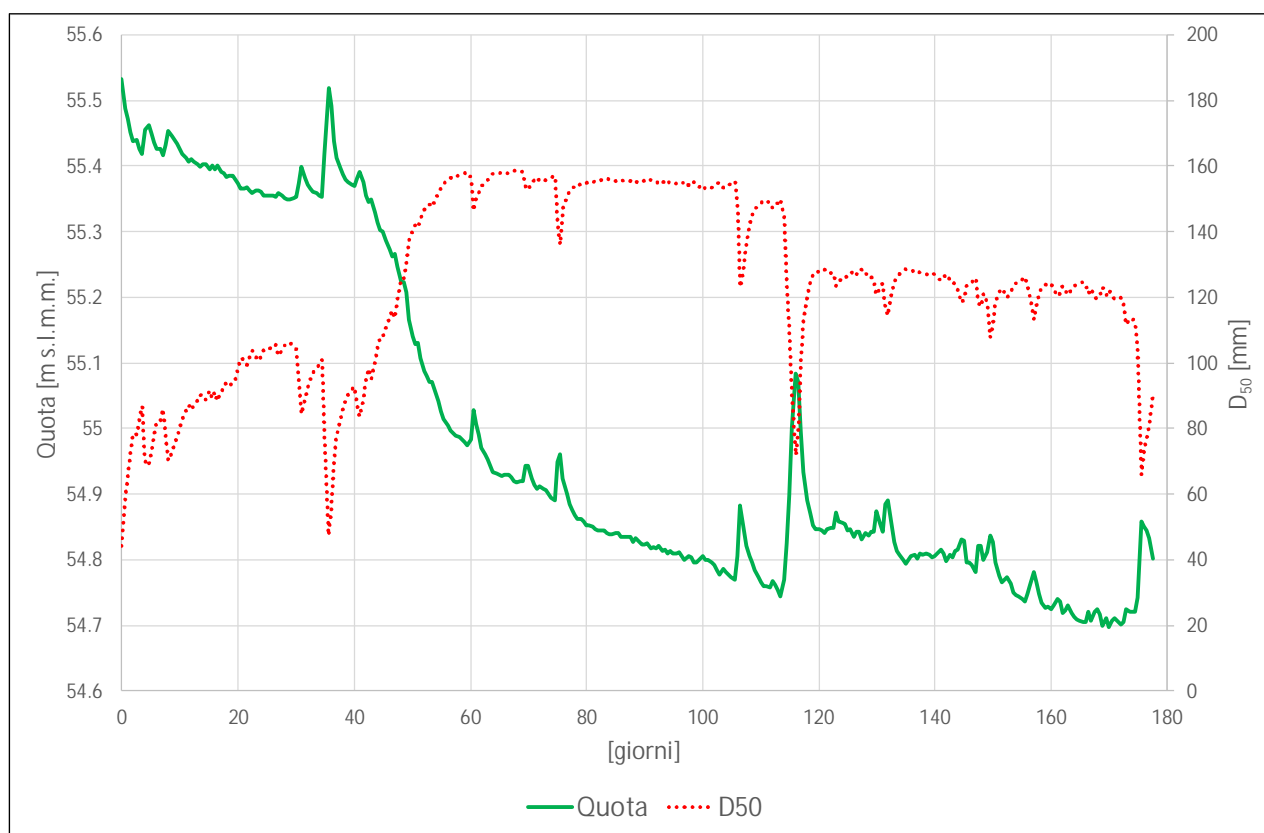


Figura 4.11 – Evoluzione thalweg sezione 1.

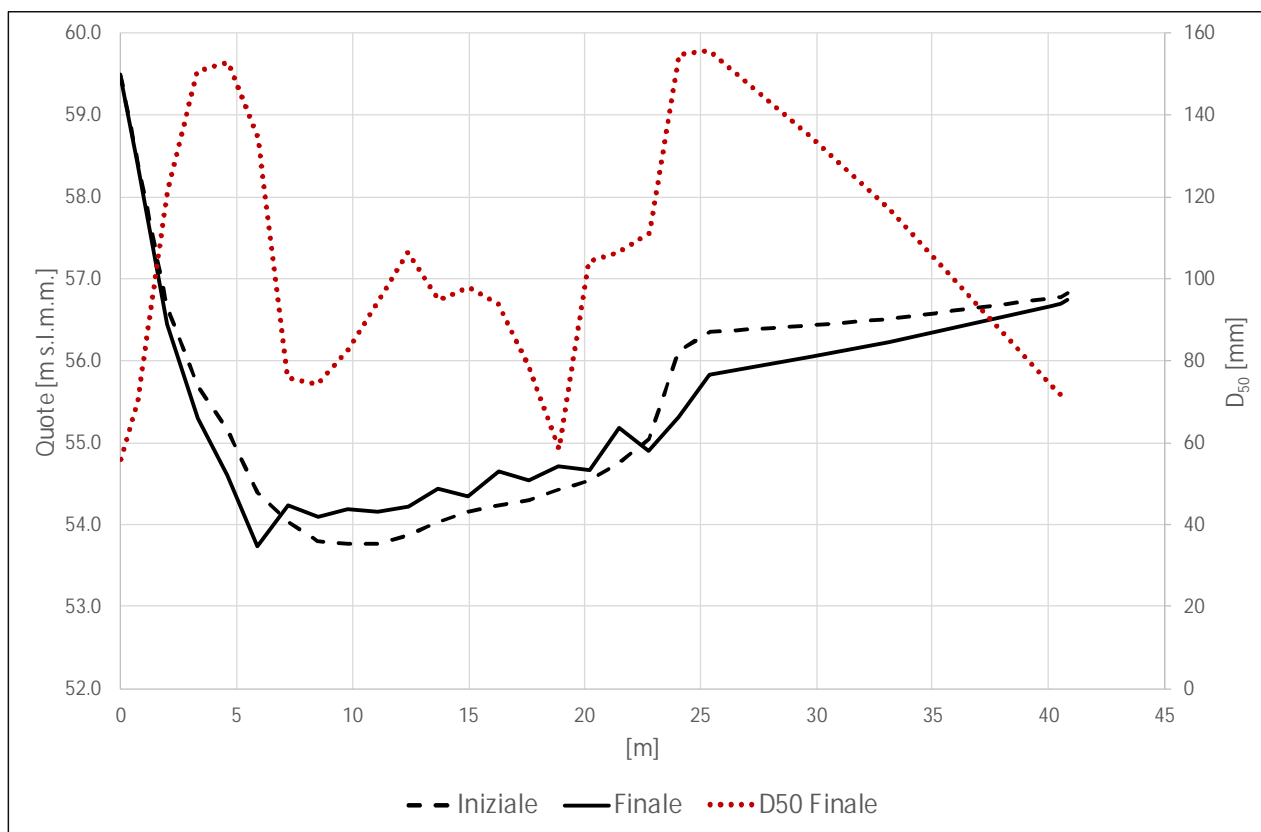


Figura 4.12 - Evoluzione della sezione 2.

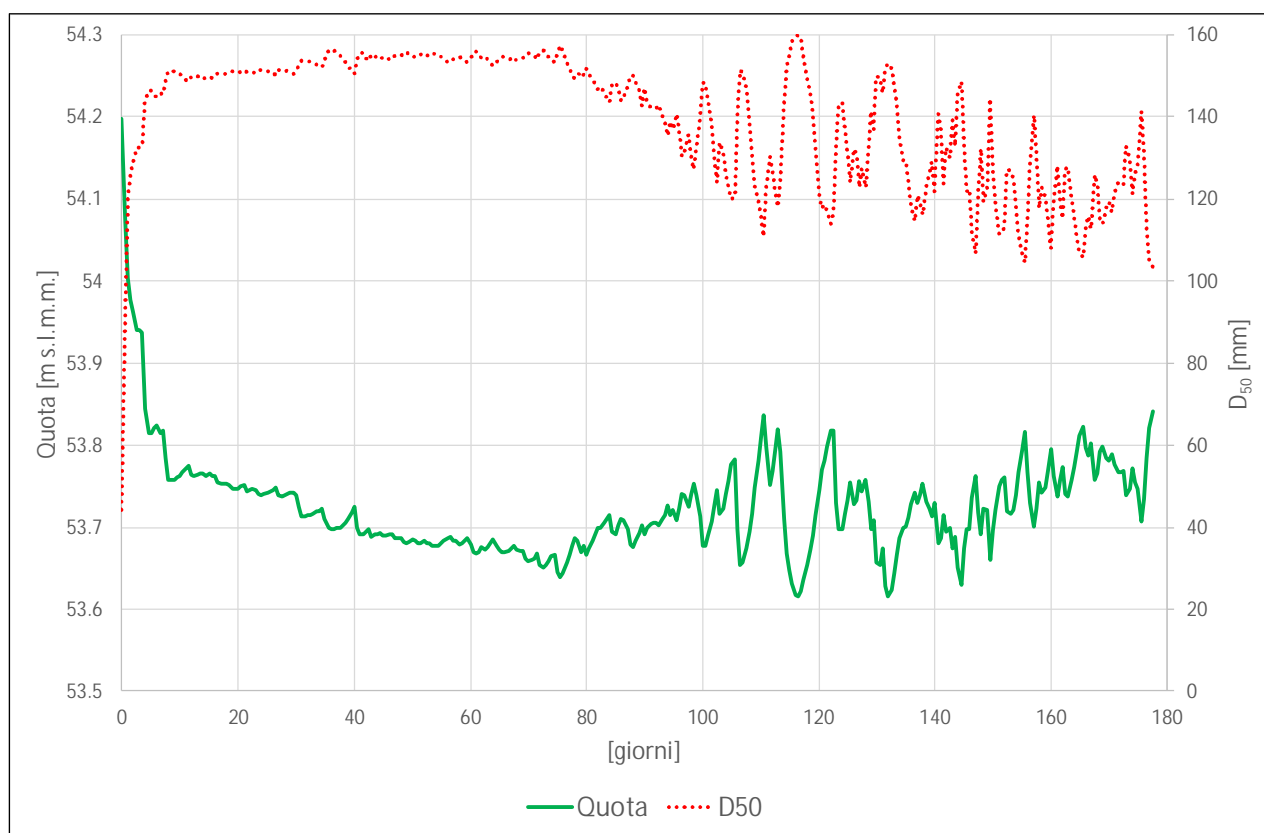


Figura 4.13 – Evoluzione thalweg sezione 2.

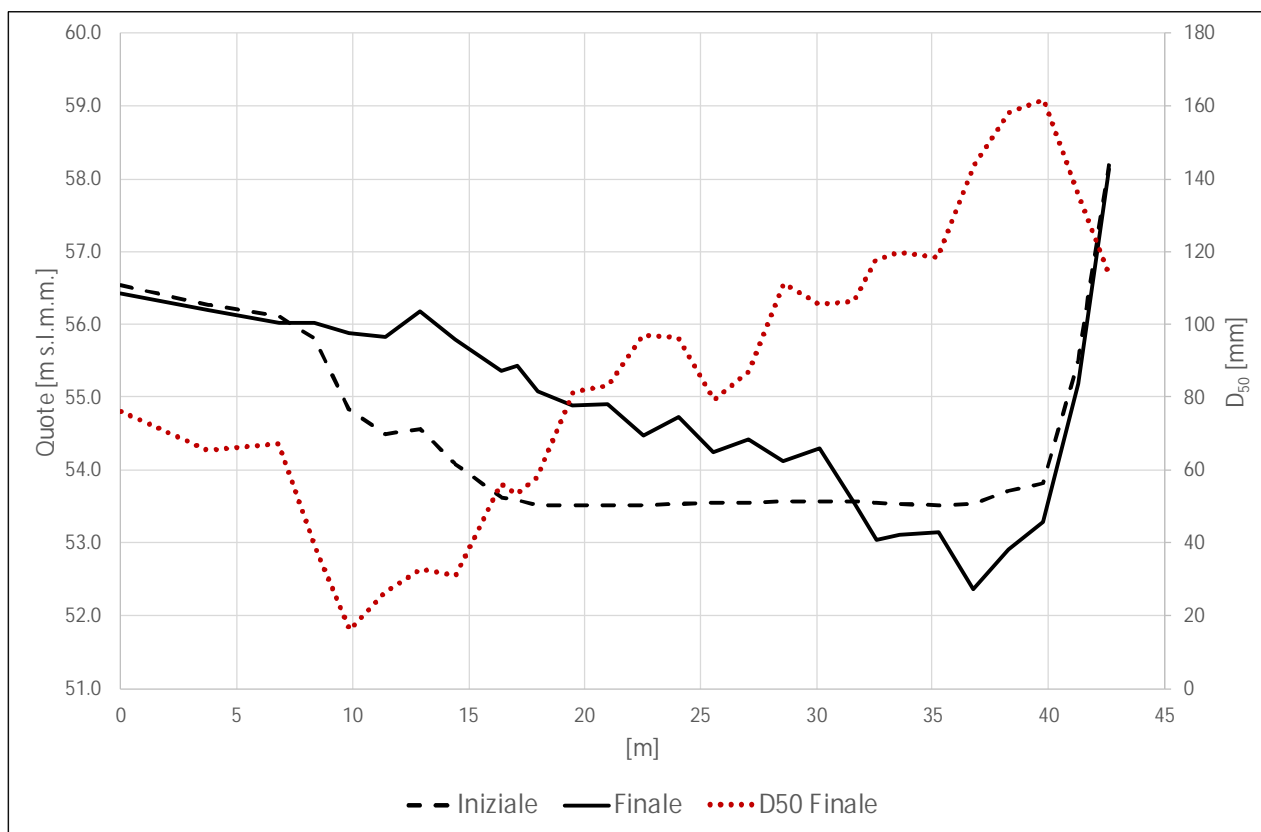


Figura 4.14 - Evoluzione della sezione 3.

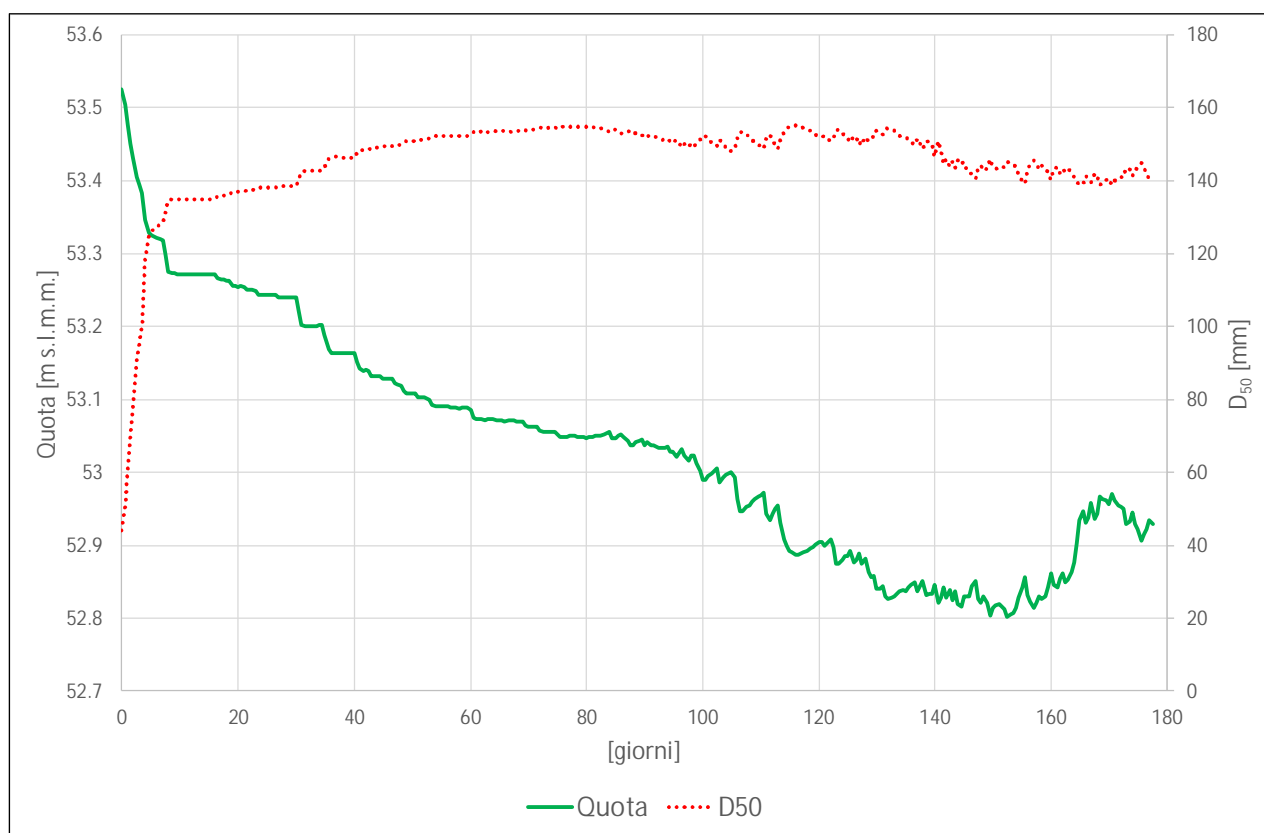


Figura 4.15 – Evoluzione thalweg sezione 3.

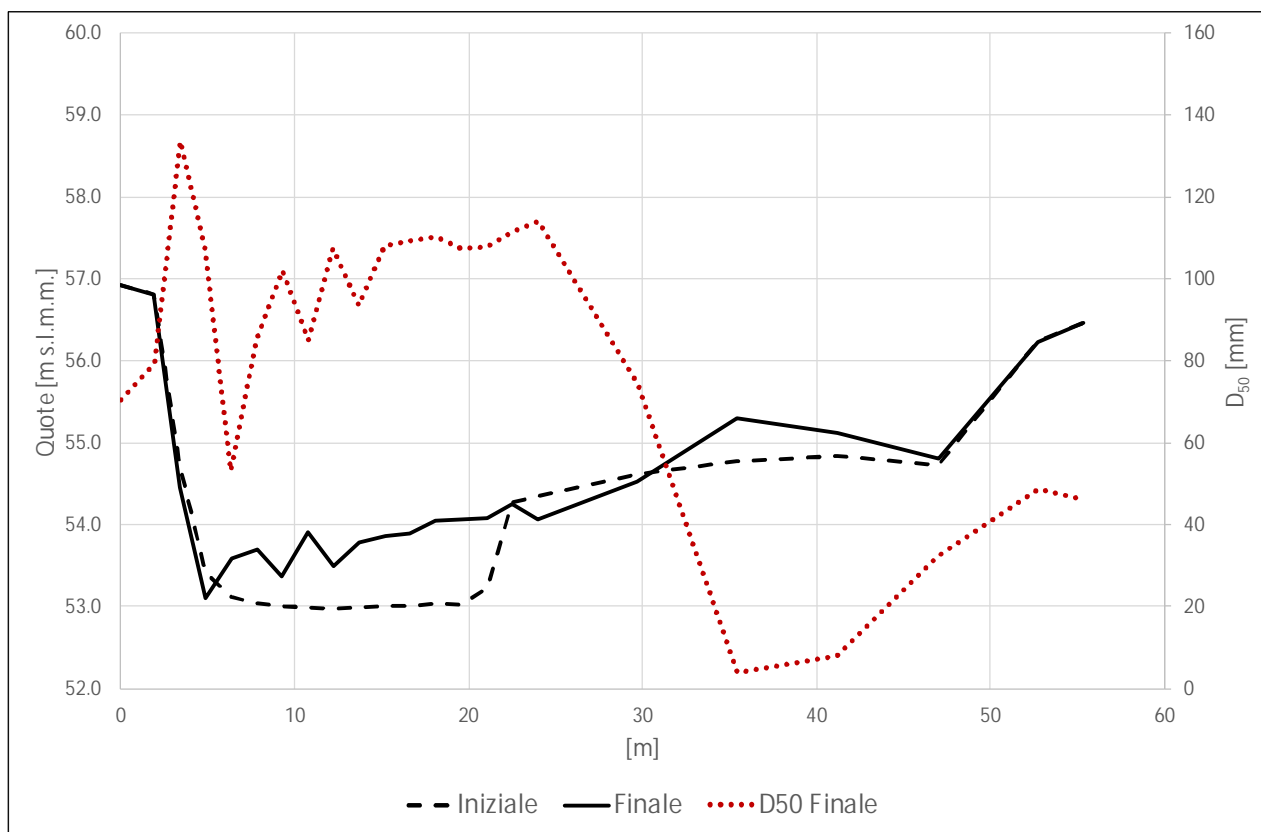


Figura 4.16 - Evoluzione della sezione 4.

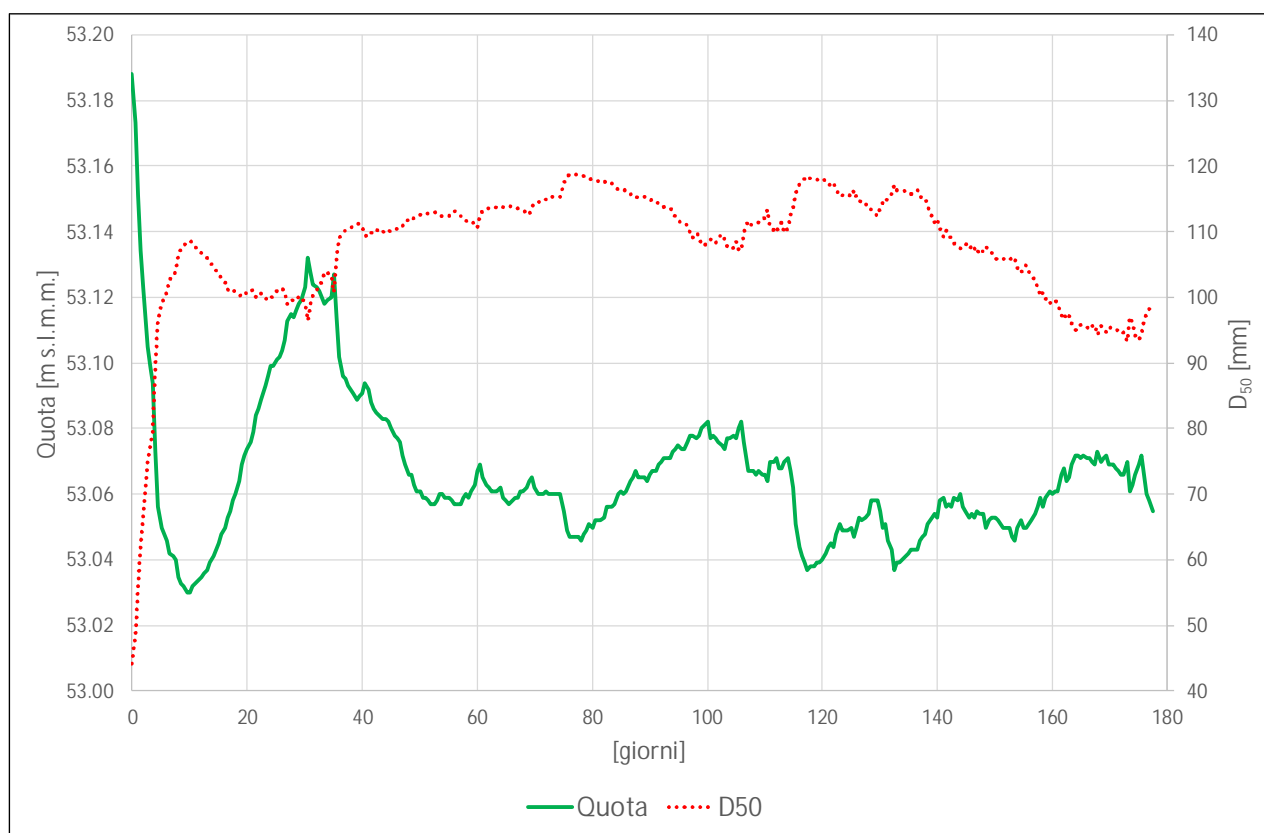


Figura 4.17 – Evoluzione thalweg sezione 4.

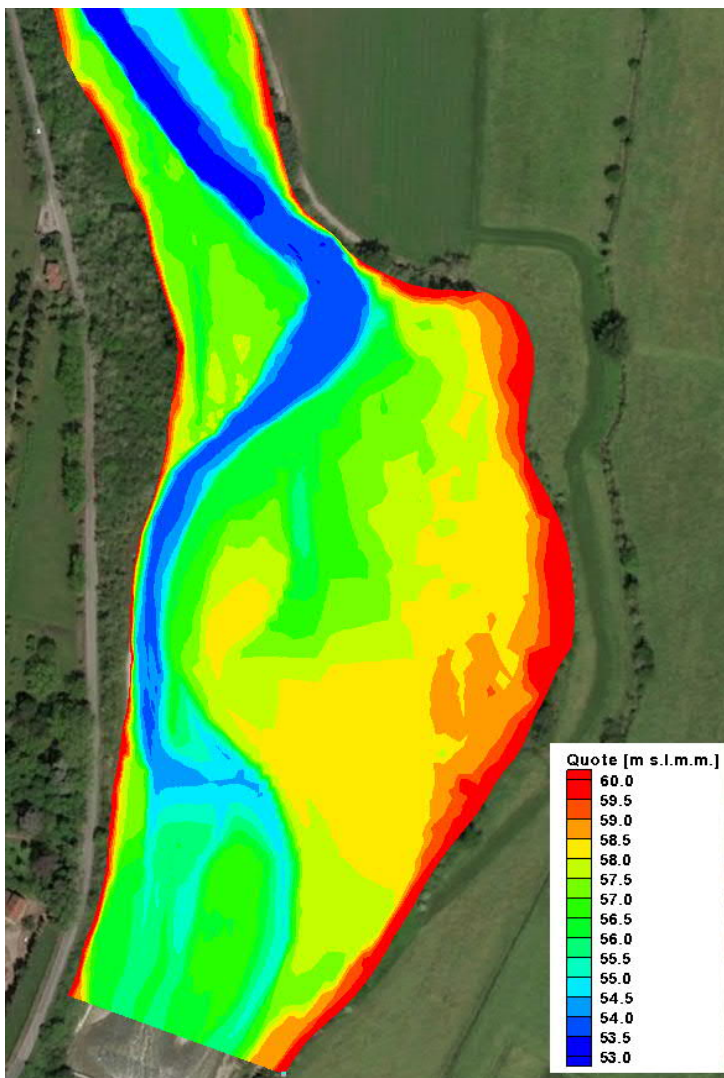


Figura 4.18 – Scenario attuale, batimetria iniziale.

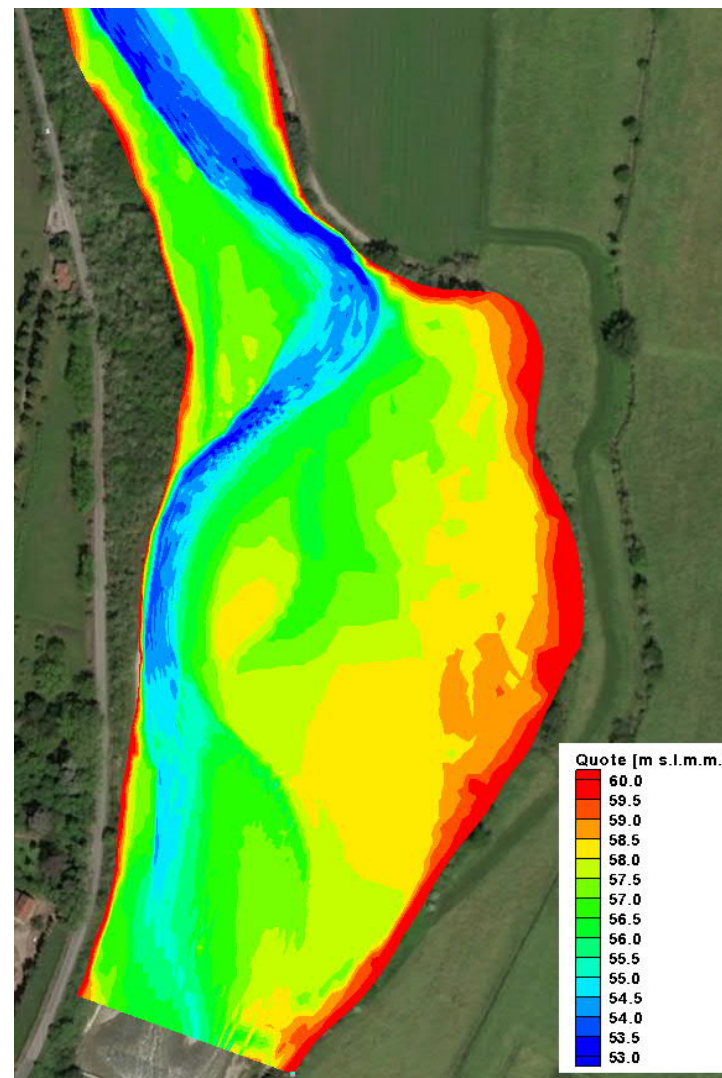


Figura 4.19 – Scenario attuale, batimetria finale.

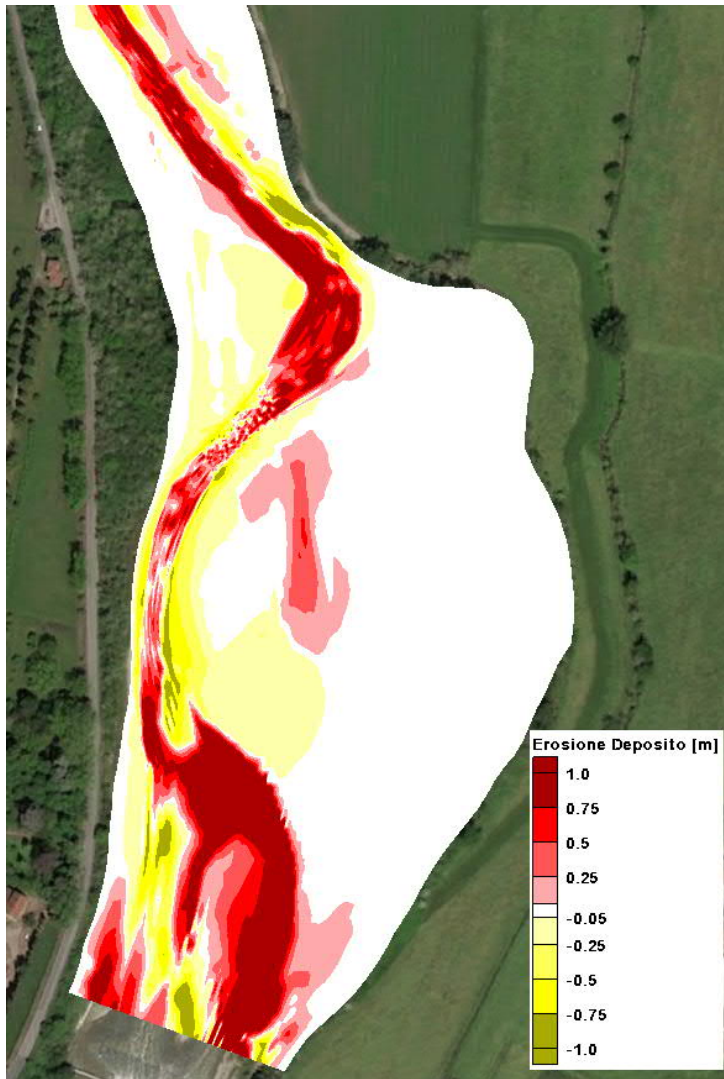


Figura 4.20 – Scenario attuale, erosione/deposito

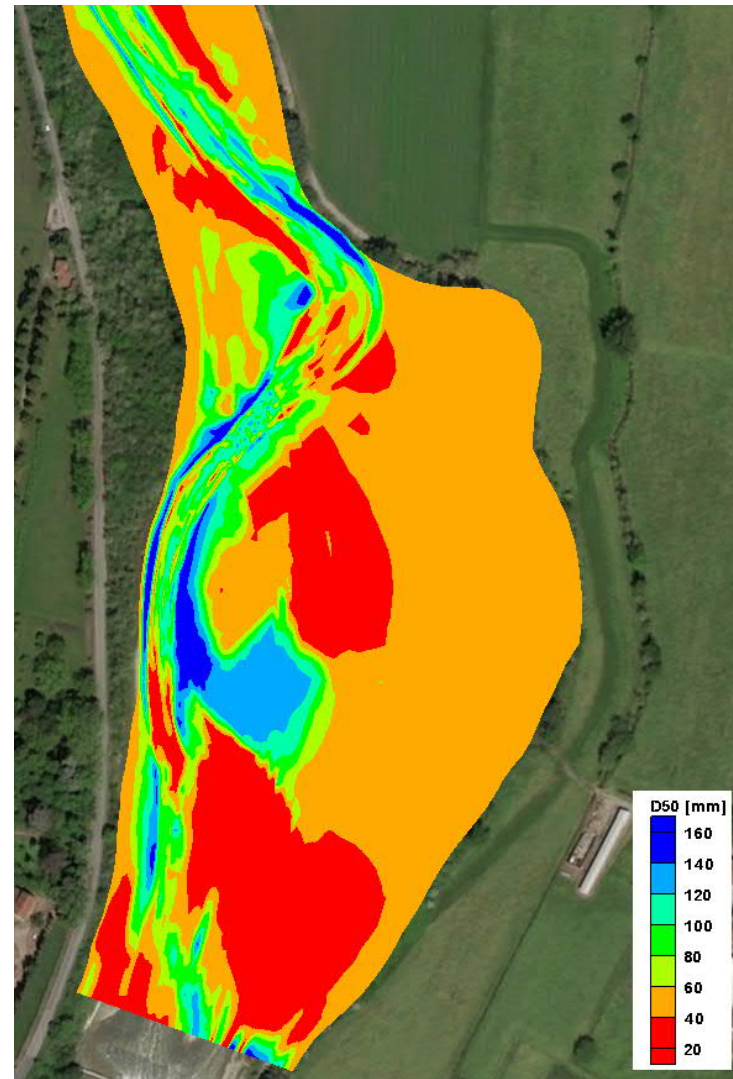


Figura 4.21 – Scenario attuale, D_{50} finale.

4.5.2 Intervento Fase I

L'intervento di Fase I consiste nello scavo di un canale in destra per allontanare i deflussi principali dalla sponda sinistra ed evitare la progressiva erosione che minaccia la stabilità della strada. Il canale ha una larghezza alla base di circa 10 m e pendenza delle sponde 2/3. Le quote di inizio e fine canale sono poste pari a quelle definite dal DTM, dando pendenza del fondo costante tra queste quote.

Simulazioni preliminari hanno indicato che l'evoluzione continua a privilegiare il canale in sinistra con tendenza a "chiudere" il canale scavato in destra, come di fatto risulta anche dall'analisi delle immagini storiche.

Per questo motivo nella batimetria iniziale del modello di Fase I è stato chiuso il canale di sinistra, nella Figura 4.33 sono riportate le zone di scavo e riporto dell'intervento e la batimetria iniziale utilizzata. Da sottolineare che non è stata fatta un'analisi precisa di compensazione tra volumi di scavo e riporto, ma si è solo imposto al modello di escludere flussi di magra e morbida nell'attuale tracciato dell'alveo di magra, pareggiando, per un tratto di circa 35 m, le quote dell'alveo attuale con le sponde. Per favorire la nuova conformazione dovranno pertanto essere utilizzati tutti i sedimenti derivanti dallo scavo per la chiusura del canale attuale.

Lo scavo del canale è la prima parte dell'intervento complessivo, che prevede il proseguimento del canale a tagliare il meandro di valle. Nelle simulazioni è stato previsto che, anche se non viene eseguito lo scavo del secondo canale, venga effettuata la ripulitura dalla vegetazione sulla fascia in cui è previsto il canale di seconda fase, pertanto nel modello è stata modificata la scabrezza da $k_s=0.1$, zone boscate, a $k_s=0.06$, golena, (cfr. paragrafo 4.4.3).

La Figura 4.22 riporta l'evoluzione della sezione 1, confrontando la situazione finale con e senza intervento. Non si ha più l'approfondimento in sinistra, con un thalweg che mantiene all'incirca la quota iniziale. Continua però, e in parte si accentua, il deposito in destra. Nonostante l'intervento tenda a favorire il deflusso sul lato destro la naturale inclinazione del terreno fa sì che il fiume "preferisca" stabilizzare il suo alveo di magra sulla sinistra. La stabilizzazione dell'alveo di magra in sinistra impone poi al corso d'acqua due brusche curve per imboccare il canale realizzato con l'intervento, Figura 4.35. Per stabilizzare l'alveo in destra risulterebbe indispensabile proseguire con lo scavo del canale verso monte fino alla traversa, imponendo al canale quote di fondo uguali o inferiori a quelle che si hanno attualmente in sinistra, aumentando considerevolmente i volumi da movimentare. Peraltro, questo non assicurerebbe una conformazione stabile, come dimostra l'evoluzione naturale. Molto probabilmente, nonostante la presenza della traversa, la dinamica è influenzata anche dall'evoluzione dell'alveo a monte della traversa, che anche qui "predilige" il lato sinistro.

La sezione 2 si trova in un "ramo morto", tranne che per gli eventi più rilevanti e pertanto si ha una tendenza al deposito di materiale fino come evidenziato nella Figura 4.23.

Da Figura 4.24 a Figura 4.28 sono riportate le evoluzioni nelle sezioni in cui è presente il canale di intervento.

La sezione 5 è sostanzialmente ampliata dall'evoluzione imposta dal corso d'acqua, con un approfondimento in destra, causato dalla curvatura che la corrente effettua per imboccare il nuovo canale. Nella sezione 6 si ha un moderato ampliamento, mentre nella sezione 7 si ha un deposito nel canale ed una forte erosione sulla parte destra. Il deposito è legato all'improvviso

allargamento dovuto all'incrocio con il vecchio alveo, mentre l'erosione è imposta dal fatto che la corrente deve riportarsi verso destra per imboccare la curva dell'attuale alveo. Infatti, la conformazione del canale scavato è legata all'intervento complessivo che vede il canale proseguire in direzione rettilinea a tagliare il meandro (Intervento di Fase II). In assenza del secondo tratto la conformazione più naturale sarebbe quella che porta la corrente a collegarsi direttamente al vertice della curva di valle ed infatti in questa zona si ha l'erosione, come evidenziato nella Figura 4.36.

Le Figure Figura 4.25, Figura 4.27 e Figura 4.29 riportano rispettivamente per le sezioni 5, 6 e 7 l'evoluzione nel tempo del fondo e del D_{50} per i punti centrali delle sezioni. L'evoluzione dipende ovviamente dal susseguirsi delle piene e quindi ad un'oscillazione delle quote di fondo e particolarmente del diametro medio dei sedimenti. Nelle sezioni 5 e 6 si nota una repentina tendenza all'erosione con successiva tendenza al deposito. Questo comportamento è legato al fatto che l'evoluzione si "propaga" da monte verso valle e, come visto precedentemente, il fiume tende a depositare nella zona immediatamente a valle della traversa, zona che risulta essere una "trappola" per i sedimenti e fino a che non ha raggiunto il suo equilibrio favorisce l'erosione di valle. Come si vede dai grafici il D_{50} subisce ampie variazioni, ma questo è legato al fatto che il valore "monitorato" rappresenta la granulometria superficiale, quindi molto sensibile alle fasi di deposito/erosione dei sedimenti più fini.

Il profilo lungo il canale di scavo è riportato nella Figura 4.30. Il profilo è stato estratto sulla destra del fondo del canale, dove l'effetto della curvatura favorisce l'erosione. Si ha infatti erosione per la prima metà del canale e deposito per la seconda metà, per l'effetto precedentemente descritto.

L'effetto dell'intervento è sostanzialmente limitato a monte del meandro attualmente presente, infatti l'evoluzione della sezione 3 (Figura 4.31) e della sezione 4 (Figura 4.32) è sostanzialmente identica a quella della situazione attuale.

Le differenze complessive tra situazione attuale e intervento Fase I al termine del periodo simulato sono riportate in Figura 4.37. Le differenze inglobano ovviamente quelle dovute allo scavo del canale e al riporto finalizzato a chiudere l'alveo attuale. Anche questa immagine evidenzia che a valle del vertice della curva le differenze tra i due scenari sono minimi, confermando che l'impatto dell'intervento è limitato. Nella stessa figura si noti come in corrispondenza dell'area in cui è previsto il canale di valle si ha una differenza di erosione dell'ordine dei 10 cm, che sono legati al cambio di scabrezza in quest'area, considerando di effettuare la ripulitura dalla vegetazione. L'impatto è abbastanza limitato perché l'area è interessata dal deflusso solo per portate superiori a $200 \text{ m}^3/\text{s}$ quindi in 11 eventi con una durata complessiva di circa 80 ore (cfr. Figura 4.4).

La distribuzione finale del D_{50} dei sedimenti superficiali è riportata in Figura 4.38. Lungo le sponde del canale il D_{50} supera anche i 140 mm (si vedano anche la Figura 4.24 e Figura 4.26), indice che le velocità risultano superiori a quelle dell'alveo attuale, mentre sul fondo la granulometria risulta più fine a causa del deposito in fase di morbida magra, ma sempre superiore agli 80 mm.

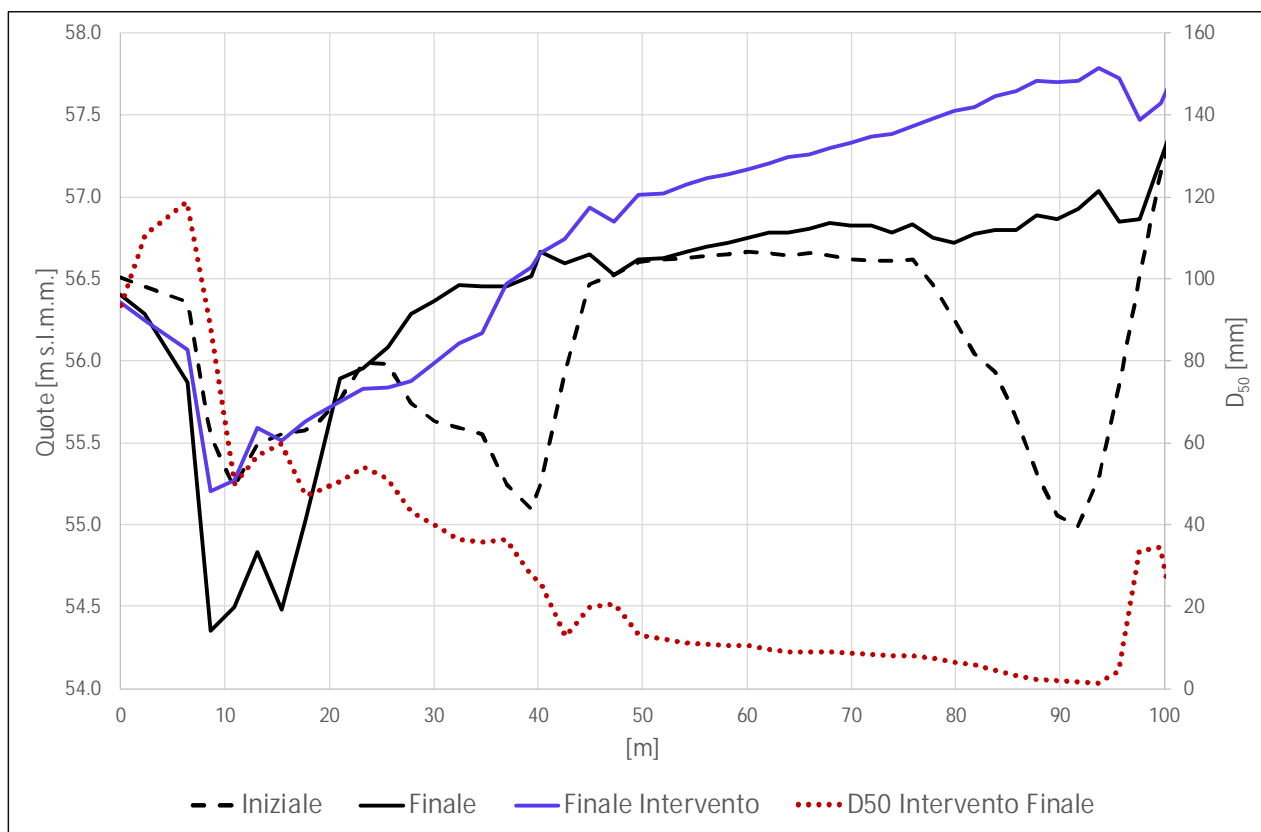


Figura 4.22 - Evoluzione della sezione 1.

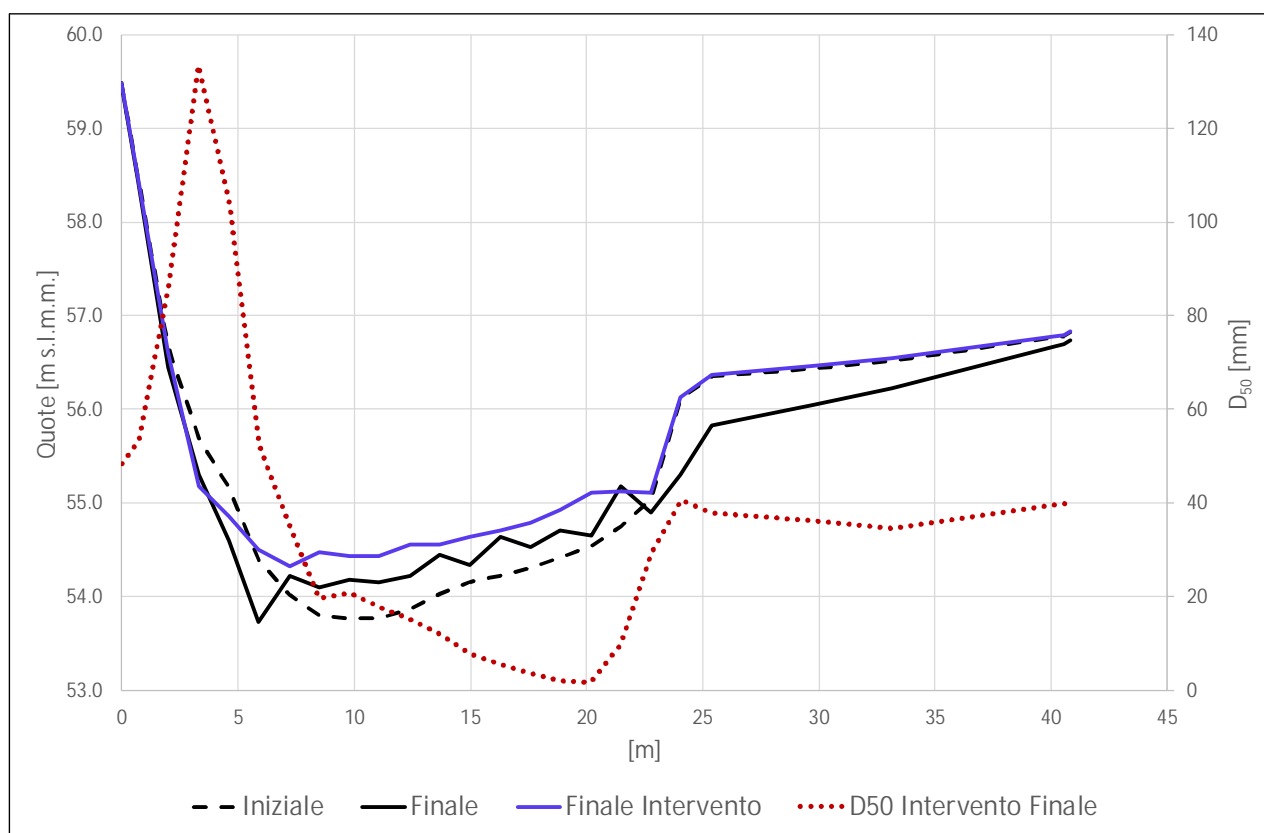


Figura 4.23 - Evoluzione della sezione 2.

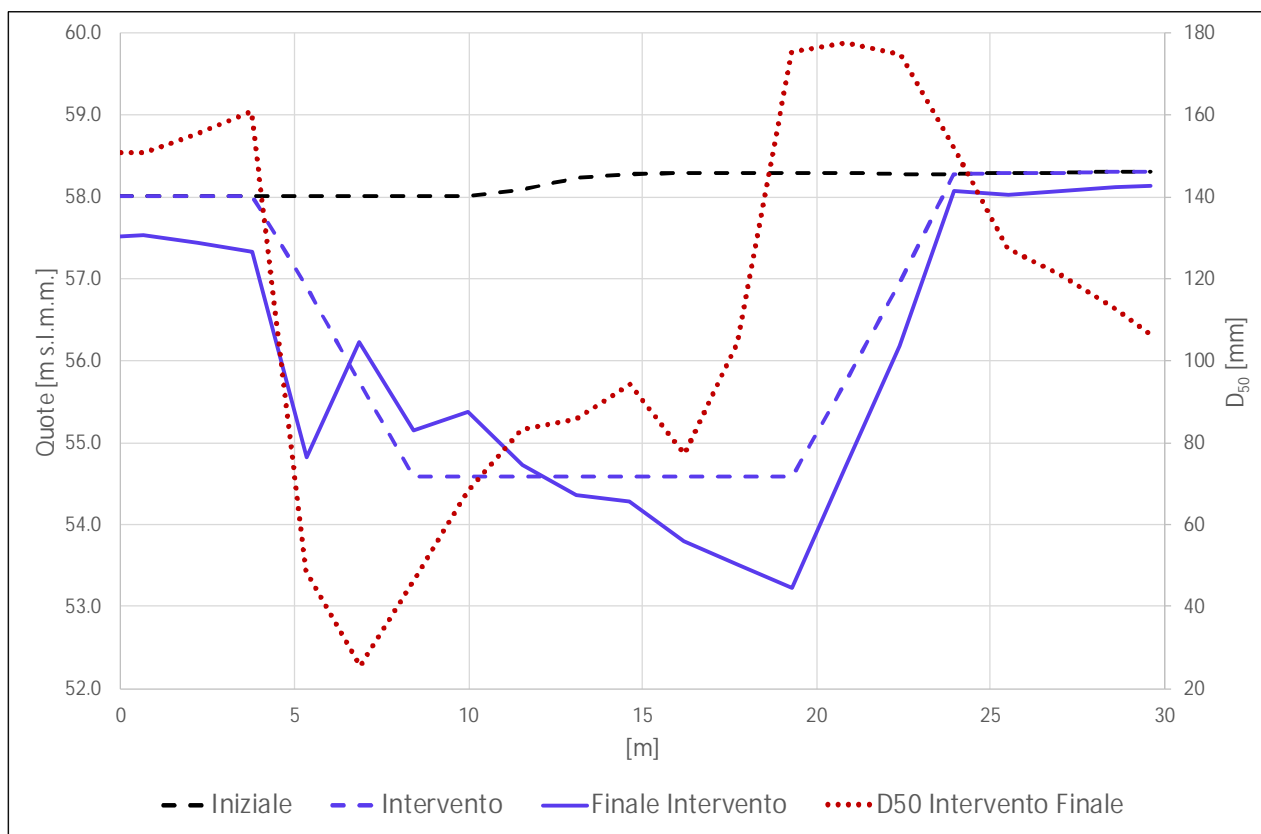


Figura 4.24 - Evoluzione della sezione 5.

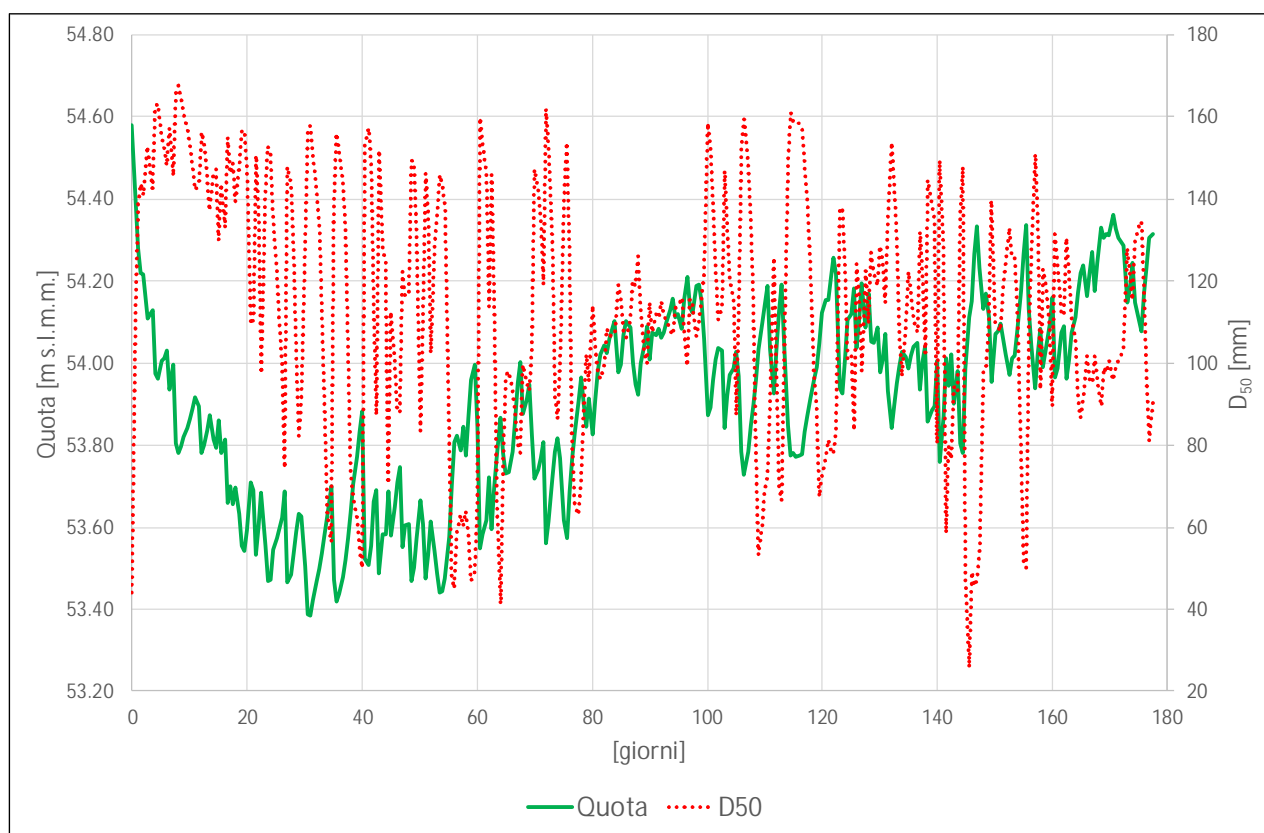


Figura 4.25 – Evoluzione punto centrale della sezione 5.

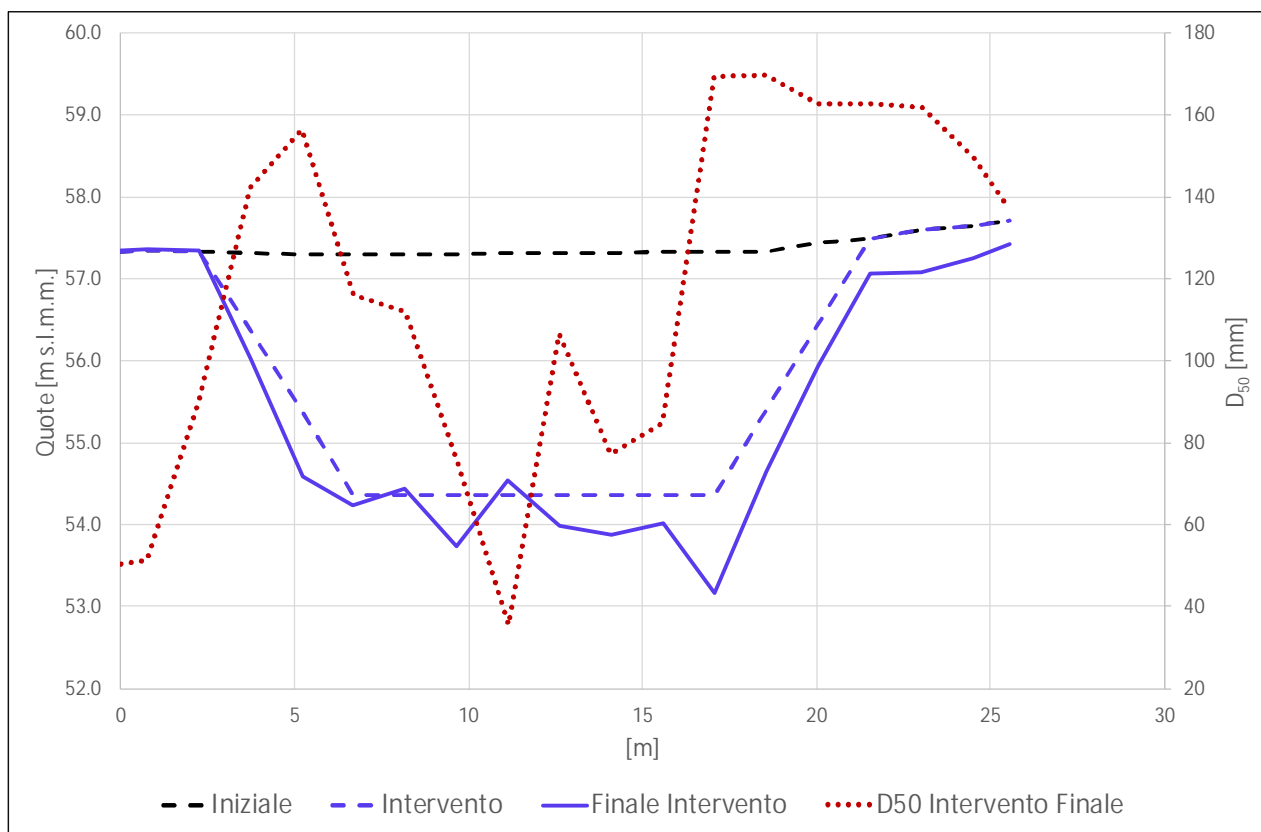


Figura 4.26 - Evoluzione della sezione 6.

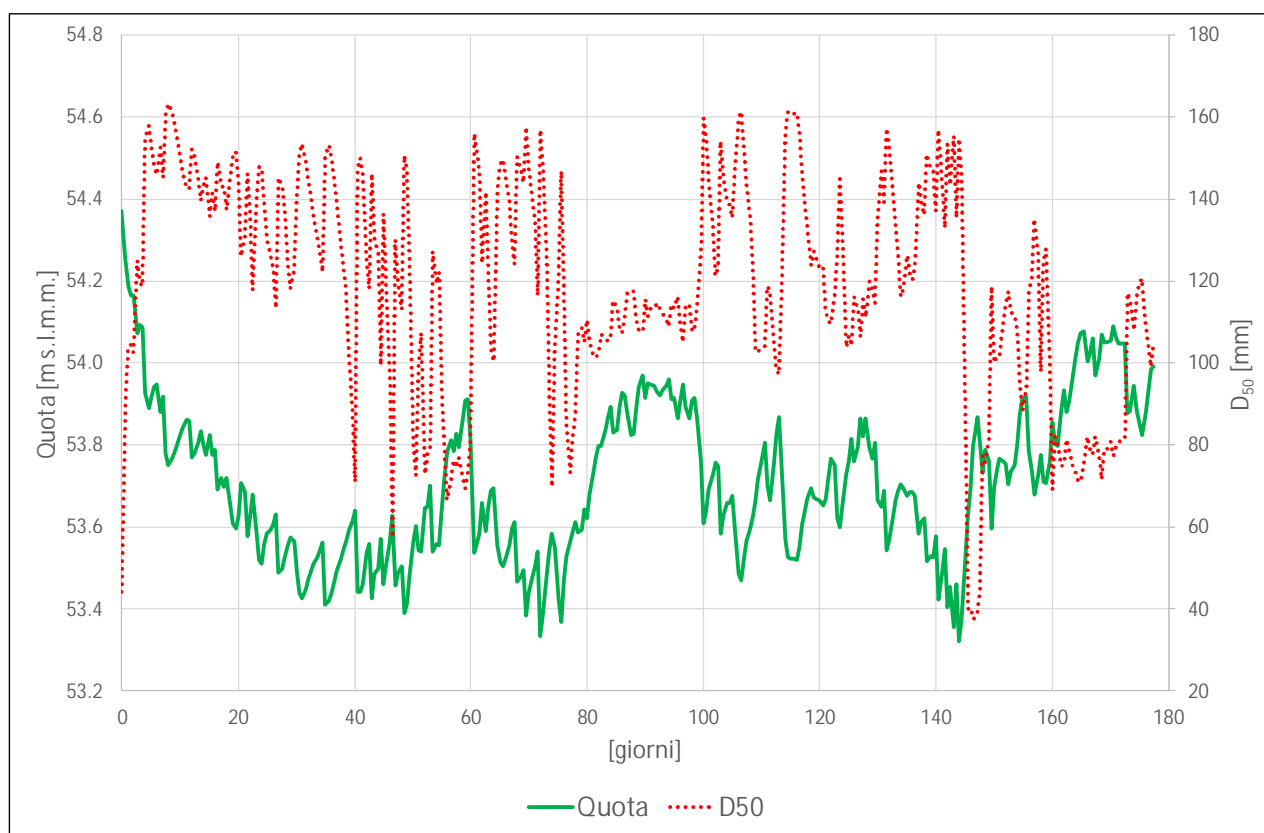


Figura 4.27 – Evoluzione punto centrale della sezione 6.

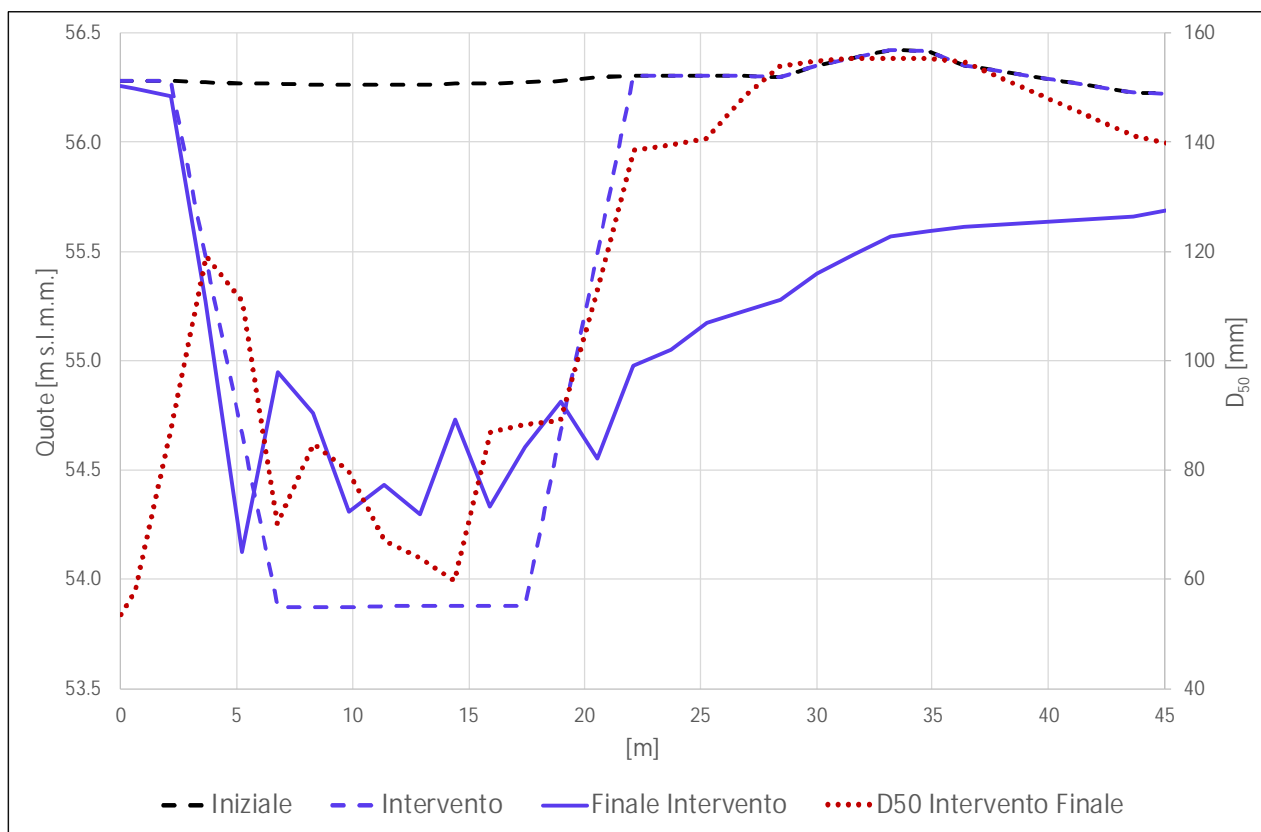


Figura 4.28 - Evoluzione della sezione 7.



Figura 4.29 – Evoluzione punto centrale della sezione 7.

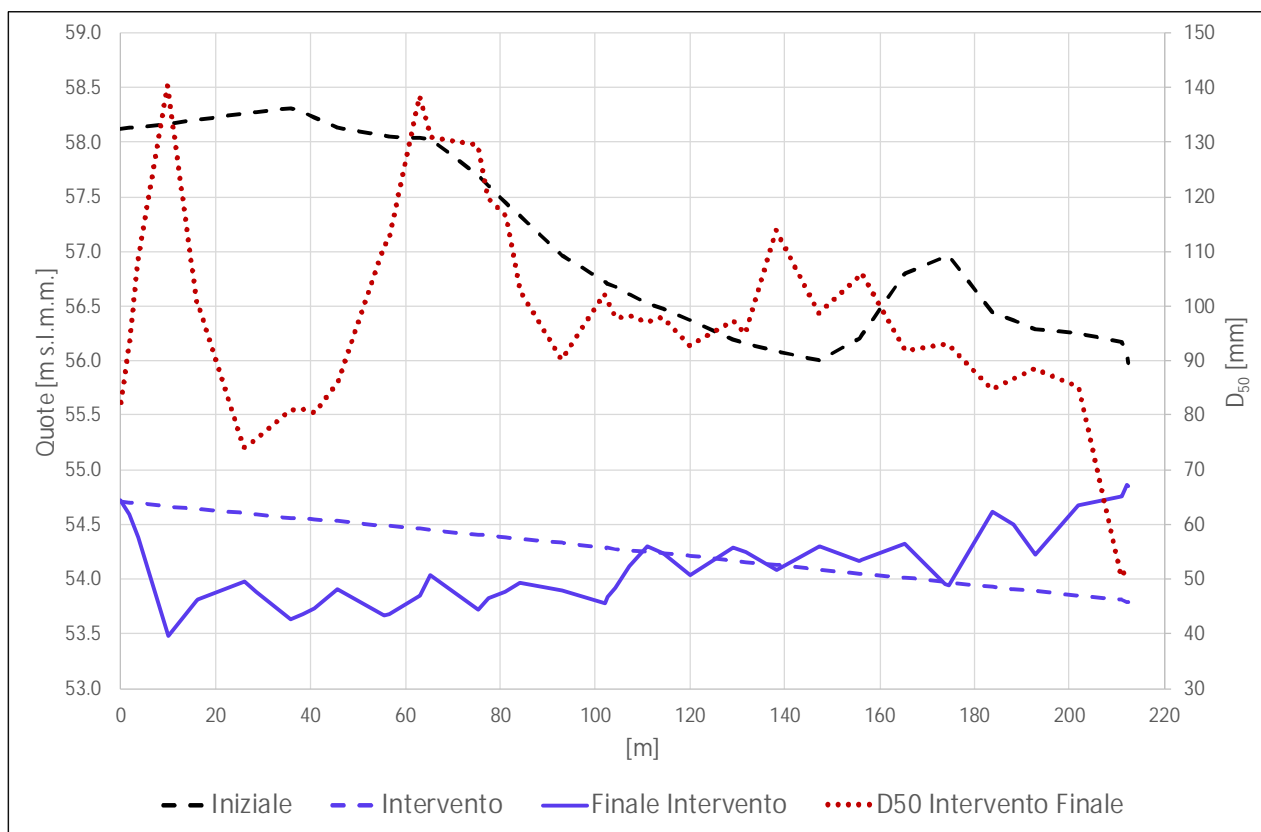


Figura 4.30 – Evoluzione del profilo 1.

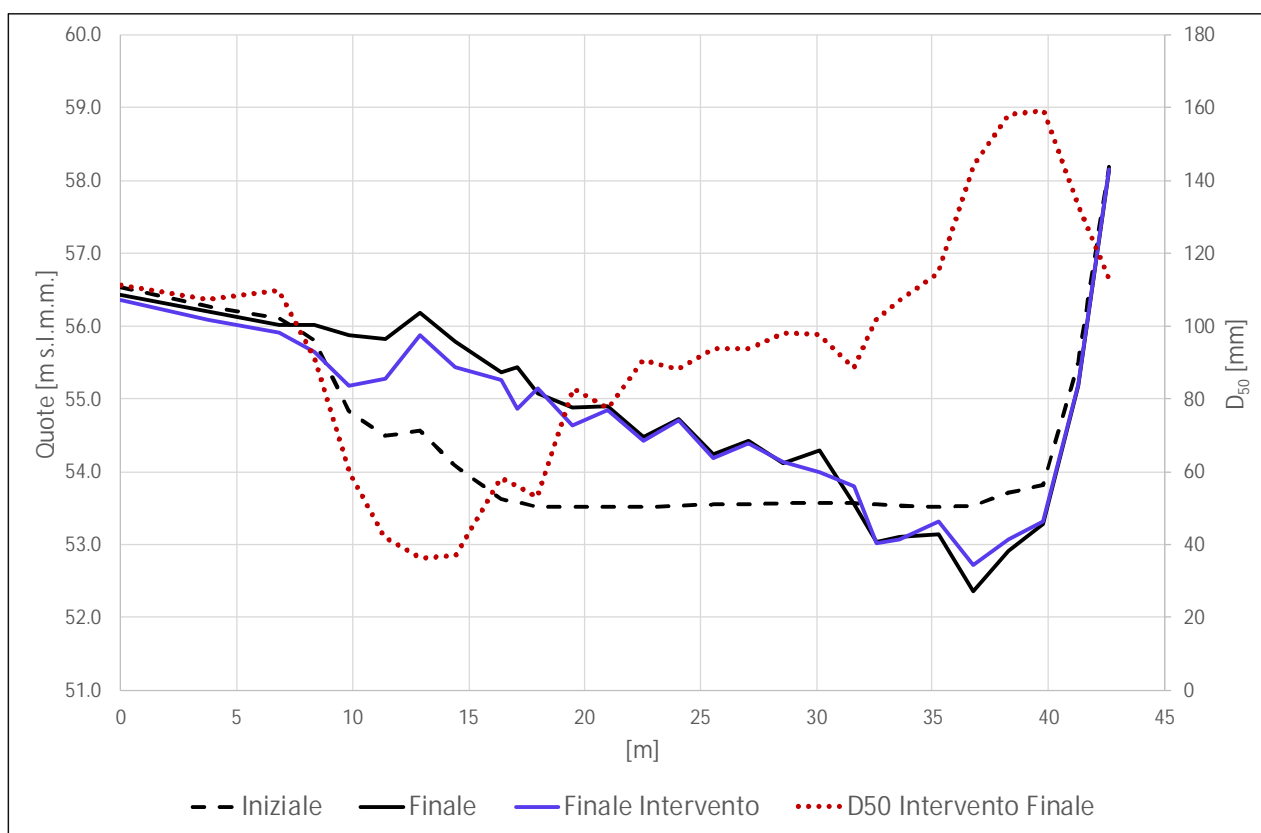


Figura 4.31 - Evoluzione della sezione 3.

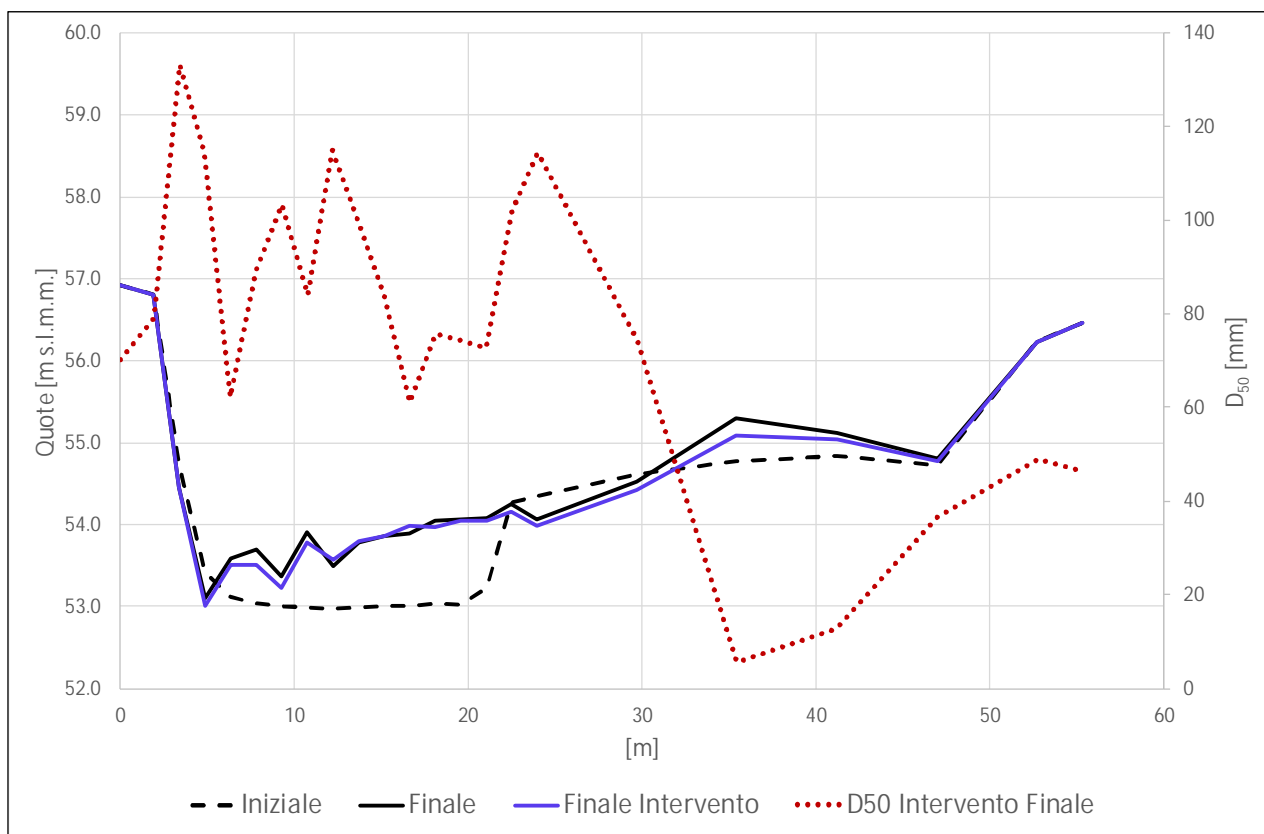


Figura 4.32 - Evoluzione della sezione 4.

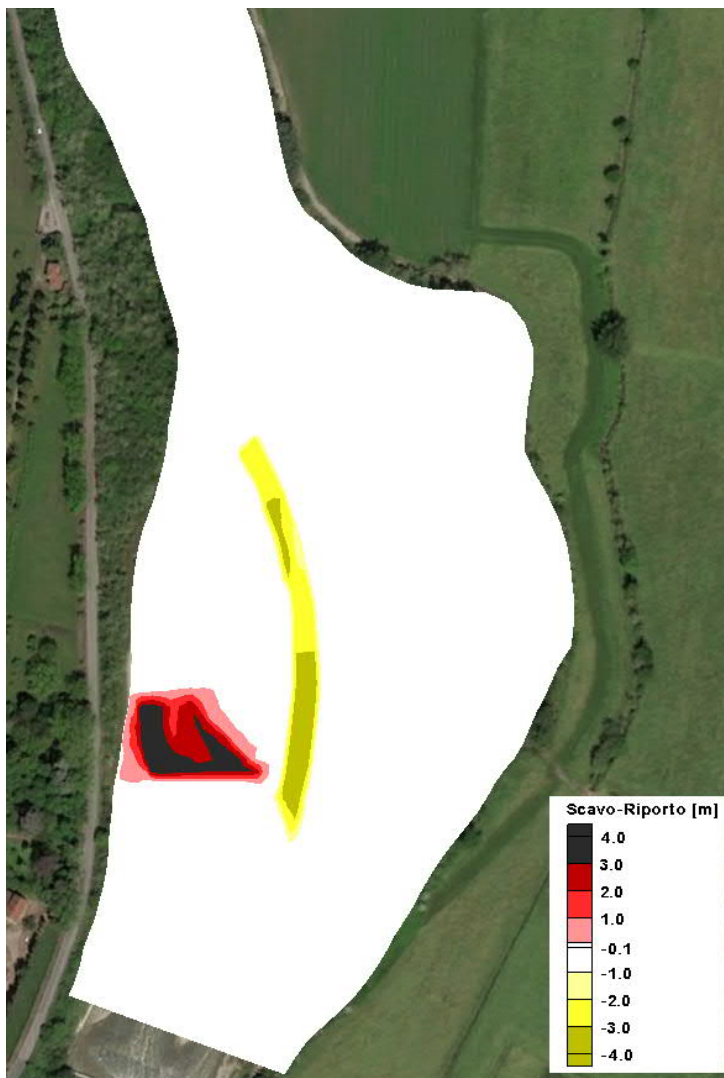


Figura 4.33 – Intervento Fase I, scavo/riporto.

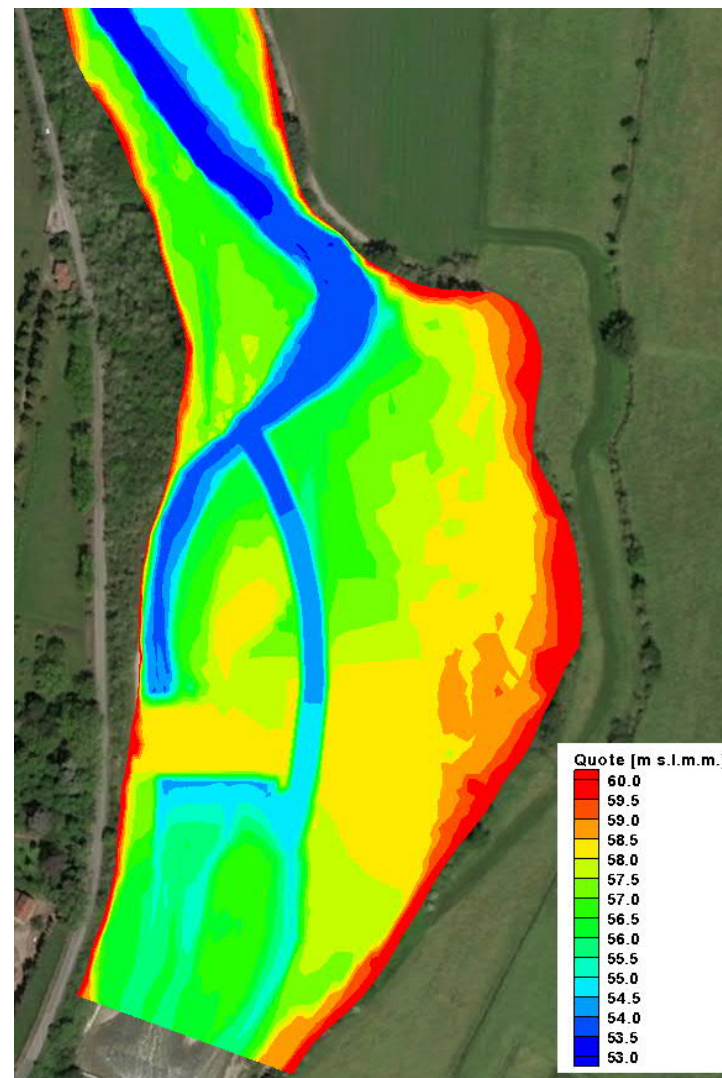


Figura 4.34 – Intervento Fase I, batimetria iniziale.

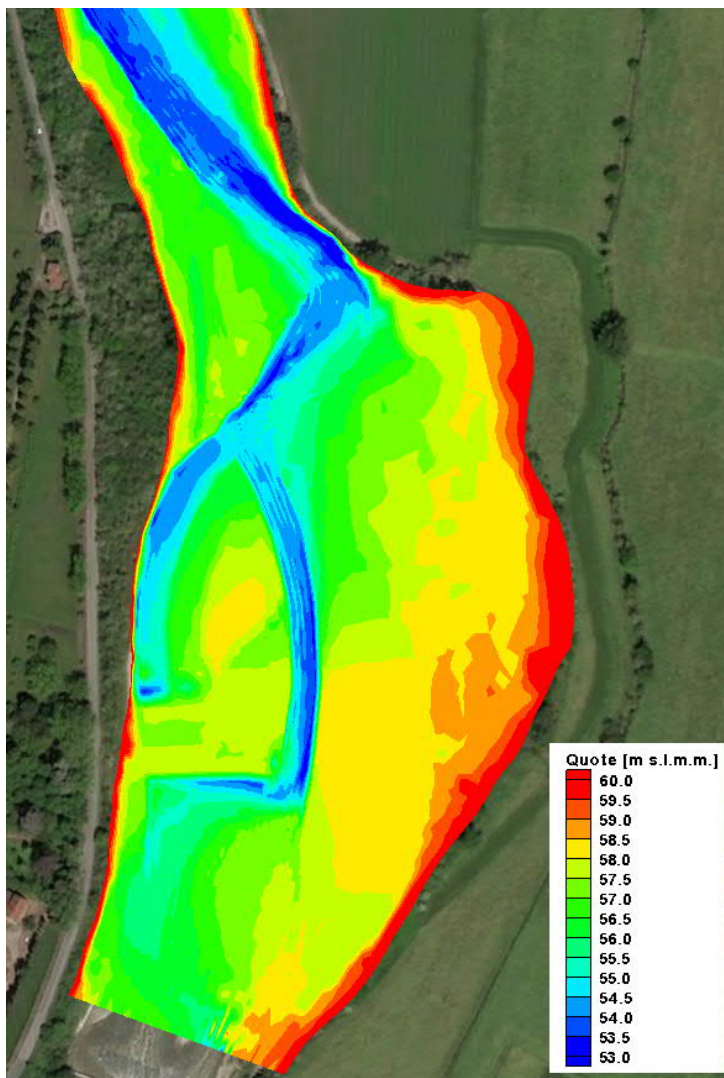


Figura 4.35 – Intervento Fase I, batimetria finale.

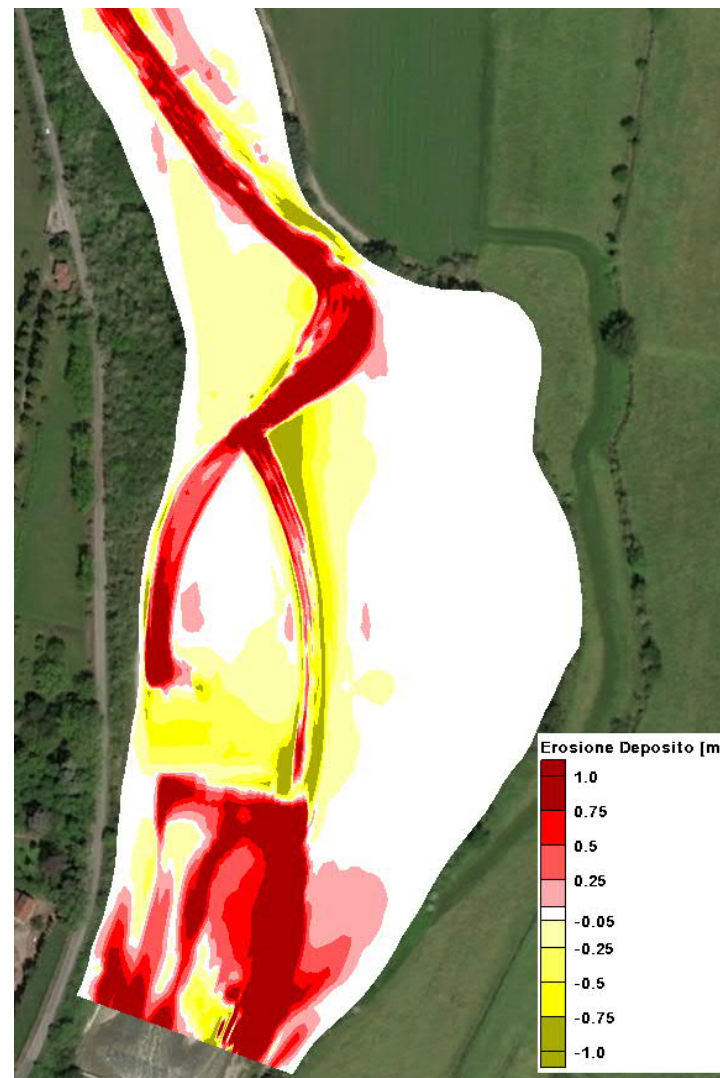


Figura 4.36 – Intervento Fase I, erosione/deposito.



Figura 4.37 – Differenza situazione attuale / Fase I.

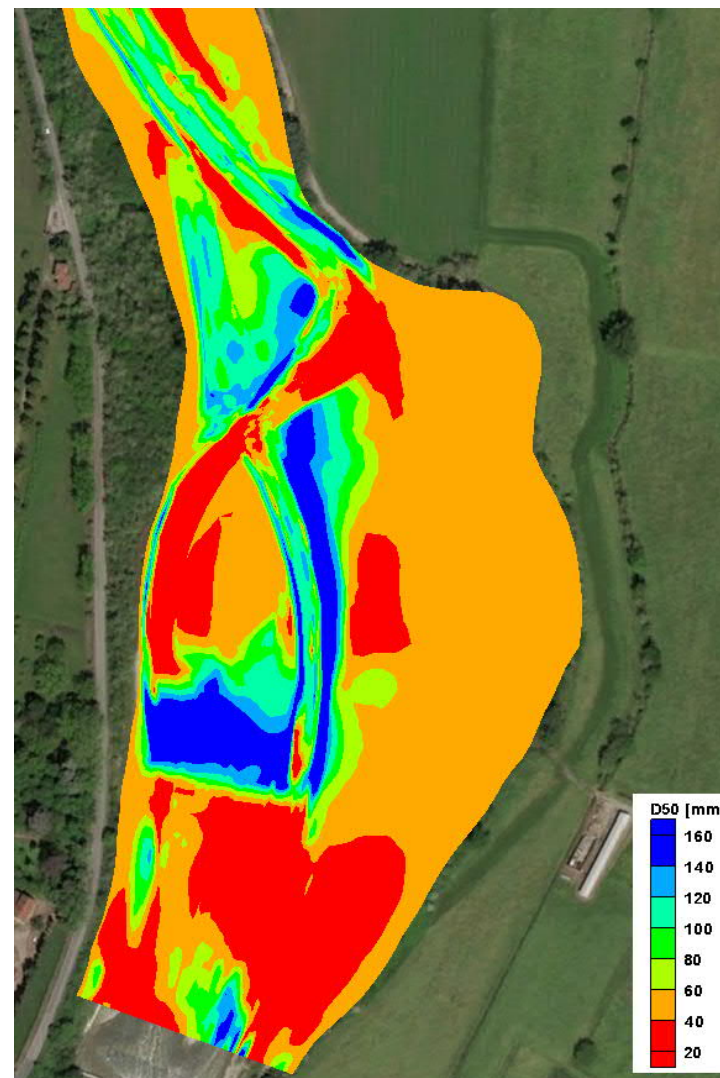


Figura 4.38 – Intervento Fase I, D_{50} finale.

4.5.3 Intervento complessivo

L'intervento complessivo prevede lo scavo contemporaneo sia del canale di Fase I, che il suo proseguimento a tagliare il meandro. Il secondo canale ha le stesse caratteristiche di quello più a monte: larghezza alla base di circa 10 m e pendenza delle sponde 2/3. Le quote di inizio e fine canale sono poste pari a quelle definite dal DTM, dando pendenza del fondo costante tra queste quote.

Anche in questo caso il mantenimento dell'alveo attuale porta ad una tendenza al deposito sia sul nuovo canale che nel vecchio alveo. In questo caso la tendenza non è al completo interrimento del nuovo canale, infatti questo "taglia" il percorso attuale aumentando il gradiente e quindi le velocità nel nuovo canale, favorendo il deflusso lungo esso. Questo però non assicura che particolari condizioni (es. deposito di vegetazione arborea nel canale) non portino il fiume a riposizionarsi preferibilmente sull'alveo attuale, con progressivo abbandono del canale scavato.

La configurazione schematizzata nel modello prevede pertanto la "chiusura" dell'alveo attuale utilizzando i sedimenti scavati per la realizzazione del canale, la Figura 4.50 riporta le zone di scavo/riporto dell'intervento complessivo. Anche in questo caso non è stato fatto un calcolo preciso dei volumi, limitandosi a portare le quote del terreno nell'attuale alveo alla stessa quota delle sponde per un tratto di circa 30 m.

Lo scavo del canale di valle non modifica in modo significativo l'evoluzione del tratto di monte rispetto a quella che si ottiene con lo scavo del canale in Fase I. Le variazioni iniziano ad essere significative a partire da circa metà del canale, Figura 4.39. La presenza del secondo canale favorisce il deflusso anche lungo il canale di monte, la corrente non è più obbligata ad una repentina variazione di direzione e la sua tendenza al deposito si riduce. La Figura 4.40 riporta la configurazione iniziale e finale della sezione 7 sia nello scenario di Fase I che in quello completo. La sezione di scavo risulta più stabile con depositi inferiori, si noti anche che l'erosione della golenale destra è molto ridotta e limitata ad un'estensione di circa 15 m. Infatti, la corrente non cerca più di collegarsi al vertice della curva di valle essendo bloccato il deflusso in quella direzione. L'evoluzione nel tempo è rappresentata nella Figura 4.41 come quota del punto centrale. La differenza principale sia ha nel primo periodo, circa 20 giorni, dopodiché l'andamento rimane simile solo che traslato di circa 30 cm.

La sezione 8 (Figura 4.42) ha una tendenza al deposito (circa 40 cm) e ad un leggero allargamento. Più stabile appare la sezione 9 (Figura 4.44).

La sezione 10 (Figura 4.46) rappresenta la confluenza tra il nuovo canale ed il vecchio alveo. Il nuovo canale risulta sostanzialmente stabile, con consistenti depositi di materiale fino a chiudere il vecchio tracciato.

L'evoluzione complessiva del nuovo canale è riportata nella Figura 4.48 che rappresenta il profilo lungo il canale stesso.

L'effetto del nuovo canale si propaga anche verso valle, la sezione 4 (Figura 4.49) non evolve più con una configurazione di sezione di curva, l'alveo di magra non si posiziona più sulla sinistra, ma tende a stabilizzarsi in posizione centrale.

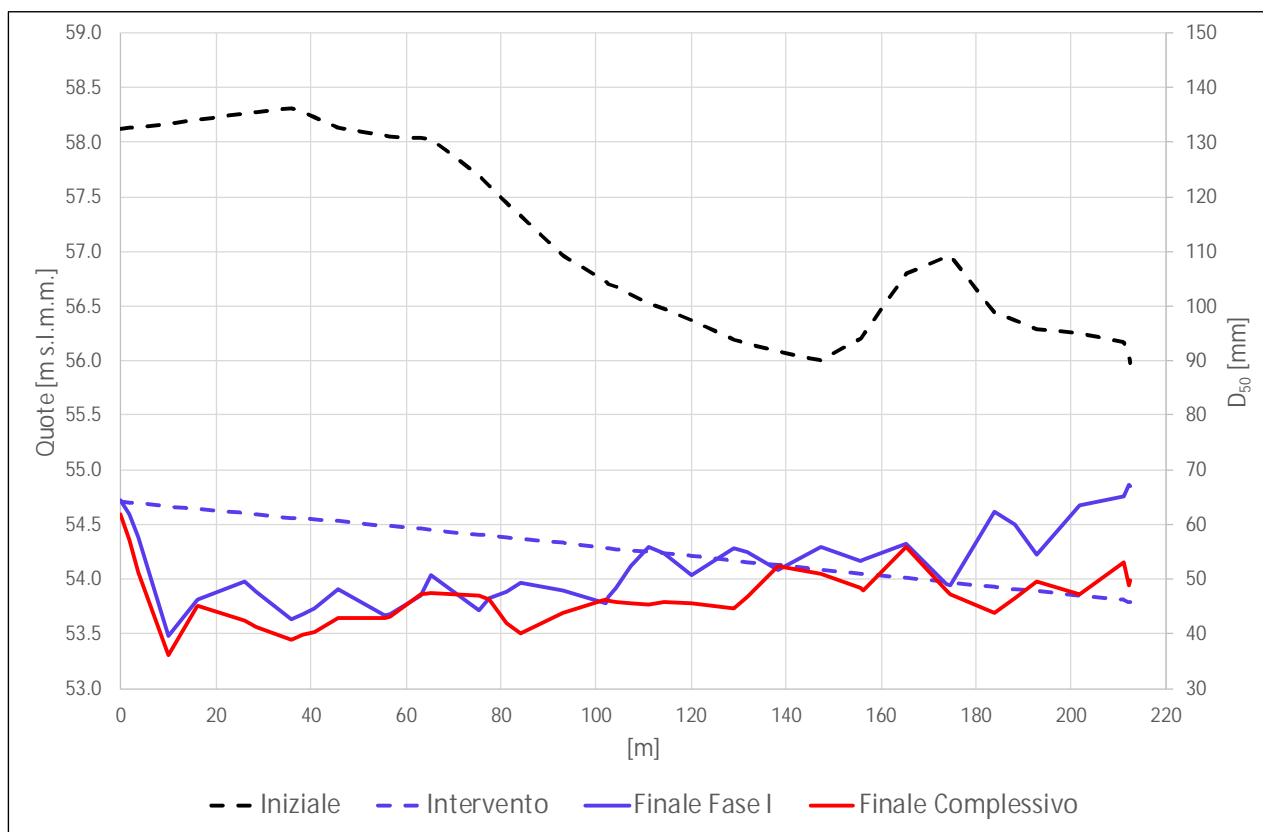


Figura 4.39 – Evoluzione del profilo 1.

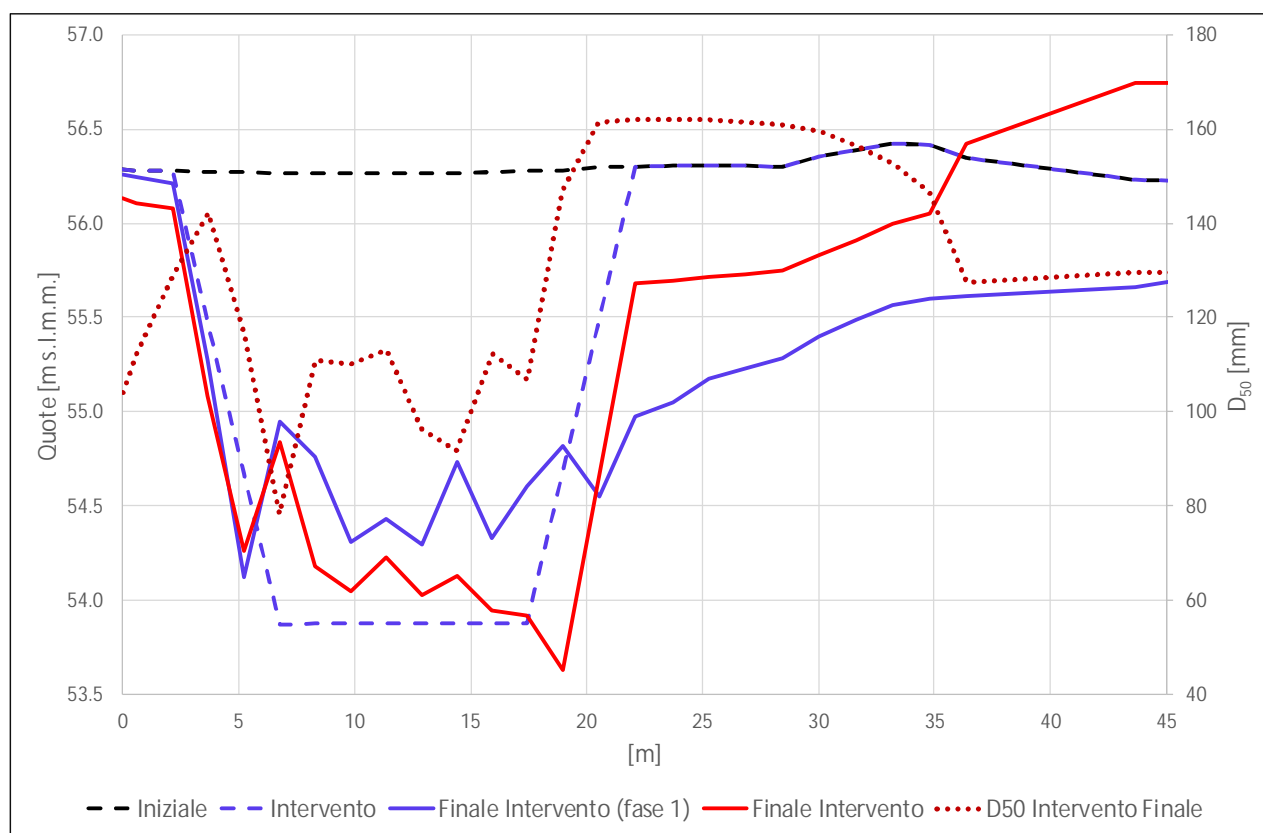


Figura 4.40 - Evoluzione della sezione 7.

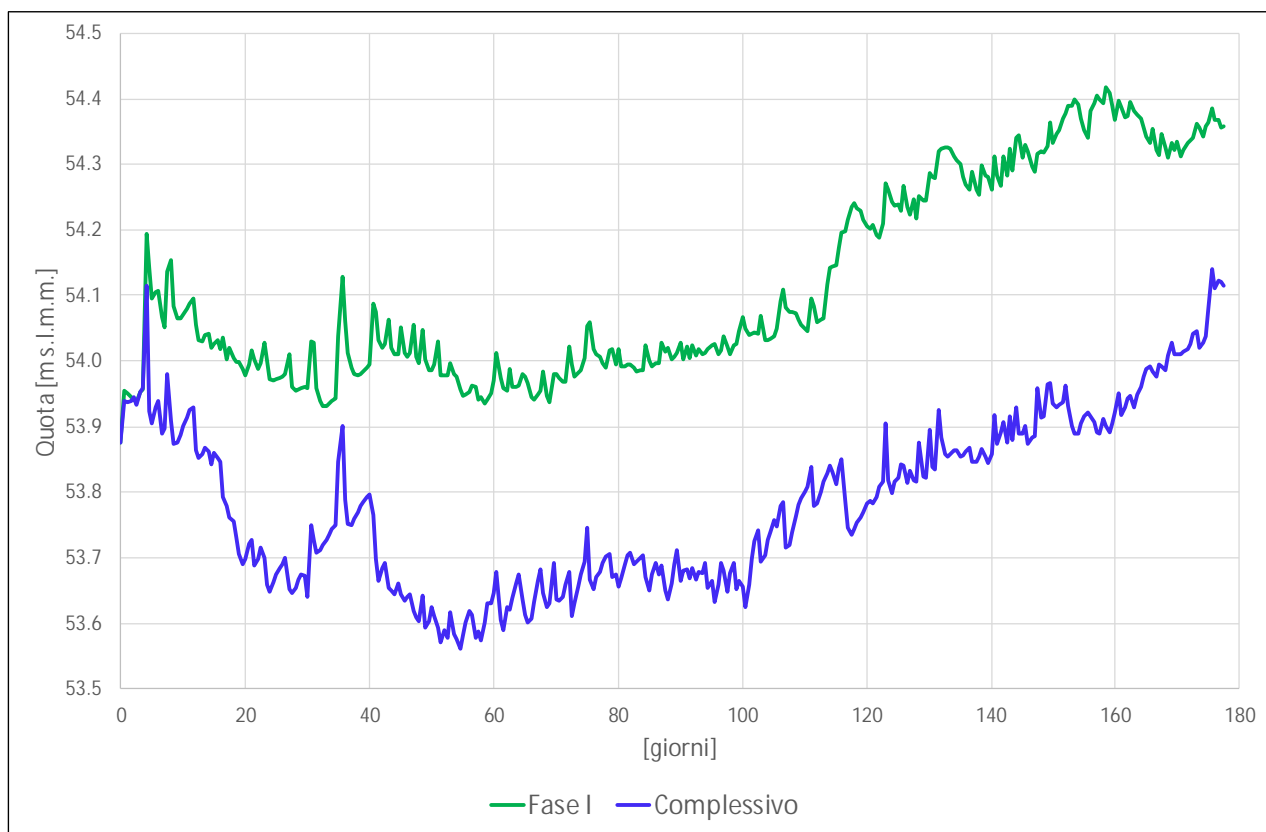


Figura 4.41 – Evoluzione punto centrale della sezione 7.

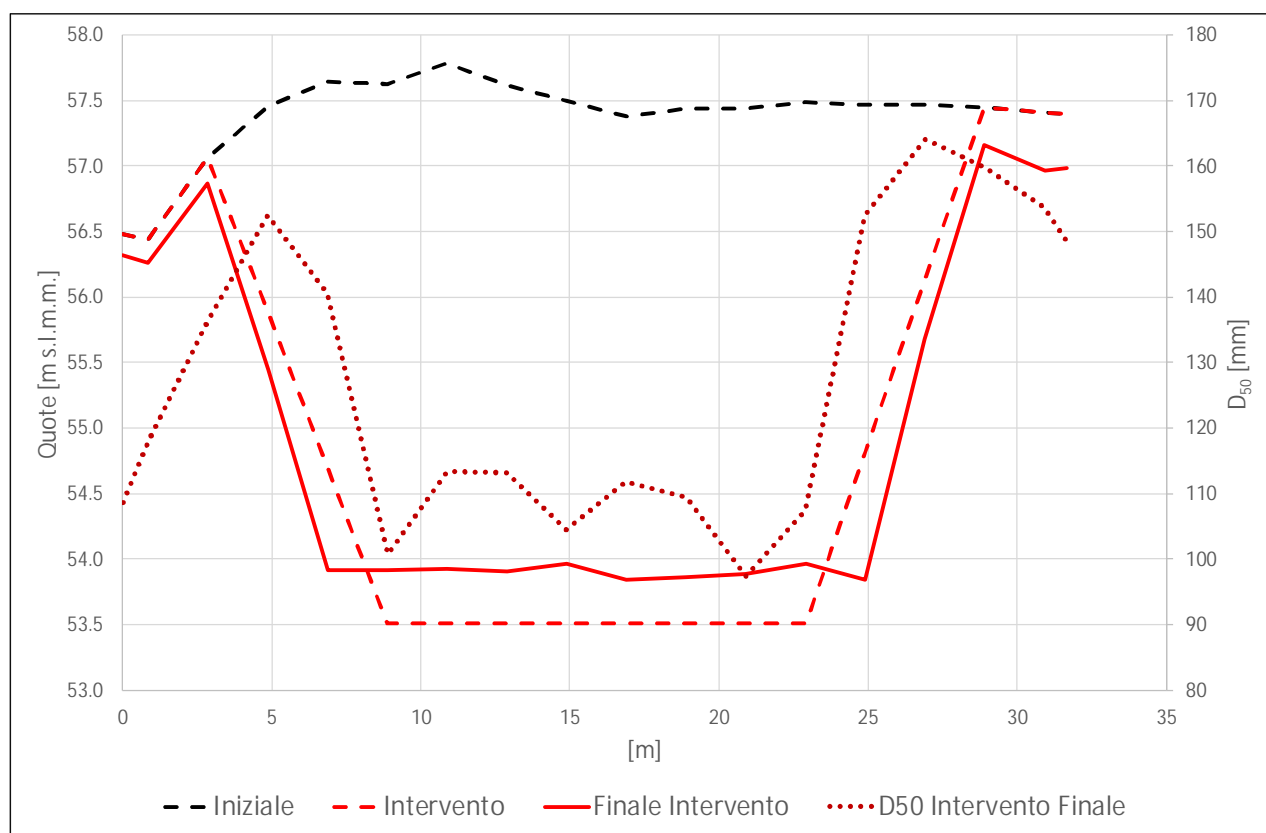


Figura 4.42 - Evoluzione della sezione 8.

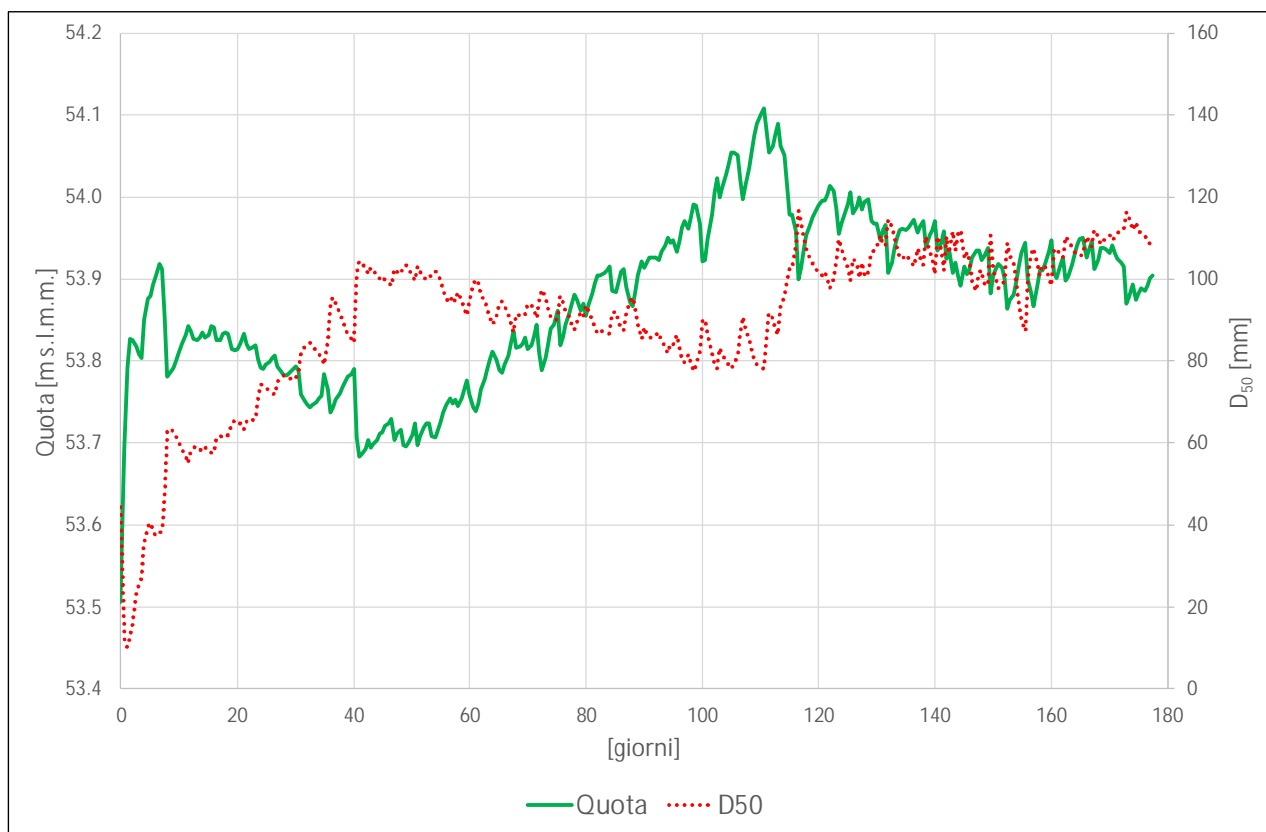


Figura 4.43 – Evoluzione punto centrale della sezione 8.

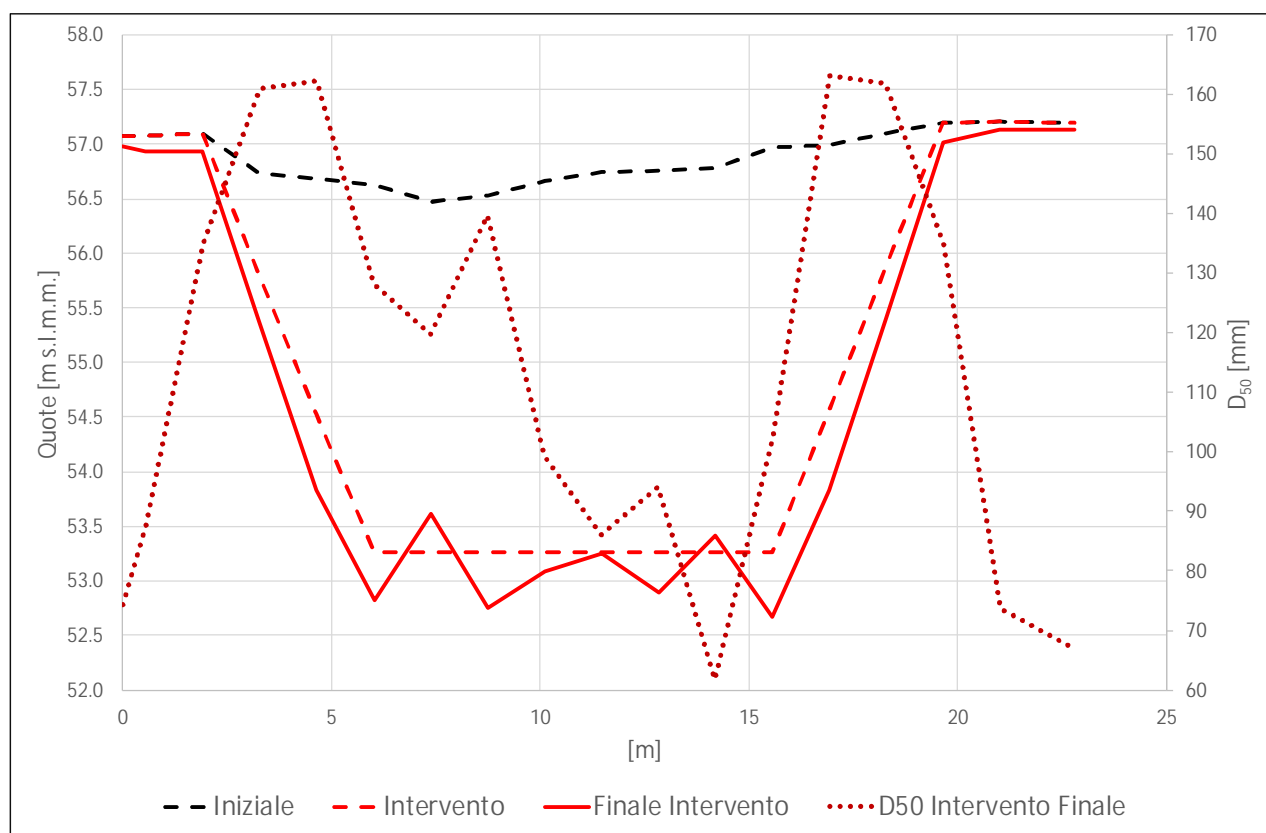


Figura 4.44 - Evoluzione della sezione 9.

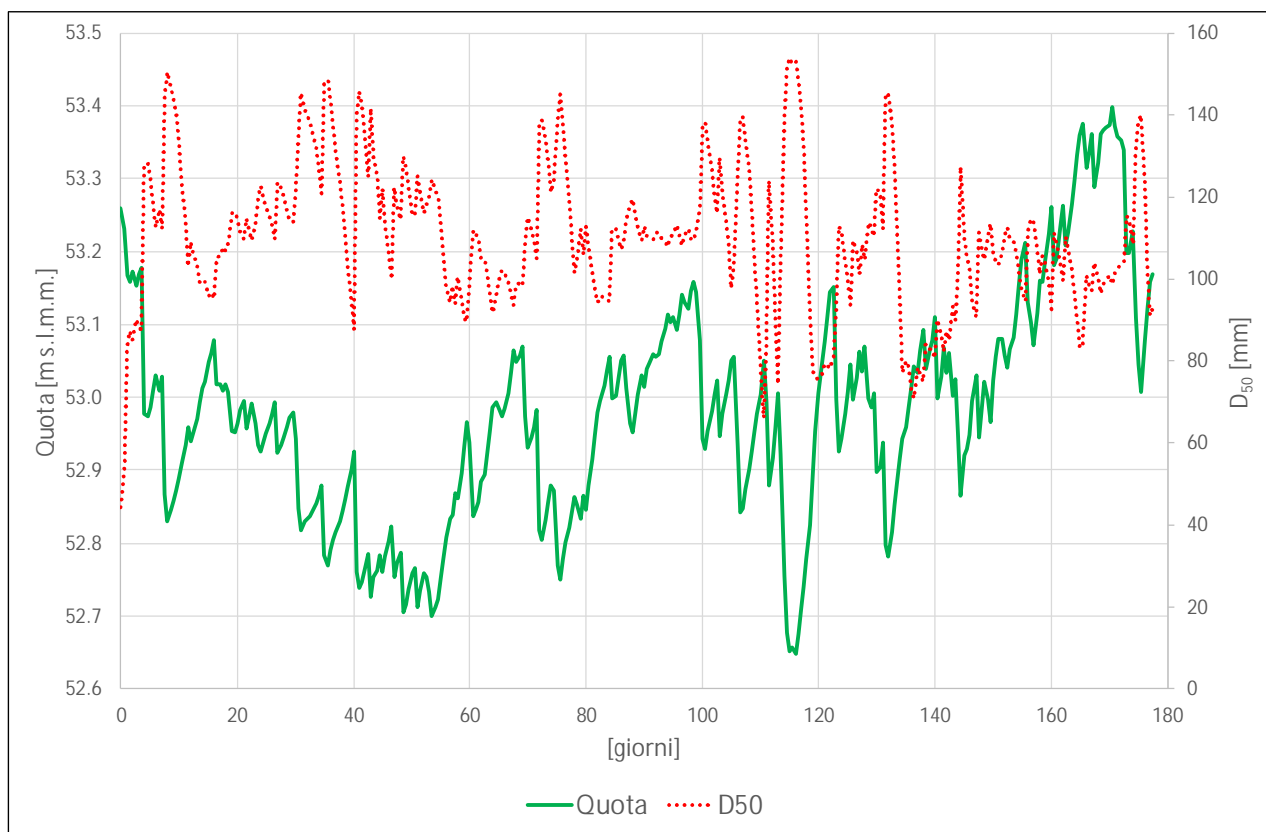


Figura 4.45 – Evoluzione punto centrale della sezione 9.

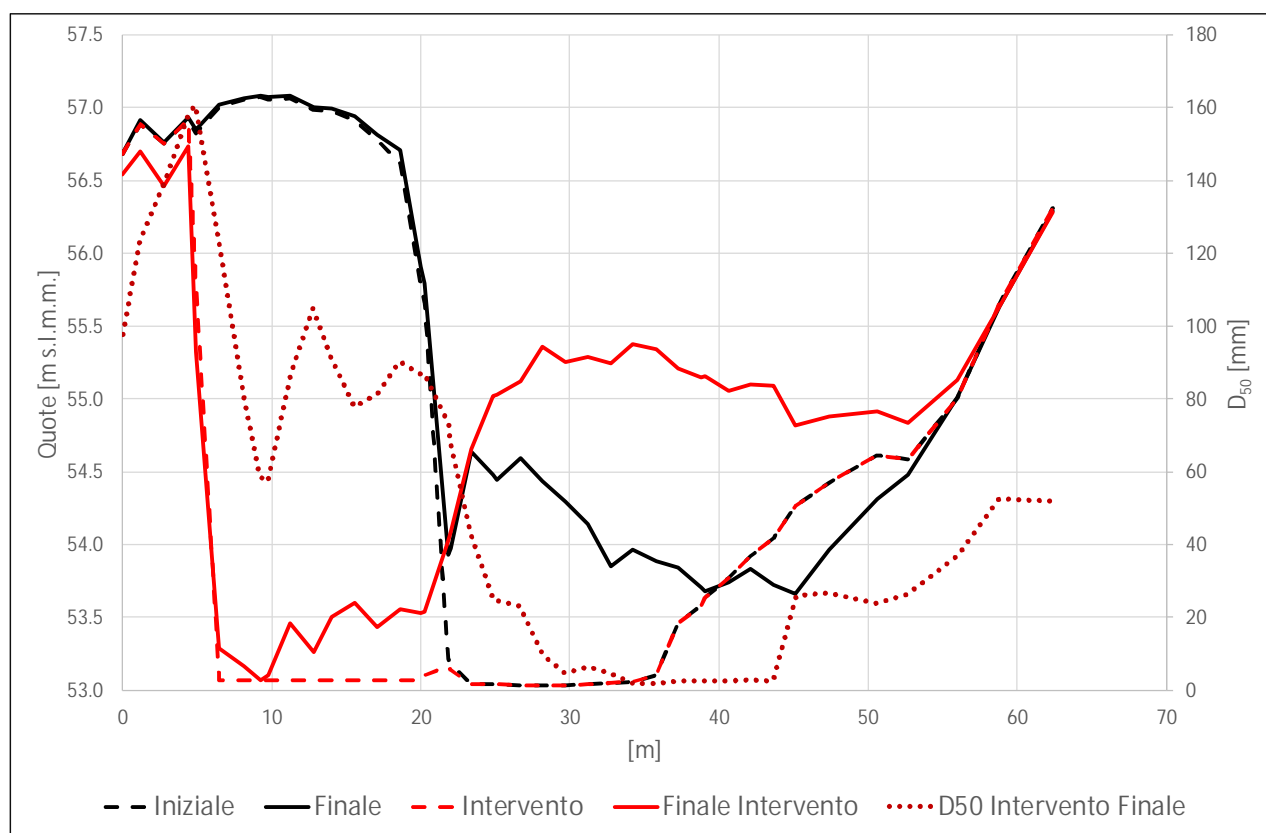


Figura 4.46 - Evoluzione della sezione 10.

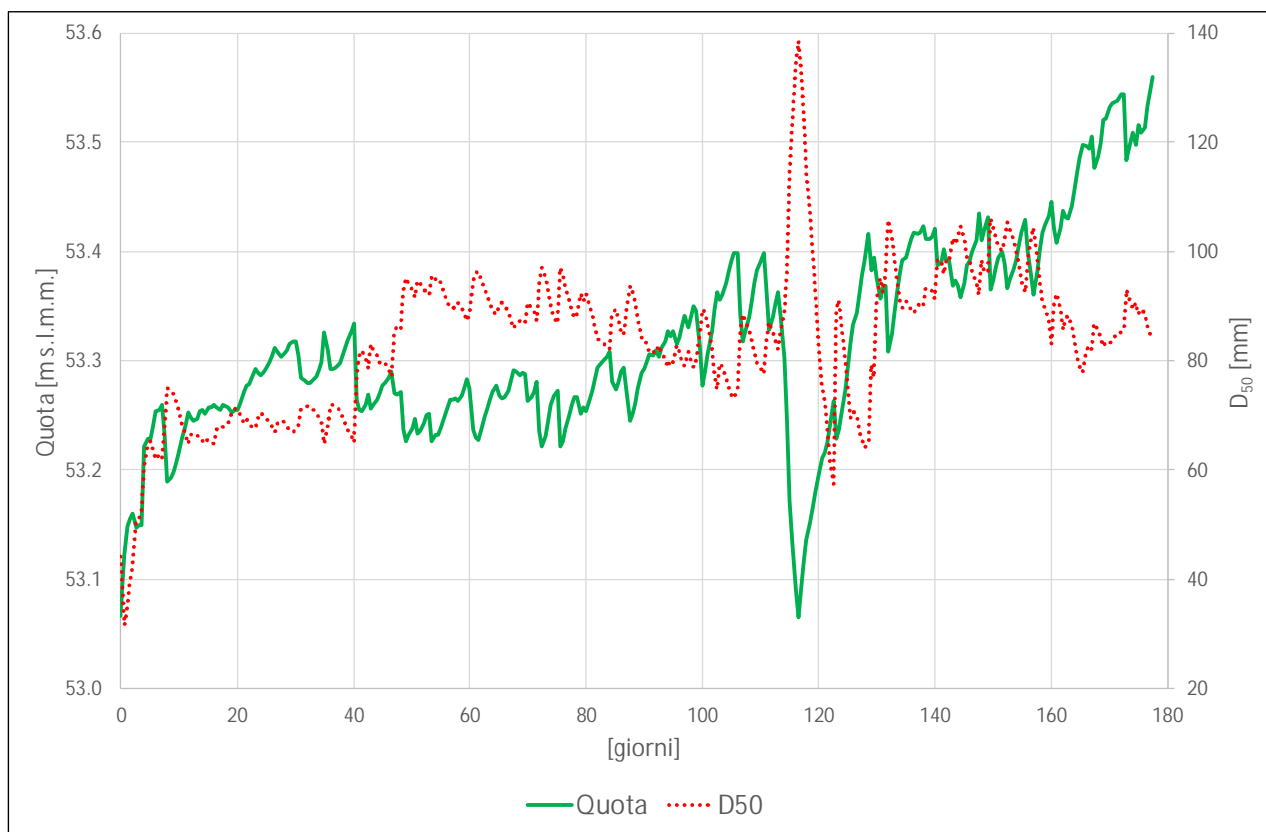


Figura 4.47 – Evoluzione punto centrale del canale di scavo nella sezione 10.

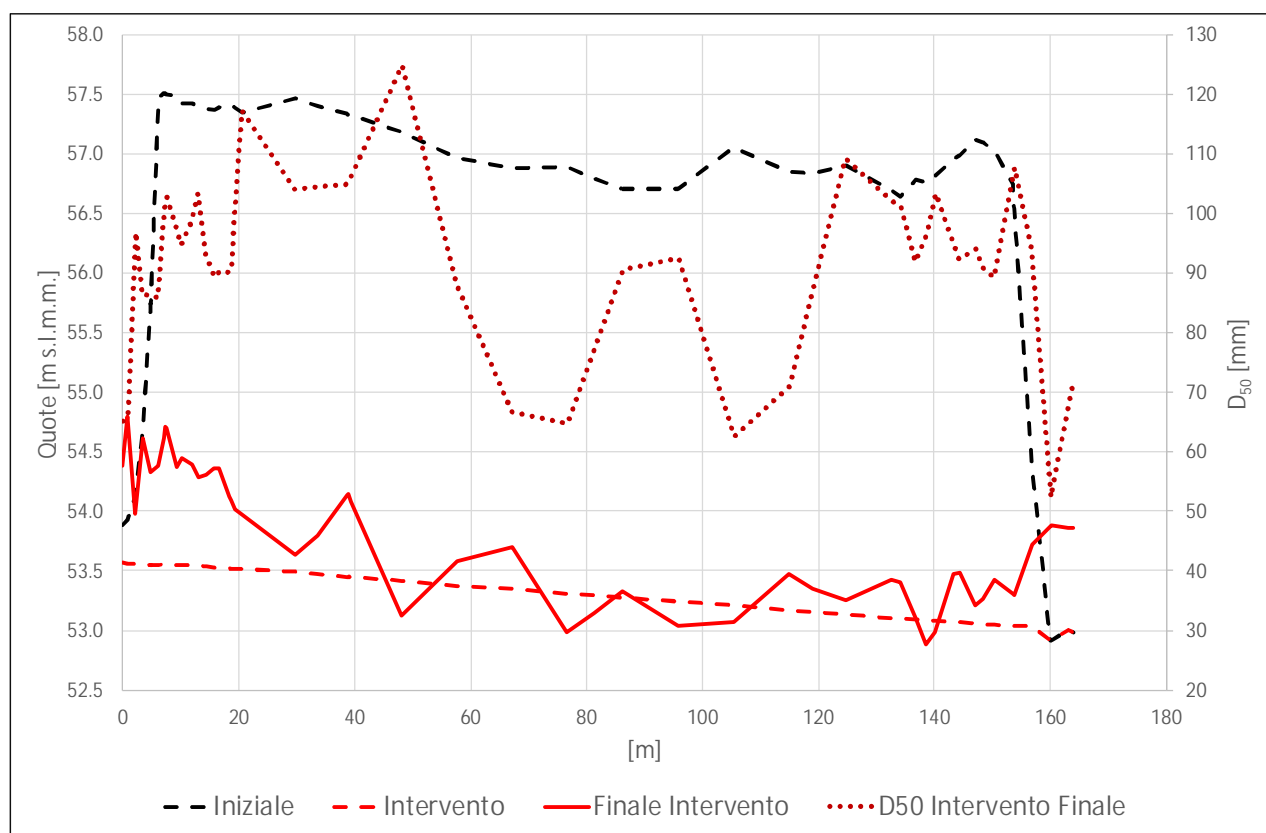


Figura 4.48 - Evoluzione del profilo 2.

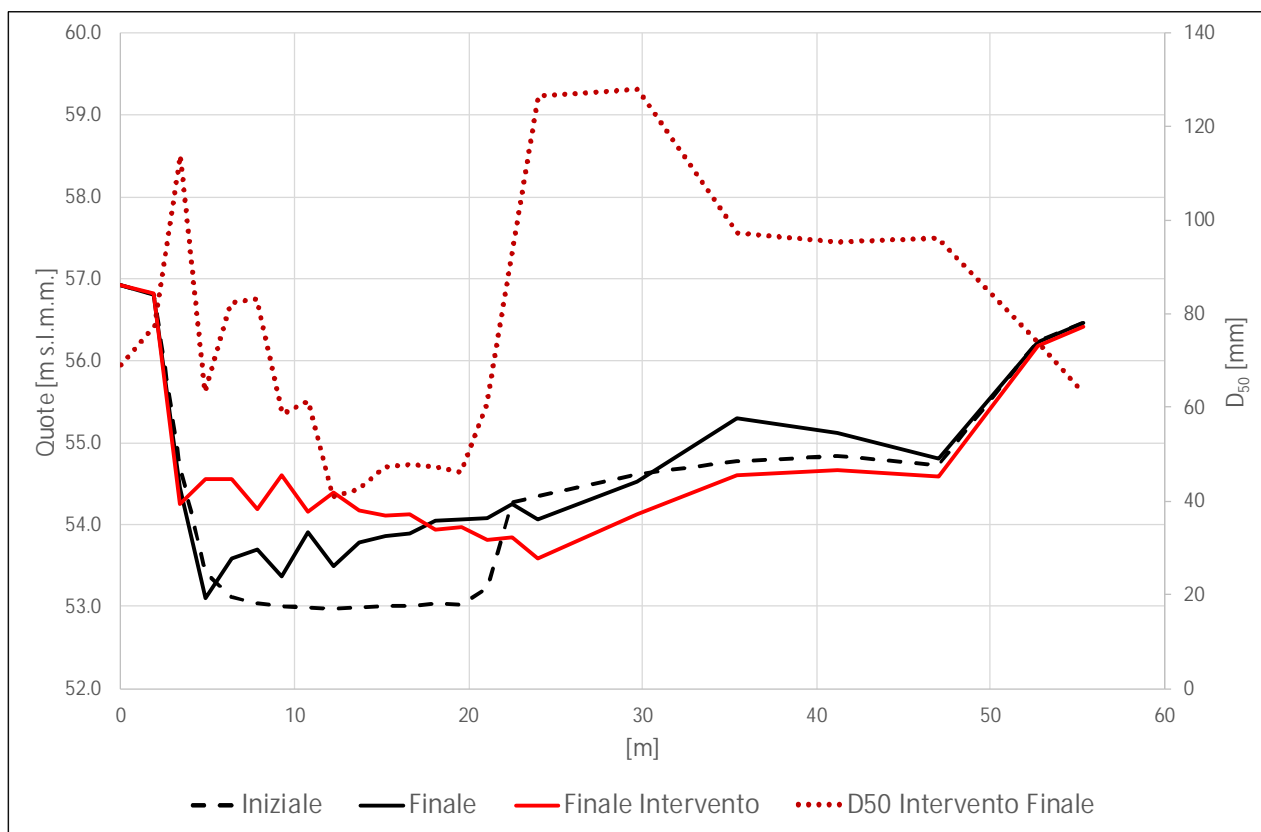


Figura 4.49 - Evoluzione della sezione 4.



Figura 4.50 – Intervento Complessivo, scavo/riporto.

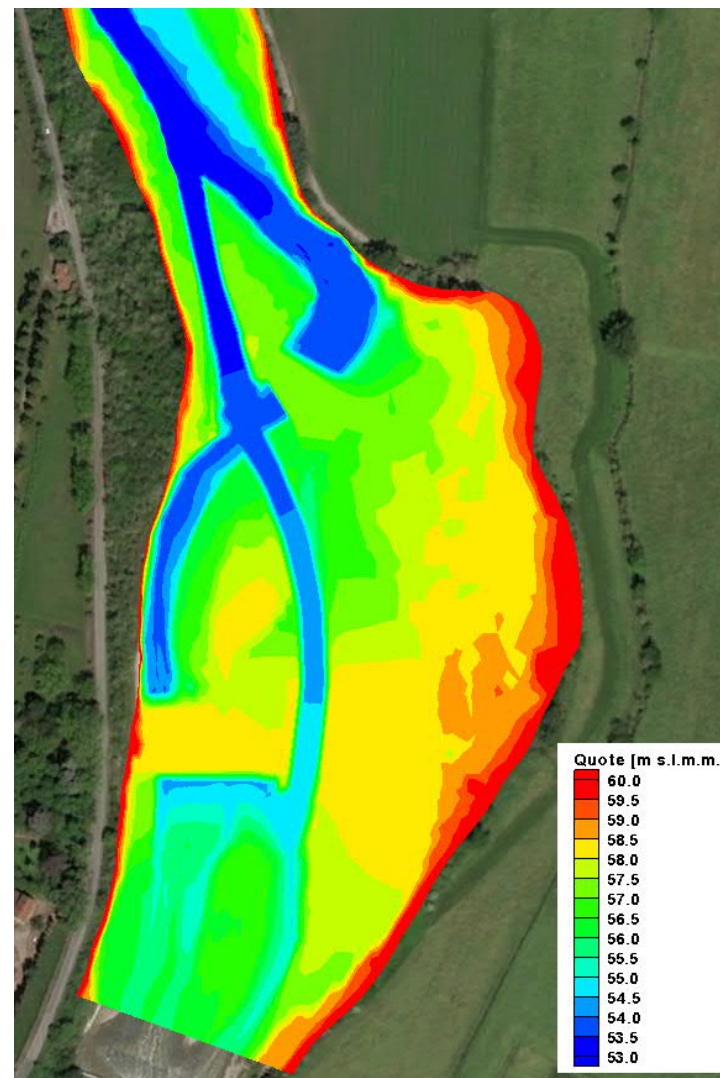


Figura 4.51 – Intervento Complessivo, batimetria iniziale.

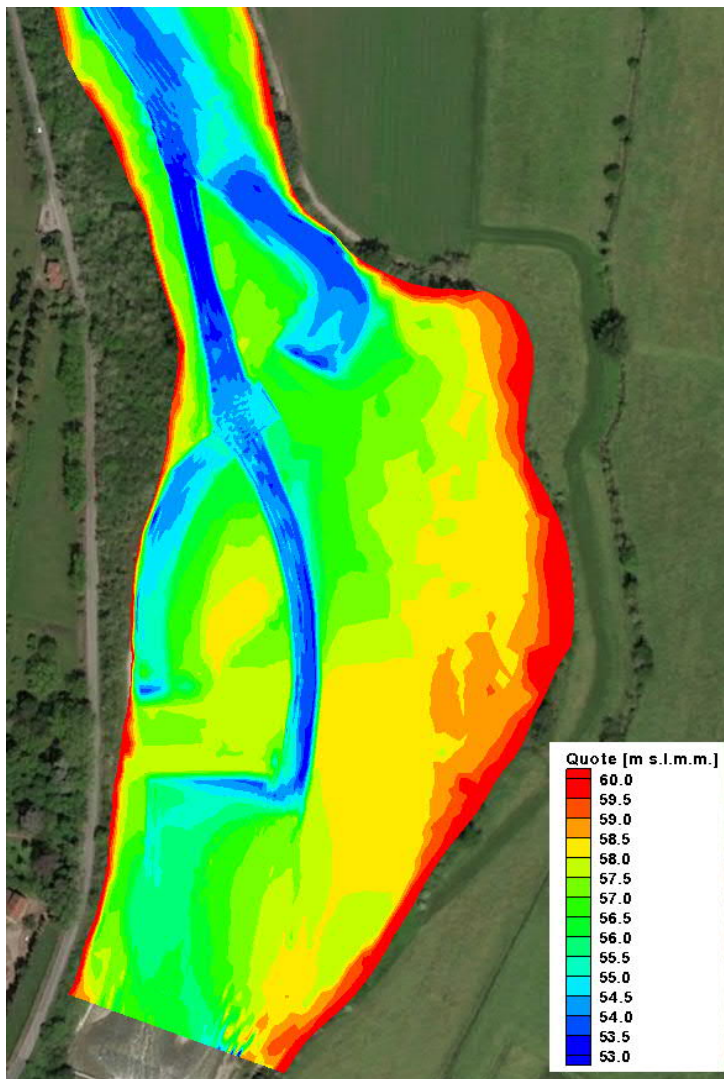


Figura 4.52 – Intervento Complessivo, batimetria finale.



Figura 4.53 – Intervento Complessivo, erosione/deposito.



Figura 4.54 – Differenza situazione attuale / Complessivo.

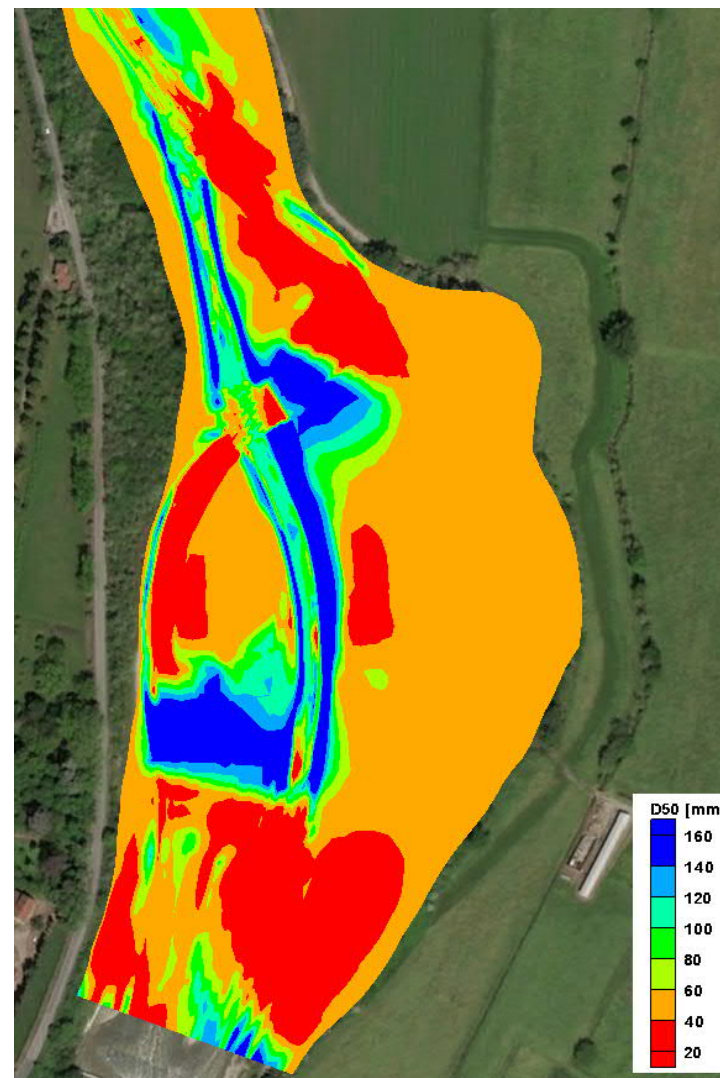


Figura 4.55 – Intervento Complessivo, D_{50} finale.

5 Conclusioni

L'evoluzione morfologica dell'alveo dell'Enza a valle della traversa in comune di Sant'Ilario d'Enza ha portato ad avere una sponda quasi verticale a meno di 20 m dalla strada SP 95, con il rischio che il protrarsi di tale evoluzione metta in pericolo la sicurezza della strada.

La tendenza evolutiva del tratto, desumibile dalle ortofoto dal 2003 in poi, è di apertura di un canale in destra, o naturalmente a seguito di piene importanti o per intervento da parte di AIPO come nel 2014, ma con successivo interrimento della zona di destra per privilegiare l'incisione dell'alveo di magra in sinistra.

La costruzione della traversa ha innaturalmente allargato l'alveo di magra del fiume a monte con ripercussioni anche nell'immediato tratto di valle. Come si può rilevare dalla Figura 5.1, che riporta il tratto a cavallo della traversa in 3 diversi periodi, l'alveo di magra naturale è circa la metà di quello imposto dalla traversa. Prima della costruzione della traversa, probabilmente, l'alveo di magra era posizionato sulla parte sinistra e quindi la parte destra, sia a monte che a valle della traversa, ha quote superiori di quella sinistra. Questo porta naturalmente l'alveo a cercare una condizione di equilibrio con alveo sulla sinistra.



Figura 5.1 – Enza a cavallo della traversa: 2011 (Sx), 2015 (centro) e 2018 (Dx).

Per ovviare a questa tendenza naturale, che mette a rischio la strada, AIPO intende intervenire con la riapertura di un canale sulla destra, che prosegue a tagliare il meandro di valle, Figura 5.2.

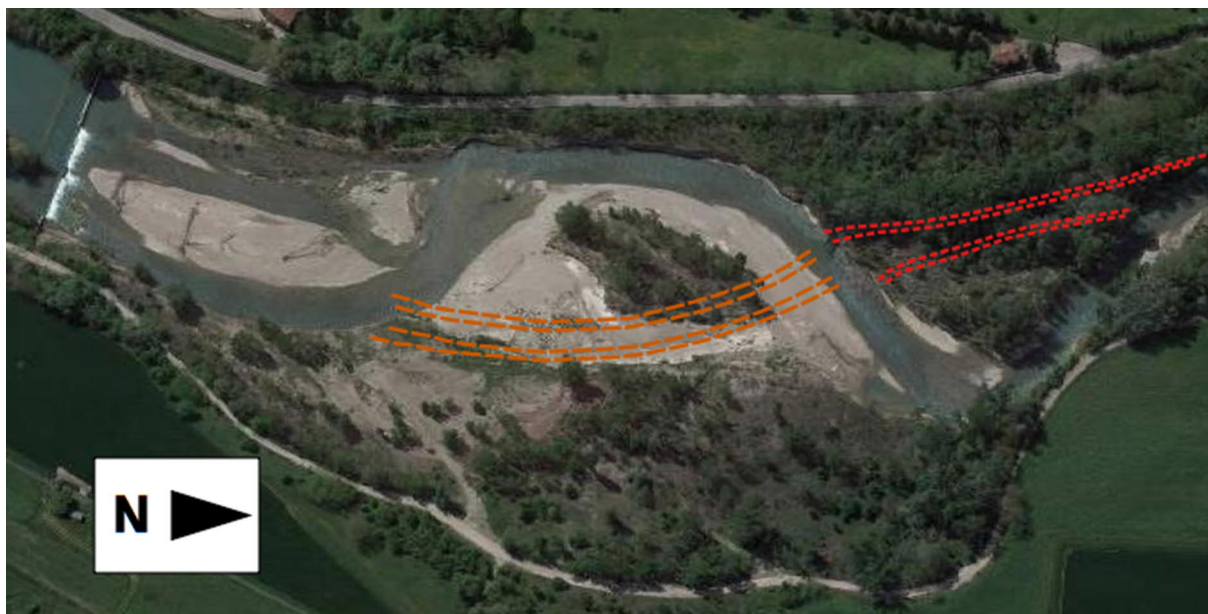


Figura 5.2 – Individuazione dell'intervento.

Per la verifica dell'intervento è stato realizzato un modello morfologico basato sul codice di calcolo SRH-2D. Con il modello è stato riprodotto un intervallo temporale di 5 anni (2011-2015) considerando le piene con colmo superiore a $50 \text{ m}^3/\text{s}$ nell'intervallo di tempo in cui le portate sono superiori a $25 \text{ m}^3/\text{s}$. È stato così ottenuto un idrogramma in continuo della durata di circa 180 giorni.

La granulometria è stata definita sulla base dei campioni: superficiale e a 1 m di profondità prelevati in prossimità dell'alveo. L'analisi dei campioni ha evidenziato l'effetto di corazzamento con un D_{50} del campione superficiale di 125 mm contro 40 mm per quello in profondità. Si è scelto di imporre una granulometria iniziale su tutto il dominio di calcolo pari a quella del campione a 1 m, lasciando che il modello riadatti la granulometria dello strato superficiale. Il fuso granulometrico è stato suddiviso in 5 classi di sedimenti da 0.25 a 256 mm

Per la definizione della portata solida in ingresso è stata inizialmente imposta la portata solida determinata sulla base della formula di trasporto utilizzata nell'ipotesi che la sezione di input sia in equilibrio. Effettuata una simulazione con questa condizione sono state estratte le portate solide in uscita ed utilizzate queste per le successive simulazioni. Questo ha consentito di non assumere il tratto iniziale in equilibrio e di avere una maggior variabilità nella relazione portate liquide/solide.

È stato inizialmente simulato uno Scenario attuale, per valutare se il modello è in grado di rappresentare in modo corretto quelle che sono le dinamiche riscontrabili dall'analisi delle ortofoto storiche. I risultati dello Scenario attuale sono stati utilizzati per il confronto con i risultati degli Scenari di intervento. Infatti, la condizione batimetrica iniziale imposta deriva da un DTM relativamente datato (2008) che è stato modificato per cercare di meglio rappresentare la situazione attuale desumibile dall'ortofoto del 2018. L'analisi dei risultati rispetto ad una condizione base consente di meglio interpretare i reali effetti degli interventi, evitando di includere comportamenti che sono in realtà dovuti a condizioni iniziali (batimetria) e al contorno (portate solide) affette da incertezza.

La simulazione dello Scenario attuale ha confermato la capacità del modello di rappresentare l'evoluzione desumibile dalle immagini degli ultimi 15 anni, con la tendenza a interrare il canale

attualmente in destra e a scavare un alveo di magra sulla parte sinistra. Anche la granulometria superficiale è stata “portata” dal modello ad un D_{50} di circa 125 mm nelle zone di alveo.

L'intervento sarà molto probabilmente suddiviso in 2 fasi: nella prima sarà scavato solo il primo tratto del canale, nella seconda sarà completato con la realizzazione del secondo tratto. Sono stati pertanto simulati 2 Scenari: Intervento Fase I e Intervento complessivo. I canali hanno una larghezza di base di circa 10 m e una pendenza delle sponde 2/3. Il profilo longitudinale è stato imposto a pendenza costante a collegare le quote di fondo dell'alveo attuale nei punti di inizio e fine dei canali stessi.

Simulazioni test preliminari hanno evidenziato come il corso d'acqua tende a “preferire” il vecchio tracciato per la parte di monte con conseguente iterrimento del canale oggetto dell'intervento di Fase I (che è quello effettivamente successo con l'intervento del 2014). Per quanto riguarda il canale oggetto dell'intervento di Fase II, il problema è meno accentuato, ma anche in questo caso si ha la tendenza al deposito e a suddividere il flusso nelle due direzioni.

Per questo motivo gli interventi implementati, oltre allo scavo dei canali, prevedono di “chiudere” il deflusso lungo l'attuale alveo. Pertanto, tutto il materiale asportato per lo scavo dei canali deve essere riutilizzato sul posto e depositato in corrispondenza dell'attuale alveo in modo da dirigere il deflusso verso i nuovi canali. In queste aree va favorita la crescita di vegetazione arborea, che aiuta a stabilizzare i depositi in modo da limitare la capacità di erosione durante gli eventi di maggior intensità per cui si avrà il sormonto dei rilevati così costituiti.

I risultati dello Scenario Intervento Fase I hanno evidenziato che nel tratto a valle della traversa continua la tendenza al deposito nella parte destra, con mantenimento dell'alveo di magra sulla sinistra, nonostante il tracciato del nuovo canale sia posto in continuità con il canale attualmente esistente. Questa tendenza è legata al forte dislivello presente tra lato destro e sinistro. Per ovviare a questo andamento il nuovo canale dovrebbe proseguire verso monte fino alla traversa con quote di fondo uguali o inferiori a quelle presenti sul lato sinistro. Questo aumenterebbe di molto il materiale da movimentare, senza la certezza di riuscire a stabilizzare l'alveo in questa posizione, infatti la tendenza evolutiva, probabilmente, dipende anche dall'evoluzione morfologica a monte della traversa, e anche qui la tendenza è di mantenere l'alveo spostato sulla sinistra.

La tendenza a mantenere l'alveo di magra in sinistra impone al corso d'acqua una brusca doppia curva per imboccare il nuovo canale, per tale motivo si suggerisce di modificare l'imbocco del canale spostandolo più verso sinistra sfruttando quello attualmente esistente, come evidenziato in Figura 5.3. In questo modo si addolcisce la doppia curva, limitando anche l'impatto della corrente sulla zona di riporto. La zona andrà attentamente monitorata per verificare che l'evoluzione sia quella attesa e soprattutto per verificare la stabilità della zona di riporto che deve impedire al fiume di riprendere il suo vecchio alveo.

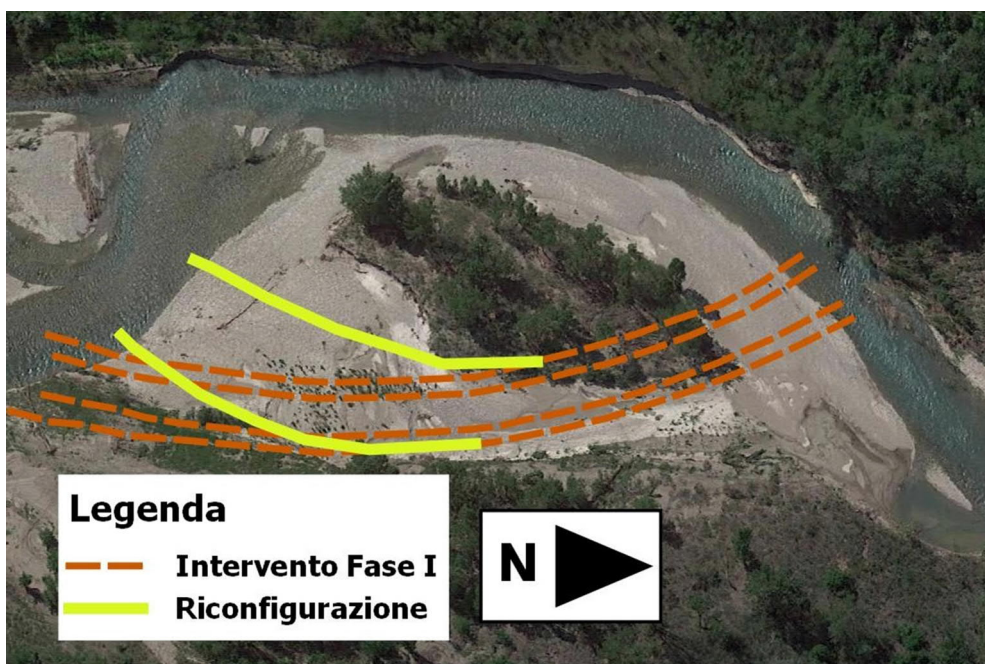


Figura 5.3 – Riconfigurazione del tracciato del canale di Fase I.

Nell'evoluzione dell'Intervento di Fase I, la mancanza del canale di valle, fa sì che il corso d'acqua sia obbligato ad effettuare una brusca curva verso destra, perché il filone di corrente va a "sbattere" contro la sponda sinistra. Si ha un'erosione della sponda destra perché il fiume tende a collegarsi alla curva di valle, tale erosione migliora sicuramente il deflusso, ma aumenterà l'area da "chiudere" quando sarà realizzato il canale dell'Intervento di Fase II.

I risultati dello Scenario Intervento complessivo dimostrano come lo scavo del secondo canale sia il naturale completamento dell'intervento. Il deflusso può proseguire senza essere obbligato alla brusca deviazione, limitando il deposito nella parte terminale del canale di monte. Anche questo secondo canale risulta stabile