

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA NUOVA ENNA – DITTAINO (LOTTO 4b)

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica

SCALA:

-

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

RS3V 40 D 29 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Abbasciano	Gennaio 2020	C. Volpini	Gennaio 2020	F. Sparacino	Gennaio 2020	F. Arduini	Gennaio 2020

ITALFERR S.p.A.
Direzione Tecnica
Infrastrutture Centro

Dot. Ing. Fabrizio Arduini

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n° 16962

16/01/2020

File: RS3V40D29RIID0002001A

n. Elab.: 44

INDICE

1	PREMESSA	7
2	DESCRIZIONE INTERVENTO	8
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	10
2.2	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO PRINCIPALI DELLA LINEA FERROVIARIA	10
3	ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI	18
3.1	METODOLOGIA DI CALCOLO	18
3.1.1	<i>Manuale di progettazione ferroviario</i>	<i>18</i>
3.1.2	<i>NTC 2018 e relativa Circolare Esplicativa</i>	<i>19</i>
3.1.3	<i>Criteri di verifica</i>	<i>20</i>
3.1.4	<i>Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente.....</i>	<i>21</i>
3.1.4.1	<i>Caratteristiche del modello matematico</i>	<i>21</i>
3.2	VERIFICA IDRAULICA OPERE	34
3.2.1	<i>Geometria degli alvei</i>	<i>34</i>
3.2.2	<i>Portate di progetto</i>	<i>34</i>
3.2.3	<i>Definizione dei coefficienti di scabrezza</i>	<i>36</i>
3.2.4	<i>Condizioni al contorno</i>	<i>38</i>
3.3	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI DEL FONDO E DELLE SPONDE.....	39
3.3.1	<i>Calcolo delle tensioni agenti</i>	<i>39</i>
3.3.2	<i>Calcolo delle tensioni resistenti</i>	<i>40</i>
3.4	INALVEAZIONE IN01 – OPERA IN01	42
3.4.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	<i>42</i>
3.4.2	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....</i>	<i>43</i>
3.4.3	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	<i>45</i>
3.4.3.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>46</i>

3.4.4	Verifica del franco	50
3.4.5	Sistemazione e protezione	51
3.5	INALVEAZIONE IN02 – OPERA IN02-NI11	53
3.5.1	Descrizione simulazione numerica post operam	53
3.5.1.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	54
3.5.2	Verifica del franco	57
3.5.3	Sistemazione e protezione	58
3.6	INALVEAZIONE IN03 – OPERA IN03.....	61
3.6.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	61
3.6.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	62
3.6.2	Descrizione simulazione numerica post operam	64
3.6.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	65
3.6.3	Verifica del franco	68
3.6.4	Sistemazione e protezione	68
3.7	INALVEAZIONE IN04 – OPERA VI01 – NI01A – NI01B	70
3.7.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	70
3.7.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	71
3.7.2	Descrizione simulazione numerica post operam	74
3.7.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	75
3.7.3	Verifica del franco	79
3.8	INALVEAZIONE IN05 – OPERA VI02	82
3.8.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	82
3.8.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	83
3.8.2	Descrizione simulazione numerica post operam	86
3.8.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	87
3.8.3	Verifica del franco	90
3.8.4	Sistemazione e protezione	90
3.9	INALVEAZIONE IN06 – OPERA VI02	92
3.9.1	Descrizione simulazione numerica ante operam	92
3.9.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	93

3.9.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	95
3.9.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	96
3.9.3	<i>Verifica del franco</i>	99
3.9.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	99
3.10	INALVEAZIONE IN07 – OPERA VI02	101
3.10.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	101
3.10.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	102
3.10.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	104
3.10.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	105
3.10.3	<i>Verifica del franco</i>	108
3.10.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	109
3.11	INALVEAZIONE IN08 – OPERA VI02	110
3.11.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	110
3.11.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	110
3.11.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	113
3.11.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	114
3.11.3	<i>Verifica del franco</i>	117
3.11.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	118
3.12	INALVEAZIONE IN09 – OPERA VI03	119
3.12.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam</i>	119
3.12.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	119
3.12.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	122
3.12.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	123
3.12.3	<i>Verifica del franco</i>	126
3.12.4	<i>Sistemazione e protezione</i>	127
3.13	INALVEAZIONE IN11 – OPERA IN11	128
3.13.1	<i>Descrizione simulazione numerica post operam</i>	128
3.13.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	129
3.13.2	<i>Verifica del franco</i>	131
3.13.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	131

3.14	INALVEAZIONE NI02 – OPERA NI02.....	133
3.14.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam.....</i>	133
3.14.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....</i>	134
3.14.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam.....</i>	136
3.14.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	137
3.14.3	<i>Verifica del franco.....</i>	139
3.14.4	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	139
3.15	INALVEAZIONE NI03 – OPERA NI03.....	142
3.15.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam.....</i>	142
3.15.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....</i>	143
3.15.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam.....</i>	145
3.15.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	146
3.15.3	<i>Verifica del franco.....</i>	148
3.15.4	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	149
3.16	INALVEAZIONE NI04.....	151
3.16.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam.....</i>	151
3.16.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....</i>	152
3.16.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam.....</i>	154
3.16.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	154
3.16.3	<i>Verifica del franco.....</i>	157
3.16.4	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	157
3.17	INALVEAZIONE NI05 – OPERA NI05.....	160
3.17.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam.....</i>	160
3.17.1.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....</i>	161
3.17.2	<i>Descrizione simulazione numerica post operam.....</i>	163
3.17.2.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	164
3.17.3	<i>Verifica del franco.....</i>	166
3.17.4	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	166
3.18	INALVEAZIONE NI06 – OPERA NI06.....	169
3.18.1	<i>Descrizione simulazione numerica ante operam.....</i>	169

3.18.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	170
3.18.2	Descrizione simulazione numerica post operam	173
3.18.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	174
3.18.3	Verifica del franco	177
3.18.4	Sistemazione e protezione	177
3.19	INALVEAZIONE NI08 – OPERA NI08.....	179
3.19.1	Descrizione simulazione numerica ante operam.....	179
3.19.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	180
3.19.2	Descrizione simulazione numerica post operam	182
3.19.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	183
3.19.3	Verifica del franco	185
3.19.4	Sistemazione e protezione	185
3.20	INALVEAZIONE NI09 – OPERA NI09.....	187
3.20.1	Descrizione simulazione numerica ante operam.....	187
3.20.1.1	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni.....	188
3.20.2	Descrizione simulazione numerica post operam	191
3.20.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	192
3.20.3	Verifica del franco	194
3.20.4	Sistemazione e protezione	194

1 PREMESSA

Nel presente documento si riporta lo studio idraulico condotto sulle inalveazioni e deviazioni dei corsi d'acqua minori e/o secondari interferenti con la linea ferroviaria in progetto (Progetto Definitivo della direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo, lotto 4b tratta Enna – Dittaino da pk 0+000 a pk 14+935).

La finalità del presente studio è il dimensionamento e la verifica del funzionamento idraulico di una serie di manufatti ferroviari di attraversamento della linea ferroviaria. 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

In particolare, l'analisi è stata operata attraverso le seguenti fasi:

- 1) Pre-dimensionamento idraulico in moto uniforme delle opere di attraversamento (tombini) e delle sistemazioni monte/valle dei corsi d'acqua interferenti;
- 2) Modellazione monodimensionale in regime di moto permanente (Ante e Post Operam) dei corsi d'acqua oggetto di interventi di sistemazione/deviazione idraulica;
- 3) Verifica idraulica delle opere di attraversamento maggiore mediante elaborazione dei risultati forniti dalle modellazioni in moto permanente;
- 4) Redazione delle planimetrie di esondazione, dei profili di moto permanente e delle sezioni con livelli idrici ed energetici relativamente alle opere di attraversamento in progetto;
- 5) Valutazione del franco idraulico delle nuove opere e delle opere esistenti interessate dagli interventi;
- 6) Analisi dei processi idrodinamici delle aste e verifica della stabilità delle opere di sistemazione idraulica degli attraversamenti analizzati mediante modello matematico;
- 7) Analisi di compatibilità idraulica degli interventi.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Sono state prese in considerazione le disposizioni legislative di seguito elencate.

NORMATIVA

- R.D. 25/07/1904, n. 523 - “Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 - “Testo unico delle leggi sanitarie”;
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;
- D.M. 12/12/1985 - “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- L.R. 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, n. 39 e s.m.i.”.
- L. 18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;
- Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Siciliana – 2004;
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 - “Norme in materia ambientale” e s.m.i.;
- 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);
- D.M. 16/06/2008, n. 131 – “Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici”;
- D.M. 04/04/2014 - “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;
- Delibera G.R. 06/08/2014. N. 231 “Direttiva 2007/60/CE. Linee di indirizzo strategico per l’elaborazione del Piano di gestione del rischio alluvioni e programma delle attività conoscitive”;
- 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;

- D.M. 17/01/2018 - “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”;
- Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2018;
- Circolare 21/01/2019, n.7 – “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018”;

LETTERATURA TECNICA DI RIFERIMENTO

- V.T. Chow – “Open-Channel Hydraulics – McGraw-Hill – 1959;
- G. Supino – “Le reti idrauliche” - Ed. Patron - Bologna – 1965;
- D. S. Miller – “Internal Flow Systems” – BHR Group Limited – 1978;
- D. Tonini – “Elementi di idrografia ed idrologia” – Vol. 2 – Ed. Cortina – 1983;
- U.S. Department of Agriculture – Natural Resources Conservation Service – “Urban hydrology for small watersheds” – 1986;
- A. Lencastre – “Manuel d’hydraulique générale – Eyrolles” – 1986;
- D. Citrini, G. Nosedà – “Idraulica” – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- F. Arredi – “Costruzioni Idrauliche” – Utet – 1987;
- R. H. McCuen – “Hydrologic Analysis and Design” – Pearson Education – 1989;
- G. Ippolito – “Appunti di costruzioni idrauliche” – Liguori – 1993;
- M. Cannarozzo, F. D’Asaro, V. Ferro – “Valutazione delle Piene in Sicilia”, C.N.R. GNDCI, Previsione e prevenzione degli eventi idrologici estremi e loro controllo – 1993;
- L. Da Deppo, C. Datei – “Fognature” – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- S. Artina et al. – “Sistemi di Fognatura” – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997;
- V. Ferro – “La sistemazione dei bacini idrografici” - McGraw-Hill – 2002;
- C. Ciaponi, S. Papi, U. Sanfilippo, S. Todeschini – “Acque di prima Pioggia – Manuale di Progettazione” – CSDU/ Hoepli – 2014;
- VAPI – “Progetto Speciale per la Valutazione delle Piene in Italia”;
- “Annali idrologici” pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN).

3 DESCRIZIONE INTERVENTO

3.1 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 petrolio) segue in alcuni tratti il tracciato esistente mantenendosi in destra idraulica del fiume Dittaino.



Figura 1 - Inquadramento geografico nuovo tracciato ferroviario.

3.2 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	WBS
0+510.00	IN01

Progressiva	WBS
0+880.00	IN02
1+420.00	IN03
2+650.00	IN04
NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B
8+200.00	IN05
8+715.00	IN06
8+835.00	IN07
9+045.00	IN08
9+380.00	IN09
NV05 0+170	NI02
Lotto 5b	NI04
NV12	NI07
NV08 asse 7 0+235	NI05
NV08 asse 7 0+535	NI06
NV06 0+142	NI03
linea storica	IN11
NV07 0+887	NI08
NV07 0+584	NI09
viabilità stazione Enna	NI11

Tabella 1 – Elenco delle opere di attraversamento verificate.

Nelle figure seguenti è riportato un inquadramento geografico su ortofoto delle principali opere di attraversamento (elencate in *Tabella 1*).

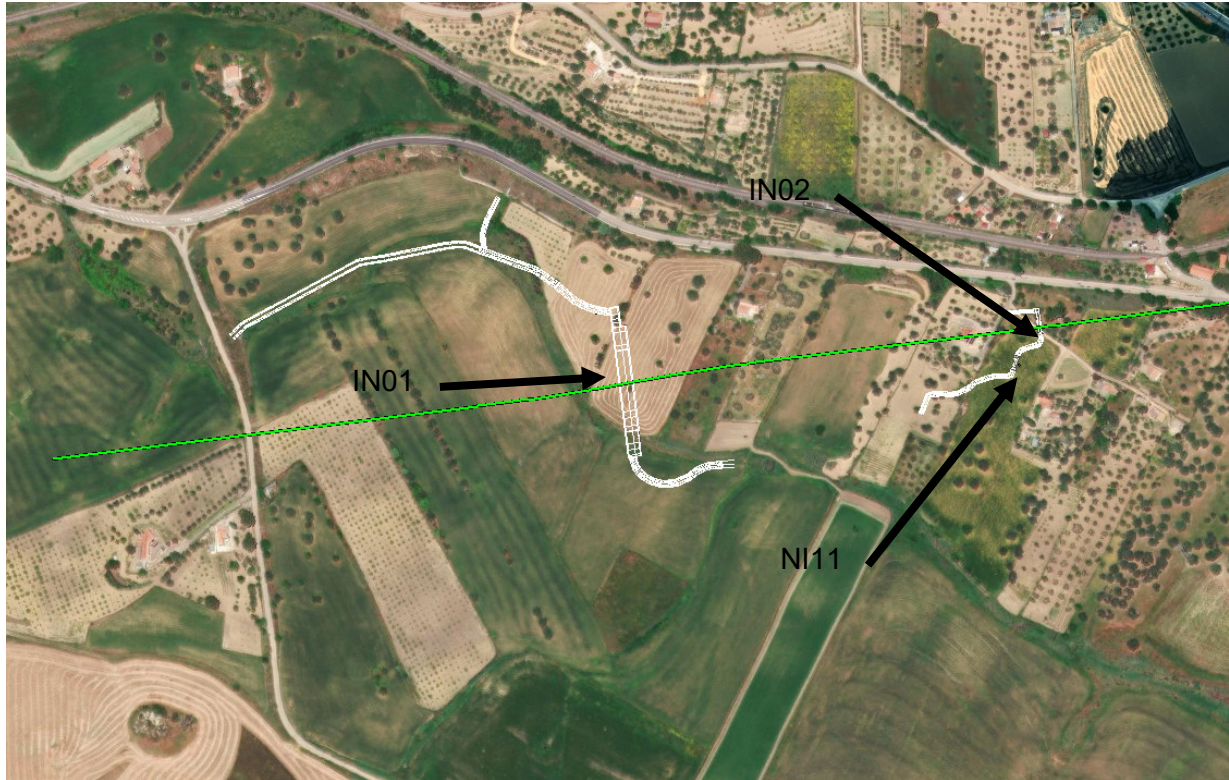


Figura 2 - Inquadramento geografico IN01 - IN02 – NI11

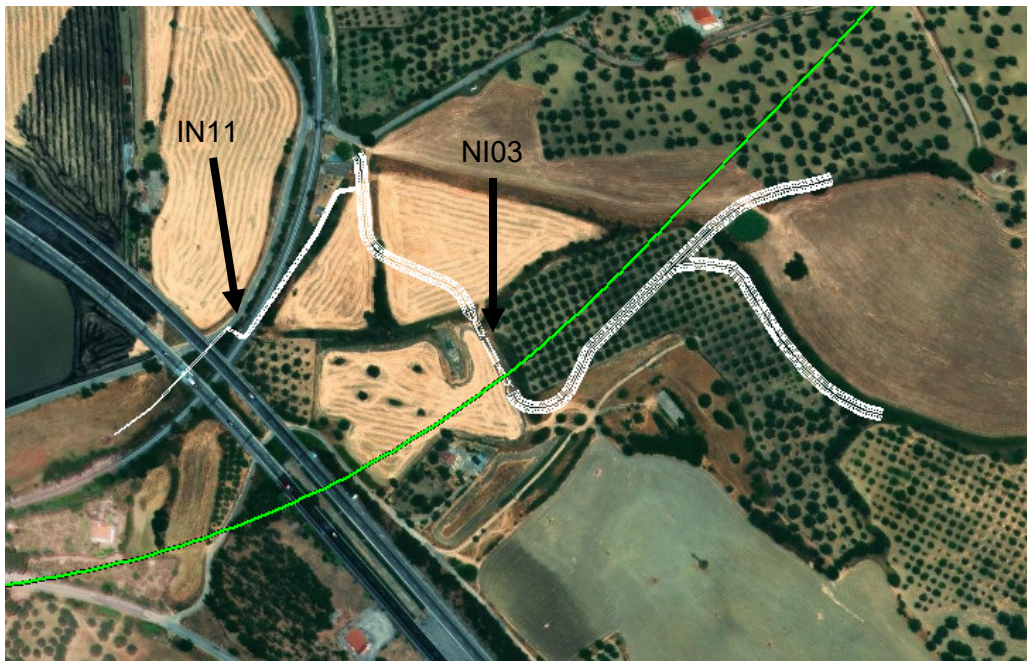


Figura 3 - Inquadramento geografico IN03 – IN11



Figura 4 - Inquadramento geografico IN04 – NI01A – NI01B

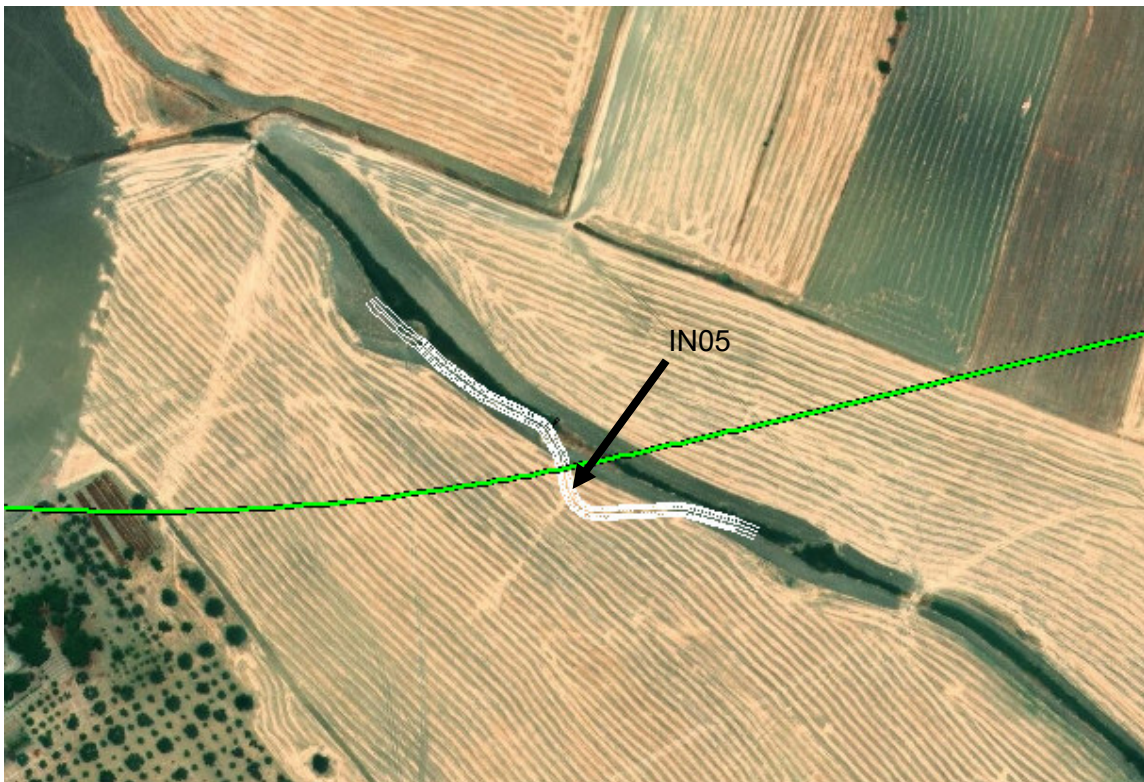


Figura 5 - Inquadramento geografico IN05

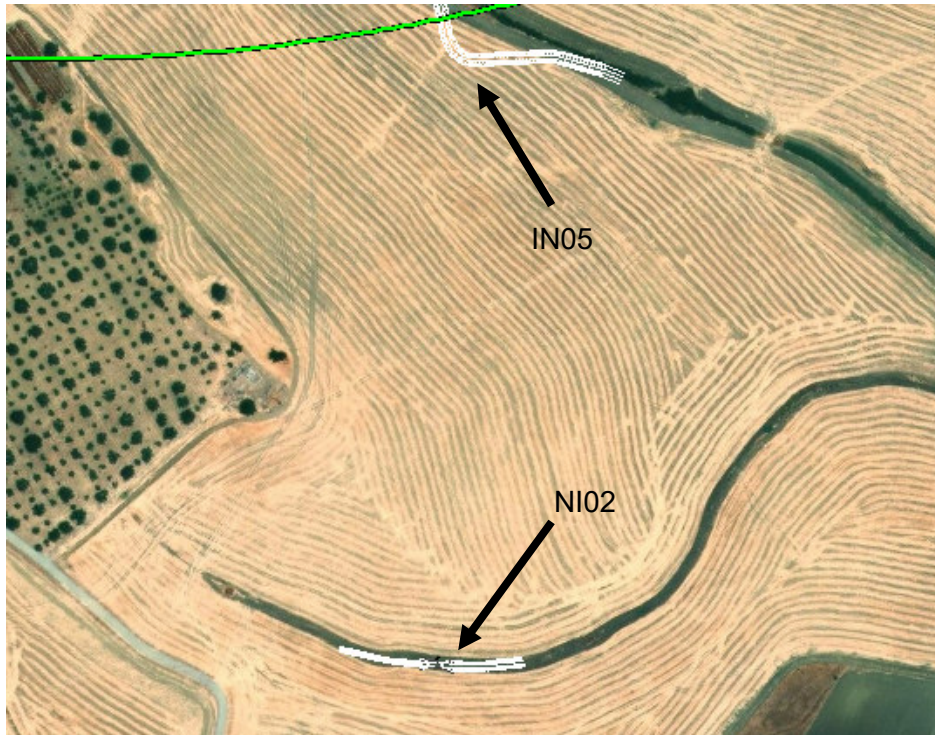


Figura 6 - Inquadramento geografico NI02

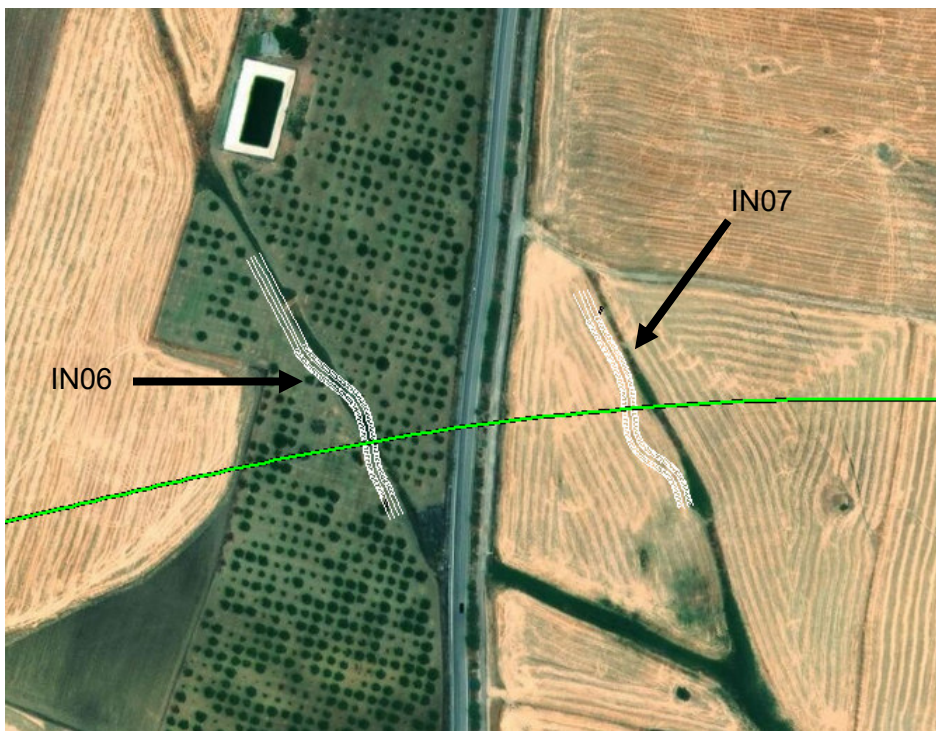


Figura 7 - Inquadramento geografico IN06 – IN07

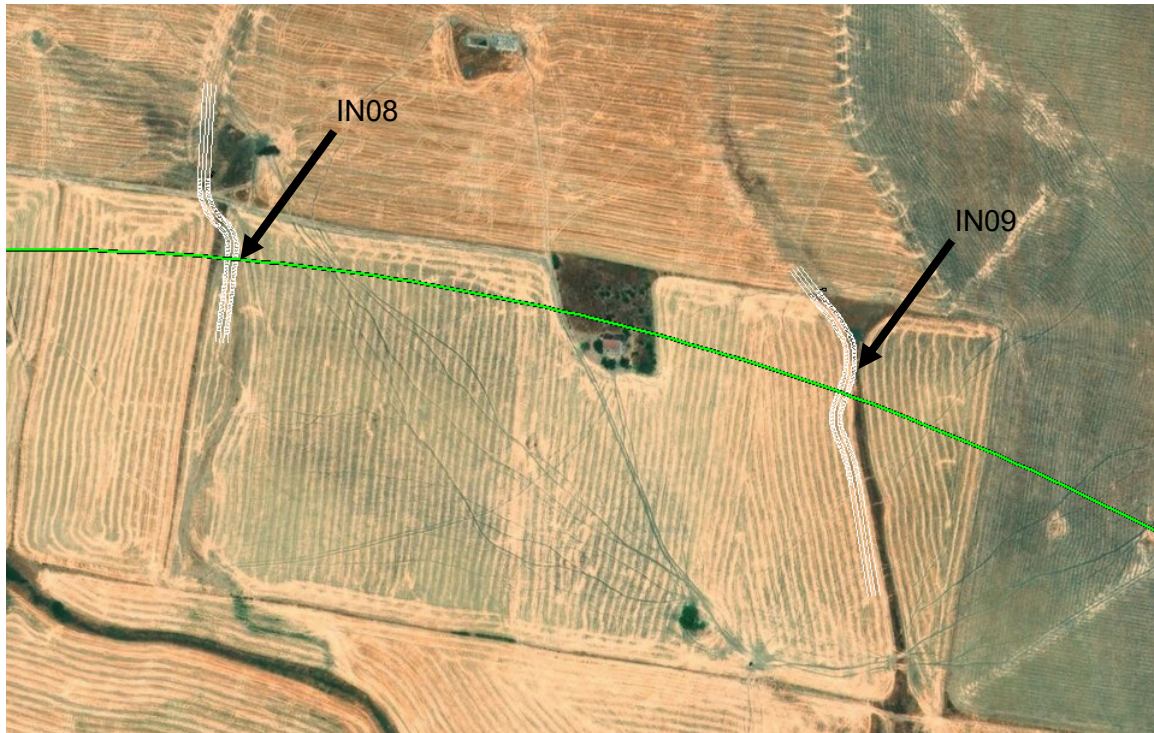


Figura 8 - Inquadramento geografico IN08 – IN09



Figura 9 - Inquadramento geografico NI03

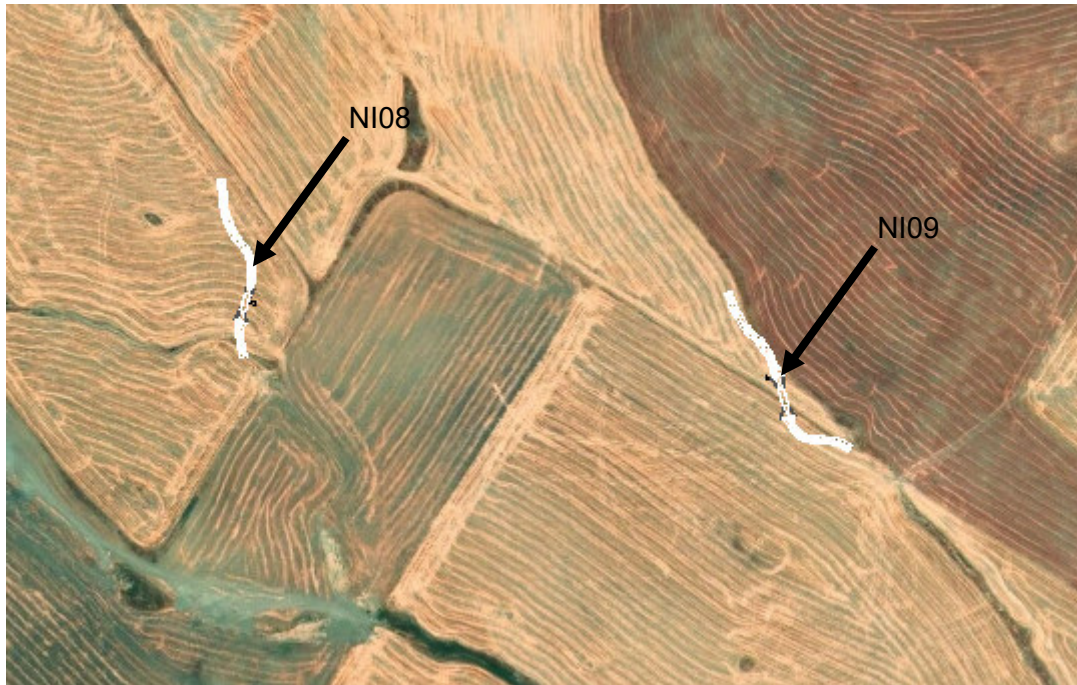


Figura 10 - Inquadramento geografico NI08 – NI09

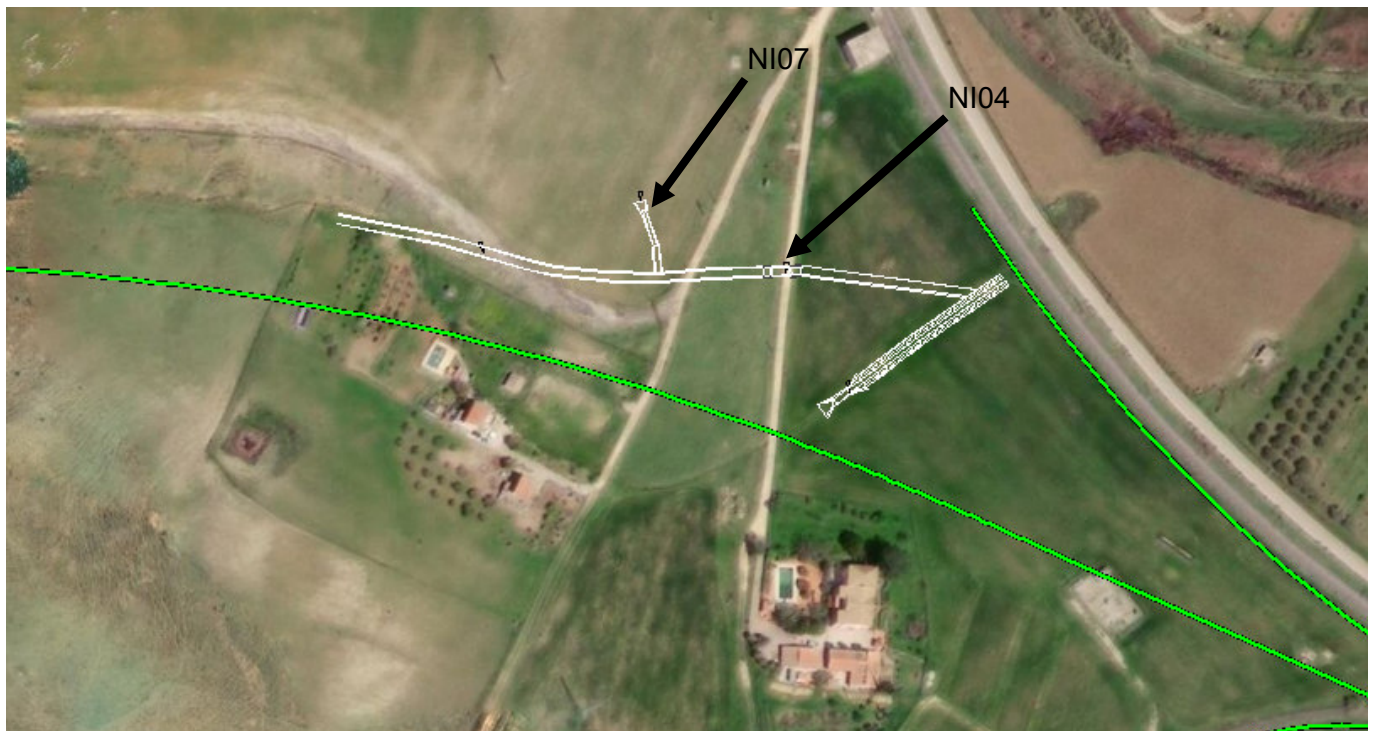


Figura 11 - Inquadramento geografico NI04 – NI07

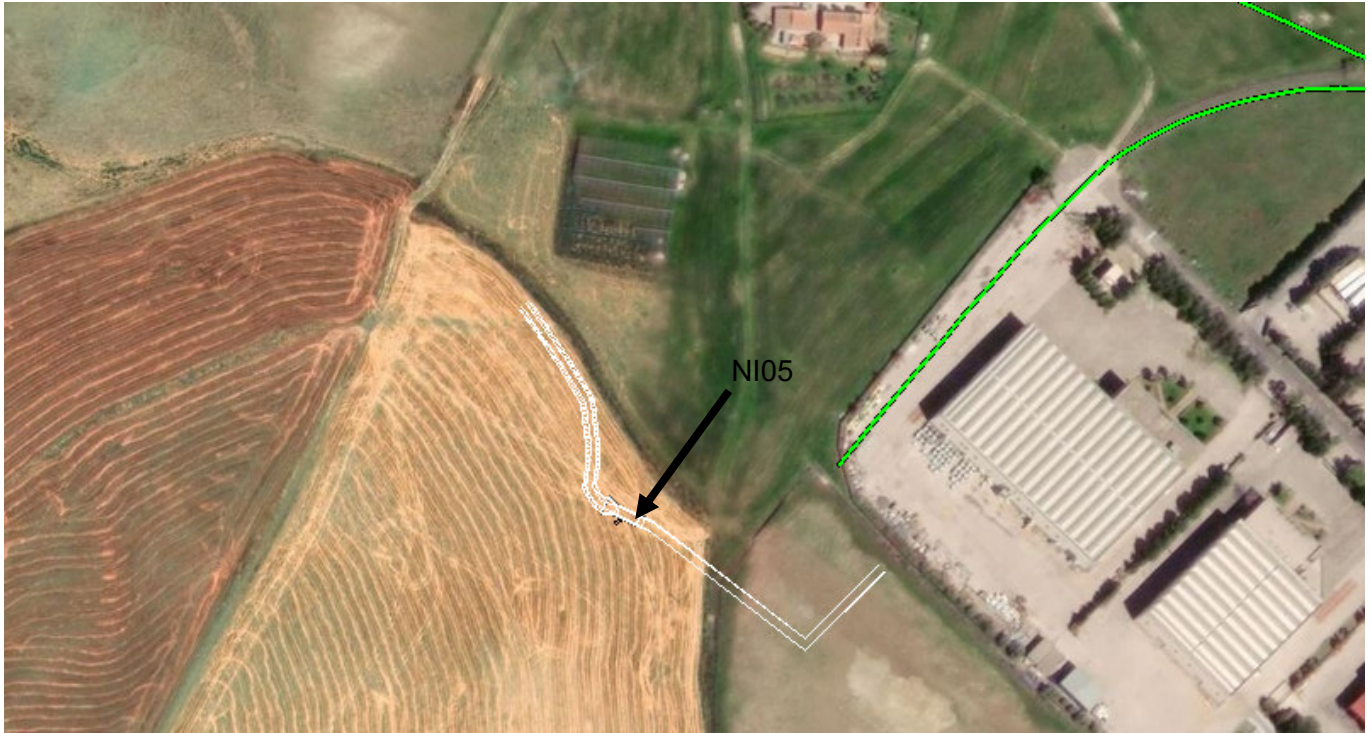


Figura 12 - Inquadramento geografico NI05

4 ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI

4.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

4.1.1 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 :

...omissis...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $Tr= 300$ [anni] per $S > 10$ [km²]
- linea ferroviaria $Tr= 200$ [anni] per $S < 10$ [km²]
- deviazioni stradali $Tr=200$ [anni]

...omissis...

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 1.5 [m];*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensioni minime 2.0 x 2.0 [m];*

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.”

4.1.2 NTC 2018 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 2018: 5.1.2.3 Compatibilità idraulica

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica [...] riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.

L'ampiezza e l'approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 [anni].

.....omissis.....

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 [m], e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

- Circolare applicativa: C5.1.2.3 Compatibilità idraulica

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $T_r = 200$ [anni], dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati

...omissis...

4.1.3 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 2018 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>	<i>il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 [m]</i>

4.1.4 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.

4.1.4.1 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 5.0.7 di Marzo 2019, utilizzata per il calcolo dei livelli di piena e conseguenti aree d'esonazione.

La determinazione del livello del pelo libero in ogni sezione è operata, 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: Y_1 e Y_2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z_1 e Z_2 rappresentano rispettivamente le elevazioni sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V_1 e V_2 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.

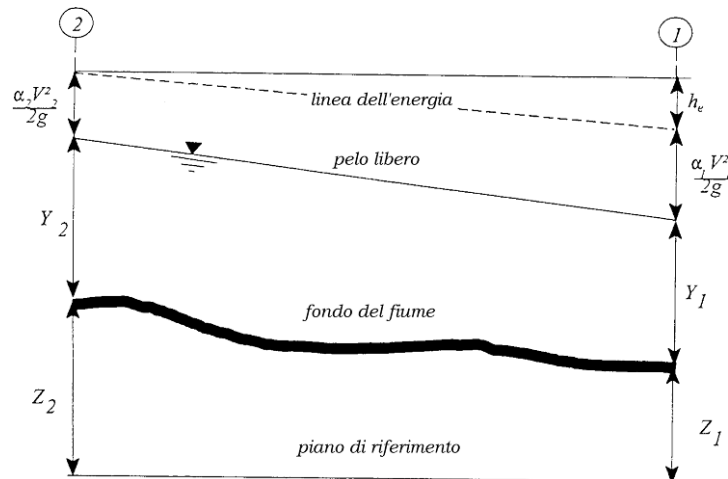


Figura 13 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 13 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 h_e 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 14).

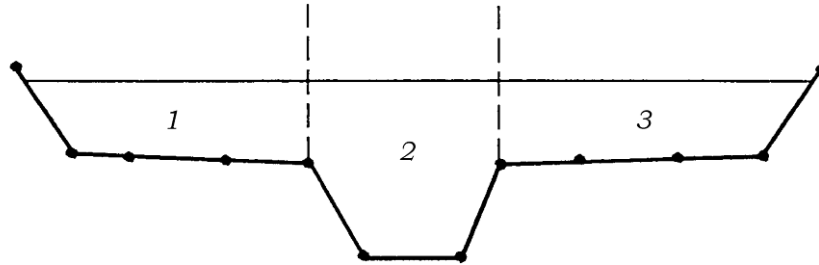


Figura 14: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 14 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:

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

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 15. Per equilibrio si ottiene:

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

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.

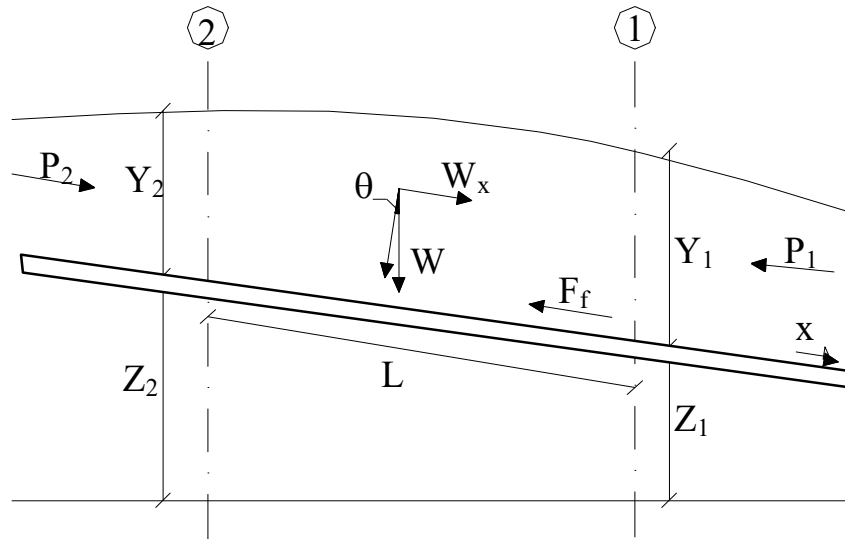


Figura 15: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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. È 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 16 e Figura 17, 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.

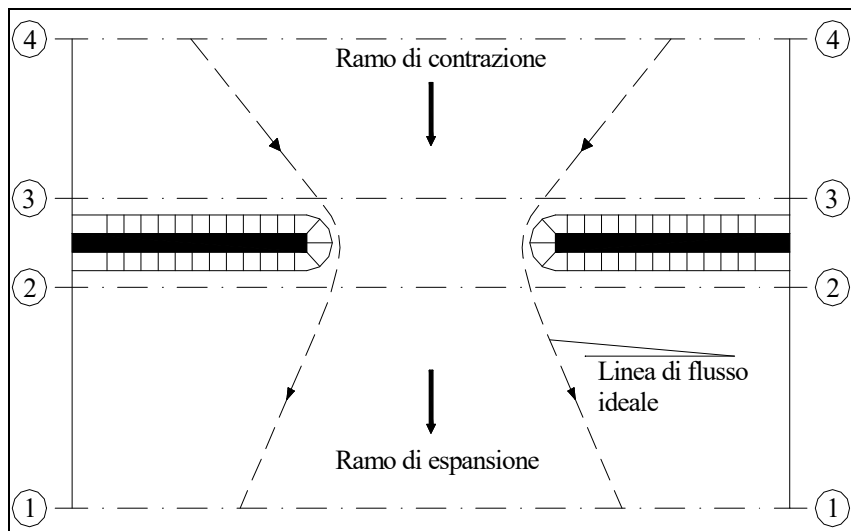


Figura 16: Pianta schematica di un attraversamento fluviale

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) e BU-3 (Step 3), rappresentate in Figura 17.

Step 1 – Definendo con A_{pi} l'area ostruita e 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.

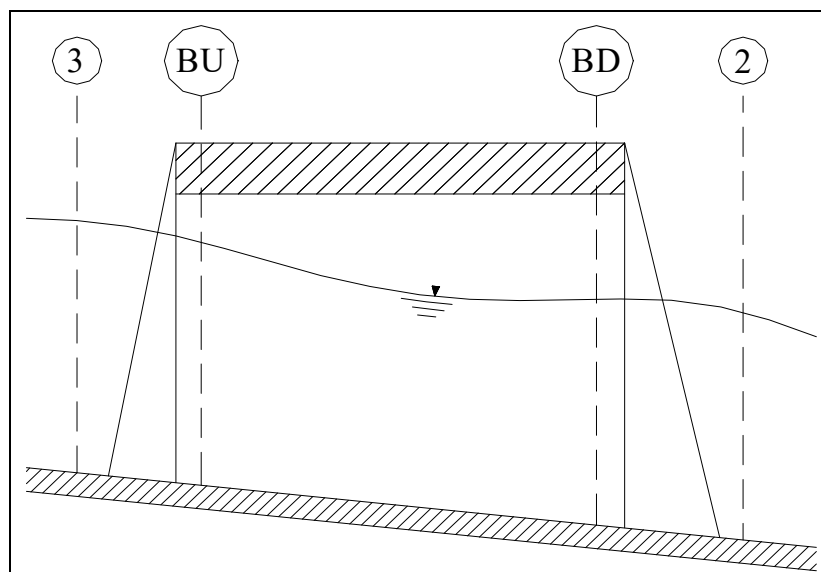


Figura 17: Sezione schematica di un attraversamento fluviale

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 16 e Figura 17, 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, *Tabella 3* *Tabella 3: Coefficiente di Yarnell*; 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 in Figura 19) 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.

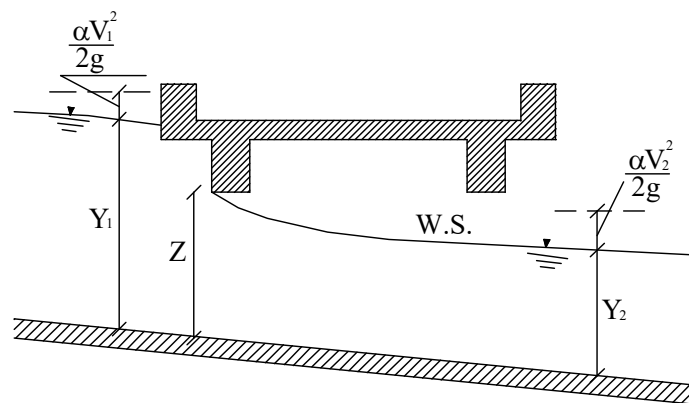


Figura 18: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

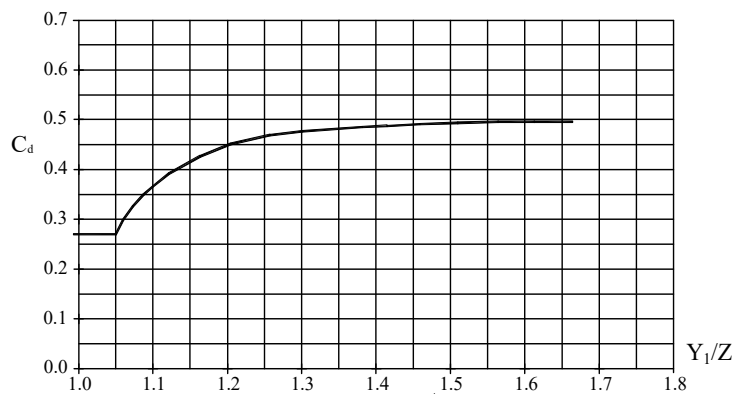


Figura 19: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

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 20.

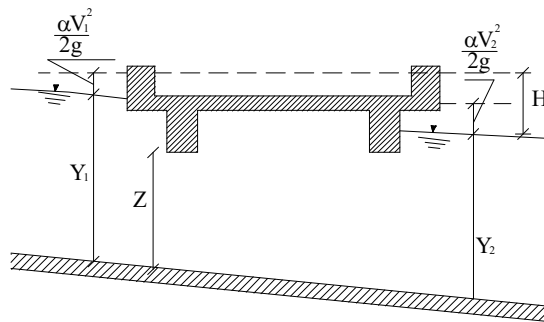


Figura 20: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine, se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 21, 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.

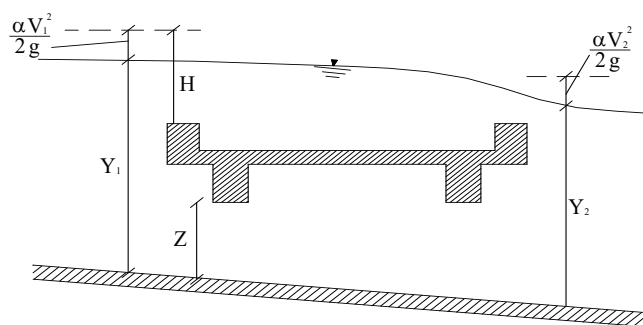


Figura 21: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

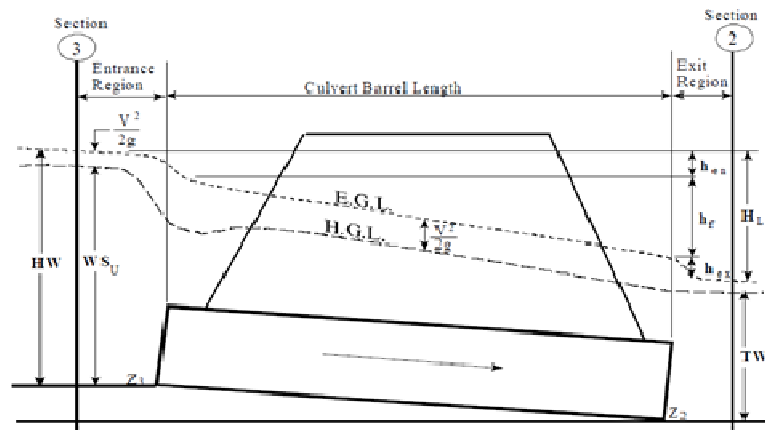


Figura 22: Schema di un tombino ponticello

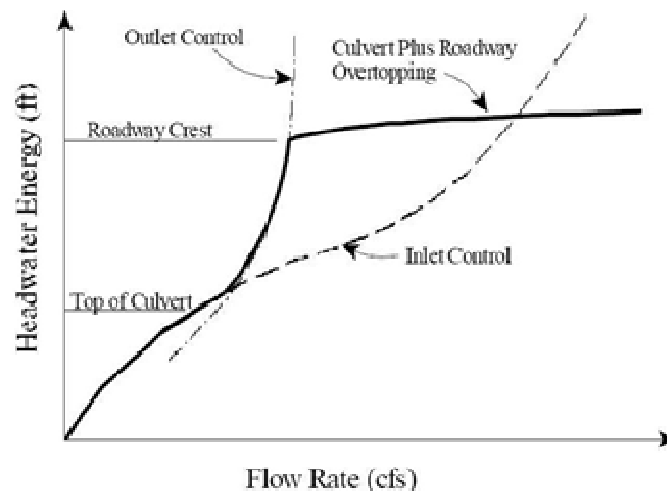


Figura 23: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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:

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

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.

4.2 VERIFICA IDRAULICA OPERE

4.2.1 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.

4.2.2 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 2018), sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 [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].


Nello studio idrologico le portate di calcolo sono state ottenute dall'applicazione del metodo razionale a partire da altezze di pioggia calcolate con la metodologia VAPI.

In tabella sono riportati i valori di portata massimi ottenuti dalle analisi idrologiche, per i tempi di ritorno di 200 [anni] (si rimanda all'elaborato RS3V40D29RIID0001001A per ulteriori approfondimenti).

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Q [m ³ /s]
A1	0+510.00	IN01	8.7
A1.1	0+880.00	IN02	0.8

Bacino	Progressiva	Manufatto di progetto	Q [m ³ /s]
A2	1+420.00	IN03	14.4
A3	2+650.00	IN04	37.1
A3.1	NV04 asse 1 0+304 NV04 asse 1 0+414	NI01A – NI01B	5.0
A4	8+200.00	IN05	11.2
A5	8+715.00	IN06	21.8
A6	8+835.00	IN07	10.1
A7	9+045.00	IN08	3.6
A8	9+380.00	IN09	3.4
A11	NV05 0+170	NI02	3.2
A12	Lotto 5b	NI04	6.1
A12.1	NV12	NI07	0.4
A13	NV08 asse 7 0+235	NI05	7.3
A14	NV08 asse 7 0+535	NI06	2.6
A16	NV06 0+142	NI03	12.1
A17	linea storica	IN11	1.9
A18	NV07 0+887	NI08	0.9
A19	NV07 0+584	NI09	2.2

Tabella 4 – Opere di attraversamento e portate di progetto manufatti.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

4.2.3 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 [s/m^{1/3}] per l'alveo inciso;
- 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	0.040	0.048	0.055
f.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060
g.	Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080
h.	Tratti 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 liscia 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 5: Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

4.2.4 Condizioni al contorno

Tutti i corsi d'acqua considerati confluiscono (a valle) nel corso d'acqua principale (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 recapito finale (corso d'acqua principale).

È stata scelta come condizione al contorno a monte del corso d'acqua l'altezza di moto uniforme. Per la condizione al contorno di valle è stata imposta l'altezza di moto uniforme per tutti i corsi d'acqua simulati, ad eccezione dell'NI03 per il quale è stato assunto il livello idrico in ingresso al tombino stradale presente poco più a valle. il livello è stato ottenuto dal rilievo celerimetrico dell'opera stradale esistente.

Si deve da precisare che, essendo le superfici e le conformazioni geomorfologiche dei bacini degli affluenti completamente diversi da quelle del bacino del corso d'acqua principale (recapito), 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 corso d'acqua principale.

4.3 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 intasati 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.

4.3.1 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.

4.3.2 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;

γ_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 = Pendenza della sponda;

φ = Angolo di attrito interno del pietrame che costituisce il rivestimento.

Nel caso in cui l'inclinazione delle sponde sia maggiore di 45 [°] ($q > 45$ [°]) 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 riportate 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/s] considerando una inalveazione parzialmente confinata assumendo il $C^* = 0.06$. Le inalveazioni sono inoltre state progettate inserendo dei salti di quota per limitare le pendenze longitudinali e favorire il deposito di eventuale materiale nel tratto iniziale dell'intervento.

In questo caso si hanno:

Caratteristiche del terreno				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	0.45	307	437	230	232

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: $d_{50} = 0.45$ [m] e peso per unità di volume γ_s pari a 26 [kN/m³].

4.4 INALVEAZIONE IN01 – OPERA IN01

4.4.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia immediatamente a valle del tombino stradale esistente, circa 370 [m] a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria in progetto e della stazione di Enna e si estende 100 [m] a valle del manufatto, per una lunghezza complessiva pari a circa 620 [m].

Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

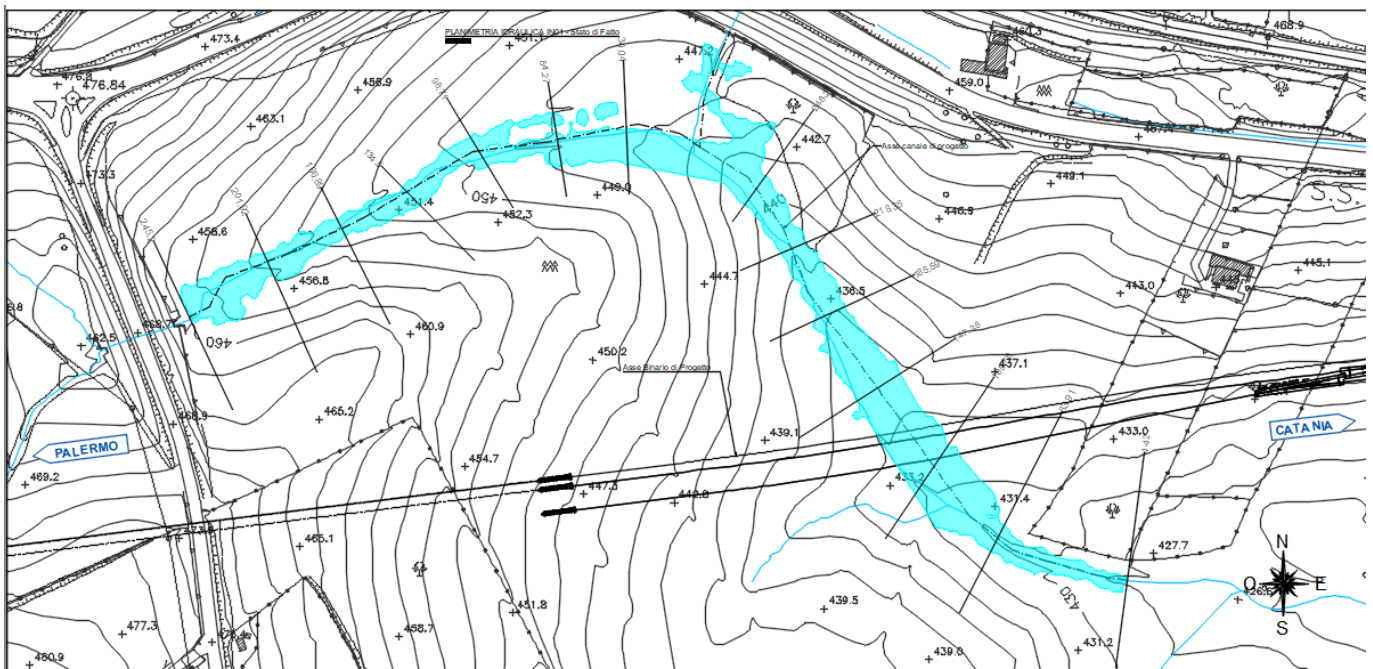


Figura 24: Corso d'acqua IN01_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 6.0 [%] nel tratto a monte del manufatto esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 8.0 [m³/s] nel tratto iniziale e 8.91 [m³/s] nel tratto a valle dell'intersezione con un corso d'acqua secondario.

4.4.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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.

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
monte	245.2	459.38	459.78	459.87	460.08	2.43	1.6
monte	201.92	455.96	456.49	456.67	457.1	3.46	2.25
monte	166.89	453.03	453.53	453.71	454.11	3.36	2.01
monte	134.5	451.28	451.8	451.91	452.16	2.67	1.59
monte	98.71	449.33	449.74	449.85	450.1	2.66	1.88
monte	64.27	447.67	448.32	448.39	448.54	2.05	1.26
monte	34.04	446.64	447	447.1	447.31	2.44	1.69
valle	248.28	440.95	441.3	441.45	441.85	3.29	2.44
valle	218.35	438.86	439.39	439.5	439.75	2.66	1.54
valle	185.59	436.53	436.93	437.09	437.51	3.38	2.44
valle	147.36	435.28	435.69	435.69	435.83	1.63	1.03
valle	105.58	432.31	432.65	432.91	433.77	4.68	3.25
valle	63.91	430.77	431.41	431.42	431.61	1.97	1.05
valle	4.42	427.86	428.4	428.69	429.37	4.37	2.33

Tabella 6: Corso d'acqua IN01_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.

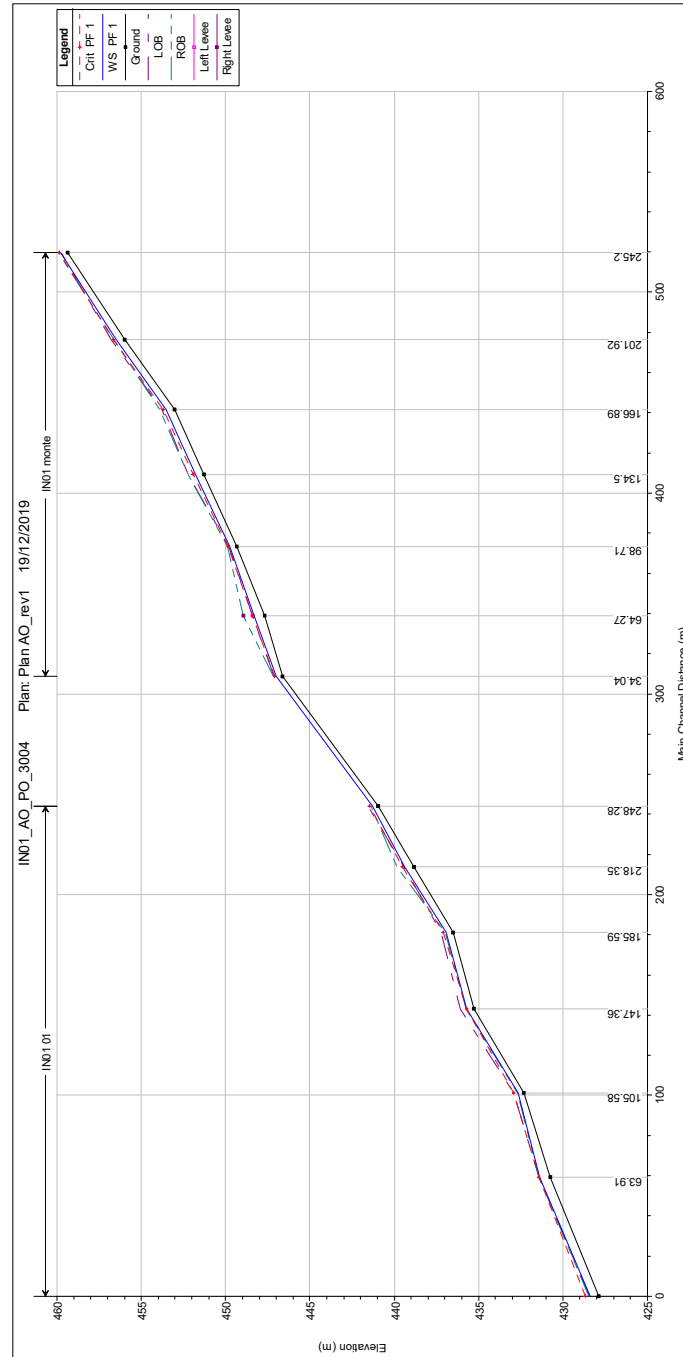


Figura 25: Corso d'acqua IN01_Profilo idrico ante operam.

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

4.4.2 Descrizione simulazione numerica post operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia immediatamente a valle del tombino stradale esistente, circa 370 [m] a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria in progetto e della stazione di Enna e si estende 100 [m] a valle del manufatto, per una lunghezza complessiva pari a circa 620 [m]. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

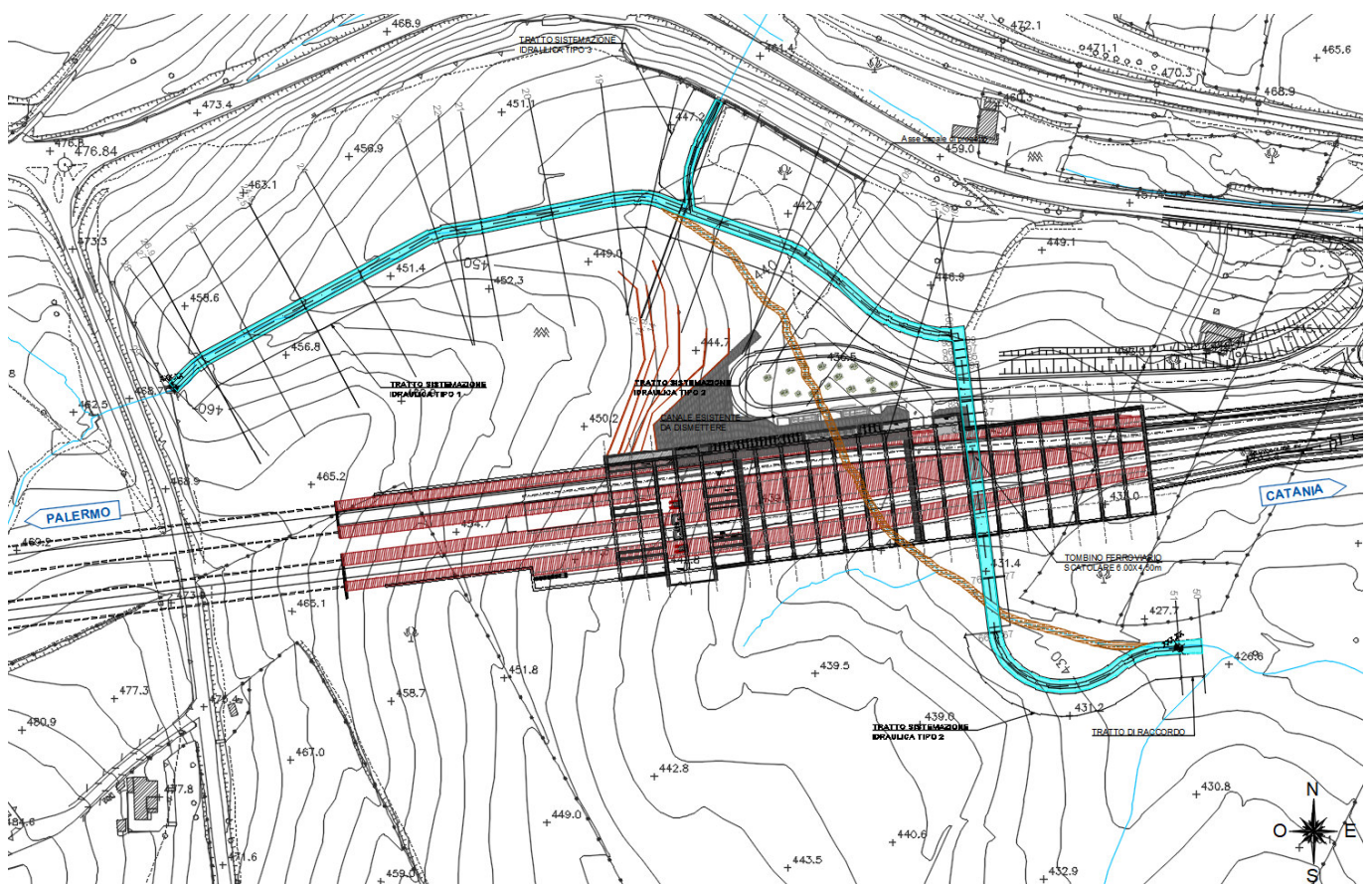


Figura 26: Corso d'acqua IN01_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3÷4 [%] nei tratti a monte dell'opera e circa il 2.5 [%] a valle dell'opera, il tombino ha pendenza media del fondo pari a circa l'1.8 [%]. sono presenti numerosi salti del fondo comunque di altezze contenute.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 8.0m³/s nel tratto iniziale e 8.91 [m³/s] nel tratto a valle dell'intersezione con un corso d'acqua secondario.

Il progetto prevede la costruzione di un manufatto scatolare di dimensioni interne utili al passaggio della piena pari a 6.0 x 4.50 [m] con un camminamento laterale largo 4.0 [m] di altezza utile 3.0 [m], per le operazioni di ispezione, manutenzione e pulizia, vista l'importanza e la lunghezza dell'opera.

L'opera infatti, attraversa perpendicolarmente l'intera stazione di Enna in progetto.

4.4.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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.

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
monte	29	458.5	459.02	459.28	459.87	4.09	1.99
monte	28	457.95	458.69	458.73	459.04	2.64	1.11
monte	27	457.7	458.28	458.48	458.93	3.59	1.67
monte	26.9	457.2	457.65	457.98	458.87	4.9	2.55
monte	26	456.19	456.89	456.97	457.3	2.81	1.2
monte	25	455	455.6	455.78	456.2	3.45	1.58
monte	24.9	454.5	454.95	455.28	456.14	4.82	2.49
monte	24	453.24	453.95	454.02	454.34	2.77	1.18
monte	23	451.58	452.16	452.36	452.81	3.56	1.65
monte	22	451.17	451.82	451.95	452.31	3.12	1.38
monte	21	450.67	451.3	451.45	451.83	3.23	1.45
monte	20	449.28	449.91	450.06	450.44	3.22	1.44

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
monte	19	448.03	448.66	448.81	449.19	3.22	1.44
monte	16	447.28	447.91	448.06	448.44	3.22	1.44
monte	15	446.7	447.33	447.48	447.86	3.21	1.44
monte	14.9	446.2	446.94	447.22	447.81	4.14	1.84
monte	14	446.14	446.95	447.16	447.63	3.65	1.56
valle	113	445.79	446.87	446.87	447.23	2.63	1
valle	112	444.86	445.94	445.94	446.3	2.65	1
valle	111	444.72	445.73	445.8	446.17	2.93	1.14
valle	109	444.15	445.23	445.23	445.59	2.64	1
valle	107	443.5	444.46	444.58	444.97	3.18	1.27
valle	104	442.89	443.94	443.97	444.33	2.75	1.05
valle	101	442.5	443.58	443.58	443.94	2.64	1
valle	100	440.5	440.7	441.11	443.67	7.63	5.53
valle	99	440.5	440.74	441.11	442.86	6.46	4.3
valle	98	439.6	439.8	440.21	442.77	7.63	5.52
valle	97	439.5	439.72	440.11	442.21	7	4.85
valle	96	439.1	439.3	439.71	442.16	7.48	5.37
valle	95	439	439.22	439.61	441.69	6.96	4.81
valle	94	438.1	438.29	438.71	441.59	8.04	5.97
valle	93	438	438.21	438.61	440.99	7.39	5.27
valle	92	437.6	437.79	438.21	440.94	7.85	5.76

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
valle	89	437.5	437.71	438.11	440.33	7.16	5.02
valle	88	437.1	437.3	437.71	440.27	7.64	5.53
valle	87	437	437.26	437.61	439.01	5.86	3.72
valle	86	436.6	436.84	437.21	438.96	6.46	4.3
valle	85	436.5	436.76	437.11	438.51	5.87	3.73
valle	84	435.5	435.71	436.11	438.41	7.28	5.15
valle	83	434.5	434.85	435.11	435.8	4.31	2.34
valle	82	433	433.22	433.61	435.64	6.89	4.74
valle	77	432.8	433.1	433.41	434.36	4.97	2.9
valle	76	430.8	430.99	431.41	434.16	7.88	5.8
valle	67	430.5	430.79	431.11	432.17	5.2	3.11
valle	66	430	430.66	431.08	432.15	5.41	2.51
valle	51	427.4	428.23	428.23	428.56	2.53	1.01
valle	50	427.3	427.64	427.74	428.13	3.11	2.12

Tabella 7: Corso d'acqua IN01_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.

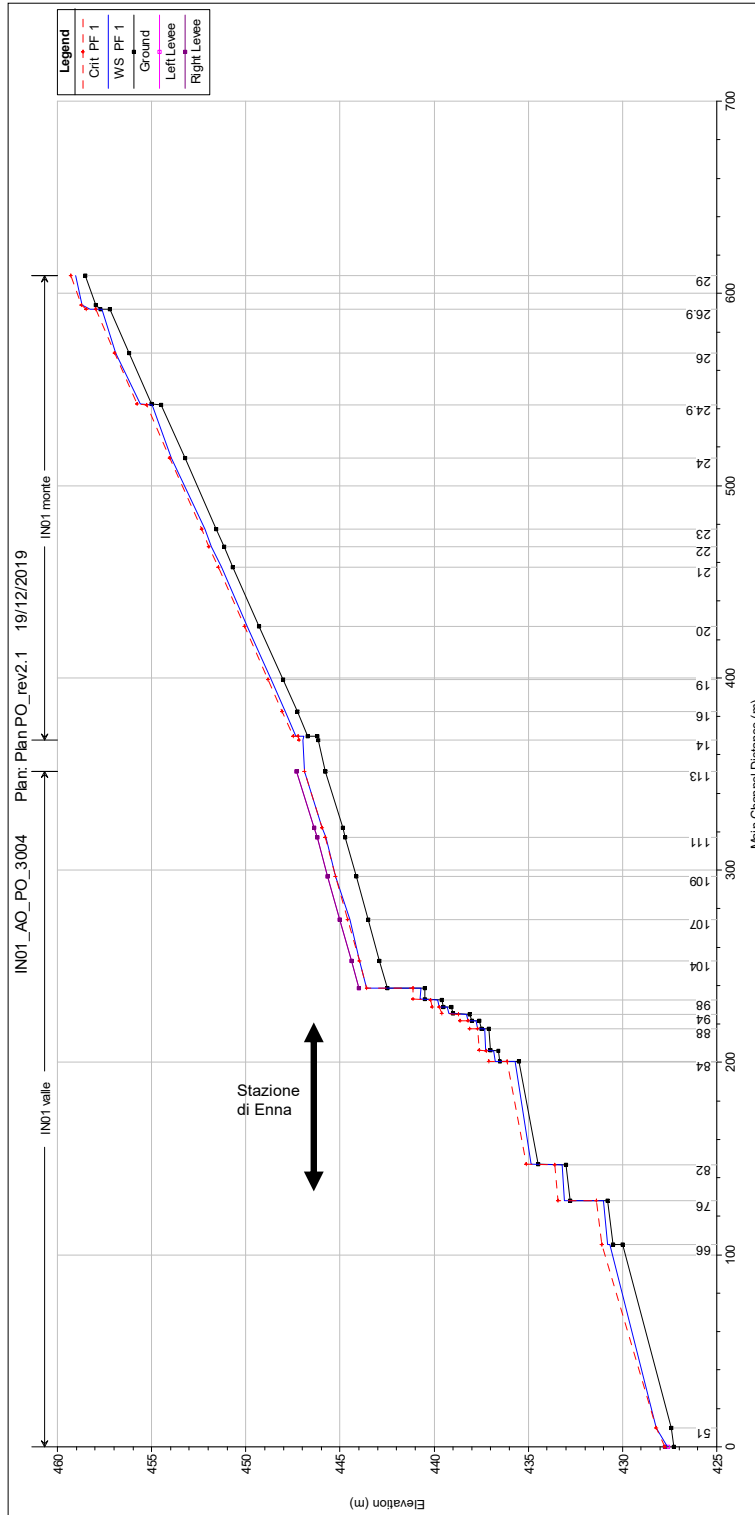


Figura 27: Corso d'acqua IN01_Profilo idrico post operam.

4.4.3 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 [km²], 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 24 [%] circa.

È 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. 83 manufatto	434.85	439.0	4.15

Tabella 8: Franco idraulico corso d'acqua IN01

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. 83 manufatto	435.8	439.0	3.20

Tabella 9: Franco energetico corso d'acqua IN01

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

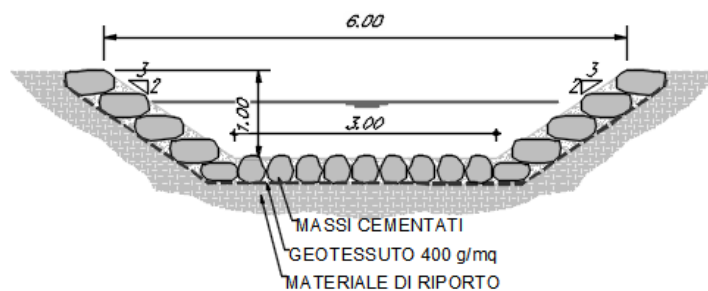
4.4.4 Sistemazione e protezione

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] nel tratto di monte e 1.5 [m] nel tratto di valle e pendenza delle sponde 3:2.

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

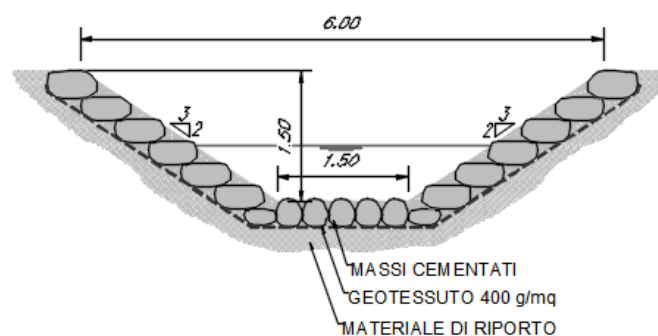


Figura 28: Corso d'acqua IN01_ Sezione tipo sistemazione

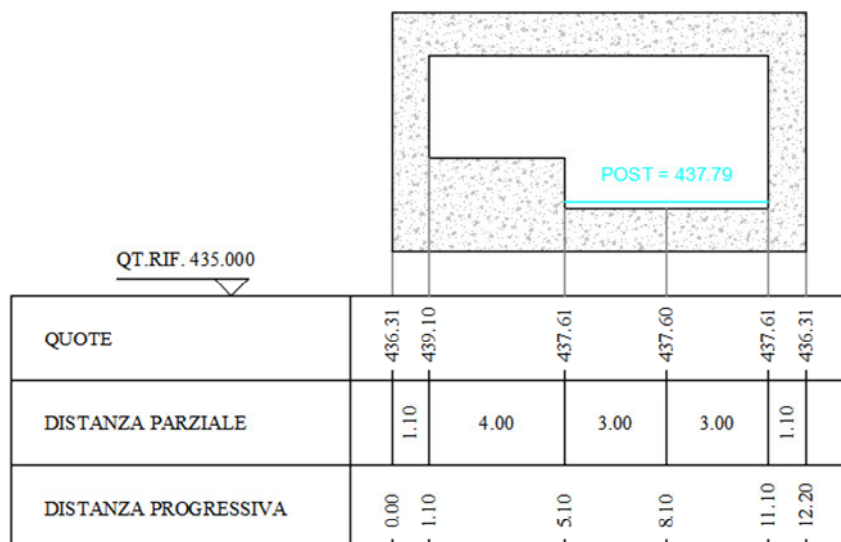


Figura 29: Corso d'acqua IN01_Sezione ingresso manufatto

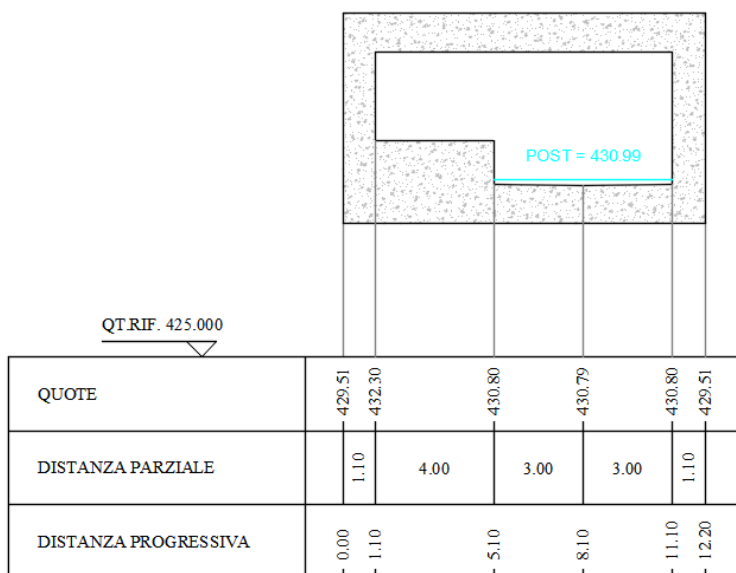


Figura 30: Corso d'acqua IN01_Sezione uscita manufatto

4.5 INALVEAZIONE IN02 – OPERA IN02-NI11

4.5.1 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino scatolare ferroviario 2.0 x 2.0 [m] e più a valle un tombino stradale di uguali dimensioni.

Al momento non è presente un corso d'acqua esistente, l'inalveazione raccoglie le acque del piazzale limitrofo e delle aree intercluse per la presenza della nuova linea ferroviaria, nonché parte delle acque meteoriche della piattaforma ferroviaria stessa.

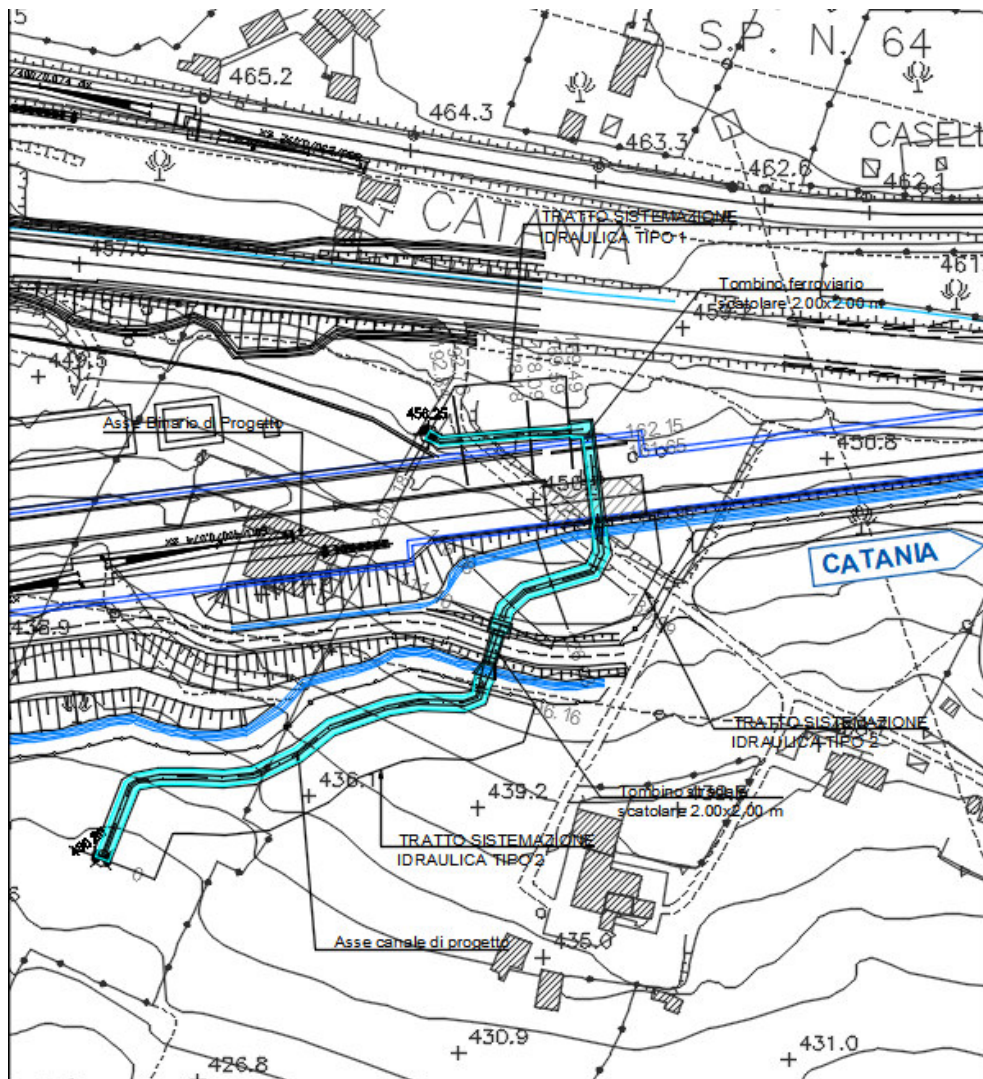


Figura 31: Corso d'acqua IN02_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 10 [%] nel tratto di valle, mentre a monte sono previsti una serie di salti di fondo per limitare la pendenza al 5.0 [%]. I manufatti hanno pendenza del fondo pari al 2.0 [%].

La portata di calcolo, proveniente dalle aree del piazzale, da parte della piattaforma ferroviaria, dalla viabilità a monte e altri piccoli contributi delle zone a verde è pari a 2.0 [m³/s].

4.5.2 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
200.18	456.25	456.62	456.81	457.25	3.53	2.16
192.84	455.95	456.47	456.51	456.71	2.13	1.13
192.76	454.53	454.78	455.09	456.54	5.88	4.26
178.18	453.8	454.29	454.36	454.57	2.36	1.28
178.09	452.27	452.51	452.83	454.4	6.09	4.45
169.59	451.85	452.28	452.4	452.67	2.77	1.58
169.49	450.03	450.18	450.5	452.47	6.7	5.54
162.15	449.66	449.84	450.13	451.43	5.59	4.22
161.65	448.38	448.52	448.85	451.25	7.32	6.33
150	culvert					
145.95	448.1	448.31	448.66	450.92	7.16	5.53
135.99	446.85	447.23	447.41	447.8	3.36	2.04
126.03	445.59	445.96	446.15	446.59	3.51	2.16

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
116.08	444.34	444.71	444.9	445.32	3.47	2.12
111.1	442.13	442.36	442.69	444.53	6.53	4.89
100	Culvert					
96.16	441.83	442.09	442.39	443.67	5.56	3.95
0	430.8	431.19	431.36	431.74	3.29	1.98

Tabella 10: 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.

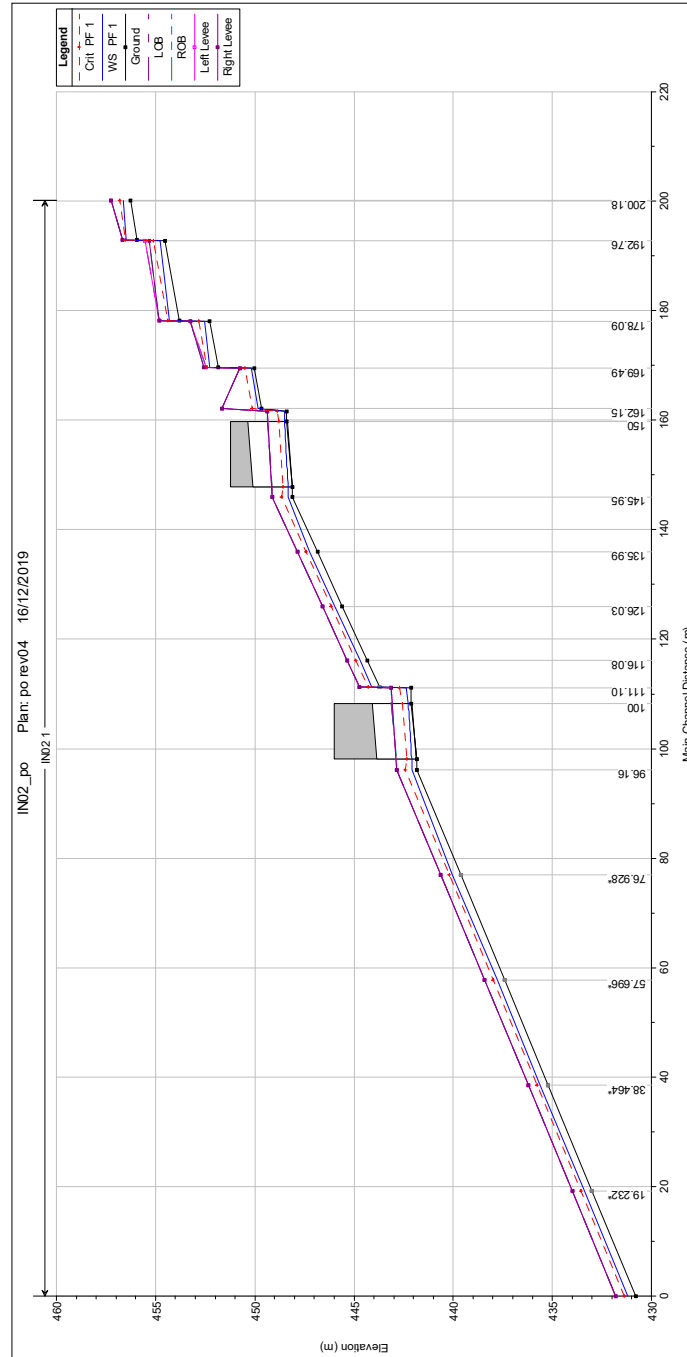


Figura 32: Corso d'acqua IN02_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come lo sono i manufatti progettati.

4.5.3 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 [km²], 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 10 [%] circa per entrambe le opere. È 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	448.31	450.10	1.79

Tabella 11: 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. valle manufatto	449.45	450.10	0.65

Tabella 12: Franco energetico corso d'acqua IN02

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. valle manufatto	442.09	443.87	1.78

Tabella 13: Franco idraulico corso d'acqua NI11

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. valle manufatto	443.15	443.87	0.72

Tabella 14: Franco energetico corso d'acqua NI11

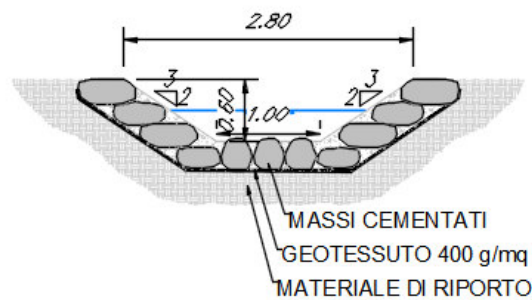
4.5.4 Sistemazione e protezione

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 1.0 [m] e pendenza delle sponde 3:2 e altezza variabile da 0.6 [m] a 1.0 [m].

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

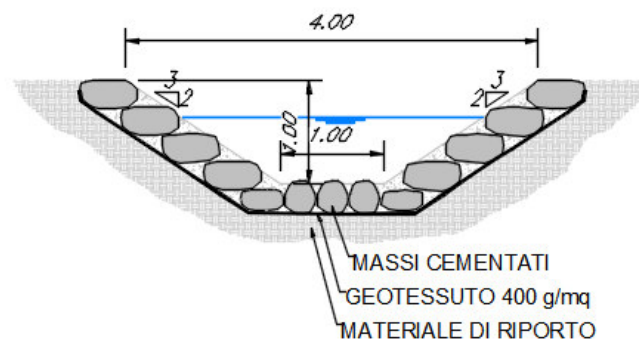


Figura 33: Corso d'acqua IN02_ Sezione tipo sistemazione

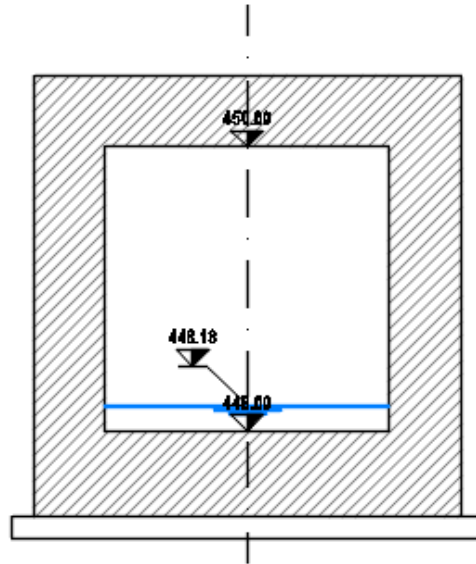


Figura 34: IN02_Sezione ingresso manufatto

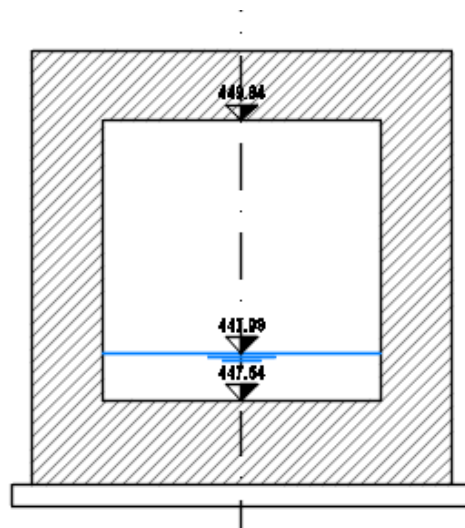


Figura 35: IN02_Sezione uscita manufatto

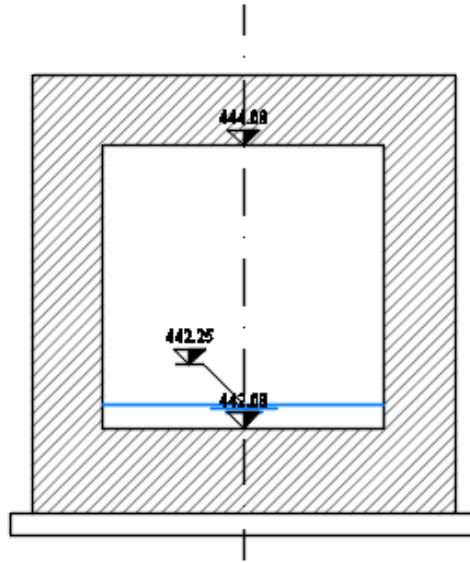


Figura 36: NI11_Sezione ingresso manufatto

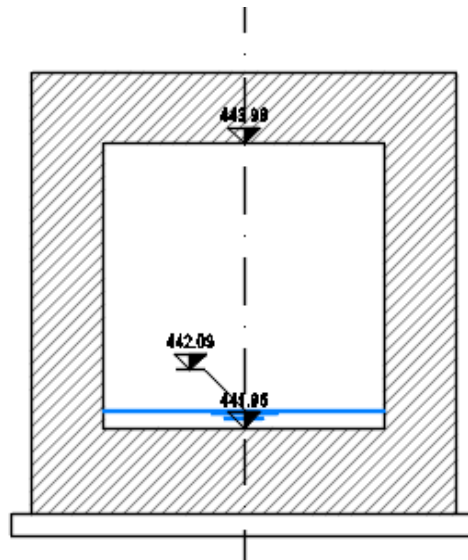


Figura 37: NI11_Sezione uscita manufatto

4.6 INALVEAZIONE IN03 – OPERA IN03

4.6.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 240 [m] a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende fino al tombino stradale esistente circa 230 [m] a valle della nuova linea.

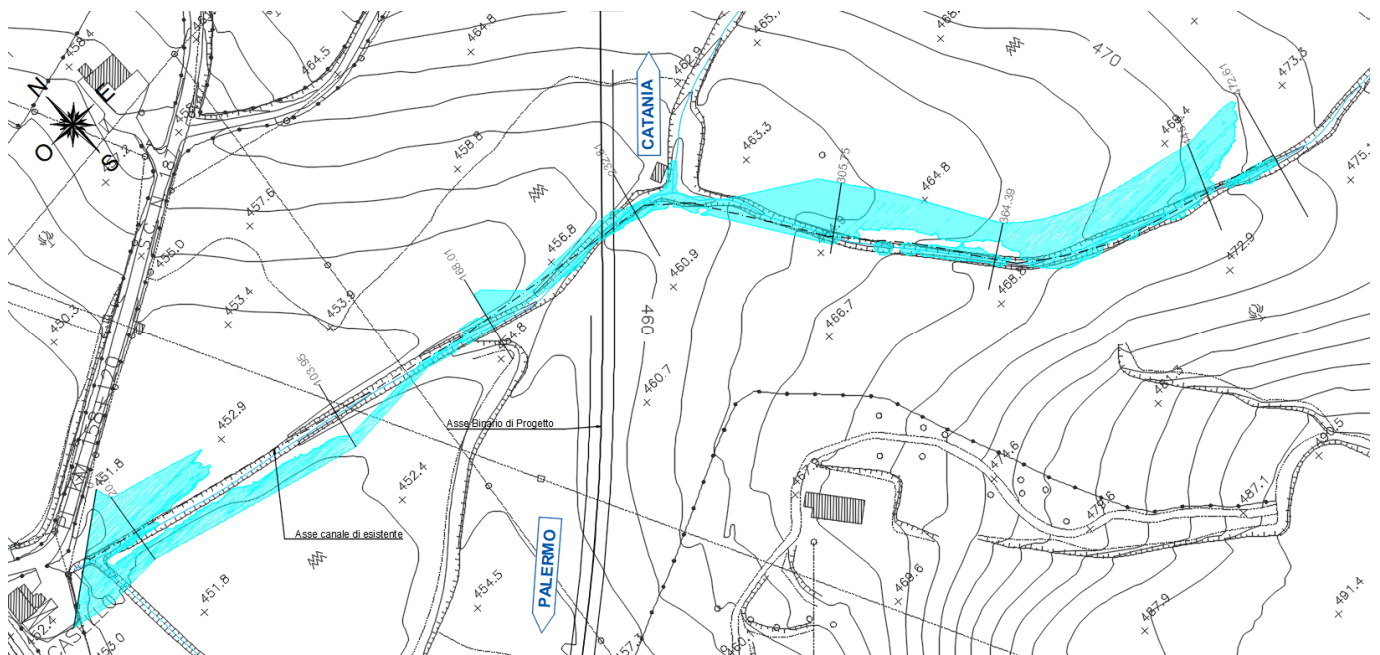


Figura 38: Corso d'acqua IN03_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 5.0 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 14.40 [m³/s].

4.6.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
472.61	470.62	472.23	472.75	473.5	4.99	1.75
445.6	470.45	470.99	470.99	471.19	2.08	1.2
364.39	465.55	466.96	467.34	468.13	4.79	1.68
305.75	463.04	464.14	464.14	464.31	2.35	0.82
232.81	458.39	458.83	459.39	461.82	7.67	4.03
168.01	455.35	456.06	456.06	456.08	0.3	0.14
103.95	452.4	452.78	452.78	452.84	0.39	0.31
20.71	451.78	452.5	452.38	452.55	1.02	0.52
0	451.87	452.22	452.22	452.34	1.67	1.19

Tabella 15: 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.

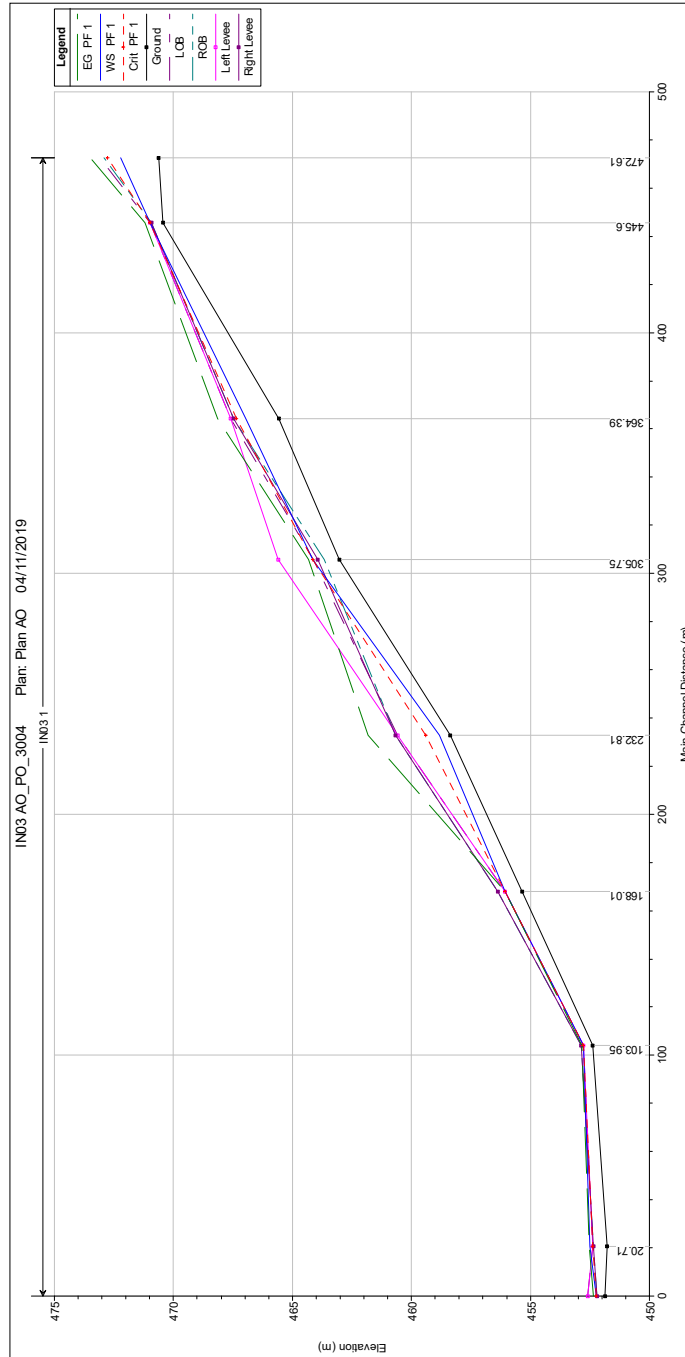


Figura 39: Corso d'acqua IN03_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per quasi tutto il tratto di monte, diventa insufficiente a valle in corrispondenza del manufatto esistente.

4.6.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista sono due tombini scatoleari ferroviari 3.0 x 3.0 [m] collegati da un tratto con sezione ad U in CLS delle medesime dimensioni.

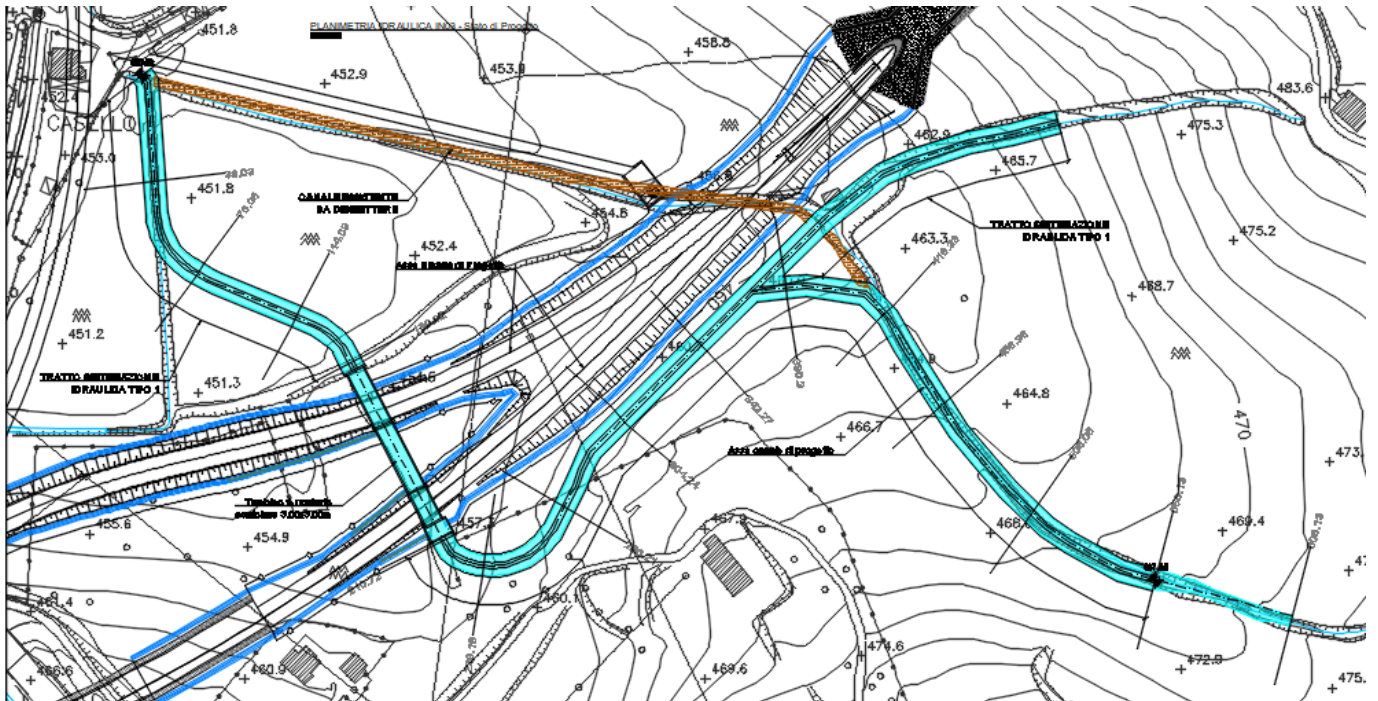


Figura 40: Corso d'acqua IN03_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 [%] nel tratto di monte dove sono presenti una serie di salti di fondo, mentre a valle del manufatto la pendenza diventa pari all'1.0 [%] circa. I manufatti hanno pendenza del fondo pari al 0.5 [%].

La portata di calcolo duecentennale è pari a 14.40 [m³/s].

4.6.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
606.13	470.62	472.46	472.64	473.21	3.85	1.26
556.13	467.43	468.54	469.12	470.53	6.24	2.37
506.05	465.53	466.62	466.8	467.28	3.6	1.32
456.36	463.56	464.61	464.83	465.36	3.84	1.44
456.26	462.46	463.2	463.73	465.23	6.31	2.74
418.33	461.38	462.64	462.65	463.08	2.92	1.01
380.3	460.5	461.69	461.77	462.21	3.21	1.14
380.2	459.4	460.15	460.67	462.07	6.13	2.63
342.27	458.42	459.69	459.69	460.12	2.89	1
304.24	457.45	458.58	458.72	459.18	3.43	1.24
266.21	456.47	457.71	457.74	458.17	3	1.05
228.18	455.49	456.64	456.76	457.22	3.35	1.21
228.08	453.9	454.59	455.17	457.02	6.91	3.08
210.72	453.54	454.65	454.81	455.29	3.54	1.29
200	Culvert					
139.92	451.81	453.34	453.08	453.58	2.2	0.7
114.09	451.57	453.1	452.85	453.34	2.19	0.7

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
76.06	451.22	452.75	452.49	452.99	2.19	0.7
38.03	450.87	452.4	452.15	452.65	2.19	0.7
0	450.52	452.06	451.79	452.3	2.17	0.69

Tabella 16: 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.

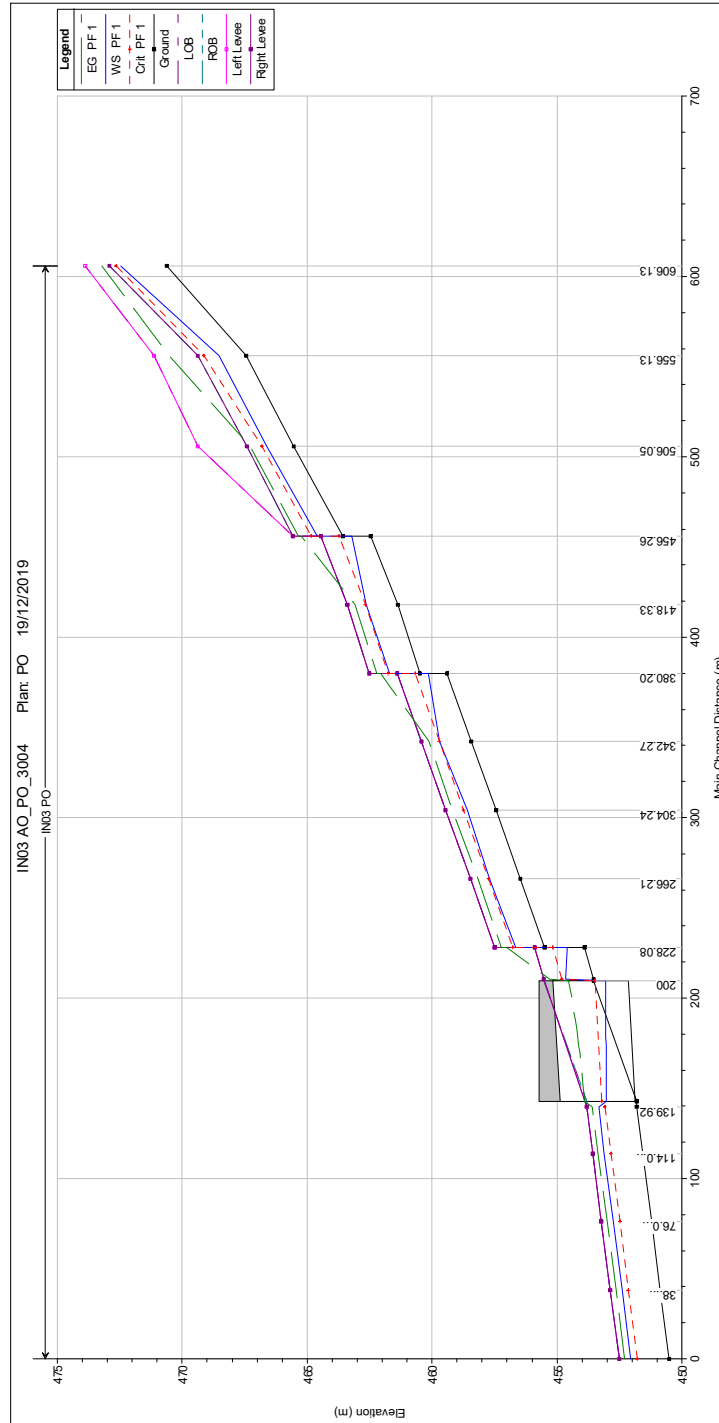


Figura 41: Corso d'acqua IN03_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.6.3 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 [km²], 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 37 [%] circa.

È 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	453.03	454.91	1.88

Tabella 17: 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. valle manufatto	453.58	454.91	1.33

Tabella 18: Franco energetico corso d'acqua IN03

4.6.4 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 2.0 [m].

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

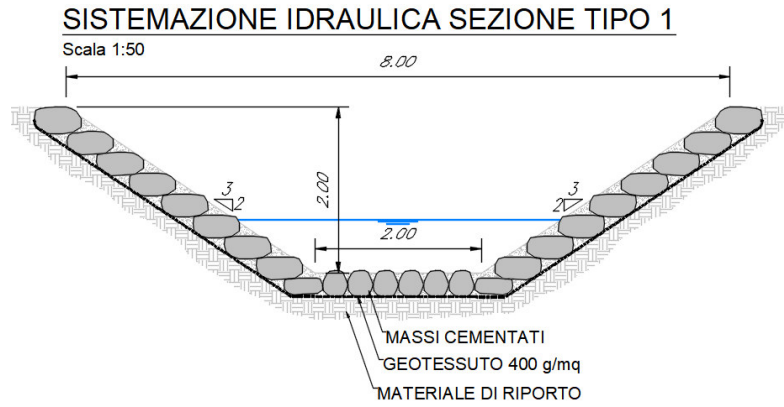


Figura 42: Corso d'acqua IN04_Sezione tipo sistemazione

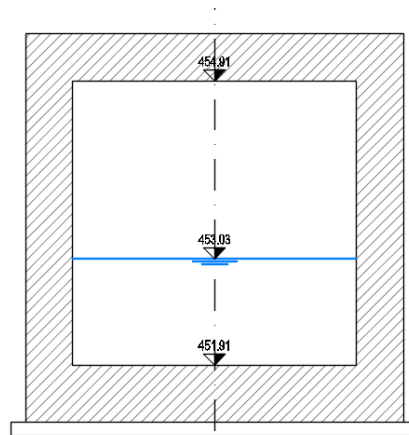


Figura 43: IN03_Sezione uscita manufatto

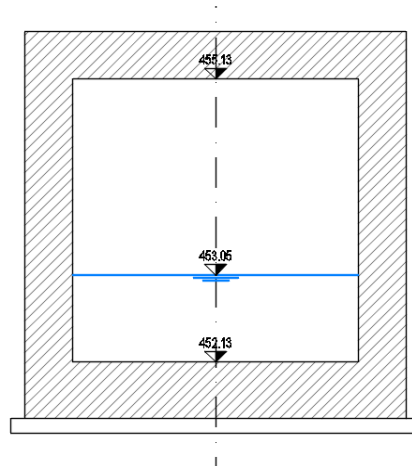


Figura 44: IN03_Sezione ingresso manufatto

4.7 INALVEAZIONE IN04 – OPERA VI01 – NI01A – NI01B

4.7.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione comprende un'asta fluviale che attraversa il ponte ferroviario, a monte dell'attraversamento è presente un manufatto stradale in sinistra idraulica è presente un affluente minore che è stato modellato e su questo insistono due nuovi manufatti scatolari stradali di dimensioni 3.0 x 2.0 [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.

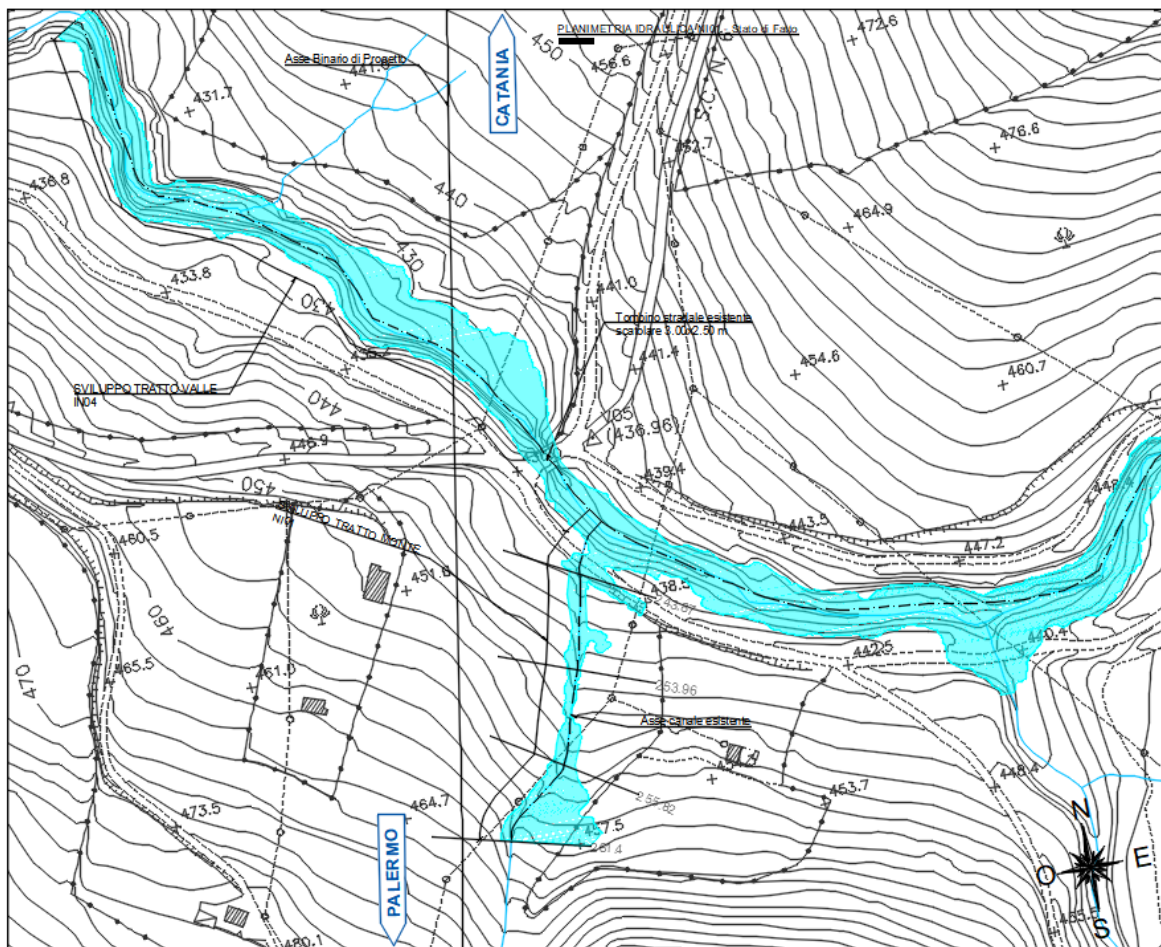


Figura 45: Corso d'acqua IN04_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 6 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 32.10 [m³/s] nel tratto di monte mentre l'affluente ha una portata pari a 5.0 [m³/s].

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

4.7.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
499	255.56	256.31	256.42	256.72	2.83	1.34
477	254.69	255.27	255.32	255.54	2.3	1.2
453	254.02	254.52	254.57	254.72	1.97	1.26
431	253.18	253.52	253.59	253.75	2.15	1.75
403	250.36	250.87	251.01	251.32	2.96	1.67
387	249.2	249.77	249.83	250.04	2.32	1.23
368	248.45	248.86	249	249.3	2.93	1.81
353	247.41	247.67	247.74	247.91	2.18	1.67
338	246.13	246.37	246.51	246.84	3.01	2.26
323	243.43	244.15	244.28	244.58	2.89	1.43
301	242.45	242.96	242.98	243.1	1.79	1.13
281	241.87	242.32	242.32	242.41	1.5	0.92
263	241.58	241.97	241.94	242.01	0.88	0.62

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
253	241.52	241.81	241.81	241.88	1.2	0.96
469.77	442.67	447.8	445.54	447.88	1.25	0.24
353.99	436.29	439.88	438.03	439.93	1.04	0.22
297.32	433.36	437.91	435.44	437.94	0.74	0.15
265.48	431.6	436.74	433.91	436.8	1.1	0.2
261.4	458.88	459.6	459.6	459.6	0.05	0.03
255.82	450.81	451.04	451.39	458.68	12.25	10.82
253.96	444.32	445.42	445.42	445.64	2.13	0.87
243.87	437.61	437.95	437.95	438.08	1.58	1.01
236.3	430.41	435.35	432.61	435.4	0.98	0.18
222.91	429.69	434.47	432.02	434.57	1.43	0.26
220	Culvert					
206.28	426.69	430.78	428.58	430.87	1.3	0.24
182.19	425	429.14	427.28	429.21	1.21	0.22
147.55	424.31	427.9	425.68	427.93	0.75	0.16
134.04	422.43	427.55	424.65	427.59	0.9	0.15
89.11	421.18	426.25	423.26	426.3	0.96	0.17
59.94	420.63	425.12	422.4	425.18	1.04	0.19
22.11	417.55	423.37	419.85	423.43	1.06	0.17
0.25	417.04	422.56	419	422.6	0.87	0.15

Tabella 19: 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.

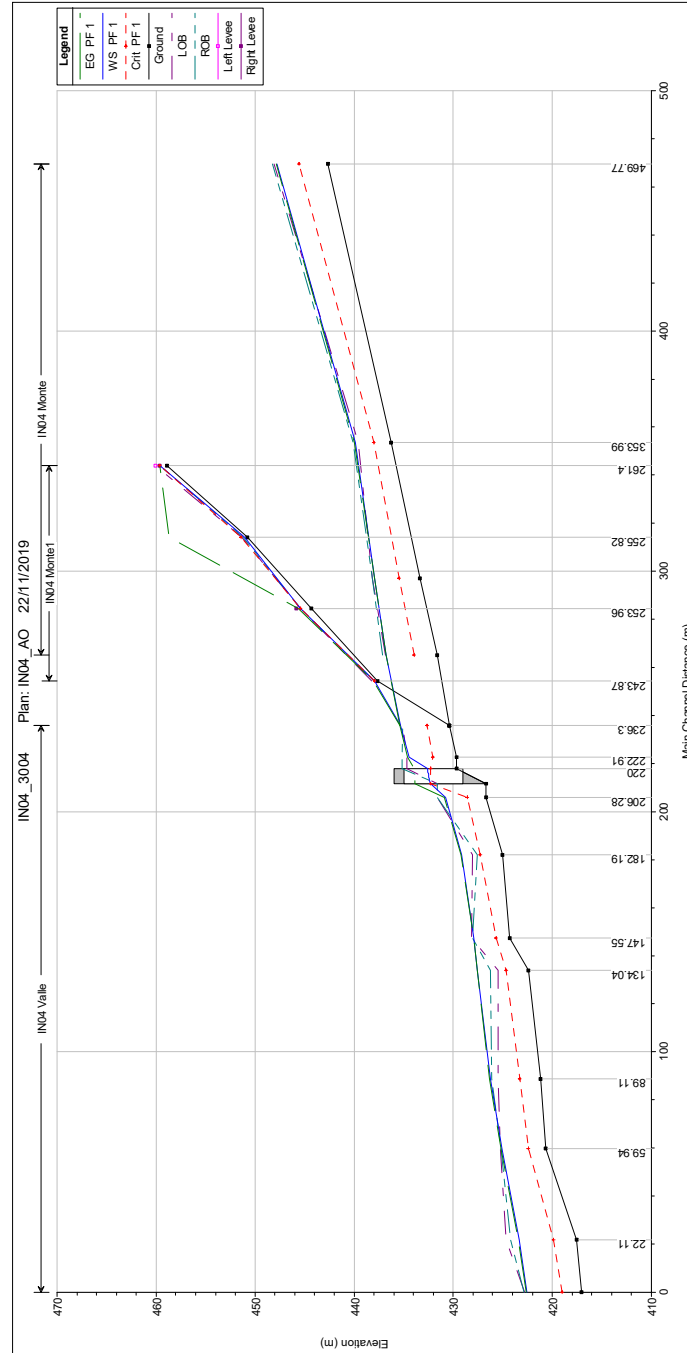


Figura 46: Corso d'acqua IN04_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente per quasi l'intero tratto di monte.

4.7.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è il viadotto VI01 e i manufatti scatolari per il ramo secondario.

La configurazione di progetto prevede esclusivamente una regolarizzazione del fondo a cavallo del viadotto.

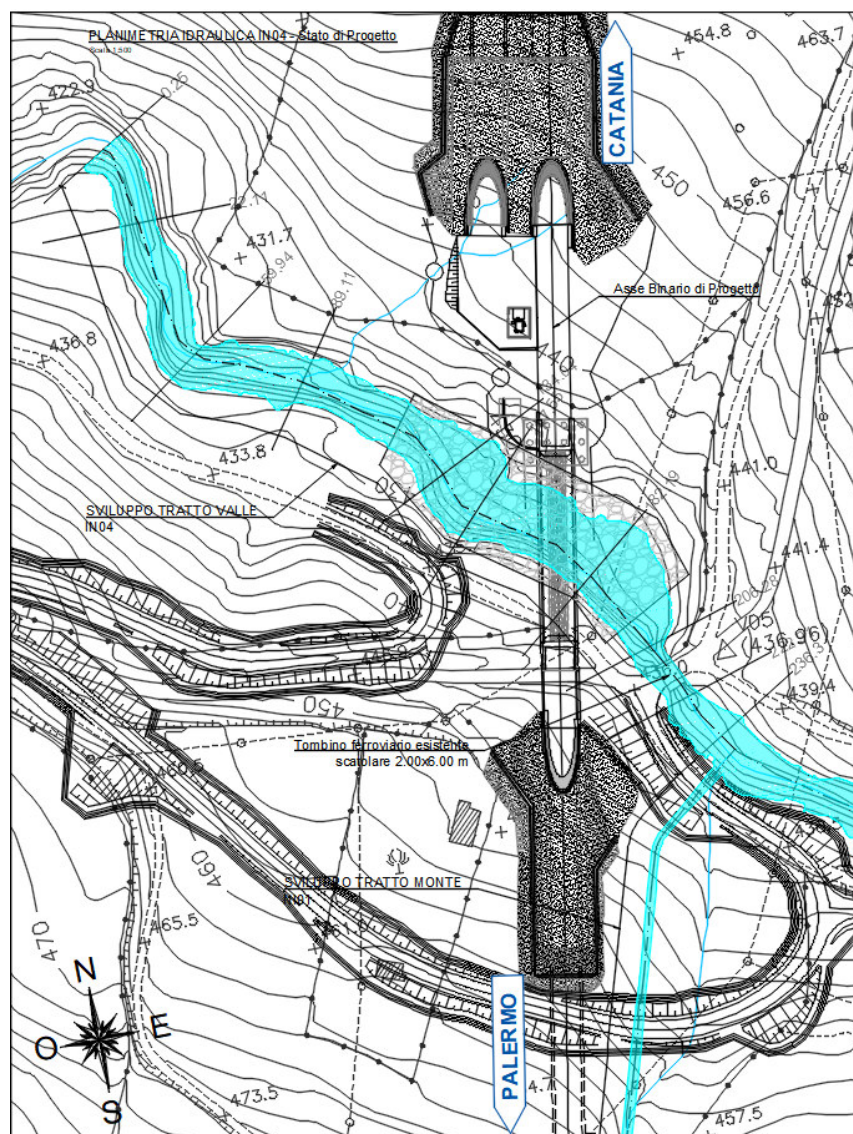


Figura 47: Corso d'acqua IN04_Configurazione post operam

La pendenza media del canale resta invariata.

Il progetto prevede la costruzione di un nuovo viadotto (opera VI01), il tratto interessato dal corso d'acqua ha campate di luce pari a 50.0 [m] e intradosso a quota 436.56 [m. s.l.m.].

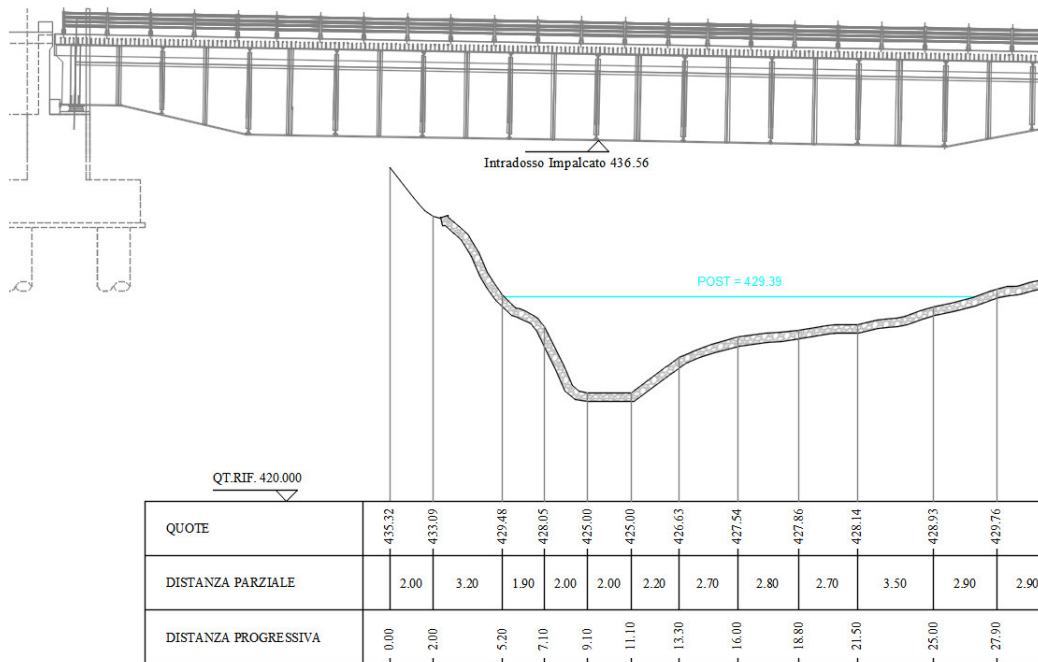


Figura 48: Corso d'acqua alla sezione in corrispondenza del Viadotto VI01.

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

4.7.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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.

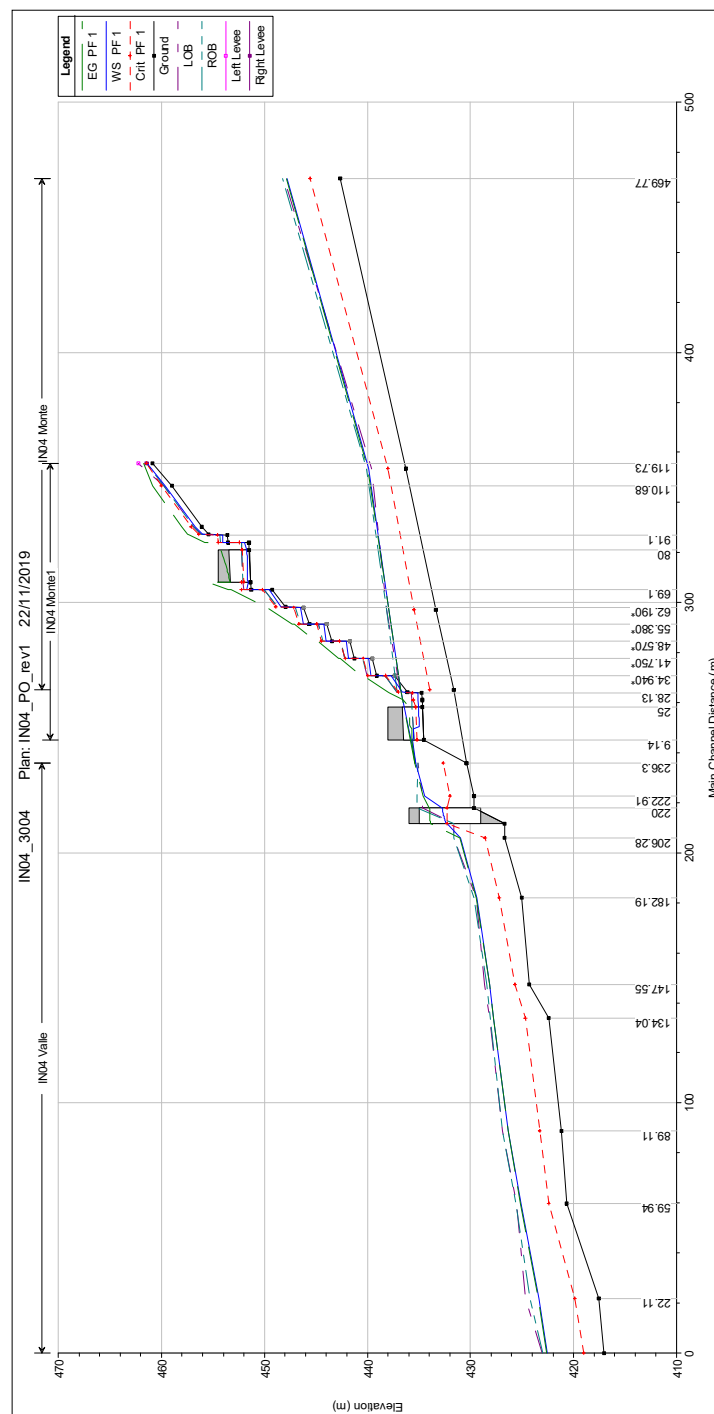
Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
Monte	469.77	442.67	447.8	445.54	447.88	1.25	0.24

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
Monte	353.99	436.29	439.88	438.03	439.93	1.04	0.22
Monte	297.32	433.36	437.91	435.44	437.94	0.74	0.15
Monte	265.48	431.6	436.74	433.91	436.8	1.1	0.2
Monte1	119.73	460.82	461.37	461.46	461.69	2.52	1.44
Monte1	110.68	459	459.61	459.98	460.86	4.95	2.52
Monte1	94.2	456.1	456.69	457.06	458.03	5.12	2.64
Monte1	91.2	455.4	455.98	456.36	457.45	5.37	2.8
Monte1	91.1	453.6	454.05	454.56	457.24	7.92	4.6
Monte1	88.2	453.5	454.05	454.46	455.75	5.77	3.06
Monte1	88.1	451.5	451.93	452.46	455.52	8.39	4.95
Monte1	80						
Monte1	72.1	451.32	451.61	452.26	455.51	8.75	5.23
Monte1	69.2	451.28	451.7	452.22	453.51	5.96	2.94
Monte1	69.1	449.28	449.57	450.22	453.28	8.52	5.02
Monte1	62.29	447.94	448.4	448.9	449.94	5.5	2.6
Monte1	62.190*	446.21	446.53	447.17	449.73	7.93	4.51
Monte1	55.48	445.65	446.19	446.63	447.3	4.68	2.04
Monte1	55.380*	443.92	444.25	444.9	447.1	7.48	4.13
Monte1	48.67	443.47	444.03	444.45	445.03	4.42	1.87
Monte1	48.570*	441.73	442.07	442.72	444.83	7.35	4.03
Monte1	41.85	441.28	441.85	442.14	442.82	4.37	1.84
Monte1	41.750*	439.55	439.89	440.4	442.62	7.33	4.01

Tratto	Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
Monte1	35.04	439.09	439.66	439.95	440.63	4.37	1.84
Monte1	34.940*	437.35	437.69	438.2	440.43	7.34	4.02
Monte1	28.23	436.15	436.63	437.01	438	5.18	2.38
Monte1	28.13	434.75	435.09	435.61	437.83	7.33	4.01
Monte1	25.23	434.65	435.12	435.51	436.54	5.27	2.44
Monte1	25.13	434.65	435.13	435.51	436.51	5.2	2.39
Monte1	25						
Monte1	9.14	434.5	435.58	435.16	435.7	1.54	0.47
Valle	236.3	430.41	435.35	432.62	435.4	0.98	0.18
Valle	222.91	429.69	434.47	432.01	434.57	1.43	0.26
Valle	220						
Valle	206.28	426.69	430.94	428.58	431.02	1.24	0.22
Valle	182.19	425	429.39	427.19	429.43	0.88	0.2
Valle	147.55	424.31	428.14	425.66	428.17	0.67	0.14
Valle	134.04	422.43	427.78	424.62	427.8	0.7	0.14
Valle	89.11	421.18	426.29	423.26	426.34	0.94	0.17
Valle	59.94	420.63	425.12	422.4	425.18	1.04	0.19
Valle	22.11	417.55	423.37	419.85	423.43	1.06	0.17
Valle	0.25	417.04	422.56	419	422.6	0.87	0.15

Tabella 20: 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.




 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 49: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico post operam.

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

4.7.3 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 1.5-2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1m 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. 182.19	429.39	436.56	7.17

Tabella 21: 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. 182.19	429.43	436.56	7.13

Tabella 22: Franco energetico corso d'acqua IN04

Entrambi i livelli riportati per i manufatti IN01A e IN01B sono riferiti alla sezione immediatamente a valle dell'attraversamento.

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]

Sez. uscita	451.59	453.32	1.73
-------------	--------	--------	-------------

Tabella 23: Franco idraulico corso d'acqua NI01A

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. uscita	453.32	453.32	1.00

Tabella 24: Franco energetico corso d'acqua NI01A

	Livello idrico Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco idraulico Tr=200 anni [m]
Sez. uscita	435.58	436.50	0.92

Tabella 25: Franco idraulico corso d'acqua NI01B

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. uscita	435.75	436.50	0.75

Tabella 26: Franco energetico corso d'acqua NI01B

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

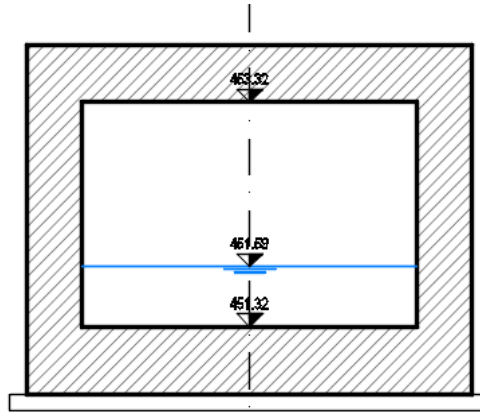


Figura 50: NI01A_Sezione uscita manufatto

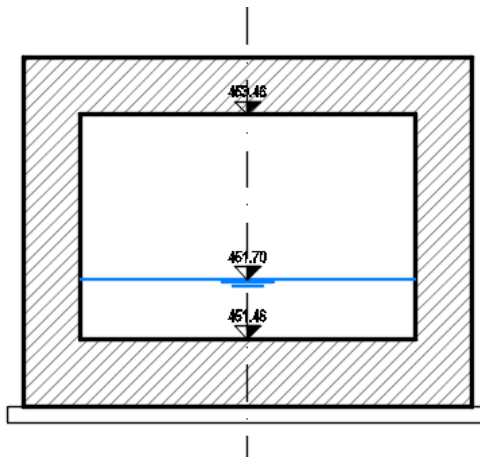


Figura 51: NI01A_Sezione ingresso manufatto

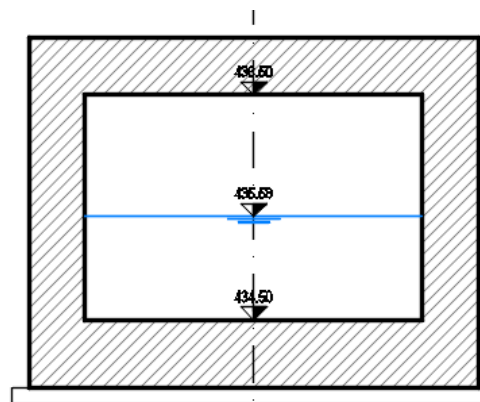


Figura 52: NI01B_Sezione uscita manufatto

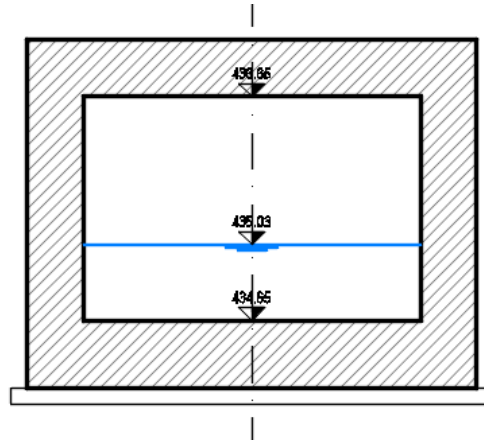
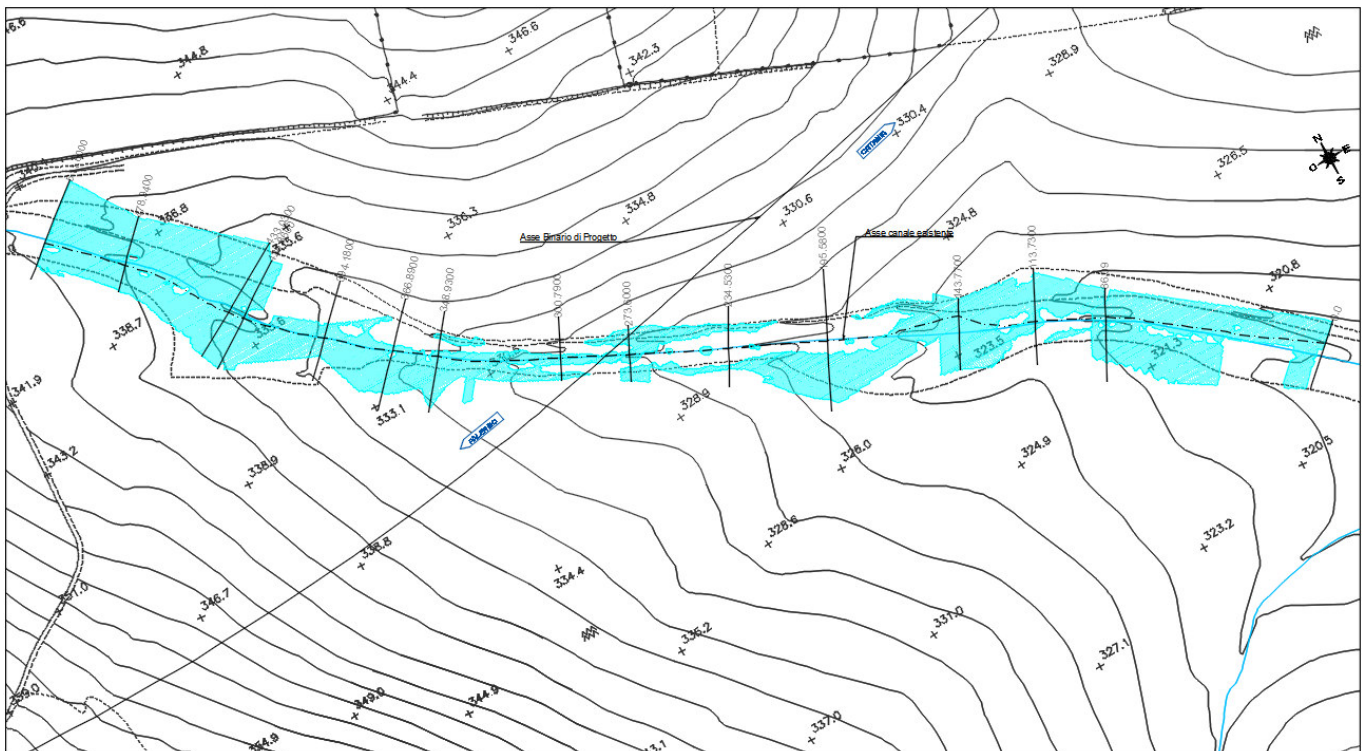


Figura 53: NI01B_Sezione ingresso manufatto

4.8 INALVEAZIONE IN05 – OPERA VI02

4.8.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 230 [m] a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende 270 [m] a valle. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.




	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 54: Corso d'acqua IN05_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 4.0 [%]. La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 11.20 [m³/s]. Come evidenzia la simulazione, il canale esistente in alcuni tratti è insufficiente per il deflusso di progetto.

4.8.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
511.6	339.05	339.73	339.73	339.75	0.53	0.28
478.94	337.37	338.23	338.23	338.26	0.7	0.37
433.03	335.83	336.3	336.25	336.3	0.18	0.11
426.86	335.63	336.14	336.08	336.15	0.28	0.15
394.18	333.91	334.37	334.5	334.8	2.88	1.58
366.89	332.29	332.62	332.73	332.95	2.52	1.8
348.93	331	331.98	331.7	332.09	1.49	0.57
338.86	330.66	331.69	331.71	331.97	2.38	1.12
300.79	328.52	329.43	329.57	329.85	2.86	1.72
273.6	327.6	328.71	328.71	328.87	1.97	0.91
234.53	326.08	326.83	326.97	327.26	2.91	1.58
195.58	324.87	325.27	325.37	325.58	2.49	1.58

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
143.77	323.18	323.8	323.82	323.95	2.1	1.05
113.73	322.43	322.86	322.91	323.05	2.29	1.38
86.09	321.26	322.35	322.22	322.41	1.23	0.52
0	319.3	319.83	319.86	320.23	2.81	1.71

Tabella 27: Corso d'acqua IN05_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.

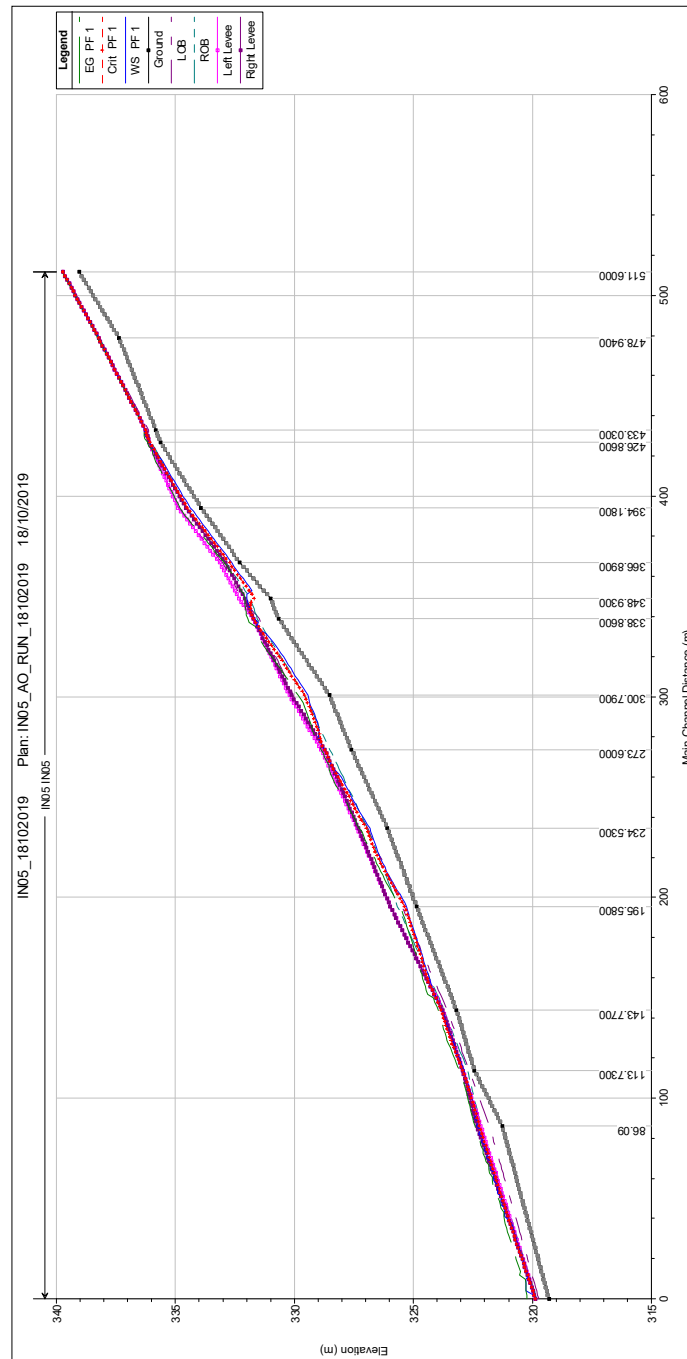


Figura 55: Corso d'acqua IN05_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente.

4.8.2 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.

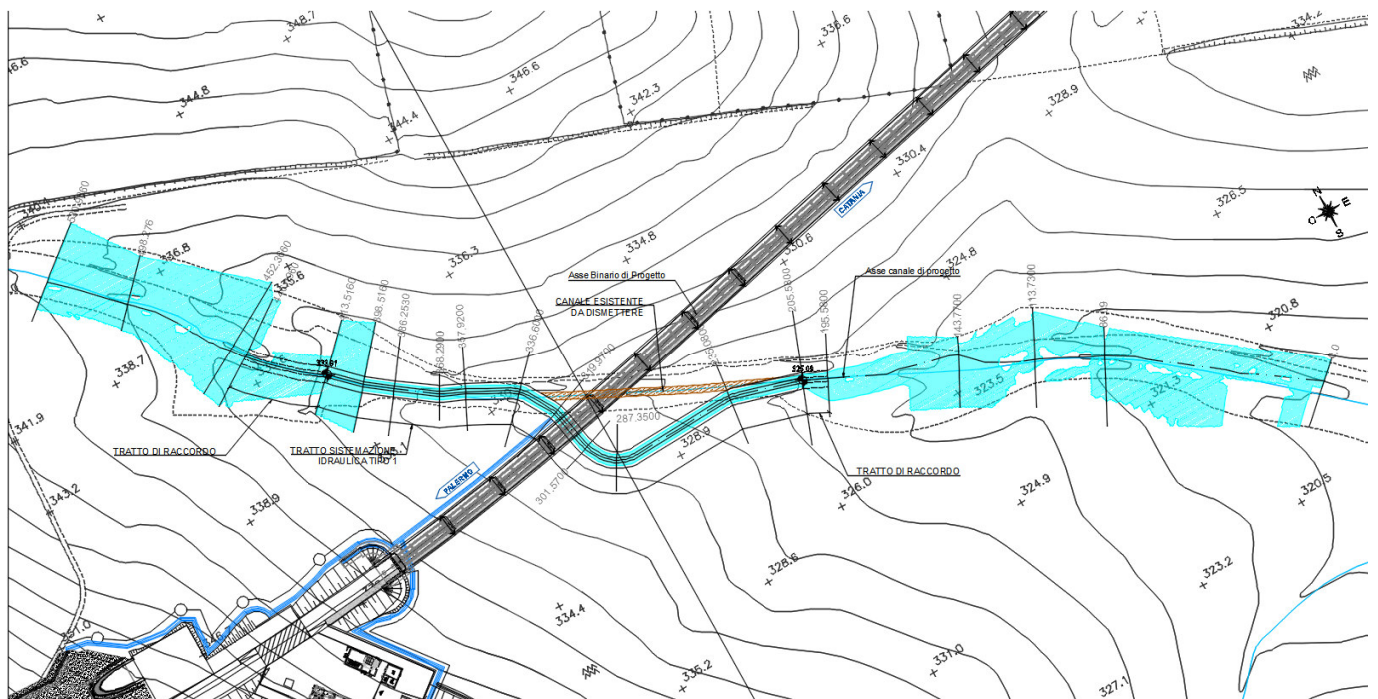


Figura 56: Corso d'acqua IN05_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 [%] nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle e a monte 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 25.0 [m] e intradosso a quota 340.18 [m s.l.m.].

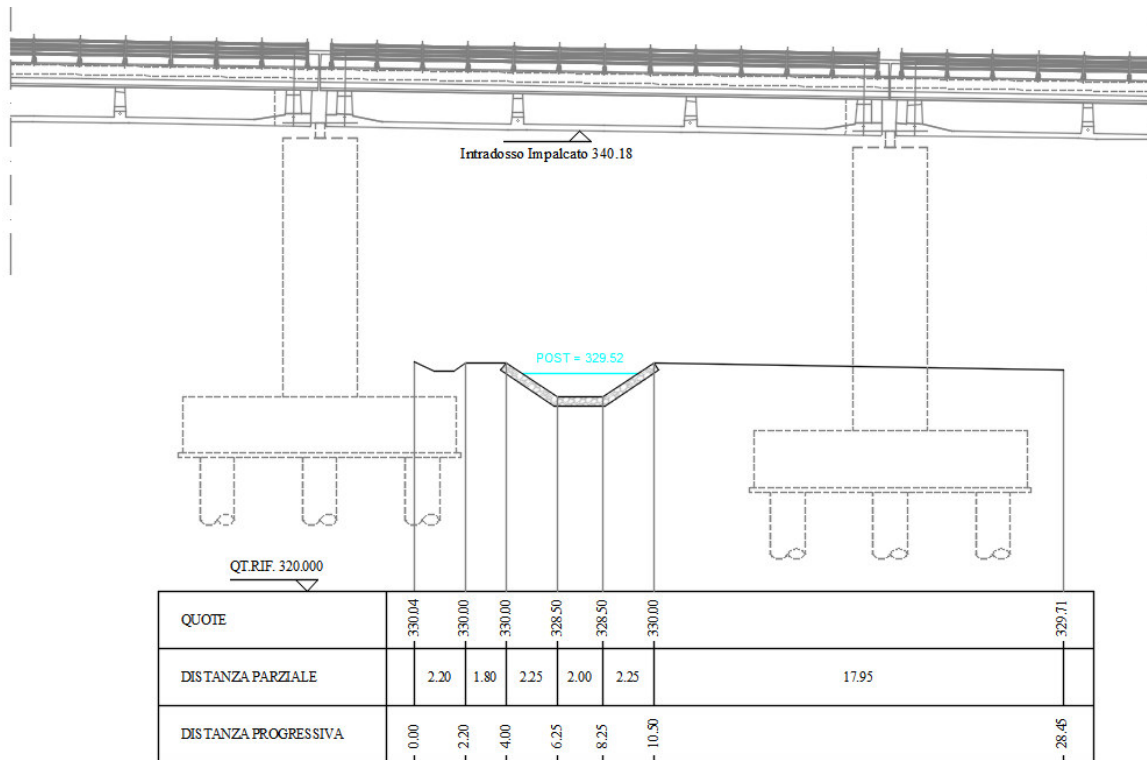


Figura 57: Corso d'acqua alla sezione 319.97_Viadotto VI02.

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

4.8.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
287.93	270	270.05	270.08	270.15	1.42	2.11
530.936	339.05	339.77	339.77	339.79	0.51	0.25

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
498.276	337.37	338.23	338.23	338.26	0.7	0.37
452.366	335.83	336.25	336.25	336.26	0.18	0.11
446.196	335.63	336.08	336.08	336.22	1.69	0.99
413.516	333.91	335.06	334.51	335.07	0.45	0.15
398.516	333.5	334.61	334.61	335	2.74	1
386.253	332	332.73	333.12	333.99	4.98	2.17
368.29	331	331.85	332.12	332.67	4.01	1.63
357.92	330.5	331.38	331.61	332.12	3.81	1.53
336.6	329	329.81	330.11	330.75	4.29	1.79
319.97	328.5	329.52	329.61	330.01	3.12	1.18
301.57	328	329.02	329.11	329.51	3.12	1.18
287.35	327.5	328.48	328.61	329.04	3.31	1.28
235.08	326	327.05	327.12	327.5	2.98	1.11
205.58	325	325.98	326.12	326.53	3.29	1.27
195.58	324.87	325.22	325.36	325.69	3.02	2.04
143.77	323.18	323.83	323.83	323.95	1.89	0.91
113.73	322.43	322.86	322.91	323.05	2.28	1.38
86.09	321.26	322.34	322.24	322.41	1.24	0.53
0	319.3	319.84	319.86	320.22	2.72	1.63

Tabella 28: Corso d'acqua IN05_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.

	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	
	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO	COMMESSA RS3V LOTTO 40 CODIFICA D 29 RI DOCUMENTO ID0002 001 REV. A FOGLIO 89 DI 195

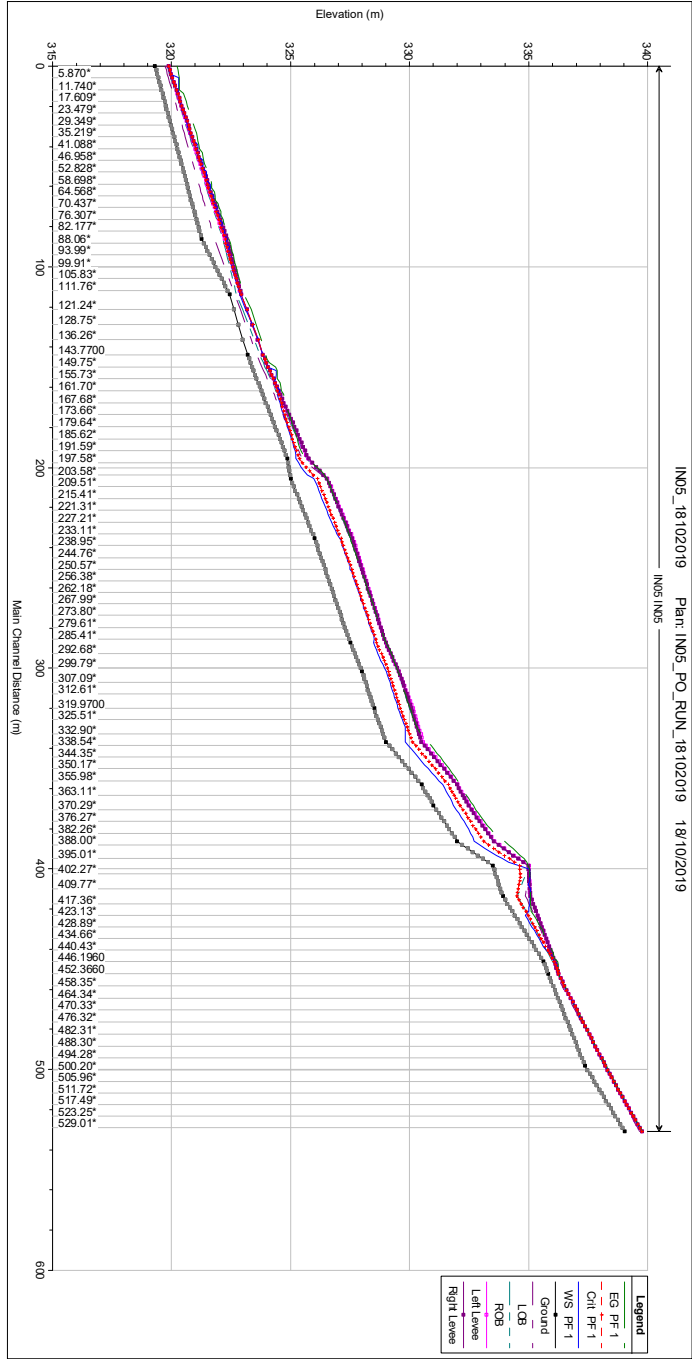


Figura 58: Corso d'acqua IN05_Profilo idrico post operam.

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

4.8.3 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 1.5-2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1 [m] 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	329.52	340.18	10.66

Tabella 29: 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. 134.82	330.01	340.18	10.17

Tabella 30: Franco energetico corso d'acqua IN05

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

4.8.4 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 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.50 [m].

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

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

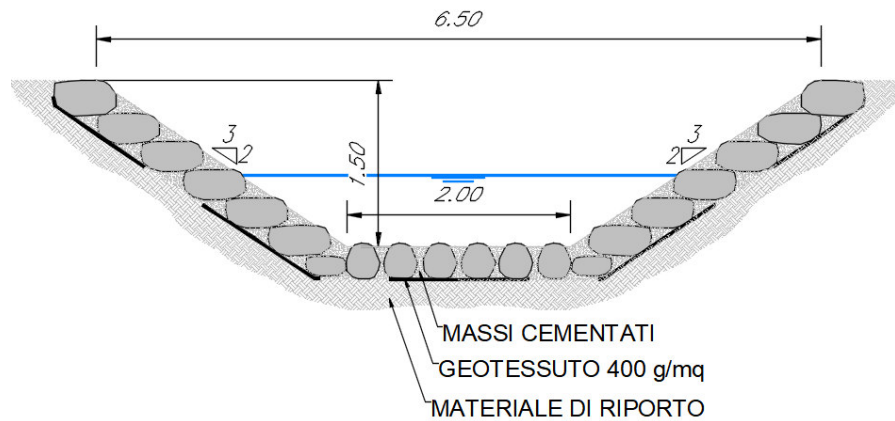


Figura 59: Corso d'acqua IN05_ Sezione tipo sistemazione

4.9 INALVEAZIONE IN06 – OPERA VI02

4.9.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia circa 150 [m] a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende 220 [m] a valle è presente un manufatto stradale esistente. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

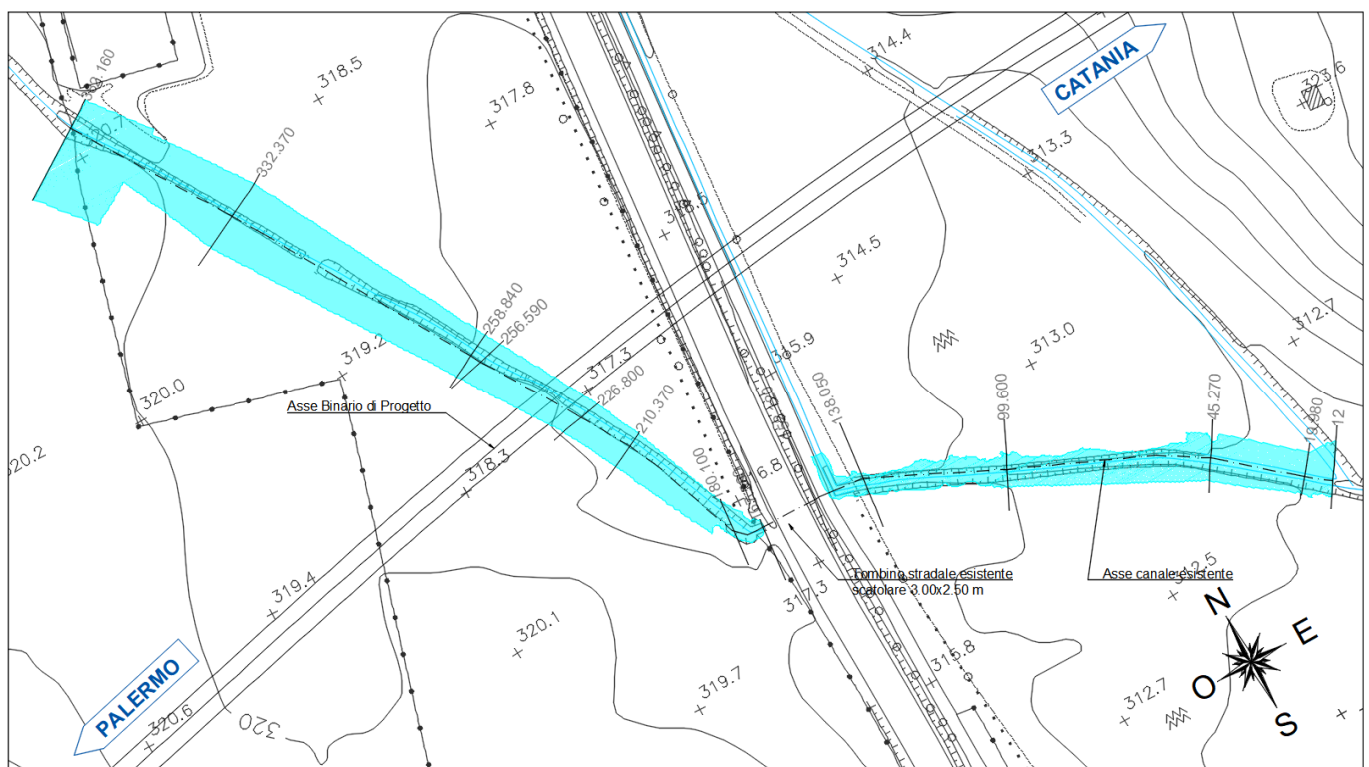


Figura 60: Corso d'acqua IN06_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 8.0 [%] a cavallo del manufatto esistente mentre diminuisce nei tratti a monte e a valle.

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 21.80 [m³/s].

Come evidenzia la simulazione, il canale esistente in alcuni tratti è insufficiente per il deflusso di progetto. Il manufatto esistente è sufficiente per il passaggio della piena nonostante provochi un innalzamento del livello idrico a monte.

4.9.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
382.16	320.74	322.34	322.02	322.37	1.07	0.29
332.37	320	321.96	321.86	322.18	2.37	0.63
258.84	319.88	321.39	321.39	321.75	2.9	0.87
256.59	319.76	321.09	321.26	321.7	3.65	1.2
226.8	318.62	319.69	319.99	320.6	4.24	1.74
210.37	317.9	318.95	319.23	319.9	4.32	1.71
180.1	316.41	317.12	317.36	317.93	3.99	1.97
167.58	314.15	316.92	317.02	317.37	2.99	1.26
159.86	Culvert					
152.12	313.9	315.1	314.93	315.24	1.69	0.6
138.05	313.81	314.88	314.88	315.15	2.29	0.91
99.6	311.9	313.57	313.76	314.17	3.57	1.21
45.27	310.76	312.26	312.44	312.85	3.85	1.27
19.98	310.26	311.92	312.05	312.38	3.14	1.03
12	310.26	311.63	311.87	312.22	3.4	1.28

Tabella 31: Corso d'acqua IN06_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.

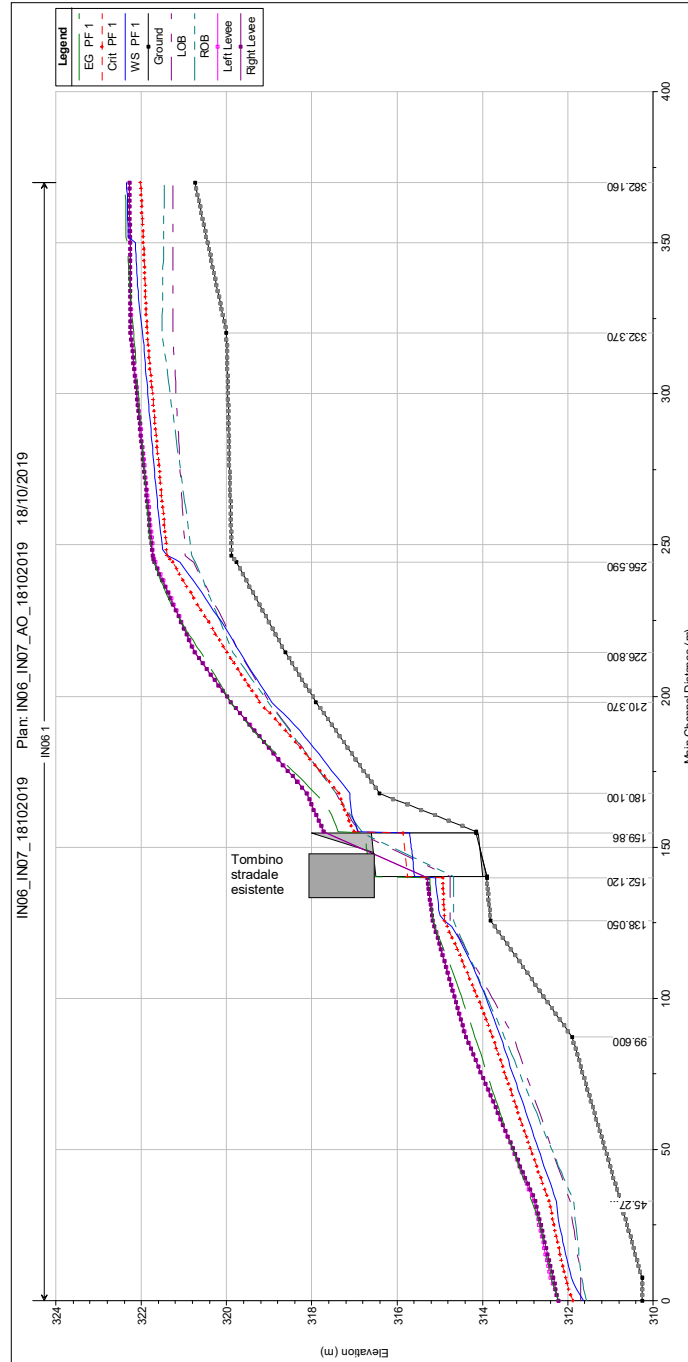


Figura 61: Corso d'acqua IN06_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente.

4.9.2 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.

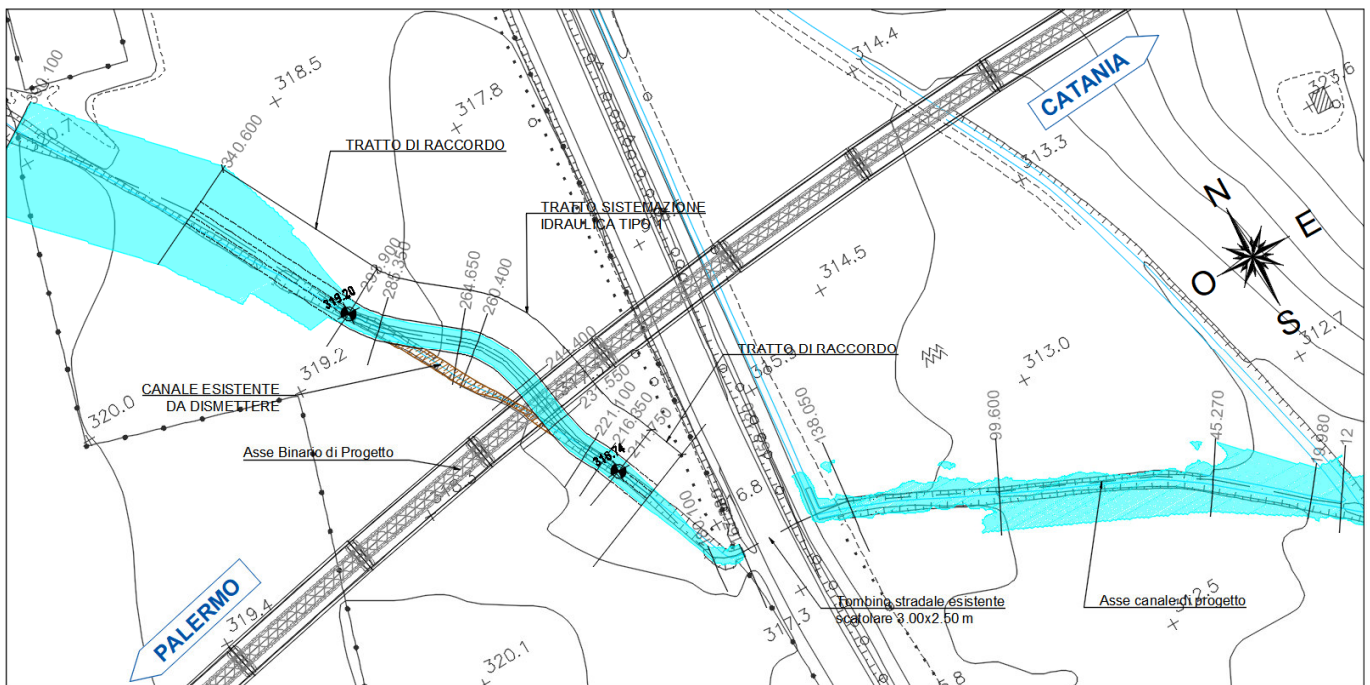


Figura 62: Corso d'acqua IN06_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.0 [%] nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle e a monte 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 40.0 [m] e intradosso a quota 331.05 [m s.l.m.].

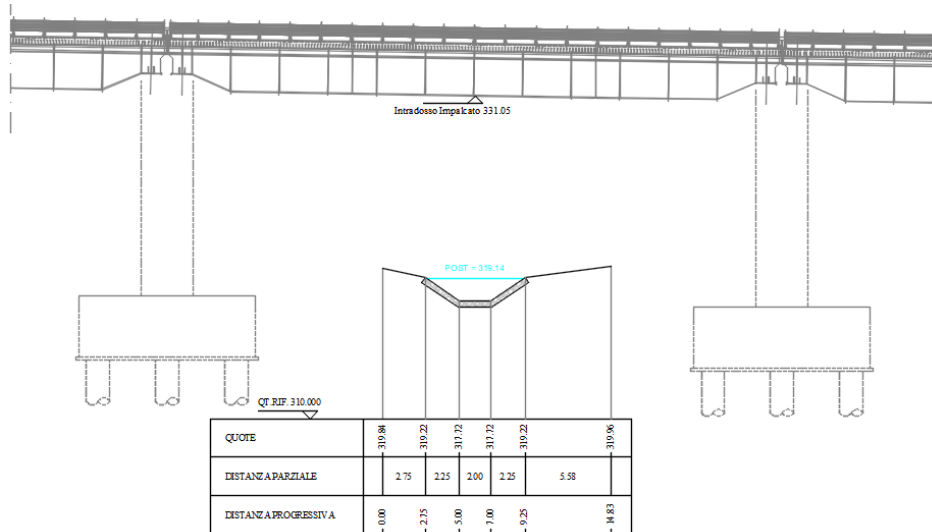


Figura 63: Corso d'acqua alla sezione 244.40_Viadotto VI02.

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

4.9.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
287.93	270	270.05	270.08	270.15	1.42	2.11
530.936	339.05	339.77	339.77	339.79	0.51	0.25
498.276	337.37	338.23	338.23	338.26	0.7	0.37
452.366	335.83	336.25	336.25	336.26	0.18	0.11
390.1	320.74	322.29	322.07	322.32	1.13	0.32

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
340.6	320.6	322.11	321.95	322.22	1.9	0.56
293.9	319.2	320.61	320.88	321.33	3.77	1.25
285.35	318.95	320.36	320.54	321.08	3.77	1.25
264.65	318.33	319.74	319.9	320.46	3.74	1.24
260.4	318.2	319.61	319.78	320.33	3.75	1.24
244.4	317.72	319.14	319.29	319.85	3.72	1.23
231.55	317.33	318.74	318.9	319.46	3.76	1.24
221.1	317.02	318.43	318.59	319.15	3.74	1.24
216.35	316.88	318.3	318.45	319.01	3.73	1.23
211.75	316.74	318.15	318.31	318.87	3.74	1.24
180.1	315.79	317.08	317.37	318.02	4.29	1.47
167.58	314.15	316.89	317.01	317.39	3.14	1.35
159.86	Culvert					
152.12	313.9	315.09	314.93	315.23	1.75	0.63
138.05	313.81	314.89	314.89	315.15	2.29	0.91
99.6	311.9	313.55	313.75	314.17	3.63	1.24
45.27	310.76	312.21	312.39	312.78	3.88	1.32
19.98	310.26	311.96	312.06	312.34	2.92	0.94
12	310.1	311.51	311.69	312.17	3.61	1.37

Tabella 32: Corso d'acqua IN06_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.

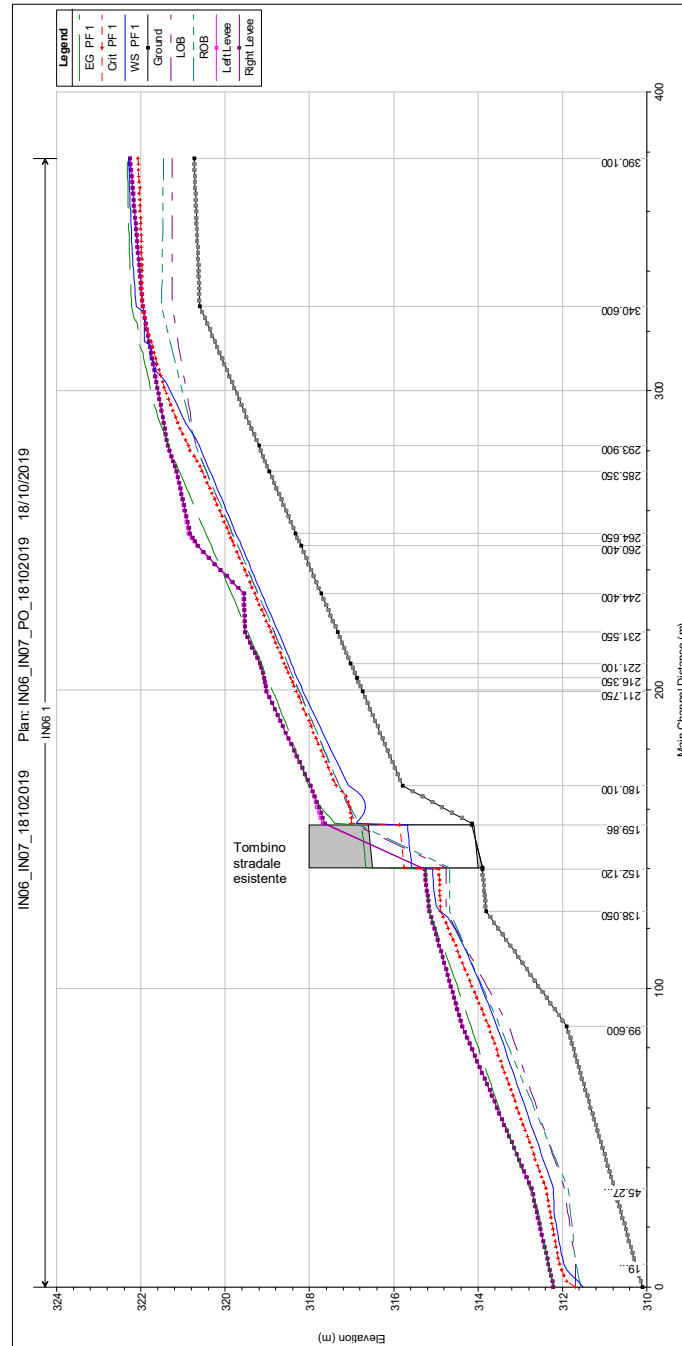


Figura 64: Corso d'acqua IN06_Profilo idrico post operam.

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

4.9.3 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÷2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1 [m] 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. 244.40	319.14	331.05	11.91

Tabella 33: 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. 244.40	319.85	331.05	11.20

Tabella 34: Franco energetico corso d'acqua IN06

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

4.9.4 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 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.50 [m].

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

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

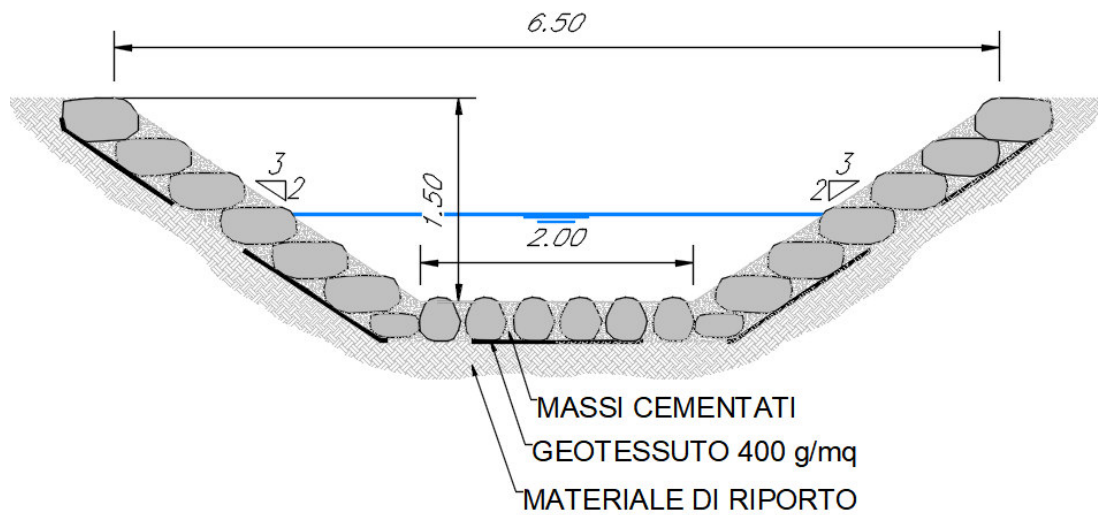


Figura 65: Corso d'acqua IN06_Sezione tipo sistemazione

4.10 INALVEAZIONE IN07 – OPERA VI02

4.10.1 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 100 [m] a valle. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

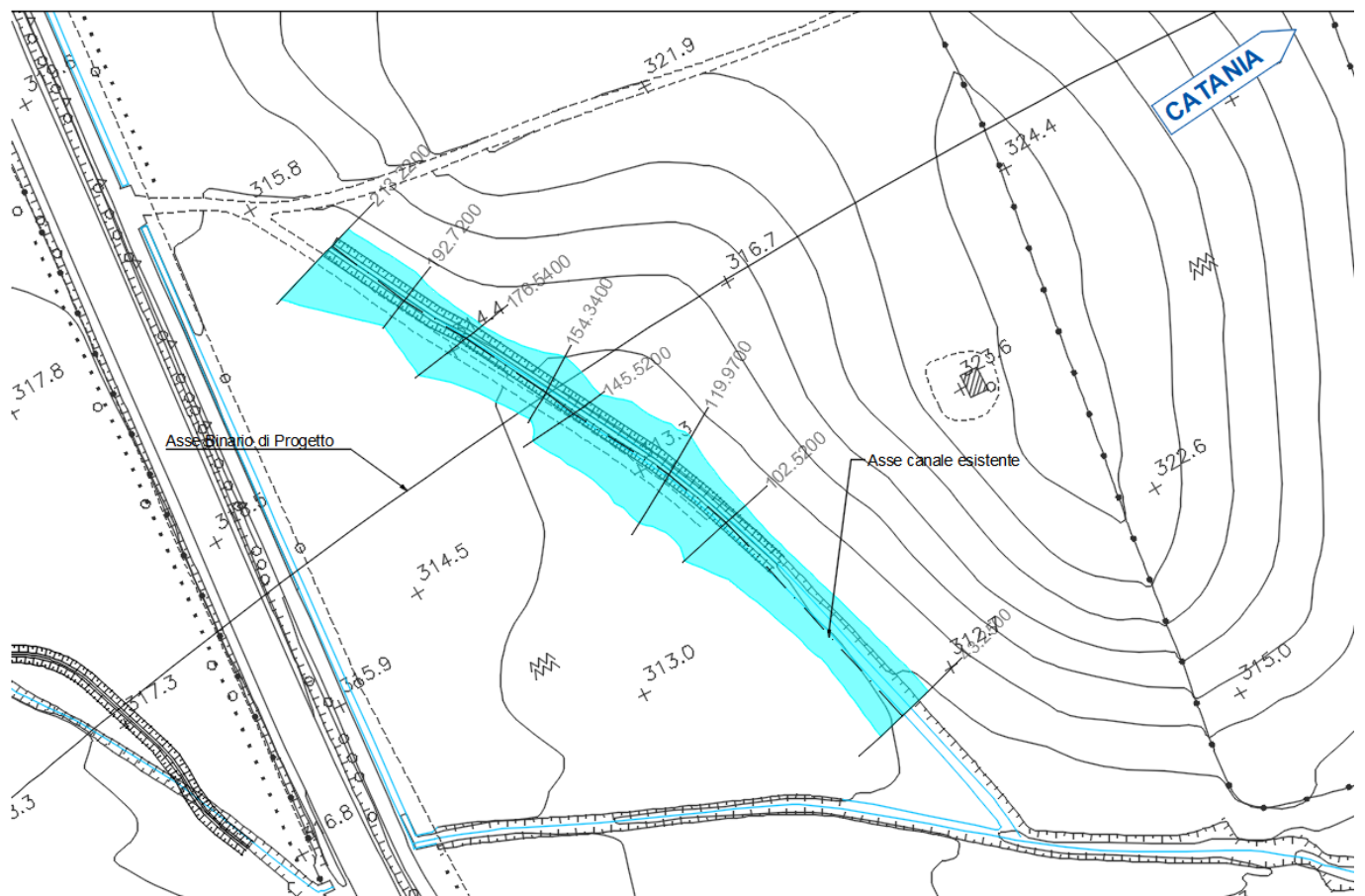


Figura 66: Corso d'acqua IN07_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 2.5 [%] .

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 10.10 [m³/s].

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

4.10.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
213.22	314.81	315.6	315.6	315.74	2.02	0.84
192.72	314.45	315.34	315.34	315.53	2.27	0.87
176.54	313.96	314.77	314.89	315.14	3.07	1.32
154.34	313.73	314.13	314.21	314.39	2.34	1.3
145.52	313.15	313.85	313.94	314.14	2.93	1.31
119.97	312.95	313.36	313.39	313.54	1.93	1.07
102.52	311.99	313	313.05	313.23	2.24	0.91
43.25	310.9	311.87	311.92	312.11	2.16	1.15

Tabella 35: 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.

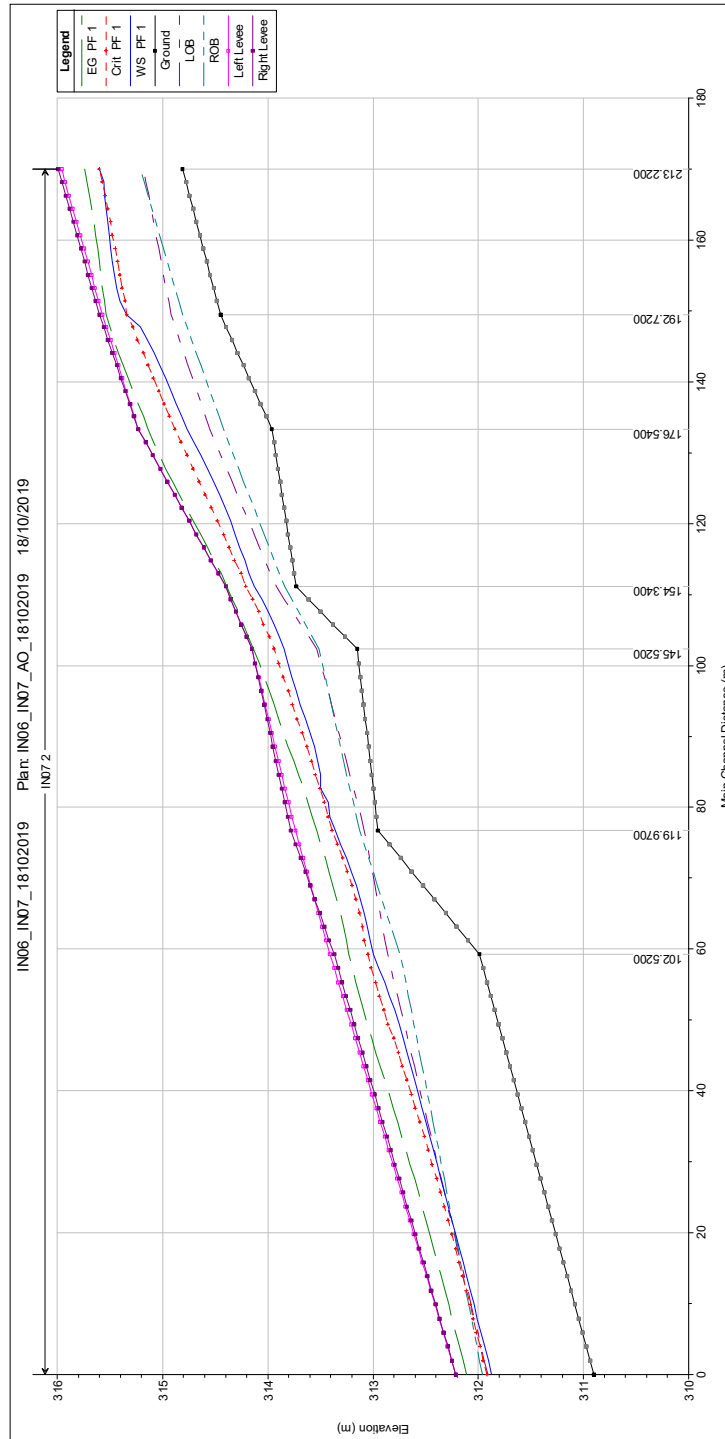


Figura 67: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente.

4.10.2 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.

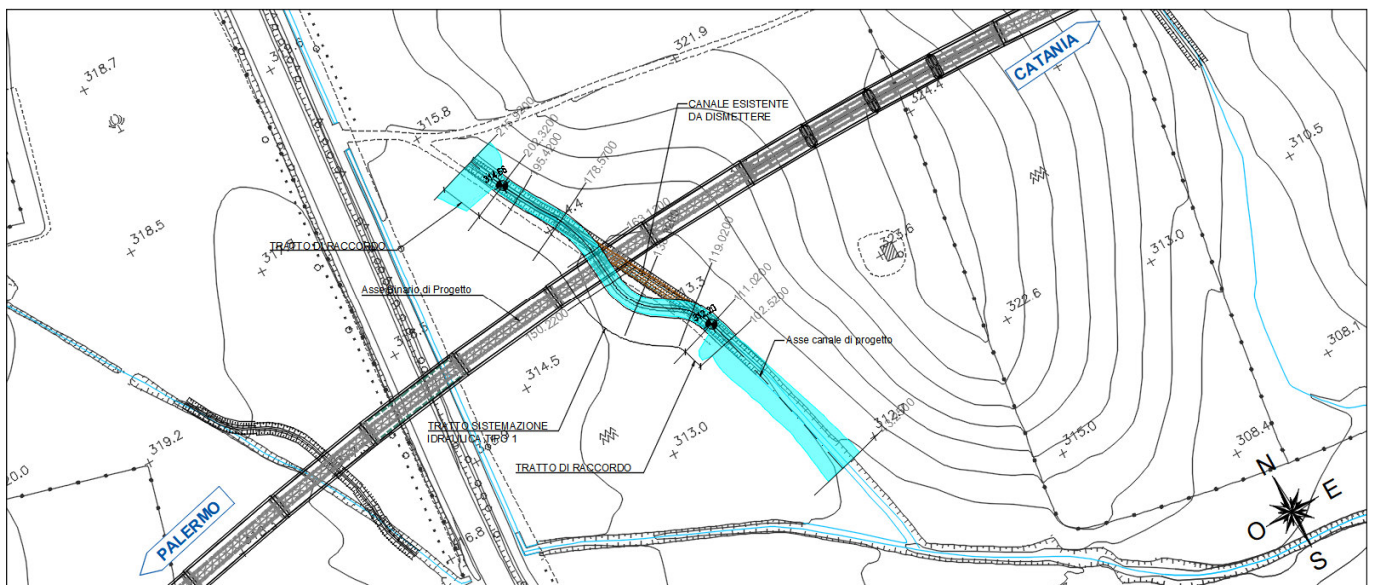


Figura 68: Corso d'acqua IN07_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 2.7 [%] nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle e a monte 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 40.0 [m] e intradosso a quota 329.13 [m s.l.m.].

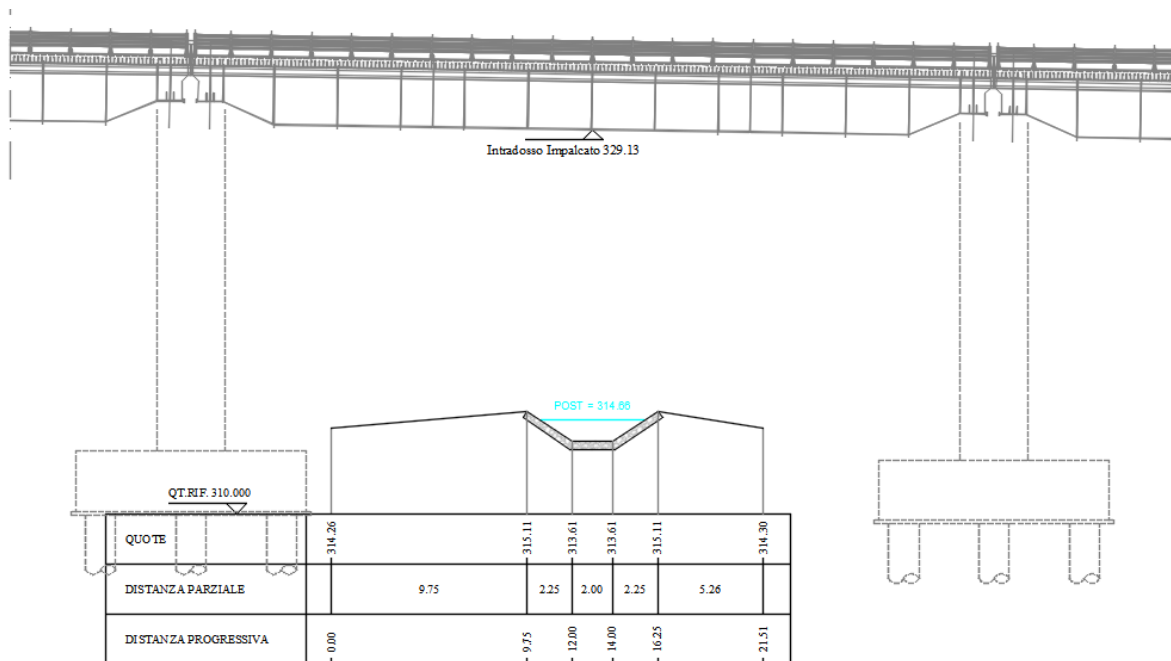


Figura 69: Corso d'acqua alla sezione 163.12_Viadotto VI02.

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

4.10.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
215.92	314.81	316.19	315.6	316.2	0.63	0.18
202.32	314.67	315.73	315.73	316.09	2.67	1
195.42	314.48	315.48	315.53	315.9	2.88	1.1

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
178.57	314.02	315.02	315.07	315.45	2.89	1.11
171.22	313.83	314.84	314.89	315.25	2.85	1.08
163.12	313.61	314.66	314.66	315.03	2.69	1.01
150.22	313.26	314.26	314.31	314.68	2.88	1.1
138.32	312.94	313.94	313.99	314.36	2.89	1.1
119.02	312.42	313.43	313.48	313.84	2.83	1.07
111.02	312.2	313.31	313.25	313.62	2.5	0.91
102.52	311.99	312.85	313.05	313.39	3.26	1.52
43.25	310.9	311.87	311.92	312.11	2.16	1.16

Tabella 36: 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.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALESMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
PROGETTO DEFINITIVO
TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO

Relazione Idrraulica Interferenze Idrauliche Minori e
 compatibilità idraulica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RS3V 40 D 29 RI ID0002 001 A 107 DI 195

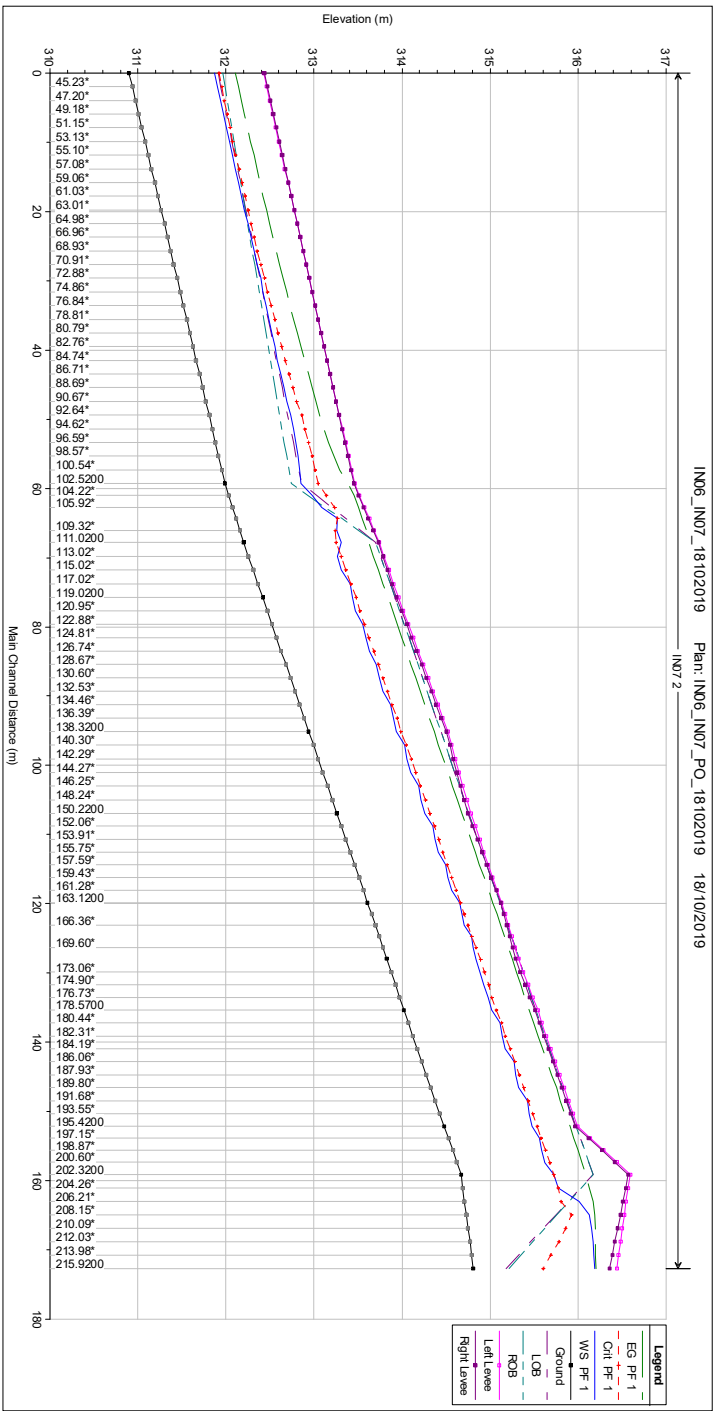


Figura 70: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico post operam.

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

4.10.3 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÷2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1 [m] 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. 163.12	314.66	329.13	14.47

Tabella 37: 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. 163.12	315.03	329.13	14.10

Tabella 38: 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 Tecnico ferroviario.

4.10.4 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 pari a 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.50 [m].

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

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

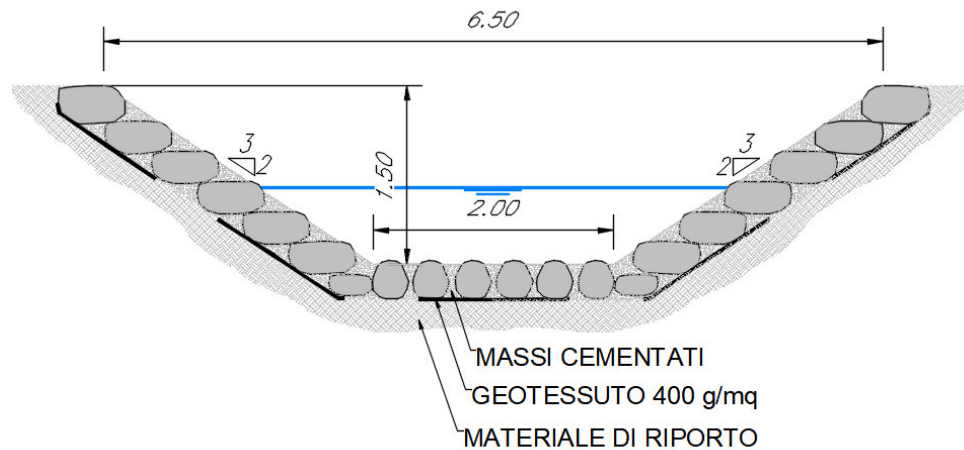


Figura 71: Corso d'acqua IN05_Sezione tipo sistemazione

4.11 INALVEAZIONE IN08 – OPERA VI02

4.11.1 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 100 [m] a valle. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

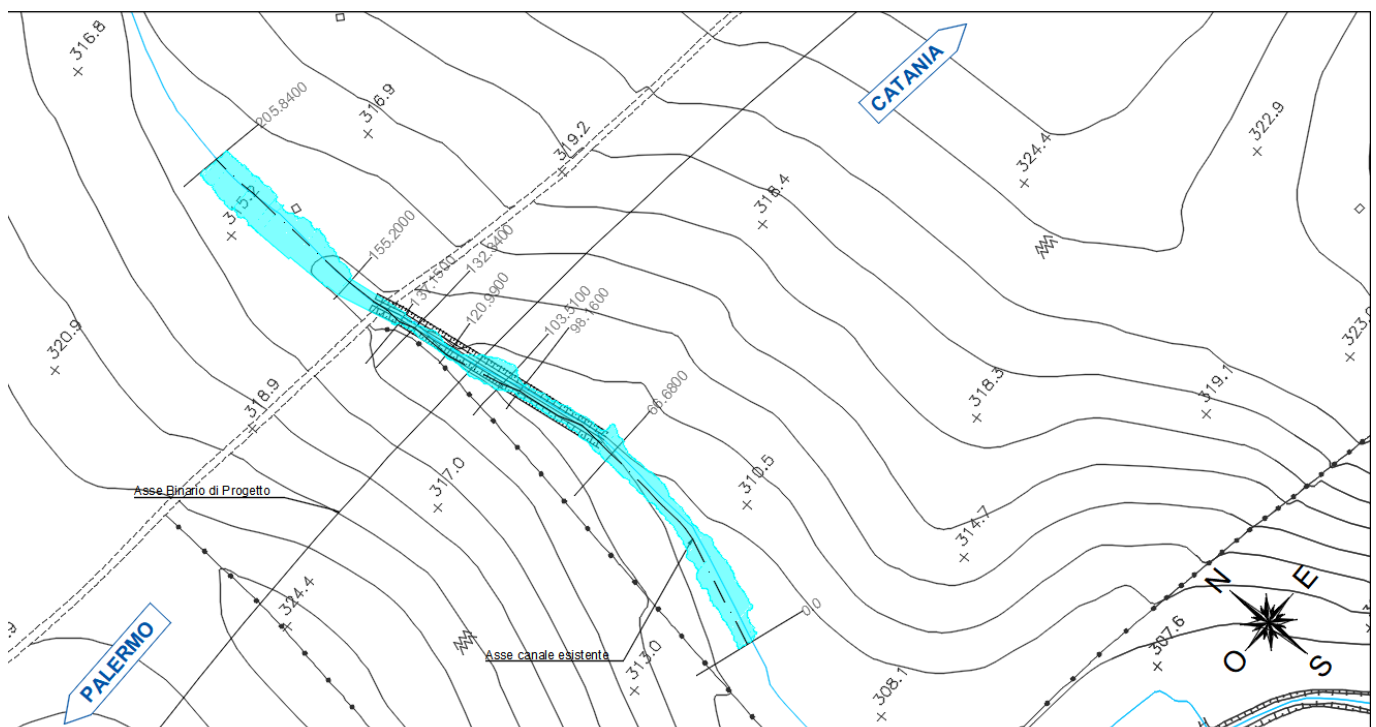


Figura 72: Corso d'acqua IN08_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 4.0 [%].

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.6 [m³/s].

Come evidenzia la simulazione, il canale esistente è sufficiente per il deflusso di progetto.

4.11.1.1 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 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
205.84	314.53	314.93	314.91	315.01	1.22	0.86
155.2	313.7	314.05	314.05	314.15	1.41	1.01
137.15	312.32	313.34	313.34	313.48	1.96	0.73
132.34	311.95	312.69	312.86	313.16	3.03	1.59
120.99	311.58	312.08	312.21	312.48	2.96	1.55
103.51	311.27	311.86	311.86	311.99	1.57	1
98.16	311.05	311.46	311.55	311.74	2.34	1.61
66.68	310.15	310.76	310.77	310.91	1.75	1.07
45.22	309.46	309.96	310.01	310.15	1.93	1.27
0	308.73	309.03	309.01	309.11	1.21	0.86

Tabella 39: 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.

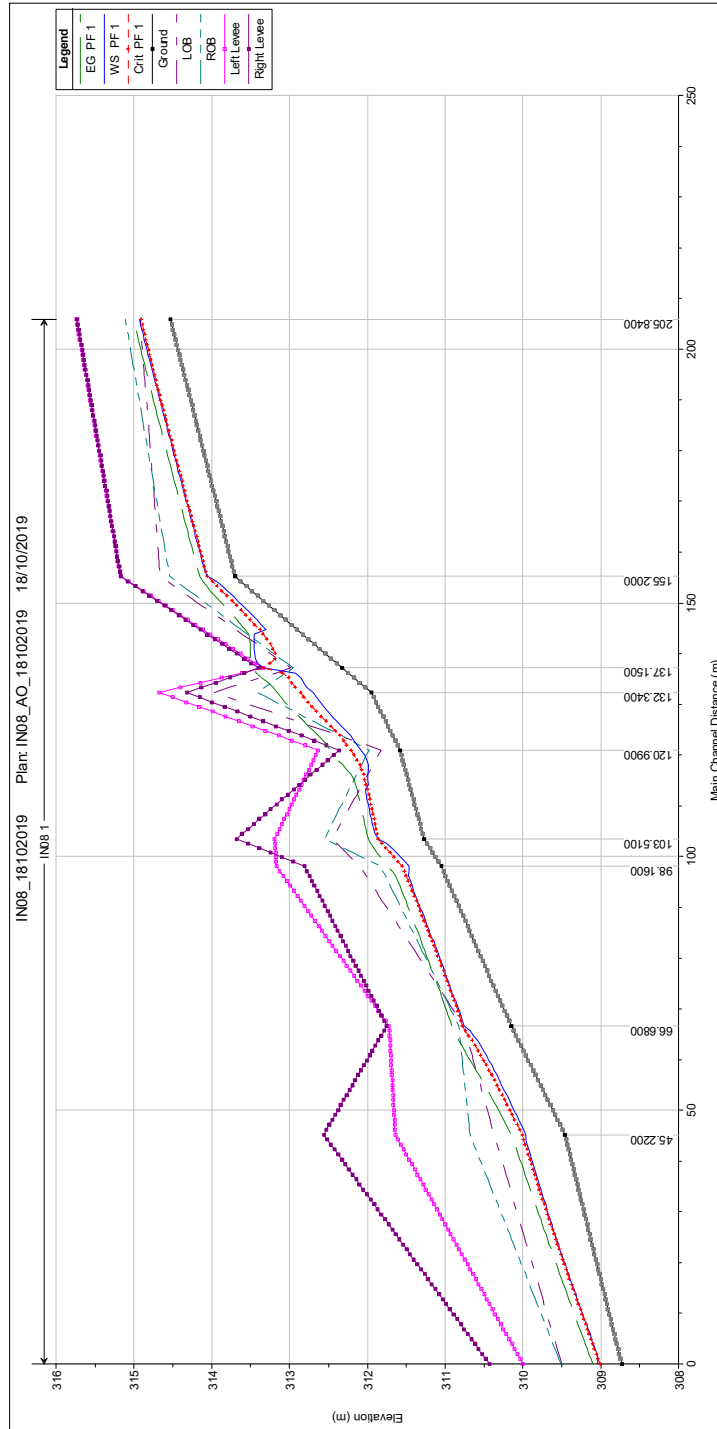


Figura 73: Corso d'acqua IN07_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente.

4.11.2 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.

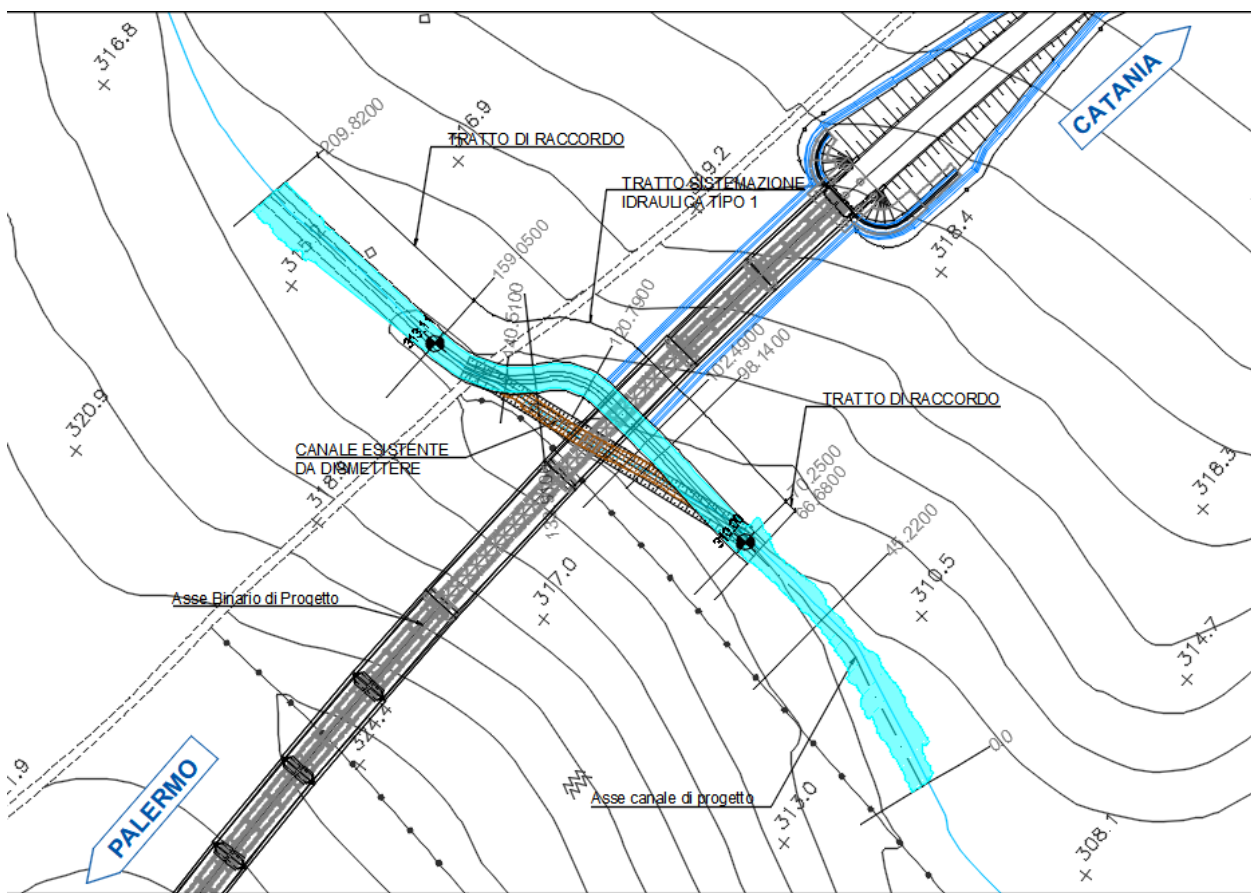


Figura 74: Corso d'acqua IN08_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 3.5 [%] nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle e a monte 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 luce pari a 40.0 [m] e intradosso a quota 325.61 [m s.l.m.].

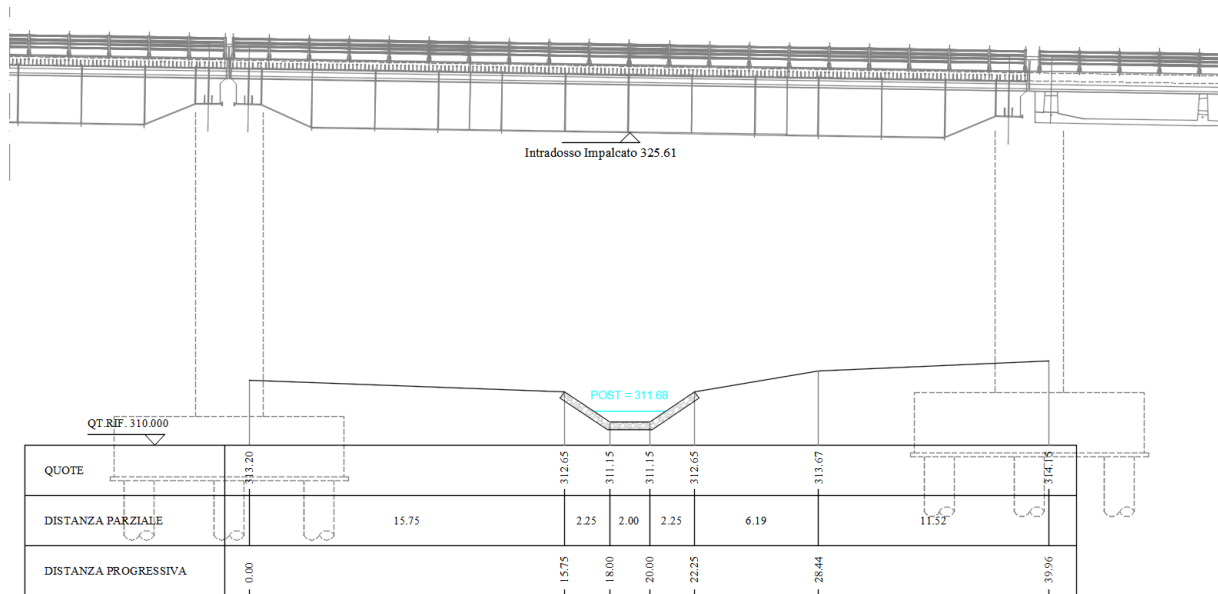


Figura 75: Corso d'acqua alla sezione 102.49_Viadotto VI02.

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

4.11.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
209.82	314.53	314.93	314.91	315	1.24	0.88
159.05	313.13	313.71	313.72	313.95	2.15	1.03
140.51	312.48	313.01	313.07	313.31	2.43	1.21
133.91	312.25	312.79	312.84	313.08	2.39	1.18

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
120.79	311.79	312.32	312.38	312.62	2.43	1.21
102.49	311.15	311.68	311.74	311.98	2.42	1.2
98.14	311	311.53	311.59	311.83	2.41	1.19
70.25	310.02	310.85	310.61	310.94	1.34	0.55
66.68	309.9	310.75	310.75	310.9	1.68	1
45.22	309.46	309.96	310.01	310.15	1.93	1.27
0	308.73	309.03	309.01	309.11	1.21	0.86

Tabella 40: 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.

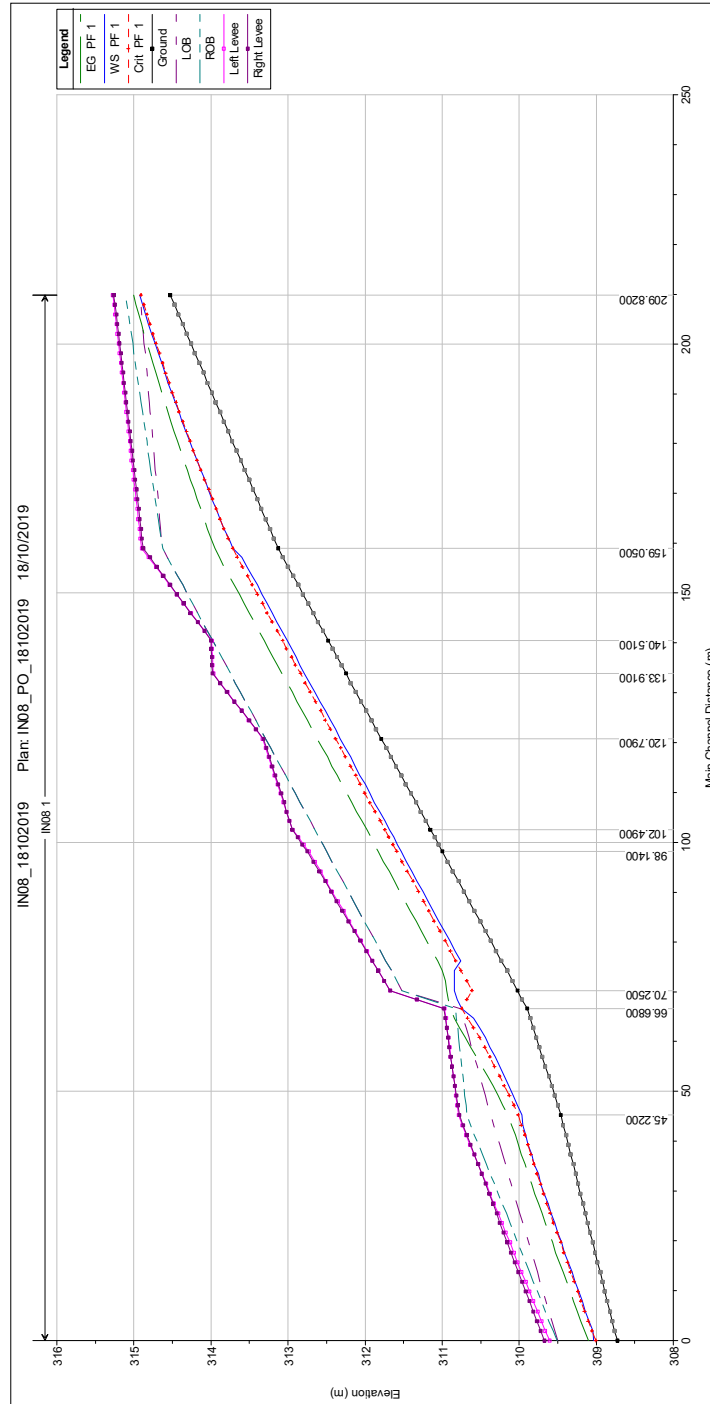


Figura 76: Corso d'acqua IN08_Profilo idrico post operam.

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

4.11.3 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÷2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1 [m] 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. 102.49	311.68	325.61	13.93

Tabella 41: 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. 102.49	315.03	325.61	10.58

Tabella 42: 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 Tecnico ferroviario.

4.11.4 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 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.50 [m].

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

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

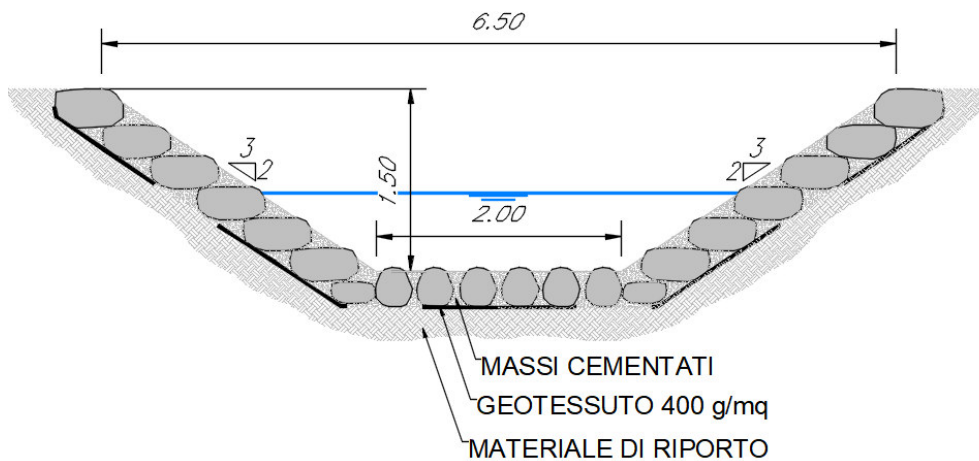


Figura 77: Corso d'acqua IN08_Sezione tipo sistemazione

4.12 INALVEAZIONE IN09 – OPERA VI03

4.12.1 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 100 [m] a valle. Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

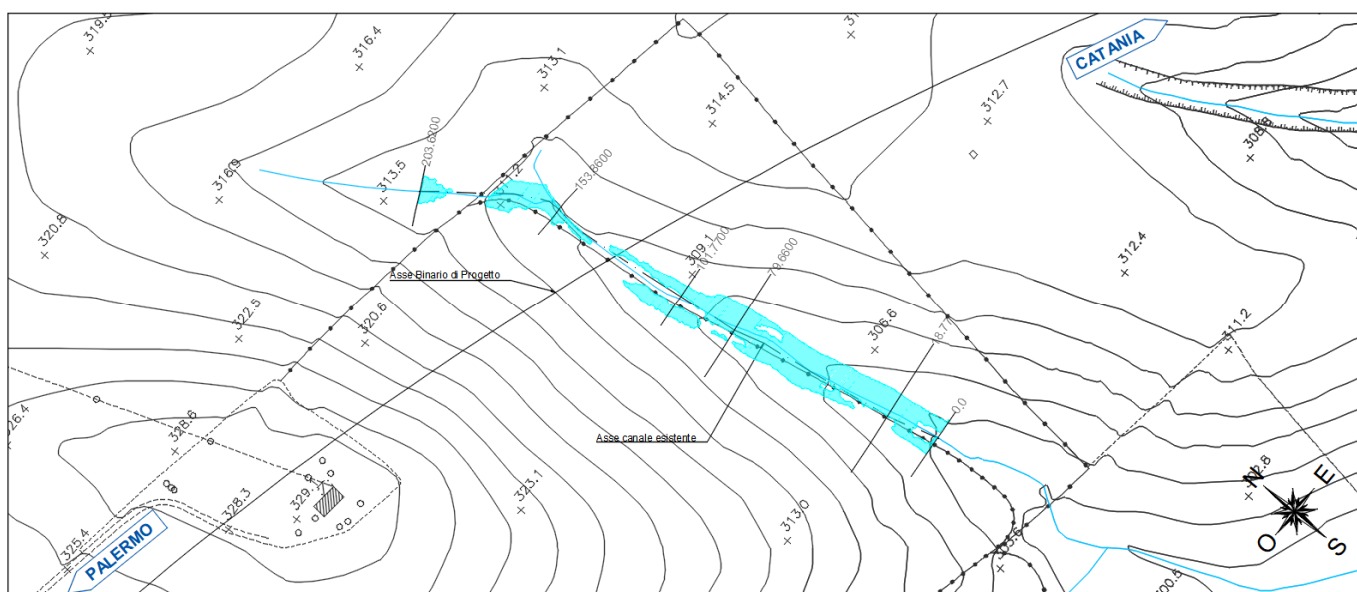


Figura 78: Corso d'acqua IN09_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 4.0 [%].

La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.4 [m³/s].

Come evidenzia la simulazione, il canale esistente è sufficiente per il deflusso di progetto.

4.12.1.1 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 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
203.62	312.78	312.99	313.05	313.16	1.83	1.6
153.86	309.8	310.31	310.4	310.6	2.39	1.52
101.77	308.2	308.6	308.68	308.85	2.36	1.36
79.66	307.3	307.69	307.75	307.89	1.98	1.44
18.77	304.49	304.82	304.88	305.03	2.01	1.47
0	303.58	303.99	304.07	304.24	2.29	1.38

Tabella 43: Corso d'acqua IN09_Risultati simulazione ante operam.

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

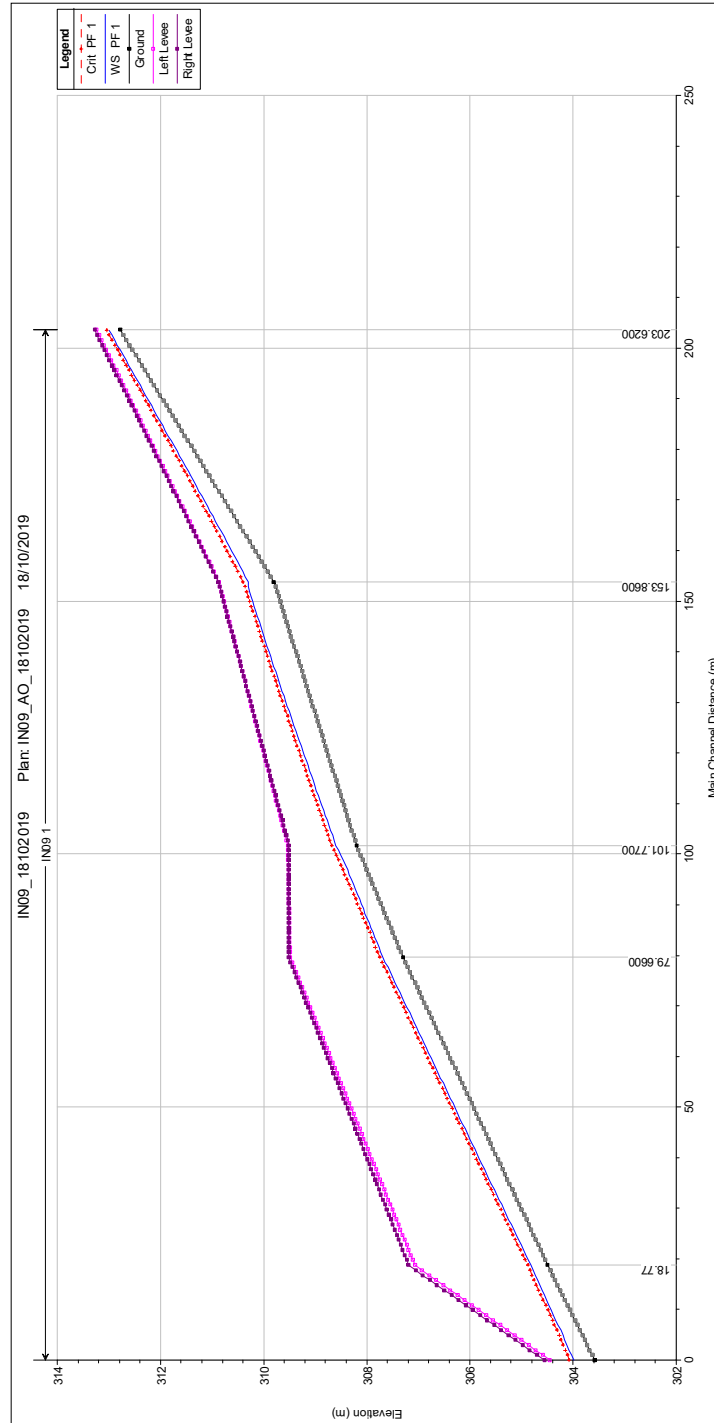


Figura 79: Corso d'acqua IN09_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente.

4.12.2 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.

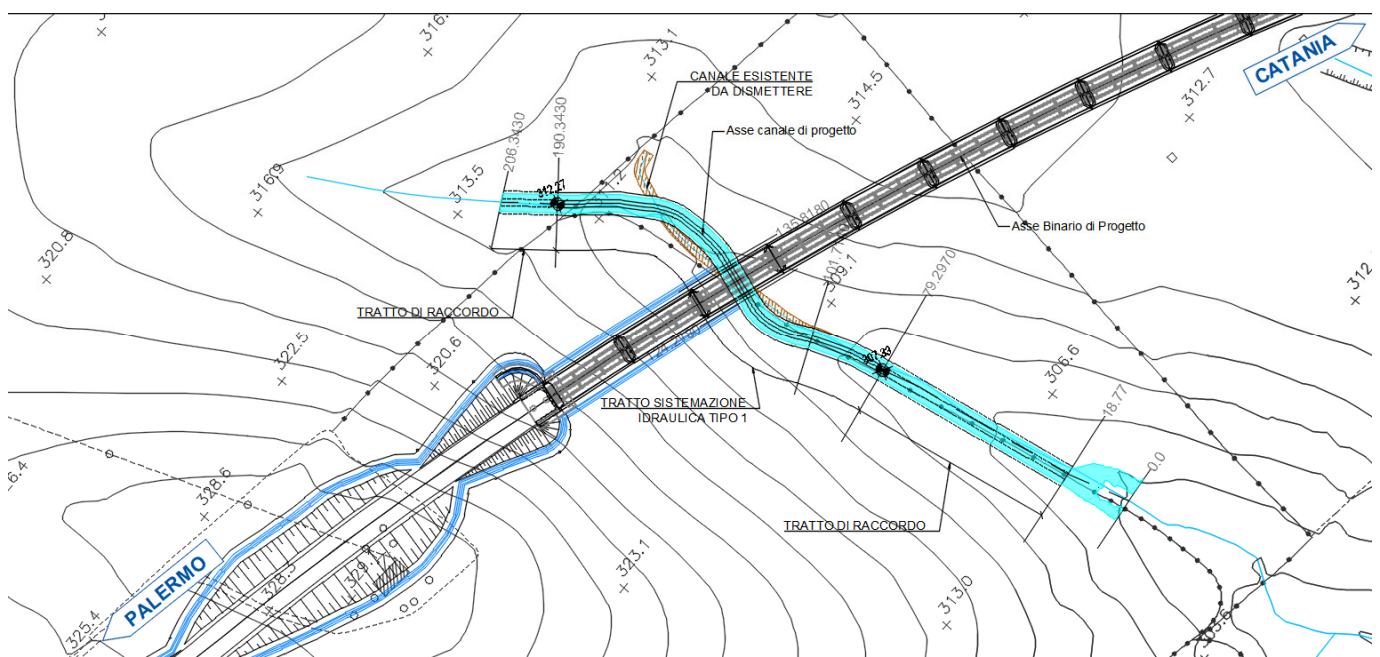


Figura 80: Corso d'acqua IN09_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 4.3 [%] nel tratto a cavallo dell'intervento, a valle e a monte 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 25.0 [m] e intradosso a quota 321.07 [m s.l.m.].

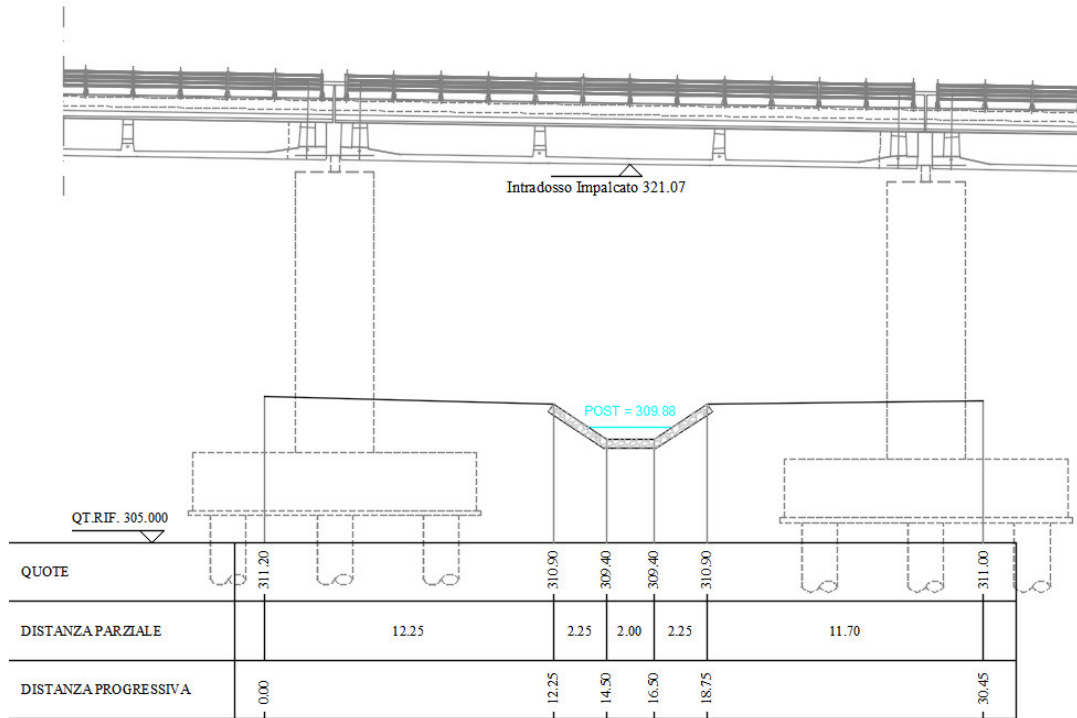


Figura 81: Corso d'acqua alla sezione 124.218_Viadotto VI03.

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

4.12.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
206.343	312.78	313.21	313.05	313.23	0.63	0.35
190.343	312.25	312.82	312.82	313.04	2.08	1

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
155.623	310.75	311.23	311.32	311.57	2.59	1.34
135.818	309.9	310.38	310.47	310.72	2.59	1.34
124.218	309.4	309.89	309.97	310.22	2.57	1.33
101.714	308.44	308.93	309.01	309.26	2.56	1.32
79.297	307.3	307.73	307.87	308.18	2.96	1.6
18.77	304.49	304.81	304.88	305.04	2.13	1.6
0	303.58	303.99	304.07	304.24	2.32	1.4

Tabella 44: Corso d'acqua IN09_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.

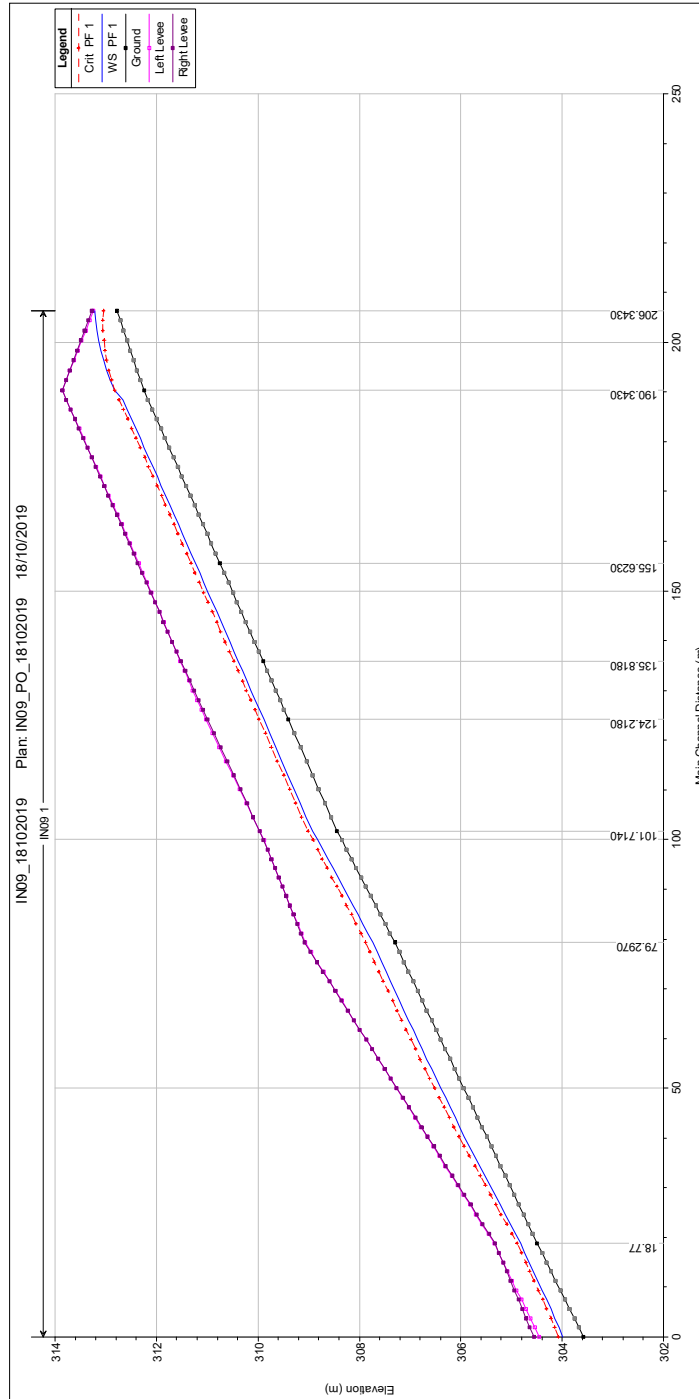


Figura 82: Corso d'acqua IN09_Profilo idrico post operam.

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

4.12.3 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÷2.0 [m] sulla piena duecentennale.

Il Manuale tecnico di progettazione ferroviario prevede invece un franco minimo di 1 [m] rispetto al livello idrico e di 0.5 [m] rispetto al livello energetico della piena di progetto.

Le tabelle seguenti riportano le verifiche eseguite sui corsi d'acqua IN08 e IN09 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. 124.218	309.88	321.07	11.19

Tabella 45: 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. 124.218	310.22	321.07	10.85

Tabella 46: Franco energetico corso d'acqua IN09

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

4.12.4 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 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.50 [m].

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

SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50

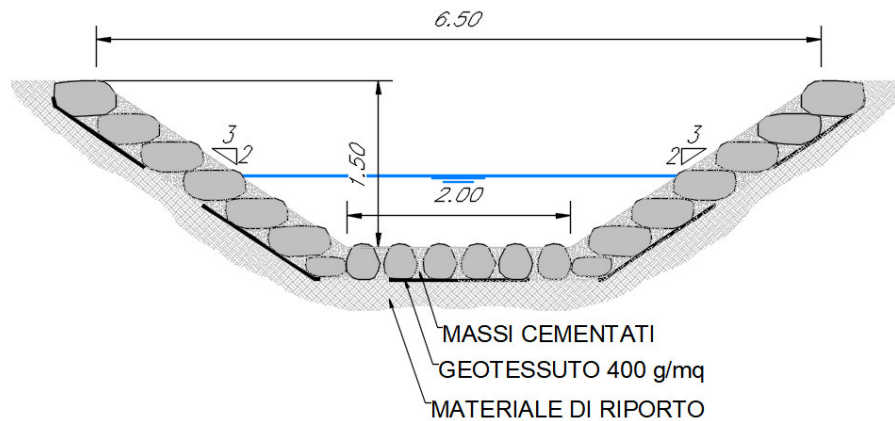


Figura 83: Corso d'acqua IN09_ Sezione tipo sistemazione

4.13 INALVEAZIONE IN11 – OPERA IN11

4.13.1 Descrizione simulazione numerica post operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia immediatamente a valle del piazzale PT02-SSE del quale raccoglie le acque e le recapita in corrispondenza dell'inalveazione IN03 attraversando con un tombino circolare DN1500 la sede ferroviaria esistente.

Le sezioni di studio sono state estratte dal rilievo allegato al progetto.

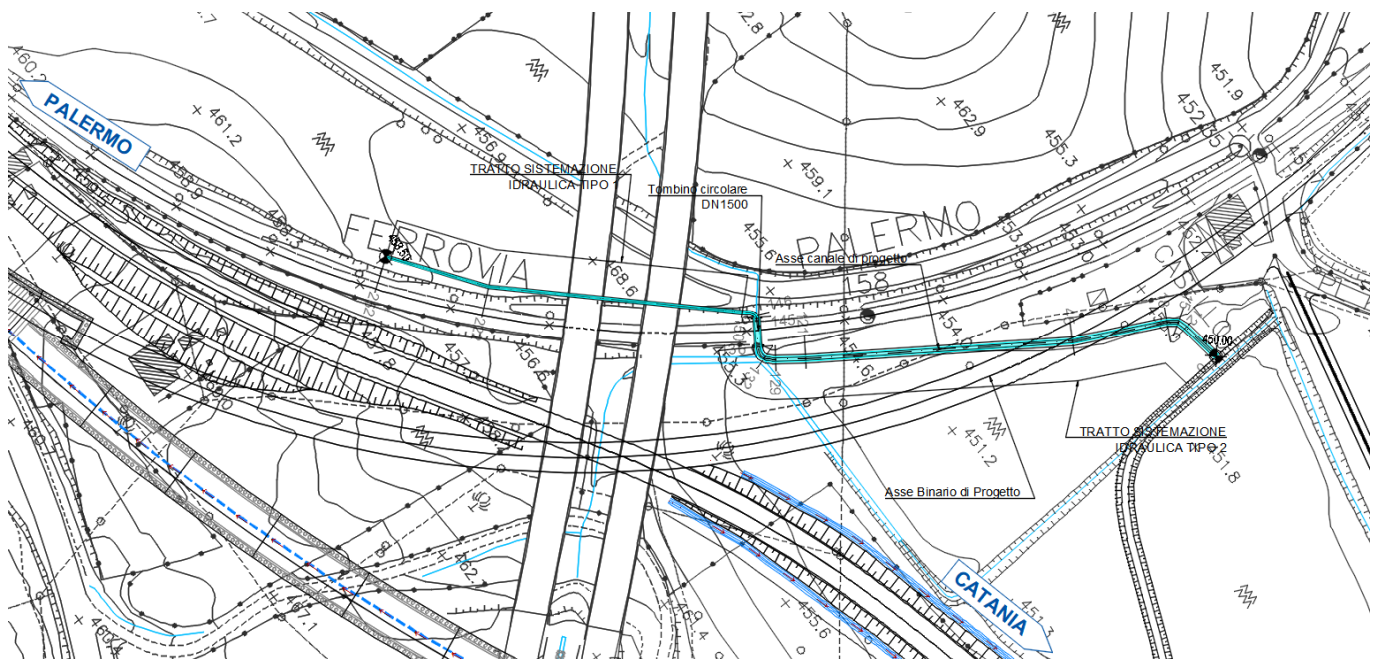


Figura 84: Corso d'acqua IN11_ Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 5.7 [%] nel tratto a monte del manufatto e del 1.4 [%] nel tratto a valle.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno è pari a 0.35 [m³/s] nel tratto iniziale e 3.0 [m³/s] nel tratto a valle dell'intersezione con un corso d'acqua secondario.

4.13.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
252	458.5	458.72	458.87	459.24	3.19	2.17
222	457	457.37	457.37	457.55	1.9	1
150	452.6	453.55	452.97	453.58	0.73	0.24
146	452.3	453.57	452.48	453.57	0.18	0.05
145	452.1	453.45	452.84	453.56	1.48	0.41
140.3	Culvert					
136	452	452.77	452.84	453.17	2.8	1.15
132	451.95	452.43	452.63	453.11	3.66	2.01
129	451.91	452.39	452.6	453.06	3.63	2
121	451.8	452.29	452.49	452.94	3.58	1.96
45	450.7	451.18	451.39	451.85	3.63	1.99
18	450.3	450.78	450.99	451.45	3.63	1.99
15	450.26	450.74	450.95	451.41	3.62	1.98
12	450.2	450.68	450.9	451.37	3.68	2.03
0	450	450.47	450.69	451.18	3.73	2.06

Tabella 47: 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.

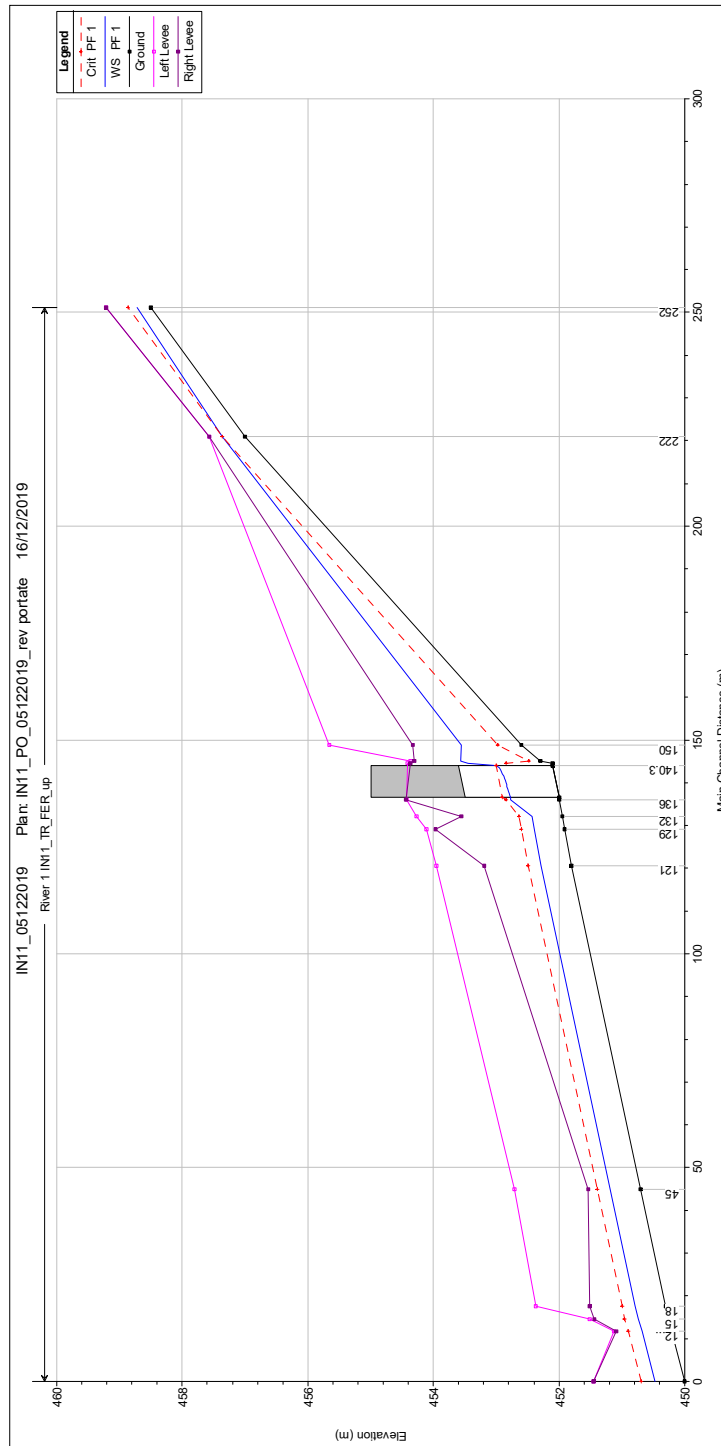


Figura 85: Corso d'acqua IN11_Profilo idrico post operam.

4.13.2 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 [km²], 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.

È 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	452.99	453.60	0.61

Tabella 48: Franco idraulico corso d'acqua IN11.

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

4.13.3 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 1.0 [m] nel tratto di monte pendenza delle sponde 3:2 e una canaletta rettangolare con base 50 [cm] e altezza fino ad 1.0 [m] nel tratto di valle.

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

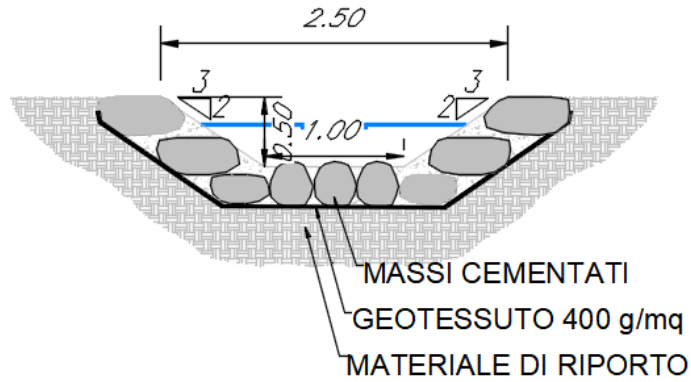


Figura 86: Corso d'acqua IN11_Sezione tipo sistemazione

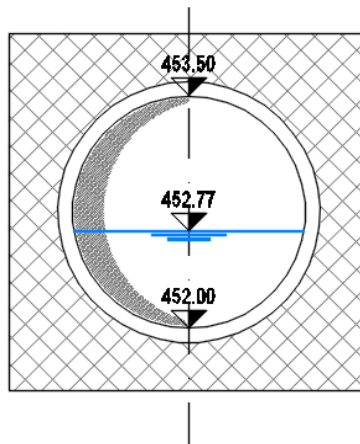


Figura 87: IN11_Sezione uscita manufatto

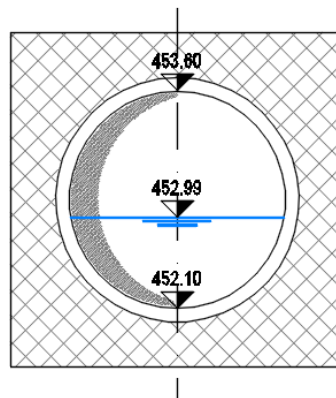


Figura 88: IN11_Sezione ingresso manufatto

4.14 INALVEAZIONE NI02 – OPERA NI02

4.14.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per 200 [m] circa.

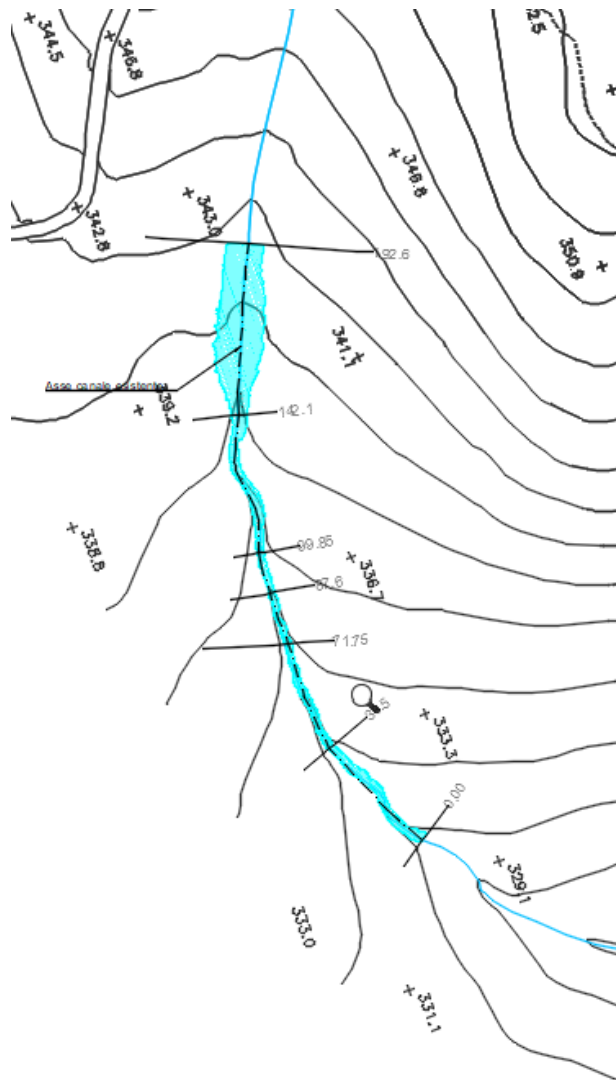


Figura 89: Corso d'acqua NI02_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 6.5 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.20 [m³/s].

4.14.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
192.6	340.82	341.18	341.29	341.51	2.56	1.93
142.1	337.31	337.87	338.01	338.29	3.09	1.67
99.85	334.53	335.1	335.3	335.72	3.49	1.9
87.6	333.57	334.24	334.45	334.89	3.56	1.77
71.75	332.67	333.19	333.39	333.78	3.4	1.92
38.5	330.8	331.51	331.65	331.96	2.96	1.44
0	328.86	329.45	329.65	330.01	3.32	1.8

Tabella 49: Corso d'acqua NI02_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.

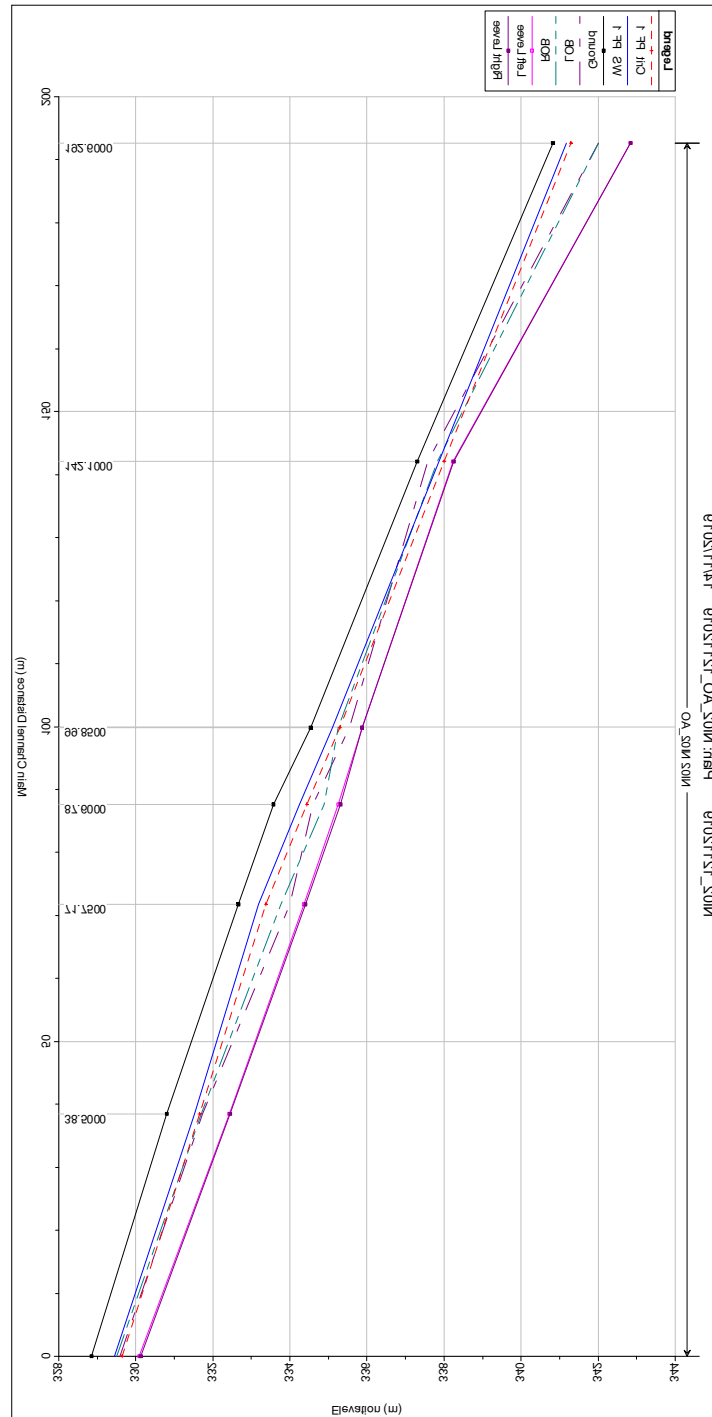


Figura 90: Corso d'acqua NI02_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente.

4.14.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino stradale 2.0x2.00 [m].

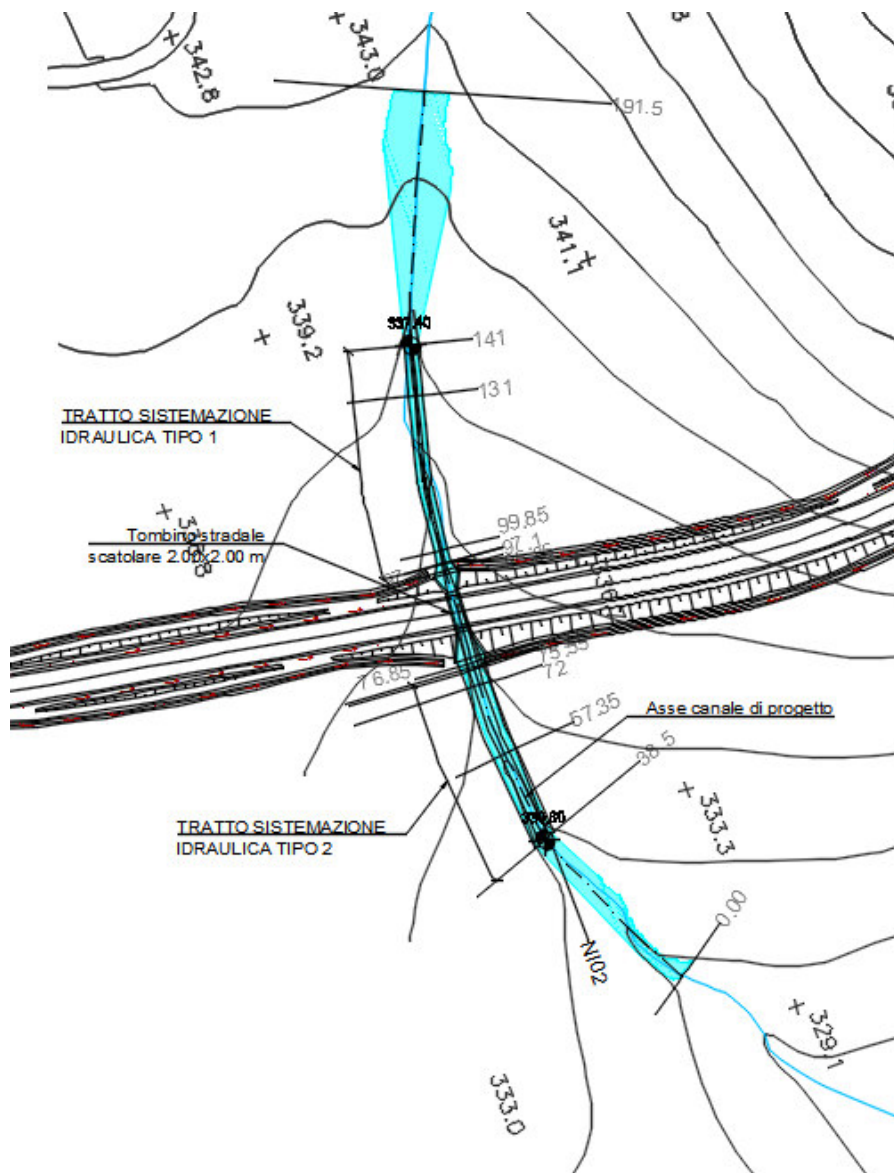


Figura 91: Corso d'acqua NI02_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 6.7 [%] nel tratto a cavallo del tombino. Il manufatto ha pendenza del fondo pari allo 1.0 [%], sono previsti due salti del fondo, uno a monte e uno a valle del manufatto.

4.14.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
191.5	340.82	341.18	341.29	341.51	2.56	1.93
141	337.4	338.09	338.33	338.55	3.01	1.5
131	336.7	337.34	337.57	337.95	3.46	1.78
99.85	334.5	335.18	335.36	335.67	3.1	1.56
97.1	334.2	334.83	335.05	335.46	3.5	1.81
97	333.9	334.14	334.42	335.39	4.95	3.23
95.85	333.81	334.1	334.4	335.34	4.93	2.93
86.35	Culvert					
76.85	333.6	334.05	334.19	334.56	3.19	1.52
75.65	333.5	333.98	334.14	334.55	3.33	1.53
75.55	332.6	332.84	333.15	334.44	5.59	3.9
72	332.35	332.69	332.9	333.4	3.73	2.23
57.35	331.7	332.22	332.25	332.47	2.22	1.11
38.5	330.8	331.2	331.35	331.69	3.1	1.74
0	328.86	329.52	329.65	329.9	2.72	1.4

Tabella 50: Corso d'acqua NI02_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.

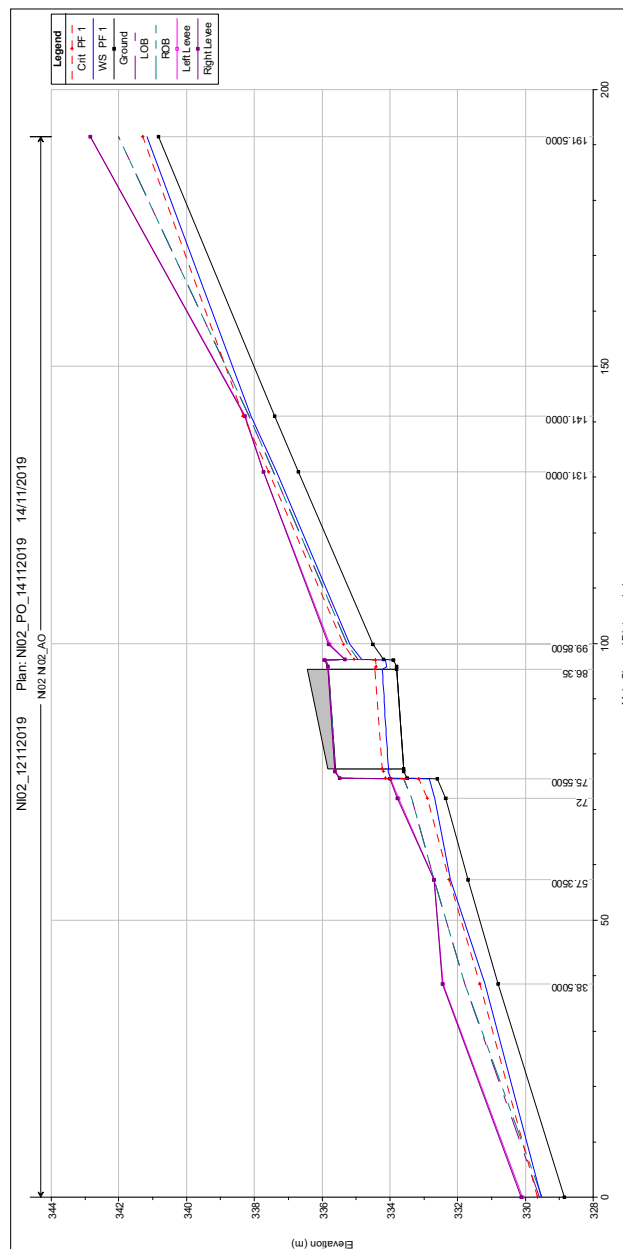


Figura 92: Corso d'acqua NI02_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come lo sono i manufatti progettati.

4.14.3 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 [km²], 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 21 [%] circa.

È 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	334.23	335.81	1.58

Tabella 51: Franco idraulico corso d'acqua NI02

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	335.34	335.81	0.47

Tabella 52: Franco energetico corso d'acqua NI02

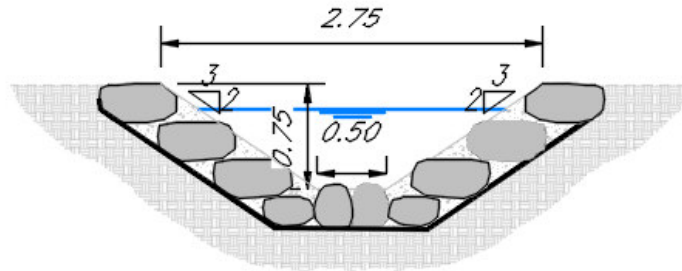
4.14.4 Sistemazione e protezione

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 0.50 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 0.75 [m] e una sezione con base di larghezza pari a 2.00 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.00 [m].

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

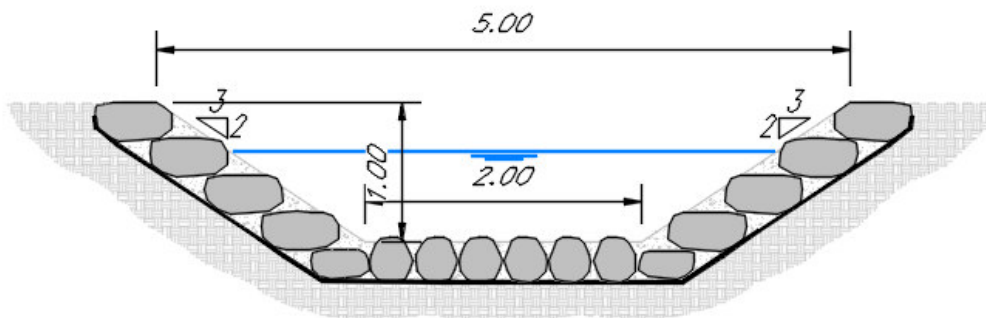


Figura 93: Corso d'acqua NI02_Sezione tipo sistemazione

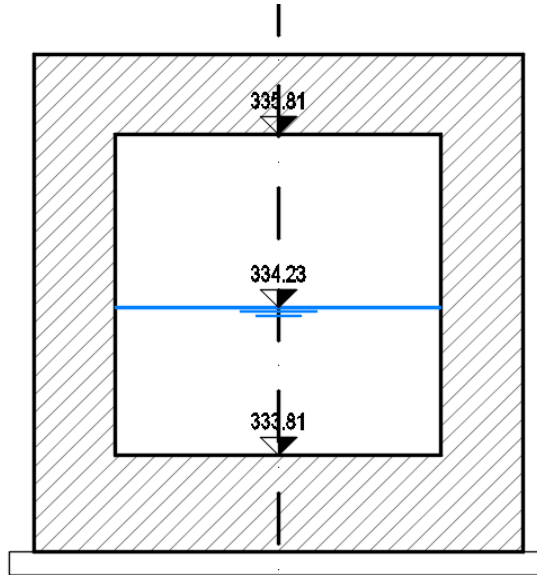


Figura 94: NI02_Sezione ingresso manufatto

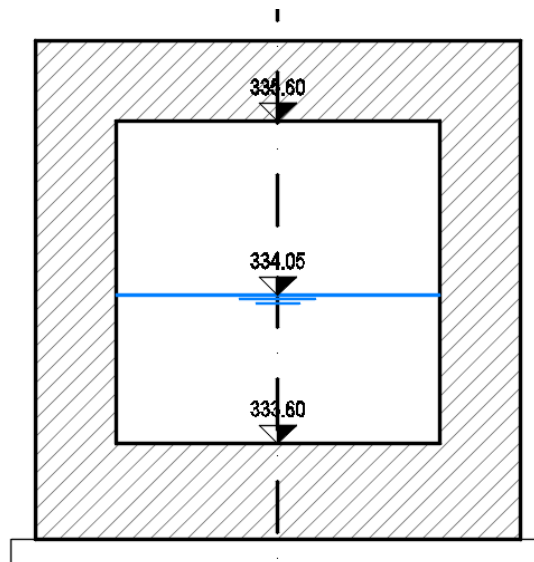


Figura 95: NI02_Sezione uscita manufatto

4.15 INALVEAZIONE NI03 – OPERA NI03

4.15.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto della modellazione inizia circa 170 [m] a monte della confluenza con il canale a valle.

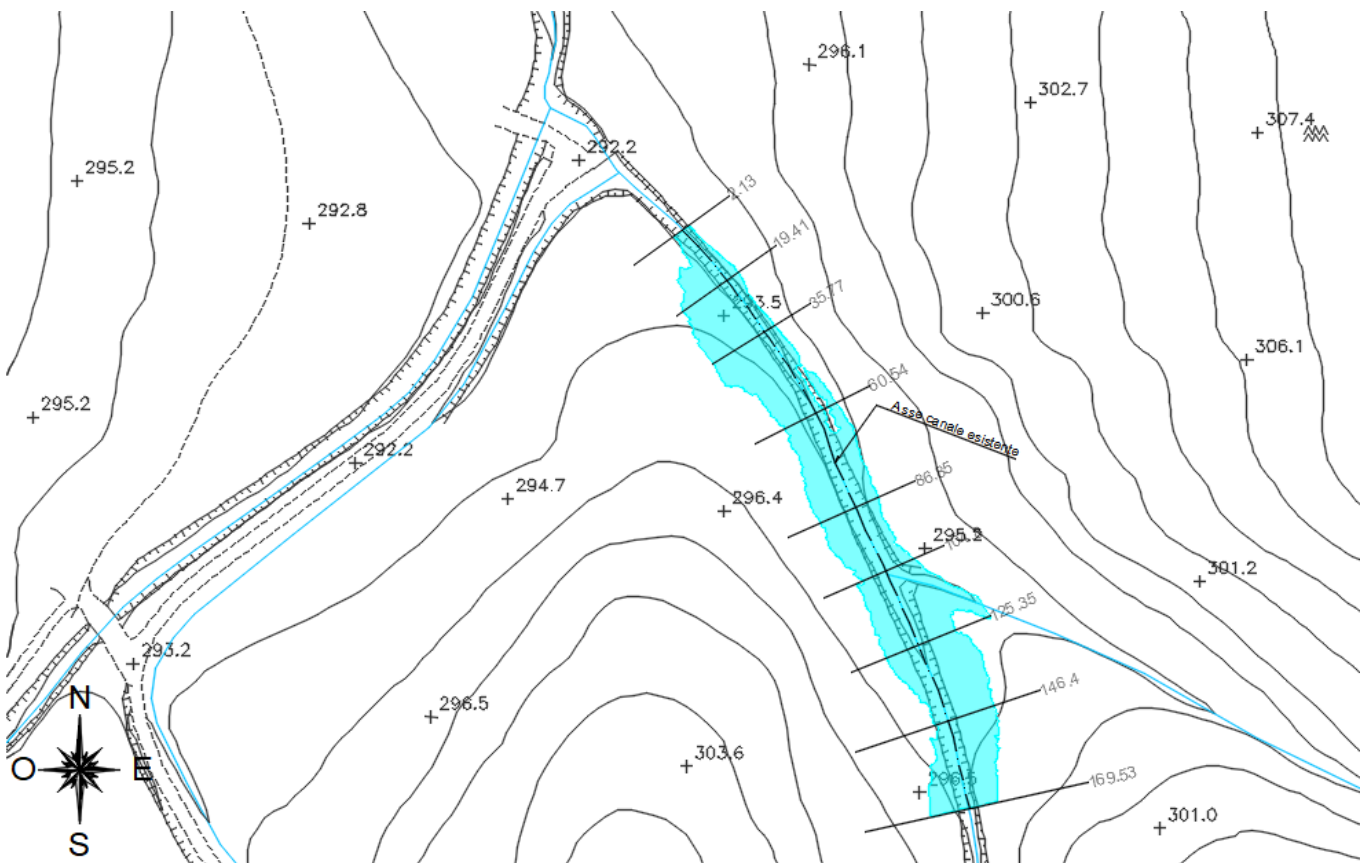


Figura 96: Corso d'acqua NI03_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 2.2 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 7.30 [m³/s].

4.15.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
169.53	295.61	296.25	296.3	296.46	2.18	1.1
146.4	295.01	295.67	295.75	295.93	2.43	1.24
125.35	294.69	295.27	295.29	295.45	2.04	1.06
104.8	294.04	294.78	294.85	295.03	2.29	1.14
86.85	293.51	294.42	294.5	294.68	2.32	1.05
60.54	292.94	293.83	293.96	294.19	2.67	1.09
35.77	292.7	293.44	293.51	293.69	2.52	1.12
19.41	292.42	293.29	293.32	293.48	2.07	0.86
2.13	291.83	292.67	292.79	293.16	3.09	1.33

Tabella 53: Corso d'acqua NI03_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.

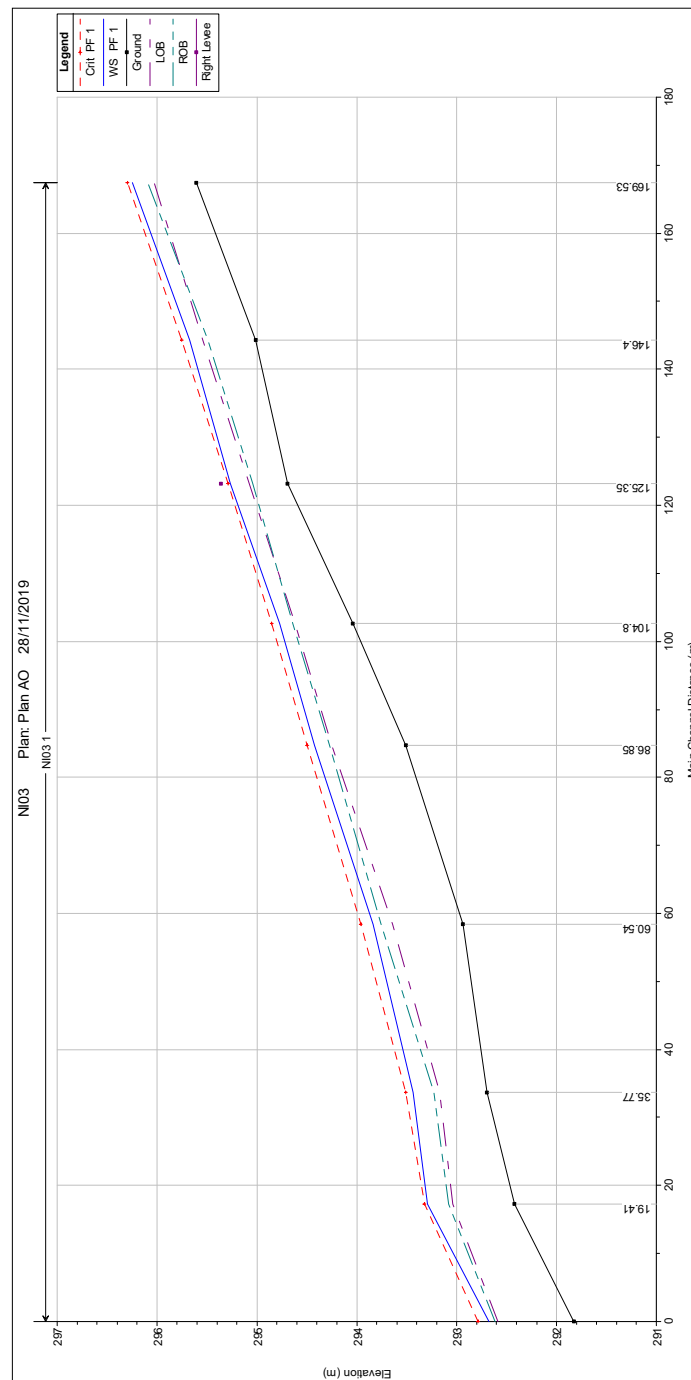


Figura 97: Corso d'acqua NI03_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è per lo più idraulicamente insufficiente.

4.15.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino stradale 4.0x3.0 [m].

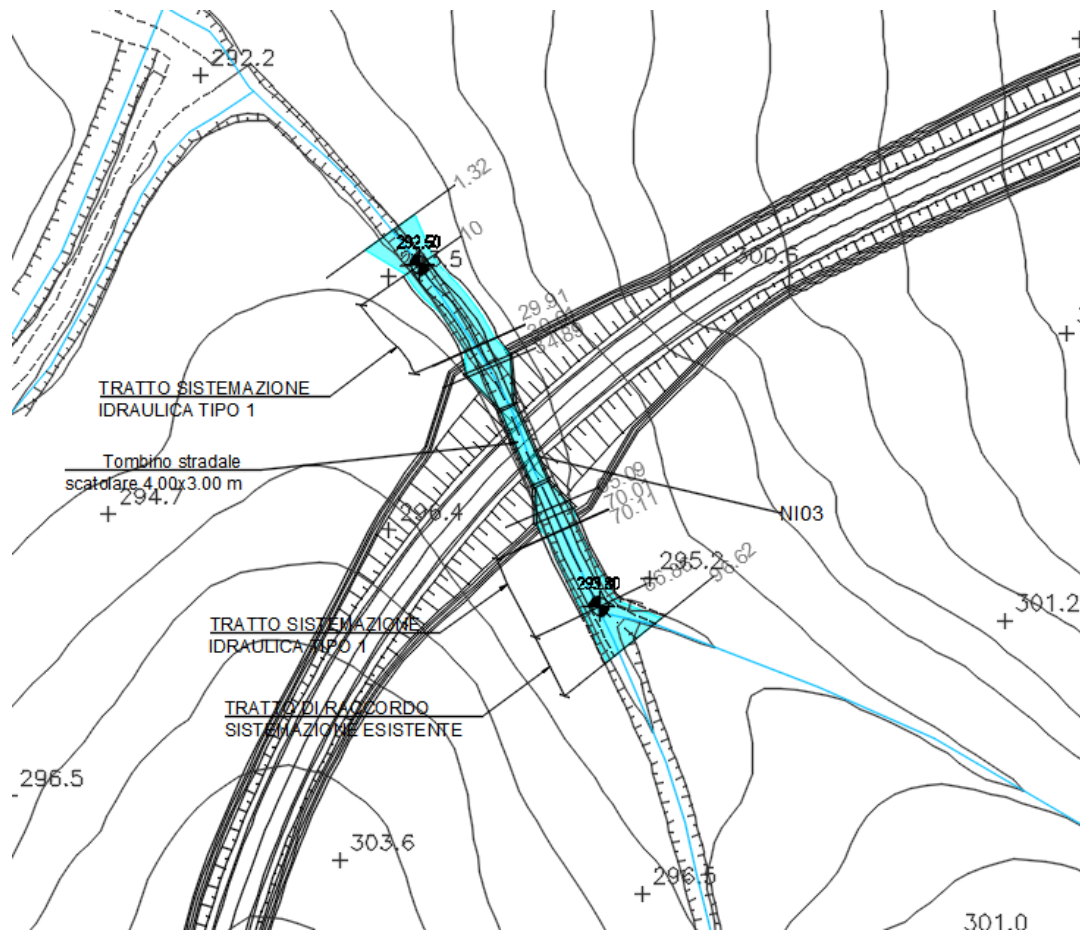


Figura 98: Corso d'acqua NI03_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 1.2 [%] nel tratto a cavallo del tombino. Il manufatto ha pendenza del fondo pari allo 1.2 [%].

4.15.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
96.62	294.56	295.05	295.09	295.26	2.09	1.09
86.86	293.8	294.64	294.68	295.03	2.75	1.08
70.11	293	294.78	293.88	294.83	1.01	0.28
70.01	293.25	294.79	293.83	294.83	0.9	0.23
65.09	293.2	294.62	294.12	294.81	1.95	0.52
50	Culvert					
34.89	292.9	293.61	293.82	294.38	3.88	1.47
30.01	292.8	293.99	293.38	294.06	1.16	0.34
29.91	292.8	293.75	293.68	294.04	2.37	0.88
10	292.5	293.46	293.38	293.74	2.34	0.87
1.32	292.42	293.45	293.45	293.61	2.15	0.76

Tabella 54: Corso d'acqua NI03_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.

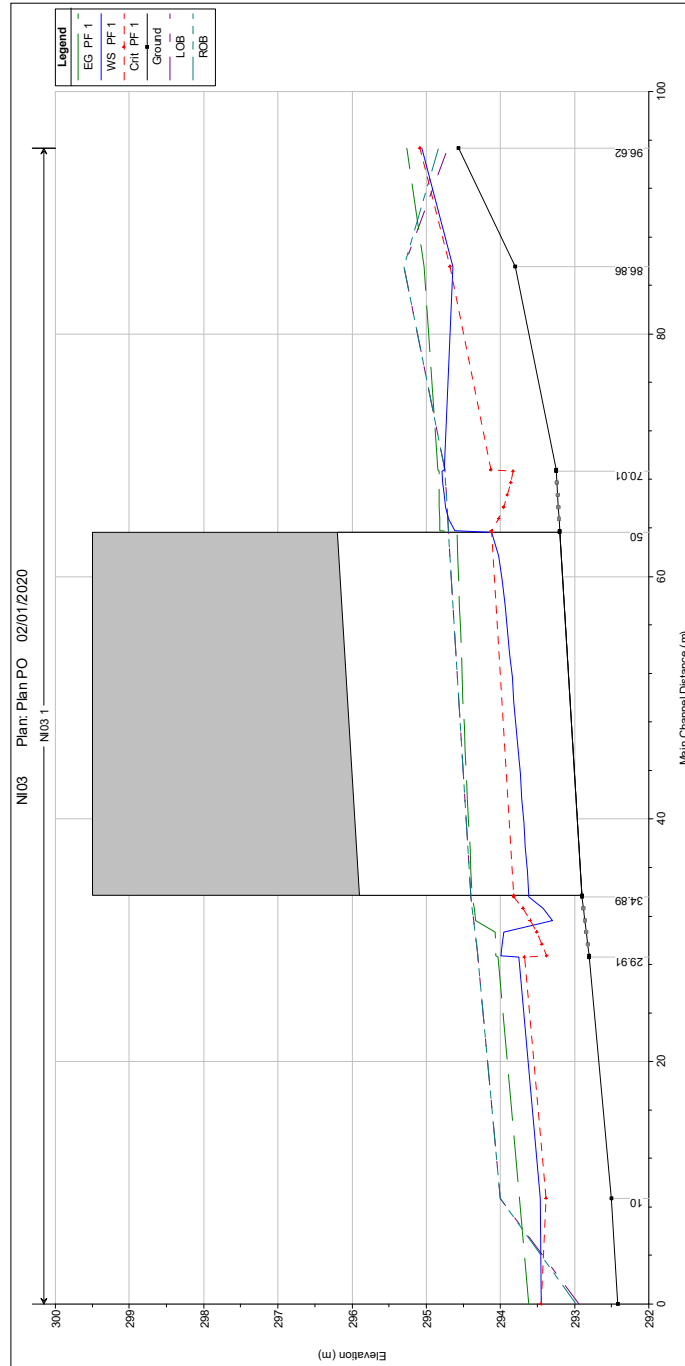


Figura 99: Corso d'acqua NI03_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.15.3 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 [km²], 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 31 [%] circa.

È 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	294.12	296.2	2.08

Tabella 55: Franco idraulico corso d'acqua NI03

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	294.58	296.2	1.62

Tabella 56: Franco energetico corso d'acqua NI03

4.15.4 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 pari a 2.0 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 2.0 [m].

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

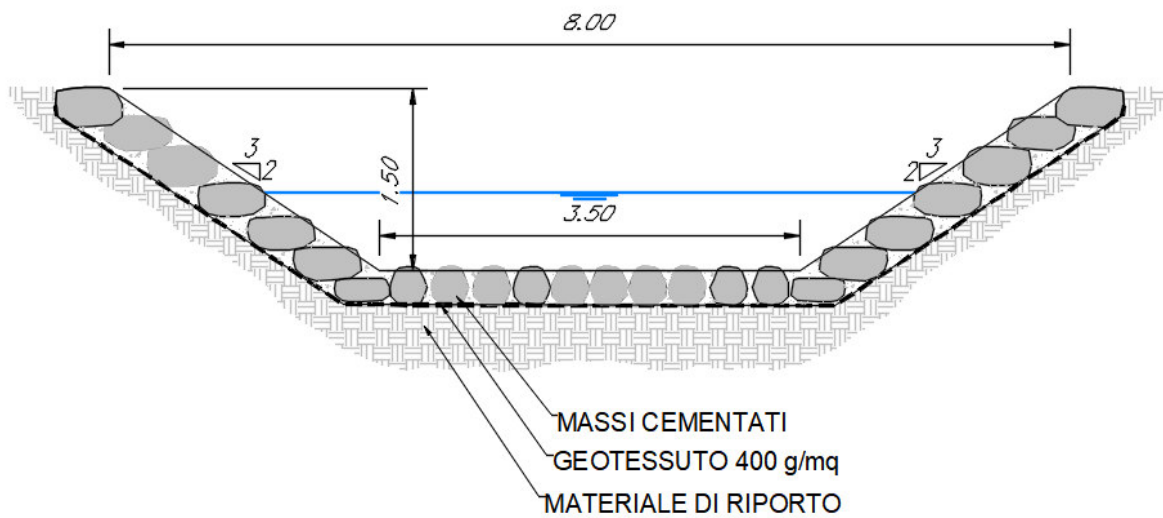


Figura 100: Corso d'acqua NI03_Sezione tipo sistemazione

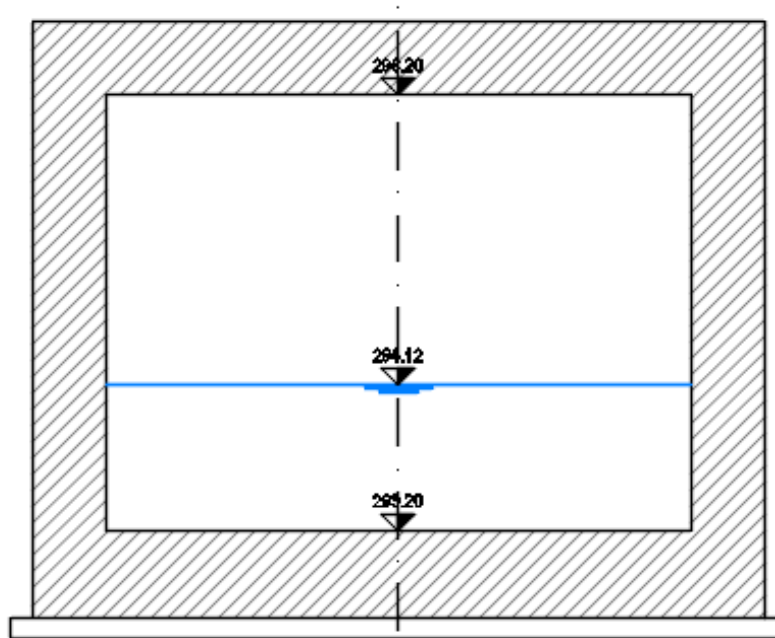


Figura 101: NI03_Sezione ingresso manufatto

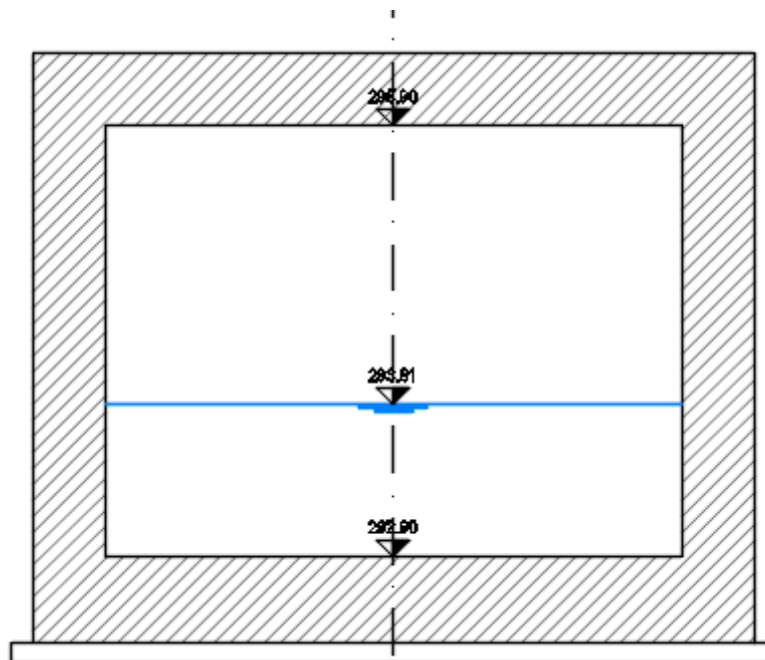


Figura 102: NI03_Sezione uscita manufatto

4.16 INALVEAZIONE NI04

4.16.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica inizia parallelamente alla viabilità NV12, presenta un manufatto in progetto nel lotto adiacente 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.

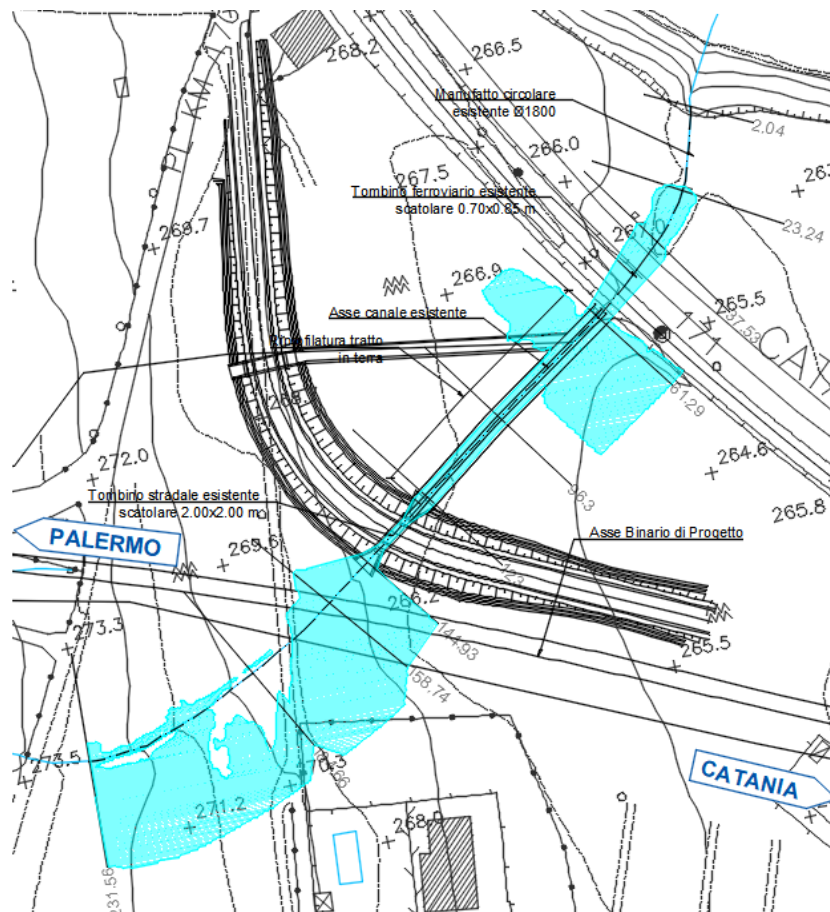


Figura 103: Corso d'acqua NI04_Configurazione ante operam

L'opera di attraversamento prevista è il tombino idraulico di luce 2.0 x 2.0 [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 [%]. La portata di calcolo corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 4.58 [m³/s].

4.16.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z _f	h	h _c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
231.56	271.99	272.11	272.11	272.13	0.28	0.34
184.66	269.9	270.03	270.03	270.06	0.16	0.25
158.74	268.23	268.3	268.3	268.32	0.21	0.3
144.93	265.98	267.66	266.87	267.7	0.91	0.28
144	Culvert					
123	6.1	266.78	266.67	267	2.07	0.81
96.3	6.1	266.41	266.38	266.69	2.35	0.96
61.29	6.1	266.51	265.86	266.52	0.22	0.06
50	Culvert					
37.53	6.1	264.98	264.98	265.12	1.7	1.01
23.24	6.1	264.71	264.71	264.91	1.98	1.02
5	Culvert					
2.04	262.87	263.84	263.84	264.13	2.37	1

Tabella 57: Corso d'acqua NI04_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.

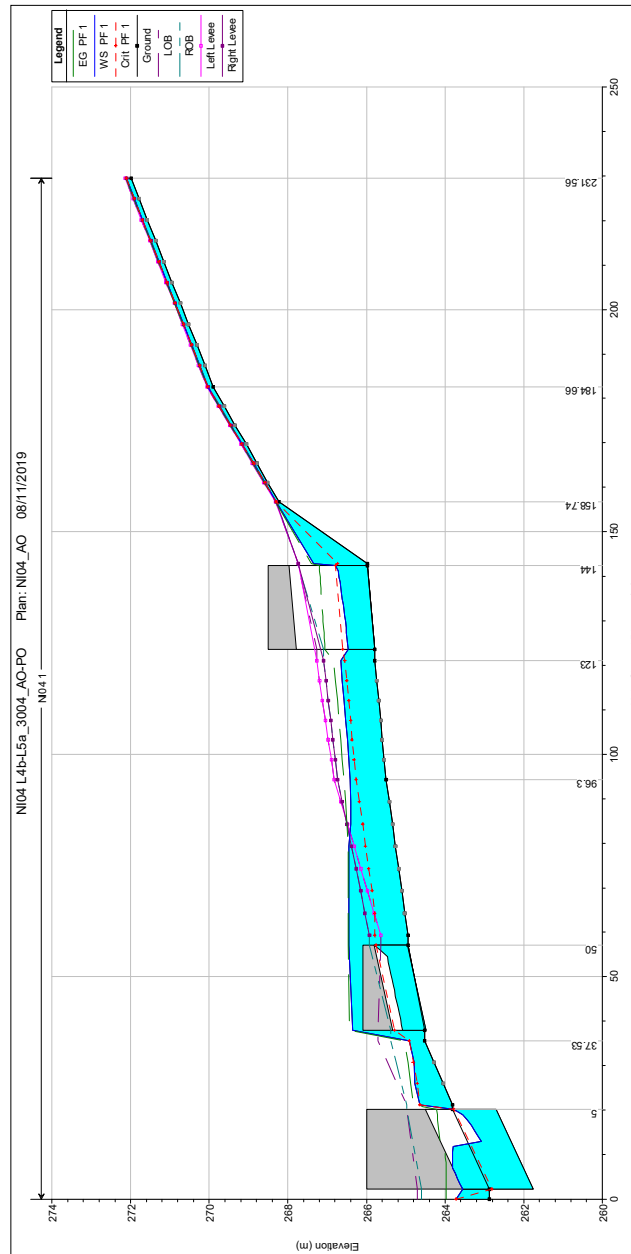


Figura 104: Corso d'acqua NI04_Profilo idrico ante operam.

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.

4.16.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera è esclusivamente di sistemazione a monte del tombino (realizzato nel lotto precedente).

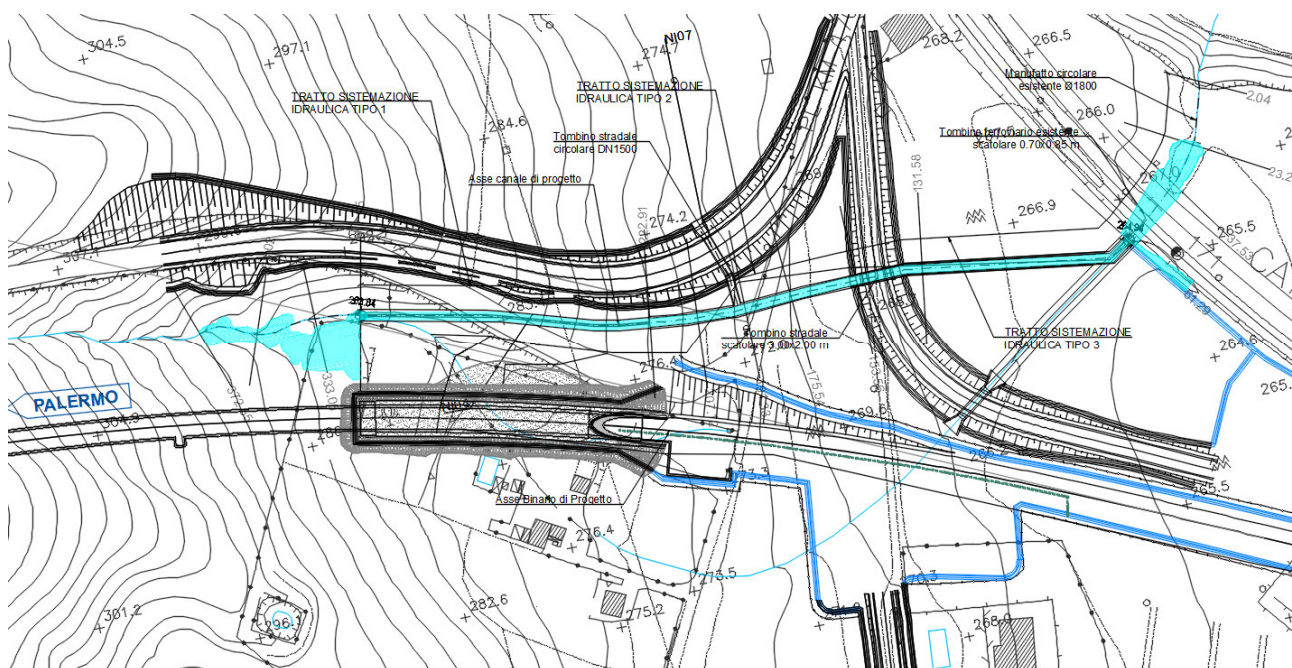


Figura 105: Corso d'acqua NI04_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 9 [%] nel tratto a monte, sono presenti una serie di salti di fondo e nel tratto di valle la pendenza assume valori prossimi allo 1.0 [%].

4.16.2.1 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 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	hc	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
372.55	290	290.78	290.89	291.17	2.79	1.49

Sezione	zf	h	hc	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
353.02	287.6	288.13	288.39	289	4.13	2.33
333.05	285.19	285.43	285.56	286	3.76	2.85
317.95	283.84	284.84	284.84	284.85	0.36	0.15
223.01	274.75	275.51	275.75	276.44	4.28	1.99
222.91	273.74	274.05	274.49	276.29	6.64	3.83
207.12	272.33	272.89	273.08	273.56	3.64	1.55
191.33	269.91	270.47	270.66	271.14	3.6	1.53
175.54	267.5	268.56	268.25	268.74	1.93	0.6
153.56	267.22	268.35	267.97	268.51	1.81	0.54
140	Culvert					
136	267	267.7	267.74	268.13	2.91	1.11
131.58	266	266.36	266.75	268	5.67	3.03
61.29	264.94	266.88	265.69	266.94	1.05	0.24
50	Culvert					
37.53	264.52	265.01	264.98	265.13	1.51	0.87
23.24	263.81	264.71	264.71	264.91	1.98	1.02
5	Culvert					
2.04	262.87	263.84	263.84	264.13	2.38	1.01

Tabella 58: Corso d'acqua NI04_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.

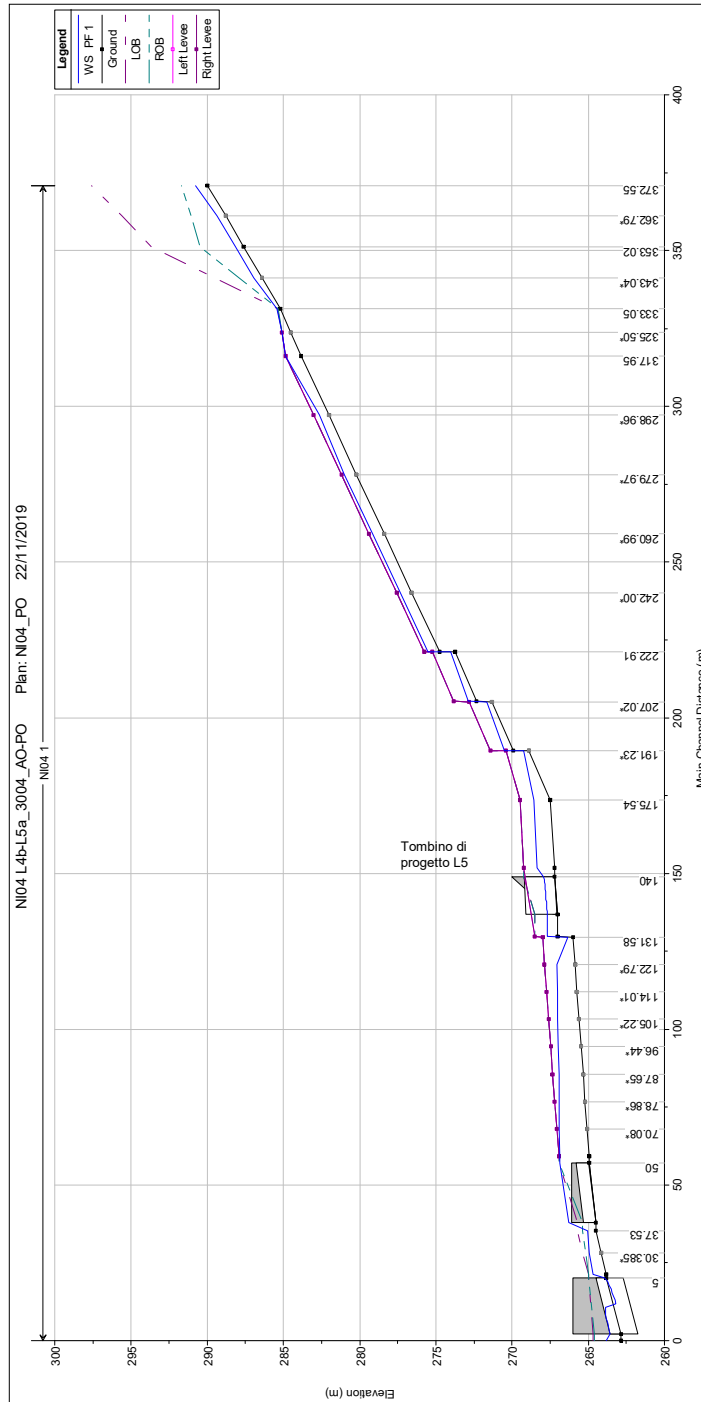


Figura 106: Corso d'acqua NI04_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.16.3 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 [km²], 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 37 [%] circa.

È 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	267.94	269.2	1.26

Tabella 59: Franco idraulico corso d'acqua NI04

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	268.51	269.2	0.69

Tabella 60: Franco energetico corso d'acqua NI04

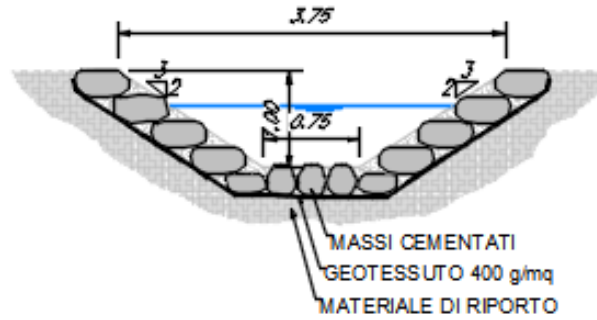
4.16.4 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede oltre alla deviazione planimetrica anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo sezioni rettangolari con base di larghezza pari a 3.0 [m] e altezza variabile da 1.50 [m] a 2.00 [m] a monte è prevista una sezione trapezia con base di 0.75 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.0 [m].

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

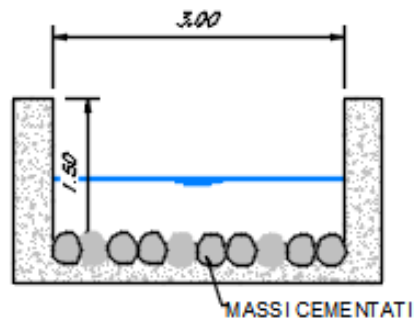
SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 1

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 2

Scala 1:50



SISTEMAZIONE IDRAULICA SEZIONE TIPO 3

Scala 1:50

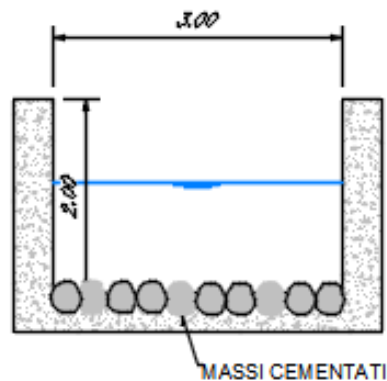


Figura 107: Corso d'acqua NI04_Sezione tipo sistemazione

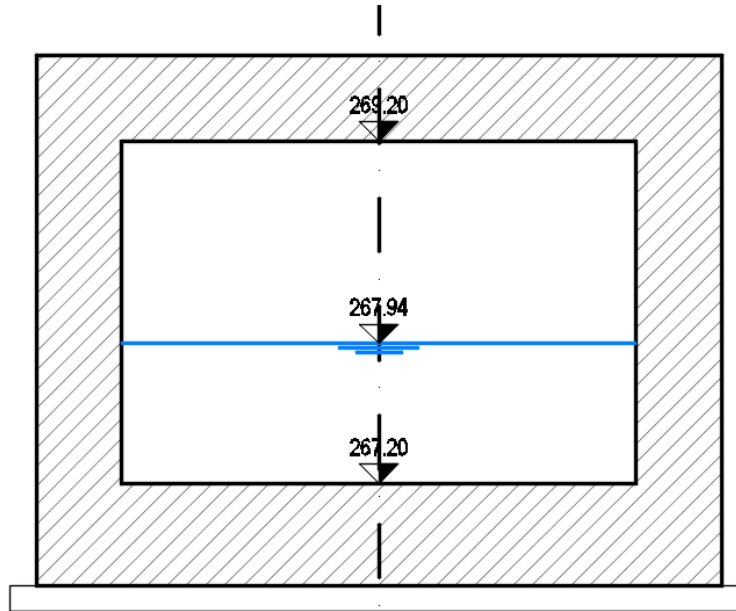


Figura 108: NI04_Sezione ingresso manufatto

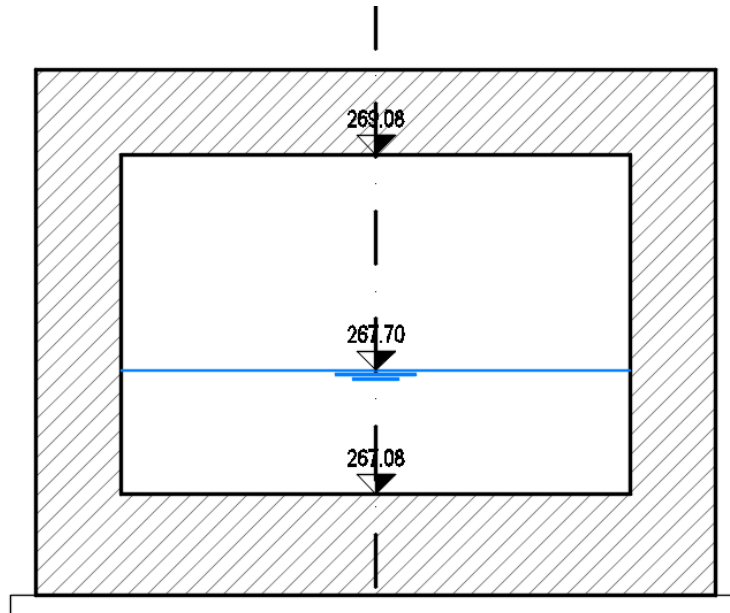


Figura 109: NI04_Sezione uscita manufatto

4.17 INALVEAZIONE NI05 – OPERA NI05

4.17.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 300 [m].

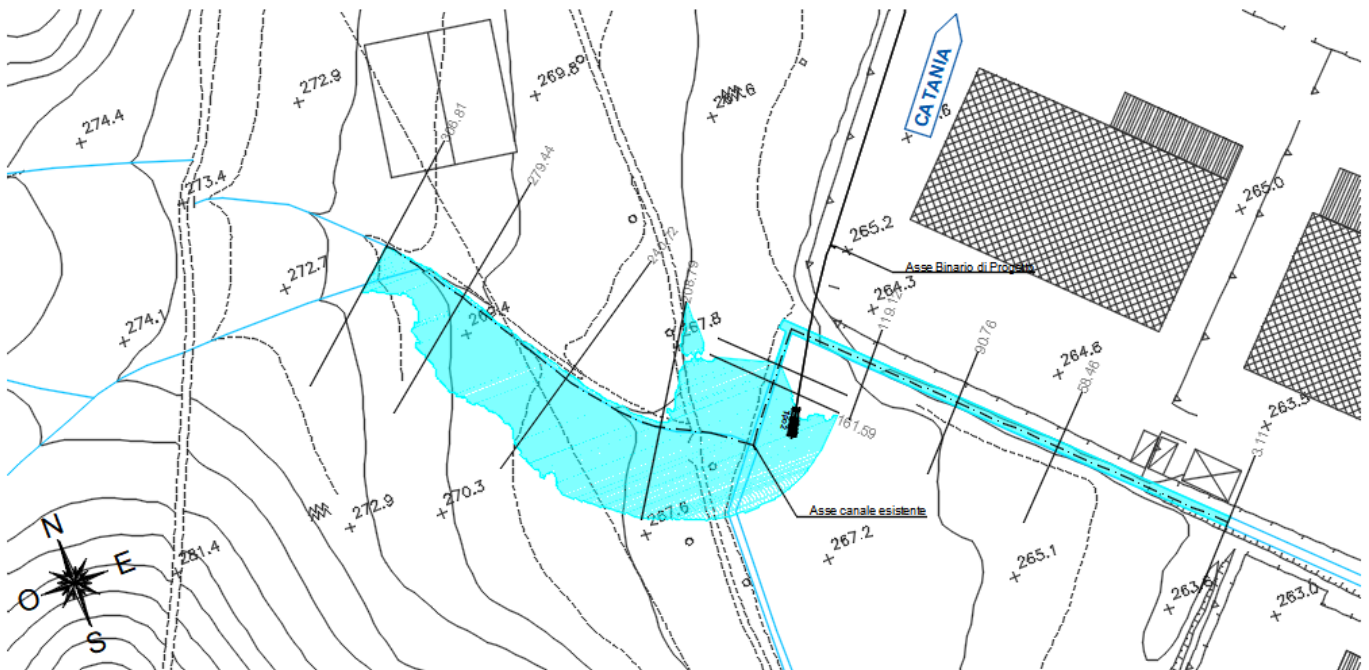


Figura 110: Corso d'acqua NI05_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 6.0 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 7.30 [m³/s].

4.17.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
306.81	270.55	270.98	271.03	271.18	1.96	1.25
279.44	269.53	270.13	270.17	270.29	1.75	1.28
240.72	268.5	268.97	269.01	269.13	1.83	1.17
208.79	267.65	268.04	268.07	268.17	2.02	1.32
161.59	266.71	267.35	267.35	267.46	1.79	0.87
119.12	264.01	264.68	265.09	266.14	5.36	2.45
90.76	263.16	264.3	264.32	264.72	2.86	1.04
58.46	262.17	263.65	263.33	263.84	1.95	0.63
3.11	262.02	263.48	263	263.56	1.25	0.45

Tabella 61: Corso d'acqua NI05_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.

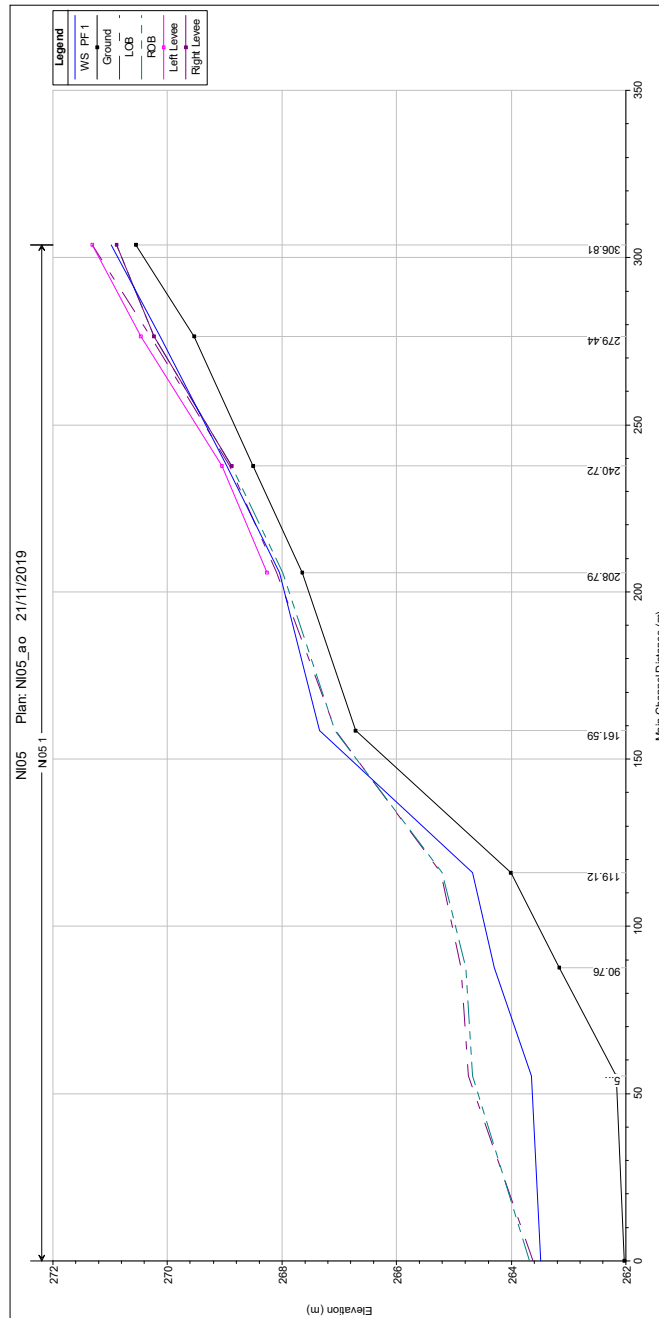


Figura 111: Corso d'acqua NI05_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente per quasi tutto il tratto di monte, mentre in corrispondenza del canale arginato di valle la piena è contenuta all'interno di quest'ultimo.

4.17.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino stradale 3.0 x 2.0 [m].

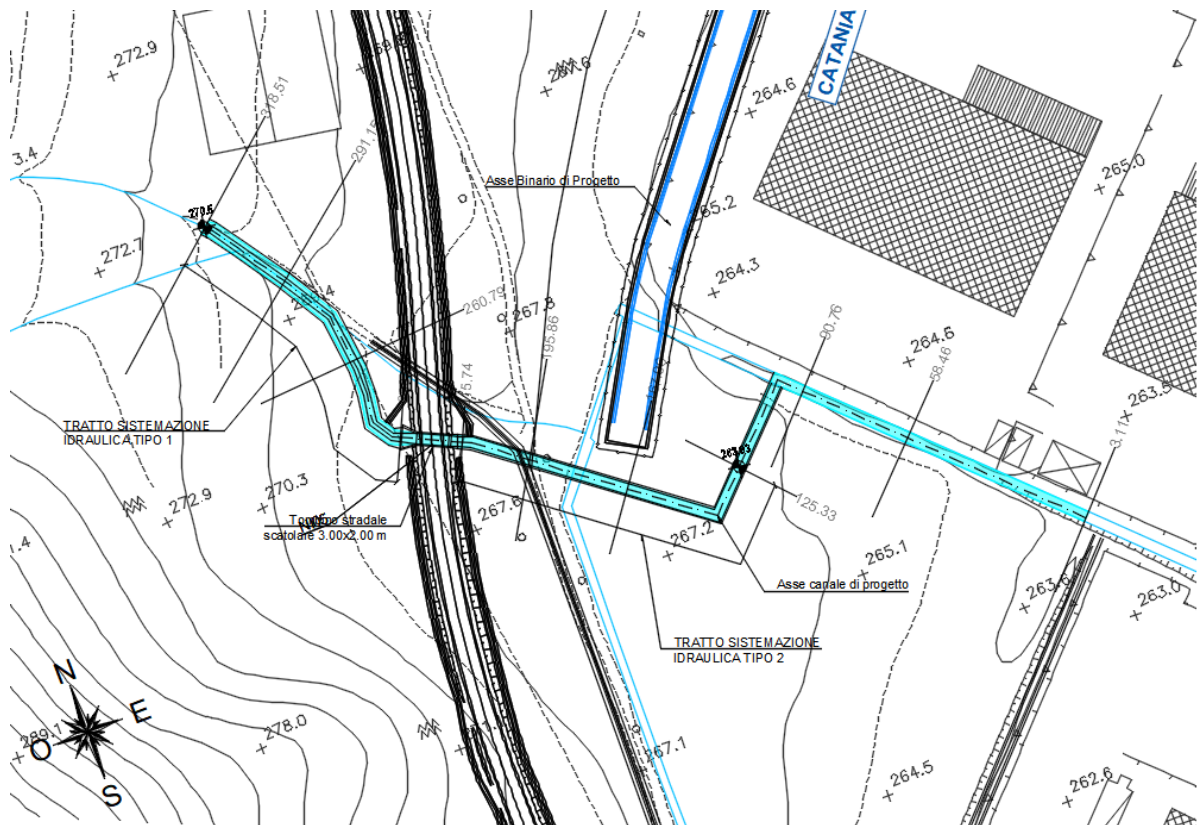


Figura 112: Corso d'acqua NI05_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 2.0 [%] nel tratto di monte dove sono previsti una serie di salti di fondo. A valle la pendenza si attesta intorno allo 0.2 [%].

4.17.2.1 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 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	hc	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
318.51	270.55	270.99	271.03	271.17	1.93	1.24
291.15	268.91	269.64	269.79	270.17	3.21	1.39
260.79	267.34	268.22	268.22	268.54	2.51	1.01
233.25	265.82	267.03	266.82	267.29	2.24	0.73
230	Culvert					
215.74	265.58	266.26	266.42	266.92	3.6	1.4
195.86	265.19	266.21	266.03	266.5	2.39	0.76
167.06	264.64	265.58	265.48	265.92	2.58	0.85
125.33	263.83	265.01	264.67	265.23	2.05	0.6
90.76	263.16	264.32	264.32	264.72	2.77	1
58.46	262.17	263.65	263.33	263.84	1.95	0.63
3.11	262.02	263.48	263	263.56	1.25	0.45

Tabella 62: Corso d'acqua NI05_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.

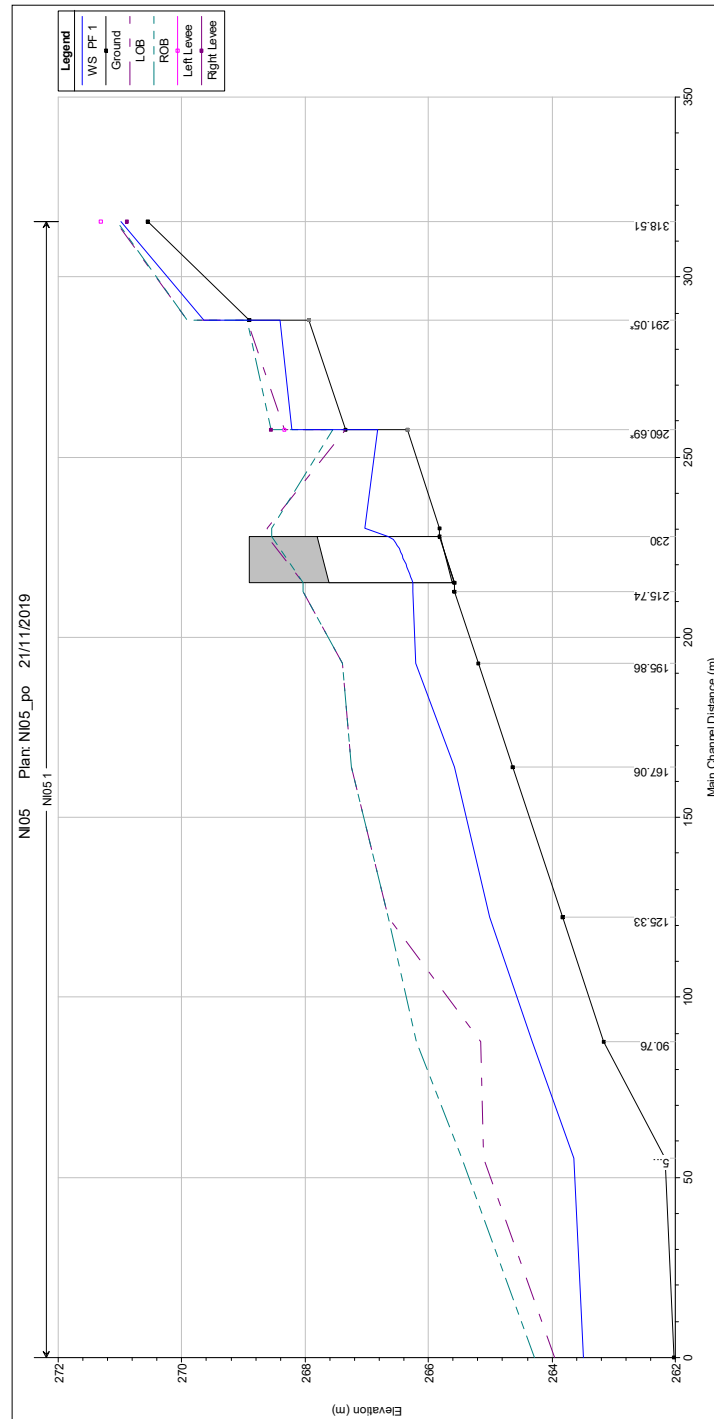


Figura 113: Corso d'acqua NI05_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.17.3 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 [km²], 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 [%] circa.

È 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	266.66	267.81	1.15

Tabella 63: Franco idraulico corso d'acqua NI05

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	267.08	267.81	0.73

Tabella 64: Franco energetico corso d'acqua NI05

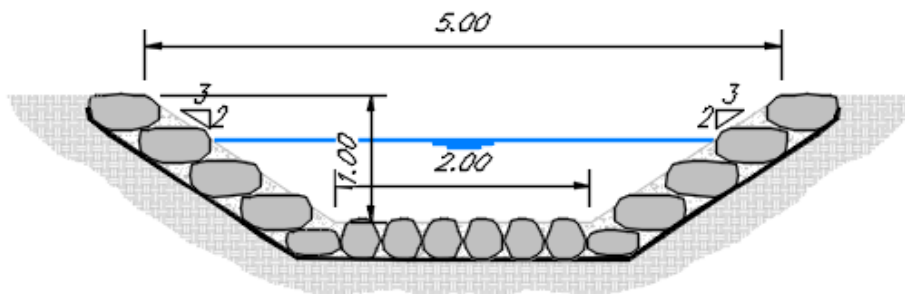
4.17.4 Sistemazione e protezione

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 1.0 [m] mentre a valle si prevede una sezione ad U in cls 3.0 x 2.20 [m].

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

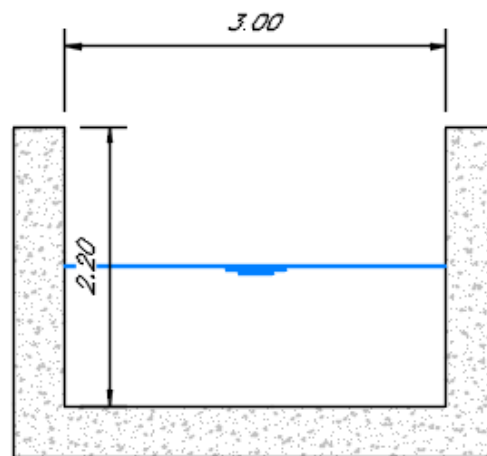


Figura 114: Corso d'acqua NI05_Sezione tipo sistemazione

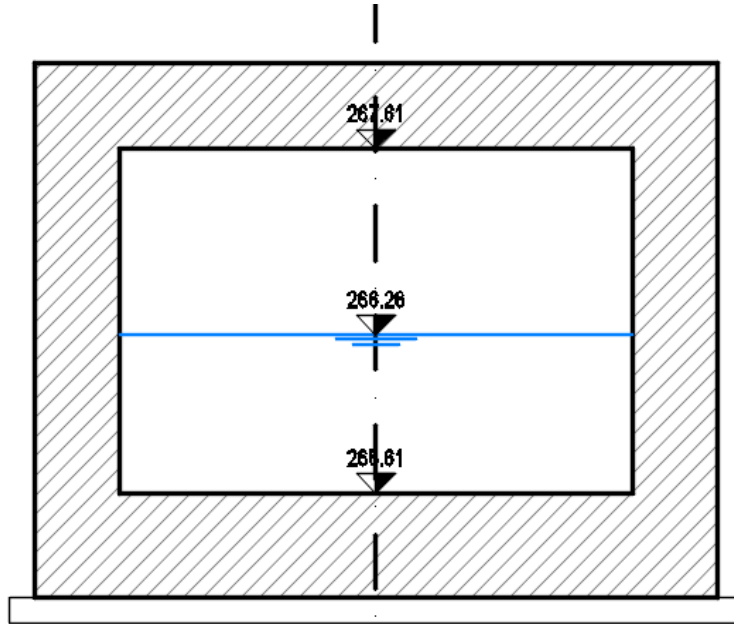


Figura 115: NI05_Sezione uscita manufatto

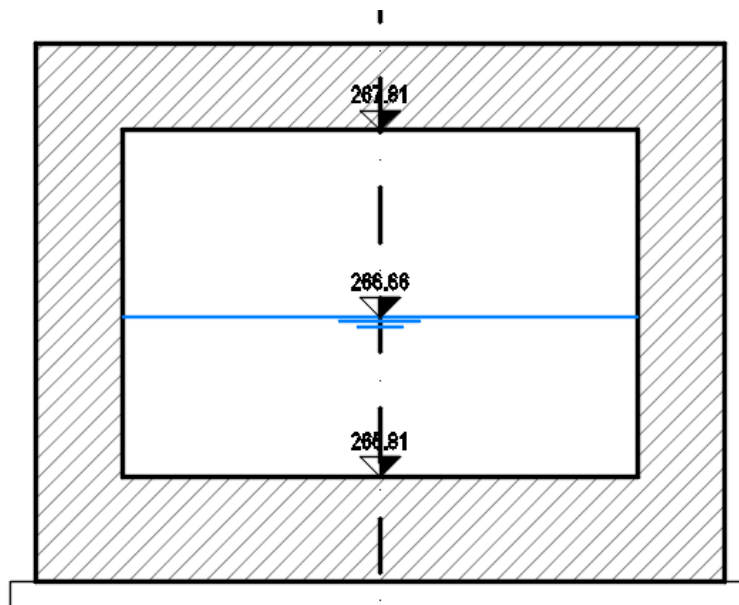


Figura 116: NI05_Sezione ingresso manufatto

4.18 INALVEAZIONE NI06 – OPERA NI06

4.18.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 300 [m].

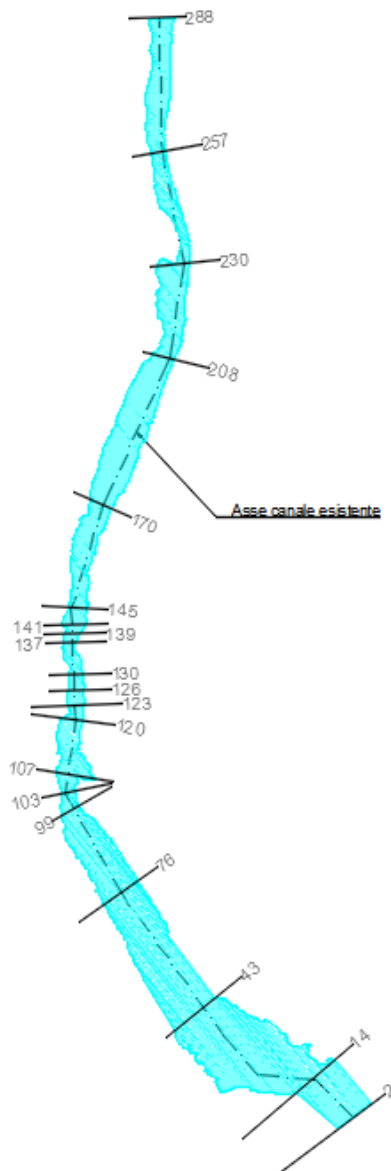


Figura 117: Corso d'acqua NI06_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 8.0 [%]. La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 2.6 [m³/s].

4.18.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
288	289.74	290.03	290.17	290.58	3.69	2.38
257	286.1	286.59	286.79	287.25	3.58	2.25
230	284.08	284.47	284.58	284.82	2.82	1.91
208	282.17	282.65	282.78	283.08	2.9	1.98
170	279.81	280.23	280.33	280.54	2.46	1.64
145	277.8	278.14	278.3	278.66	3.19	2.27
141	277.54	277.89	278	278.24	2.63	1.91
139	277.19	277.56	277.71	278.05	3.11	2.12
137	276.65	276.99	277.19	277.79	3.97	2.67
130	276.3	276.78	276.88	277.12	2.57	1.48
126	276.26	276.78	276.81	276.99	2.03	1.11
123	275.99	276.35	276.49	276.83	3.09	2.1
120	275.68	276.03	276.19	276.54	3.18	2.06
107	274.63	274.87	274.96	275.18	2.66	2.27
103	273.65	274.02	274.21	274.66	3.56	2.34
99	273.25	273.54	273.7	274.12	3.37	2.59
76	271.95	272.18	272.22	272.34	1.82	1.41

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
43	270.26	270.58	270.63	270.74	1.77	1.52
14	268.3	268.76	268.83	268.96	1.99	1.72
2	266.72	266.82	266.91	267.25	2.9	3.59

Tabella 65: Corso d'acqua NI06_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.

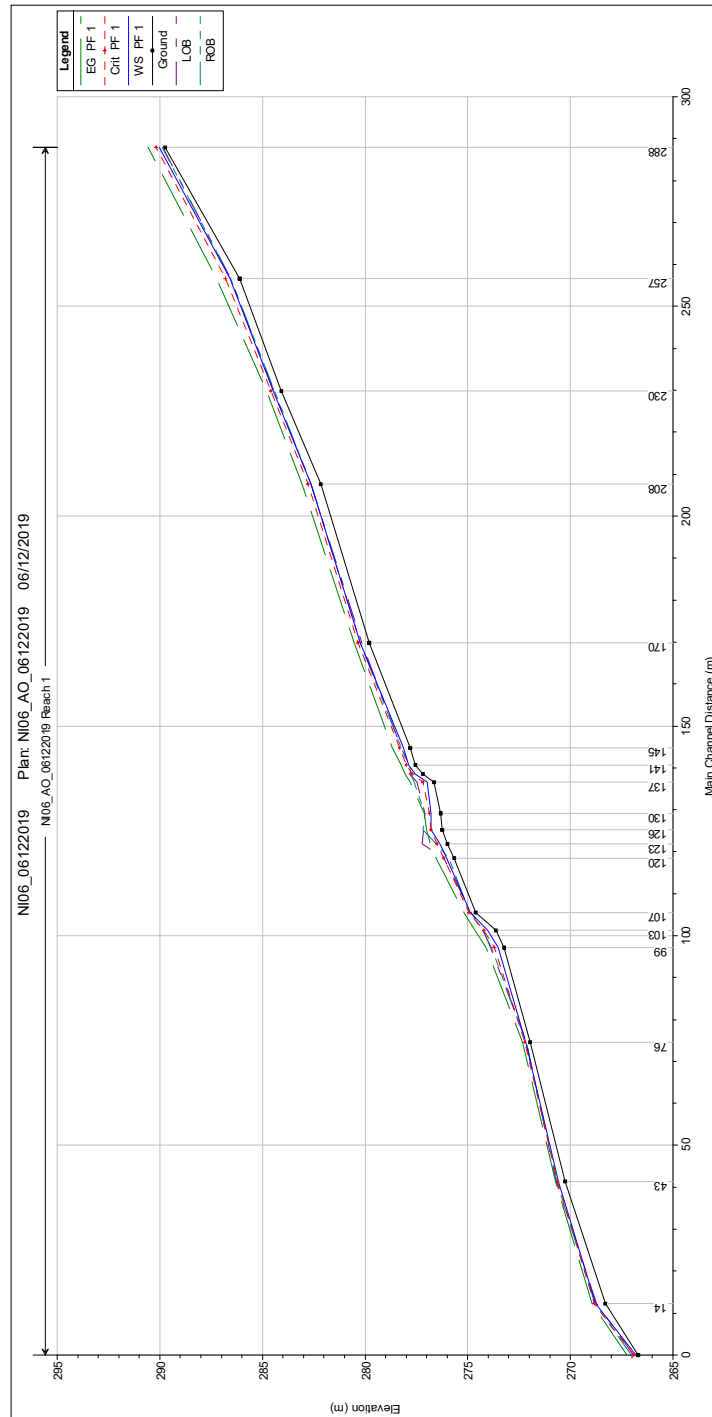


Figura 118: Corso d'acqua NI06_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente in alcuni tratti.

4.18.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino stradale circolare DN1500 [mm].

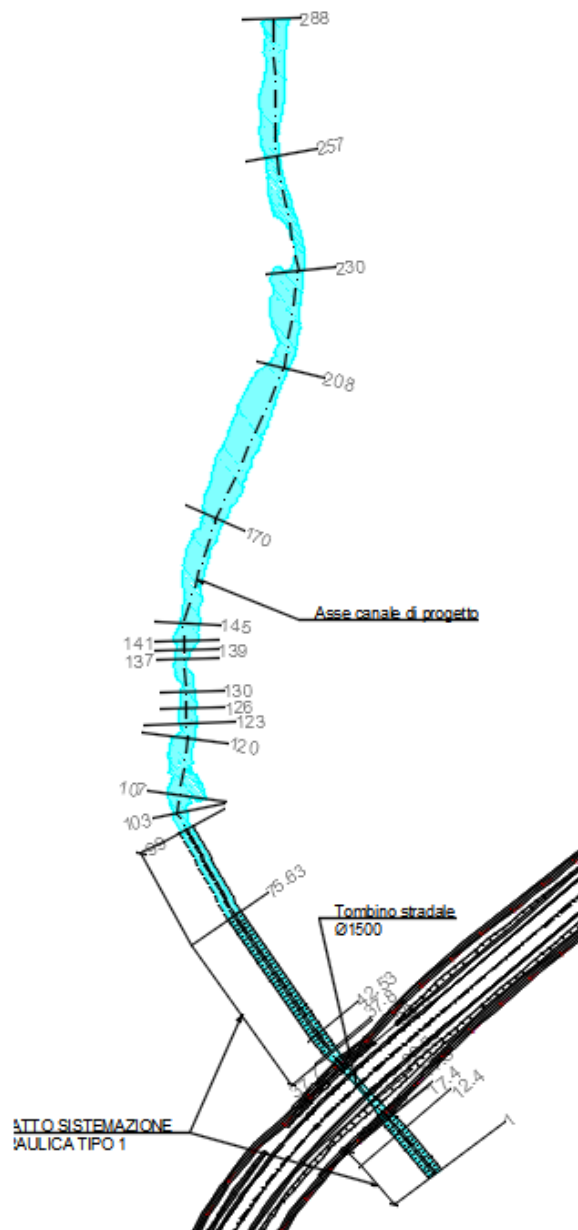


Figura 119: Corso d'acqua NI06_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 8.0 [%] nel tratto di monte, sono previsti dei salti di fondo a monte e a valle del manufatto in progetto. A valle la pendenza si attesta intorno allo 2.0 [%].

4.18.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
288	289.74	290.03	290.17	290.56	3.64	2.38
257	286.1	286.58	286.79	287.28	3.69	2.35
230	284.08	284.46	284.58	284.88	3.08	2.14
208	282.17	282.64	282.78	283.08	2.92	2
170	279.81	280.22	280.34	280.57	2.63	1.79
145	277.8	278.17	278.3	278.58	2.86	1.98
141	277.53	277.9	278.01	278.24	2.61	1.85
139	277.18	277.56	277.71	278.05	3.12	2.11
137	276.65	276.99	277.21	277.8	3.98	2.65
130	276.3	276.77	276.88	277.13	2.64	1.54
126	276.26	276.8	276.81	276.99	1.94	1.04
123	275.98	276.35	276.5	276.8	2.97	1.96
120	275.68	276.03	276.19	276.52	3.13	2.05
107	274.62	274.86	274.96	275.2	2.79	2.36

Sezione	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
103	273.64	274	274.2	274.7	3.71	2.47
99	273.25	273.55	273.7	274.09	3.27	2.49
75.63	271.5	272.1	272.26	272.58	3.07	1.62
42.53	269.65	270.25	270.41	270.74	3.1	1.64
37.8	269.4	270.03	270.16	270.45	2.87	1.49
37.7	268.4	269.62	268.78	269.64	0.61	0.18
32.8	268.3	269.55	268.92	269.63	1.22	0.35
26.641	Culvert					
22.5	268.1	268.72	268.72	269.03	2.46	1
17.5	268	268.2	268.38	268.93	3.8	2.75
17.4	267.65	268.18	268.41	268.93	3.83	2.14
12.4	267.55	268.36	268.31	268.54	1.85	0.86
1	267.3	268.23	268.06	268.34	1.48	0.65

Tabella 66: Corso d'acqua NI06_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.

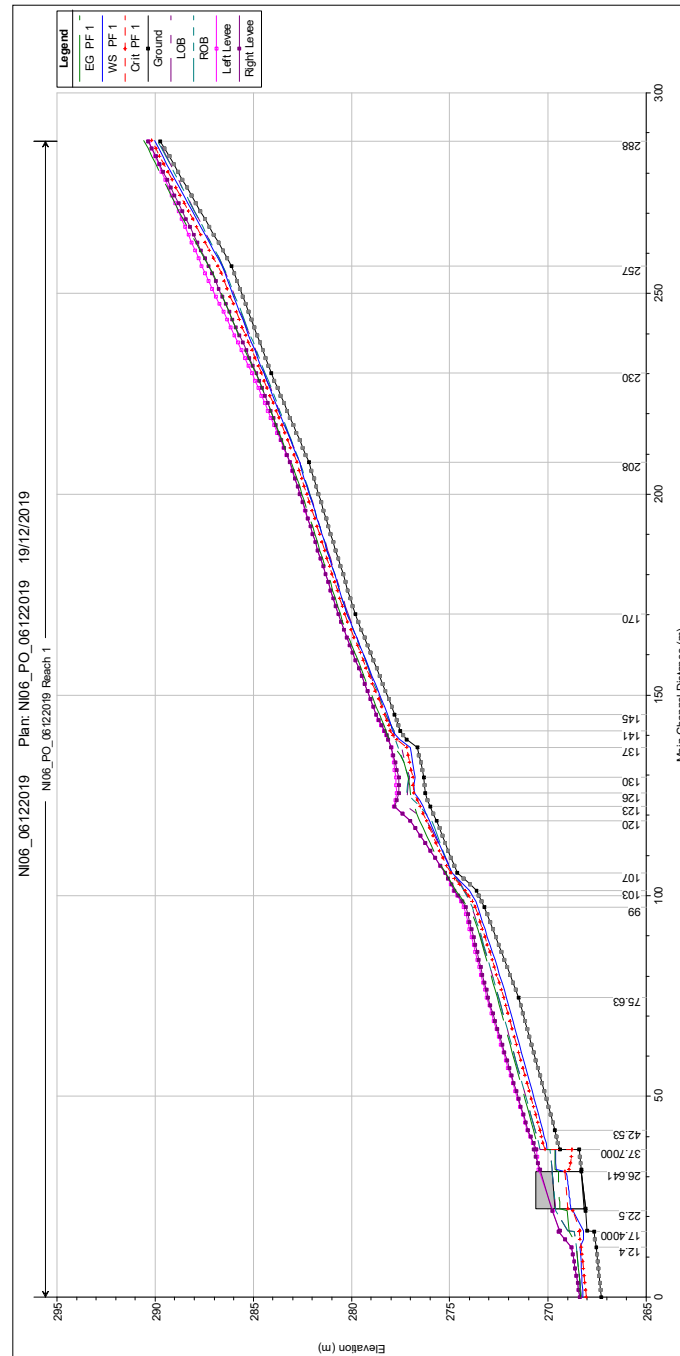


Figura 120: Corso d'acqua NI06_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.18.3 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 [km²], 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 50 [%] circa.

È 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	269.12	269.79	0.67

Tabella 67: Franco idraulico corso d'acqua NI06

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	269.03	269.79	0.76

Tabella 68: Franco energetico corso d'acqua NI06

4.18.4 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 0.5 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.0 [m].

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

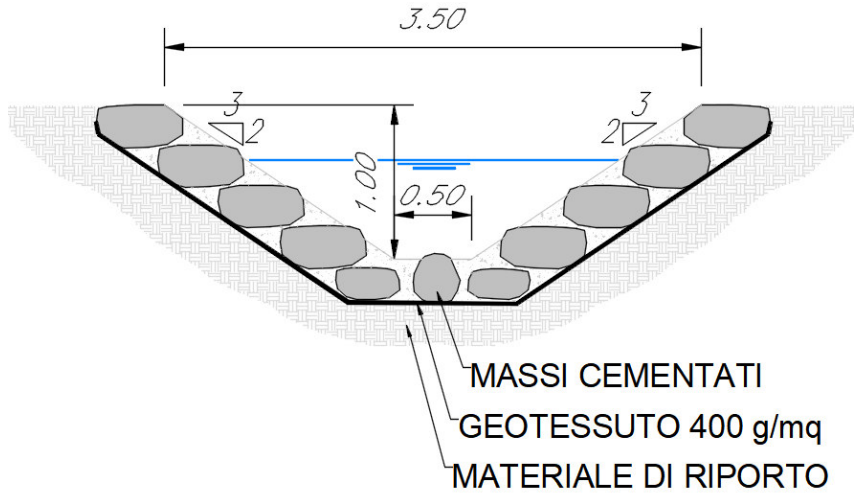


Figura 121: Corso d'acqua NI06_Sezione tipo sistemazione

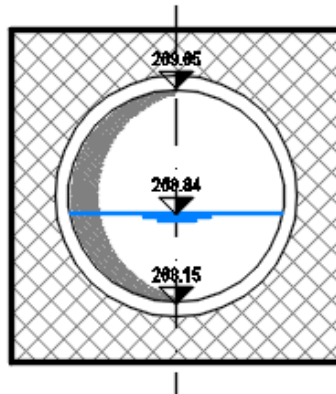


Figura 122: NI06_Sezione uscita manufatto

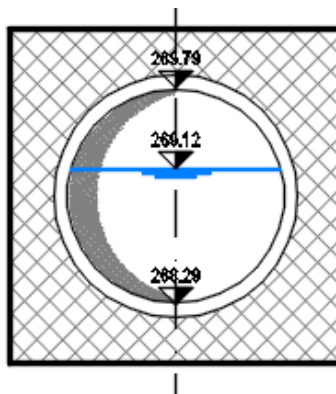


Figura 123: NI06_Sezione ingresso manufatto

4.19 INALVEAZIONE NI08 – OPERA NI08

4.19.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per 200 [m] circa.

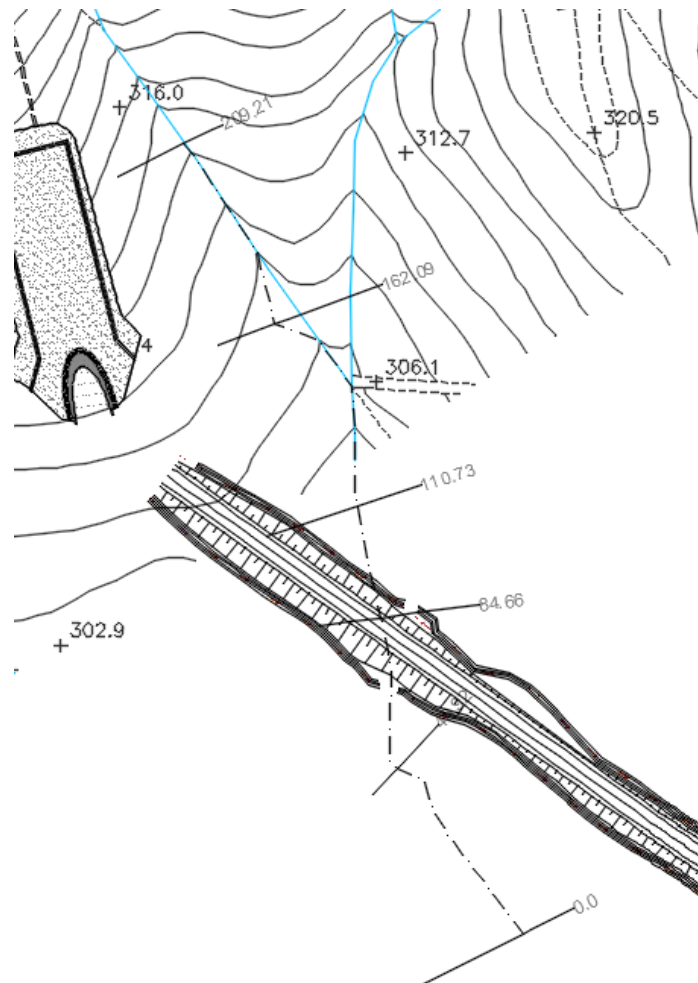


Figura 124: Corso d'acqua NI08_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 7.8 [%].

La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 2.20 [m³/s].

4.19.1.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
209.21	311.31	311.49	311.62	312	3.16	2.82
162.09	306.05	306.38	306.43	306.56	1.89	1.49
110.73	302.7	302.99	303.05	303.18	1.95	1.53
84.66	300.56	300.84	300.92	301.08	2.17	1.8
48.92	297.79	298.23	298.32	298.54	2.48	1.45
0	295.46	295.91	295.98	296.15	2.19	1.32

Tabella 69: Corso d'acqua NI08_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.

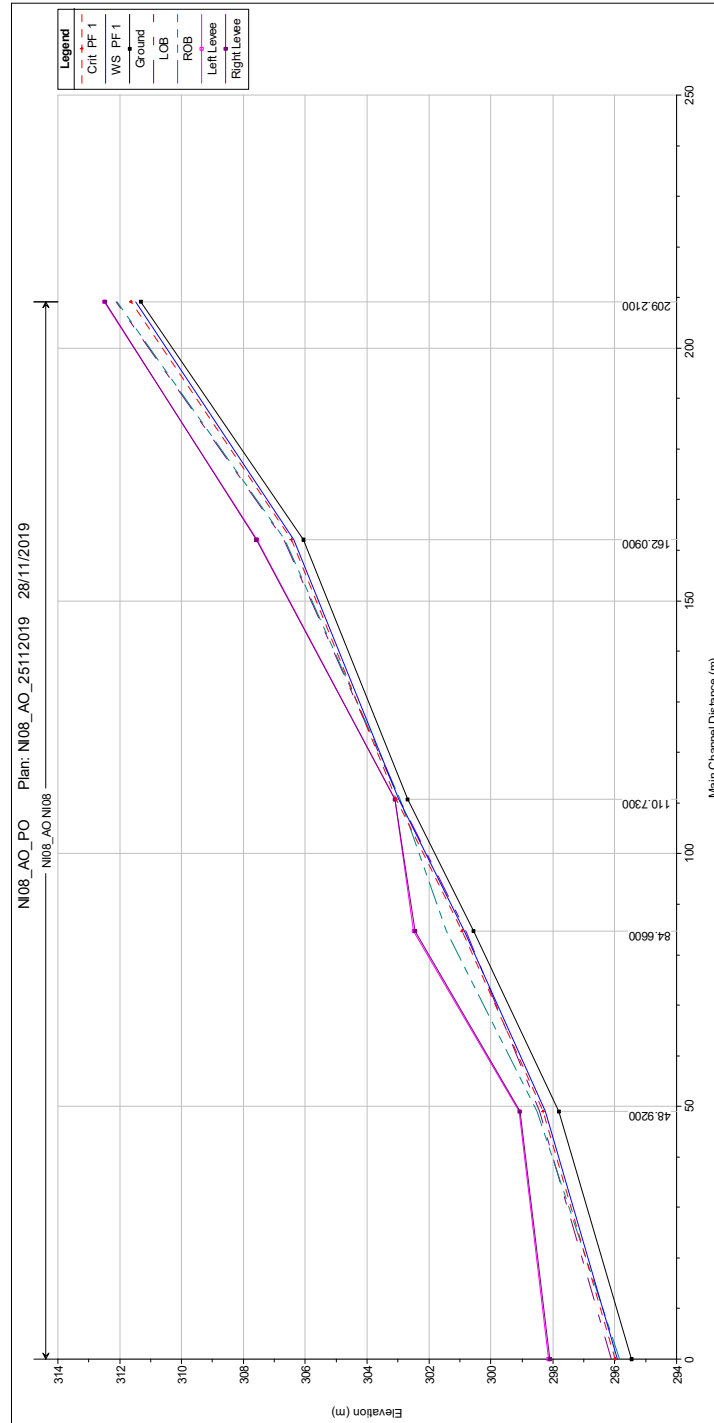


Figura 125: Corso d'acqua NI08_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente.

4.19.2 Descrizione simulazione numerica post operam

L'opera di attraversamento prevista è un tombino stradale 2.0 x 2.0 [m].

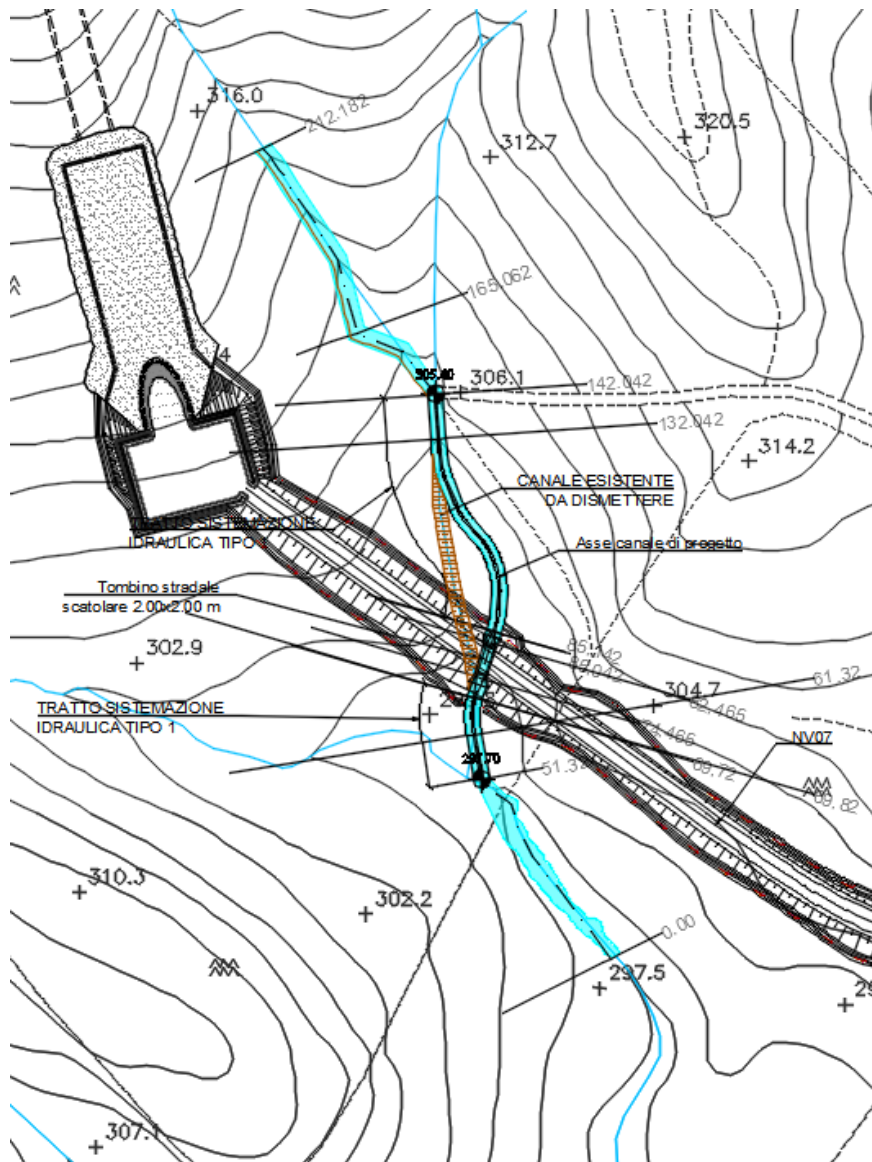


Figura 126: Corso d'acqua NI08_Configurazione post operam

La pendenza media è pari a circa il 7.0 [%] nel tratto a cavallo del tombino. Il manufatto ha pendenza del fondo pari allo 3.5 [%], sono previsti due salti del fondo, uno a monte e uno a valle del manufatto.

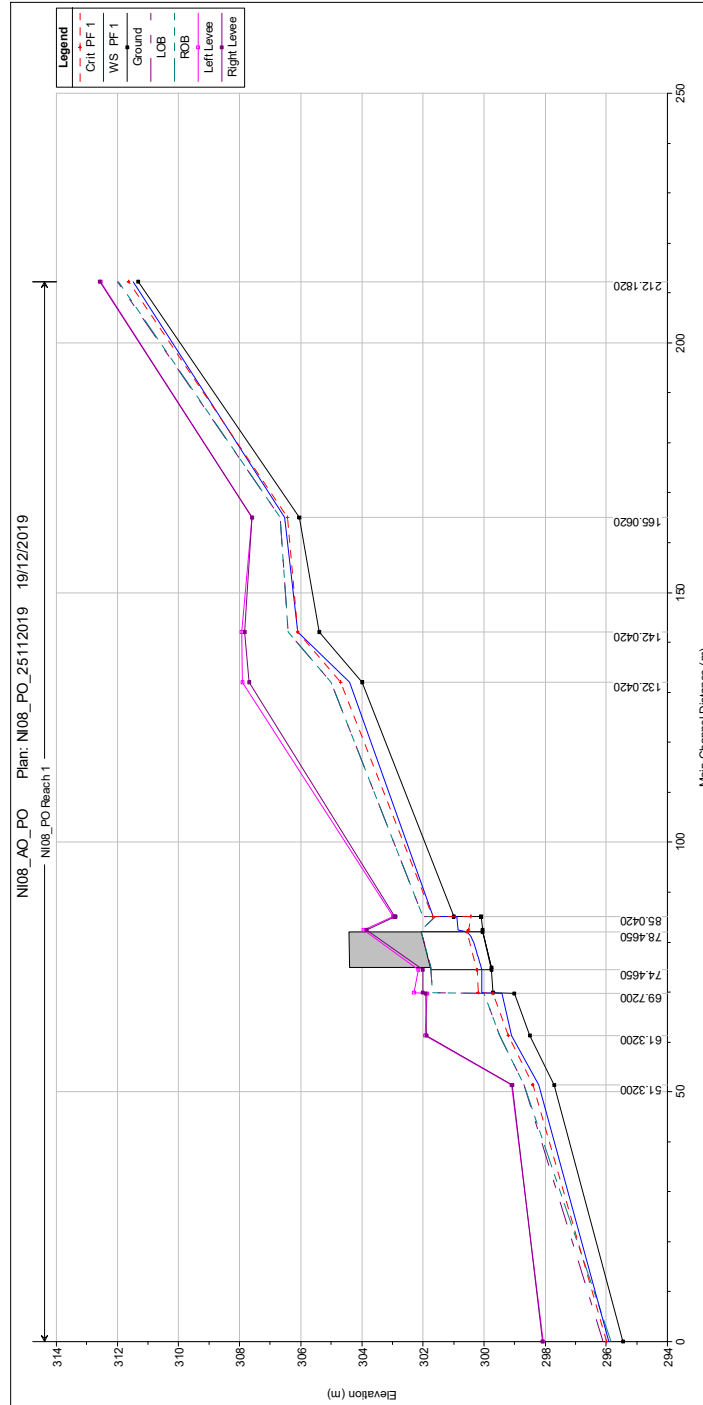
4.19.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la quota del fondo (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
212.182	311.31	311.48	311.62	312.09	3.47	3.2
165.062	306.05	306.53	306.43	306.57	0.89	0.58
142.042	305.4	306.1	306.1	306.31	2.02	1
132.042	304	304.4	304.7	305.7	5.06	3.18
85.142	301	301.66	301.7	301.91	2.22	1.12
85.042	300.1	300.9	300.44	300.93	0.79	0.28
82.465	300.05	300.84	300.51	300.92	1.23	0.44
78.465	Culvert					
74.465	299.75	300.06	300.23	300.61	3.27	1.87
69.82	299.7	300.07	300.2	300.52	2.96	1.55
69.72	299	299.43	299.7	300.46	4.49	2.74
61.32	298.5	299.09	299.2	299.46	2.66	1.41
51.32	297.7	298.21	298.4	298.8	3.38	1.91
0	295.46	295.9	295.98	296.15	2.22	1.34

Tabella 70: Corso d'acqua NI08_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.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA PROGETTO DEFINITIVO TRATTA NUOVA ENNA-DITTAINO					
	Relazione Idraulica Interferenze Idrauliche Minori e compatibilità idraulica	COMMESSA RS3V	LOTTO 40	CODIFICA D 29 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 127: Corso d'acqua NI08_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.19.3 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 25% circa.

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	300.55	302.05	1.50

Tabella 71: Franco idraulico corso d'acqua NI08

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	300.92	302.05	1.58

Tabella 72: Franco energetico corso d'acqua NI08

4.19.4 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 1.00 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.00 [m].

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

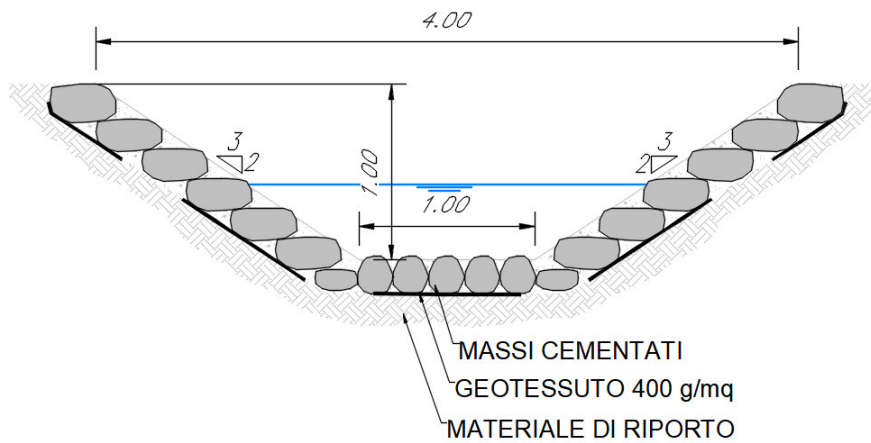


Figura 128: Corso d'acqua NI08_Sezione tipo sistemazione

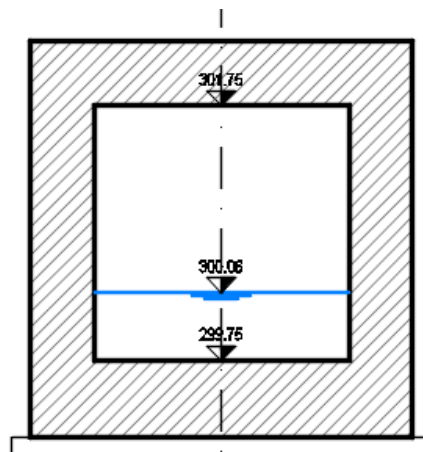


Figura 129: NI08_Sezione uscita manufatto

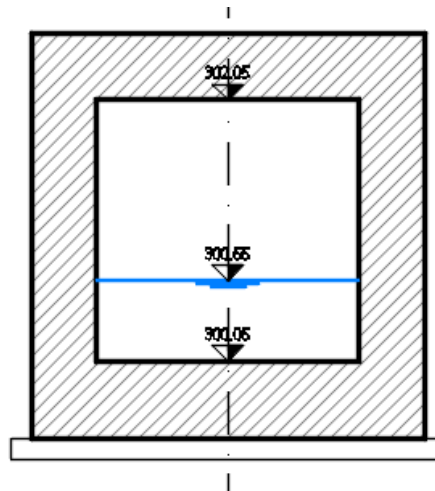


Figura 130: NI08_Sezione ingresso manufatto

4.20 INALVEAZIONE NI09 – OPERA NI09

4.20.1 Descrizione simulazione numerica ante operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per 230 [m] circa.

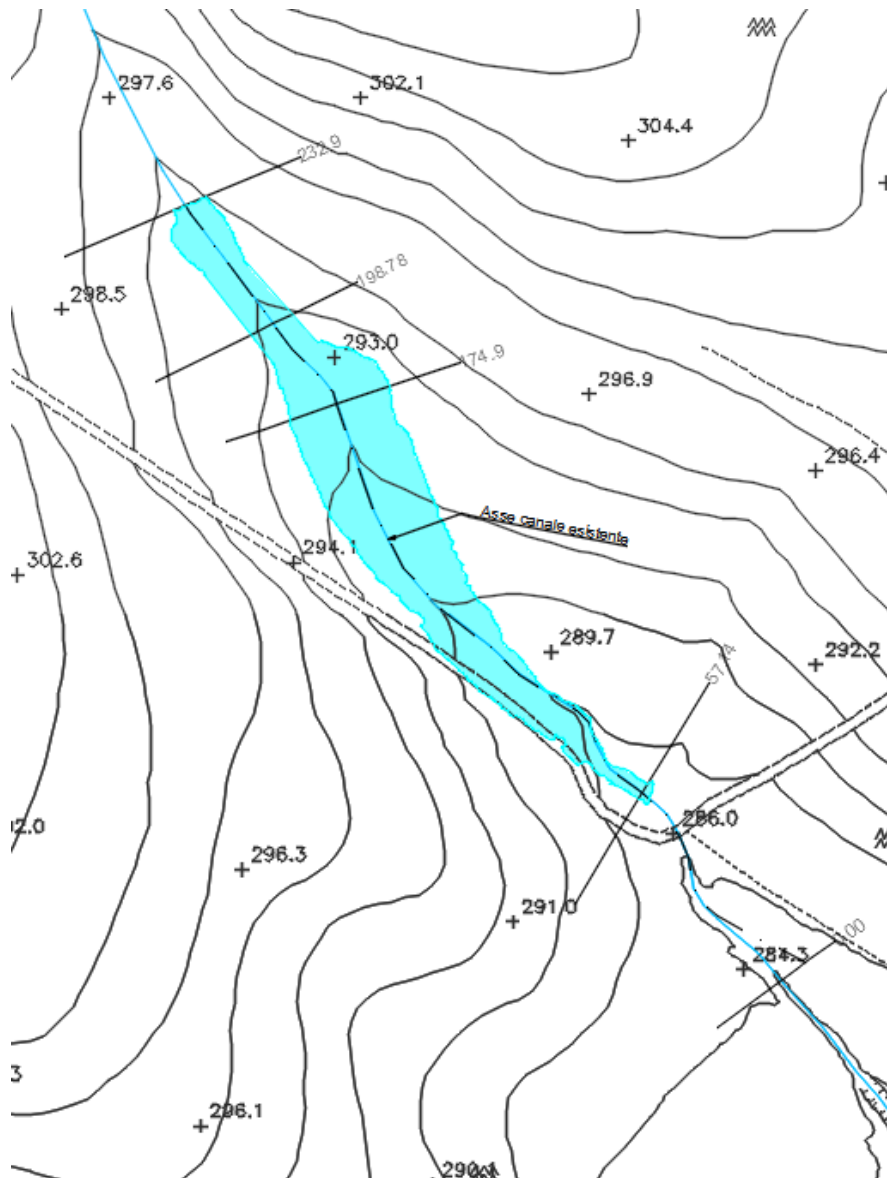


Figura 131: Corso d'acqua NI09_Configurazione ante operam

La pendenza media è pari a circa il 4.5 [%]. La portata di calcolo nella condizione al contorno di monte, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.50 [m³/s].

4.20.1.1 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
232.9	294.97	295.43	295.55	295.78	2.62	1.74
198.78	293.16	293.65	293.74	293.94	2.41	1.56
174.9	292.73	293.14	293.14	293.24	1.42	1
57.14	286.63	286.89	287.03	287.48	3.42	3.05
0	281.37	281.91	282.06	282.38	3.06	1.58

Tabella 73: Corso d'acqua NI09_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.

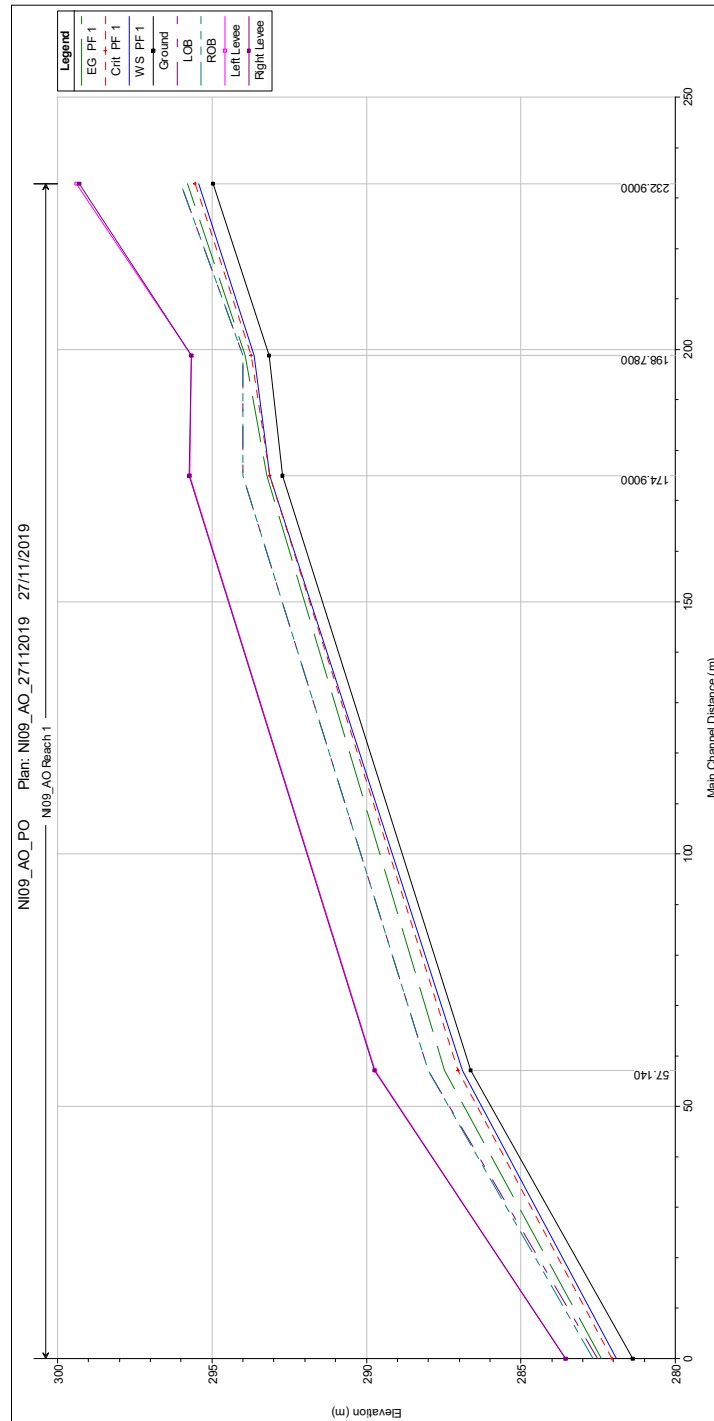


Figura 132: Corso d'acqua NI09_Profilo idrico ante operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente insufficiente.

4.20.2.1 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 (z_f), la quota del pelo libero della corrente (h), il livello critico (h_c) 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	z_f	h	h_c	H	U	Fr
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/s]	
238.5321	294.97	295.43	295.55	295.78	2.62	1.74
204.4121	293.16	293.65	293.74	293.94	2.41	1.56
180.5321	292.5	293.37	293.37	293.62	2.23	1
170.5321	292	292.68	292.87	293.26	3.37	1.68
122.1381	290	290.85	290.87	291.12	2.33	1.06
122.0381	289.2	290.26	289.67	290.3	0.94	0.29
116.5481	289.15	290.17	289.78	290.29	1.53	0.48
112.664	Culvert					
108.7751	288.95	289.55	289.6	289.93	2.71	1.12
103.706	288.9	289.18	289.37	289.82	3.53	2.12
103.606	288.5	289.16	289.37	289.81	3.56	1.81
67.14	288	288.87	288.87	289.12	2.23	1
57.14	287	287.58	287.87	288.59	4.45	2.39
0	281.37	281.82	282.06	282.59	3.88	2.16

Tabella 74: Corso d'acqua NI09_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.

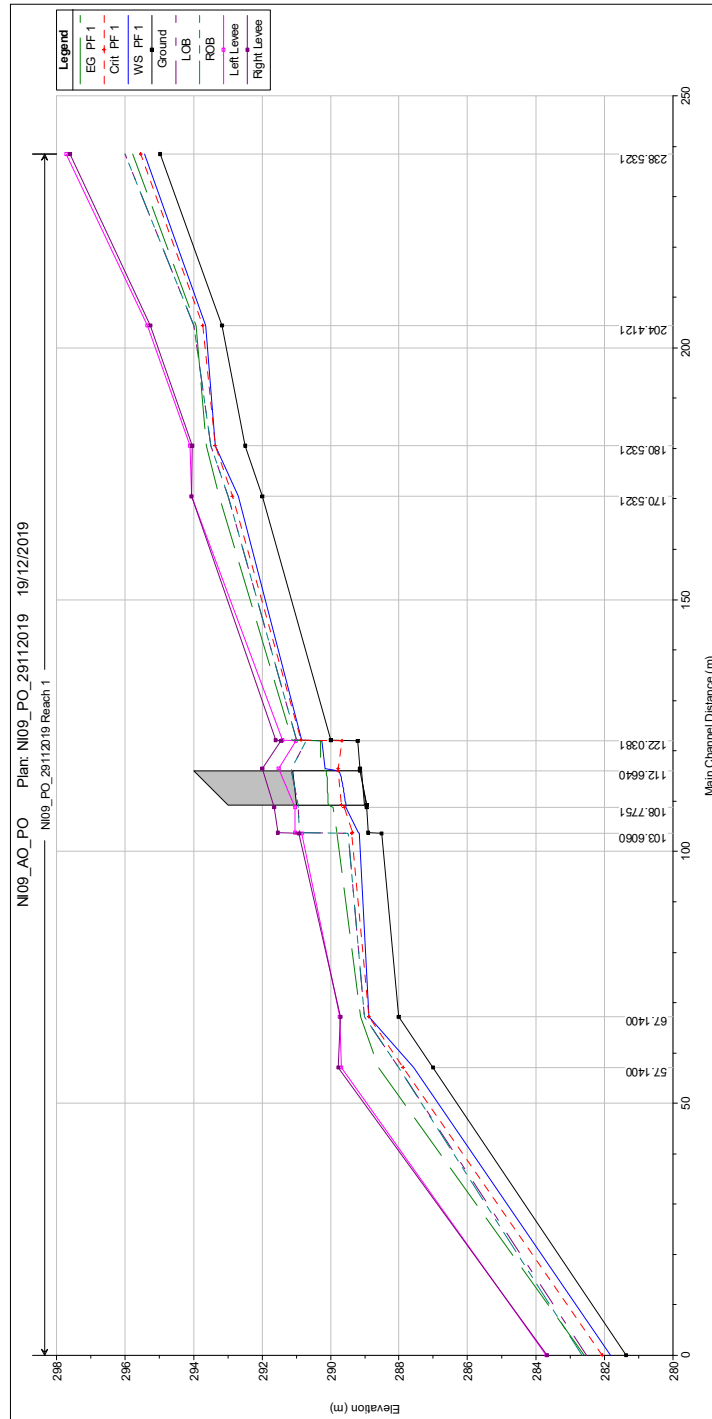


Figura 134: Corso d'acqua NI08_Profilo idrico post operam.

La figura evidenzia che la sezione del fosso è idraulicamente sufficiente, così come i manufatti.

4.20.3 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 [km²], 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 30 [%] circa.

È 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	289.78	291.10	1.32

Tabella 75: Franco idraulico corso d'acqua NI09

	Livello energia Tr=200 anni [m.s.l.m.]	Intradosso [m.s.l.m.]	Franco energetico Tr=200 anni [m]
Sez. monte manufatto	290.29	291.10	0.81

Tabella 76: Franco energetico corso d'acqua NI09

4.20.4 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 0.50 [m] e pendenza delle sponde 2:3 ed altezza 1.00 [m].

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

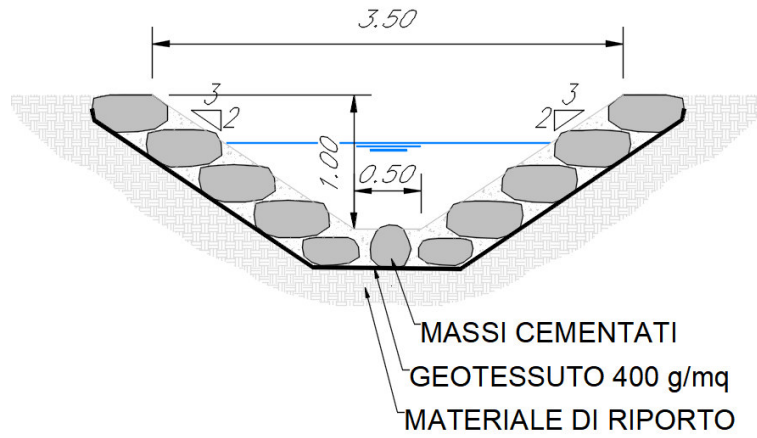


Figura 135: Corso d'acqua NI09_Sezione tipo sistemazione

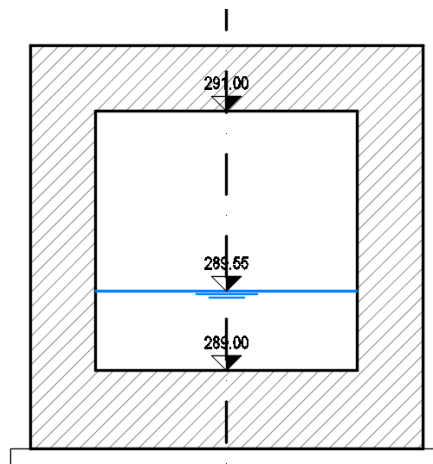


Figura 136: NI09_Sezione uscita manufatto

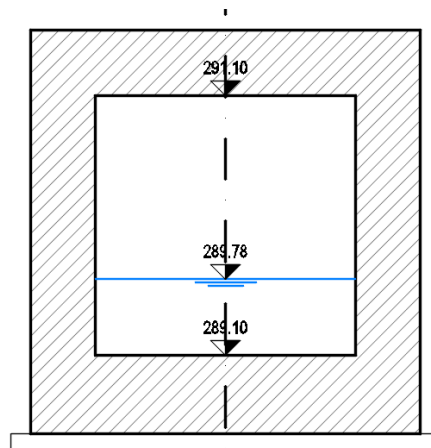


Figura 137: NI09_Sezione ingresso manufatto