

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO – CATENANUOVA (LOTTO 5)

IDRAULICA

Relazione idraulica – tratta da km 0+000 a km 8+920 – opere minori

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS3E 50 D 29 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	Abbasciano	Dicembre 2019	C. Volpini F. Lasaponara	Dicembre 2019	F. Sparacino	Dicembre 2019	F. Arduini	Dicembre 2019

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Infrastrutture Centro
Dot. Ing. Fabrizio Arduini
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n° 16362 del 1/12/19

File: RS3E50D29RIID0002001A.DOC

n. Elab.: 45

INDICE

1	PREMESSA	6
2	DESCRIZIONE INTERVENTO	7
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	7
2.2	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO PRINCIPALI DELLA LINEA FERROVIARIA	8
3	ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI	14
3.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	14
3.1.1	<i>Manuale di progettazione ferroviario</i>	<i>14</i>
3.1.2	<i>NTC 2008 e relativa Circolare Esplicativa</i>	<i>15</i>
3.1.3	<i>Criteri di verifica</i>	<i>15</i>
3.1.4	<i>Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente.....</i>	<i>16</i>
3.1.4.1	<i>Caratteristiche del modello matematico</i>	<i>17</i>
3.2	VERIFICA IDRAULICA OPERE	29
3.2.1	<i>Geometria degli alvei</i>	<i>29</i>
3.2.2	<i>Portate di progetto</i>	<i>30</i>
3.2.3	<i>Definizione dei coefficienti di scabrezza</i>	<i>31</i>
3.2.4	<i>Condizioni al contorno</i>	<i>33</i>
3.3	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI DEL FONDO E DELLE SPONDE	34
3.3.1	<i>Calcolo delle tensioni agenti</i>	<i>34</i>
3.3.2	<i>Calcolo delle tensioni resistenti</i>	<i>35</i>
3.4	INALVEAZIONE IN02 – OPERA VI01	37
3.4.1	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	<i>37</i>
3.4.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>38</i>
3.4.2	<i>Verifica del franco</i>	<i>42</i>
3.4.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	<i>43</i>

3.5	INALVEAZIONE IN03 – OPERA VI01	44
3.5.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	44
3.5.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	45
3.5.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	48
3.5.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	50
3.5.3	<i>Verifica del franco</i>	54
3.5.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	55
3.6	INALVEAZIONE IN04 – OPERA VI02	56
3.6.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	56
3.6.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	57
3.6.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	60
3.6.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	62
3.6.3	<i>Verifica del franco</i>	66
3.6.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	67
3.7	INALVEAZIONE IN07 – OPERA VI02	68
3.7.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	68
3.7.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	70
3.7.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	74
3.7.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	76
3.7.3	<i>Verifica del franco</i>	81
3.7.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	82
3.8	INALVEAZIONE IN08 – OPERA VI03	83
3.8.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	83
3.8.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	84
3.8.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	87
3.8.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	88
3.8.3	<i>Verifica del franco</i>	92
3.8.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	93
3.9	INALVEAZIONE IN10 – OPERA VI04	94
3.9.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	94

3.9.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	95
3.9.2	Descrizione simulazione numerica post operam	99
3.9.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	100
3.9.3	Verifica del franco	104
3.9.4	Sistemazione e protezione	105
3.10	INALVEAZIONE IN11 – OPERA IN11	106
3.10.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	106
3.10.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	107
3.10.2	Descrizione simulazione numerica post operam	110
3.10.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	111
3.10.3	Verifica del franco	114
3.10.4	Sistemazione e protezione	115
3.11	INALVEAZIONE IN13 – OPERA VI05	116
3.11.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	116
3.11.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	117
3.11.2	Descrizione simulazione numerica post operam	120
3.11.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	121
3.11.3	Verifica del franco	125
3.11.4	Sistemazione e protezione	126
3.12	INALVEAZIONE IN15 – OPERA IN15.....	127
3.12.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	127
3.12.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	128
3.12.2	Descrizione simulazione numerica post operam	131
3.12.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	132
3.12.3	Verifica del franco	135
3.12.4	Sistemazione e protezione	136
3.13	INALVEAZIONE IN17 – OPERA VI08	137
3.13.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	137
3.13.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	138
3.13.2	Descrizione simulazione numerica post operam	141

3.13.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	143
3.13.3	Verifica del franco	146
3.13.4	Sistemazione e protezione	147
3.14	INALVEAZIONE IN18 – OPERA VI09	148
3.15	INALVEAZIONE TOMBINO NI09	151
3.15.1	Descrizione simulazione numerica ante operam.....	151
3.15.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	153

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta lo studio inerente le interferenze idrauliche minori relative al Progetto Definitivo della direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo, lotto 5 tratta Dittaino – Catenanuova da pk 0+000 a pk 8+950.

La finalità del presente studio idraulico è il dimensionamento e la verifica del funzionamento di una serie di opere idrauliche che attraversano l'infrastruttura di progetto. Tali opere sono state individuate sulla base sia di analisi geomorfologiche dei bacini idrografici afferenti la linea ferroviaria, sia di valutazioni visive condotte durante una serie di sopralluoghi estesi a tutte le opere esistenti lungo la tratta ferroviaria in oggetto

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- verifica idraulica di tredici opere di attraversamento mediante elaborazione di simulazione idraulica su modello matematico in schema di moto permanente;
- redazione delle planimetrie di esondazione, dei profili di moto permanente e delle sezioni con livelli idrici ed energetici relativamente alle tredici opere di attraversamento;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere;
- analisi di compatibilità idraulica;
- analisi idraulica delle fasi costruttive per alcuni corsi d'acqua.

2 DESCRIZIONE INTERVENTO

2.1 Inquadramento generale dell'area

La tratta ferroviaria Catenanuova – Raddusa Agira, compresa nella linea Palermo - Catania, si estende per circa 14 km seguendo il Fiume Dittaino.

Nel suo sviluppo, la nuova linea (in Figura 1 in colore verde) segue in alcuni tratti quasi integralmente il tracciato esistente (in Figura 1 in colore bianco) mantenendosi in destra idraulica del fiume Dittaino.

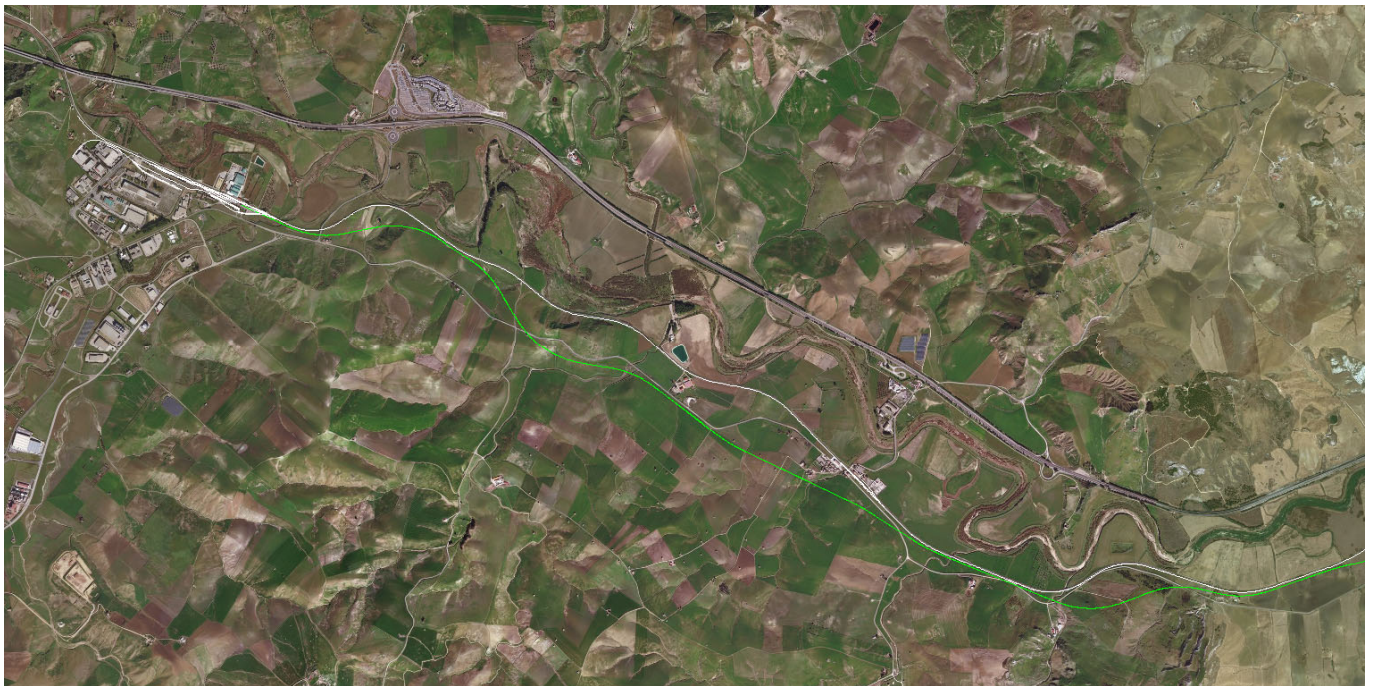


Figura 1 - Inquadramento geografico nuovo tracciato ferroviario.

2.2 Inquadramento manufatti di attraversamento principali della linea ferroviaria

Nella Tabella 1 sono riportati i manufatti per i quali la verifica idraulica è stata eseguita mediante elaborazione su modello matematico monodimensionale o bidimensionale in schema di moto permanente o vario. Per ogni manufatto si riporta la progressiva chilometrica da profilo, il toponimo e la WBS (work breakdown structure) dell'inalveazione.

Progressiva	ID bacino	Denominazione	Manufatto di progetto	Manufatto di progetto
0+476	A2	Fosso	VI01	IN02
0+652	A3	Fosso	VI01	IN03
1+521	A5	Fosso	VI02	IN04
1+796	A6+A7	Fosso	VI02	IN07
2+523	A8(1)	Fosso	VI03	IN08
3+612	A9	Fosso	VI04	IN10
4+313	A10	Fosso	IN11	IN11
4+916	A11	Fosso	VI05	IN13
6+526	A13	Fosso	RI12-IN15	IN15-NI03
8+127	A17	Fosso	VI08	IN17
8+748	A18bis	Fosso	VI09	IN18

Tabella 1 – Elenco delle opere di attraversamento verificate.

Nelle figure seguenti è riportato un inquadramento geografico su ortofoto di tali opere, evidenziate in colore azzurro.



Figura 2 - Inquadramento geografico IN02 - IN03



Figura 3 - Inquadramento geografico IN04 - IN07



Figura 4 - Inquadramento geografico IN08



Figura 5 - Inquadramento geografico IN10



Figura 6 - Inquadramento geografico IN11



Figura 7 - Inquadramento geografico IN13



Figura 8 - Inquadramento geografico IN15



Figura 9 - Inquadramento geografico IN17 – IN18

3 ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI

3.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

3.1.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico è stato verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $Tr= 300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$
- linea ferroviaria $Tr= 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$
- deviazioni stradali $Tr=200$ anni

...omississ...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- *franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico*
- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;*
- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*
- *Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto considerando le dimensioni del plinto invece che quelle della pila.”*

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue:

“Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2m;*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”

3.1.2 NTC 2008 e relativa Circolare Esplicativa

Come previsto dalla Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa circolare Applicativa, tutti gli attraversamenti maggiori dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:

- NTC 2008 e Circolare applicativa: 5.1.2.4 Compatibilità idraulica

.....omissis.....

In tal senso può ritenersi normalmente che il valore della portata massima e del relativo franco siano riferiti ad un tempo di ritorno non inferiore ai 200 anni; è di interesse stimare i valori della frequenza probabile di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso. Nel caso di corsi d'acqua arginati, la quota di sottotrave deve essere comunque non inferiore alla quota della sommità arginale.

.....omissis.....

A titolo di indicazione, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50-2,000m, è da raccomandare che il dislivello tra il fondo e sottotrave sia non inferiore a 6-7m quando si possa temere il transito di alberi d'alto fusto, con l'avvertenza di prevedere valori maggiori per ponti con luci inferiori a 40m o per ponti su torrenti esposti a sovralti d'alveo per deposito di materiali lapidei provenienti da monte o dai versanti.

3.1.3 Criteri di verifica

Sulla base di quanto riportato nei due precedenti paragrafi, le nuove opere di attraversamento sono state progettate secondo i seguenti i criteri:

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa
Manufatti di attraversamento principali (ponti e viadotti)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>linea ferroviaria Tr= 300 anni per S > 10 km²</i> • <i>linea ferroviaria Tr= 200 anni per S < 10 km²</i> • <i>deviazioni stradali Tr=200 anni</i> 	<i>Tr = 200 anni</i>
Verifica Franco di Progetto ponti.	<i>Franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico.</i>	<i>1,50 m</i>
Dislivello tra fondo e sottotrave	-	<i>Non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto</i>
Posizione spalle	<i>Posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;</i>	<i>Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali.</i>
Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)	<i>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</i>	-

3.1.4 Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione del profilo idrico nella situazione attuale e di progetto è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS

4.1.0 River Analysis System del gennaio 2010, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, i cui fondamenti concettuali sono riportati in seguito.

3.1.4.1 Caratteristiche del modello matematico

Di seguito vengono esposti i fondamenti teorici alla base della modellazione idraulica monodimensionale, effettuata mediante il codice di calcolo HEC-RAS RIVER ANALYSYS SYSTEM versione 4.1.0 del gennaio 2010, utilizzata per il calcolo dei livelli di piena e conseguenti aree d'esondazione.

La determinazione del livello del pelo libero in ogni sezione è computato, nel caso di correnti lente, a partire dalla sezione di valle, risolvendo per via iterativa l'equazione dell'energia, ossia:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dove: Y1 e Y2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z1 e Z2 rappresentano rispettivamente le elevazioni sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V1 e V2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte, α_1 e α_2 i rispettivi coefficienti di Coriolis, g l'accelerazione di gravità e h_e le perdite di energia tra le due sezioni.

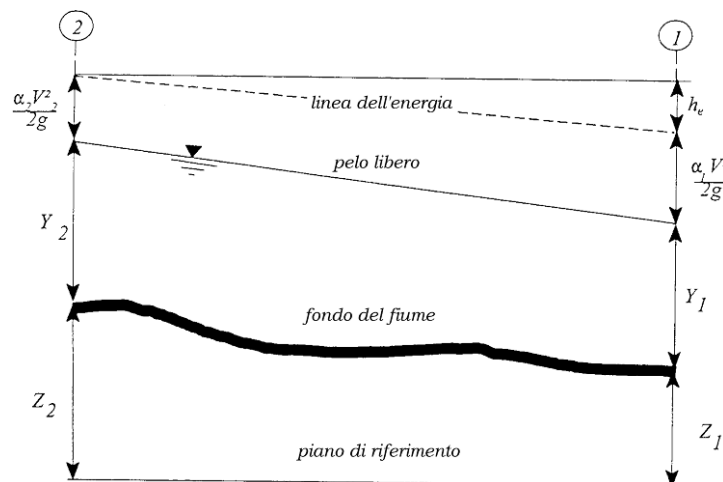


Figura 10 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 10 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (1).

Le perdite di energia complessive tra le due sezioni sono dovute alle perdite continue e a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

$$h_e = L\bar{J} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove, con L è indicata la distanza tra le due sezioni, con \bar{J} le perdite di carico medie distribuite tra le due sezioni mentre il C correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni.

Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning, ossia:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (3)$$

dove: Q rappresenta la portata, A l'area bagnata, R_h il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza secondo Manning e J le perdite di energia per unità di lunghezza.

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 11).

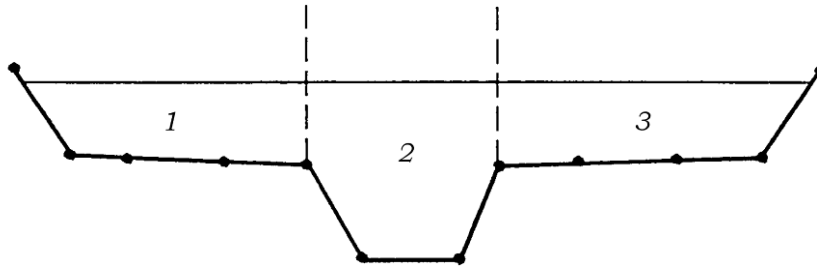


Figura 11: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 11 indicata con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte *i*-esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning :

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_{h,i}^{2/3} \quad (4)$$

Calcolata la capacità di portata per ogni singola parte in cui è stata suddivisa la sezione, la perdita di carico per unità di lunghezza J risulta pari a:

$$J = \left(\frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2 \quad (5)$$

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservato che, per la costanza di J, la portata di ogni singola area $Q_i = K_i \sqrt{J}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale $Q = \sum_i Q_i$.

Calcolata la perdita di carico in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 la pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni e fornita dalla seguente equazione:

$$\bar{J} = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (6)$$

Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 .

Esprese le portate delle singole parti i-esime in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{\sum_i \frac{K_i^3}{A_i^2}}{\sum_i K_i} \right) \frac{\left(\sum_i A_i \right)^2}{\left(\sum_i K_i \right)^3} \quad (7)$$

dal cui calcolo è possibile ottenere α , il coefficiente di Coriolis.

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia h_e ed il coefficiente di Coriolis α la (1), associata all'equazione di continuità, permette di calcolare la quota del pelo libero, $Y_2 + Z_2$, nella sezione di monte a partire dal valore dell'energia totale, $Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g$ noto in corrispondenza della sezione di valle.

Essendo la (1) un'equazione non lineare, la soluzione è ottenuta con ciclo iterativo, a partire da una soluzione iniziale, approssimata, di primo tentativo.

Ogni volta che la corrente passa attraverso la condizione critica l'equazione dell'energia non viene considerata applicabile e viene utilizzata l'equazione del momento. All'interno di Hec-Ras l'equazione del momento può essere applicata ai seguenti problemi: formazione di un risalto idraulico, sovrizzo determinato dai ponti e intersezioni di corsi d'acqua.

L'equazione della conservazione del momento è definita partendo dalla seconda legge di Newton $\sum F_x = ma$ con x la direzione del moto, applicata ad un elemento di fluido racchiuso tra due generiche sezioni 1-2, Figura 12.

Per equilibrio si ottiene:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (8)$$

dove

P_i , risultante della pressione idrostatica;

W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f , forza d'attrito tra le due sezioni;

Q , portata complessiva;

ρ , densità del fluido;

ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

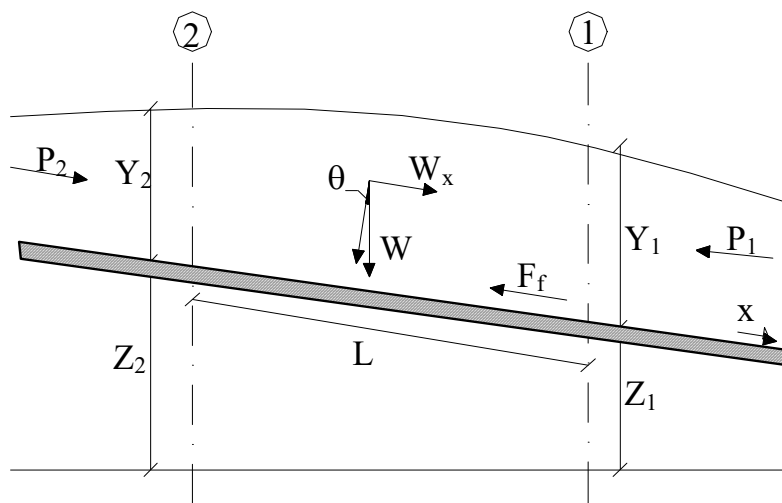


Figura 12: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

La risultante della pressione idrostatica per pendenze dell'ordine di 1 a 10 è valutabile come:

$$P = \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \cdot \cos\theta \cong \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \quad (9)$$

potendo porre, per le pendenze in esame, $\cos\theta = 1$.

Nella relazione (9) γ corrisponde al peso specifico del fluido, A l'area della sezione ed \bar{Y} l'altezza del pelo libero nel baricentro della sezione.

La componente della forza peso, noto il peso specifico del fluido, la lunghezza L del tronco e l'area totale di fluido presente, è valutata nel modo seguente:

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \Rightarrow W_x = W \cdot \sin\theta \quad (10)$$

La forza d'attrito F_f è funzione delle caratteristiche del fluido come la densità dell'acqua, l'azione tangenziale che si esplica sul fondo e la cadente piezometrica J.

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma RJ \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} JPL = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot JL \quad (11)$$

dove P ed R sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

La soluzione dell'equazione (8) è ottenuta per iterazioni successive.

Le equazioni (1) e (8) sono applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. E' sufficiente suddividere il tratto interessato in più sezioni e ripetere per la successione di esse l'analisi svolta per il tratto delimitato da sole due sezioni.

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 13 e Figura 14, si evidenziano 3 zone:

- una zona di contrazione in cui arriva la corrente;
- una zona intermedia interessata dalla presenza del ponte;
- una zona di espansione in cui esce la corrente.

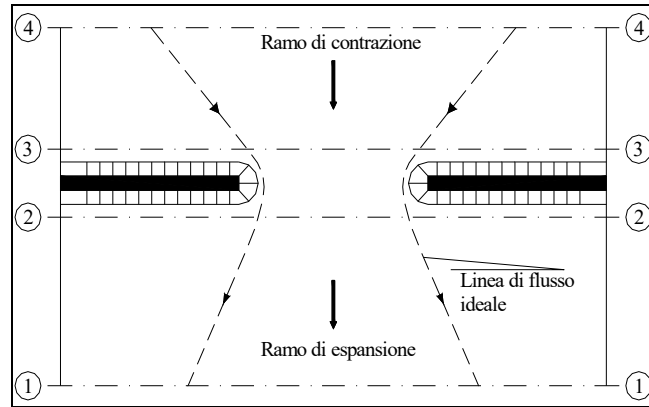


Figura 13: Pianta schematica di un attraversamento fluviale

L'applicazione dell'equazione della conservazione del momento tra le sezioni 1-2 e 3-4 è del tutto analoga alla situazione vista in precedenza mentre la presenza del ponte comporta termini nuovi nella valutazione dell'equilibrio tra le sezioni 2-BD (Step 1), BD-BU (Step 2) ed BU-3 (Step 3), rappresentate in Figura 14.

Step 1; definendo con A_{pi} l'area ostruita ed con Y_{pi} la distanza verticale che intercorre tra il baricentro delle pile e la superficie libera WS nella zona di valle, l'espressione del bilancio è scritta come:

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{gA_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} = \frac{Q_2^2 \beta_2}{gA_2} + A_2 Y_2 - A_{P_{BD}} Y_{P_{BD}} + F_f - W_x$$

Step 2; equilibrio tra BU e BD

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{gA_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} + F_f - W_x = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{gA_{BU}} + A_{BU} Y_{BU}$$

Step 3; equilibrio tra BU e 3

$$\frac{Q_3^2 \beta_3}{gA_3} + A_3 Y_3 = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{gA_{BU}} + A_{BU} Y_{BU} - A_{P_{BU}} Y_{P_{BU}} + F_f - W_x + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{gA_3^2}$$

con C_D coefficiente di resistenza idrodinamica intorno alla pila ricavabile dalla Tabella 2 in funzione del tipo di pila presente.

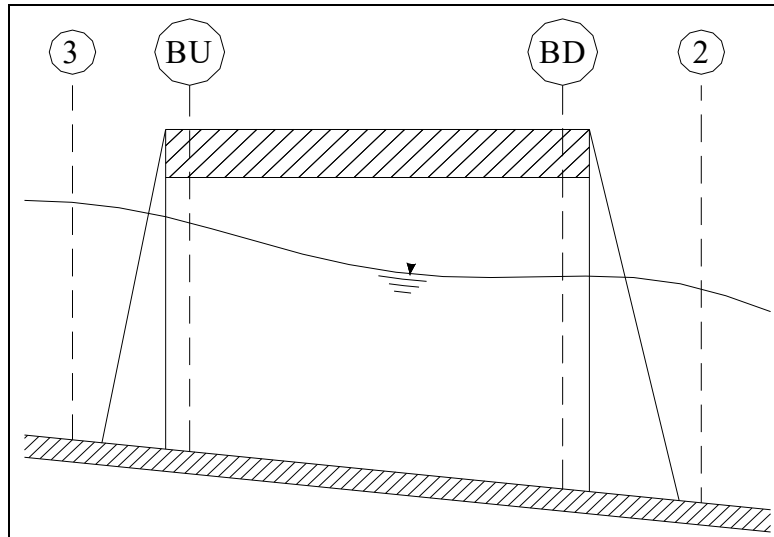


Figura 14: Sezione schematica di un attraversamento fluviale

TIPO DI PILA	C_D
Pila circolare	1.2
Pila allungata con punta semicircolare	1.33
Pila ellittica con rapporto assi 2 :1	0.6
Pila ellittica con rapporto assi 4 :1	0.32
Pila ellittica con rapporto assi 8 :1	0.29
Pila rettangolare	2.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 30^\circ$	1.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 60^\circ$	1.39
Pila triangolare con apertura $\alpha = 90^\circ$	1.60
Pila triangolare con apertura $\alpha = 120^\circ$	1.72

Tabella 2:Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

In alternativa all'equazione della conservazione del momento è utilizzata l'equazione di Yarnell che permette di valutare le perdite di energia localizzate in corrispondenza di un ponte.

Con riferimento alle Figura 13 e Figura 14, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono valutate nel modo seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15\alpha^4) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (12)$$

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K , coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, tab. 2; ω rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V_2 la velocità a valle della sezione.

TIPO DI PILA	K
Pila semicircolare in punta	0.9
Pila cilindrica doppia collegata con diaframma	0.95
Pila cilindrica doppia senza diaframma	1.05
Pila con punta triangolare $\alpha = 90^\circ$	1.05
Pile rettangolari	1.25
Dieci pile a cavalletto inclinate	2.5

Tabella 3: Coefficiente di Yarnell

Il modello elaborato prevede una corrente con un'altezza idrica minore dell'altezza di intradosso del ponte. Nel caso di correnti con altezza idrica superiore o eguale alla quota di intradosso dell'attraversamento fluviale, la valutazione delle perdite di energia è effettuata attraverso il calcolo della portata che attraversa la sezione. In particolare, in riferimento ad un caso generico, la portata è calcolata nel modo seguente:

$$Q = C_d A_1 \left[2g \left(Y_1 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (13)$$

Dove:

C_d , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 16, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

A_1 , area della luce nella sezione di monte;

Y_1 , altezza idrica della sezione di monte;

α , coefficiente correttivo cinetico;

V_1 , velocità della corrente a monte.

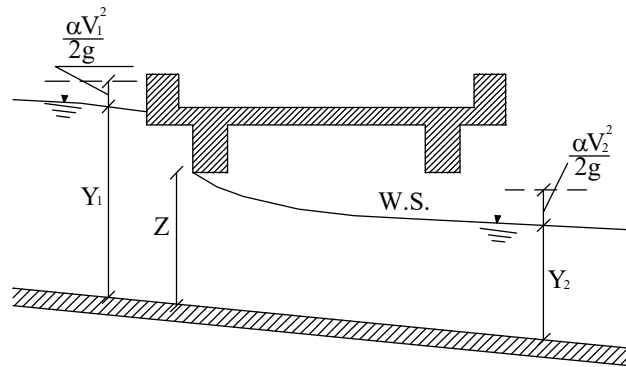


Figura 15: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

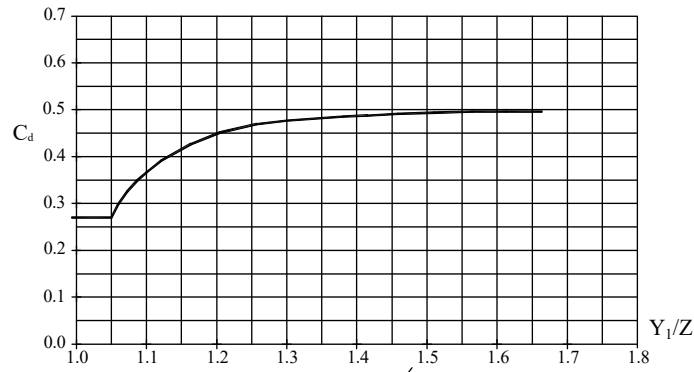


Figura 16: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

Se il ponte è in pressione sia a monte che a valle l'equazione (10) è corretta nel modo seguente:

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

dove C assume il valore di 0.8 ed H coincide con la perdita di energia totale tra la sezione di monte e di valle del ponte come indicato in Figura 17.

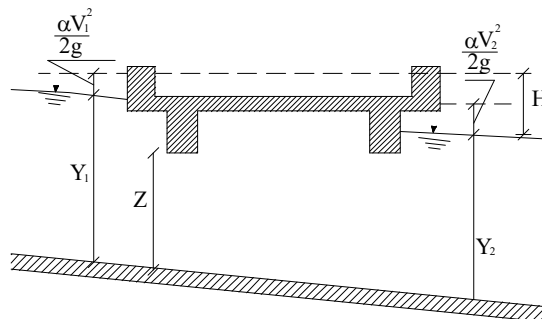


Figura 17: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 18, la portata si calcola nel modo seguente:

$$Q = CLH^{2/3}$$

con C si indica un coefficiente correttivo della portata, L la lunghezza del ponte ed H la differenza di energie tra monte e valle.

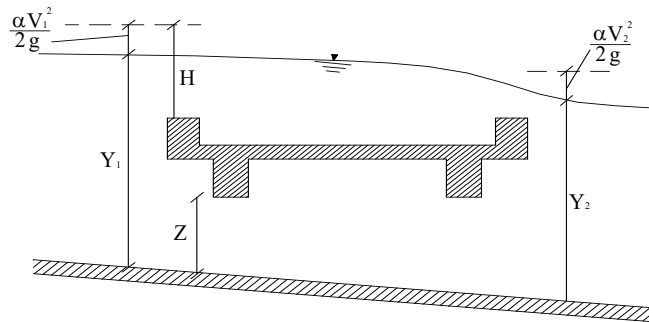


Figura 18: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

L'analisi del deflusso attraverso un tombino si basa sul concetto di controllo all'imbocco o allo sbocco.

Il deflusso secondo il controllo all'imbocco si verifica quando la capacità di deflusso all'entrata del tombino è inferiore a quella interna. La sezione di controllo è collocata subito a valle dell'imbocco della struttura. L'altezza d'acqua passa per il livello critico e il regime di deflusso risulta essere rapido. L'energia richiesta a monte viene calcolata assumendo che l'imbocco del tombino agisca come uno stramazzo; di conseguenza il profilo che si ottiene secondo tale approccio dipende principalmente dalla geometria dell'entrata.

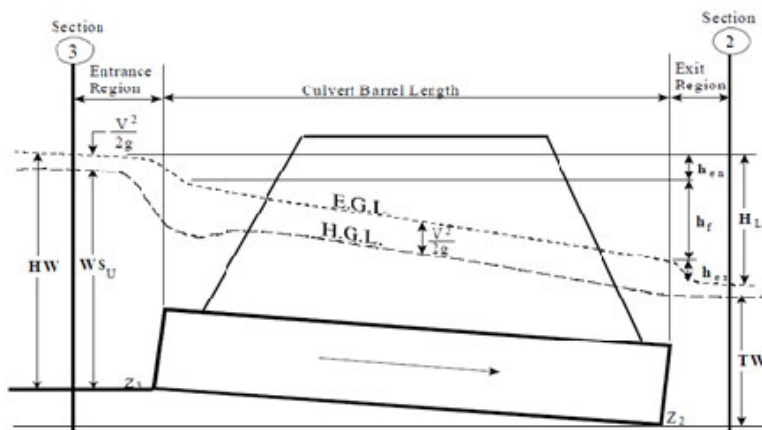


Figura 19: Schema di un tombino ponticello

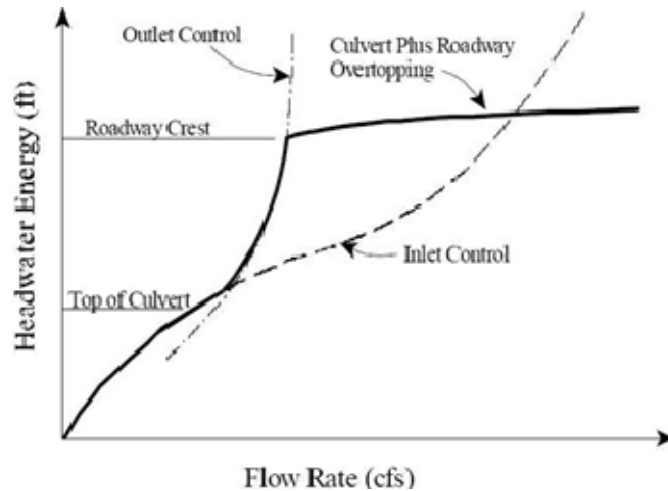


Figura 20: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

Il deflusso secondo il controllo allo sbocco si verifica quando la capacità di deflusso viene limitata dalle condizioni che si instaurano a valle o dalle caratteristiche geometriche della struttura. In linea generale il livello di energia determinato a monte controlla il tipo di deflusso nel tombino, data la portata a monte e il livello a valle. Per il controllo allo sbocco l'energia di monte viene calcolata effettuando un bilancio di energia dalla sezione di valle a quella di monte. Il modulo considera le perdite di ingresso, quelle di uscita e quelle per attrito all'interno della struttura.

Per quanto riguarda il controllo all'imbocco, la capacità della struttura è limitata dall'apertura del tombino, piuttosto che dalle condizioni che si instaurano a valle. Per il calcolo del livello vengono utilizzate le equazioni ricavate dal National Bureau of Standards e pubblicate nel "Hydraulic Design of Highway Culverts" (FHWA, 1985). Le equazioni sono:

Deflusso libero:

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

Deflusso rigurgitato:

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

Dove:

HW_i livello dell'energia all'imbocco

D altezza interna del tombino

H_c altezza critica

Q portata

A area della sezione interna del tombino

S pendenza

K, M, c, Y costanti variabili con la geometria e le condizioni di ingresso.

Per il controllo allo sbocco l'energia richiesta a monte per consentire il deflusso deve essere computata considerando diverse condizioni nel tombino e a valle di esso. Hec-Ras usa l'equazione di Bernoulli per effettuare tale calcolo:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

dove:

Y_3, Y_2 tirante d'acqua nelle sezioni di monte e di valle;

Z_3, Z_2 quota del fondo del tombino a monte e a valle;

a_3, a_2 coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;

g accelerazione di gravità;

H_L perdita di carico attraverso il tombino.

Nel caso in cui si verifichi moto in pressione all'interno del tombino, la perdita totale di energia viene calcolata secondo la:

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

Dove:

h_{en} perdite in entrata

h_f perdite per attrito

h_{ex} perdite in uscita.

Le perdite per attrito vengono considerate mediante la formulazione di Manning:

$$h_f = L \left(\frac{Qn}{1.486AR^{3/2}} \right)^2$$

Dove:

- h_f perdite per attrito
 L lunghezza del tombino
 Q portata
 n coefficiente di scabrezza di Manning
 A area della sezione di flusso
 R raggio idraulico.

Le perdite di ingresso sono calcolate come frazione del carico cinetico a monte, e analogamente per quelle di uscita, secondo il carico cinetico di valle. Tali coefficienti dipendono fortemente dalla geometria che caratterizza l'imbocco e lo sbocco dell'opera.

3.2 Verifica idraulica opere

3.2.1 Geometria degli alvei

I modelli matematici sono stati sviluppati riproducendo la geometria degli alvei naturali mediante le sezioni trasversali dei corsi d'acqua, ricavate da un rilievo topografico di dettaglio eseguito sulle aste fluviali. In taluni casi le sezioni di rilievo sono state implementate con sezioni ricavate dal rilievo aerofotogrammetrico realizzato sull'intera tratta di progetto.

Ulteriori informazioni sono state reperite mediante specifici sopralluoghi nel corso dei quali sono state acquisite informazioni sullo stato degli alvei nell'area di studio e sulla geometria degli attraversamenti esistenti.

3.2.2 Portate di progetto

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto. In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2008), sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni.

La portata duecentennale rappresenta l'evento minimo di riferimento per le verifiche previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni e dal manuale di progettazione ferroviario per le opere che sottendono bacini inferiori ai 10 km².

La portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 300 anni rappresenta invece l'evento di verifica previsto dal manuale di progettazione ferroviario per i manufatti di attraversamento della linea ferroviaria, a cui corrisponde un bacino imbrifero di estensione superiore a 10 km².

In tabella sono riportati i valori di portata massimi ottenuti dalle analisi idrologiche, per il tempo di ritorno duecentennale.

Progressiva	Manufatto di progetto	Q, Tr 200 (mc/s)
0+476	IN02	2.90
0+652	IN03	3.40
1+521	IN04	13.30
1+796	IN07	6.40
2+523	IN08	0.97
3+612	IN10	7.00
4+313	IN11	15.70
4+916	IN13	13.90
6+526	IN15	5.80
8+127	IN17	13.70
8+748	IN18	2.80

3.2.3 Definizione dei coefficienti di scabrezza

La stima dei coefficienti di scabrezza delle superfici è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

La relazione di piano del PAI dell'Autorità di Bacino della Sicilia riporta una tabella riepilogativa (Chow, 1959) per la scelta del coefficiente di Manning in funzione delle condizioni dell'alveo.

Nella valutazione dei coefficienti di scabrezza occorre tener presente che questi sono comunque suscettibili di modifiche per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

- perdite localizzate prodotte dall'interazione della corrente con irregolarità geometriche come presenza di ostacoli di vario genere, espansioni brusche, incisioni nelle golene, brusche variazioni di larghezza;
- perdite energetiche dovute alla modificazione del fondo dell'alveo, alla risospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

Si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino a favore di sicurezza.

I sopralluoghi e le analisi di foto satellitari in diversi periodi hanno evidenziato la presenza di una folta vegetazione in corrispondenza dell'alveo con un certo deposito di ciottoli e ghiaia, oltre che una certa tortuosità dei corsi d'acqua trattati. Le aree esterne all'alveo risultano invece prive di vegetazione o coltivate.

Pertanto i coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono:

- 0.035-0.04 s/m^{1/3} per l'alveo inciso;
- 0.04-0.045 s/m^{1/3} per le aree golenali.

A. CORSI D'ACQUA NATURALI				
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>				
1. Corsi d'acqua di pianura				
a. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030	0.033	
b. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035	0.040	
c. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040	0.045	
d. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045	0.050	
e. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.010	0.018	0.055	
f. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060	
g. Trattati lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080	
h. Trattati molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150	
2. Aree golenali				
a. A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050	
b. Aree coltivate	0.020	0.035	0.050	
c. Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160	
d. Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120	
3. Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene				
a. Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050	
b. Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070	
B. CANALI ARTIFICIALI				
1. Canali in terra lisciata ed uniforme				
a. Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020	
b. Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025	
c. Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030	
d. Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033	
2. Canali in terra con ondulazioni o irregolari				
a. Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030	
b. Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033	
c. Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040	
d. Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035	
e. Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040	
f. Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050	
3. Canali scavati o dragati				
a. Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033	
b. Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060	
4. Canali in roccia				
a. Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040	
b. Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040	0.050	
5. Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli				
a. Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080	
b. Fondo pulito, cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110	
c. Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120	
d. Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140	

Tabella 4: Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

3.2.4 Condizioni al contorno

Tutti i corsi d'acqua considerati confluiscono nel fiume Dittaino e la linea ferroviaria è situata poco a monte delle rispettive confluenze.

Per tale ragione, al fine di operare in sicurezza, per la verifica del franco è stata assunta la contemporaneità di eventi con i medesimi tempi di ritorno nel singolo corso d'acqua e nel fiume principale.

Pertanto, è stata imposta come condizione al contorno il livello ottenuto dal modello bidimensionale del fiume Dittaino nella sezione di valle di ogni singolo corso d'acqua quando questa influenza il corso di studio.

È da precisare che, essendo le superfici dei bacini degli affluenti completamente diversi da quelle del bacino maggiore, lo saranno anche i tempi di formazione delle piene. Non è quindi da escludere che l'evento di progetto nei corsi d'acqua minori possa realizzarsi con bassi livelli nel fiume principale.

Nei casi dove il livello del Dittaino non influenza le sezioni di valle dei torrenti studiati le simulazioni sono state condotte imponendo la condizione di moto uniforme nella sezione di valle e di monte.

3.3 Criteri di dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde

Stante il carattere torrentizio dei corsi d'acqua è stato previsto di proteggere le zone in prossimità degli attraversamenti di progetto mediante massi cementati con calcestruzzo magro.

In generale si definisce stabile un rivestimento quando non si ha spostamento degli elementi che lo compongono.

La condizione di inizio del movimento di questi elementi si assume quindi come limite di stabilità del rivestimento.

La verifica è stata eseguita con il metodo delle tensioni di trascinamento, che prevede il confronto tra le tensioni esercitate dall'acqua sul rivestimento e le tensioni resistenti del pietrame stesso.

Il rivestimento è composto da massi intasati in calcestruzzo magro.

3.3.1 Calcolo delle tensioni agenti

L'espressione per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R:

$$\tau_b = \gamma_w R j$$

dove

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

R è il raggio idraulico;

j è la pendenza piezometrica.

Per i corsi d'acqua naturali ed i canali sufficientemente larghi il raggio idraulico R risulta pressoché coincidente con il tirante d'acqua; la formula quindi diviene, per un punto posizionato sul fondo:

$$\tau_b = \gamma_w y j$$

con y tirante idrico.

Le espressioni precedenti fanno riferimento alle condizioni al fondo del canale.

Per la verifica della stabilità delle sponde si è fatto riferimento ad un valore massimo della tensione tangenziale pari a:

$$\tau_m = 0.75 \gamma_w y j$$

che è chiaramente un valore ridotto della massima tensione tangenziale.

3.3.2 Calcolo delle tensioni resistenti

Considerato un ciottolo di diametro equivalente uguale al diametro medio d_{50} del pietrame di fondo (cioè il diametro del vaglio che consente il passaggio del 50 % in peso del materiale litoide che costituisce il rivestimento) si definisce coefficiente di Shields la grandezza adimensionale:

$$C^* = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w)d_m}$$

ove :

τ_c è la tensione tangenziale di trascinamento nella situazione critica di inizio movimento;

τ_s è il peso specifico dell'inerte.

Il denominatore risulta proporzionale alla tensione normale sul fondo dovuta al peso immerso del ciottolo; il coefficiente di Shields è dunque analogo ad un coefficiente di attrito.

La tensione tangenziale al fondo, che può essere raggiunta senza movimento del pietrame (tensione tangenziale critica), vale dunque:

$$\tau_s = C^*(\gamma_s - \gamma_w)d_m$$

Il coefficiente C^* per il pietrame assume valori tra lo 0.14 nel caso in cui il rivestimento fosse contenuto da rete metallica e lo 0.047 nel caso di pietrame sciolto (rip-rap).

Le espressioni precedenti si riferiscono al rivestimento di fondo del corso d'acqua; per quello sulle sponde occorre ridurre la tensione limite secondo la formula:

$$\tau_s = \tau_c * k_s$$

dove:

$$k_s = \sqrt{1 - \frac{\text{sen}^2\theta}{\text{sen}^2\varphi}}$$

θ è la pendenza della sponda;

φ è l'angolo di attrito interno del pietrame che costituisce il rivestimento;

Nel caso in cui l'inclinazione delle sponde sia maggiore di 45° ($q > 45^\circ$) il fattore di riduzione verrà considerato pari a $K_s = 0.57$.

Il rivestimento risulta stabile se è verificata la disequaglianza che si ottiene quando le tensioni agenti sono inferiori alle tensioni resistenti:

$$\tau_b \leq \tau_c$$

Le velocità che si instaurano nei tratti di inalveazioni sono sempre inferiori ai 5.0 m/s, nelle tabelle in calce velocità superiori sono riferibili ai tratti in cui avviene un salto di quota tra monte e valle.

Di seguito si riporta la verifica di trascinamento del rivestimento nel caso più cautelativo di alveo a forte pendenza con velocità prossime si 5 m/sec considerando una inalveazione parzialmente confinata assumendo il $C^* = 0.06$.

In questo caso si hanno:

				Tensioni agenti sul fondo	Tensioni resistenti sul fondo	Tensioni agenti sulle sponde	Tensioni resistenti sulle sponde
C^*	γ_s (kN/m ²)	φ° terreno	d_{50} (m)	τ_b (N/m ²)	τ_c (N/m ²)	τ_m (N/m ²)	τ_s (N/m ²)
0.060	26	40	0.50	307	437	230	270

Poiché le velocità sono contenute gli sforzi tangenziali sono sempre minori dei valori delle tensioni resistenti di riferimento per il fondo alveo da considerarsi pari a 437 N/m² e inferiori ai riferimenti per le tensioni resistenti sulle sponde pari a 232 N/m². Tali tensioni resistenti sono state calcolate considerando un diametro medio dei massi pari a: $d_{50} = 0.50$ m e peso per unità di volume γ_s pari a 26 kN/m³.

La pendenza media è pari a circa il 10% nei tratti a monte dell'intersezione e circa il 3% a valle dell'intersezione e nel passaggio al di sotto del ponte ferroviario.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 2.9m³/s. Il livello nel fiume Dittaino per una piena con il medesimo tempo di ritorno, calcolato mediante modello numerico bidimensionale non è stato inserito nella condizione al contorno di valle essendo questo fortemente influente con il comportamento del tratto interessato dal modello sia a monte che a valle dell'intervento..

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI01), la campata interessata dal corso d'acqua ha di luce pari a 25.0m e intradosso a quota 250.28 m.s.m.

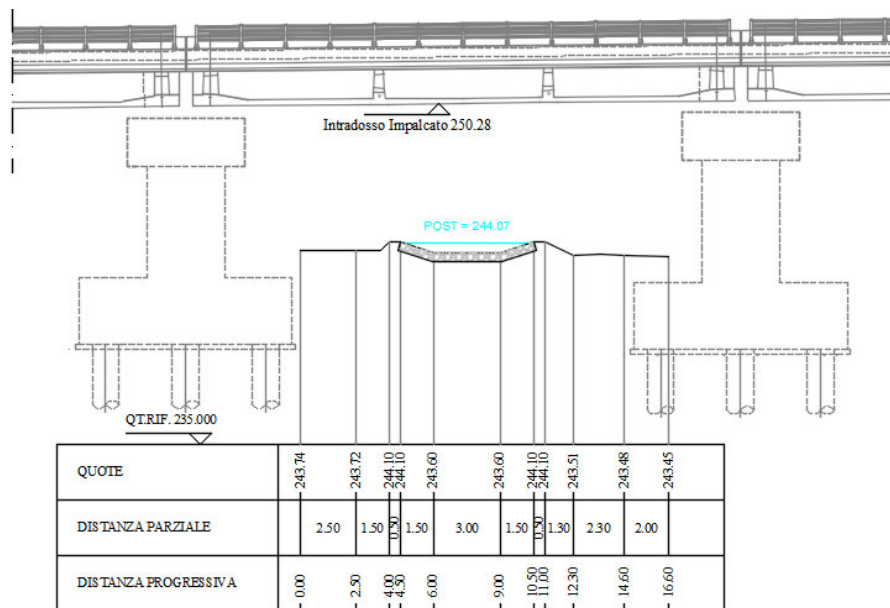


Figura 22: Corso d'acqua alla sezione 47_Viadotto VI01.

Come evidenzia la figura la larghezza del viadotto è sufficiente ad evitare interferenze con la sezione di deflusso.

3.4.1.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la

velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Tratto	Sezione	zf	h	H	U
		[m]	[m]	[m]	[m/s]
monte_1	221	257.25	257.39	257.57	1.86
monte_1	170	251.15	251.53	251.89	2.66
monte_1	117	246.69	246.9	247.11	2.04
monte_2	130	251.97	252.36	253.05	3.7
monte_2	122	250.08	250.55	251.31	3.86
monte_2	113	249.1	249.7	250.29	3.39
monte_2	101	247	247.29	248.13	4.06
valle	91	245.02	245.31	245.73	2.86
valle	70	244.2	244.61	244.81	1.93
valle	47	243.6	244.07	244.21	1.65
valle	17	243	243.43	243.58	1.76
valle	2	242.98	243.12	243.15	0.77

Tabella 5: Corso d'acqua IN02_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

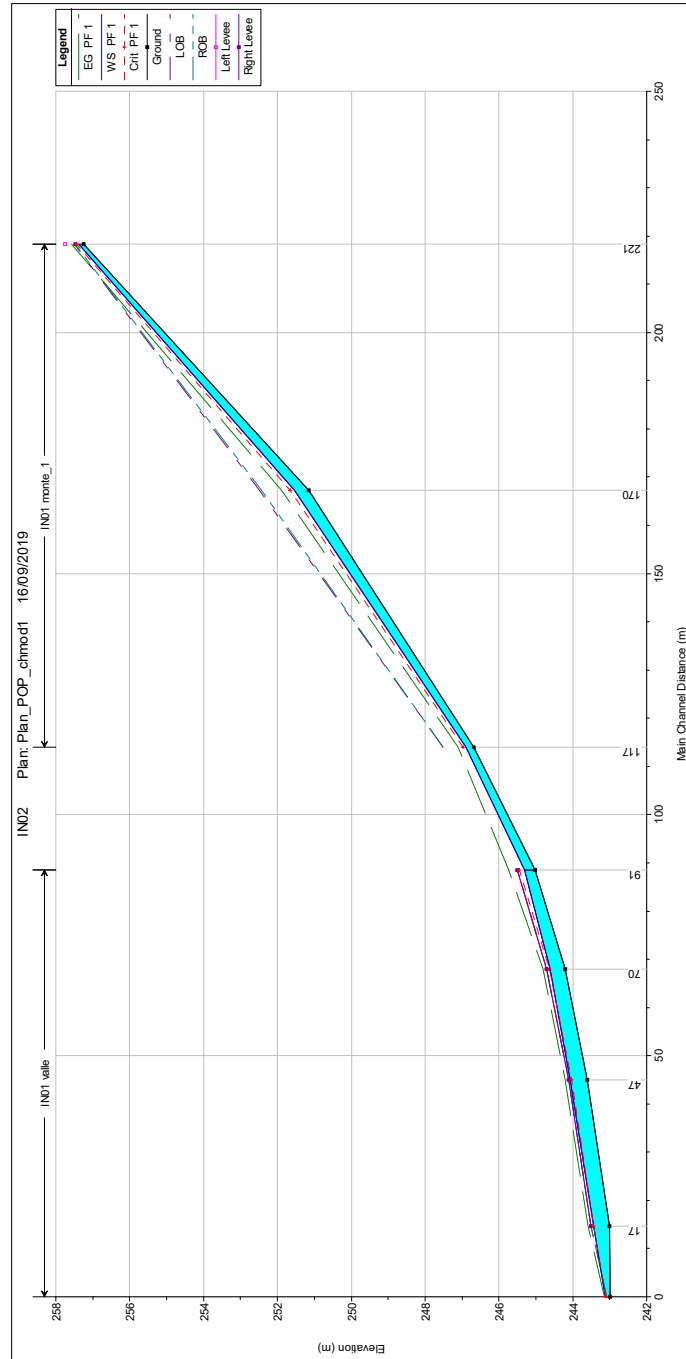


Figura 23: Corso d'acqua IN02_Profilo idrico post operam.

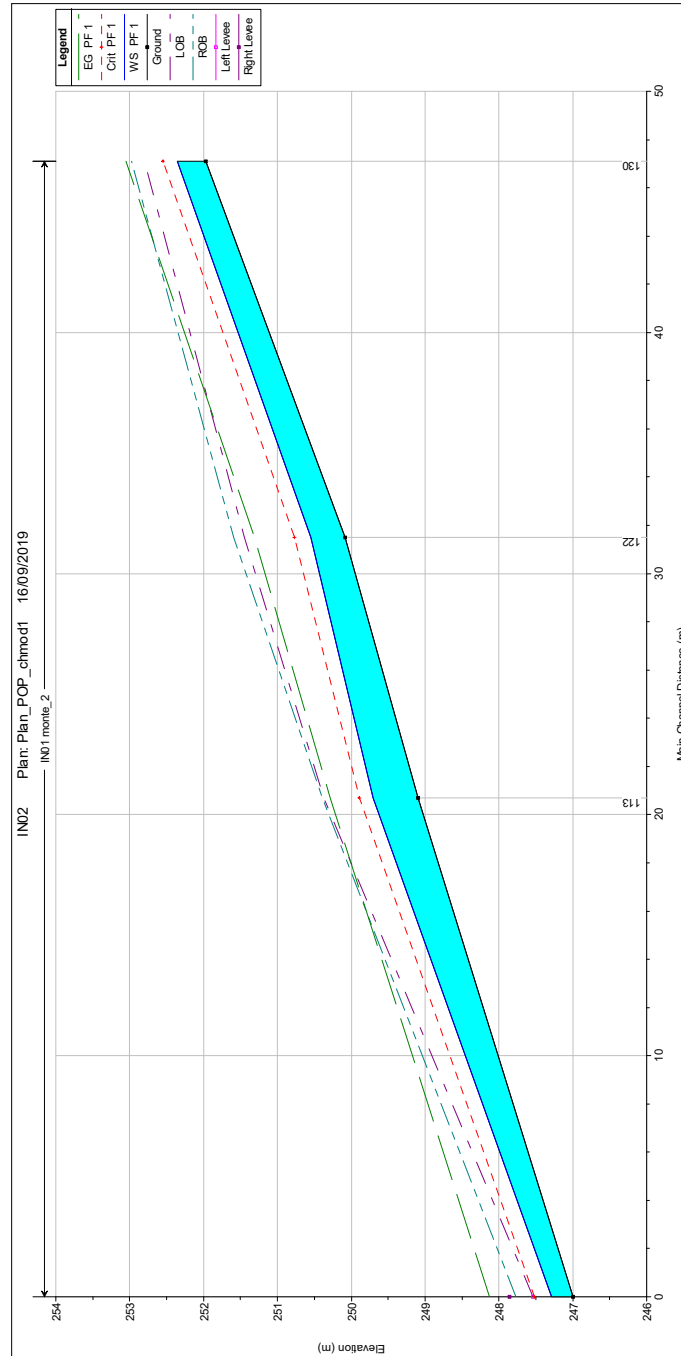


Figura 24: Corso d'acqua IN02_Profilo idrico post operam.

3.4.2 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 47	244.07	250.28	6.21

Tabella 6: Franco idraulico corso d'acqua IN02

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 47	244.21	250.28	6.07

Tabella 7: Franco energetico corso d'acqua IN02

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 6.72 mt (250.28 intradosso opera – 243.6 fondo alveo).

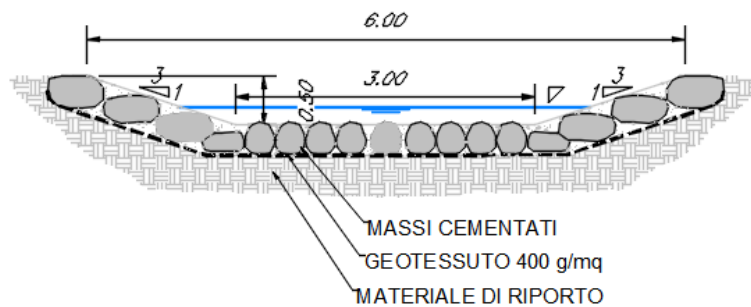
3.4.3 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 2.0 m nel tratto di monte e 3.0 m nel tratto di valle e pendenza delle sponde 1:1 nel tratto di monte e 1:3 nel tratto di valle.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 2

Scala 1:50

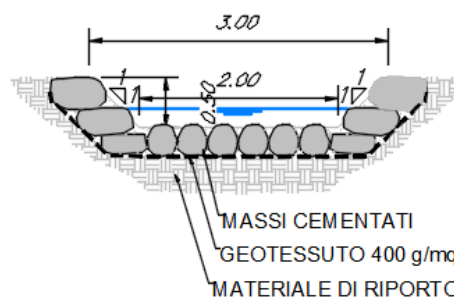
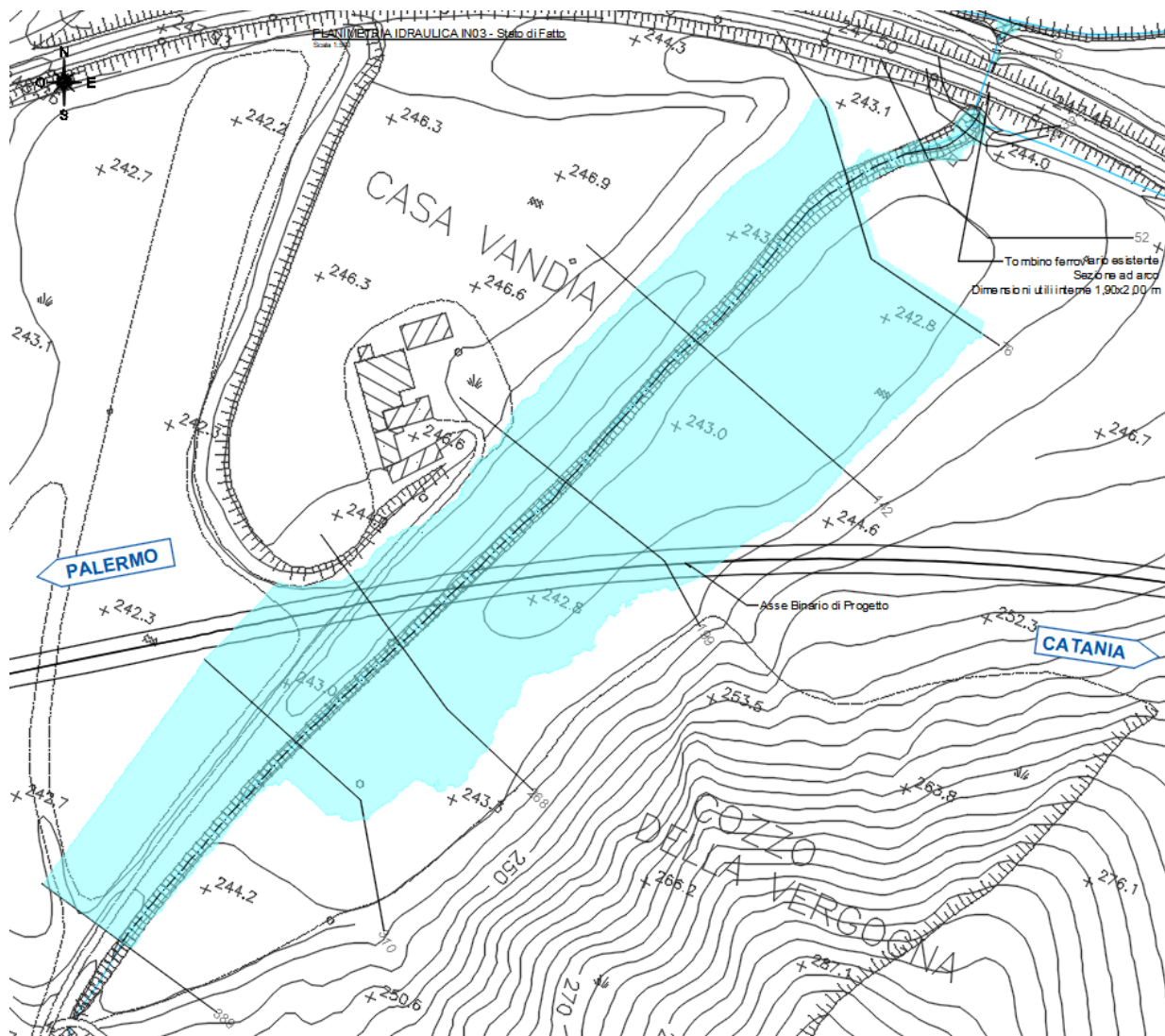


Figura 25: Corso d'acqua IN02_Sezione tipo sistemazione

3.5 Inalveazione IN03 – Opera VI01

3.5.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 140 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende fino al tombino ferroviario esistente della linea storica circa 200 m a valle della ferrovia. Tale tombino ha dimensioni 1.90 m x 2.00 m. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.




 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE						
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 26: Corso d'acqua IN03_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 1.0 % nel tratto di monte, a cavallo dell'intervento la pendenza del fondo diventa variabile con tratti in contropendenza, per poi tornare molto pendente (circa lo 0.5 %) nel tratto a monte del manufatto esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.40m³/s. Il livello nel fiume Dittaino per una piena con il medesimo tempo di ritorno, calcolato mediante modello numerico bidimensionale non è stato inserito nella condizione al contorno di valle essendo questo fortemente influente con il comportamento del tratto interessato dal modello sia a monte che a valle dell'intervento.

Come evidenzia la simulazione l'opera esistente, a meno dell'influenza della piena del Dittaino, è sufficiente per il deflusso di progetto.

3.5.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
389	244.02	244.33	244.33	0.07
310	243.1	243.53	243.53	0.16
268	242.87	243.52	243.52	0.39
199	242.89	243.49	243.5	0.29
142	242.59	243.48	243.48	0.26
76	242.73	243.47	243.47	0.33
52	242.24	243	243.2	1.96

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
38	241.36	242.24	242.28	0.87
33	240.73	242.24	242.27	0.77
19.5	Culvert			
6	240.52	241.53	241.73	2.01
2	240.35	240.67	241.43	3.85

Tabella 8: Corso d'acqua IN03_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

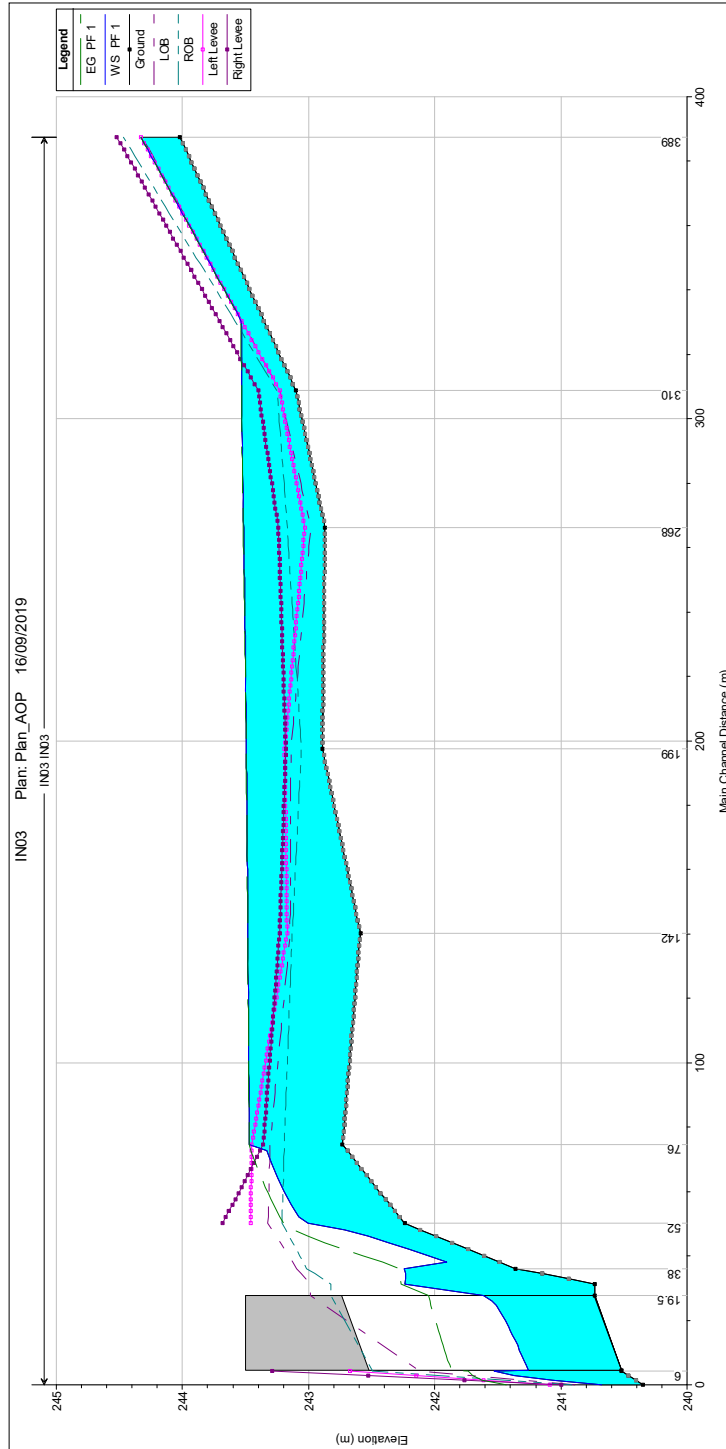


Figura 27: Corso d'acqua IN03_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per quasi tutto il tratto compreso tra la sezione 76 e l'ultima sezione di calcolo mentre il manufatto esistente di valle è sufficiente per il transito della piena.

3.5.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI01.

La configurazione di progetto prevede una leggera deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere l'attraversamento ortogonale, senza modificare sostanzialmente la configurazione delle aree allagate tra la situazione ante-operam e la situazione post-operam ed aumentare il tirante idrico sulle opere idrauliche esistenti a valle dell'interferenza idraulica di progetto.

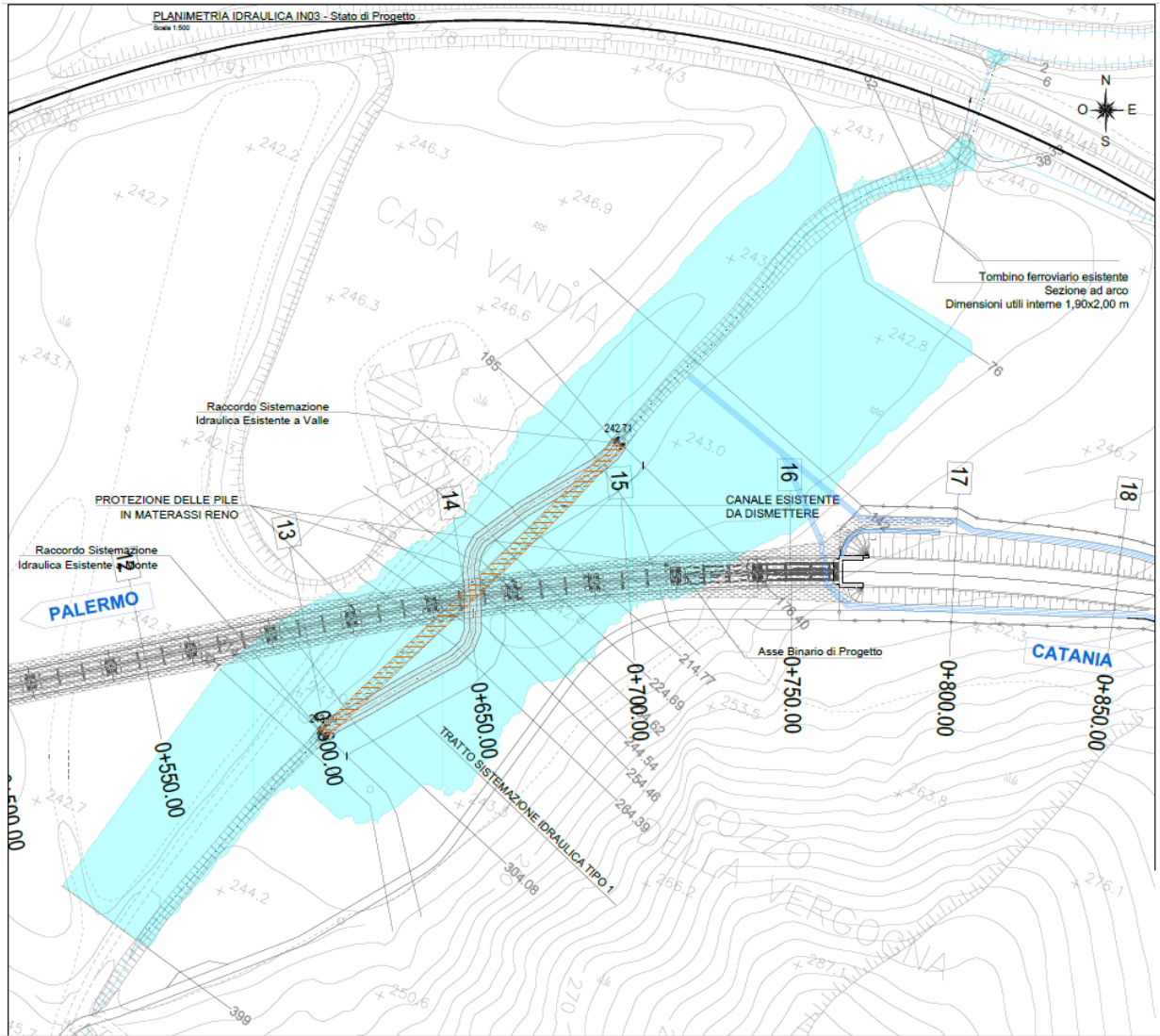


Figura 28: Corso d'acqua IN03_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 1.0 % nel tratto di monte, a cavallo dell'intervento la pendenza del fondo diventa lo 0.27%, a valle della ferrovia c'è un tratto in contropendenza, per poi tornare molto pendente (circa lo 0.5 %) nel tratto a monte del manufatto esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.40m³/s. Il livello nel fiume Dittaino per una piena con il medesimo tempo di ritorno, calcolato mediante modello numerico bidimensionale non è stato inserito nella condizione al contorno di valle essendo questo fortemente influente con il comportamento del tratto interessato dal modello sia a monte che a valle dell'intervento

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
399	244.02	244.33	244.33	0.08
321	243.1	243.52	243.52	0.16
314	243.09	243.52	243.52	0.14
304.08	243.06	243.52	243.52	0.16
264.39	242.96	243.51	243.51	0.28
254.46	242.93	243.5	243.5	0.3
244.54	242.9	243.5	243.5	0.3
234.62	242.88	243.49	243.5	0.31
224.69	242.85	243.49	243.49	0.31
214.77	242.82	243.49	243.49	0.3
185	242.74	243.48	243.48	0.27
176.4	242.71	243.48	243.48	0.28
142	242.59	243.47	243.47	0.26
76	242.73	243.45	243.46	0.35
52	242.24	243	243.19	1.95
38	241.36	242.24	242.28	0.86
33	240.74	242.23	242.27	0.8
19.5	Culvert			
6	240.52	241.53	241.73	2.01
2	240.35	240.67	241.43	3.85

Tabella 9: Corso d'acqua IN03_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

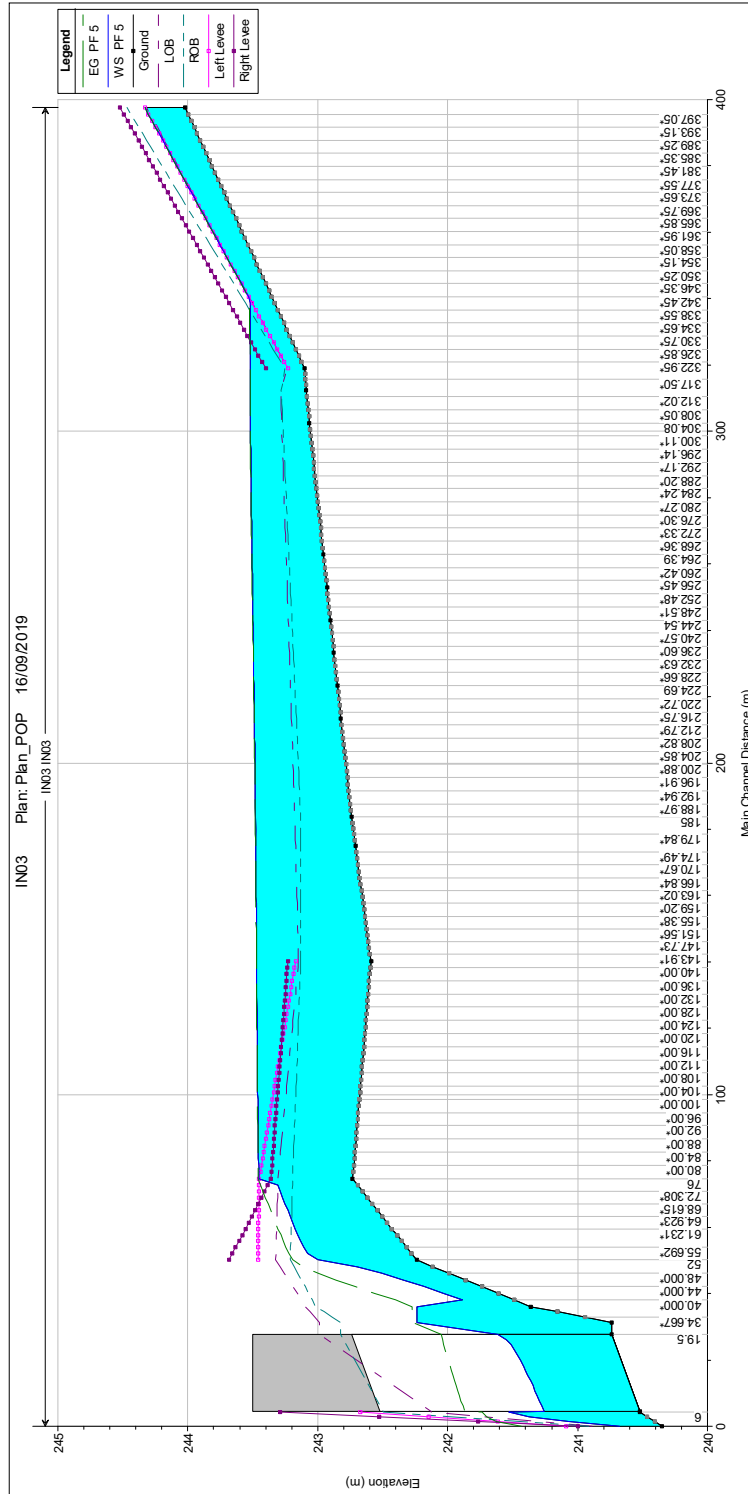


Figura 30: Corso d'acqua IN03_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per tutto il tratto centrale, il manufatto esistente di valle è sufficiente per il transito della piena.

3.5.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 244.54	243.50	250.86	7.36

Tabella 10: Franco idraulico corso d'acqua IN03

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 244.54	243.50	250.86	7.36

Tabella 11: Franco energetico corso d'acqua IN03

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 7.96 m (250.86 intradosso opera – 242.9 fondo alveo).

3.5.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3.0 m e pendenza delle sponde 1:3.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

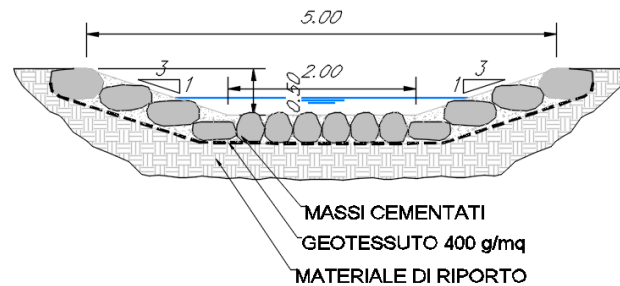


Figura 31: Corso d'acqua IN03_ Sezione tipo sistemazione

3.6 Inalveazione IN04 – Opera VI02

3.6.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 230 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria esistente e si estende fino al tombino ferroviario esistente circa 50 m a valle del manufatto ferroviario esistente nella confluenza con il fiume Dittaino. Tale tombino ha dimensioni 0.80 m x 1.40 m. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.

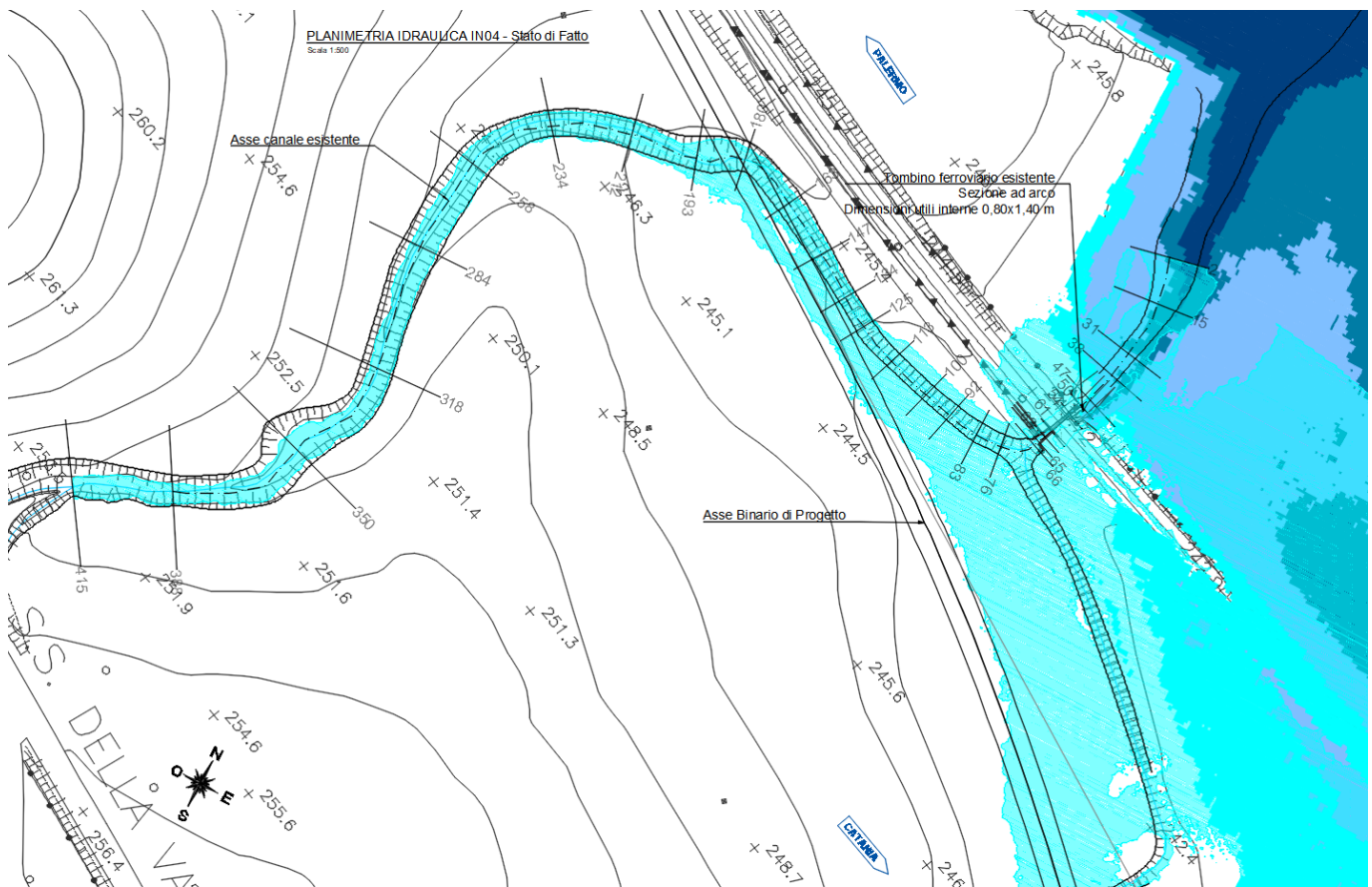


Figura 32: Corso d'acqua IN04_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 2.0 % nel tratto a monte del manufatto esistente l'alveo presenta andamenti disomogenei con brevi tratti in contropendenza.

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale e andamento triangolare, con il ramo ascendente della portata di picco pari al ramo discendente e avente durata uguale al tempo di corrivazione.

Il picco è pari a 13.30 m³/s. A valle la condizione al contorno coincide con il livello di massima piena del fiume Dittaino pari a 241.50 m s.l.m., calcolato mediante modello numerico bidimensionale.

Come evidenzia la simulazione, l'opera esistente è insufficiente per il deflusso di progetto.

3.6.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
415	249.07	250.49	251.02	3.22
388	248.51	249.79	250.7	4.22
350	247.33	248.37	248.83	3.02
318	246.4	247.7	248.22	3.19
284	245.83	247.08	247.45	2.69
258	245.45	246.8	247.08	2.34
234	245.12	246.41	246.92	3.15
212	244.92	245.92	246.42	3.15
193	244.38	245.56	245.82	2.26

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
180	244.16	245.36	245.83	3.05
163	243.78	244.99	245.41	2.89
147	243.4	244.68	245.03	2.62
134	243.49	244.4	244.83	2.98
125	242.84	244.21	244.59	2.76
113	242.95	243.97	244.36	2.83
100	242.27	243.75	244.01	2.33
92	242.29	243.7	243.88	1.93
83	242.27	243.58	243.85	2.35
76	241.94	243.49	243.8	2.48
66	241.82	243.55	243.6	1.08
65	241.52	243.51	243.61	1.43
63	241.52	243.53	243.65	1.56
61	240.43	243.55	243.7	1.71
54	240.79	241.94	243.69	5.84
50	241.25	241.9	242.18	2.34
47	241.02	241.91	242.04	1.61
38	240.88	241.74	241.97	2.17
31	240.71	241.59	241.81	2.34
15	240.08	241.51	241.51	0.2
2	240.26	241.5	241.5	0.1

Tabella 12: Corso d'acqua IN04_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

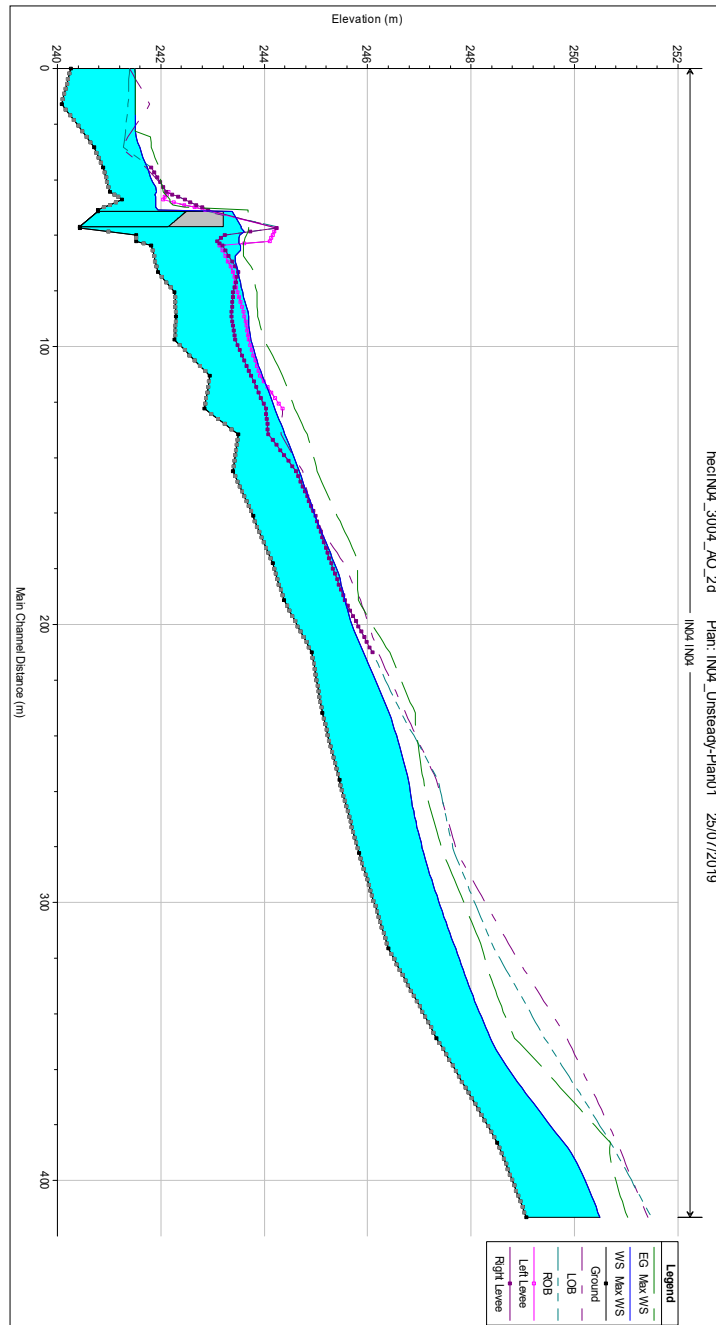


Figura 33: Corso d'acqua IN04_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per quasi tutto il tratto di monte, diventa insufficiente dei pressii del tombino idraulico della linea storica e ciò determina l'allagamento delle zone adiacenti.

3.6.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI02.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere l'attraversamento ortogonale.

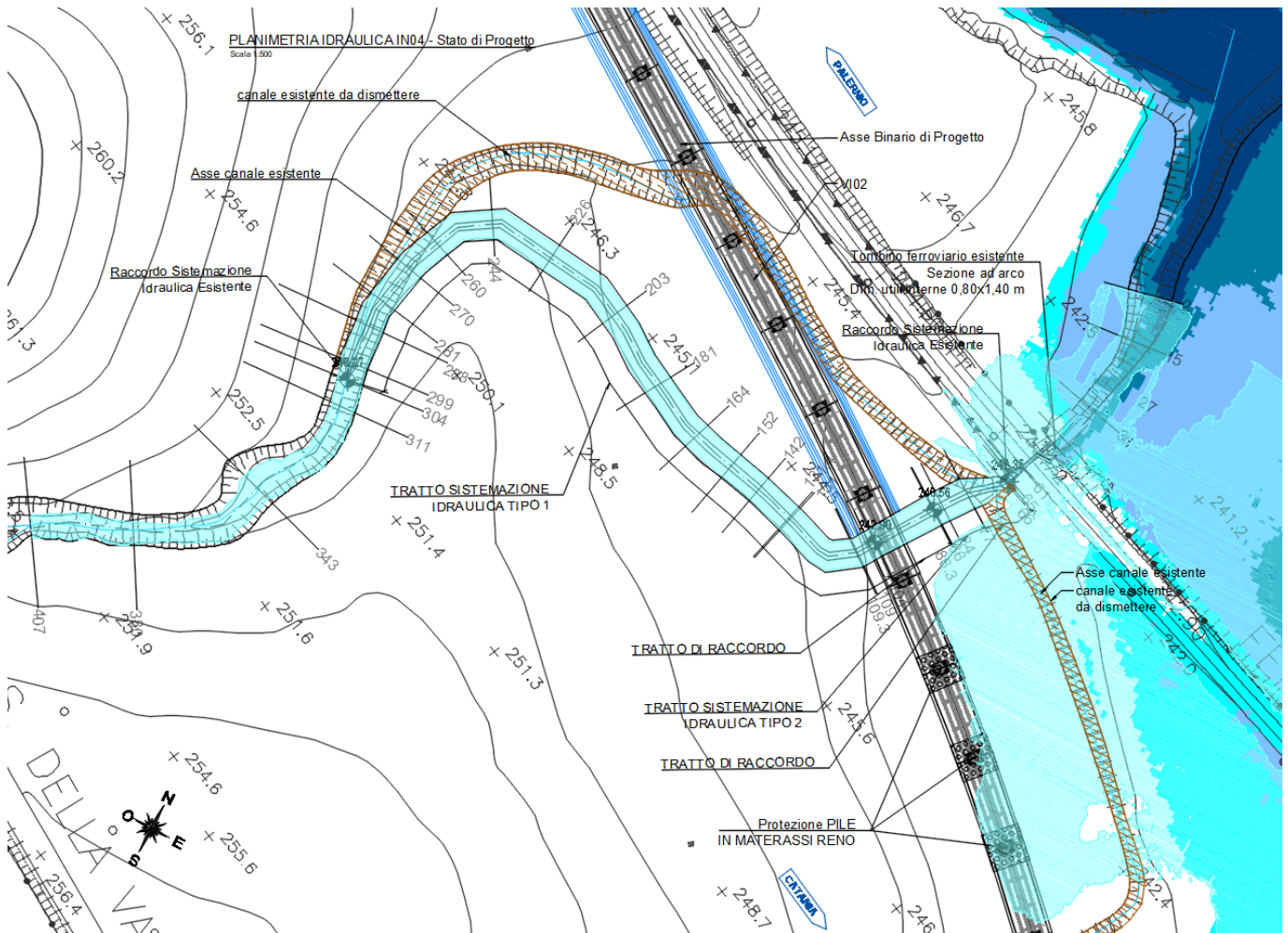


Figura 34: Corso d'acqua IN04_ Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 1.7 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI02), la campata interessata dal corso d'acqua ha di luce pari a 25.0m e intradosso a quota 254.83 m.s.m.

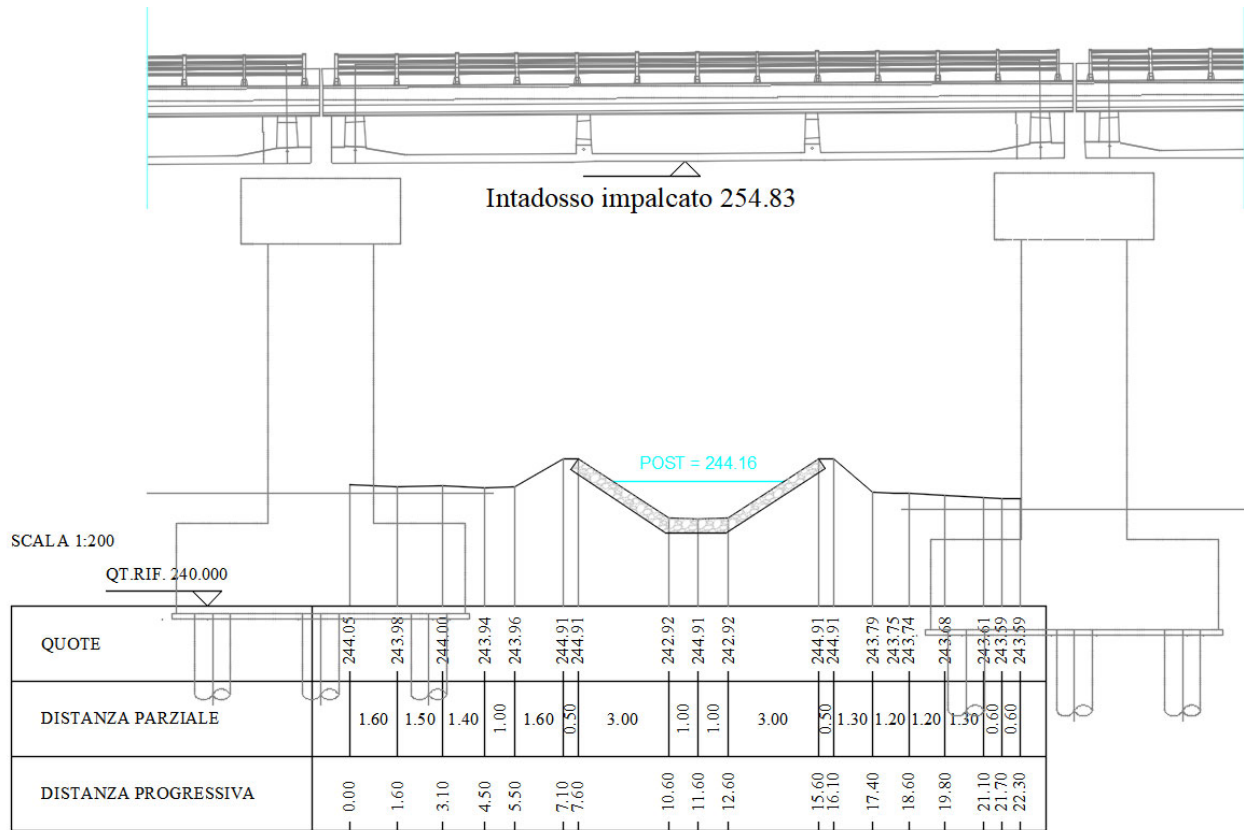


Figura 35: Corso d'acqua alla sezione 104_Viadotto VI02.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.6.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
407	249.09	250.57	251	2.93

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
380	248.56	249.85	250.63	3.89
343	247.33	248.44	248.8	2.69
311	246.41	247.77	248.21	2.93
304	246.27	247.63	248.05	2.87
299	246.21	247.54	247.93	2.76
288	246.03	247.36	247.75	2.77
281	245.9	247.23	247.62	2.76
270	245.71	247.05	247.43	2.74
260	245.55	246.87	247.27	2.78
244	245.27	246.6	246.99	2.77
226	244.96	246.29	246.68	2.76
203	244.57	245.9	246.29	2.75
181	244.2	245.53	245.92	2.74
164	243.92	245.24	245.63	2.77
152	243.71	245.04	245.43	2.74
142	243.55	244.88	245.26	2.75
131.4	243.37	244.69	245.08	2.78
131	243.36	244.69	245.07	2.76
109.3	243.01	244.28	244.72	2.95
109	243	244.27	244.71	2.93
104	242.91	244.16	244.62	3.02
86.3	242.56	243.74	244.29	3.28

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
86	242.56	243.73	244.29	3.31
84	242.51	243.67	244.2	3.25
77	242.36	243.48	244	3.2
66	241.81	243.56	243.61	1.05
65	241.52	243.51	243.62	1.5
63	241.52	243.56	243.67	1.51
61	240.43	243.56	243.71	1.73
54	240.79	242.04	243.54	5.43
50	241.25	242.03	242.3	2.31
47	241.03	242.05	242.17	1.56
36	240.98	241.77	241.99	2.15
27	240.4	241.52	241.52	0.16
15	240.08	241.52	241.58	1.07
2	240.26	241.5	241.5	0.02

Tabella 13: Corso d'acqua IN04_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

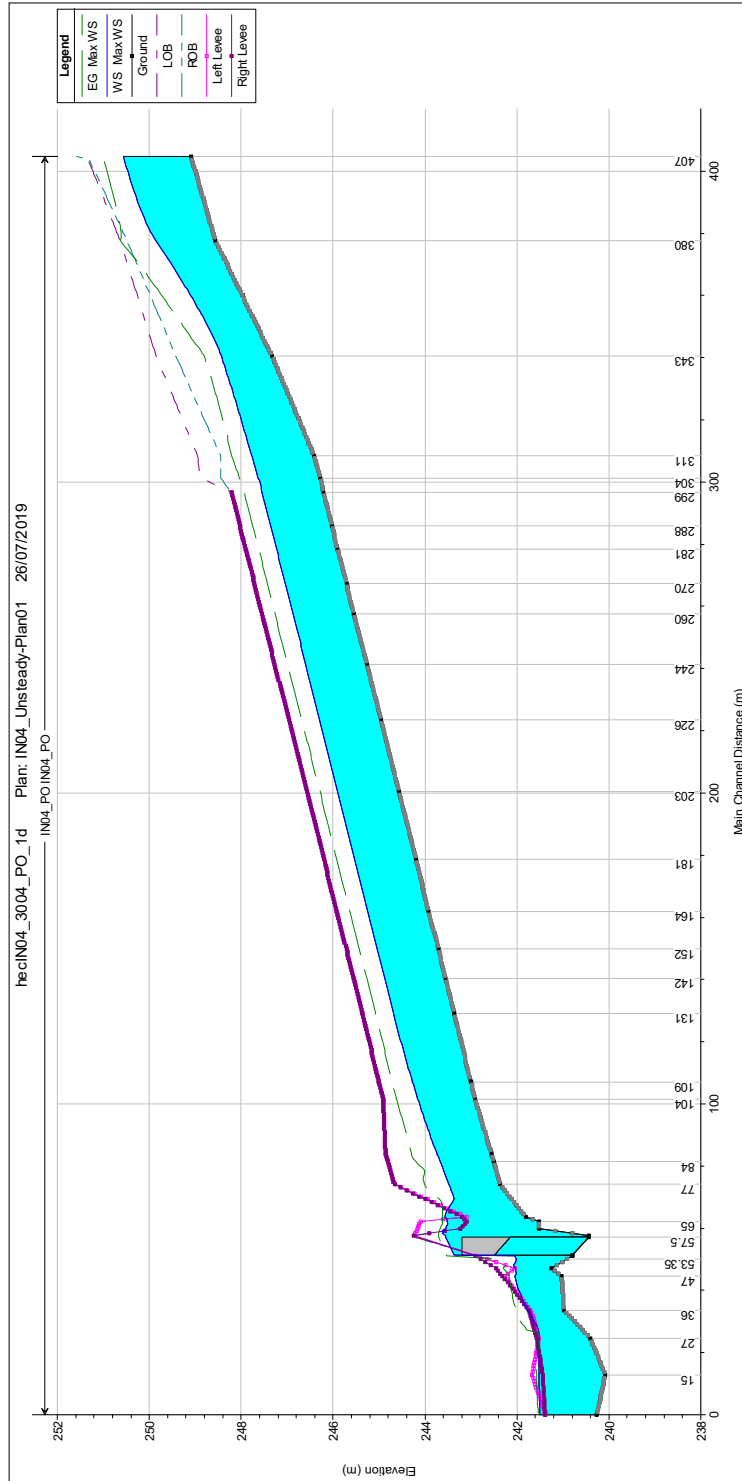


Figura 36: Corso d'acqua IN04_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per tutto il tratto, in corrispondenza del manufatto esistente di valle, analogamente alla situazione ante-operam, è insufficiente per il transito della piena, così come il manufatto stesso è rigurgitato. Dai risultati è possibile osservare che l'area di esondazione post-operam interessa, seppur con bassi tiranti idrici, alcune pile del viadotto VI02, per tale ragione le suddette pile sono protette con un materasso RENO (V. elab. RS3E50D29LZIN040A002A).

3.6.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 104	244.16	254.83	10.67

Tabella 14: Franco idraulico corso d'acqua IN04

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 104	244.62	254.83	10.21

Tabella 15: Franco energetico corso d'acqua IN04

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

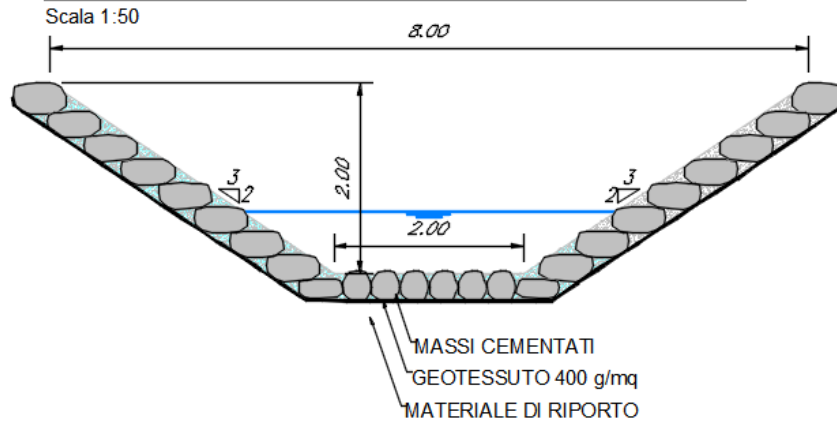
L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 11.92 mt (254.83 intradosso opera – 242.91 fondo alveo).

3.6.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 2.0 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza variabile da 2.0 m a 2.3 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 2

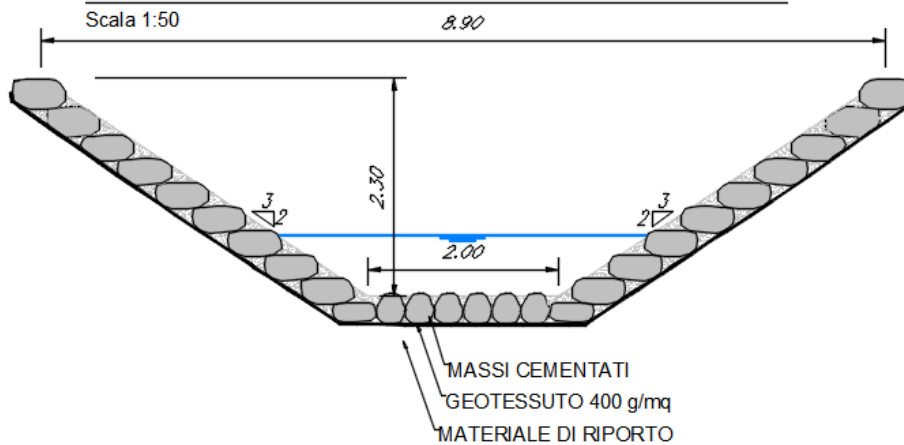


Figura 37: Corso d'acqua IN04_ Sezione tipo sistemazione

3.7 Inalveazione IN07 – Opera VI02

3.7.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione comprende due aste che attraversano il ponte ferroviario per poi congiungersi a valle degli attraversamenti e proseguire fino a valle dell'opera esistente: tombino

ferroviario 3.0 m x 1.4 m. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.

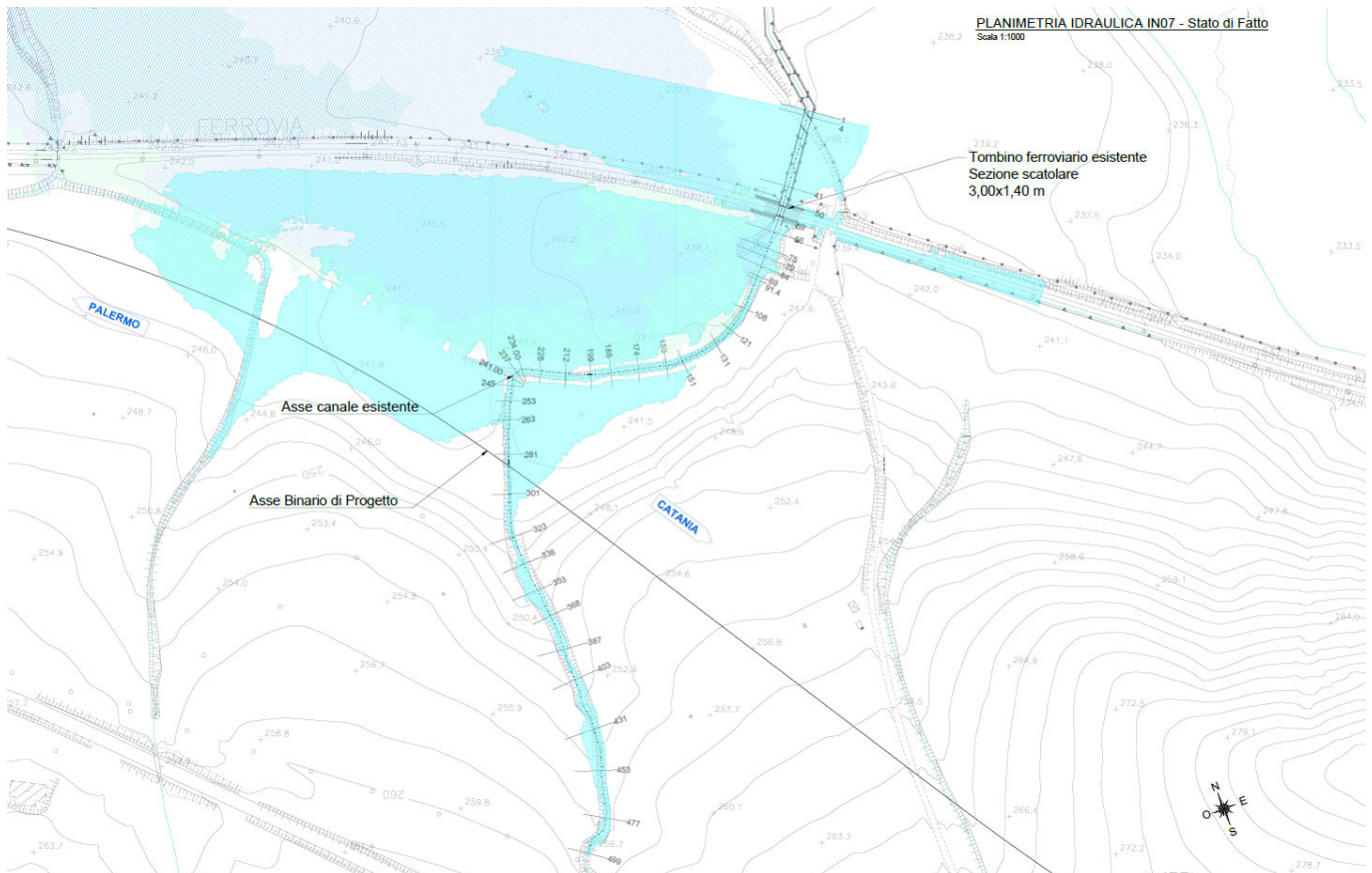


Figura 38: Corso d'acqua IN07_ Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 8.5 % nel tratto iniziale mentre diventa l'1.6 % nel tratto intermedio per poi tornare allo 5.0 % circa a cavallo dell'opera esistente.

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale e andamento triangolare, con il ramo ascendente della portata di picco pari al ramo discendente e avente durata uguale al tempo di corrivazione.

Il picco è pari a 3.00 m³/s per il primo ramo e 3.40 m³/s per il secondo ramo. A valle la condizione al contorno coincide con il livello di massima piena del fiume Dittaino paria 239.50 m s.l.m., calcolato mediante modello numerico bidimensionale.

Come evidenzia la simulazione, l'opera esistente è insufficiente per il deflusso di progetto.

3.7.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
499	255.56	256.31	256.72	2.83
477	254.69	255.27	255.54	2.3
453	254.02	254.52	254.72	1.97
431	253.18	253.52	253.75	2.15
403	250.36	250.87	251.32	2.96
387	249.2	249.77	250.04	2.32
368	248.45	248.86	249.3	2.93
353	247.41	247.67	247.91	2.18
338	246.13	246.37	246.84	3.01
323	243.43	244.15	244.58	2.89
301	242.45	242.96	243.1	1.79
281	241.87	242.32	242.41	1.5
263	241.58	241.97	242.01	0.88
253	241.52	241.81	241.88	1.2
245	241.27	241.67	241.71	0.92

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
241	241.29	241.59	241.66	1.17
237	241.2	241.4	241.47	1.13
234	241.09	241.3	241.36	1.14
231	241.08	241.22	241.25	0.47
225	240.99	241.15	241.18	0.63
212	240.83	241.09	241.1	0.43
199	240.6	240.99	241.02	0.81
188	240.51	240.87	240.88	0.22
174	240.47	240.71	240.74	0.76
159	240.21	240.55	240.59	0.84
151	240.06	240.45	240.5	0.92
131	239.86	240.15	240.28	1.57
121	239.43	239.91	239.93	0.63
108	239.31	239.73	239.86	1.61
91.4	238.85	239.52	239.54	0.57
89	238.88	239.52	239.53	0.51
84	238.91	239.53	239.53	0.16
79	238.57	239.52	239.53	0.26
75	238.4	239.52	239.52	0.33
66	237.59	239.51	239.52	0.41
59	237.19	239.51	239.52	0.31
55.5	Culvert			

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
50	237.04	239.51	239.51	0.03
41	236.52	239.51	239.51	0.04
4	235.41	239.63	239.63	0.02
1	235.32	239.5	239.5	0.01

Tabella 16: Corso d'acqua IN07_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

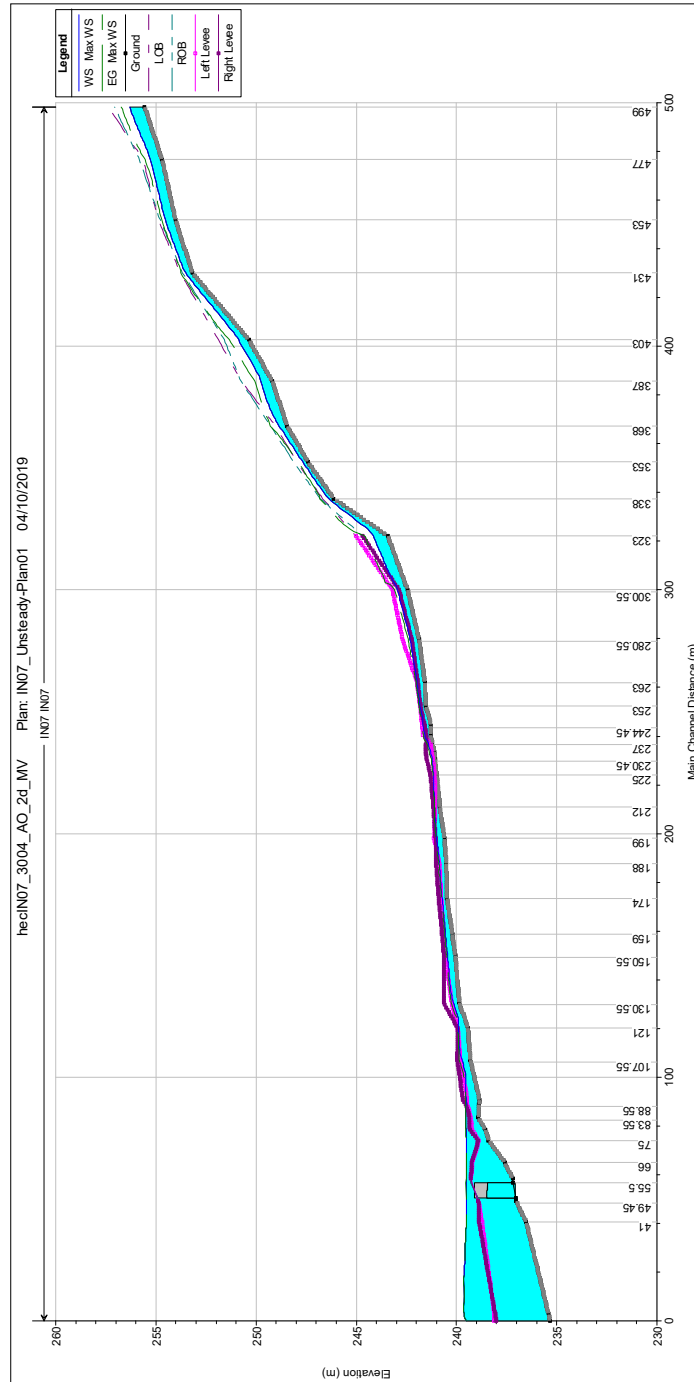


Figura 39: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per quasi tutto il tratto di monte, diventa insufficiente sia per la presenza dell'opera ferroviaria che per l'influenza della quota di massima piena del Dittaino.

3.7.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI02.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere gli attraversamenti più ortogonali possibile.

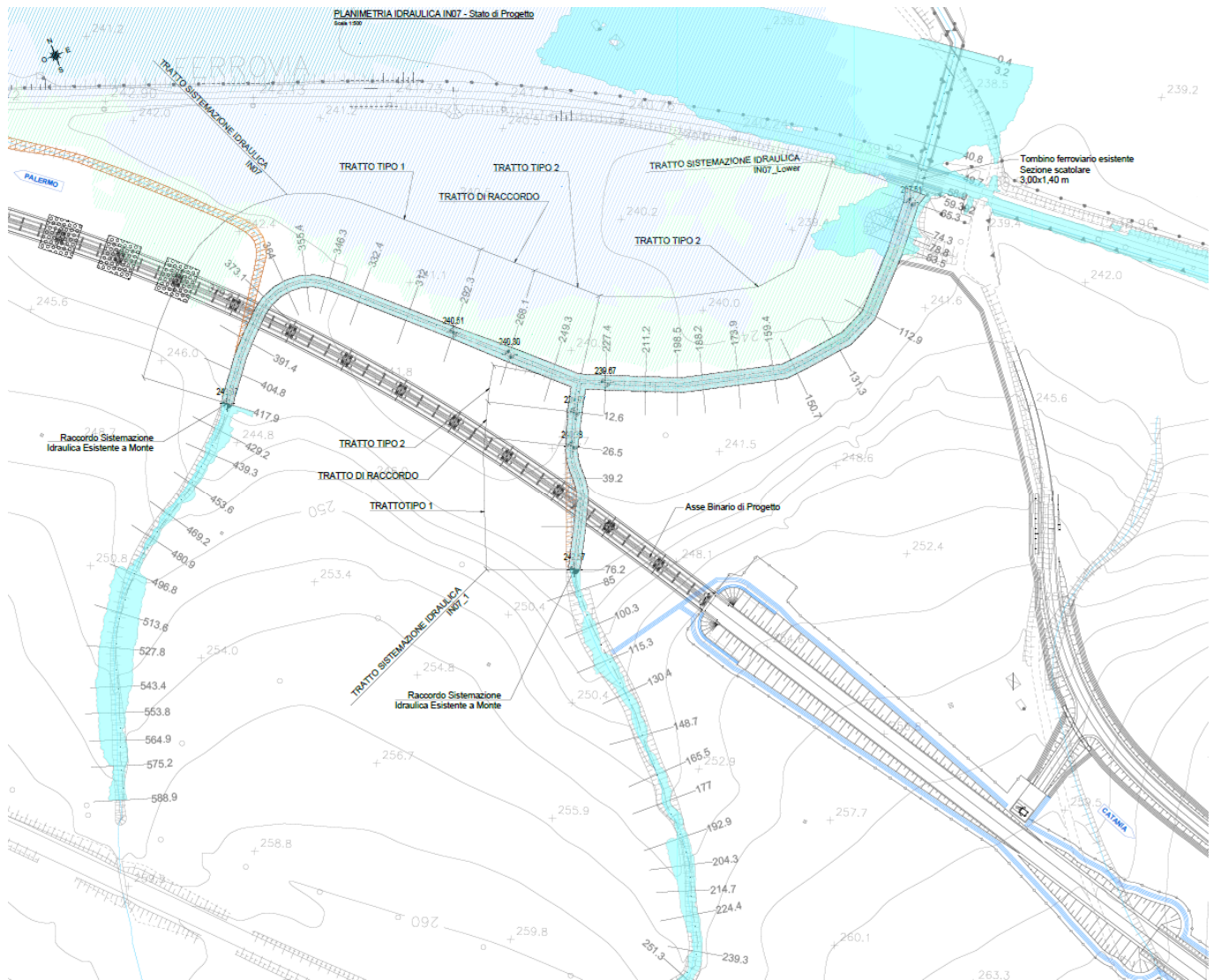


Figura 40: Corso d'acqua IN07_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 % e 2.0 % nei tratti a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza si attesta attorno al 1.5 % per poi aumentare a valle del manufatto ferroviario esistente.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI02), la campata interessata dal corso d'acqua ha campate di luce pari a 25.0m e intradosso a quota 255.58 m.s.l.m. nel tratto IN07 e 255.62 m.s.l.m nel tratto IN07_1.

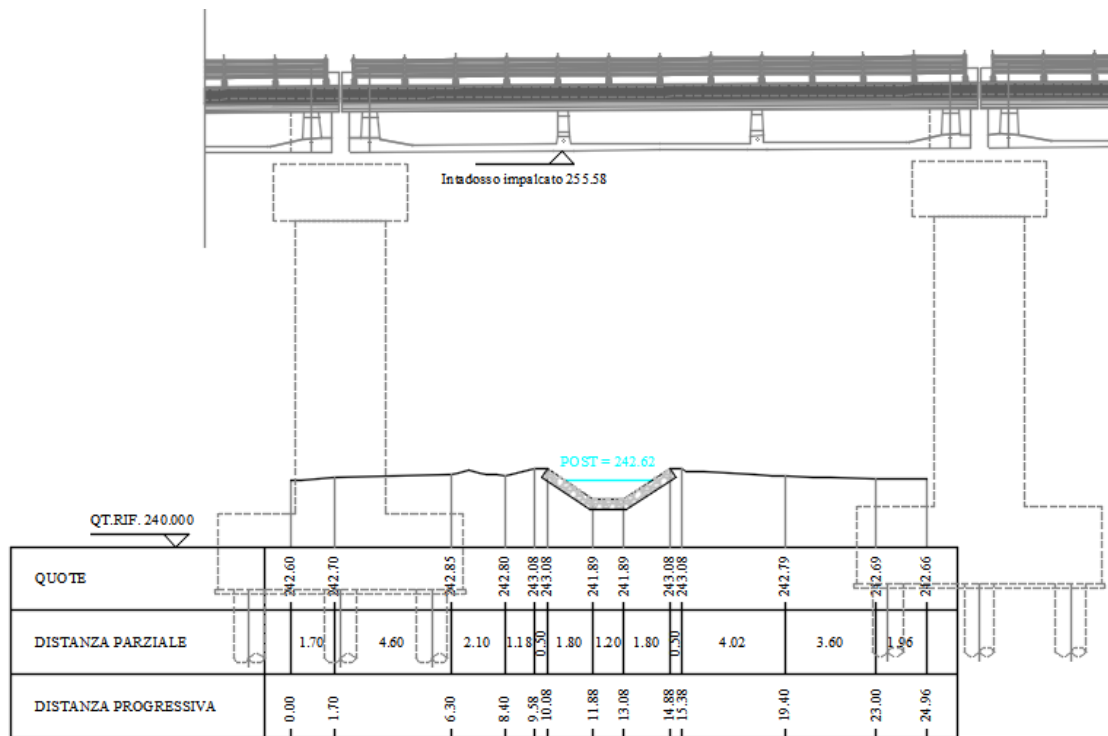


Figura 41: Corso d'acqua alla sezione 379.2_Viadotto VI02.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.7.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Tratto	Sezione	zf	h	H	U
		[m]	[m]	[m]	[m/s]
IN07_1	261	255.53	256.15	256.77	3.49
IN07_1	251.3	254.84	255.53	255.67	1.62

Tratto	Sezione	zf	h	H	U
		[m]	[m]	[m]	[m/s]
IN07_1	239.3	254.72	255.3	255.49	1.92
IN07_1	224.4	254.55	254.95	255.16	2.05
IN07_1	214.7	254.01	254.49	254.67	1.91
IN07_1	204.3	253.65	254.06	254.21	1.72
IN07_1	192.9	253.17	253.47	253.75	2.35
IN07_1	177	250.75	251.37	251.64	2.33
IN07_1	165.5	250.38	250.85	251.26	2.84
IN07_1	148.7	249.2	249.72	249.98	2.26
IN07_1	130.4	248.47	248.83	249.22	2.76
IN07_1	115.3	247.4	247.64	247.88	2.2
IN07_1	100.3	246.12	246.35	246.76	2.87
IN07_1	85	243.43	244.01	244.72	3.72
IN07_1	76.2	242.56	243.06	243.55	3.09
IN07_1	59	241.36	241.98	242.24	2.27
IN07_1	39.2	240.77	241.39	241.65	2.29
IN07_1	26.5	240.38	241	241.26	2.27
IN07_1	12.6	239.97	240.82	240.89	1.16
IN07	588.9	254.13	254.77	255.07	2.46
IN07	575.2	253.18	253.92	254.2	2.34
IN07	564.9	253.15	253.5	253.66	1.81
IN07	553.8	252.65	252.97	253.12	1.7
IN07	543.4	252.22	252.51	252.64	1.63

Tratto	Sezione	zf	h	H	U
		[m]	[m]	[m]	[m/s]
IN07	527.8	251.44	251.69	251.82	1.6
IN07	513.6	250.69	250.96	251.14	1.94
IN07	496.8	249.56	249.95	250.34	2.83
IN07	480.9	247.27	248.05	248.36	2.43
IN07	469.2	247.07	247.5	248	3.13
IN07	453.6	245.39	245.99	246.51	3.2
IN07	439.3	244.48	244.98	245.27	2.36
IN07	429.2	244.03	244.44	244.81	2.69
IN07	417.9	243.18	243.8	244.15	2.61
IN07	404.8	242.66	243.3	243.62	2.48
IN07	391.4	242.19	242.89	243.14	2.2
IN07	379.2	241.88	242.62	242.83	2.01
IN07	373.1	241.75	242.54	242.71	1.85
IN07	364	241.61	242.4	242.57	1.83
IN07	355.4	241.48	242.28	242.44	1.81
IN07	346.3	241.35	242.14	242.31	1.84
IN07	332.4	241.14	241.93	242.1	1.84
IN07	312	240.83	241.62	241.79	1.82
IN07	292.3	240.54	241.36	241.51	1.72
IN07	268.1	240.29	241.1	241.22	1.57
IN07	249.3	240.11	240.9	240.95	0.97
IN07-Lower	227.4	239.67	240.64	240.79	1.72

Tratto	Sezione	zf	h	H	U
		[m]	[m]	[m]	[m/s]
IN07-Lower	211.2	239.51	240.48	240.63	1.73
IN07-Lower	198.5	239.38	240.35	240.5	1.73
IN07-Lower	188.2	239.28	240.24	240.4	1.76
IN07-Lower	173.9	239.13	240.09	240.25	1.76
IN07-Lower	159.4	238.99	239.87	240.07	1.99
IN07-Lower	150.7	238.86	239.74	239.94	1.98
IN07-Lower	131.3	238.57	239.52	239.52	0.19
IN07-Lower	112.9	238.2	239.52	239.52	0.11
IN07-Lower	83.5	237.61	239.51	239.53	0.5
IN07-Lower	78.8	237.57	239.55	239.55	0.03
IN07-Lower	74.3	237.55	239.52	239.52	0.33
IN07-Lower	65.3	237.53	239.51	239.52	0.52
IN07-Lower	59.392	237.5	239.51	239.51	0.02
IN07-Lower	58.9	237.1	239.51	239.52	0.28
IN07-Lower	55.55	Culvert			
IN07-Lower	49.7	237.04	239.51	239.51	0.01
IN07-Lower	40.8	236.52	239.51	239.51	0.02
IN07-Lower	3.2	235.41	239.63	239.63	0
IN07-Lower	0.4	235.32	239.5	239.5	0.02

Tabella 17: Corso d'acqua IN07_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

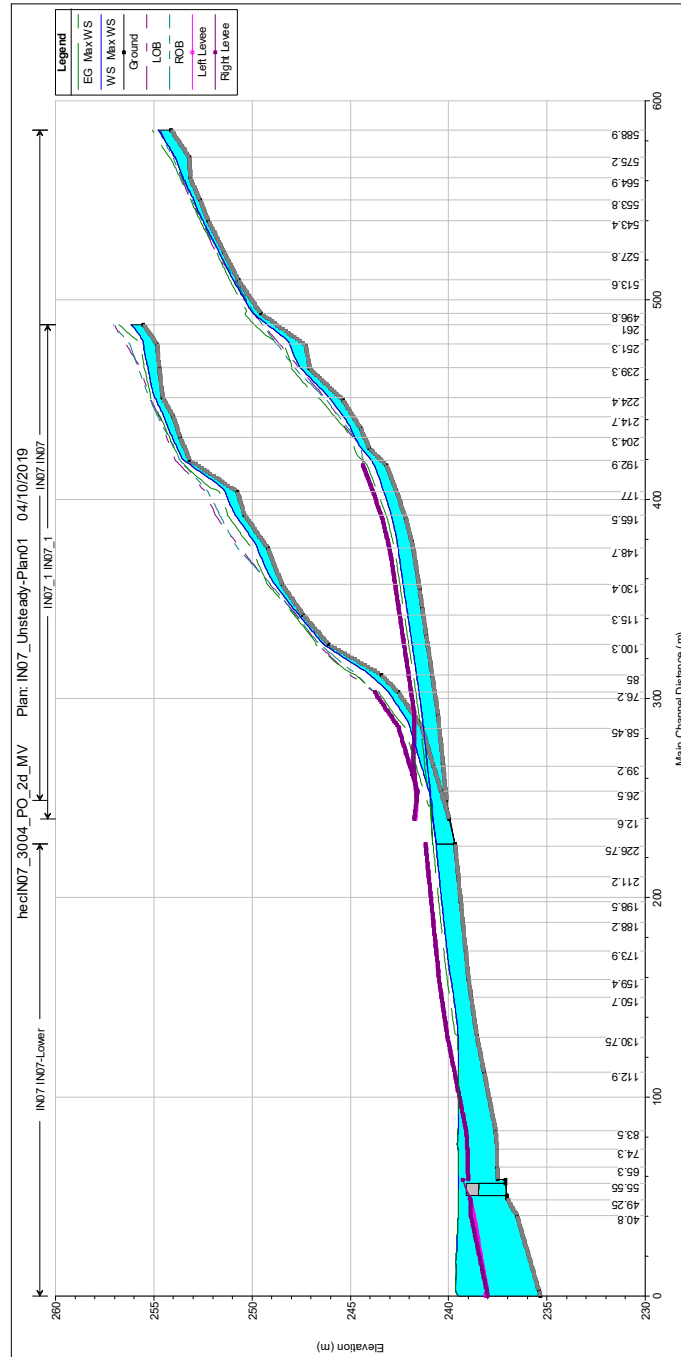


Figura 42: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per tutto il tratto, in corrispondenza del manufatto esistente di valle è insufficiente per il transito della piena, così come il manufatto stesso è rigurgitato.

3.7.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 379.2	242.62	255.58	12.96

Tabella 18: Franco idraulico corso d'acqua IN07

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 379.2	242.83	255.58	12.75

Tabella 19: Franco energetico corso d'acqua IN07

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 13.70 mt (255.58 intradosso opera – 241.88 fondo alveo).

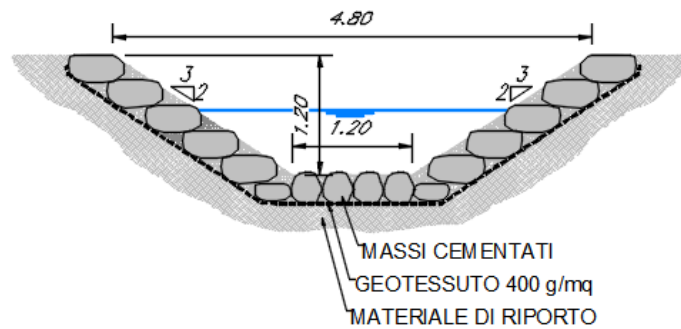
3.7.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.20 – 1.50 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza variabile da 1.2 m a 1.5 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 2

Scala 1:50

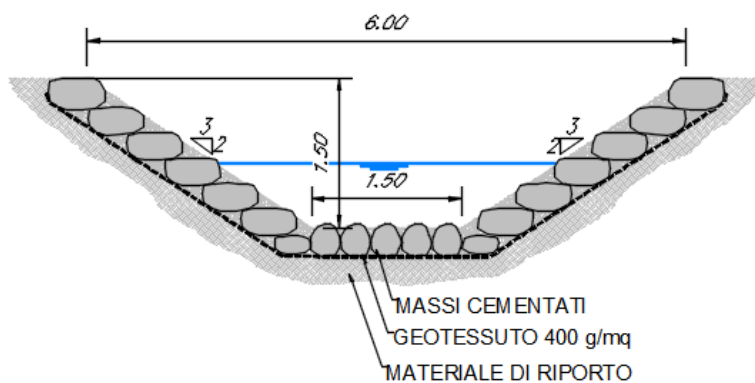


Figura 43: Corso d'acqua IN04_ Sezione tipo sistemazione

3.8 Inalveazione IN08 – Opera VI03

3.8.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 130 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria esistente e si estende 150 m a valle. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

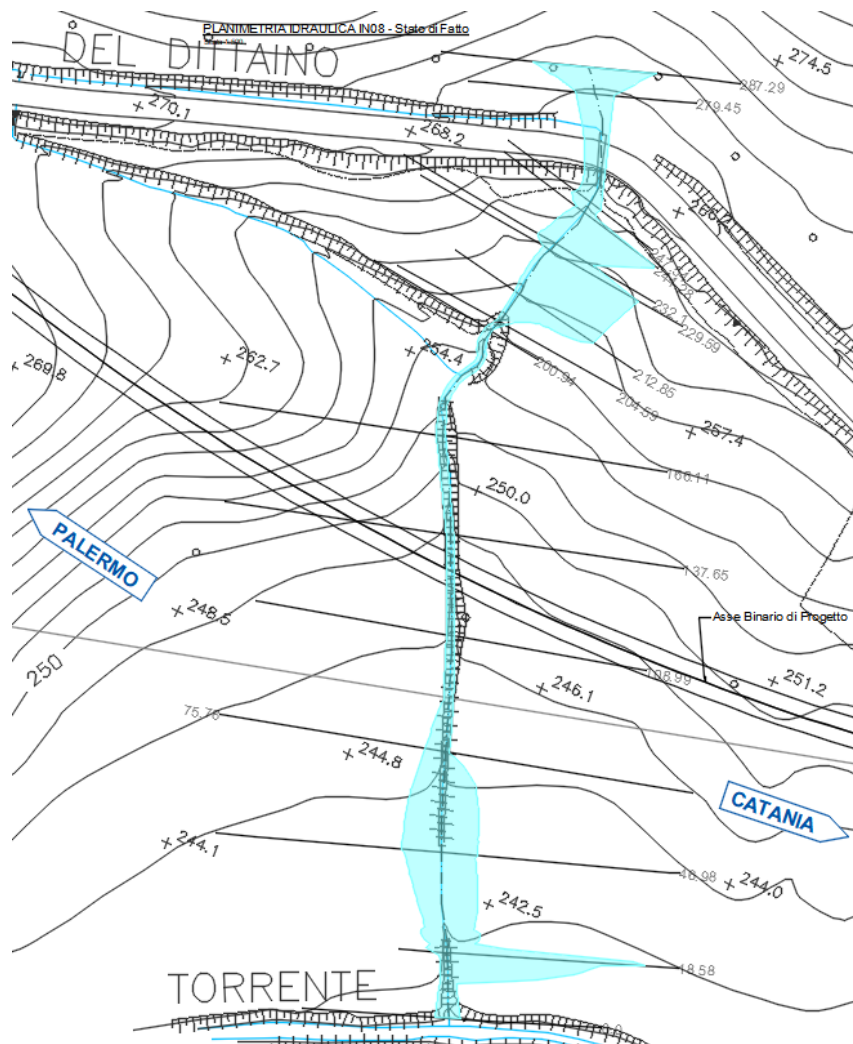


Figura 44: Corso d'acqua IN08_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 1.0 %, nel tratto di monte la pendenza aumenta mentre diminuisce nel tratto di valle.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 0.97m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale esistente in alcuni tratti è insufficiente per il deflusso di progetto.

3.8.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (hc) ed energetico (H), la velocità media della corrente (U) ed il numero di Froude (Fr). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
287.29	270	270.02	270.07	0.91
279.45	268	268.03	268.34	2.47
247.54	262.09	262.21	262.33	1.53
244.28	261.86	261.96	262.04	1.29
232.1	260	260.04	260.24	1.98
229.59	259.76	260.03	260.08	1.19
214.25	257.7	257.87	259.19	5.09
212.85	257.56	257.65	258.11	3.03
206.89	257.12	257.29	257.38	1.3
204.59	256	256.29	257.12	4.03

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
200.94	254.53	254.77	256.1	5.1
166.11	250.8	251.18	251.53	2.62
137.65	247.16	247.51	248.48	4.37
108.99	245.2	245.65	245.94	2.37
75.78	243.83	244.18	244.49	2.45
46.98	242.88	243	243.06	1.13
18.58	241.5	241.97	242.13	1.85
0	239.69	239.82	240.82	4.43

Tabella 20: Corso d'acqua IN08_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

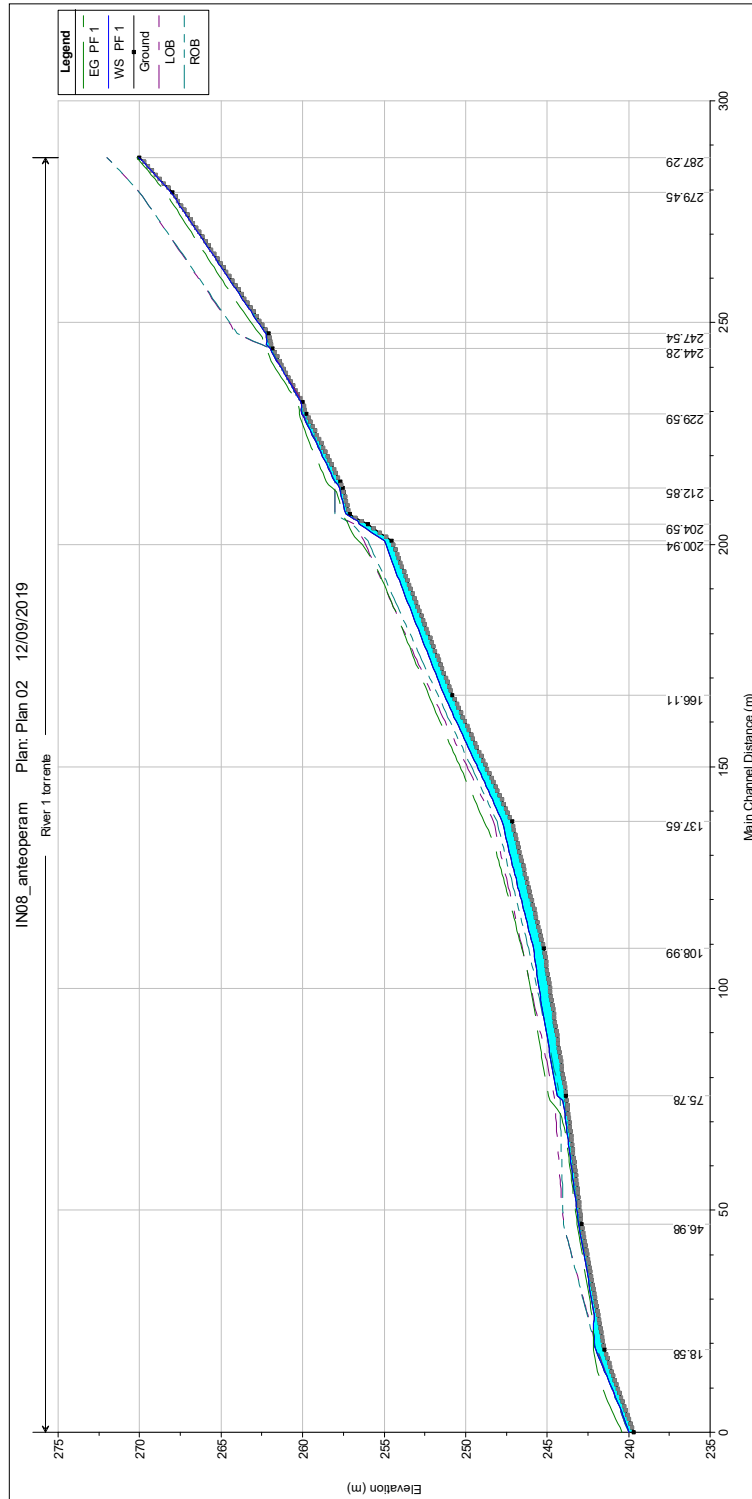


Figura 45: Corso d'acqua IN08_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per quasi tutto il tratto analizzato.

3.8.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI03.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere l'attraversamento ortogonale.

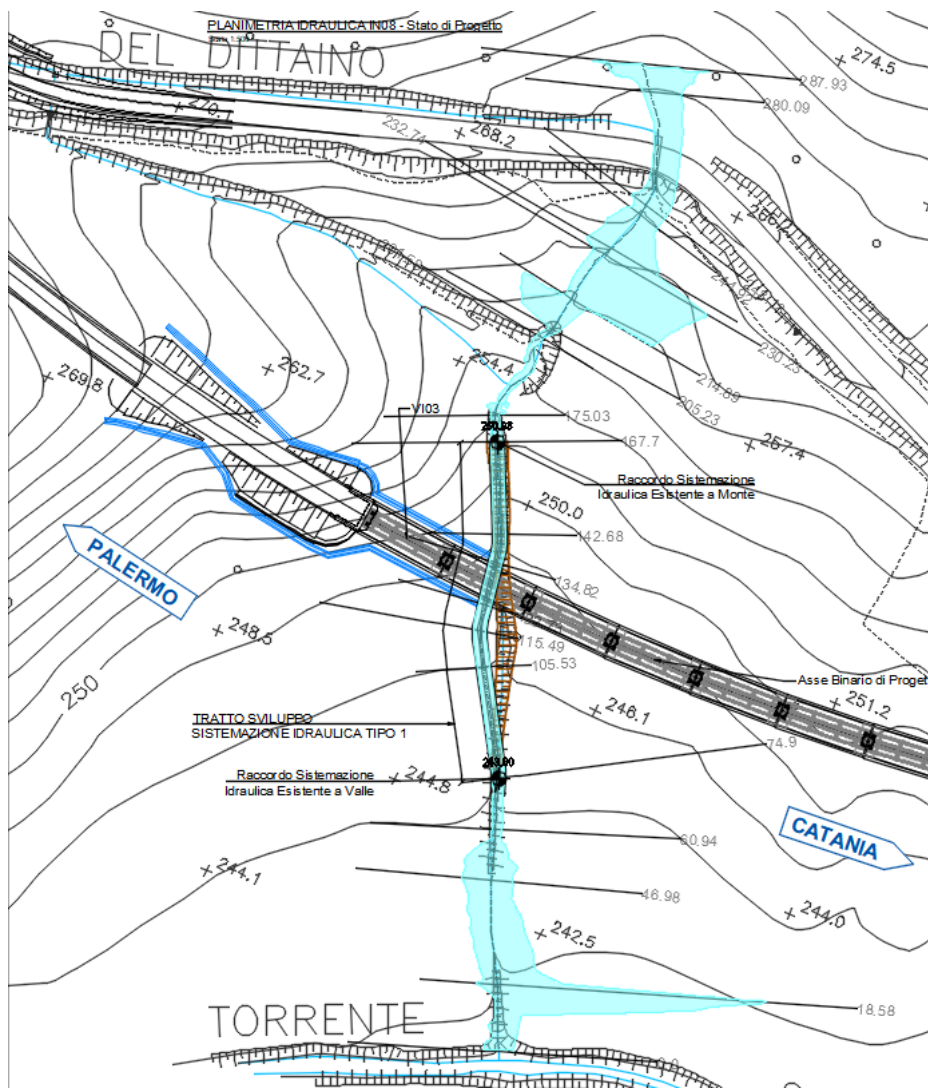


Figura 46: Corso d'acqua IN08_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 5.0 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI03), la campata interessata dal corso d'acqua ha di luce pari a 25.0m e intradosso a quota 257.01 m.s.m.

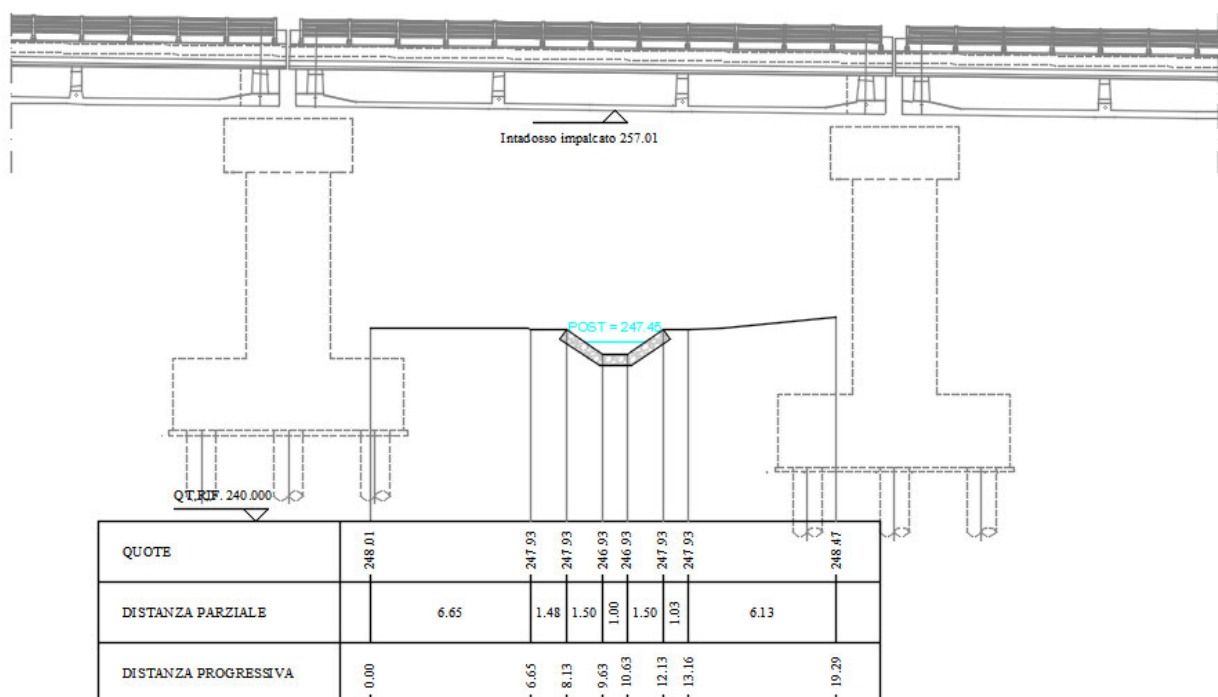


Figura 47: Corso d'acqua alla sezione 134.82_Viadotto VI03.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.8.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
287.93	270	270.02	270.07	0.91
280.09	268	268.05	268.17	1.56
248.18	262.09	262.19	262.41	2.05
244.92	261.86	261.96	262.03	1.16
232.74	260	260.05	260.18	1.62
230.23	259.76	260.03	260.07	1.05
214.89	257.7	257.93	258.34	2.82
213.49	257.56	257.65	258.03	2.71
207.53	257.12	257.28	257.4	1.54
205.23	256	256.29	257.08	3.94
201.58	254.53	254.77	256.1	5.1
175.03	252	252.27	252.61	2.62
167.7	250.94	251.18	251.63	2.97
142.68	247.51	247.75	248.19	2.92
134.82	246.93	247.22	247.5	2.35
122.73	245.96	246.24	246.54	2.41
115.49	245.51	245.81	246.06	2.21
105.53	245.01	245.33	245.55	2.06
74.9	243.59	243.92	244.12	1.99
60.94	242.96	243.29	243.49	1.95
46.98	242.88	243.02	243.05	0.81
18.58	241.5	242.02	242.04	0.87

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
0	239.69	239.87	240.12	2.2

Tabella 21: Corso d'acqua IN08_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

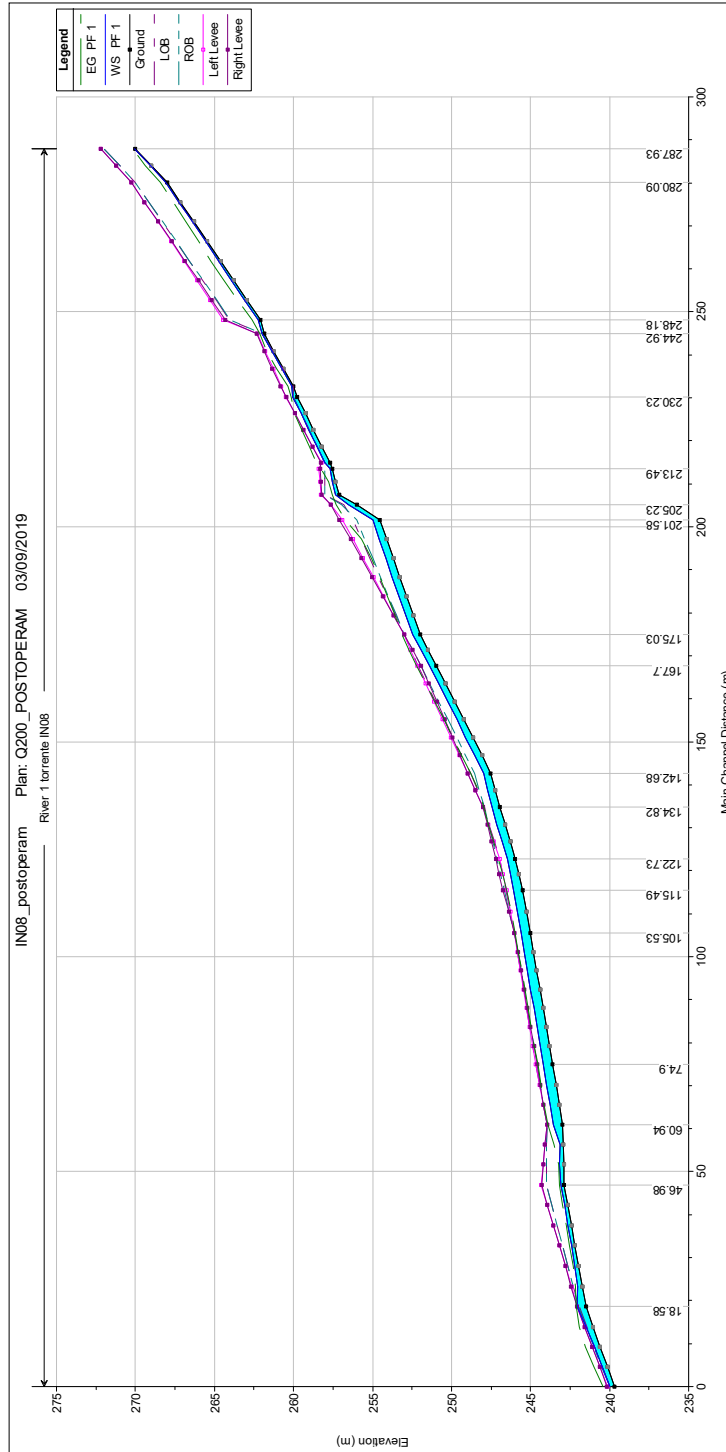


Figura 48: Corso d'acqua IN08_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per tutto il tratto.

3.8.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 134.82	247.07	257.01	9.94

Tabella 22: Franco idraulico corso d'acqua IN08

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 134.82	247.23	257.01	9.78

Tabella 23: Franco energetico corso d'acqua IN08

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 10.08 mt (257.01 intradosso opera – 246.93 fondo alveo).

3.8.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.0 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.0 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

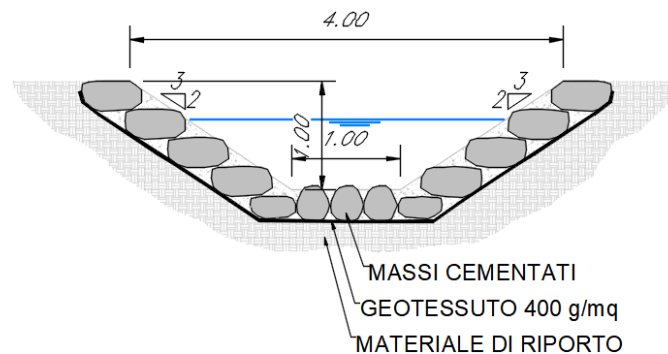


Figura 49: Corso d'acqua IN08_Sezione tipo sistemazione

INTERVENTO IN08(2-3)

Nei pressi delle pk 2+650 e 2+800 sono presenti dei piccoli impluvi del terreno senza un'asta fluviale incisa, la superficie afferente a tali impluvi è di ridotte dimensioni, tali impluvi attraversano la ferrovia in viadotto e risultano trasparenti alle opere di progetto. Per tali ragioni si riveste la superficie di tali impluvi con del pietrame sciolto per una lunghezza di 40m circa, (20m a monte della ferrovia e 20m a valle della ferrovia) ed una larghezza di 3.00m (v. fig. 49.1).

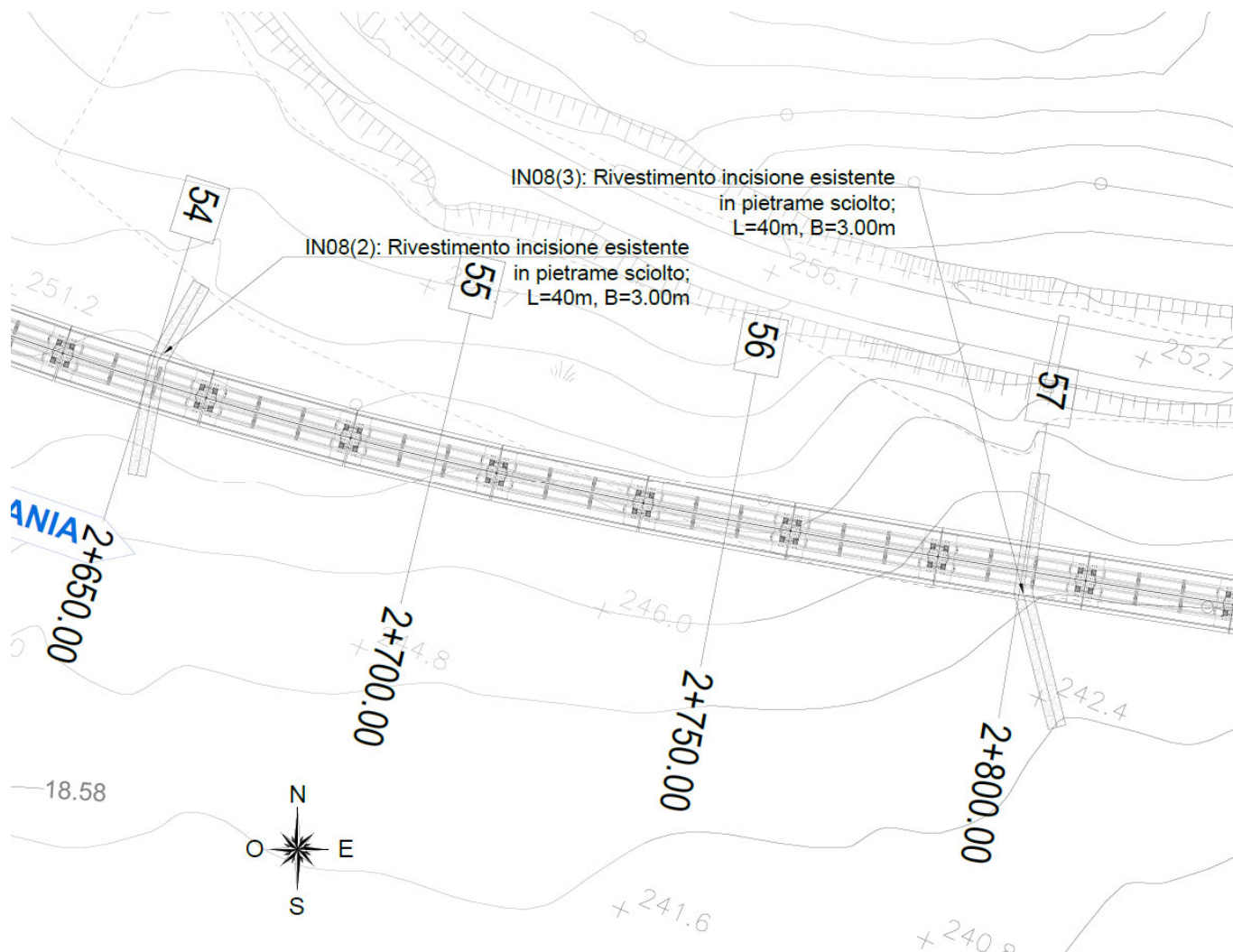


Fig. 49.1. Rivestimento impluvi pk 2+650 e pk 2+800

3.9 Inalveazione IN10 – Opera VI04

3.9.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 50 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria e si estende 130 m a valle del manufatto stradale esistente: tombino circolare DN500. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.

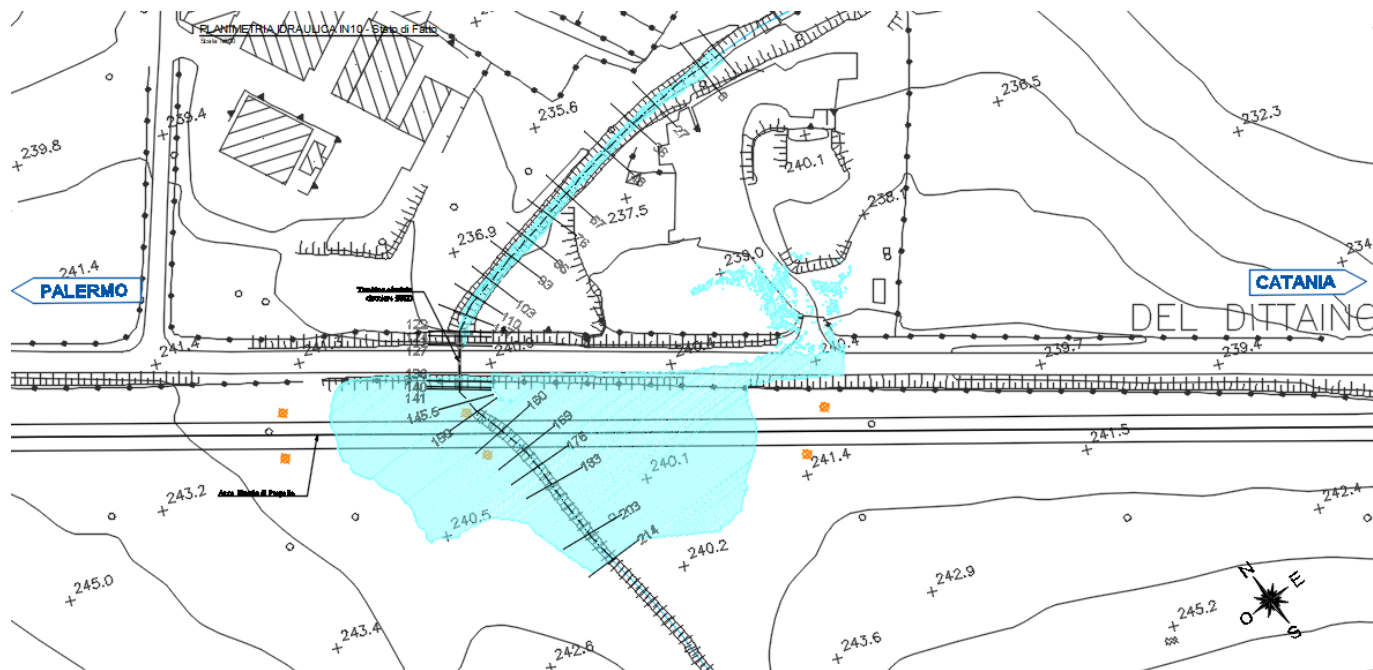


Figura 50: Corso d'acqua IN10_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 2.0 %, a valle del manufatto esistente c'è un salto di quota o un tratto a forte pendenza per poi riprendere con una pendenza media del 20 %.

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale e andamento triangolare, con il ramo ascendente della portata di picco pari al ramo discendente e avente durata uguale al tempo di corrivazione.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 7.0 m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale a monte del tombino esistente è rigurgitato.

3.9.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la

velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
214	239.76	240.42	240.58	1.94
203	239.53	240.43	240.44	0.56
183	239.11	240.43	240.43	0.32
176	238.93	240.43	240.43	0.24
169	238.87	240.43	240.43	0.2
160	238.63	240.43	240.43	0.14
150	238.31	240.43	240.43	0.08
145.5	238.19	240.43	240.43	0.06
141	237.86	240.43	240.43	0.05
140	237.6	240.43	240.43	0.05
138	237.37	240.43	240.43	0.09
133.55	Culvert			
127	236.72	237.4	237.7	2.4
124	236.56	236.94	239.31	6.82
122	235.98	236.25	236.39	1.67
117	235.74	236.09	236.13	0.95
110	235.58	236.05	236.09	0.87
103	235.67	235.92	236.03	1.49
93	235.32	235.69	235.76	1.22

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
86	235.26	235.63	235.67	0.88
76	235.18	235.59	235.62	0.78
67	235.12	235.45	235.58	1.57
48	234.52	234.92	235.05	1.59
36	234.24	234.58	234.74	1.74
27	233.96	234.3	234.39	1.37
8	233.67	234.06	234.09	0.79
1	233.63	234.02	234.05	0.83

Tabella 24: Corso d'acqua IN10_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

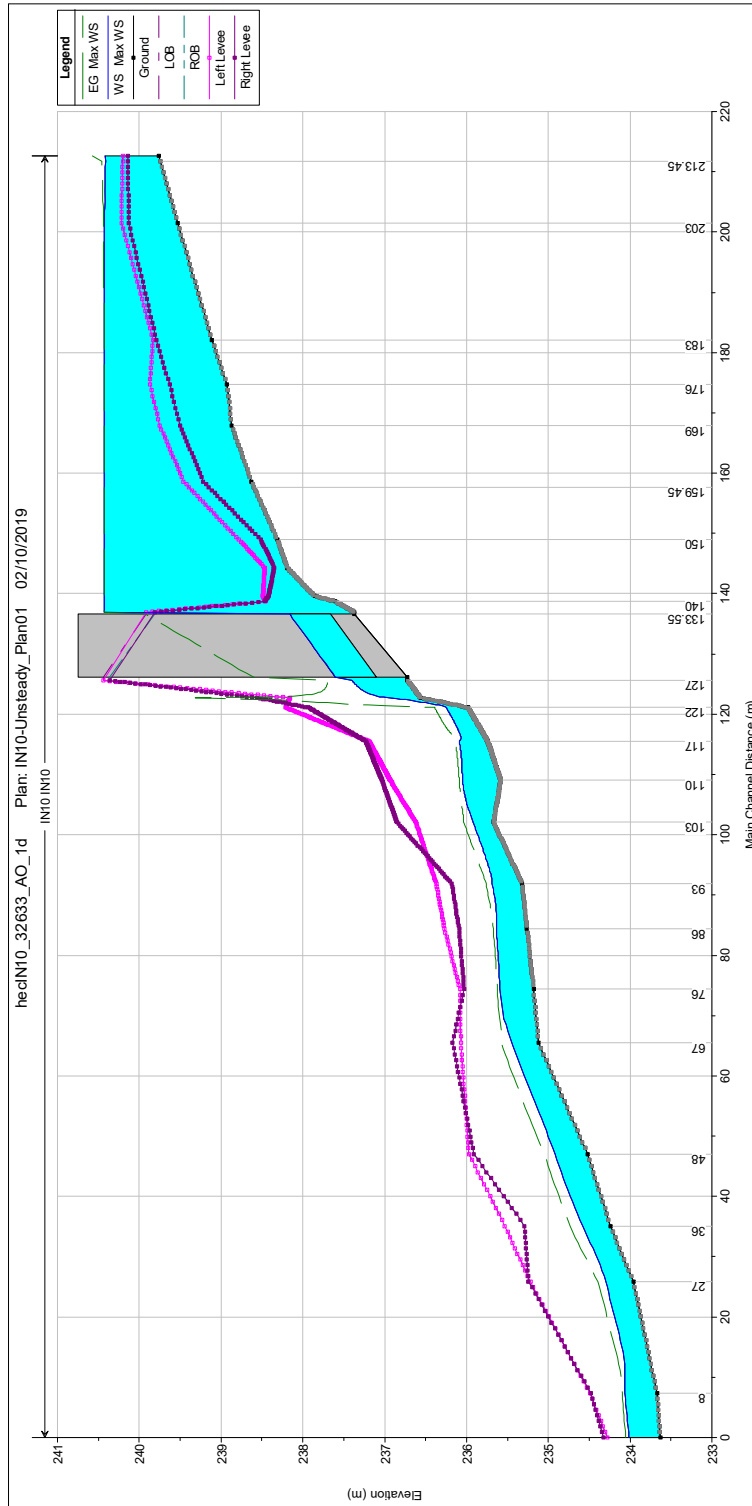


Figura 51: Corso d'acqua IN10_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un innalzamento del pelo libero a monte.

3.9.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI04.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere l'attraversamento ortogonale.

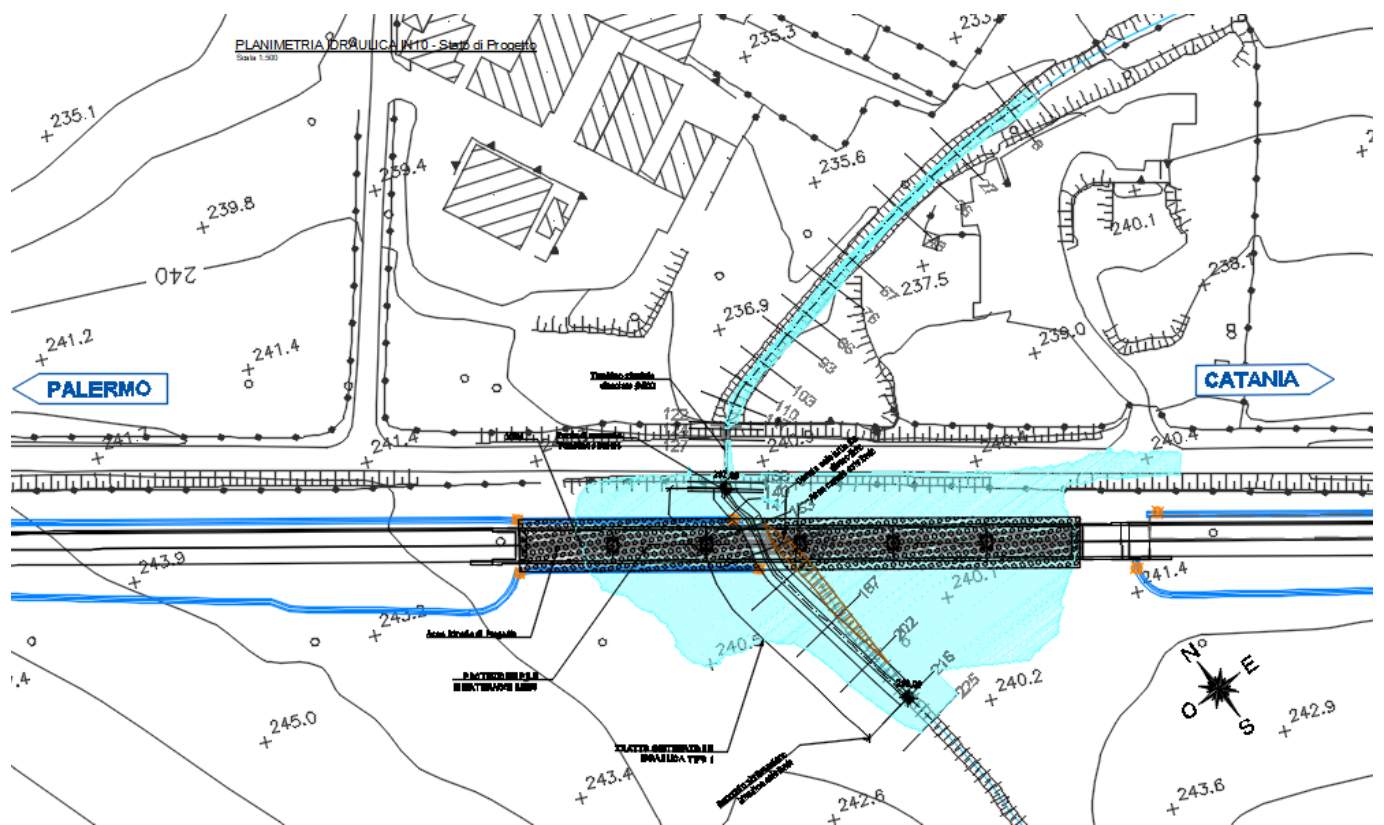


Figura 52: Corso d'acqua IN10_ Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 1.5 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI04), la campata interessata dal corso d'acqua ha luce pari a 25.0m e intradosso a quota 245.66 m.s.m.

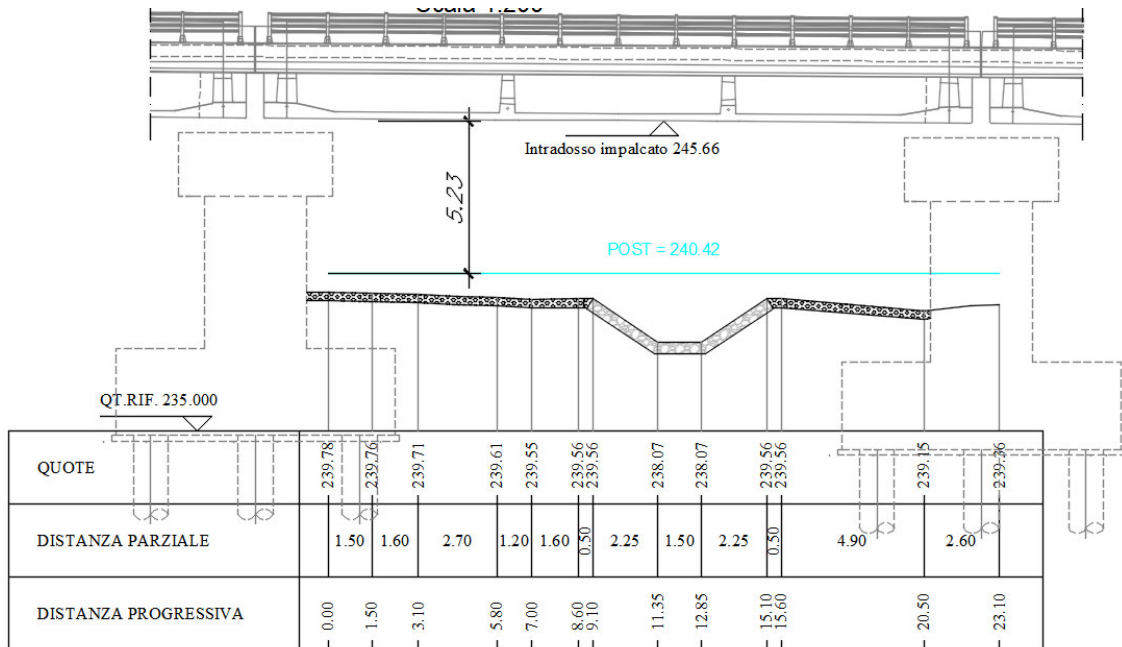


Figura 53: Corso d'acqua alla sezione 160_Viadotto VI04.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.9.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello ed energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
225	239.94	240.44	240.72	2.49
216	238.9	240.4	240.42	0.63
202	238.69	240.42	240.42	0.41

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
187	238.46	240.42	240.42	0.32
170	238.21	240.42	240.42	0.2
160	238.06	240.42	240.42	0.17
153	237.95	240.42	240.42	0.09
147	237.86	240.42	240.42	0.09
141	237.8	240.42	240.42	0.05
140	237.6	240.42	240.42	0.05
138	237.37	240.42	240.42	0.08
133.55	Culvert			
127	236.72	237.39	237.68	2.37
124	236.56	236.94	239.22	6.68
122	235.98	236.24	236.38	1.66
117	235.74	236.08	236.13	0.95
110	235.58	236.04	236.08	0.86
103	235.67	235.92	236.03	1.48
93	235.32	235.68	235.76	1.21
86	235.26	235.63	235.67	0.87
76	235.18	235.59	235.62	0.78
67	235.12	235.45	235.57	1.56
48	234.52	234.92	235.04	1.58
36	234.24	234.58	234.73	1.73
27	233.96	234.29	234.39	1.36

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
8	233.67	234.06	234.09	0.78
1	233.63	234.01	234.05	0.82

Tabella 25: Corso d'acqua IN10_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

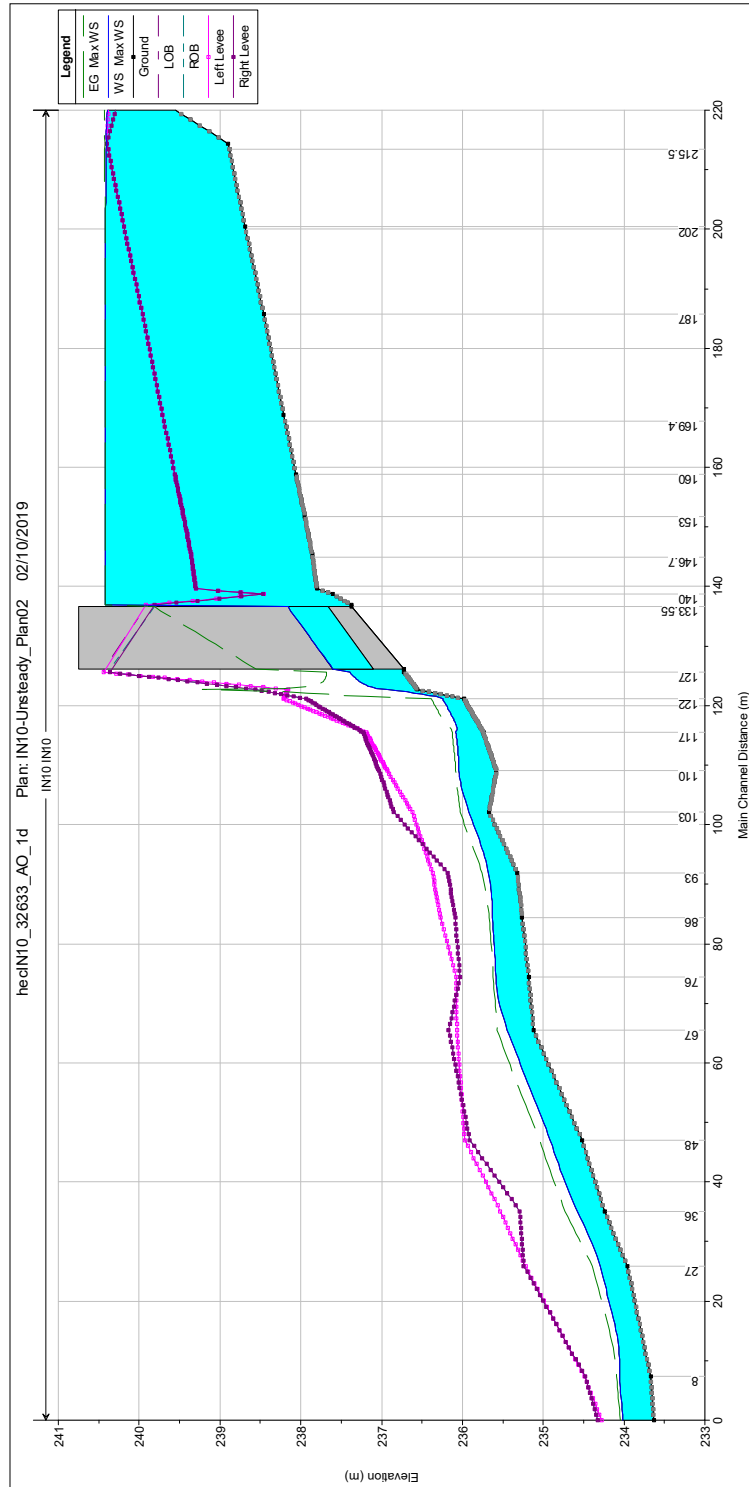


Figura 54: Corso d'acqua IN10_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un innalzamento del pelo libero a monte confrontabile con la configurazione ante-operam. Dall'analisi delle aree di esondazione ante e post operam e dai profili dei livelli idrici si evince che l'infrastruttura ferroviaria di progetto risulta idraulicamente compatibile. Si è predisposta una protezione delle pile del viadotto VI04 in materassi RENO in quanto tali pile sono interessate dall'area di esondazione dovuta dal rigurgito del tombino stradale DN500 (V. Elab. RS3E50D29LZIN100A002A).

3.9.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 160	240.42	245.66	5.24

Tabella 26: Franco idraulico corso d'acqua IN10

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 160	240.42	245.66	5.24

Tabella 27: Franco energetico corso d'acqua IN10

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 7.6 mt (245.66 intradosso opera – 238.06 fondo alveo).

3.9.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.5 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.5 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementati.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

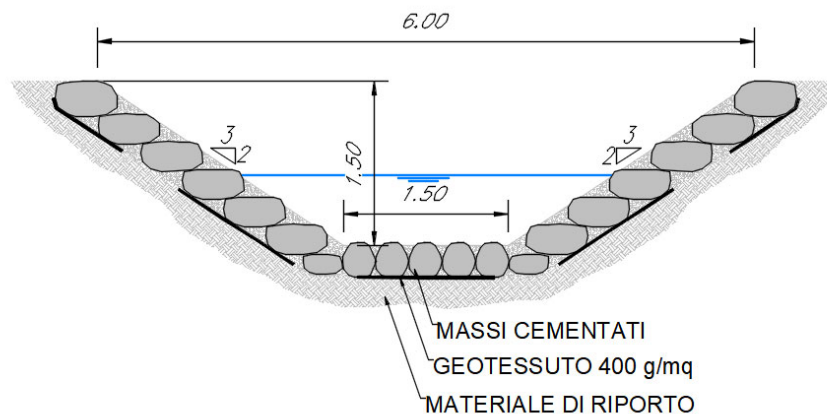


Figura 55: Corso d'acqua IN10_ Sezione tipo sistemazione

3.10 Inalveazione IN11 – Opera IN11

3.10.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 90 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria e si estende 200 m circa a valle della nuova linea. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

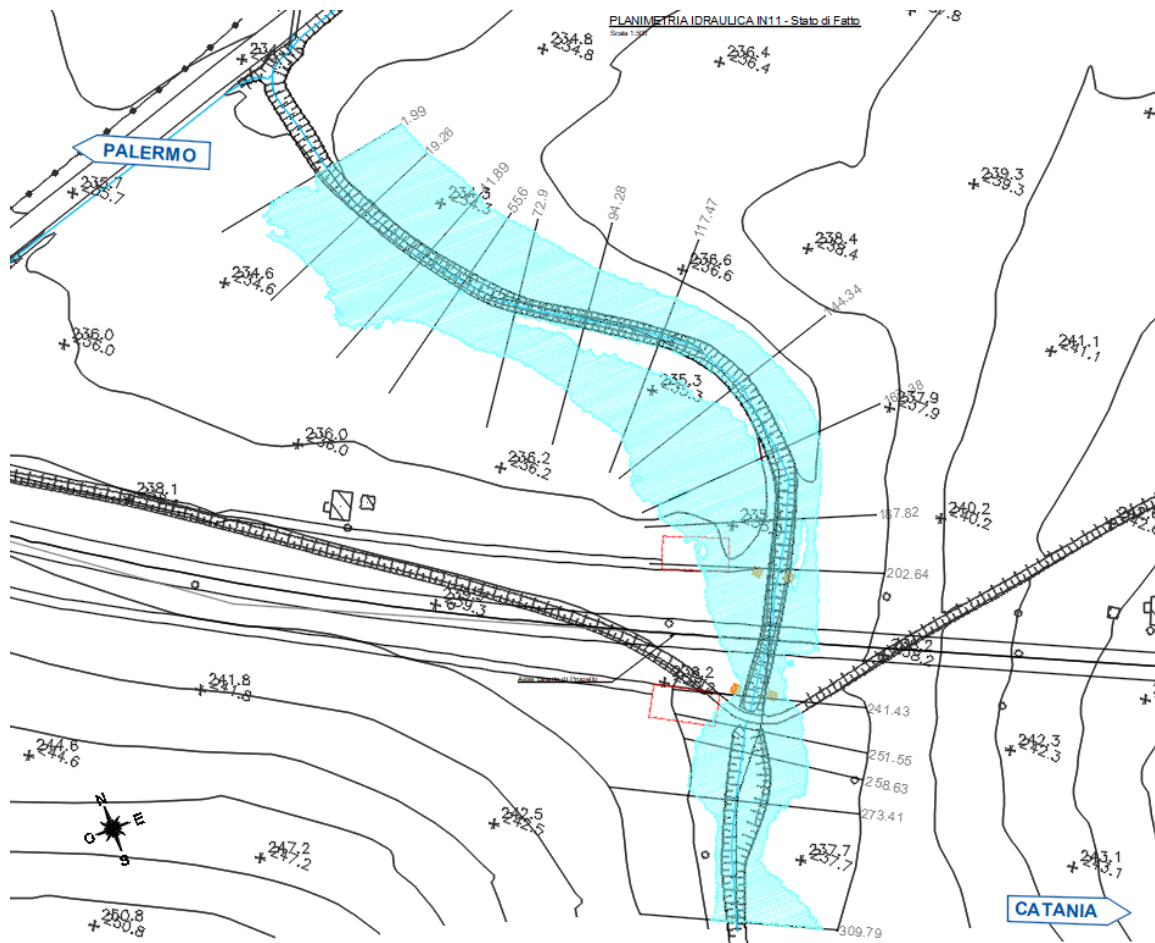


Figura 56: Corso d'acqua IN11_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 1.2 % con variazioni locali del fondo.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 15.70m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale è insufficiente in più parti del corso analizzato.

3.10.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
309.79	236.5	237.94	238.12	2.07
273.41	236.43	237.34	237.52	1.87
258.63	236.18	237.26	237.42	1.76
251.55	236.14	237.04	237.34	2.54
241.43	235.67	236.77	237.18	2.86
202.64	235.31	236.43	236.66	2.43
187.82	235.15	236.18	236.4	2.4
167.38	234.9	235.88	236.06	2.2
144.34	234.88	235.66	235.75	1.68
117.47	233.98	235.3	235.45	1.93
94.28	233.71	234.94	235.15	2.36

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
72.9	233.63	234.73	234.83	1.69
55.6	233.32	234.55	234.68	1.89
41.89	233.22	234.47	234.56	1.63
19.26	233	234.34	234.41	1.39
1.99	232.82	234.17	234.3	1.88

Tabella 28: Corso d'acqua IN11_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

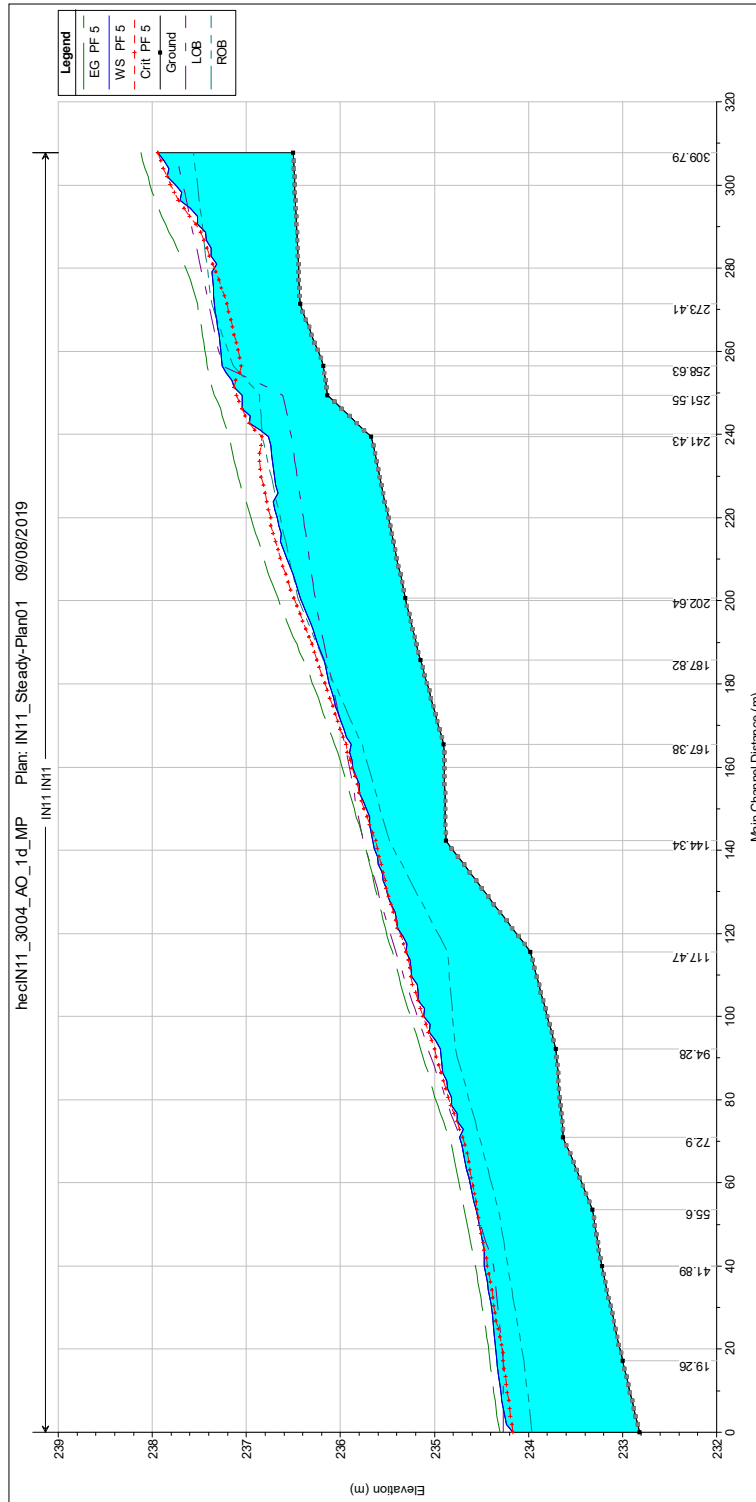


Figura 57: Corso d'acqua IN11_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per gran parte del tratto analizzato.

3.10.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il tombino idraulico di luce 4.0m x3.0 m.

La configurazione di progetto prevede una sistemazione del corso d'acqua a monte e a valle dell'opera.

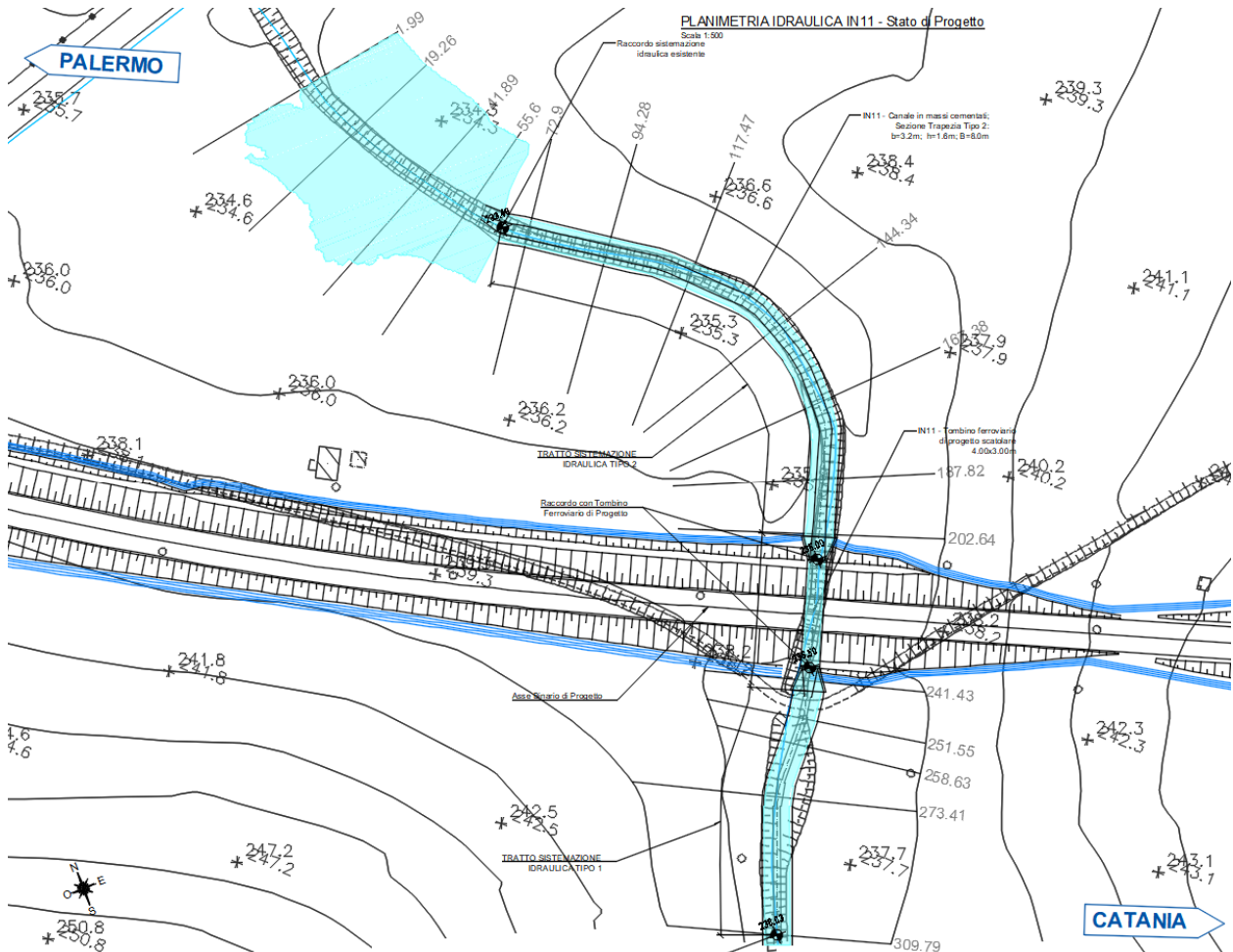


Figura 58: Corso d'acqua IN11_ Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 1.1 % nel tratto a cavallo dell'opera così come la pendenza del tombino stesso è pari al 1.1 %.

3.10.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
309.79	236.03	237.6	237.85	2.21
273.41	235.66	237.3	237.52	2.07
258.63	235.51	237.2	237.4	1.96
251.55	235.44	237.16	237.35	1.91
241.43	235.31	237.13	237.28	1.76
220.55	Culvert			
202.64	234.99	235.86	236.62	3.85
187.82	234.78	236.02	236.32	2.4
167.38	234.53	235.78	236.07	2.38
144.34	234.26	235.5	235.8	2.4
117.47	233.93	235.18	235.47	2.38
94.28	233.66	234.89	235.19	2.42
72.9	233.4	234.5	234.91	2.83
55.6	233.32	234.57	234.67	1.7
41.89	233.22	234.48	234.56	1.47

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
19.26	233	234.35	234.41	1.27
1.99	232.82	234.17	234.29	1.8

Tabella 29: Corso d'acqua IN11_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

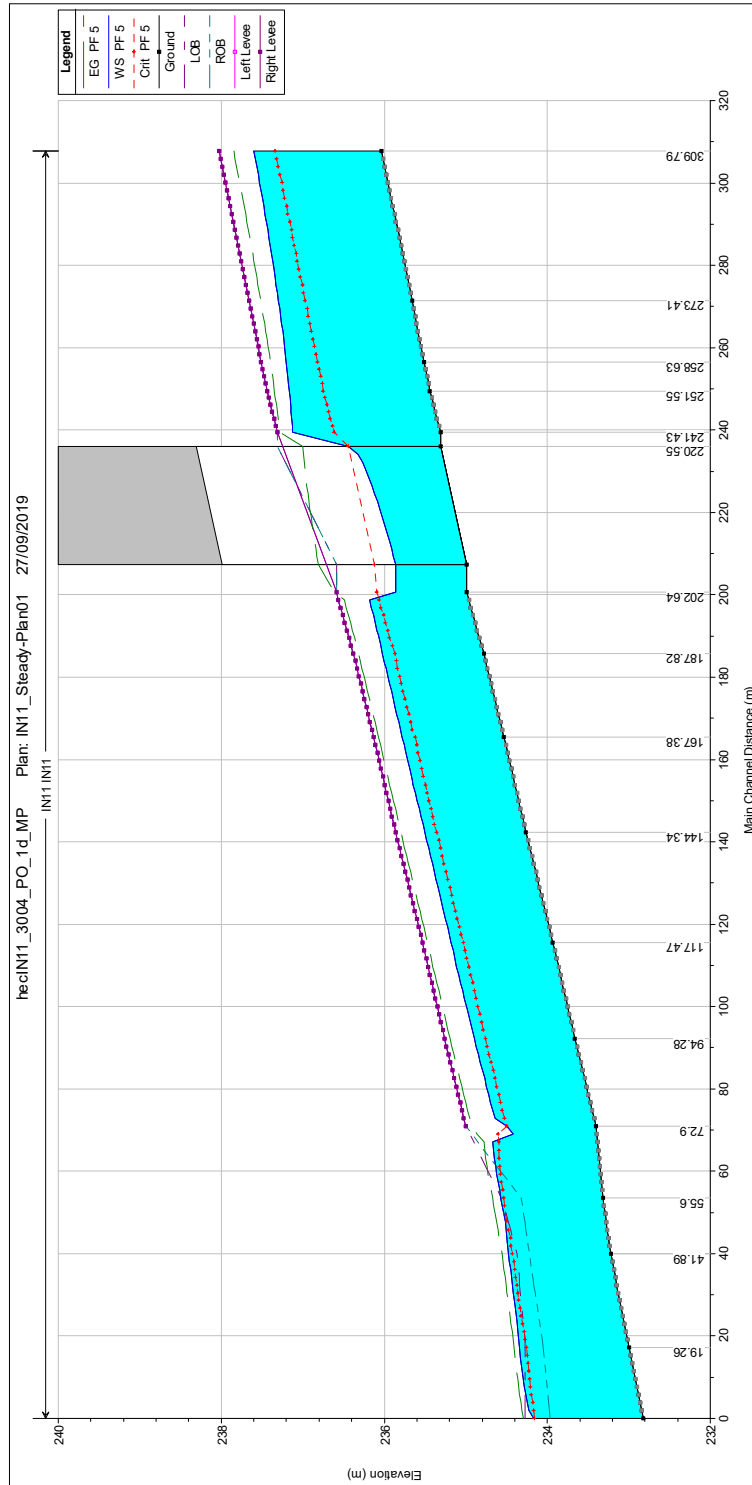


Figura 59: Corso d'acqua IN11_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per i tratti a monte e a valle dell'opera in progetto.

3.10.3 Verifica del franco

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede per gli attraversamenti secondari, ossia quelli che sottendono un bacino di superficie inferiore ai 10 kmq, che la sezione di deflusso complessiva del tombino garantisca lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

In tal caso il grado di riempimento massimo è pari al 38.0%.

E' stata comunque eseguita una valutazione del franco come per gli attraversamenti maggiori, nella sezione con tirante maggiore, di seguito riportata.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. valle manufatto	236.44	238.31	1.87

Tabella 30: Franco idraulico corso d'acqua IN11

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. valle manufatto	237.00	238.31	1.31

Tabella 31: Franco energetico corso d'acqua IN11

3.10.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza variabile da 2.0 m a 1.2 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 2.0 m – 1.6 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementato.

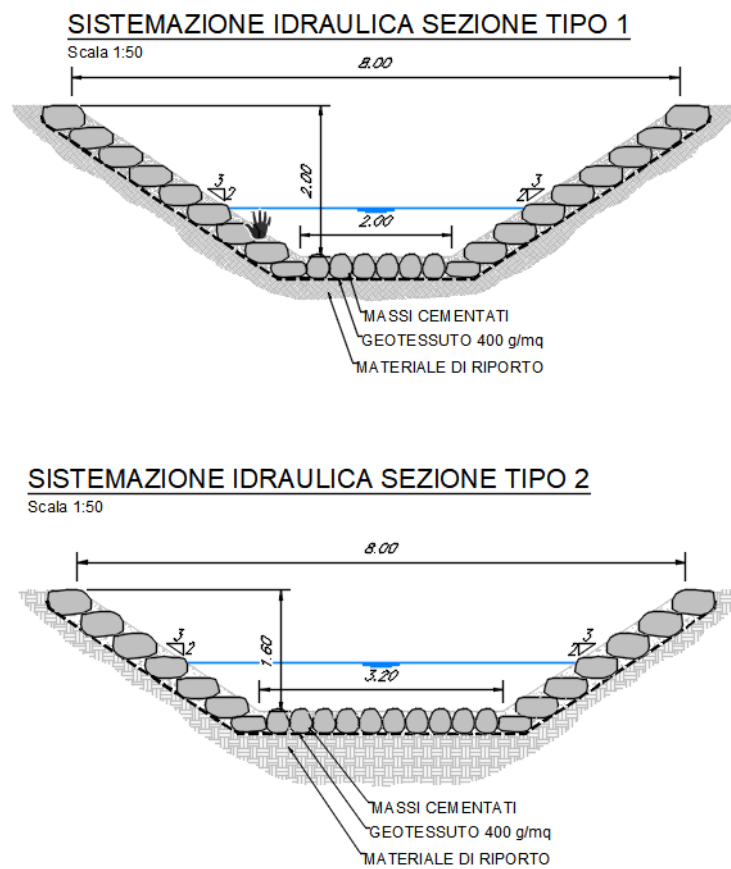
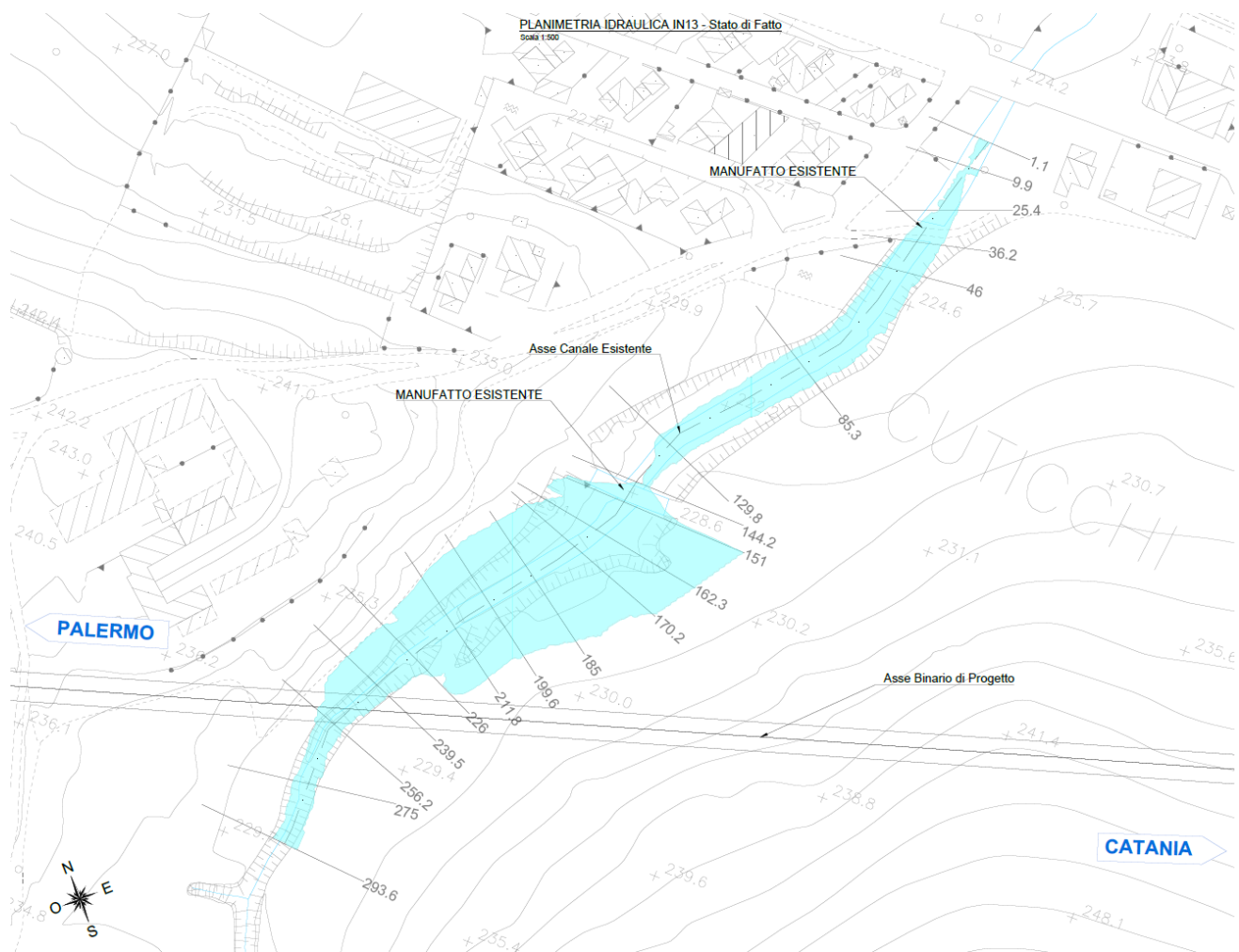


Figura 60: Corso d'acqua IN11_ Sezione tipo sistemazione

3.11 Inalveazione IN13 – Opera VI05

3.11.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 60 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende circa 250 m a valle di essa. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.




 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE						
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 61: Corso d'acqua IN13_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 1.6 % a monte del manufatto dove sono presenti due salti del fondo di 2.3 m e 1.5 m circa, tra i due manufatti la pendenza è pari al circa 0.2%, a valle dell'ultimo manufatto il fondo si attesta allo 4.6 % di pendenza media.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 13.9m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale a monte del primo manufatto esistente è rigurgitato, anche il secondo manufatto risulta insufficiente, tuttavia la piena transita all'interno dell'alveo esistente.

3.11.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
293.6	227.97	229.33	229.62	2.39
275	227.69	229.03	229.4	2.68
256.2	227.63	228.81	229.1	2.41
239.5	227.35	228.85	228.91	1
226	227	228.86	228.88	0.65
211.8	226.61	228.86	228.88	0.64
199.6	224.29	228.87	228.87	0.27
185	224.15	228.87	228.87	0.23

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
170.2	224.03	228.87	228.87	0.18
162.3	222.46	228.87	228.87	0.11
151	222.44	228.87	228.87	0.11
148.5	Bridge			
144.2	222.42	222.96	228.21	10.14
129.8	222.39	224.07	224.16	1.34
85.3	222.32	223.92	223.98	1.11
46	222.18	223.88	223.93	0.94
36.2	222.18	223.87	223.92	0.95
30.5	Bridge			
25.4	222.19	222.78	223.53	3.83
9.9	221.53	222.55	223	2.96
1.1	221.09	222.34	222.8	3.02

Tabella 32: Corso d'acqua IN13_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

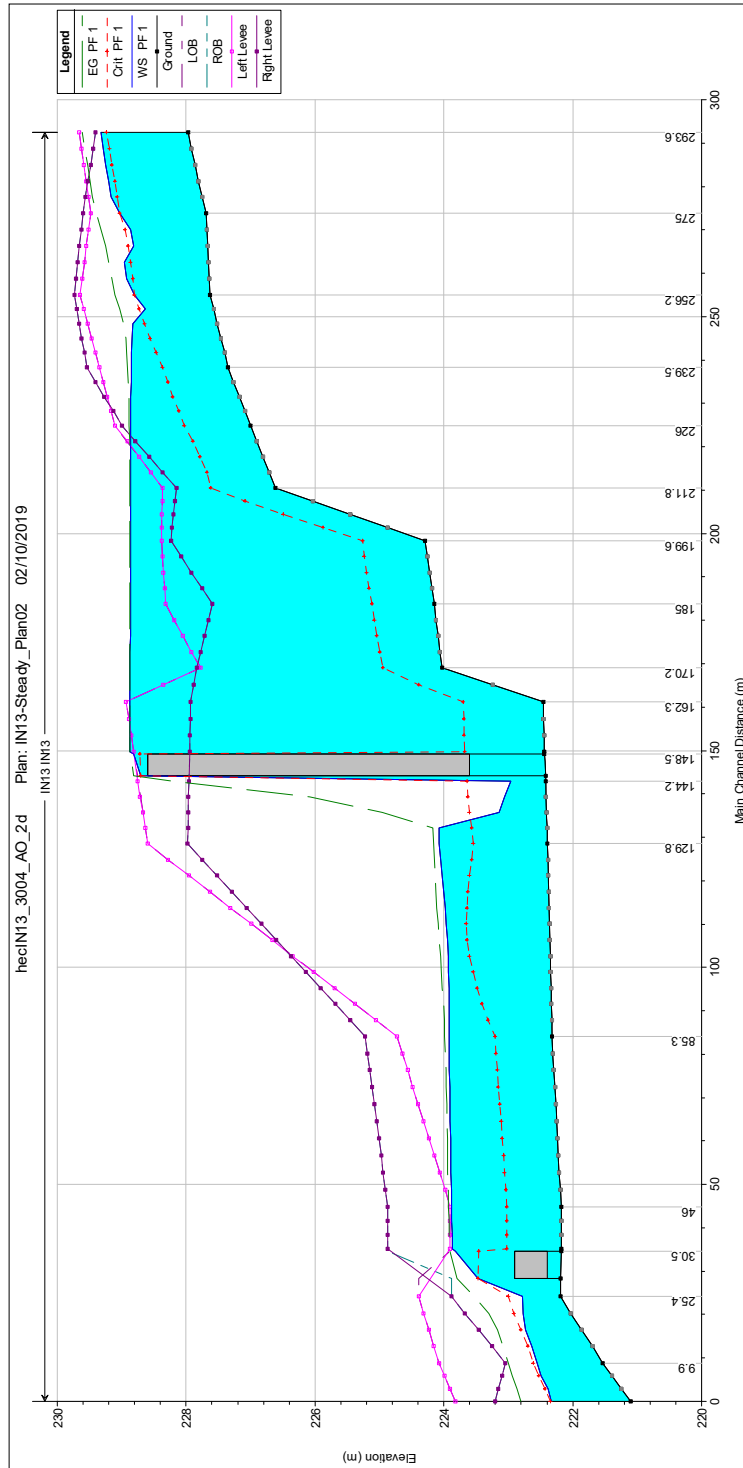


Figura 62: Corso d'acqua IN13_Profilo idrico ante operam.

La pendenza media è pari a circa il 1.4 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo, i salti esistenti e i manufatti non sono interessati dall'intervento.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI05), la campata interessata dal corso d'acqua ha luce pari a 40.0m e intradosso a quota 235.87 m.s.m.

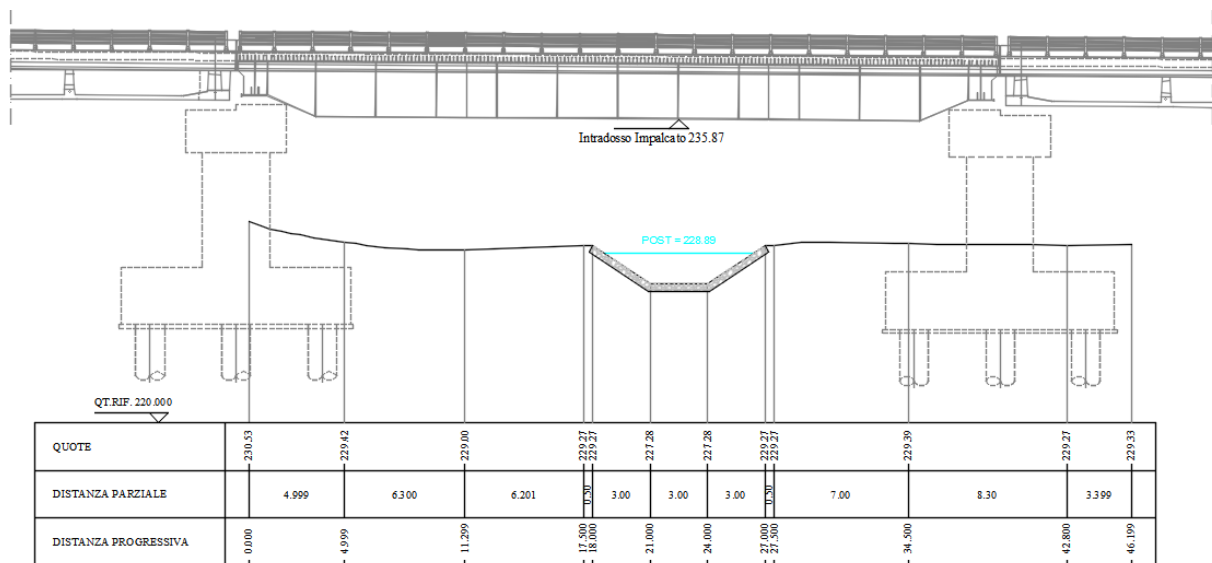


Figura 64: Corso d'acqua alla sezione 256.3_Viadotto VI05.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.11.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
225	239.94	240.44	240.72	2.49
216	238.9	240.4	240.42	0.63

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
293.9	227.97	229.06	229.68	3.5
285.5	227.71	228.51	229.33	4.02
274.8	227.55	228.94	229.12	1.9
264.5	227.39	228.9	229.05	1.67
256.3	227.27	228.89	229.01	1.52
250.5	Bridge			
244.4	227.09	228.86	228.95	1.34
226.5	226.82	228.84	228.91	1.09
211.8	226.6	228.86	228.88	0.71
199.6	224.3	228.87	228.87	0.27
185	224.16	228.87	228.87	0.23
170.2	224.03	228.87	228.87	0.18
162.3	222.46	228.87	228.87	0.11
151	222.44	228.87	228.87	0.11
148.5	Bridge			
144.2	222.42	222.96	228.21	10.14
129.8	222.39	224.07	224.16	1.34
85.3	222.32	223.92	223.98	1.11
46	222.18	223.88	223.93	0.94
36.2	222.18	223.87	223.92	0.95
30.5	Bridge			
25.4	222.19	222.78	223.53	3.83

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
9.9	221.53	222.55	223	2.96
1	221.09	222.34	222.8	3.02

Tabella 33: Corso d'acqua IN13_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

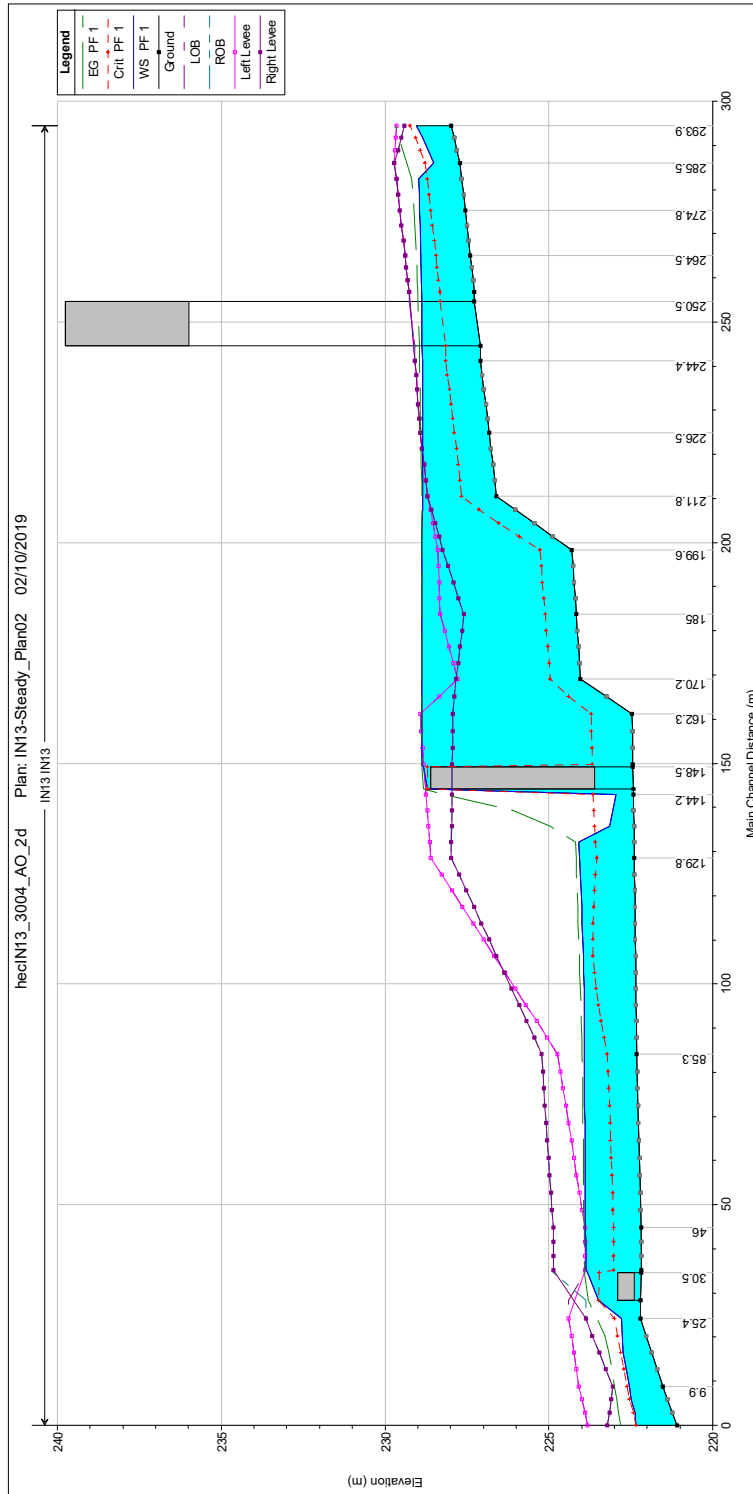


Figura 65: Corso d'acqua IN13_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un forte innalzamento del pelo libero a monte, nel tratto inalveato a cavallo del nuovo viadotto ferroviario il canale è idraulicamente sufficiente.

3.11.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 256.3	228.89	235.87	6.98

Tabella 34: Franco idraulico corso d'acqua IN13

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 256.3	229.01	235.87	6.86

Tabella 35: Franco energetico corso d'acqua IN13

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 8.6 mt (235.87 intradosso opera – 227.27 fondo alveo).

3.11.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3.0 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 2.0 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementati.

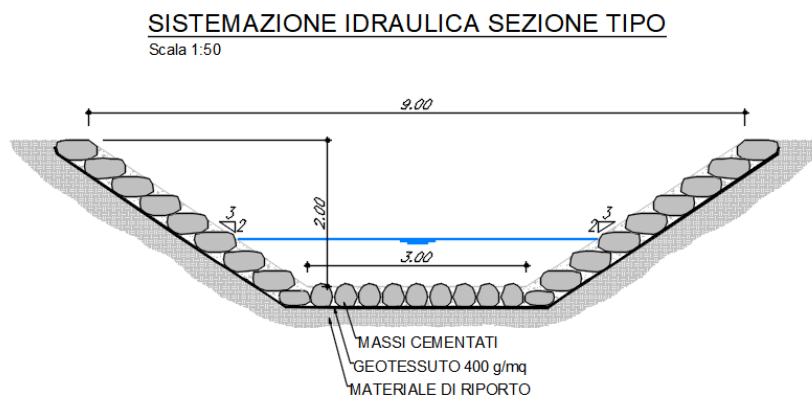


Figura 66: Corso d'acqua IN13_ Sezione tipo sistemazione

3.12 Inalveazione IN15 – Opera IN15

3.12.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 300 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria e si estende circa 50 m a valle del tombino ferroviario esistente. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto e integrate con il rilievo celerimetrico così come per le dimensioni delle opere d'arte esistenti.

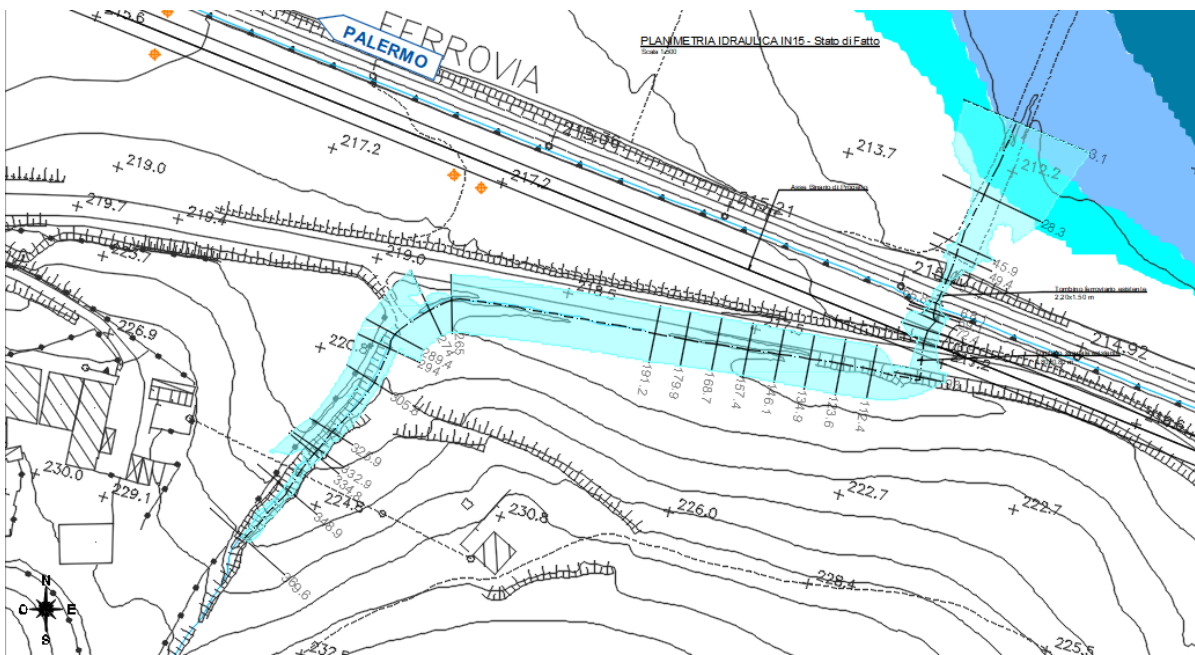


Figura 67: Corso d'acqua IN15_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 % a monte del manufatto, immediatamente a valle del manufatto stradale la pendenza aumenta ed è presente un salto del fondo di 1.5 m circa, a valle è presente un ulteriore manufatto, quest'ultimo ferroviario esistente, a valle dell'ultimo manufatto il fondo si attesta allo 2.3 % di pendenza media.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 5.80m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale a monte dei manufatti è rigurgitato.

3.12.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
369.6	224.24	224.95	226	4.54
348.9	222.67	223.39	224.31	4.24
334.8	222.2	222.7	222.84	1.84
332.9	222.2	222.52	222.78	2.46
325.9	222.07	222.41	222.58	1.56
305.8	221.25	221.5	221.85	2.43
294	221.06	221.32	221.45	1.38
289.4	220.95	221.15	221.21	0.88
274	220.27	220.68	220.84	1.89
265	220.13	220.33	220.36	0.4
191.2	218.35	218.68	218.77	1.42
179.9	218.11	218.59	218.66	1.39
168.7	218.07	218.42	218.54	1.73
157.4	217.8	218.29	218.37	1.38

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
146.1	217.76	218.19	218.28	1.46
134.9	217.58	218.05	218.16	1.76
123.6	217.3	217.96	218.04	1.37
112.4	216.97	217.97	218	0.92
93	215.79	217.98	217.99	0.42
87.65	Culvert			
82.3	215.33	216.04	216.27	2.15
76.9	215.06	215.43	216.16	3.82
72.4	214.51	215.32	216.01	3.87
69.1	213.3	214.83	214.87	0.89
68.1	213.2	214.83	214.87	0.94
65.8	213.24	214.66	214.86	1.96
60.05	Culvert			
57.7	213.15	213.97	214.43	3
49.4	212.8	213.03	214.13	4.65
45.9	212.93	213.29	213.58	2.38
28.3	212.6	212.77	212.91	1.23
3.1	211.87	212.5	212.5	0.32

Tabella 36: Corso d'acqua IN15_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

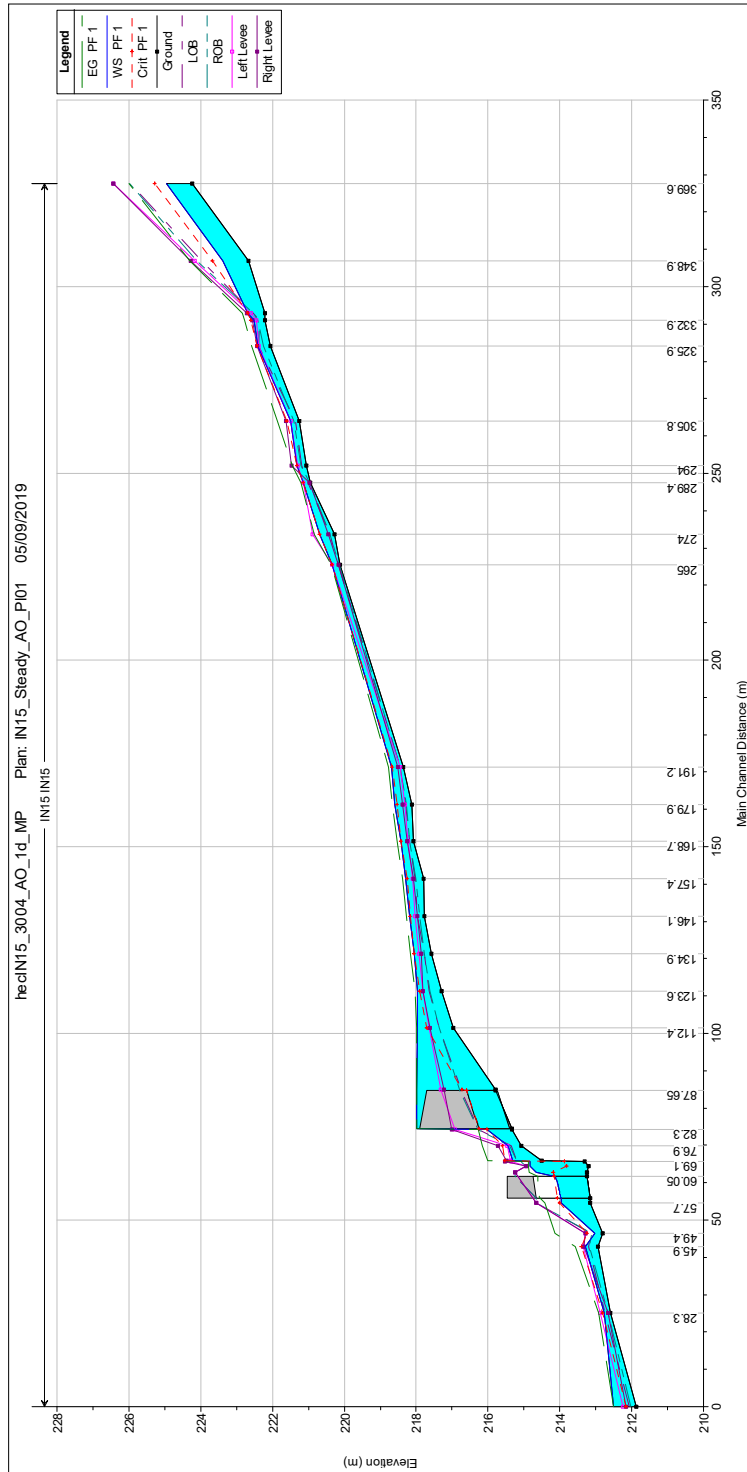


Figura 68: Corso d'acqua IN15_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un forte innalzamento del pelo libero a monte, il manufatto stradale esistente è idraulicamente insufficiente.

3.12.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino al di sotto della nuova viabilità di dimensioni 3.0 x 2.0 m mentre a valle del tombino la sistemazione sarà una sezione ad U in cls che si raccorda al manufatto ferroviario esistente.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua che attraverserà la ferrovia con una sezione ad U e correrà parallelamente nel tratto intercluso tra la sede ferroviaria di progetto e la sede ferroviaria esistente.

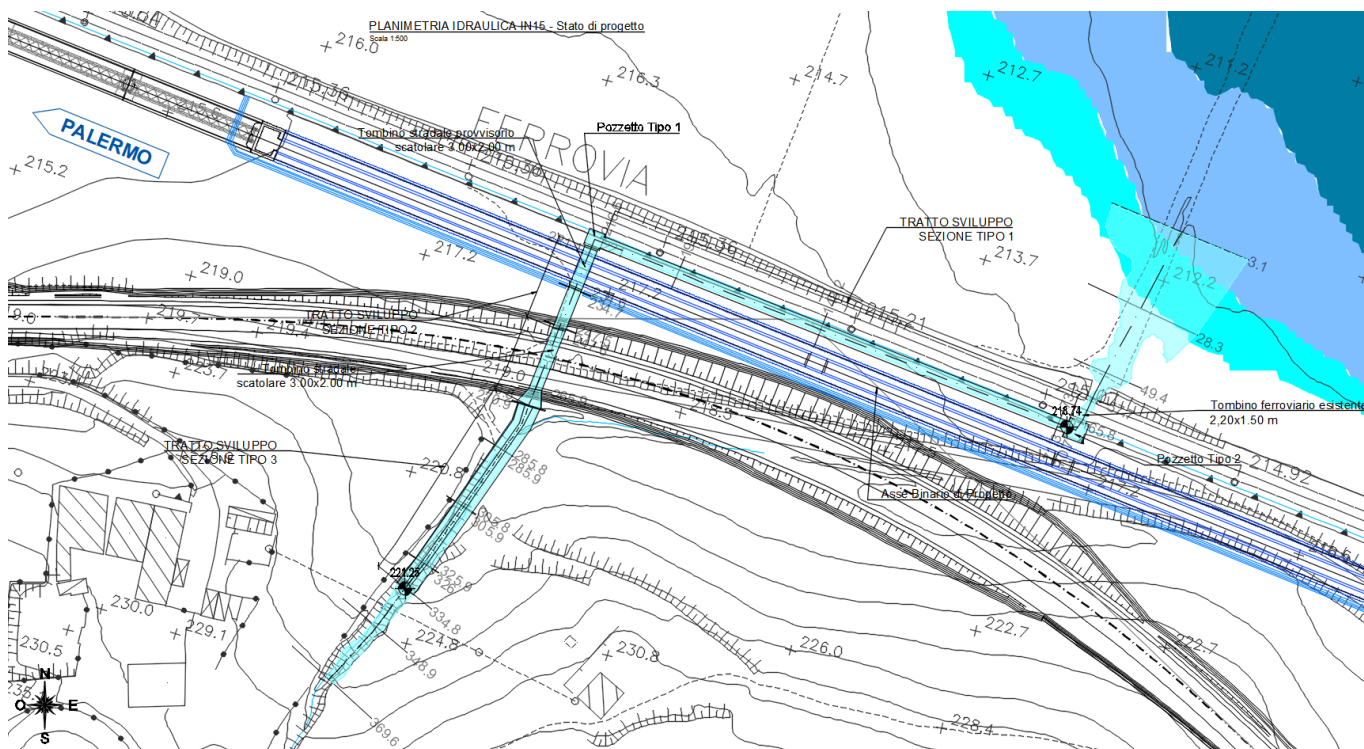


Figura 69: Corso d'acqua IN15_ Configurazione post operam

La pendenza media a monte del tombino stradale è posta al 2.0 % e sono presenti una serie di salti di fondo di altezza da 0.5 m ad 1.0 m sia a monte del tombino che a valle. Prima del manufatto

ferroviario esistente c'è un salto di fondo di 0.5 m e nel tratto a monte del salto la pendenza è pari allo 0.3 %.

Il progetto prevede la costruzione di un tombino stradale e una sistemazione con un canale ad U in CLS in grado di far transitare la piena di progetto in sicurezza.

3.12.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
369.6	224.24	224.95	226	4.53
348.9	222.67	223.39	224.34	4.32
334.8	221.23	221.81	222.84	4.49
326	220.88	221.63	222.13	3.12
325.9	220.38	220.95	222.06	4.67
305.9	219.98	220.8	221.19	2.77
305.8	218.98	219.53	221.07	5.49
285.9	218.58	219.41	219.79	2.73
285.8	217.58	218.13	219.66	5.48
265.9	217.18	218.01	218.39	2.73
265.8	216.18	217.58	217.61	0.73
262.3	216.16	217.47	217.6	1.55
250.05	Culvert			

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
247.6	216.09	216.85	217.22	2.71
247.5	215.59	216.03	217.15	4.68
234.7	215.52	216.15	216.69	3.28
234.6	214.72	215.1	216.6	5.41
221.1	214.68	215.26	215.9	3.54
221	214.18	215.55	215.62	1.11
216.6	214.18	215.36	215.58	2.08
193	214.11	215.27	215.5	2.11
148.2	213.97	215.1	215.34	2.17
73.9	213.75	214.68	215.03	2.63
71.3	213.74	214.59	215.01	2.87
70.7	213.24	214.86	214.89	0.76
65.8	213.24	214.66	214.86	1.96
60.05	Culvert			
57.7	213.15	213.97	214.43	3
49.4	212.8	213.13	213.47	2.61
28.3	212.6	212.8	212.9	1.06
3.1	211.87	212.5	212.5	0.3

Tabella 37: Corso d'acqua IN15_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

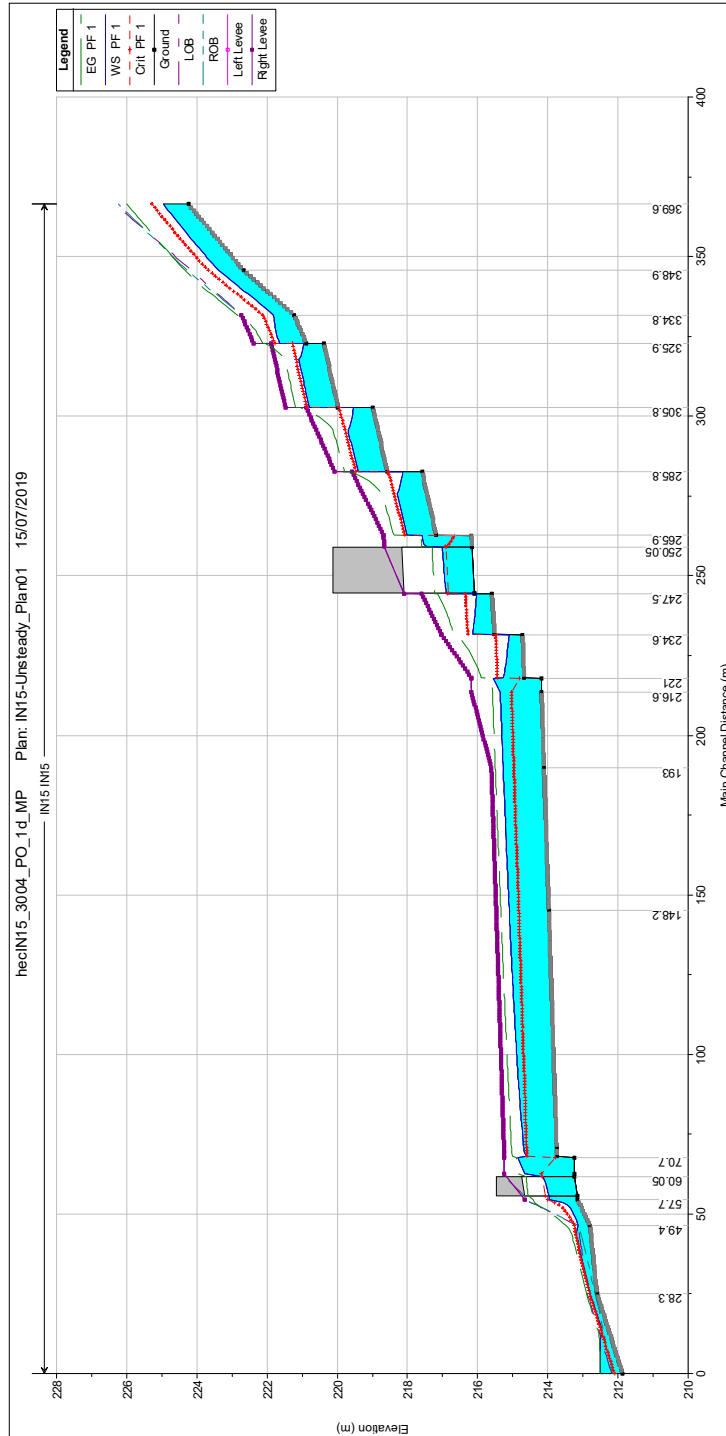


Figura 70: Corso d'acqua IN15_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per tutto il tratto dell'inalveazione.

3.12.3 Verifica del franco

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede per gli attraversamenti secondari, ossia quelli che sottendono un bacino di superficie inferiore ai 10 kmq, che la sezione di deflusso complessiva del tombino garantisca lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

In tal caso il grado di riempimento massimo è pari al 42%.

E' stata comunque eseguita una valutazione del franco come per gli attraversamenti maggiori, nella sezione con tirante maggiore, di seguito riportata.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. valle tombino	217.01	218.16	1.15

Tabella 38: Franco idraulico corso d'acqua IN15

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. valle manufatto	217.30	218.16	0.86

Tabella 39: Franco energetico corso d'acqua IN15

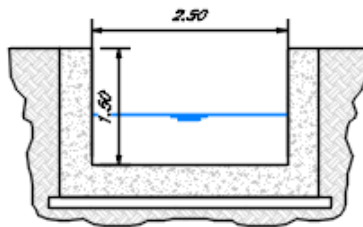
3.12.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.5 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.5 m nel tratto di monte mentre un canale ad U nei tratti di valle.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementati.

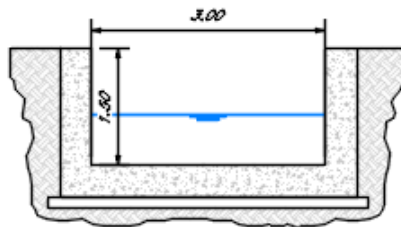
SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 2

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 3

Scala 1:50

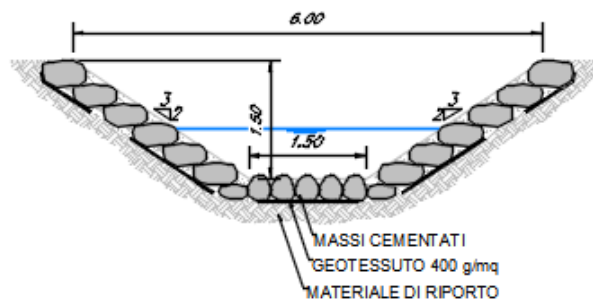


Figura 71: Corso d'acqua IN15_ Sezione tipo sistemazione

3.13 Inalveazione IN17 – Opera VI08

3.13.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 130 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria e si estende circa 40 m a valle del tombino stradale esistente. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.

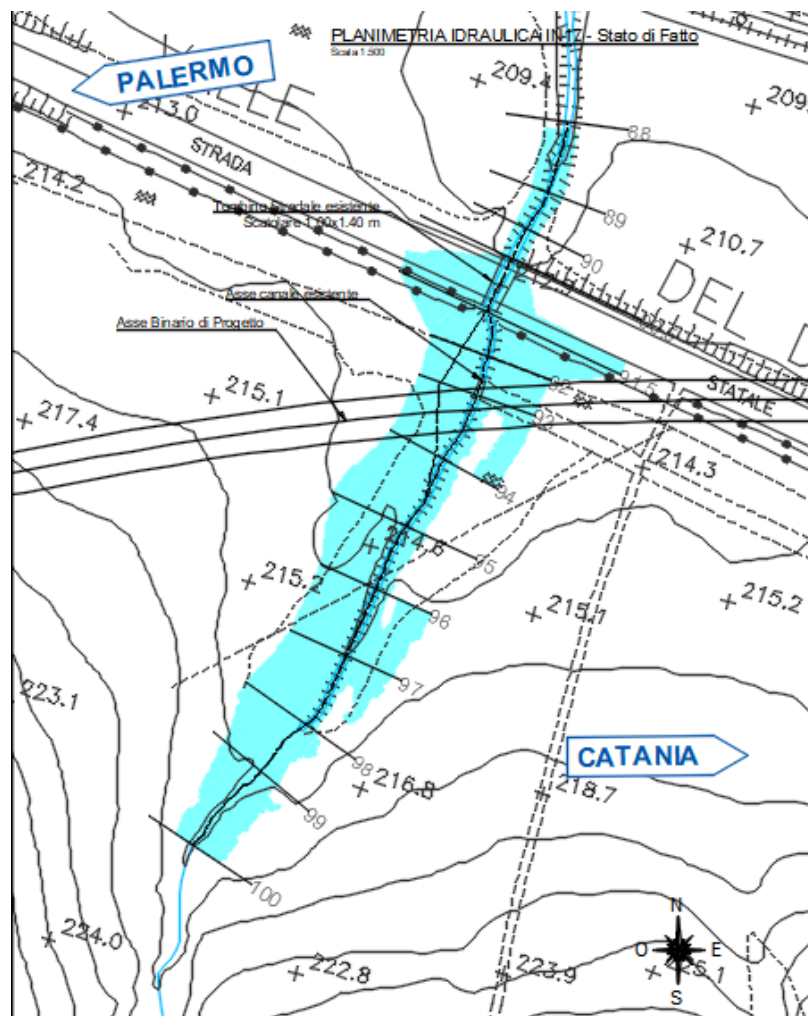


Figura 72: Corso d'acqua IN17_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 % a monte del manufatto in prossimità del quale la pendenza aumenta fino a diventare pari al 17 %, a valle del manufatto la pendenza, dopo un salto torna ad essere pari al 3.0 %.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 13.70m³/s.

Come evidenzia la simulazione, il canale a monte del manufatto esistente è rigurgitato, il tombino stesso è insufficiente per il passaggio della piena di progetto, a valle del tombino la piena transita all'interno dell'alveo esistente.

3.13.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
100	216.43	217.34	218.06	3.84
99	215.42	216.34	217.02	3.96
98	215.27	215.7	216.16	2.79
97	214.8	215.37	215.64	1.96
96	214.39	214.99	215.23	1.75
95	213.86	214.4	214.62	1.5
94	213.43	214.05	214.29	2.2
93	212.95	213.69	213.8	1.67

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
92	211.43	213.72	213.75	0.89
91.5	210.12	213.74	213.74	0.18
91	Culvert			
90.5	209.88	211.56	212.06	3.14
90	208.38	209.13	211.33	6.57
89	208.14	209.25	210.09	4.06
88	207.67	208.77	209.41	3.54

Tabella 40: Corso d'acqua IN17_Risultati simulazione ante operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

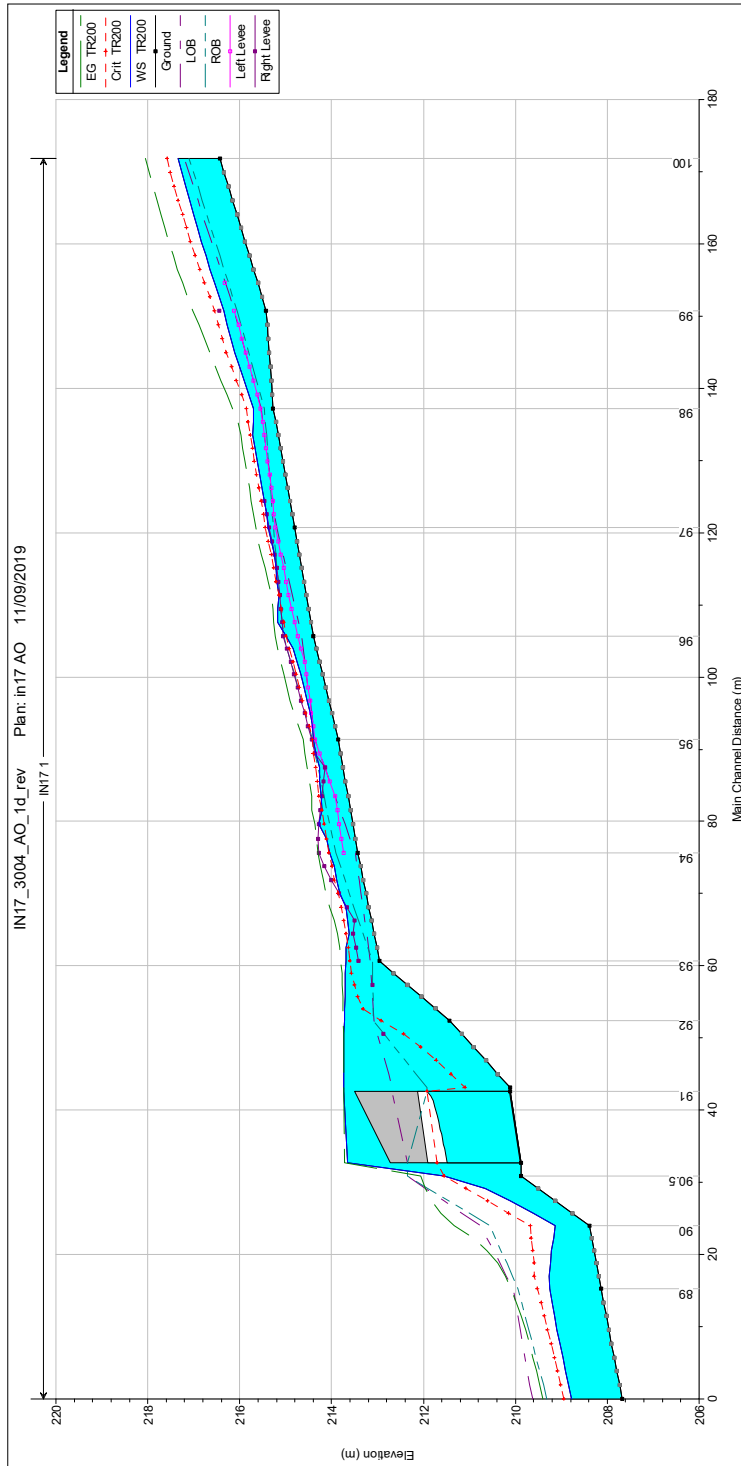


Figura 73: Corso d'acqua IN17_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un forte innalzamento del pelo libero a monte, entrambi i manufatti esistenti sono idraulicamente insufficienti.

3.13.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI08.

La configurazione di progetto prevede una deviazione del corso d'acqua al fine di eliminare l'interferenza che si sarebbe venuta a creare con le pile del viadotto e rendere l'attraversamento ortogonale.

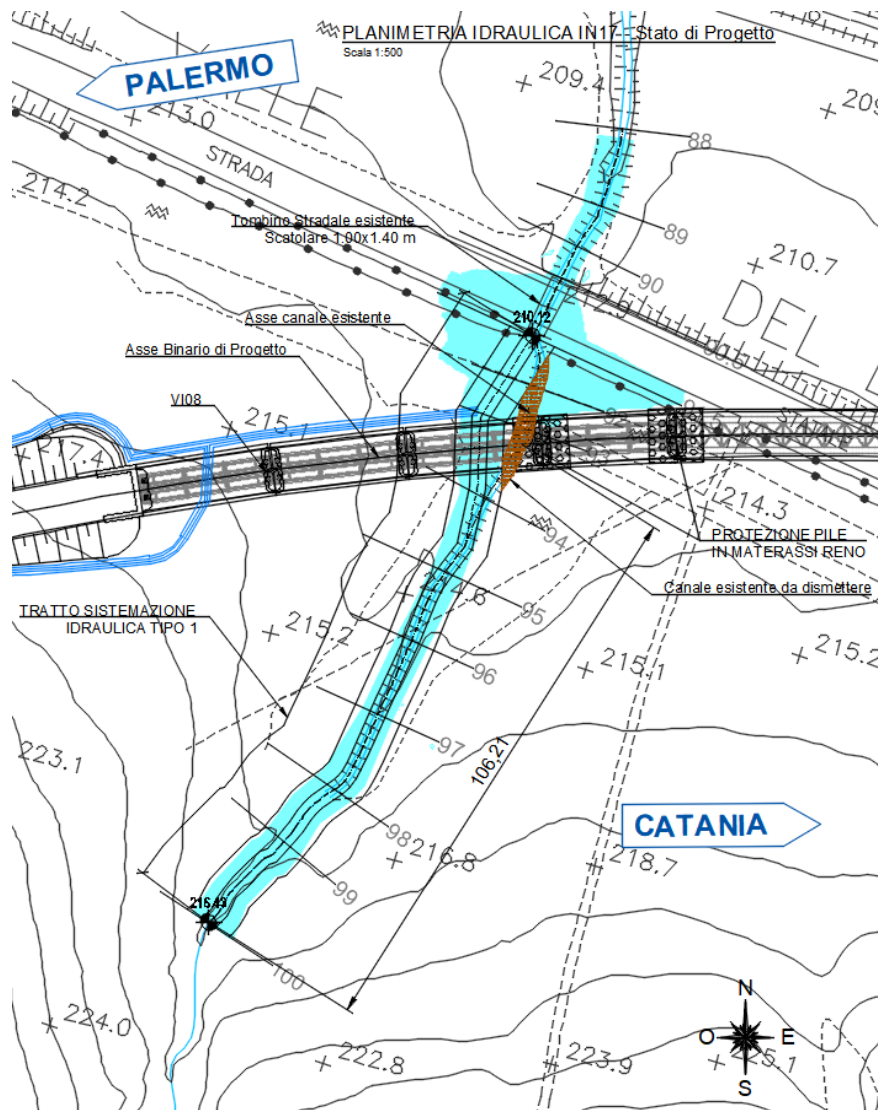


Figura 74: Corso d'acqua IN17_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 4.2 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo, i salti esistenti e il manufatto non è interessato dall'intervento.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI08), la campata interessata dal corso d'acqua ha luce pari a 25.0m e intradosso a quota 219.90 m.s.m.

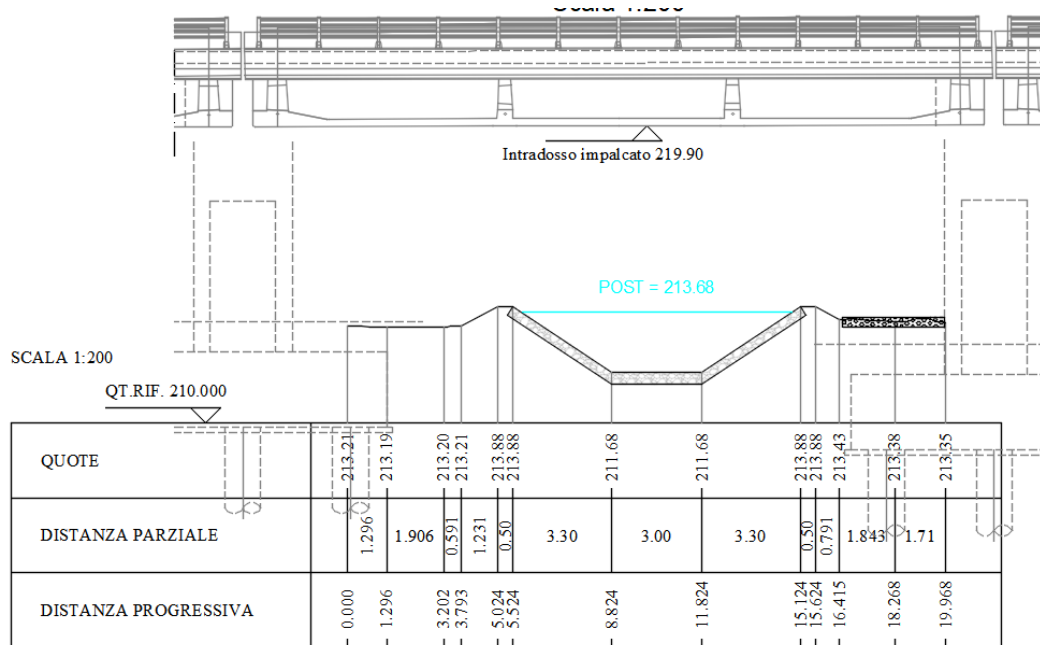


Figura 75: Corso d'acqua alla sezione 93_Viadotto VI08.

Come evidenzia la figura la piena è contenuta all'interno dell'alveo in progetto.

3.13.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
100	216.43	217.29	218.1	4.07
99	215.42	216.33	217.13	3.97
98	214.88	215.84	216.53	3.68
97	214.22	215.16	215.89	3.76

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
96.25	213.77	214.72	215.43	3.75
96.125	213.7	214.64	215.36	3.75
96	213.62	214.57	215.28	3.75
95.875	213.55	214.49	215.21	3.75
95.625	213.34	214.27	215.05	3.93
95.5	213.27	214.2	214.97	3.89
95	212.97	213.92	214.66	3.81
94.625	212.73	213.68	214.42	3.81
94	212.33	213.28	214.02	3.81
93.5	212.01	213.66	213.82	1.73
93	211.68	213.68	213.77	1.3
92	211.01	213.73	213.74	0.65
91.5	210.12	213.74	213.74	0.15
91	Culvert			
90.5	209.88	211.56	212.06	3.14
90	208.38	209.14	211.24	6.42
89	208.14	209.27	210.05	3.9
88	207.67	208.77	209.41	3.53

Tabella 41: Corso d'acqua IN17_Risultati simulazione post operam.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

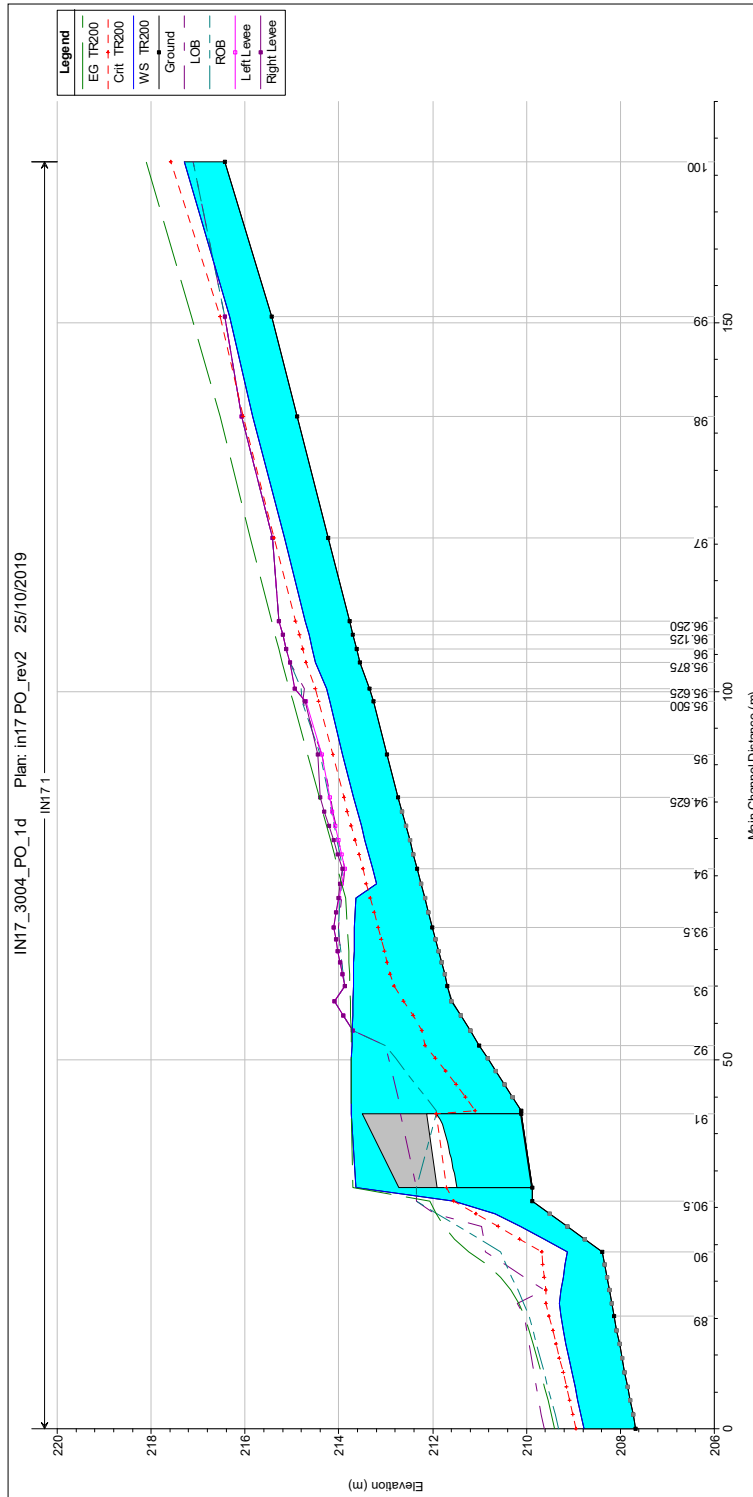


Figura 76: Corso d'acqua IN17_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per in tratto a monte dell'opera esistente che causa un forte innalzamento del pelo libero a monte, nel tratto inalveato a cavallo del nuovo viadotto ferroviario il canale è idraulicamente sufficiente.

Dall'analisi delle aree di esondazione ante e post operam e dai profili dei livelli idrici si evince che l'infrastruttura ferroviaria di progetto risulta idraulicamente compatibile. Si è predisposta una protezione delle pile del viadotto VI08 in materassi RENO in quanto tali pile sono interessate dall'area di esondazione dovuta dal rigurgito del tombino stradale 1.00x1.40 (V. Elab. RS3E50D29LZIN170A001A).

3.13.3 Verifica del franco

Come precedentemente riportato le Norme Tecniche delle Costruzioni prevedono per gli intradossi dei ponti di nuova realizzazione un franco idraulico di almeno 1.5-2.0m sulla piena duecentennale.

Il Manuale di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1.50m rispetto al livello idrico e di 0.5 m rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite relativamente al franco idraulico ed energetico per il tempo di ritorno considerato.

Entrambi i livelli riportati sono riferiti alla sezione immediatamente a monte dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. 93	213.68	219.90	6.22

Tabella 42: Franco idraulico corso d'acqua IN17

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 93	213.77	219.90	6.13

Tabella 43: Franco energetico corso d'acqua IN17

Dai risultati riportati si evince che il nuovo manufatto verifica sia le prescrizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni, che quelle del Manuale di progettazione ferroviario.

L'opera in progetto, dal momento che non si ravvisa un rischio di trasporto di alberi d'alto fusto, presenta una luce fondo alveo – intradosso pari a 8.22 mt (219.90 intradosso opera – 211.68 fondo alveo).

3.13.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3.0 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza variabile.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementati.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

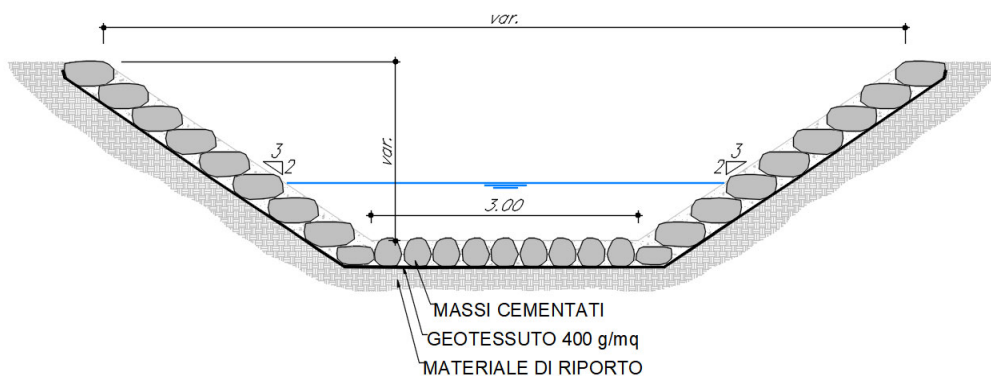


Figura 77: Corso d'acqua IN17_Sezione tipo sistemazione

3.14 Inalveazione IN18 – Opera VI09

Il tratto oggetto di sistemazione si estende per circa 40 m a cavallo del viadotto ferroviario, il corso d'acqua viene rimodellato in sede, la verifica è stata fatta in moto uniforme, la portata duecentennale è pari a 2.80 m³/s.

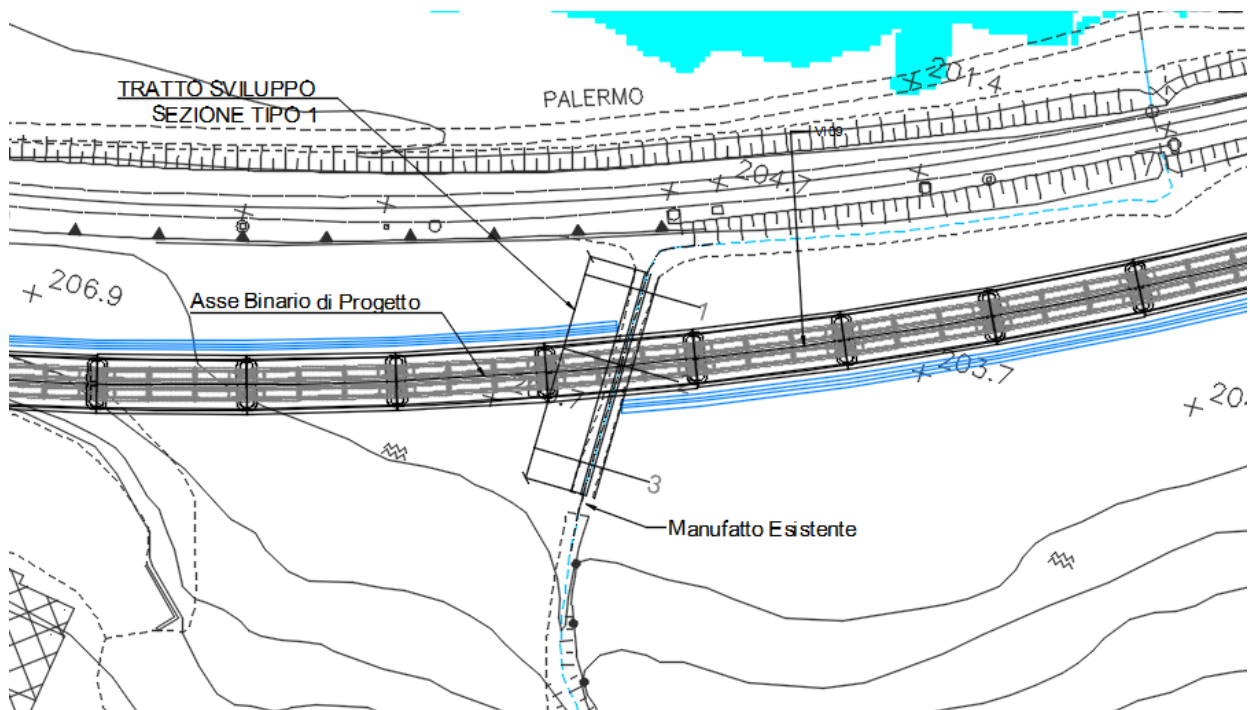


Figura 78: Corso d'acqua IN18_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.2 % nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle della ferrovia la pendenza riprende l'attuale alveo, il manufatto esistente nel tratto di monte non è interessato dall'intervento.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI09), la campata interessata dal corso d'acqua ha luce pari a 25.0m e intradosso a quota 211.57 m.s.m.

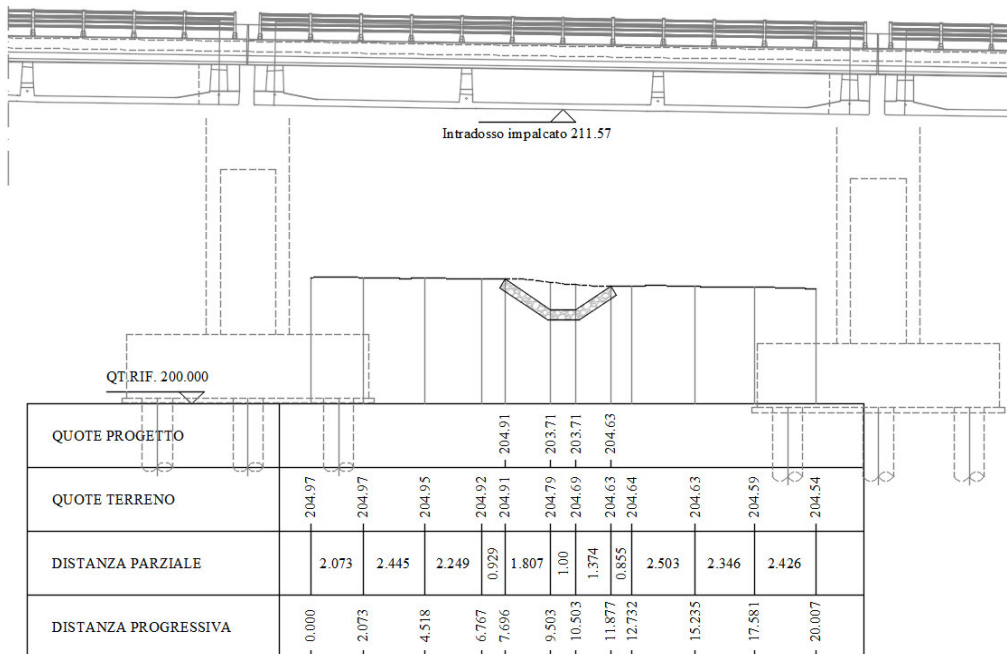


Figura 79: Corso d'acqua alla sezione 2_Viadotto VI09.

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali della verifica

h	i	Q	v	riempimento
(m)	(m/m)	(m ³ /s)	(m/s)	%
0.659	0.0320	2.80	2.380	66%

La sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per il tratto a cavallo dell'opera in progetto.

L'intervento di sistemazione prevede la regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.0 m e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.0 m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi cementati.

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

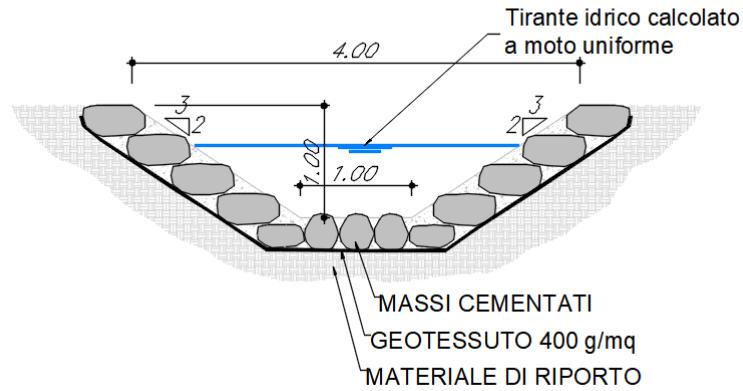


Figura 80: Corso d'acqua IN18_Sezione tipo sistemazione

3.15 Inalveazione tombino NI09

3.15.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia al di fuori della linea ferroviaria, in corrispondenza della viabilità NV08 di accesso al piazzale PT01. Lo studio è necessario per definire le opere di attraversamento del corso d'acqua da parte della viabilità.

Il primo manufatto esistente ferroviario che si incontra ha dimensioni 0.7 x 0.85 m mentre il secondo è un tombino circolare di diametro 1.8 m parzialmente interrato. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto mentre i manufatti esistenti sono stati desunti dai rilievi celerimetrici di dettaglio delle opere.

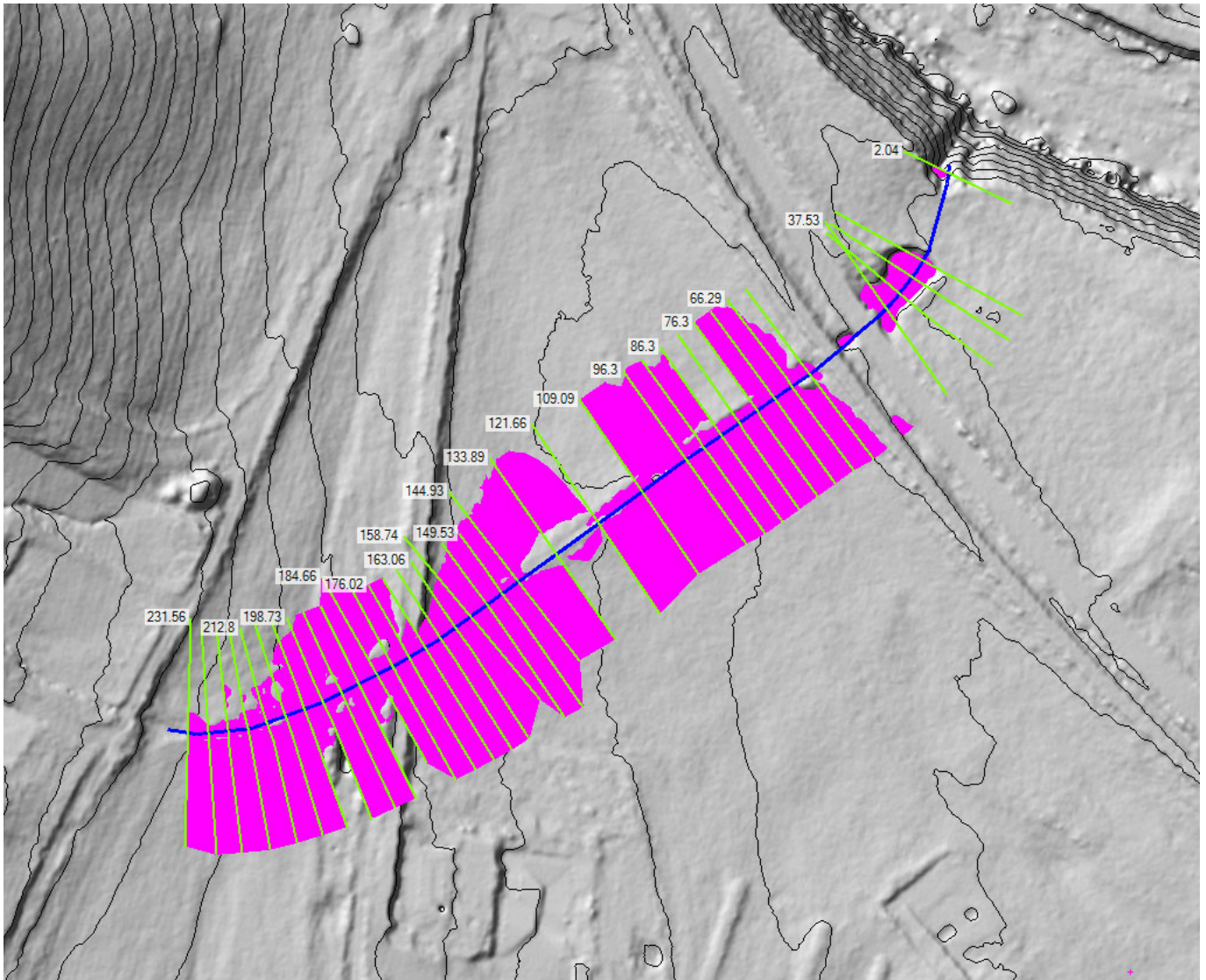


Figura 81: Corso d'acqua NI09_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 2.3 % .

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $4.58\text{m}^3/\text{s}$

Come evidenzia la simulazione i manufatti esistenti sono insufficienti per il deflusso di progetto e creano un forte rigurgito a monte inondando le aree limitrofe al canale.

3.15.1.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
231.56	271.99	272.12	272.13	0.22
226.87	271.72	271.95	271.95	0.17
222.18	271.47	271.77	271.78	0.2
217.49	271.29	271.56	271.57	0.26
212.8	271.04	271.33	271.35	0.46
208.11	270.88	271.07	271.12	0.76
203.42	270.71	270.92	270.95	0.45
198.73	270.54	270.71	270.72	0.11
194.04	270.41	270.55	270.57	0.29
189.35	270.22	270.43	270.49	0.96
184.66	270.02	270.27	270.32	0.95
180.34	269.73	270.06	270.06	0.07
176.02	269.74	269.9	269.9	0.04
171.7	269.62	269.66	269.66	0.01
167.38	268.57	268.7	268.7	0.09
163.06	268.36	268.45	268.46	0.12
158.74	268.23	268.33	268.34	0.18

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
154.13	268	268.15	268.16	0.15
149.53	267.84	267.99	268	0.12
144.93	267.7	267.83	267.84	0.21
133.89	267.23	267.38	267.76	2.71
121.66	267.19	267.22	4165.05	276.49
109.09	266.91	267.05	267.06	0.14
96.3	266.69	266.85	266.86	0.17
91.3	266.58	266.74	266.75	0.15
86.3	266.54	266.66	266.67	0.15
81.3	266.36	266.5	266.51	0.22
76.3	266.27	266.46	266.47	0.17
71.29	266.19	266.46	266.46	0.23
66.29	266.16	266.46	266.46	0.2
61.29	264.94	266.46	266.46	0.16
50	Culvert			
37.53	264.59	265.03	265.16	1.59
32.77	264.31	264.64	264.99	2.63
28	263.91	264.8	264.83	0.76
23.24	263.81	264.63	264.8	1.84
5	Culvert			
2.04	262.87	263.72	263.97	2.22

Tabella 44: Corso d'acqua N109_Risultati simulazione.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

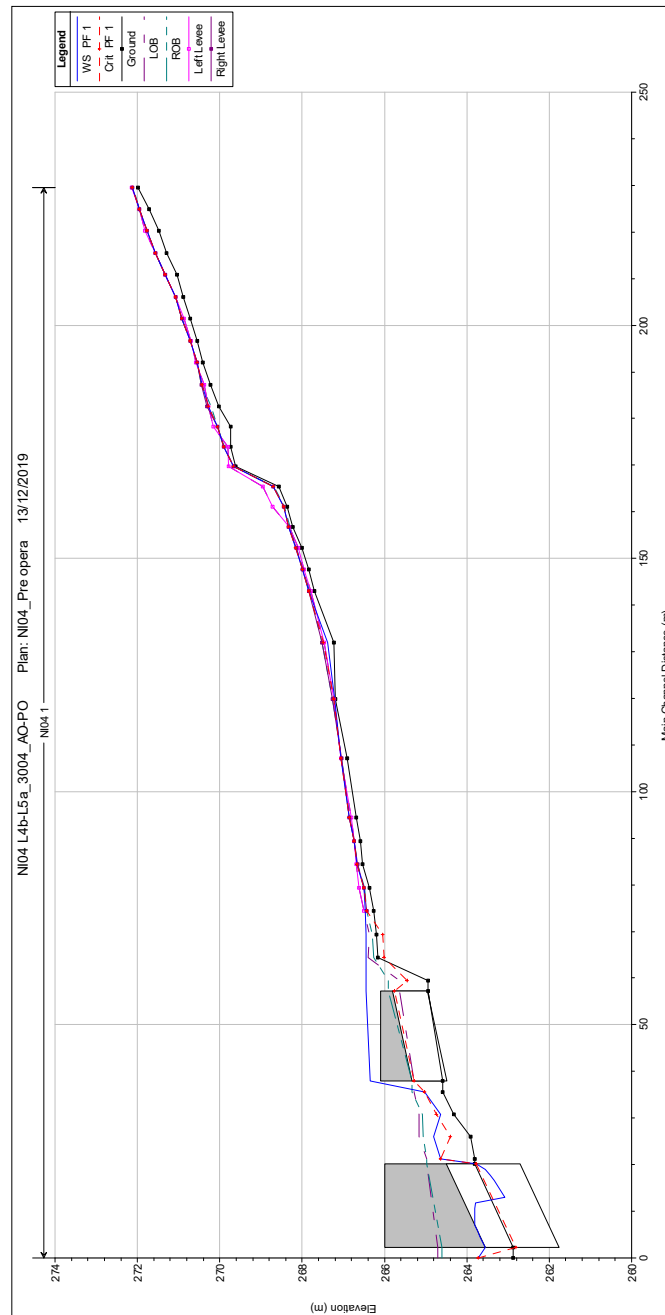


Figura 82: Corso d'acqua NI09_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per quasi tutto il tratto così come lo sono i manufatti esistenti di valle.

3.15.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il tombino idraulico di luce 2.0m x2.0 m.

La configurazione di progetto prevede una sistemazione del corso d'acqua a valle dell'opera.

La pendenza media è pari a circa il 1.3 % nel tratto a valle dell'opera in progetto, la pendenza del tombino stesso è pari al 1.0 %.

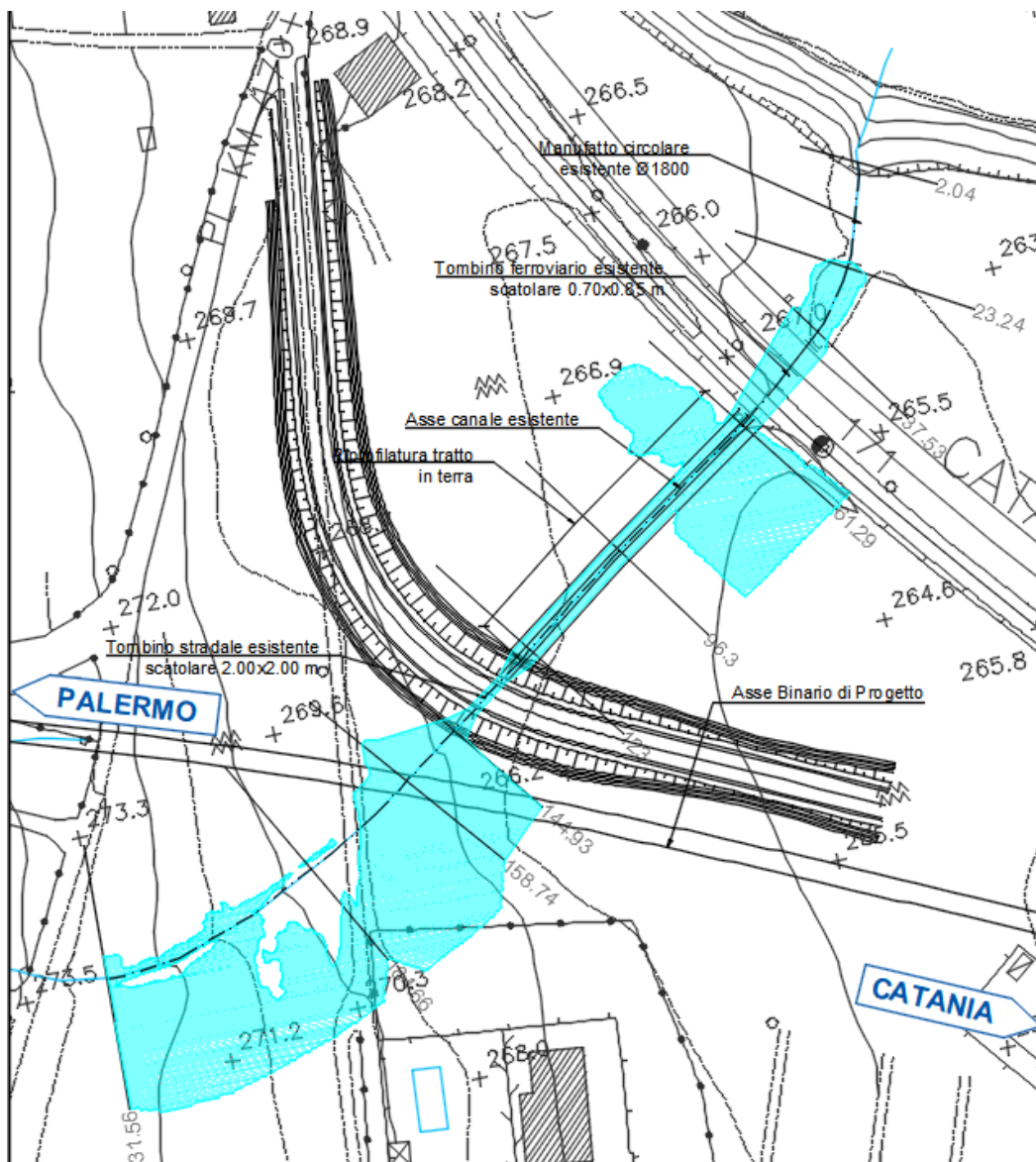


Figura 83: Corso d'acqua NI09

La pendenza media a monte del manufatto e a valle delle opere esistenti è pari a circa il 3.0 % con variazioni locali del fondo.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $4.58 \text{ m}^3/\text{s}$.

Come evidenzia la simulazione, il canale è insufficiente in più parti del corso analizzato, tuttavia la sistemazione a valle del nuovo tombino, così come il nuovo manufatto stesso risultano sufficienti per il passaggio della piena.

3.15.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (zf), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello energetico (H), la velocità media della corrente (U). Il nome delle sezioni corrisponde a quello riportato negli elaborati grafici.

Sezione	zf	h	H	U
	[m]	[m]	[m]	[m/s]
231.56	271.99	272.11	272.12	0.21
184.66	269.9	270.03	270.05	0.12
158.74	268.23	268.3	268.31	0.16
144.93	265.98	267.35	267.4	0.94
123	265.79	266.66	266.84	1.88
96.3	265.5	266.42	266.57	1.73
61.29	264.94	266.46	266.46	0.18
37.53	264.52	264.92	265.05	1.59
23.24	263.81	264.63	264.8	1.84
2.04	262.87	263.72	263.97	2.22

Tabella 45: Corso d'acqua NI09_Risultati simulazione.

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

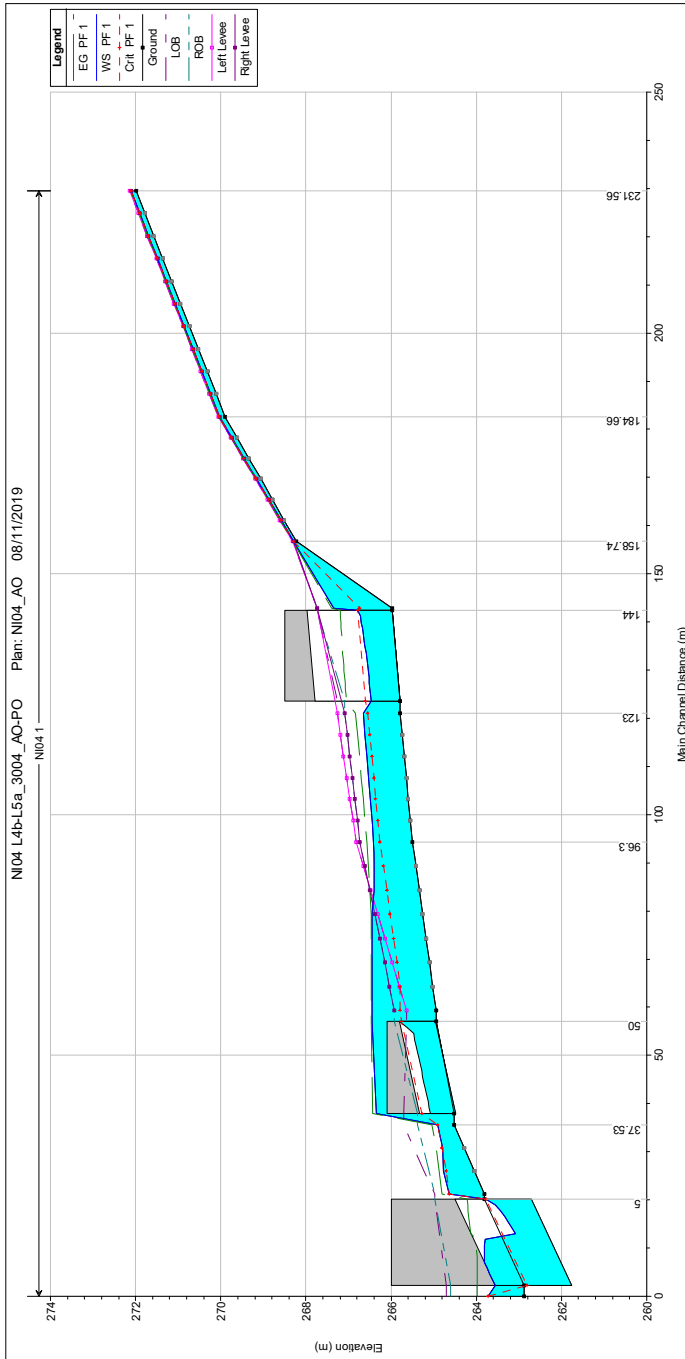


Figura 84: Corso d'acqua NI09_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per gran parte del tratto analizzato riprofilato a valle del novo tombino, più a valle la presenza dei manufatti esistenti che risultano insufficienti per le portate calcolate creano un rigurgito immediatamente a monte della linea storica.

3.15.3 Verifica del franco

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede per gli attraversamenti secondari, ossia quelli che sottendono un bacino di superficie inferiore ai 10 kmq, che la sezione di deflusso complessiva del tombino garantisca lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

In tal caso il grado di riempimento massimo è pari al 35%.

E' stata comunque eseguita una valutazione del franco come per gli attraversamenti maggiori, nella sezione con tirante maggiore, di seguito riportata.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	266.79	267.98	1.19

Tabella 46: Franco idraulico corso d'acqua IN09

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	267.20	267.98	0.78

Tabella 47: Franco energetico corso d'acqua NI09

3.15.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza 1.5 m, pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.20 m nel tratto a valle del nuovo manufatto.

Dato il carattere temporaneo della sistemazione, questa sarà in terra.

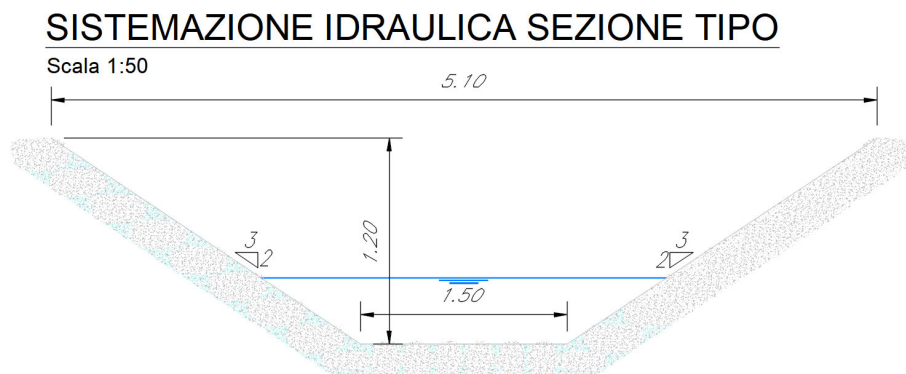


Figura 85: Corso d'acqua IN11_Sezione tipo sistemazione

4 CONCLUSIONI

Le opere idrauliche descritte in relazione sono state dimensionate e verificate nel rispetto della normativa vigente e del manuale di progettazione di Rfi. I tombini idraulici sono stati dimensionati garantendo un grado di riempimento inferiore al 70%, mentre le sistemazioni idrauliche che attraversano i viadotti sono state dimensionate garantendo un franco idraulico minimo di 1.50m ed un franco di sicurezza minimo di 0.50m sul livello energetico. Il massimo rigurgito a monte dei tombini di progetto è sempre contenuto nelle sponde della sistemazione idraulica di progetto, i tombini idraulici ferroviari che utilizzati per la continuità idraulica dei corsi d'acqua sono stati dimensionati con un grado di riempimento inferiore al 50% per garantire il passaggio dei detriti galleggianti. È stato previsto un rivestimento del corso d'acqua, laddove è risultato necessaria una deviazione plano-altimetrica dello stesso per la risoluzione dell'interferenza con le opere di progetto, inoltre tali rivestimenti sono risultati necessari per la protezione del corso d'acqua da fenomeni effossori dovuti ai risalti idraulici. Il livello idrico a valle delle sistemazioni idrauliche di progetto ha un valore non superiore rispetto alla configurazione ante operam e

le opere idrauliche di progetto determinano una riduzione delle aree di esondazione. Per tali ragioni le opere idrauliche dimensionate e verificate nel presente PD sono idraulicamente compatibili.

RIFERIMENTI NORMATIVI

NORMATIVA NAZIONALE

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 02/02/2009, n.617 - “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008”;
- Decreto ministeriale 4 aprile 2014 “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;
- Circolare Min. LL.PP. n. 11633/74 “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque”;
- Decreto Legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 “Norme in materia ambientale”
- D. Lgs. 16/01/2008 n. 4 “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.Lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- R.D. 08/05/1904, N. 368 “Regolamento sulle bonificazioni delle paludi e dei terreni paludosi;
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 - “Testo unico delle leggi sanitarie”;
- D.M. 12/12/1985 - “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 05/05/1966 n.2136 – “Istruzioni sull’impiego delle tubazioni in acciaio saldate nelle costruzioni degli acquedotti”;
- D.M. 16/06/2008, n. 131 – “Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici”;
- Manuale di progettazione di RFI – 2019 - parte II – sezione 3, Corpo stradale;

NORMATIVA LOCALE

- Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Siciliana, 2004 e s.m.i.
- Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.), Regione Siciliana, 2015;
- Piano di Gestione del Distretto Idrografico (P.G.D.I.) della Sicilia – 2016;
- L.R. del 15-05-1986, N.27 – Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla l.r. 18-06-1977;