

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

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

**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE
LOTTO 1+2**

**IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione Idraulica opere minori**

SCALA:

-

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

RS3Z 00 D 09 RI ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	M. Coccato	Gen. 2020	A. Cappelli	Gen. 2020	A. Barreca	Gen. 2020	A. Vittorini	Gen. 2020

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
Dott. Ing. Angelo Vittorini
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Fom.
N° A20783

INDICE

1	PREMESSA	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE	7
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	7
2.2	MORFOLOGIA E IDROGRAFIA	7
2.3	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA	8
3	CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA	10
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	10
3.2	MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	11
4	DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE	13
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	13
4.2	PORTATE DI PROGETTO	13
4.3	DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI SCABREZZA	14
4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO.....	16
5	VERIFICHE IDRAULICHE	17
5.1	TOMBINO IDRAULICO IN 05 ALLA PROGRESSIVA KM 1+119 BP	17
5.1.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto.....</i>	<i>17</i>
5.1.2	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	<i>20</i>
5.2	TOMBINO IDRAULICO IN 08 ALLA PROGRESSIVA KM 1+835 BP	20
5.2.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto.....</i>	<i>21</i>
5.2.2	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	<i>24</i>
5.3	TOMBINO IDRAULICO IN 11 ALLA PROGRESSIVA KM 2+613 BP	24
5.3.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto.....</i>	<i>25</i>
5.3.2	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	<i>28</i>
5.4	TOMBINO IDRAULICO IN 12 ALLA PROGRESSIVA KM 3+234 BP	28
5.4.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto.....</i>	<i>29</i>
5.4.2	<i>Sistemazione e protezione.....</i>	<i>31</i>

5.5	TOMBINO IDRAULICO IN 13 ALLA PROGRESSIVA KM 3+390 BP	31
5.5.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	32
5.5.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	35
5.6	TOMBINO IDRAULICO IN 16 ALLA PROGRESSIVA KM 4+020 BP	35
5.6.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	36
5.6.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	39
5.7	TOMBINO IDRAULICO IN 21 ALLA PROGRESSIVA KM 5+374 BP	39
5.7.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	40
5.7.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	43
5.8	TOMBINO IDRAULICO IN 22 ALLA PROGRESSIVA KM 5+850 BP	43
5.8.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	44
5.8.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	47
5.9	TOMBINO IDRAULICO IN 24 ALLA PROGRESSIVA KM 6+760 BP	47
5.10	TOMBINO IDRAULICO IN 25 ALLA PROGRESSIVA KM 7+058 BP	48
5.10.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	48
5.10.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	51
5.11	TOMBINO IDRAULICO IN 26 ALLA PROGRESSIVA KM 7+188 BP	51
5.11.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	52
5.11.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	55
5.12	TOMBINO IDRAULICO IN 28 ALLA PROGRESSIVA KM 7+844 BP	55
5.12.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	56
5.12.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	59
5.13	TOMBINO IDRAULICO IN 29 ALLA PROGRESSIVA KM 8+032 BP	59
5.13.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i>	60
5.13.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	63
5.14	INTERFERENZA IDRAULICA ALLA PROGRESSIVA KM 28+000 BP	63
APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS		71

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento linea ferroviaria su ortofoto.....	7
Figura 2 – Configurazione post operam Pk 1+119.	17
Figura 3 – Profilo idraulico post operam Pk 1+119. Tr 200 anni.	19
Figura 4 – Sezione tipo sistemazione Pk 1+119.....	20
Figura 5 – Configurazione post operam Pk 1+835.	21
Figura 6 – Profilo idraulico post operam Pk 1+835. Tr 200 anni.	23
Figura 7 – Sezione tipo sistemazione Pk 1+835.....	24
Figura 8 – Configurazione post operam Pk 2+613.	25
Figura 9 – Profilo idraulico post operam Pk 2+613. Tr 200 anni.	27
Figura 10 – Sezione tipo sistemazione Pk 2+613.....	28
Figura 11 – Configurazione post operam Pk 3+234.	28
Figura 12 – Profilo idraulico post operam Pk 3+234. Tr 200 anni.	30
Figura 13 – Sezione tipo sistemazione Pk 3+234.....	31
Figura 14 – Configurazione post operam Pk 3+390.	32
Figura 15 – Profilo idraulico post operam Pk 3+390. Tr 200 anni.	34
Figura 16 – Sezione tipo sistemazione Pk 3+390.....	35
Figura 17 – Configurazione post operam Pk 4+020.	36
Figura 18 – Profilo idraulico post operam Pk 4+020. Tr 200 anni.	38
Figura 19 – Sezione tipo sistemazione Pk 4+020.....	39
Figura 20 – Configurazione post operam Pk 5+374.	40
Figura 21 – Profilo idraulico post operam Pk 5+374. Tr 200 anni.	42
<i>Figura 22 – Sezione tipo sistemazione Pk 5+374.....</i>	<i>43</i>
Figura 23 – Configurazione post operam Pk 5+850.	44
Figura 24 – Profilo idraulico post operam Pk 5+850. Tr 200 anni.	46
<i>Figura 25 – Sezione tipo sistemazione Pk 5+850.....</i>	<i>47</i>
Figura 26 – Configurazione post operam Pk 7+058.	48
Figura 27 – Profilo idraulico post operam Pk 7+058. Tr 200 anni.	50
<i>Figura 28 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+058.....</i>	<i>51</i>
Figura 29 – Configurazione post operam Pk 7+188.	52
Figura 30 – Profilo idraulico post operam Pk 7+188. Tr 200 anni.	54
<i>Figura 31 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+188.....</i>	<i>55</i>
Figura 32 – Configurazione post operam Pk 7+844.	56
Figura 33 – Profilo idraulico post operam Pk 7+844. Tr 200 anni.	58
<i>Figura 34 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+844.....</i>	<i>59</i>

Figura 35 – Configurazione post operam Pk 8+032.	60
Figura 36 – Profilo idraulico post operam Pk 8+032. Tr 200 anni.	62
Figura 37 – Sezione tipo sistemazione Pk 8+032.....	63
Figura 38 – Configurazione post operam Pk 28+000.	64
Figura 39 – Sezione deviazione sopra galleria pk 28+000	64
Figura 40 – Profilo idraulico pk 28+000	65
Figura 41 – Deviazione provvisoria Pk 28+000.	70
Figura 42 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.	71
Figura 43 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.	72
Figura 44 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.	74
Figura 45 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale	75
Figura 46 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale	76
Figura 47 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	77
Figura 48 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd	78
Figura 49 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	78
Figura 50 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	79
Figura 51 - Schema di un tombino ponticello	79
Figura 52 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello	80

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.....	8
Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento.....	11
Tabella 3 – Portate di progetto.....	13
Tabella 4 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959).....	15
Tabella 5 – Risultati post operam Pk 1+119. Tr 200 anni.....	18
Tabella 6 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+119. Tr 200 anni.	20
Tabella 7 – Risultati post operam Pk 1+835. Tr 200 anni.....	22
Tabella 8 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+835. Tr 200 anni.	22
Tabella 9 – Risultati post operam Pk 2+613. Tr 200 anni.....	26
Tabella 10 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 2+613. Tr 200 anni.	26
Tabella 11 – Risultati post operam Pk 3+234. Tr 200 anni.....	29
Tabella 12 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 3+234. Tr 200 anni.	29
Tabella 13 – Risultati post operam Pk 3+390. Tr 200 anni.....	33
Tabella 14 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 3+390. Tr 200 anni.	33
Tabella 15 – Risultati post operam Pk 4+020. Tr 200 anni.....	37

Tabella 16 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 4+020. Tr 200 anni.	37
Tabella 17 – Risultati post operam Pk 5+374. Tr 200 anni.....	41
Tabella 18 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 5+374. Tr 200 anni.	41
Tabella 19 – Risultati post operam Pk 5+850. Tr 200 anni.....	45
Tabella 20 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 5+850. Tr 200 anni.	45
Tabella 21 - Verifica opere minori.....	47
Tabella 22 – Risultati post operam Pk 7+058. Tr 200 anni.....	49
Tabella 23 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+058. Tr 200 anni.	49
Tabella 24 – Risultati post operam Pk 7+188. Tr 200 anni.....	53
Tabella 25 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+188. Tr 200 anni.	53
Tabella 26 – Risultati post operam Pk 7+844. Tr 200 anni.....	57
Tabella 27 – Verifiche idrauliche dell’opera di progetto. Pk 7+844. Tr 200 anni.	59
Tabella 28 – Risultati post operam Pk 8+032. Tr 200 anni.....	61
Tabella 29 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 8+032. Tr 200 anni.	61

1 PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione definitiva della “Tratta Fiume Torto – Lercara diramazione” nell’ambito del più ampio progetto della “Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo – Catania”.

La presente relazione descrive lo studio idraulico per la verifica delle opere di attraversamento dei corsi d’acqua minori, che verranno realizzate lungo la linea ferroviaria in progetto. I manufatti in oggetto sono in particolare i tombini ferroviari.

Nel dettaglio l’analisi idraulica effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- verifica idraulica delle opere di attraversamento mediante simulazione idraulica su modello matematico monodimensionale in schema di moto permanente;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere in accordo con le normative vigenti;
- individuazione dei rivestimenti delle sistemazioni dei corsi d’acqua di progetto.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'intervento progettuale in oggetto ricade all'interno del bacino del Fiume Torto, nel versante centrale dell'Isola, sviluppandosi nel territorio della provincia di Palermo.

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di: Termini Imerese, Sciarra e Cerda.

La tratta ferroviaria si sviluppa in destra idrografica del fiume Torto. Le interferenze con la rete idrografica superficiale maggiore sono numerose.

In Figura 1 è rappresentato l'inquadramento geografico della linea ferroviaria di progetto.

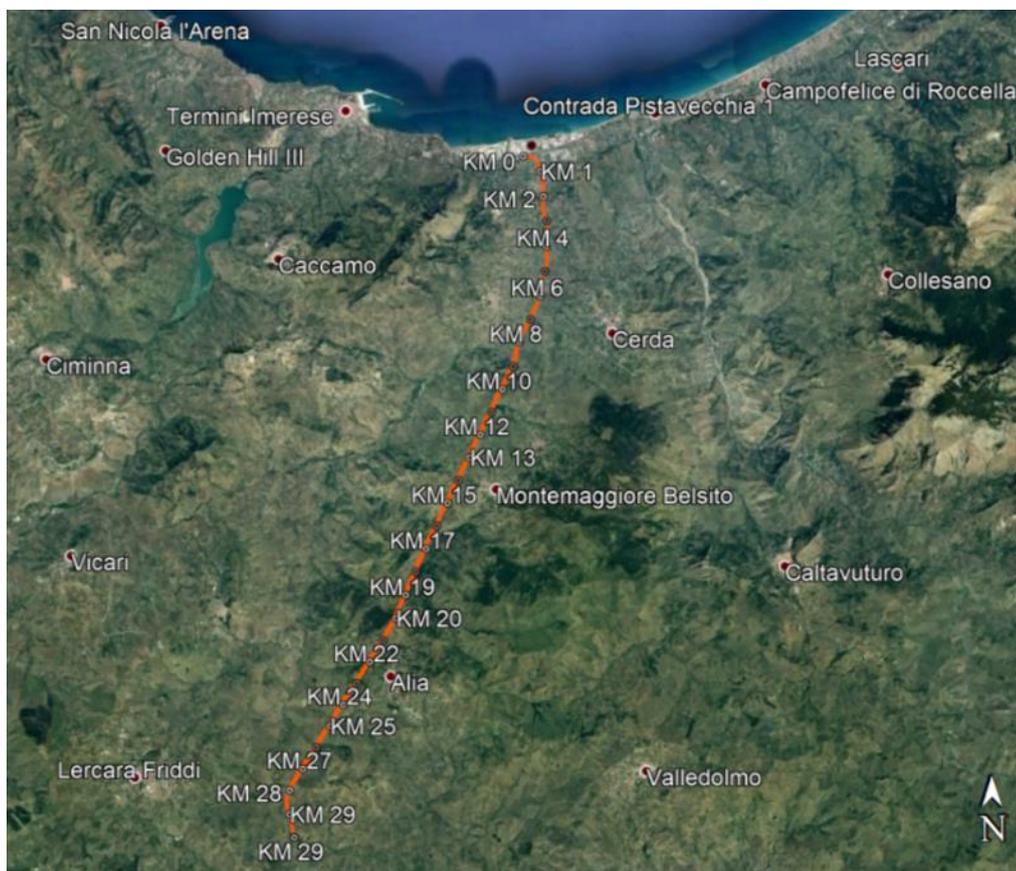


Figura 1 - Inquadramento linea ferroviaria su ortofoto.

2.2 MORFOLOGIA E IDROGRAFIA

Il reticolo fluviale locale ricade nel bacino imbrifero del F. Torto, un importante corso d'acqua che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area.

Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 423 km². Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 8 di 84

Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani.

Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica.

I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate.

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra.

A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra.

Il Fiume Torto ha un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero. In 7 anni di osservazione della stazione idrometrica di località Bivio Cerda, si è registrato un numero massimo di 158 giorni consecutivi a portata nulla, mentre nel 50% degli anni si è raggiunto un numero di 118 giorni.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua secondari, anche questi presentano carattere torrentizio e sono soggetti a lunghi periodi di magra; inoltre in alcuni casi non è presente una inalveazione chiaramente incisa.

2.3 INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA

Le interferenze dell'idrografia superficiale con la linea ferroviaria di progetto sono state suddivise in maggiori e minori, classificando come "maggiori" i corsi d'acqua caratterizzati da un bacino di estensione superiore a 10 km² e "minori" i corsi d'acqua caratterizzati da un bacino di estensione inferiore a 10 km².

Tale suddivisione è riportata in Tabella 1, nella quale sono indicate anche la progressiva dell'interferenza, il codice WBS e la tipologia di opere di scavalco previste in progetto lungo la linea ferroviaria. In taluni casi queste ultime comprendono anche la realizzazione di manufatti in corrispondenza delle viabilità di progetto complementari al progetto ferroviario.

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.

Tipologia interferenza	WBS	Progressiva Pk	ID sottobacino afferente	Opera su linea ferrovia	Opera su viabilità
minore	IN05	1+119	23	Tombino idraulico	
minore	IN08	1+835	2	Tombino idraulico	
minore	IN11	2+613	3+4	Tombino idraulico	
minore	IN12	3+234	5	Tombino idraulico	
minore	IN13	3+390	6	Tombino idraulico	
minore	IN16	4+020	7	Tombino idraulico	

Tipologia interferenza	WBS	Progressiva Pk	ID sottobacino afferente	Opera su linea ferroviaria	Opera su viabilità
minore	IN17	4+530	8	Tombino idraulico su variante provvisoria Viadotto su linea ferroviaria definitiva	
minore	IN19	4+580	9	Tombino idraulico su variante provvisoria Viadotto su linea ferroviaria definitiva	
minore	IN21	5+374	10	Tombino idraulico	
minore	IN22	5+850	11	Tombino idraulico	Tombino idraulico
maggiore	VI01	6+300	14	Viadotto	Viadotto
minore	IN24	6+741	15	Tombino idraulico	Tombino idraulico
minore	IN25	7+058	24	Tombino idraulico	Tombino idraulico
minore	IN26	7+188	25	Tombino idraulico	Tombino idraulico
minore	IN28	7+844	17	Tombino idraulico	Tombino idraulico
minore	IN29	8+032	17b	Tombino idraulico	Tombino idraulico
minore		28+000	18	Deviazione del corso d'acqua sopra galleria	

La presente relazione ha per oggetto la verifica idraulica delle interferenze classificate come “minori”.

Per quanto riguarda le interferenze IN17 e IN19 non si è ritenuto necessario effettuare delle verifiche idrauliche nella configurazione di progetto, che ne prevede l'attraversamento in viadotto ripristinando nella sostanza la configurazione ante operam.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 10 di 84

3 CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione ferroviaria.

In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento andranno verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

- Tr = 300 anni per $S \geq 10 \text{ km}^2$
- Tr = 200 anni per $S < 10 \text{ km}^2$

avendo indicato con S la superficie del bacino idrografico sotteso.

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- franco idraulico tra intradosso manufatto e livello della superficie libera non inferiore a 1.5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- franco minimo tra intradosso manufatto e quota di carico idraulico totale almeno pari a 50 cm.

Nel caso di attraversamento mediante tombinatura del corso d'acqua, la sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Le opere devono, inoltre, rispondere a quanto previsto dall'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”» (DM 17 gennaio 2018 – di seguito NTC 2018) che riportano le indicazioni per la redazione della compatibilità idraulica dei ponti stradali e ferroviari. I criteri richiesti sono i seguenti:

- “piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni”;
- “Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.”;
- “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 ed il fondo alveo.”.

Per quanto riguarda i tombini, la circolare applicativa delle NTC 2018 (circolare 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP) riporta quanto segue:

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti.

[...]

Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:

[...]

- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;

[...]

- nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 11 di 84

che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva.

In

Tabella 2 è riportata una sintesi della normativa di riferimento con alcuni elementi a integrazione di quanto sopra descritto.

Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e circolare applicativa NTC2018
Manufatti di attraversamento principali (ponti e viadotti)	<ul style="list-style-type: none"> • linea ferroviaria $Tr= 300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$ • linea ferroviaria $Tr= 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$ • deviazioni stradali $Tr=200$ anni 	$Tr = 200$ anni
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>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</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>Grado di riempimento non superiore ai 2/3 (67%) della sezione totale e franco almeno pari a 0.5m</i>

3.2 MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Lo studio idraulico del corso d'acqua maggiore oggetto della presente relazione è stato effettuato, nello stato di fatto e nello stato di progetto, mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico (HEC-RAS) monodimensionale a moto permanente.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 09	RI	ID0002 002	A	12 di 84

Tale modello permette di indagare le altezze d'acqua, il carico idraulico totale e le velocità al variare della pendenza di riferimento nelle diverse sezioni in cui viene discretizzato il corso d'acqua, tenendo conto anche degli effetti localizzati delle opere idrauliche presenti (ponti, tombini, strutture in linea quali traverse, strutture laterali quali sfioratori, ecc.).

Il modello idraulico HEC-RAS prodotto dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers è un modello utilizzato diffusamente nelle applicazioni idrauliche di vario genere data la sua versatilità e la relativa facilità di gestione e organizzazione delle informazioni oltre che per la sua affidabilità.

Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 13 di 84

4 DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Le caratteristiche geometriche dei corsi d'acqua e dei manufatti presenti lungo gli stessi sono state ricostruite a partire dai rilievi eseguiti da Italferr o reperiti presso altri Enti. Sono stati utilizzati, a seconda della disponibilità, i seguenti dati:

- DTM della Regione Sicilia (volo ATA 2007-2008), di risoluzione pari a 2 m;
- rilievo aerofotogrammetrico;
- sezioni di rilievo trasversali dei corsi d'acqua;
- prospetti delle opere di scavalco esistenti;
- documentazione fotografica.

4.2 PORTATE DI PROGETTO

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto (RS3Z00D09RIID0001001). In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2018 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni.

La portata duecentennale rappresenta l'evento minimo di riferimento per le verifiche previste dalle NTC 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 cinematico e del metodo SCS, utilizzando le altezze di precipitazione che derivano sia da Gumbel che dal metodo VAPI. Nelle verifiche idrauliche è stata considerata come portata di calcolo per ogni corso d'acqua quella massima tra quelle ottenute applicando le due metodologie alle due diverse altezze di precipitazione.

In Tabella 3 sono riportati i valori delle portate di progetto ottenuti dalle analisi idrologiche.

Tabella 3 – Portate di progetto.

Pk	WBS opera	ID Sottobacino	S	Tr	Q progetto
			km ²		[m ³ /s]
1+119	IN05	23	0.25	200	5.19
1+835	IN08	2	0.37	200	8.13
2+613	IN11	3+4	0.83	200	18.41
3+234	IN12	5	1.38	200	23.47
3+390	IN13	6	0.72	200	12.13
4+020	IN16	7	1.48	200	21.68
4+530	IN17	8	0.25	200	5.22

Pk	WBS opera	ID Sottobacino	S km ²	Tr	Q progetto [m ³ /s]
4+580	IN19	9	0.26	200	4.76
5+374	IN21	10	2.12	200	24.00
5+850	IN22	11	1.34	200	16.47
6+300	VI01	14	16.67	300	163.61
6+741	IN24	15	0.11	200	2.35
7+058	IN25	24	0.11	200	2.17
7+188	IN26	25	0.11	200	2.31
7+844	IN28	17	1.22	200	22.88
8+032	IN29	17b	0.13	200	2.65
28+000		18	1.46	200	18.07

Le interferenze minori, oggetto della presente relazione, sono quelle caratterizzate da bacini di estensione inferiore a 10 km²; l'evento di piena di riferimento è, dunque, quello caratterizzato da Tr 200 anni.

4.3 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.

Per la scelta del coefficiente di Manning in funzione delle condizioni dell'alveo, sono stati presi a riferimento i valori riportati in Tabella 4 (Chow, 1959).

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.

I sopralluoghi e le analisi di foto satellitari hanno evidenziato che non sempre risulta chiaramente identificabile un alveo inciso dei corsi d'acqua e, in ogni caso, esso risulta spesso caratterizzato dalla presenza di una discreta vegetazione in corrispondenza dell'alveo così come le aree limitrofe, con un certo deposito di ciottoli e ghiaia.

Tali osservazioni hanno indirizzato, pertanto, alla scelta dei seguenti coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono nello stato di fatto (ante operam):

- 0.05 s/m^{1/3} per l'alveo inciso;
- 0.07 s/m^{1/3} per le aree golenali.

Nella modellazione dello stato di progetto, invece, (post operam) in corrispondenza delle sistemazioni dei corsi d'acqua, che prevedono una generale rettifica, pulizia e regolarizzazione dei corsi d'acqua, con rivestimento della sezione in massi intasati con malta, sono stati assunti i seguenti coefficienti di Manning:

- $0.028 \text{ s/m}^{1/3}$ per l'alveo inciso;
- $0.050 \text{ s/m}^{1/3}$ per le aree golenali.

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

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

Per i tombini idraulici nello stato di progetto è stato assunto un coefficiente di Manning $n=0.02 \text{ s/m}^{1/3}$.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Z	00 D 09	RI	ID0002 002	A	16 di 84

4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Per la verifica dei manufatti con modello idraulico monodimensionale a moto permanente è stata imposta una condizione al contorno di valle di moto uniforme.

5 VERIFICHE IDRAULICHE

5.1 TOMBINO IDRAULICO IN 05 ALLA PROGRESSIVA KM 1+119 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 3.0x2.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una canalizzazione a valle del manufatto con sezione trapezia larga alla base 2 m e pendenza delle sponde 2:3.

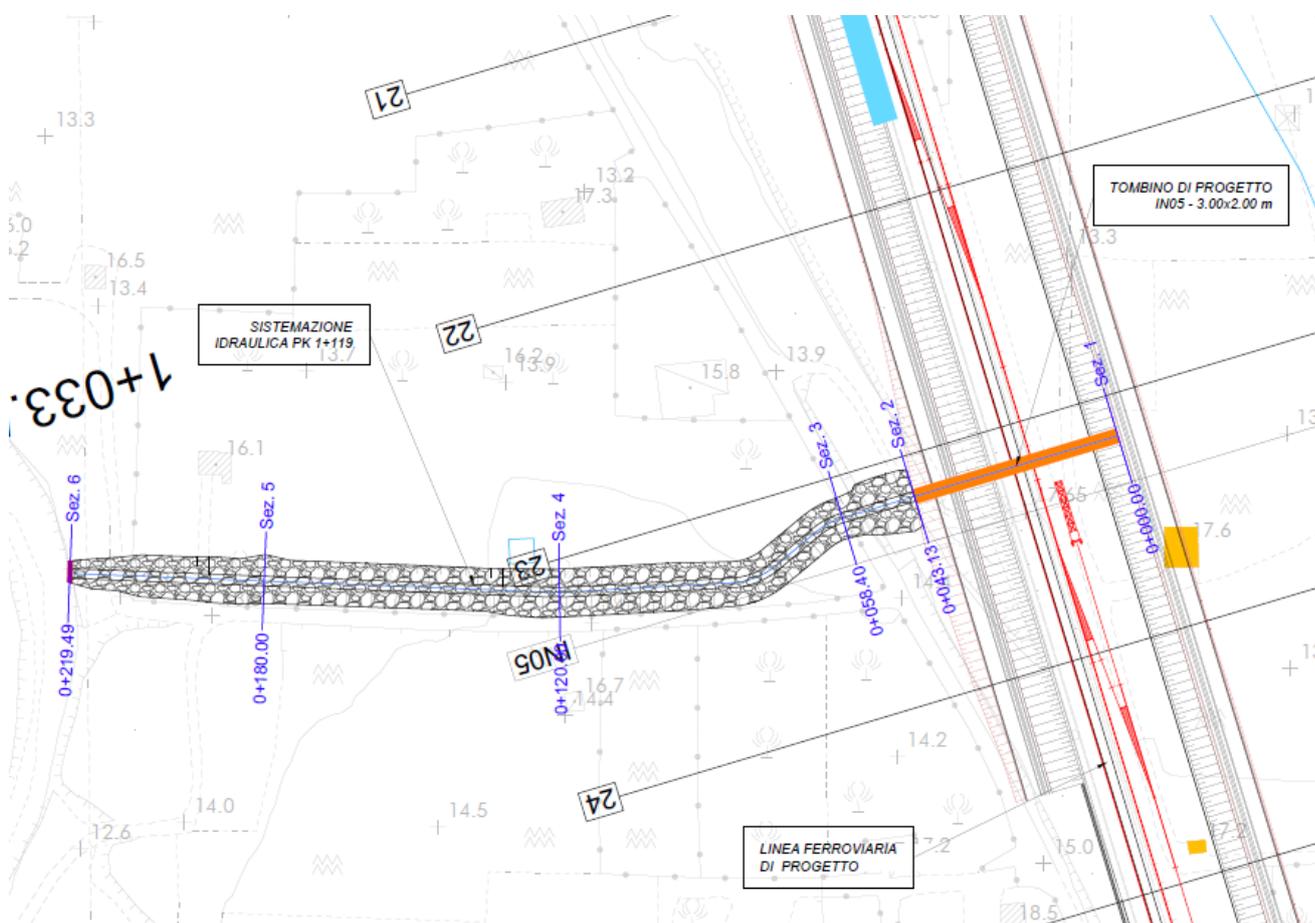


Figura 2 – Configurazione post operam Pk 1+119.

5.1.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 6
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x2.0 m
 - Lunghezza 41.00 m
- Condizioni al contorno

- Portata di verifica 5.19 m³/s (Tr200)
- Condizione monte altezza moto uniforme
- Condizione valle altezza moto uniforme
- Scabrezza (Manning)
 - Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 5 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 5 – Risultati post operam Pk 1+119. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	5.19	11.90	13.20	12.63	13.26	1.01	0.34
Sez. 2	5.19	11.86	13.03	12.59	13.10	1.18	0.42
Sez. 3	5.19	11.84	13.00	12.57	13.08	1.19	0.43
Sez. 4	5.19	11.78	12.86	12.51	12.95	1.32	0.49
Sez. 5	5.19	11.71	12.44	12.44	12.71	2.30	1.00
Sez. 6	5.19	11.00	11.61	11.61	11.76	1.98	0.92

In Figura 3 è riportato il profilo idrico di calcolo.

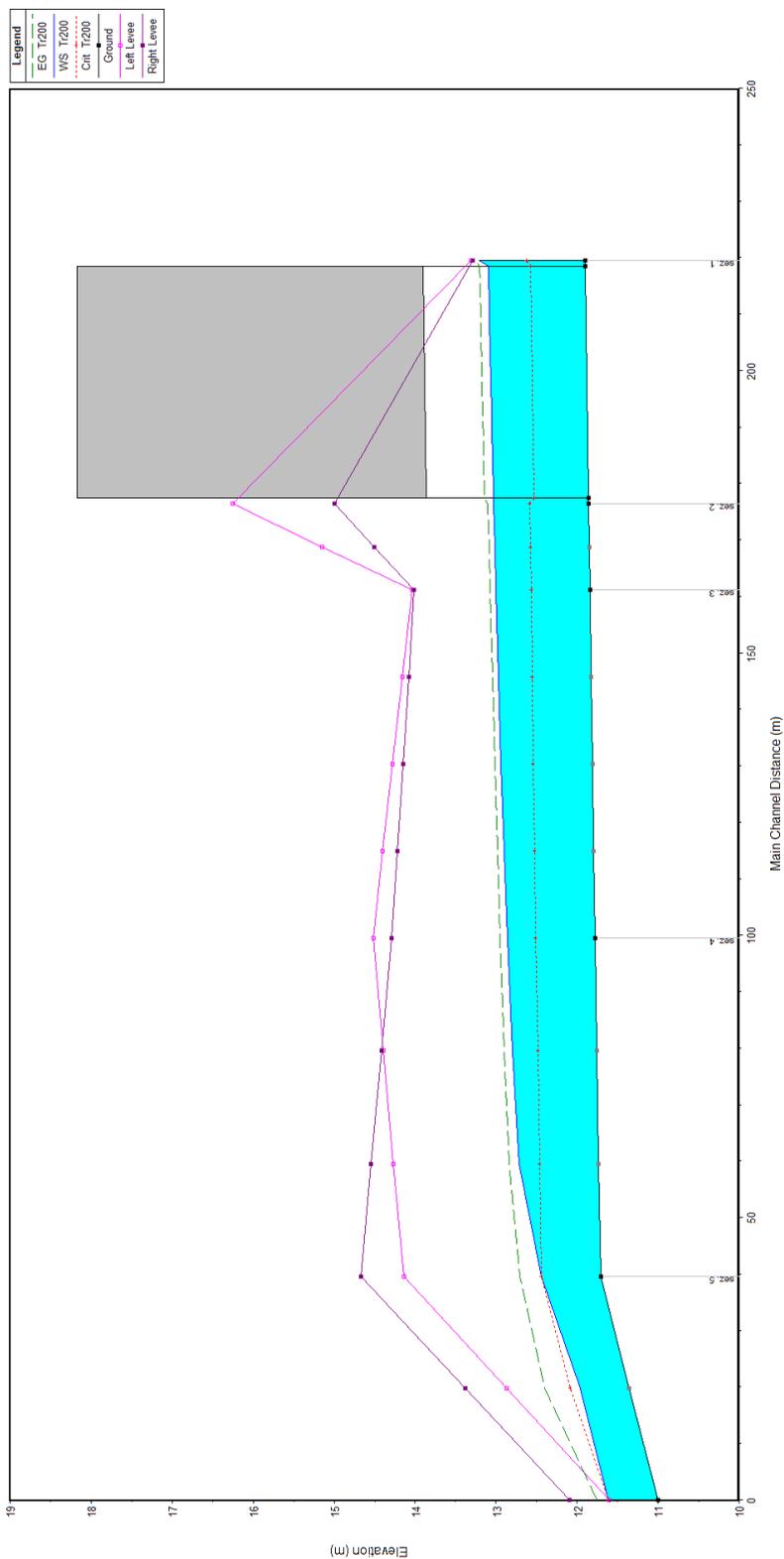


Figura 3 – Profilo idraulico post operam Pk 1+119. Tr 200 anni.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS3Z	00 D 09	RI	ID0002 002	A	20 di 84

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 6 e soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 6 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+119. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN08	Sez. 1	11.90	13.20	1.30	2.00	65.0%

5.1.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre alla leggera 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.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 4).

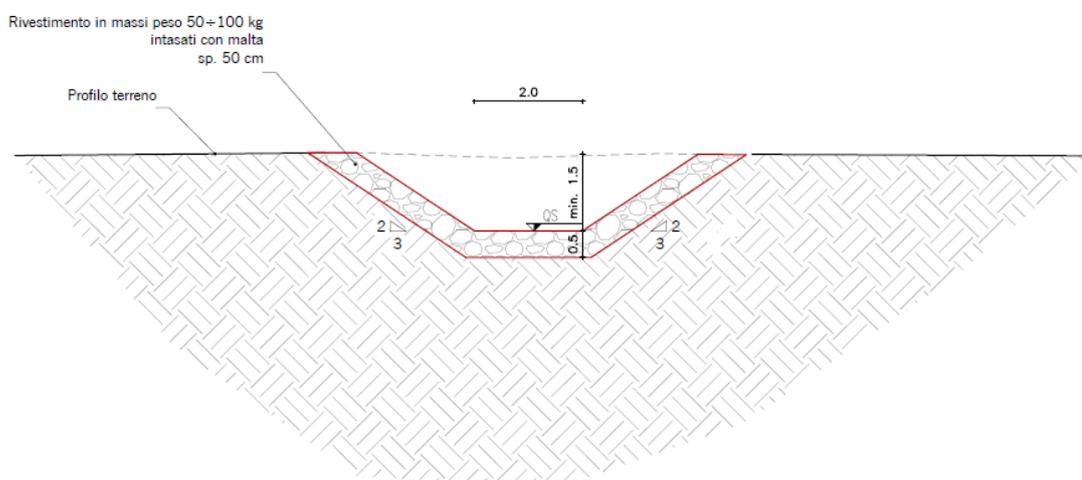


Figura 4 – Sezione tipo sistemazione Pk 1+119.

5.2 TOMBINO IDRAULICO IN 08 ALLA PROGRESSIVA KM 1+835 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 3.0x2.5m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una modesta deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'invalveazione esistente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 22 di 84

Risultati

In Tabella 7 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 7 – Risultati post operam Pk 1+835. Tr 200 anni.

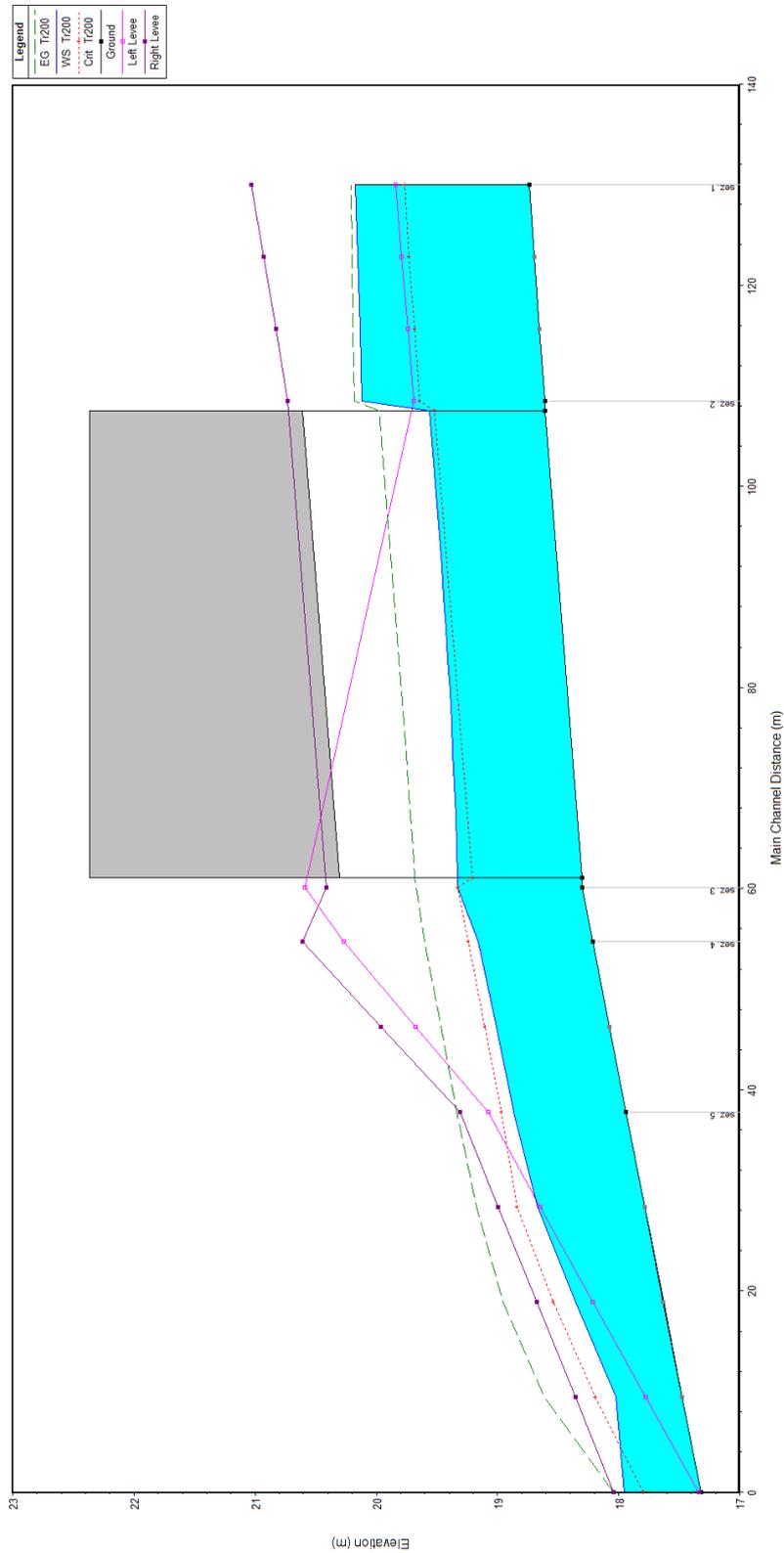
Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	8.13	18.74	20.17	19.77	20.21	1.00	0.32
Sez. 2	8.13	18.61	20.12	19.65	20.18	1.25	0.37
Sez. 3	8.13	18.3	19.33	19.33	19.67	2.59	1.00
Sez. 4	8.13	18.21	19.16	19.24	19.6	2.94	1.17
Sez. 5	8.13	17.94	18.87	18.97	19.33	3.03	1.22
Sez. 6	8.13	17.32	17.95	17.8	18.04	1.77	0.84

In Figura 6 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 8 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 8 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+835. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN08	Sez. 2	18.61	20.12	1.51	2.50	60.4%



5.2.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 7).

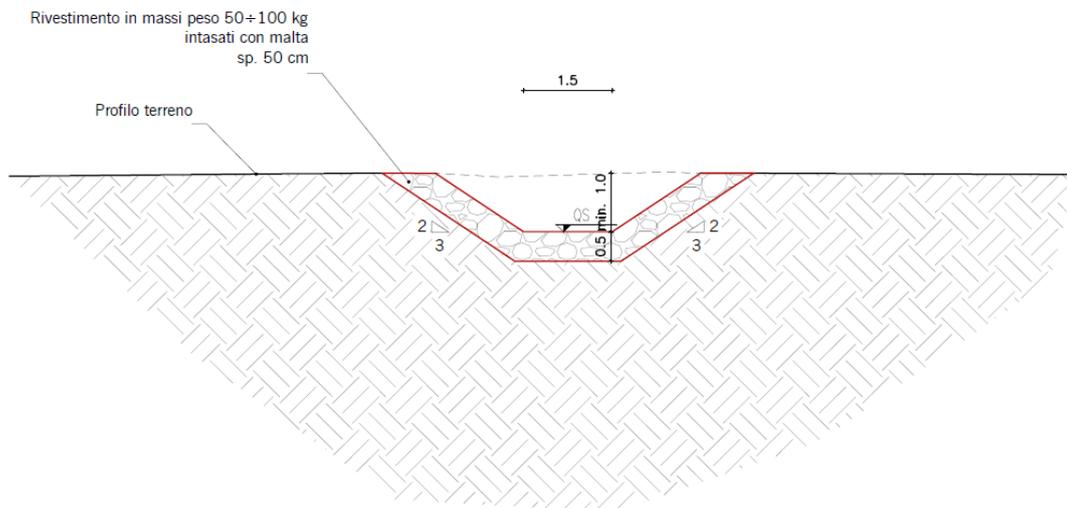


Figura 7 – Sezione tipo sistemazione Pk 1+835.

5.3 TOMBINO IDRAULICO IN 11 ALLA PROGRESSIVA KM 2+613 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 6.0x2.5m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'inalveazione esistente.

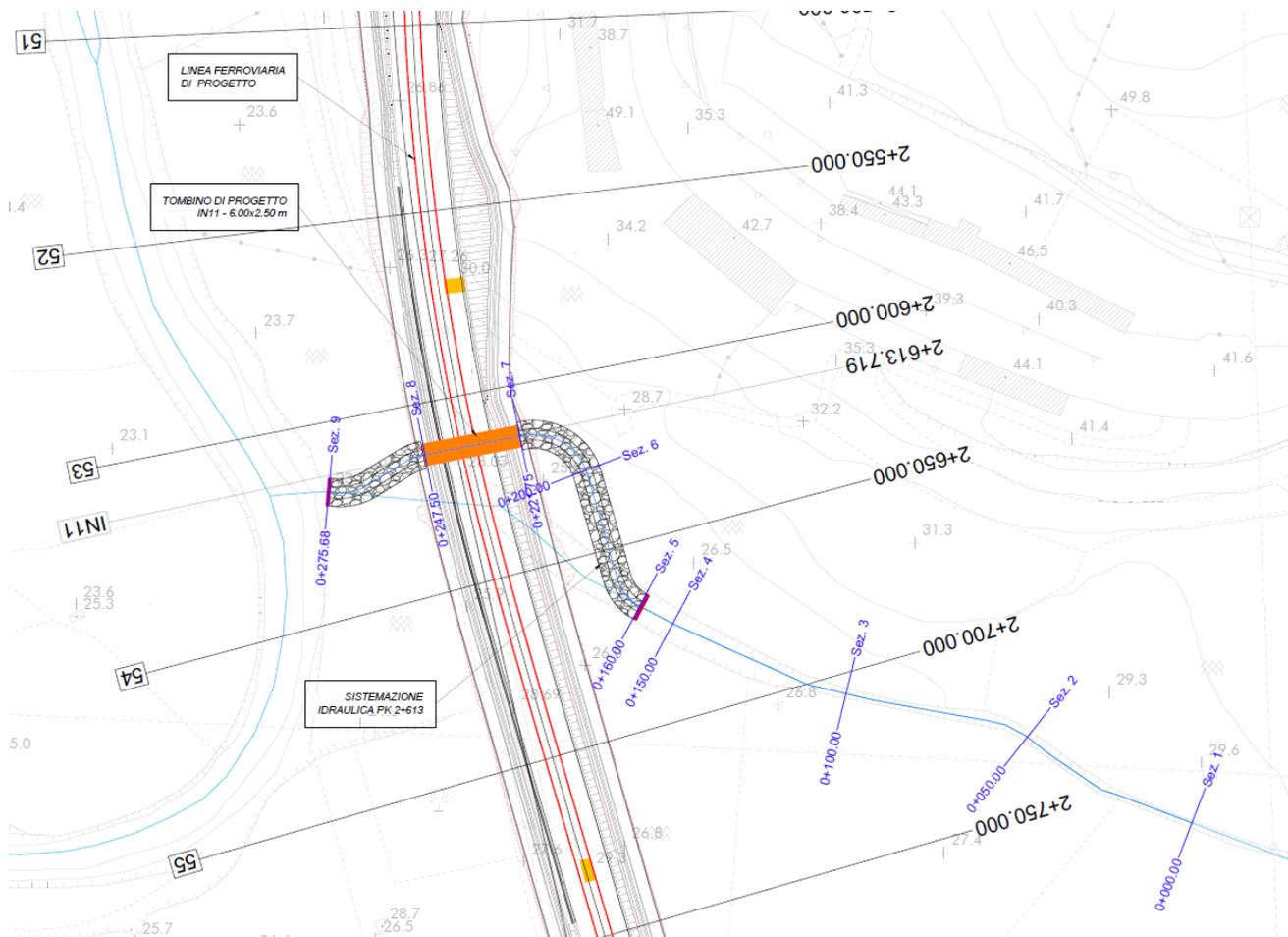


Figura 8 – Configurazione post operam Pk 2+613.

5.3.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| • | N. sezioni (escluse interpolate) | 9 |
| • | N. manufatti | 1 |
| • | Caratteristiche dei manufatti | |
| | Tombino di progetto | |
| | ▪ Tipologia | tombino |
| | ▪ Larghezza x Altezza | 6.0x2.5 m |
| | ▪ Lunghezza | 23.75 m |
| • | Condizioni al contorno | |
| | ○ Portata di verifica | 18.41 m ³ /s (Tr200) |
| | ○ Condizione monte | altezza moto uniforme |
| | ○ Condizione valle | altezza moto uniforme |
| • | Scabrezza (Manning) | |
| | ○ Alveo inciso di progetto | n=0.028 m ^{-1/3} s |
| | ○ Golene | n=0.05 m ^{-1/3} s |

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 26 di 84

Risultati

In Tabella 9 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 9 – Risultati post operam Pk 2+613. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	18.41	28.78	30.49	30.45	30.78	2.42	0.73
Sez. 2	18.41	27.6	29.21	29.2	29.43	2.36	0.77
Sez. 3	18.41	26.34	28.14	28.14	28.35	2.5	0.76
Sez. 4	18.41	24.82	26.16	26.31	26.74	3.36	1.31
Sez. 5	18.41	23.94	24.77	25.2	26.15	5.2	2.07
Sez. 6	18.41	23.75	25.18	25.01	25.50	2.49	0.79
Sez. 7	18.41	23.64	24.9	24.9	25.36	2.99	1.00
Sez. 8	18.41	23.17	24.43	24.43	24.89	2.99	1.00
Sez. 9	18.41	21.7	22.53	22.96	23.93	5.26	2.10

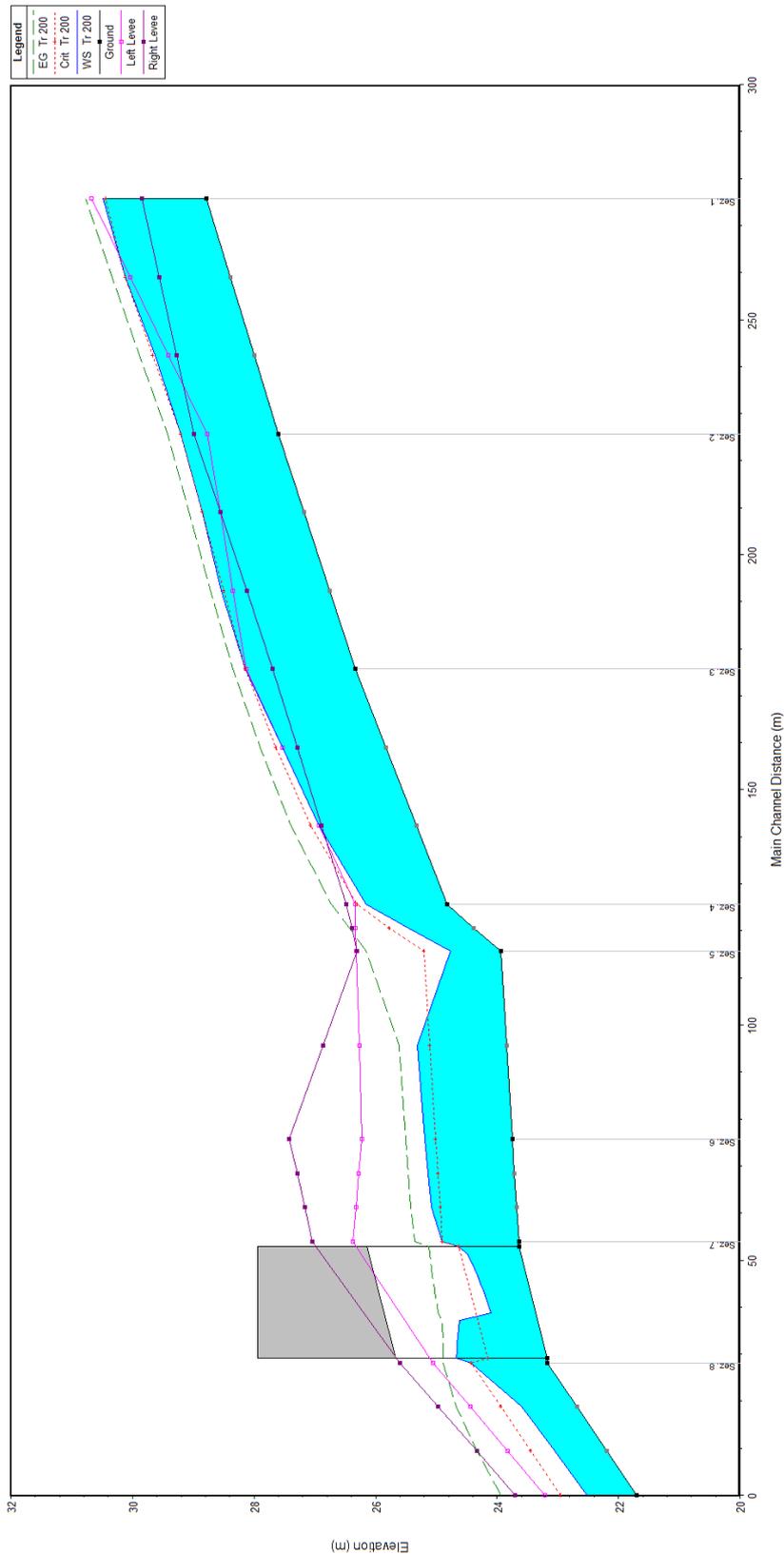
In Figura 9 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in

Tabella 10 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 10 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 2+613. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN11	Sez. 7	23.64	24.90	1.26	2.50	50.4%



5.3.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 10).

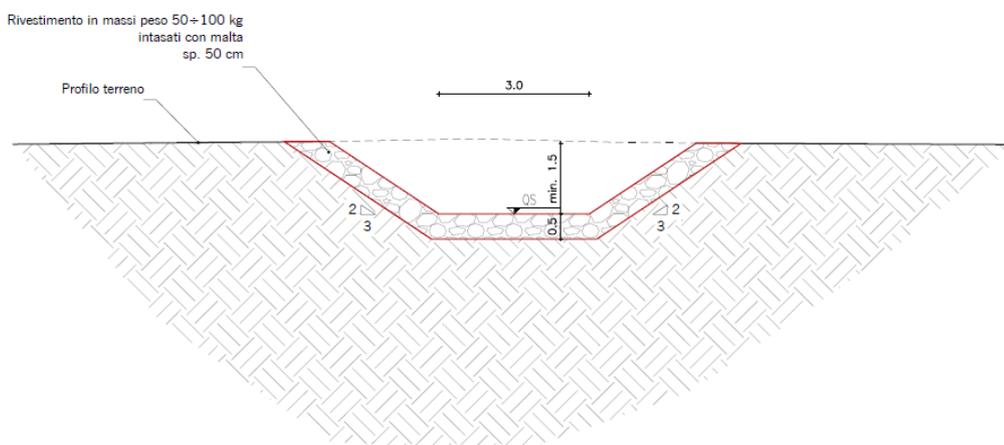


Figura 10 – Sezione tipo sistemazione Pk 2+613.

5.4 TOMBINO IDRAULICO IN 12 ALLA PROGRESSIVA KM 3+234 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 6.0x3.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una modesta deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'incollezione esistente.

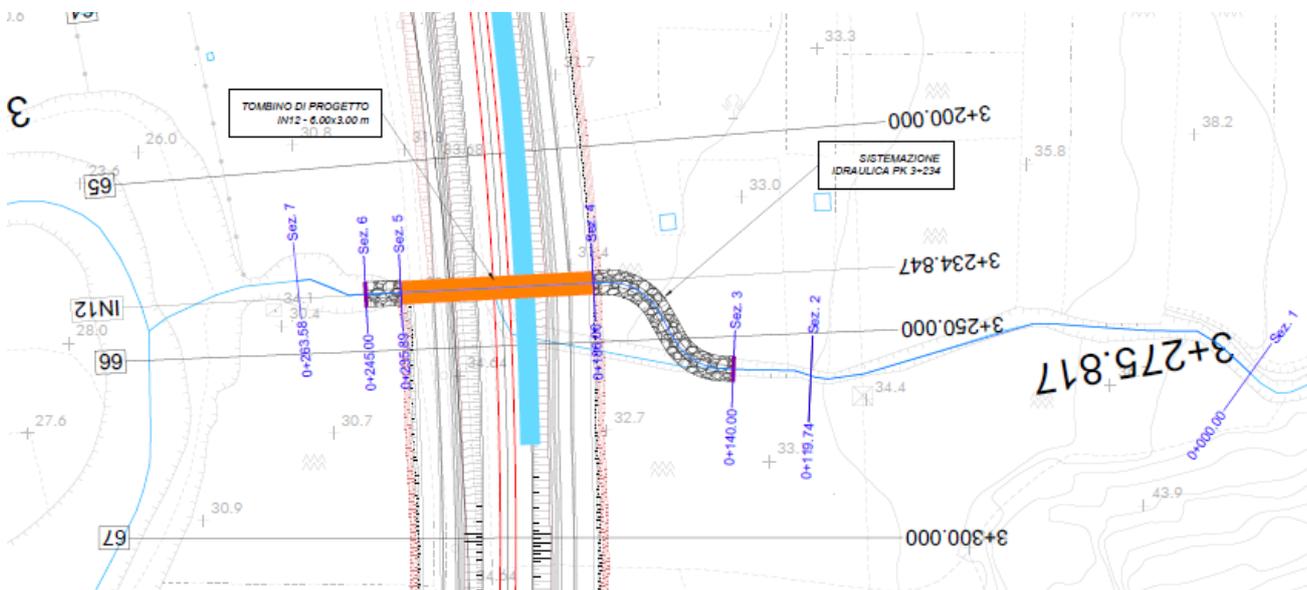


Figura 11 – Configurazione post operam Pk 3+234.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

5.4.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 7
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino di progetto*
 - *Tipologia* tombino
 - *Larghezza x Altezza* 6.0x3.0 m
 - *Lunghezza* 47.80 m
- *Condizioni al contorno*
 - *Portata di verifica* 23.47 m³/s (Tr200)
 - *Condizione monte* altezza moto uniforme
 - *Condizione valle* altezza moto uniforme
- *Scabrezza (Manning)*
 - *Alveo inciso di progetto* n=0.028 m^{-1/3} s
 - *Golene* n=0.05 m^{-1/3} s

Risultati

In Tabella 11 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 11 – Risultati post operam Pk 3+234. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	23.47	38.24	39.14	39.14	39.45	1.68	0.77
Sez. 2	23.47	33.40	34.67	34.71	34.96	2.81	1.09
Sez. 3	23.47	30.92	31.97	32.56	33.96	6.25	2.34
Sez. 4	23.47	29.93	31.25	31.64	32.27	4.48	1.53
Sez. 5	23.47	28.87	30.51	30.51	31.03	3.19	0.98
Sez. 6	23.47	28.29	29.50	29.93	30.82	5.08	1.79
Sez. 7	23.47	27.13	28.30	28.65	29.39	4.62	1.73

In Figura 12 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 12 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 12 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 3+234. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN12	Sez. 4	29.93	31.25	1.32	3.00	44.0%

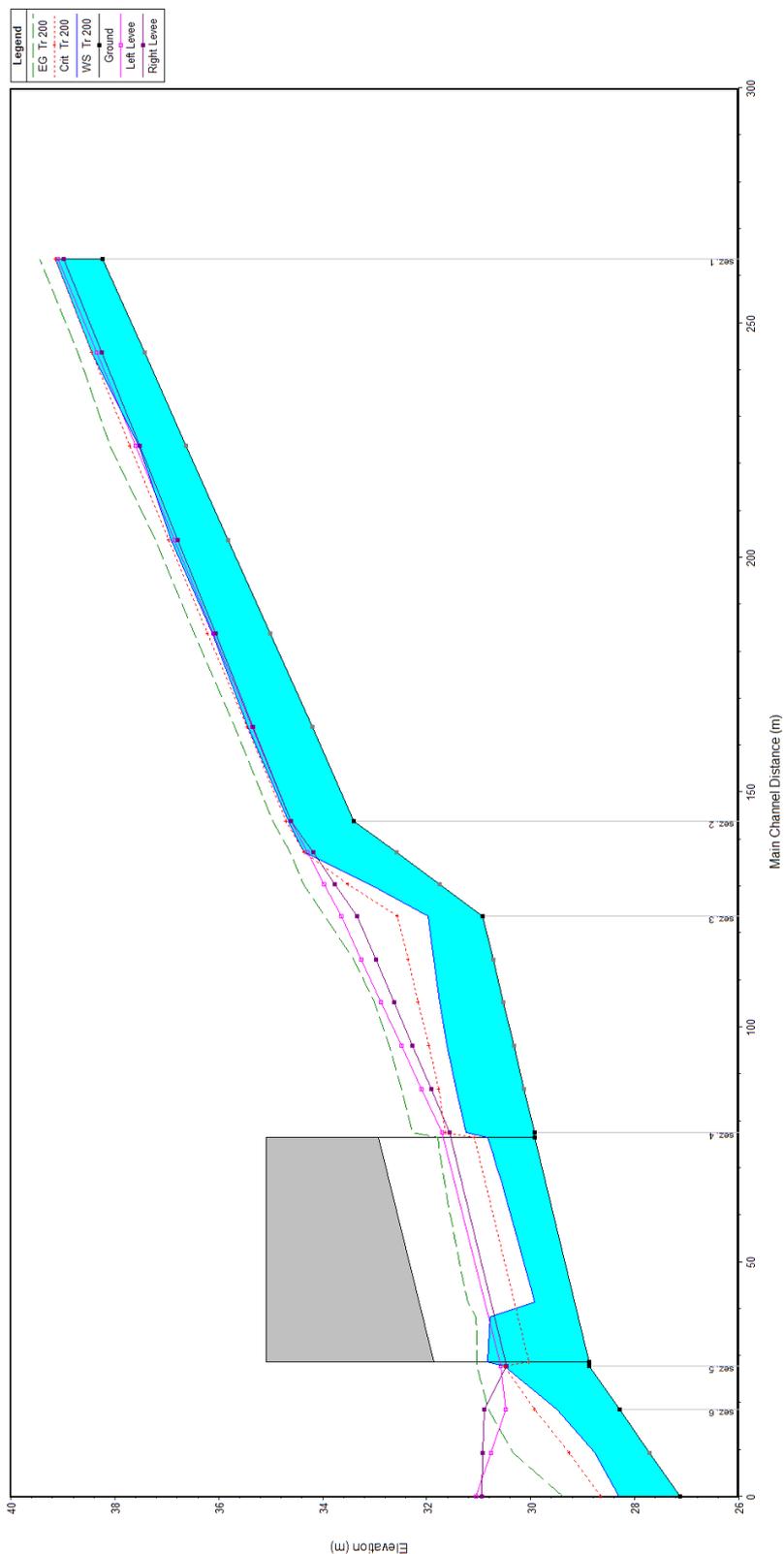


Figura 12 – Profilo idraulico post operam Pk 3+234. Tr 200 anni.

5.4.2 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.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 13).

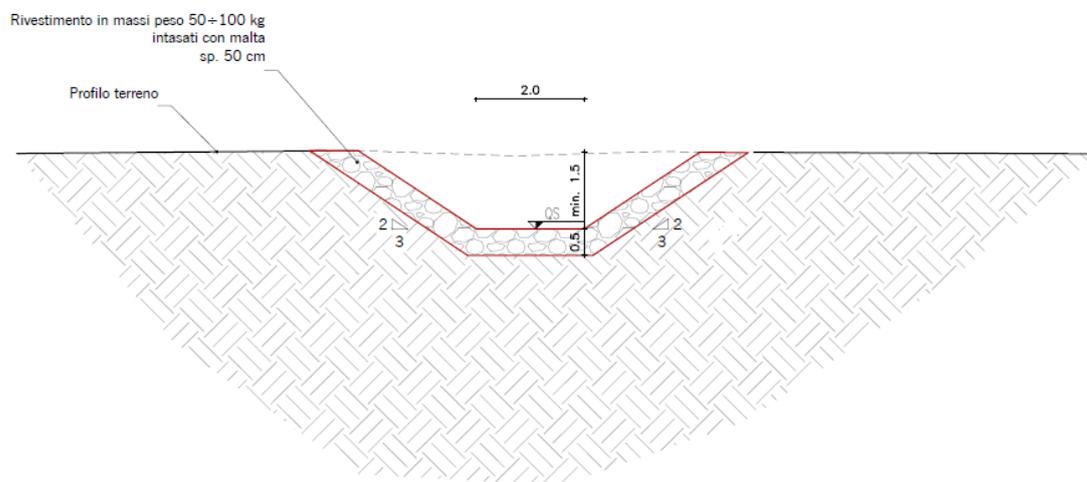


Figura 13 – Sezione tipo sistemazione Pk 3+234.

5.5 TOMBINO IDRAULICO IN 13 ALLA PROGRESSIVA KM 3+390 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 4.0x2.5m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'inalveazione esistente.

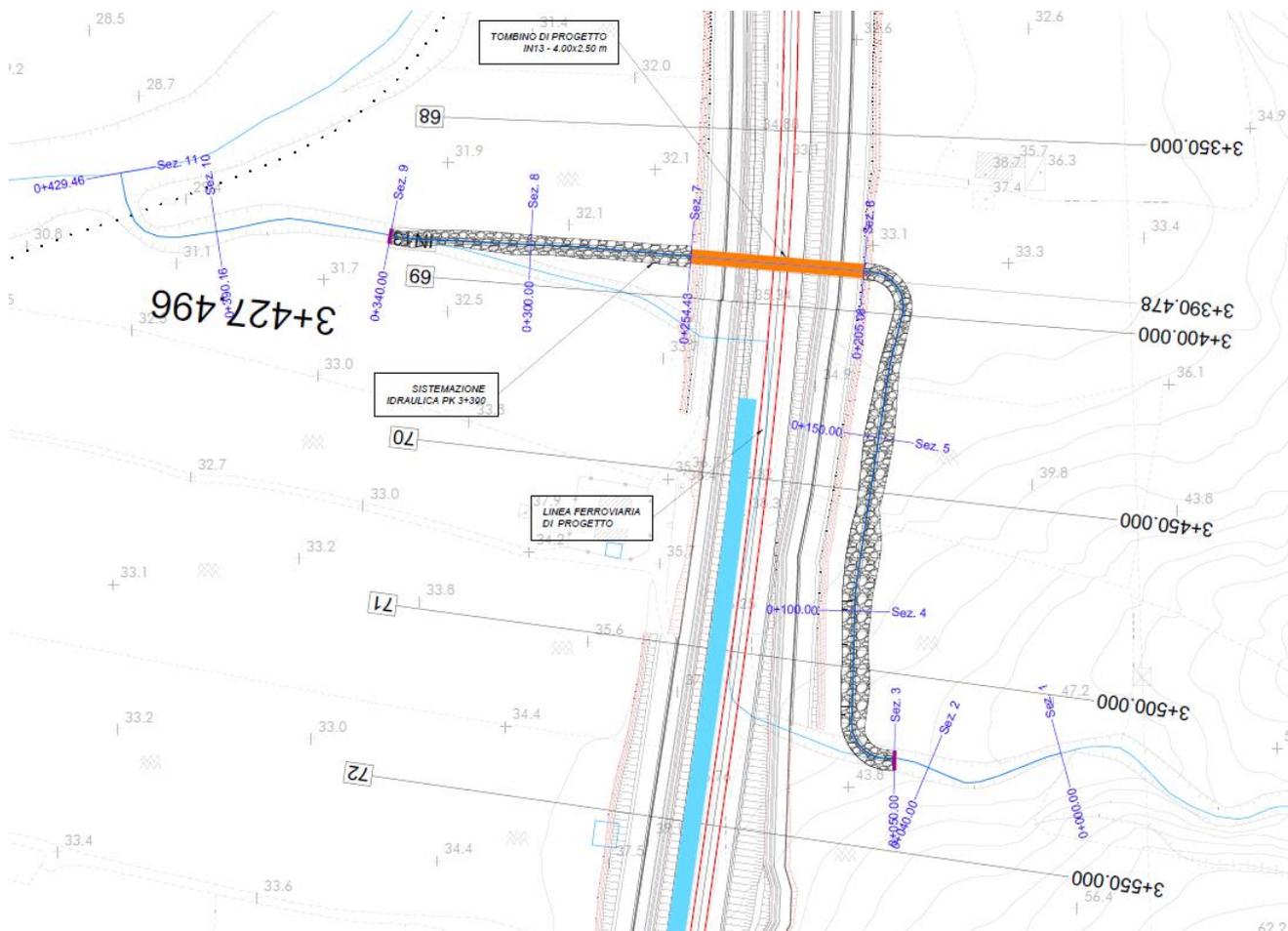


Figura 14– Configurazione post operam Pk 3+390.

5.5.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| • | N. sezioni (escluse interpolate) | 11 |
| • | N. manufatti | 1 |
| • | Caratteristiche dei manufatti | |
| | Tombino di progetto | |
| | ▪ Tipologia | tombino |
| | ▪ Larghezza x Altezza | 4.0x2.5 m |
| | ▪ Lunghezza | 47.50 m |
| • | Condizioni al contorno | |
| | ○ Portata di verifica | 12.13 m ³ /s (Tr200) |
| | ○ Condizione monte | altezza moto uniforme |
| | ○ Condizione valle | altezza moto uniforme |
| • | Scabrezza (Manning) | |
| | ○ Alveo inciso di progetto | n=0.028 m ^{-1/3} s |
| | ○ Golene | n=0.05 m ^{-1/3} s |

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Risultati

In Tabella 13 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 13 – Risultati post operam Pk 3+390. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	12.13	45.71	46.44	46.62	46.98	3.61	1.44
Sez. 2	12.13	43.56	44.38	44.57	45.13	3.96	1.92
Sez. 3	12.13	42.19	43.00	43.44	44.56	5.54	2.37
Sez. 4	12.13	36.92	37.63	38.18	39.93	6.73	3.04
Sez. 5	12.13	32.68	33.42	33.94	35.41	6.24	2.76
Sez. 6	12.13	32.26	33.88	33.54	33.96	1.43	0.41
Sez. 7	12.13	31.89	33.15	33.15	33.56	2.82	1.00
Sez. 8	12.13	31.17	32.30	32.43	32.87	3.36	1.25
Sez. 9	12.13	30.70	31.87	32.03	32.37	3.13	1.14
Sez. 10	12.13	29.65	30.66	30.74	30.98	2.56	1.09
Sez. 11	12.13	25.11	25.44	25.54	25.78	2.63	1.52

In Figura 15 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 14 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 14 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 3+390. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN13	Sez. 6	32.26	33.88	1.62	2.50	64.80%

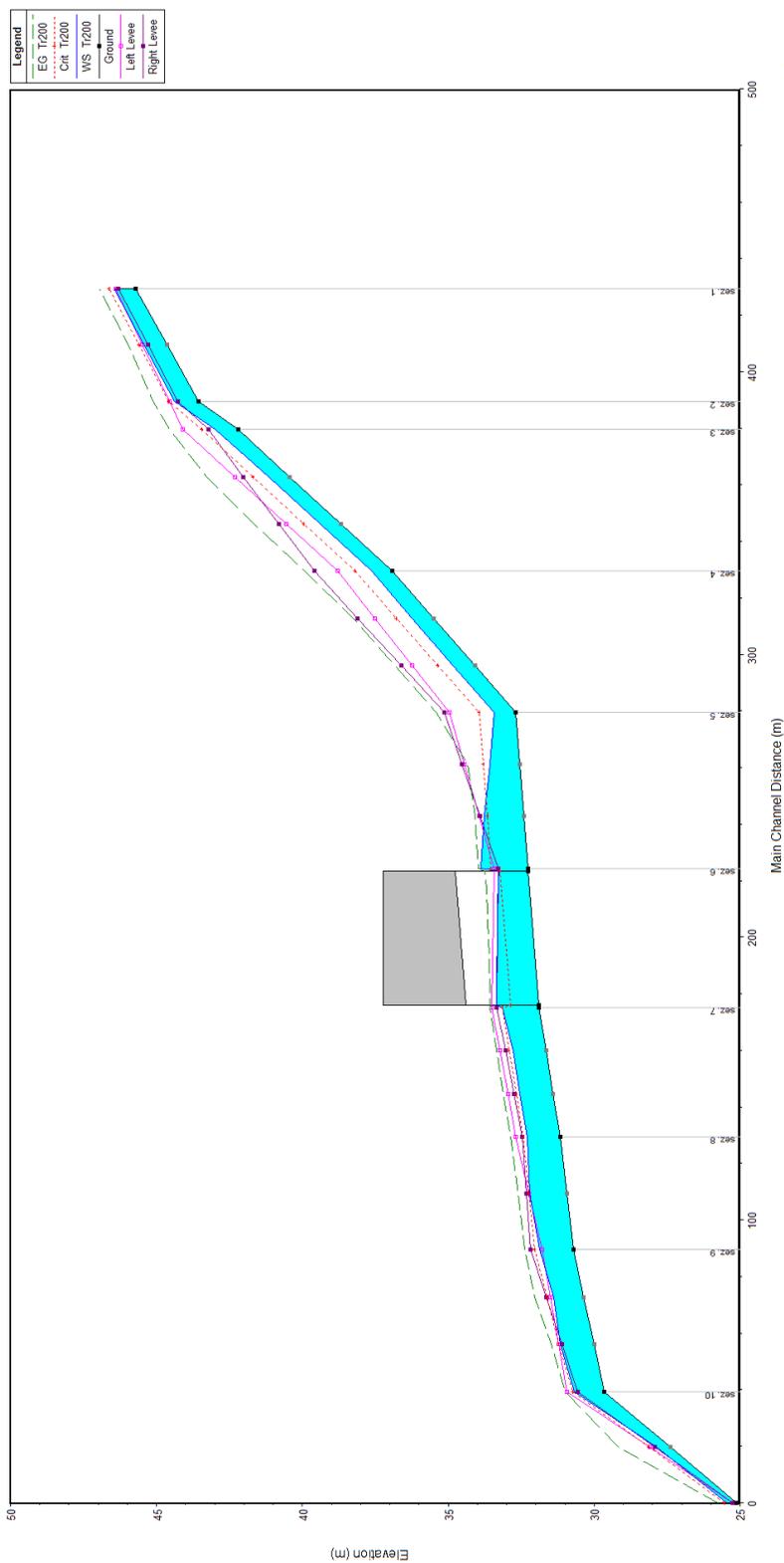


Figura 15 – Profilo idraulico post operam Pk 3+390. Tr 200 anni.

5.5.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 16).

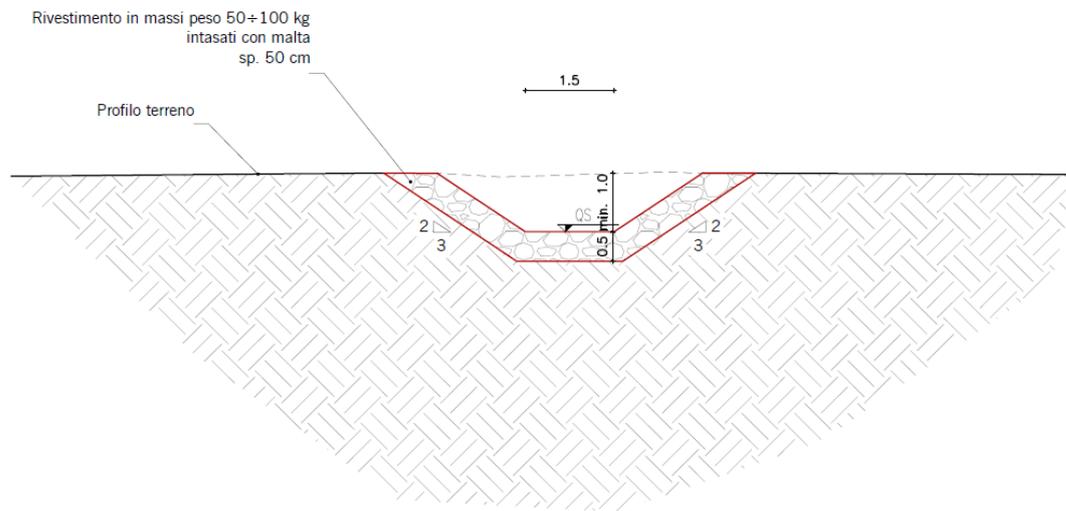


Figura 16 – Sezione tipo sistemazione Pk 3+390.

5.6 TOMBINO IDRAULICO IN 16 ALLA PROGRESSIVA KM 4+020 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 5.0x3.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una modesta deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'inalveazione esistente.



Figura 17 – Configurazione post operam Pk 4+020.

5.6.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 9
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 5.0x3.0 m
 - Lunghezza 43.00 m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 21.68 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza moto uniforme
- Scabrezza (Manning)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 37 di 84

- Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
- Golene $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 15 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 15 – Risultati post operam Pk 4+020. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	21.68	49.84	51.76	51.76	52.30	3.24	1.00
Sez. 2	21.68	47.67	48.94	48.94	49.15	2.15	0.79
Sez. 3	21.68	43.23	44.55	44.63	44.92	3.29	1.09
Sez. 4	21.68	39.83	40.93	41.4	42.43	5.44	2.00
Sez. 5	21.68	38.83	40.15	40.4	41.02	4.12	1.4
Sez. 6	21.68	38.00	38.89	39.57	41.64	7.35	2.95
Sez. 7	21.68	37.24	38.54	38.85	39.45	4.25	1.46
Sez. 8	21.68	36.03	37.24	37.27	37.61	2.71	1.01
Sez. 9	21.68	36.17	37.46	37.46	37.73	2.37	0.87

In Figura 18 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 16 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 16 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 4+020. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN16	Sez. 5	38.83	40.15	1.32	3.00	44.0%

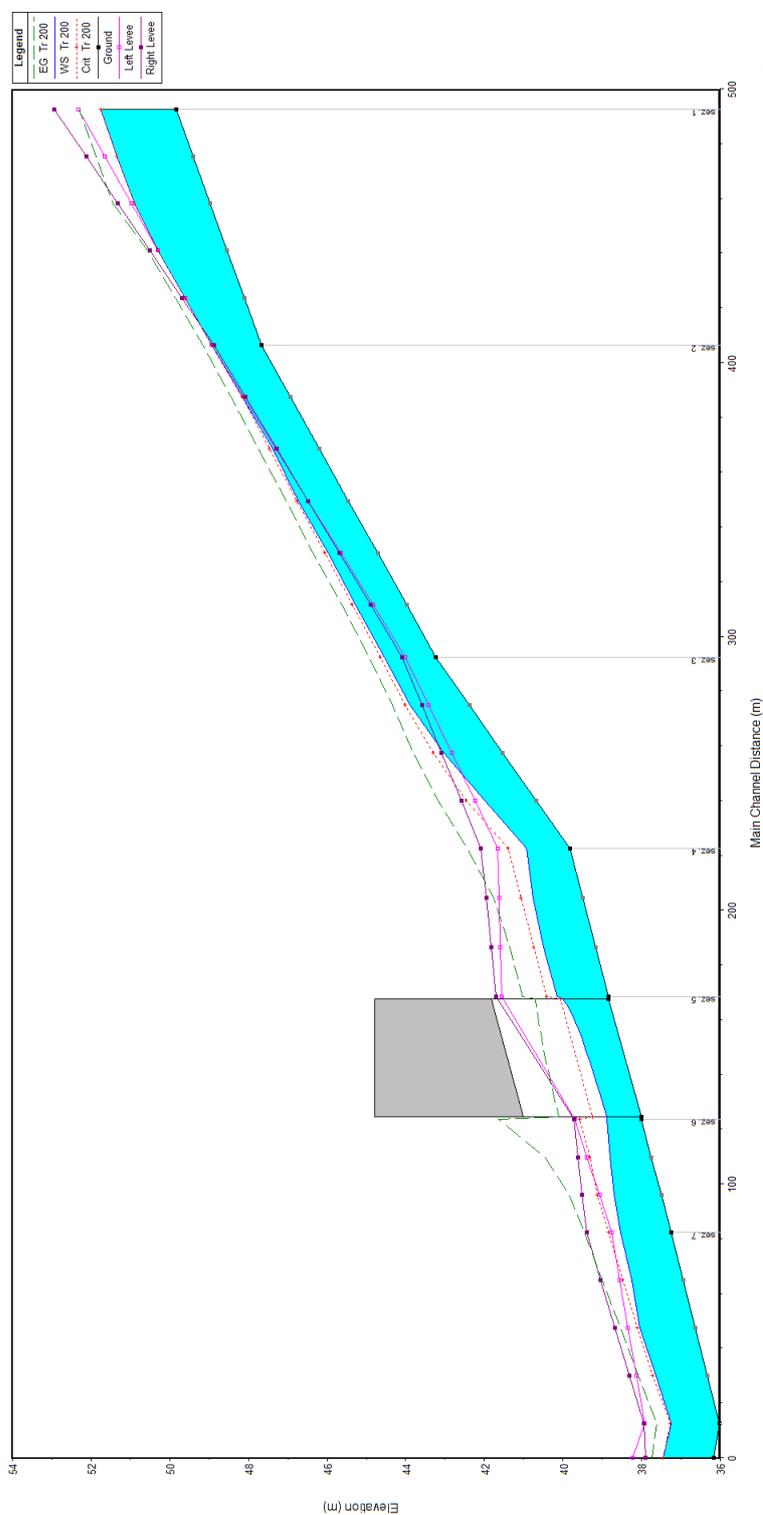


Figura 18 – Profilo idraulico post operam Pk 4+020. Tr 200 anni.

5.6.2 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.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 19).

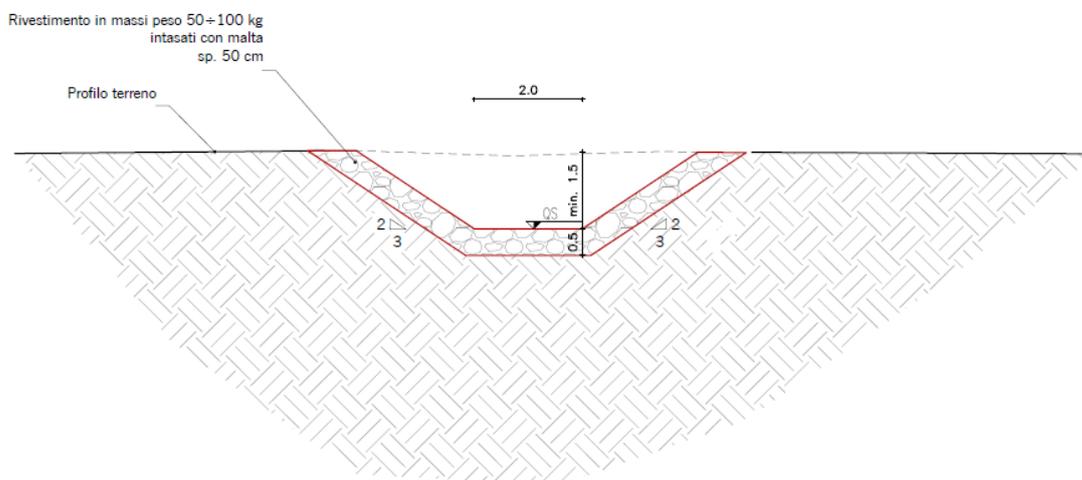


Figura 19 – Sezione tipo sistemazione Pk 4+020.

5.7 TOMBINO IDRAULICO IN 21 ALLA PROGRESSIVA KM 5+374 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 5.0x3.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'inalveazione esistente.

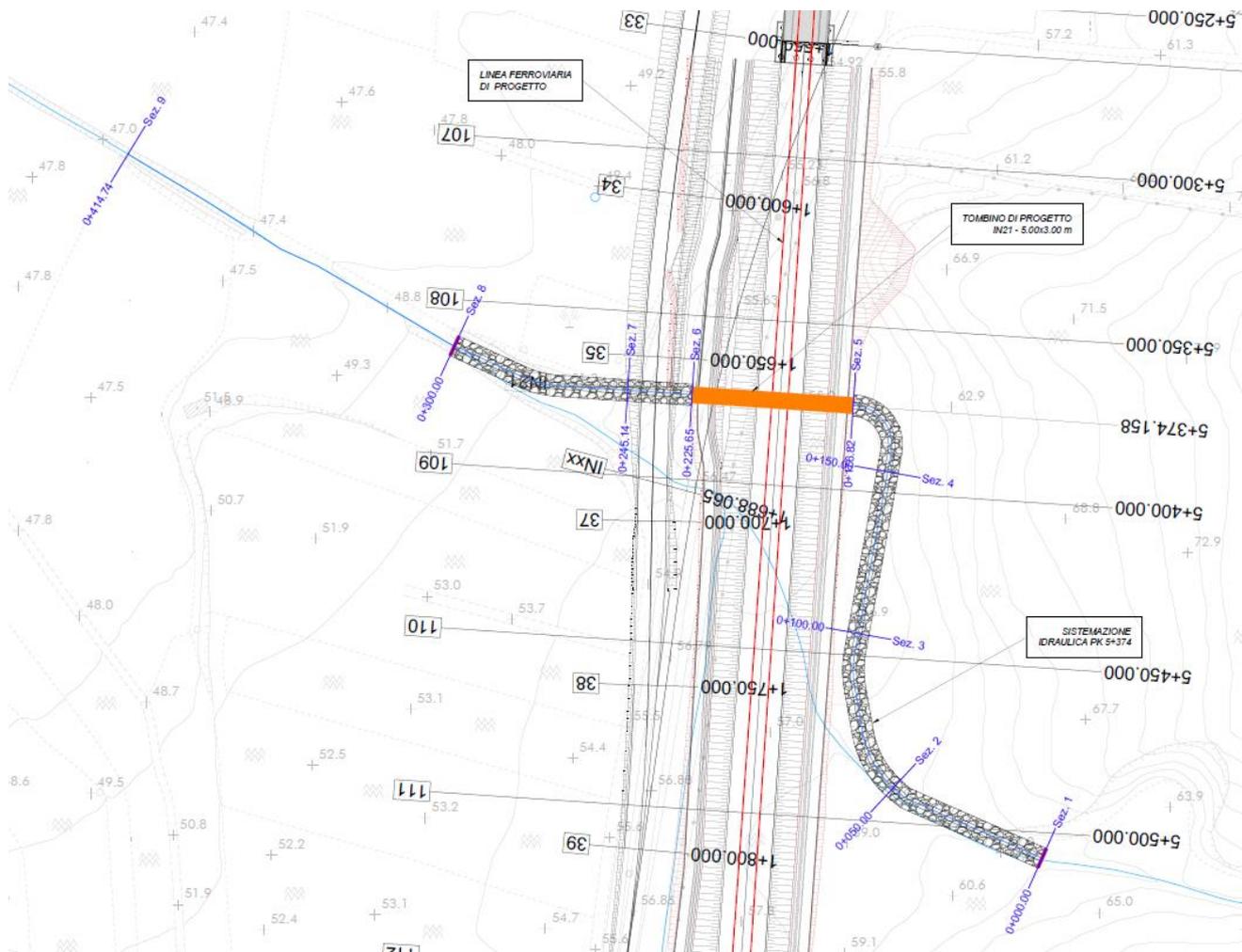


Figura 20 – Configurazione post operam Pk 5+374.

5.7.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- | | | |
|---|----------------------------------|---------------------------------|
| • | N. sezioni (escluse interpolate) | 9 |
| • | N. manufatti | 1 |
| • | Caratteristiche dei manufatti | |
| | Tombino di progetto | |
| | ▪ Tipologia | tombino |
| | ▪ Larghezza x Altezza | 5.0x3.0 m |
| | ▪ Lunghezza | 47.00 m |
| • | Condizioni al contorno | |
| | ○ Portata di verifica | 24.00 m ³ /s (Tr200) |
| | ○ Condizione monte | altezza moto uniforme |
| | ○ Condizione valle | altezza moto uniforme |
| • | Scabrezza (Manning) | |

- Alveo inciso di progetto
- Golene

$$n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$$

$$n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$$

Risultati

In Tabella 17 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 17 – Risultati post operam Pk 5+374. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m³/s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	24	60.97	61.93	62.50	64.60	7.24	2.81
Sez. 2	24	57.14	58.11	58.84	60.70	7.12	2.75
Sez. 3	24	55.66	56.89	57.33	58.20	5.07	1.78
Sez. 4	24	54.18	55.42	55.84	56.71	5.03	1.76
Sez. 5	24	51.91	52.92	53.57	55.25	6.76	2.57
Sez. 6	24	50.87	51.73	52.53	55.35	8.42	3.41
Sez. 7	24	50.45	51.55	51.95	53.36	5.95	2.18
Sez. 8	24	49.61	51.12	51.12	51.25	1.58	0.51
Sez. 9	24	47.47	48.79	48.79	48.93	1.70	0.59

In Figura 21 è riportato il profilo idrico di calcolo.

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 18 e soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 18 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 5+374. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN21	Sez. 5	51.91	52.92	1.01	3.00	33.6%

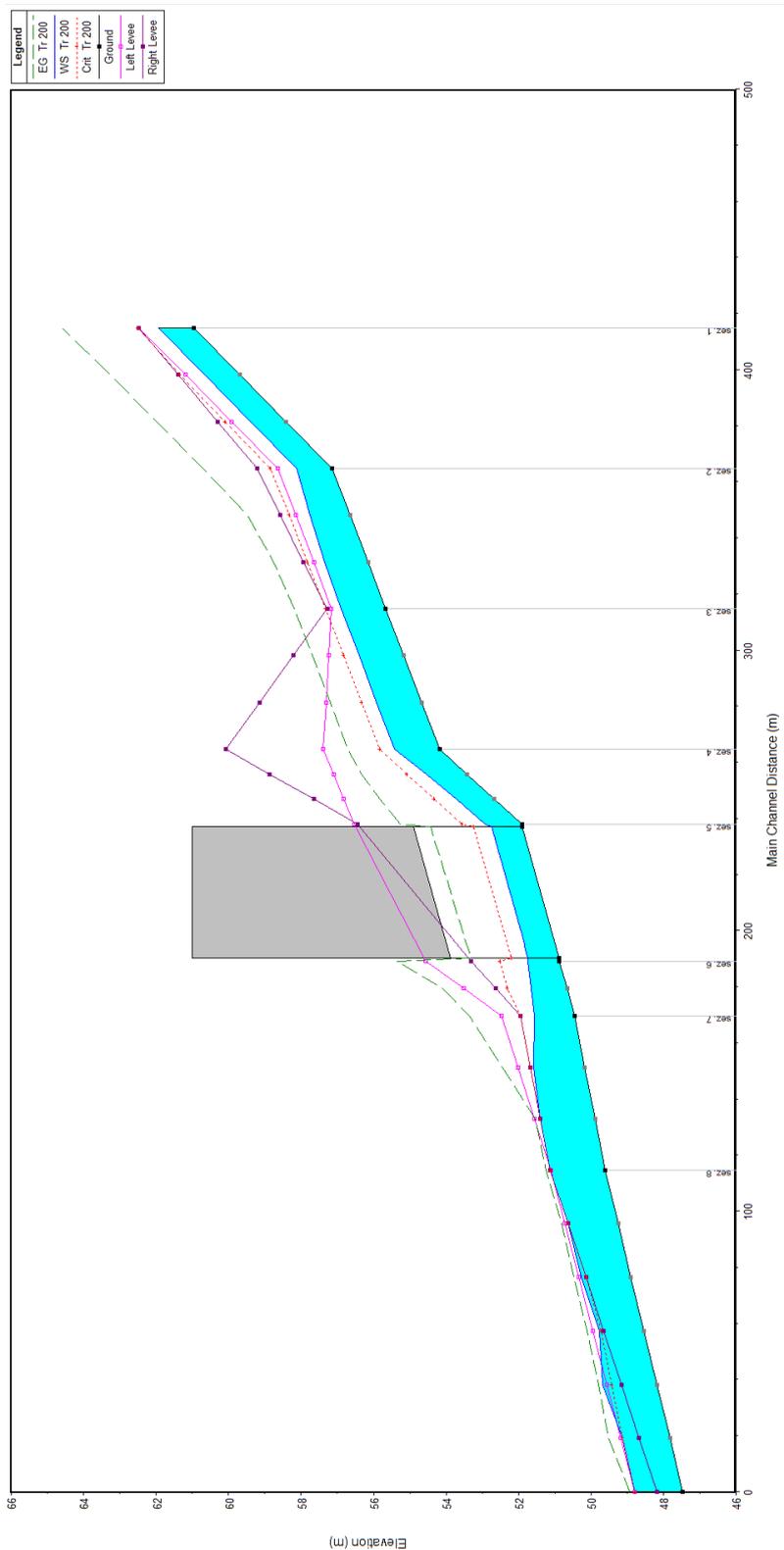


Figura 21 – Profilo idraulico post operam Pk 5+374. Tr 200 anni.

5.7.2 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.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 22).

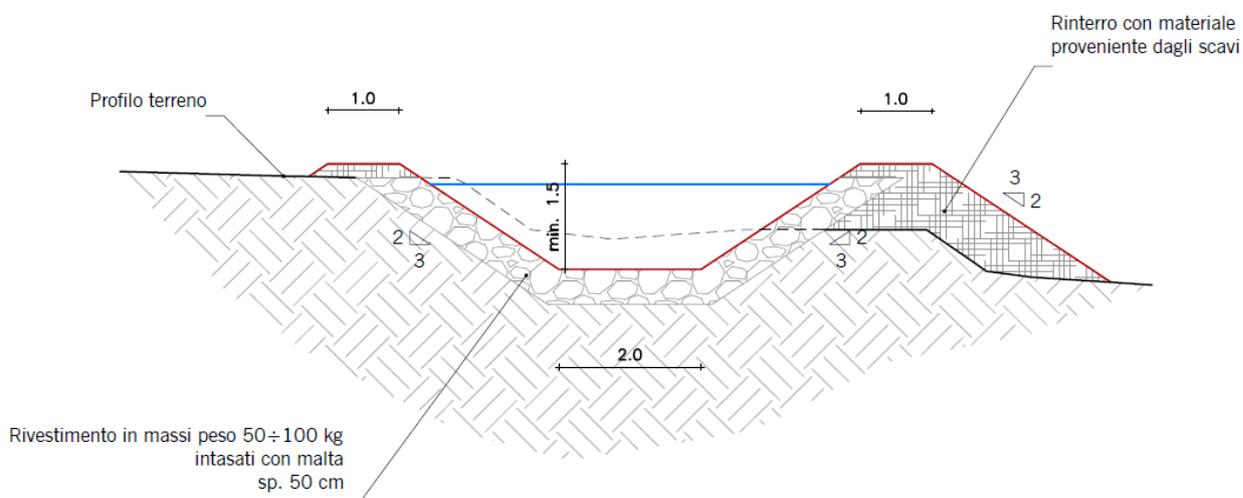


Figura 22 – Sezione tipo sistemazione Pk 5+374.

5.8 TOMBINO IDRAULICO IN 22 ALLA PROGRESSIVA KM 5+850 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 5.0x3.0m al disotto della viabilità NV04 e di un tombino di dimensione 5.0x3.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del corso d'acqua in corrispondenza del primo manufatto al fine di raccordare l'inalveazione esistente con tale manufatto.

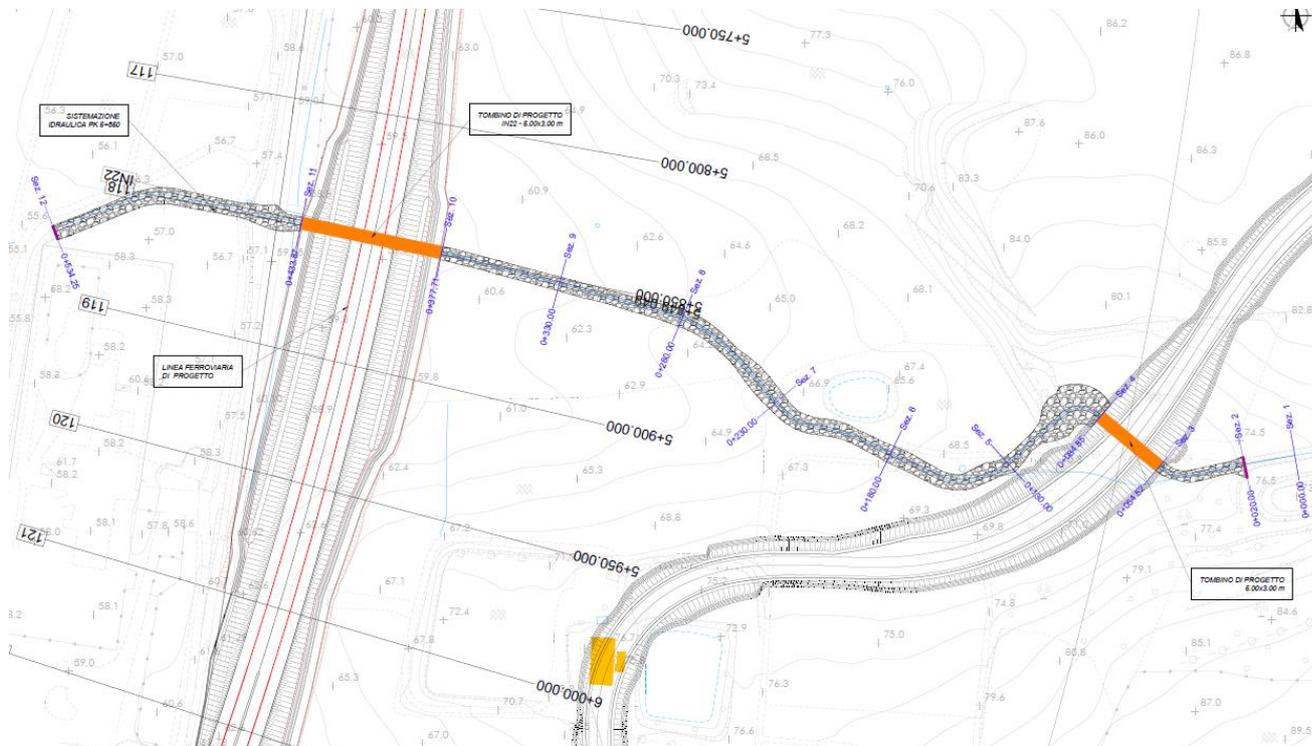


Figura 23 – Configurazione post operam Pk 5+850.

5.8.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 12
- N. manufatti 2
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto al disotto della viabilità NV04
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 5.0x3.0 m
 - Lunghezza 28.00 m
 - Tombino di progetto al disotto della linea ferroviaria
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 5.0x3.0 m
 - Lunghezza 54.00 m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 16.47 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza moto uniforme
- Scabrezza (Manning)
 - Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Risultati

In Tabella 19 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 19 – Risultati post operam Pk 5+850. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	16.47	74.40	76.06	76.13	76.41	3.01	0.94
Sez. 2	16.47	73.18	74.22	74.65	75.57	5.14	1.97
Sez. 3	16.47	70.80	71.73	72.18	73.63	6.09	2.45
Sez. 4	16.47	69.62	71.10	71.10	71.56	3.01	1.00
Sez. 5	16.47	67.87	68.94	69.35	70.19	4.95	1.88
Sez. 6	16.47	65.92	66.97	67.39	68.29	5.07	1.94
Sez. 7	16.47	63.96	65.01	65.44	66.33	5.09	1.95
Sez. 8	16.47	62.01	63.06	63.48	64.38	5.08	1.95
Sez. 9	16.47	60.05	61.10	61.61	62.43	5.10	1.95
Sez. 10	16.47	58.22	59.28	59.74	60.58	5.05	1.93
Sez. 11	16.47	56.50	57.11	57.84	61.48	9.25	4.33
Sez. 12	16.47	55.58	56.40	56.28	56.61	2.56	1.00

In Figura 24 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del franco e dal grado di riempimento riportati in Tabella 20 e **soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 20 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 5+850. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
NV04	Sez. 3	70.80	71.73	0.93	3.00	31.0%
IN22	Sez. 10	58.22	59.28	1.06	3.00	35.3%

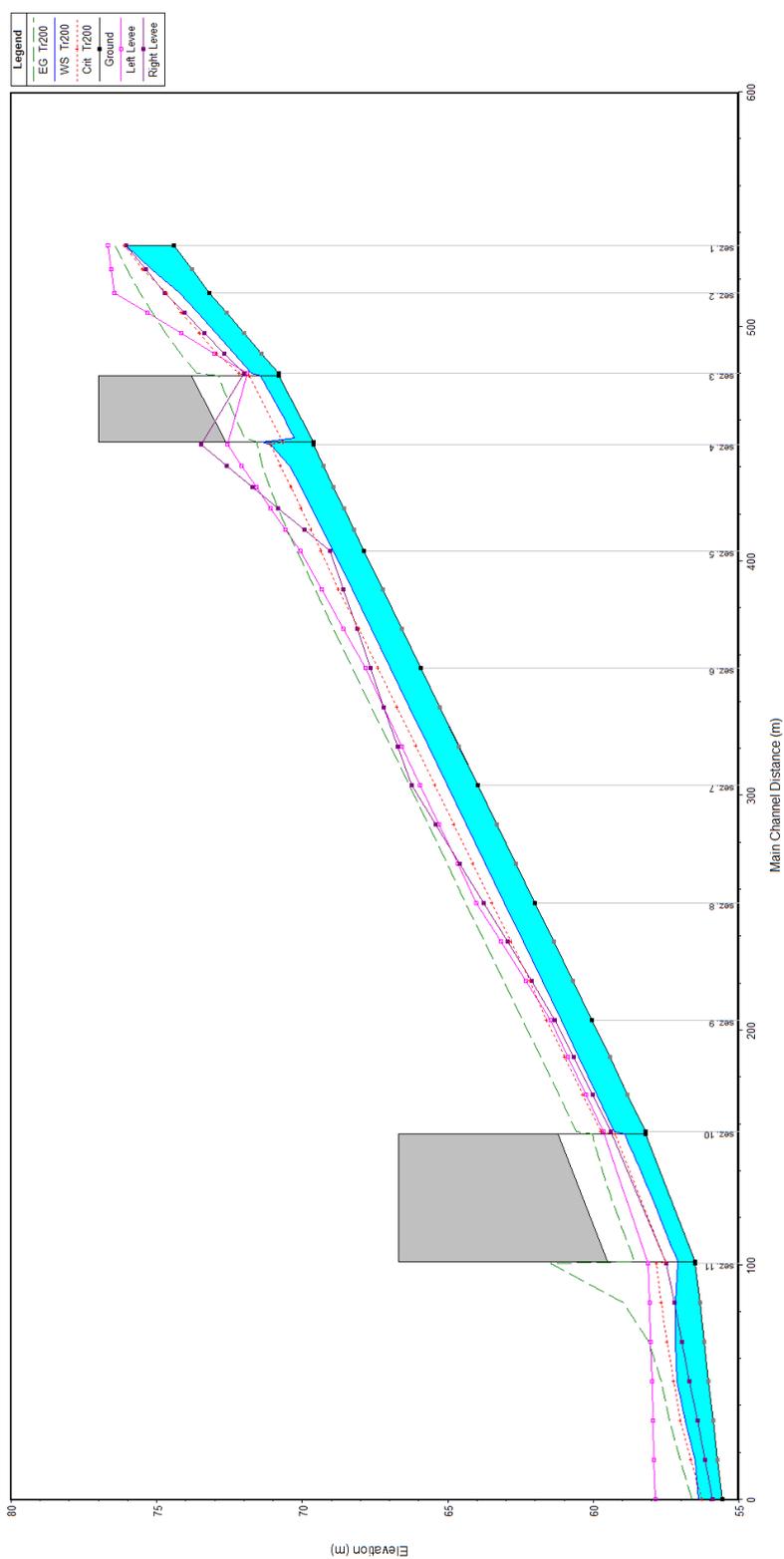


Figura 24 – Profilo idraulico post operam Pk 5+850. Tr 200 anni.

5.8.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 25).

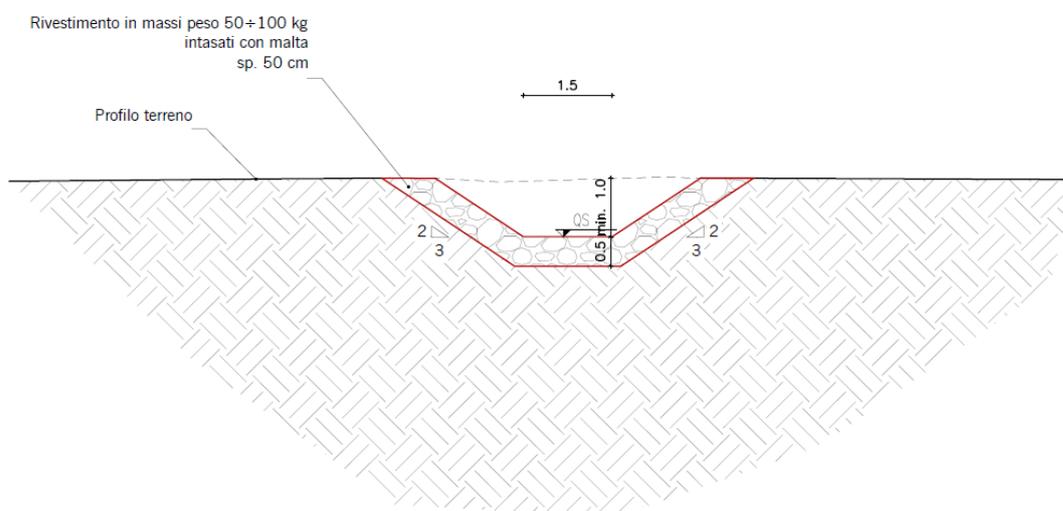


Figura 25 – Sezione tipo sistemazione Pk 5+850.

5.9 TOMBINO IDRAULICO IN 24 ALLA PROGRESSIVA KM 6+760 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 3.0x3.0m e pendenza 2.7% al di sotto della linea ferroviaria di progetto, ubicato in corrispondenza del manufatto esistente sulla linea storica.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri della verifica idraulica eseguita, in particolare: le dimensioni del manufatto di attraversamento (base e altezza, D), la pendenza i , il tirante idrico y_m , la velocità media v , l'energia specifica rispetto al fondo H e il grado di riempimento (y_m/D).

Tabella 21 - Verifica opere minori

WBS	Qprogetto m ³ /s	i	n	base m	D m	y_m m	v m/s	H m	y_m/D
IN24	2.35	0.027	0.02	3.00	3.00	0.26	3.01	0.72	0.09

Il tombino presenta, dunque, un grado di riempimento pari al 9.0% e **soddisfa**, pertanto, i **criteri di verifica riportati al § 3.1**.

5.10 TOMBINO IDRAULICO IN 25 ALLA PROGRESSIVA KM 7+058 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 3.0x3.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una canalizzazione a monte e a valle della ferrovia di progetto con sbocco nel F. Torto.

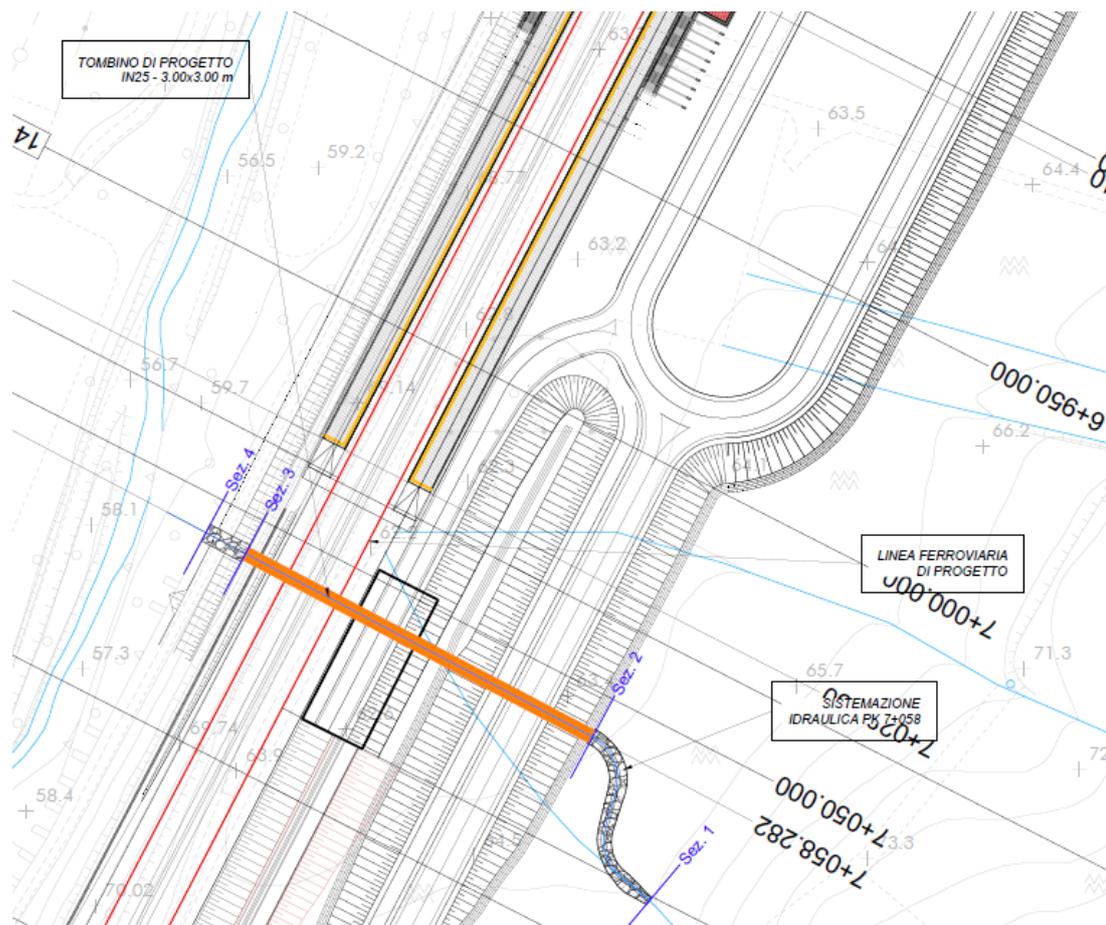


Figura 26 – Configurazione post operam Pk 7+058.

5.10.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 4
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti

Tombino di progetto	
▪ Tipologia	tombino
▪ Larghezza x Altezza	3.0x3.0 m
▪ Lunghezza	81.50 m
- Condizioni al contorno

○ Portata di verifica	2.17 m ³ /s (Tr200)
○ Condizione monte	altezza moto uniforme
○ Condizione valle	altezza moto uniforme

- **Scabrezza** (Manning)
 - Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 22 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 22 – Risultati post operam Pk 7+058. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	2.17	65.73	66.00	66.20	66.87	4.13	3.21
Sez. 2	2.17	63.15	63.54	63.73	64.17	3.50	2.09
Sez. 3	2.17	61.61	62.19	62.19	62.39	1.98	1.00
Sez. 4	2.17	61.31	61.94	62.02	62.24	2.40	1.28

In Figura 27 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del franco e dal grado di riempimento riportati in Tabella 23 e **soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 23 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+058. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN25	Sez. 2	63.15	63.54	0.39	3.00	13.0%

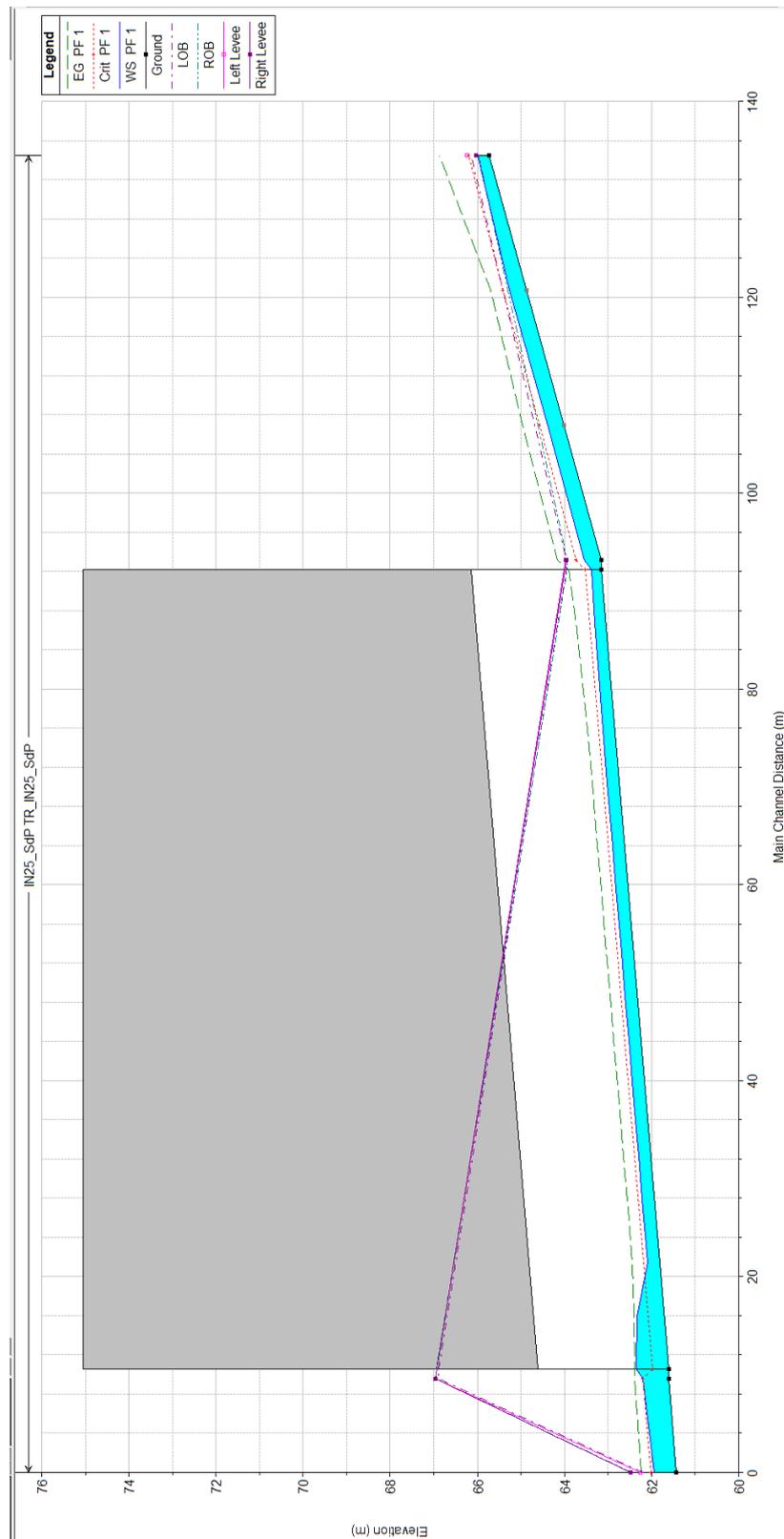


Figura 27 – Profilo idraulico post operam Pk 7+058. Tr 200 anni.

5.10.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 28).

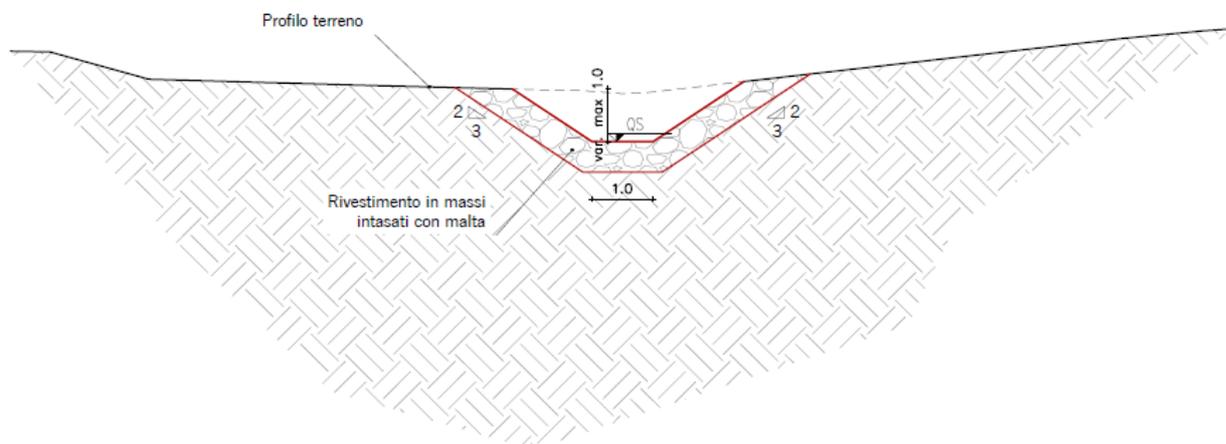


Figura 28 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+058.

5.11 TOMBINO IDRAULICO IN 26 ALLA PROGRESSIVA KM 7+188 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 2.0x2.0m al disotto della viabilità NV06b e di un tombino di dimensione 2.0x2.0m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del tracciato esistente a monte e a valle dei manufatti di progetto in maniera tale da raccordare l'inalveazione esistente con le opere di progetto.

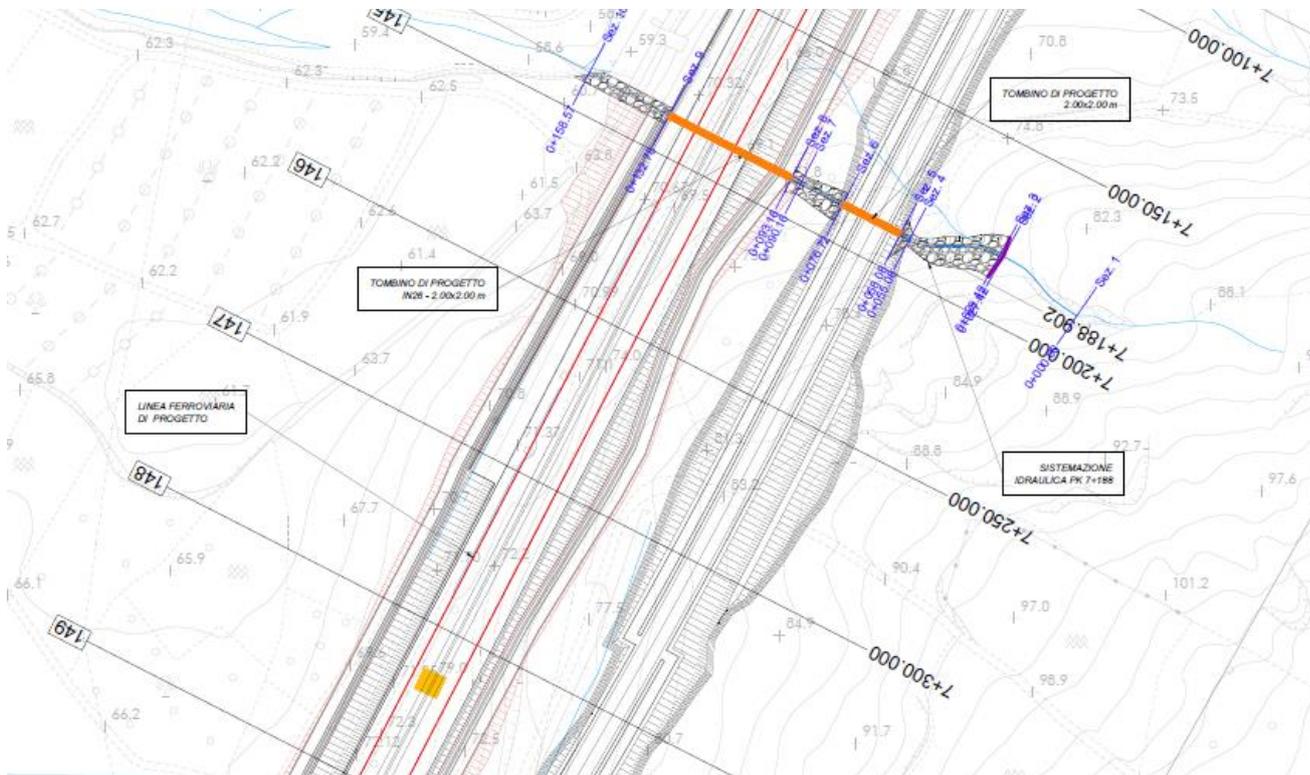


Figura 29 – Configurazione post operam Pk 7+188.

5.11.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 10
- N. manufatti 2
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto al disotto della viabilità NV06b
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 2.0x2.0 m
 - Lunghezza 16.50 m
 - Tombino di progetto al disotto della linea ferroviaria
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 2.0x2.0 m
 - Lunghezza 37.50 m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 2.31 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza critica
- Scabrezza (Manning)
 - Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Risultati

In Tabella 24 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 24 – Risultati post operam Pk 7+188. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	2.31	82.00	82.66	82.78	0.10	2.75	1.53
Sez. 2	2.31	77.96	78.36	78.52	0.18	3.52	2.12
Sez. 3	2.31	75.30	75.55	75.96	0.42	7.48	5.22
Sez. 4	2.31	74.43	74.89	75.04	0.04	3.01	1.69
Sez. 5	2.31	71.34	71.56	71.94	0.56	7.96	6.08
Sez. 6	2.31	70.73	71.00	71.33	0.26	6.09	4.25
Sez. 7	2.31	70.29	70.74	70.89	0.04	3.09	1.75
Sez. 8	2.31	69.29	69.60	69.89	0.16	5.11	3.36
Sez. 9	2.31	68.00	68.32	68.60	0.14	4.86	3.15
Sez. 10	2.31	57.66	57.92	58.09	0.44	4.68	4.94

In Figura 30 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del franco e dal grado di riempimento riportati in Tabella 25 e **soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 25 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+188. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
NV06b	Sez. 5	71.34	71.56	0.22	3.00	7.3%
IN26	Sez. 8	69.29	69.60	0.31	3.00	10.3%

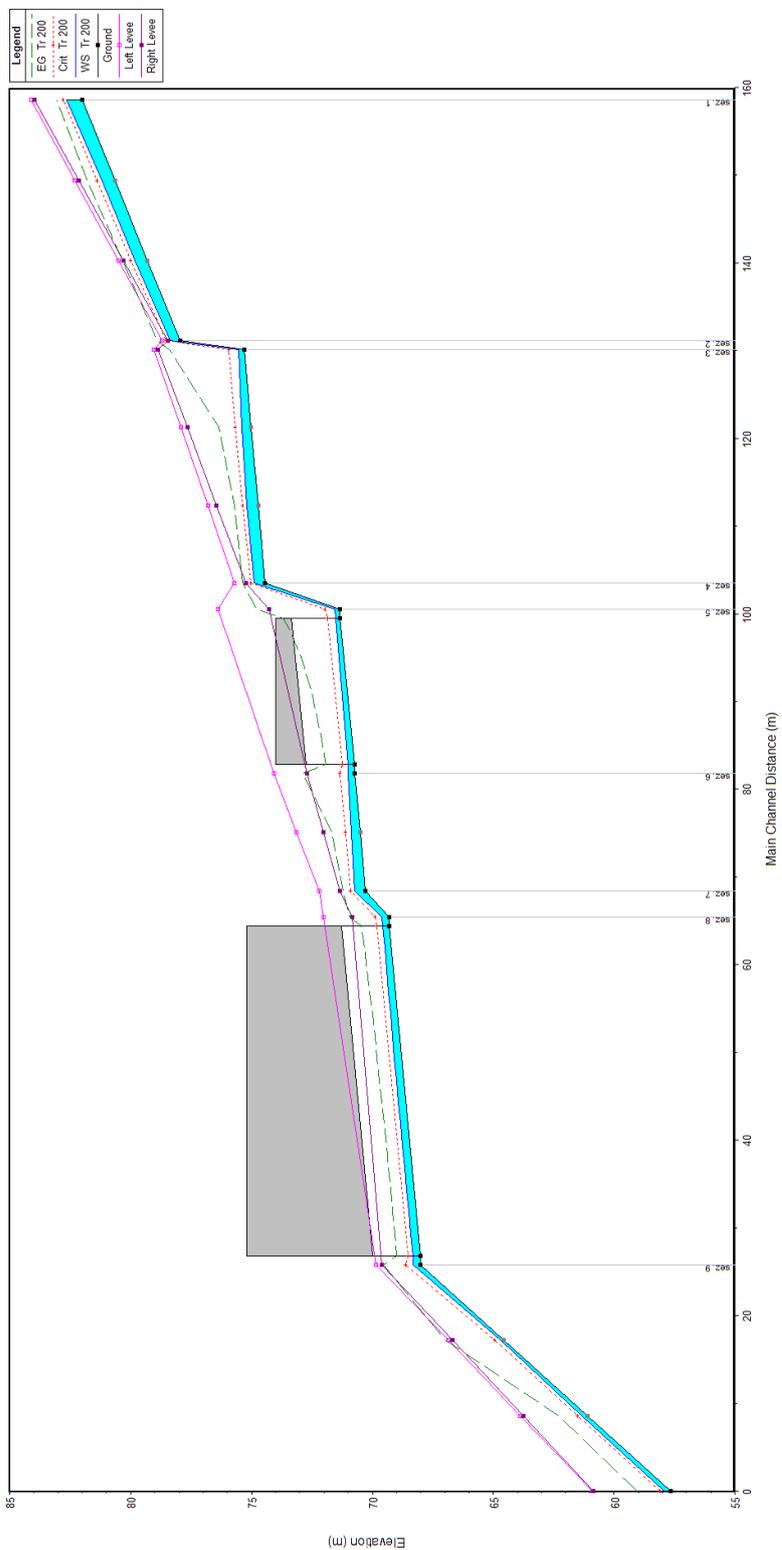


Figura 30 – Profilo idraulico post operam Pk 7+188. Tr 200 anni.

5.11.2 Sistemazione e protezione

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

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 31).

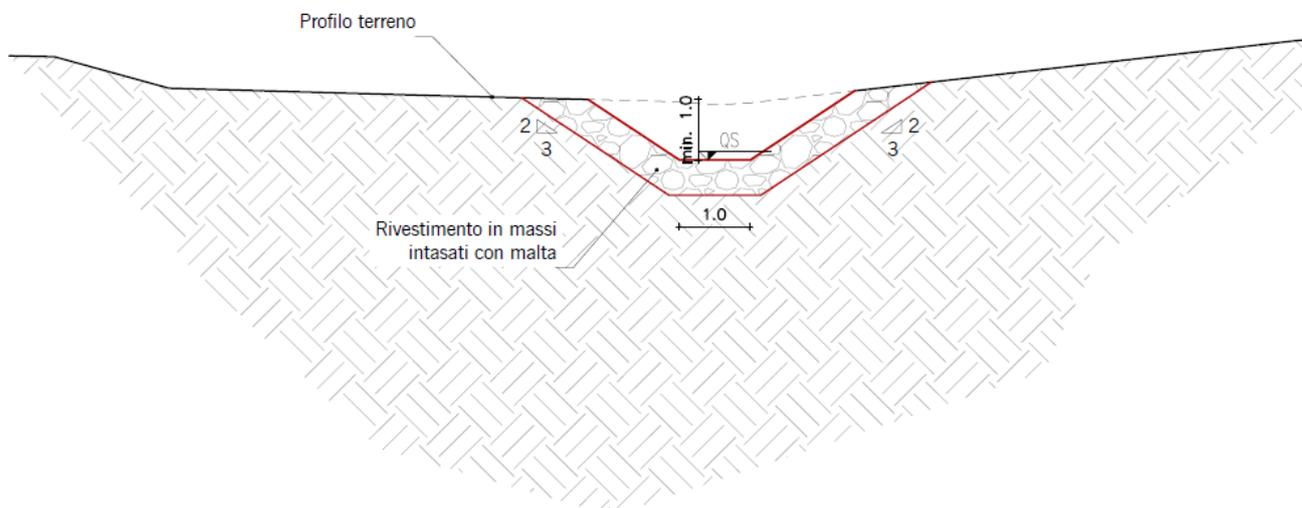


Figura 31 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+188.

5.12 TOMBINO IDRAULICO IN 28 ALLA PROGRESSIVA KM 7+844 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 5.0x3.0m di attraversamento della viabilità NV06b e della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del manufatto di progetto in maniera tale da raccordare l'inalveazione esistente con le opere di nuova realizzazione.

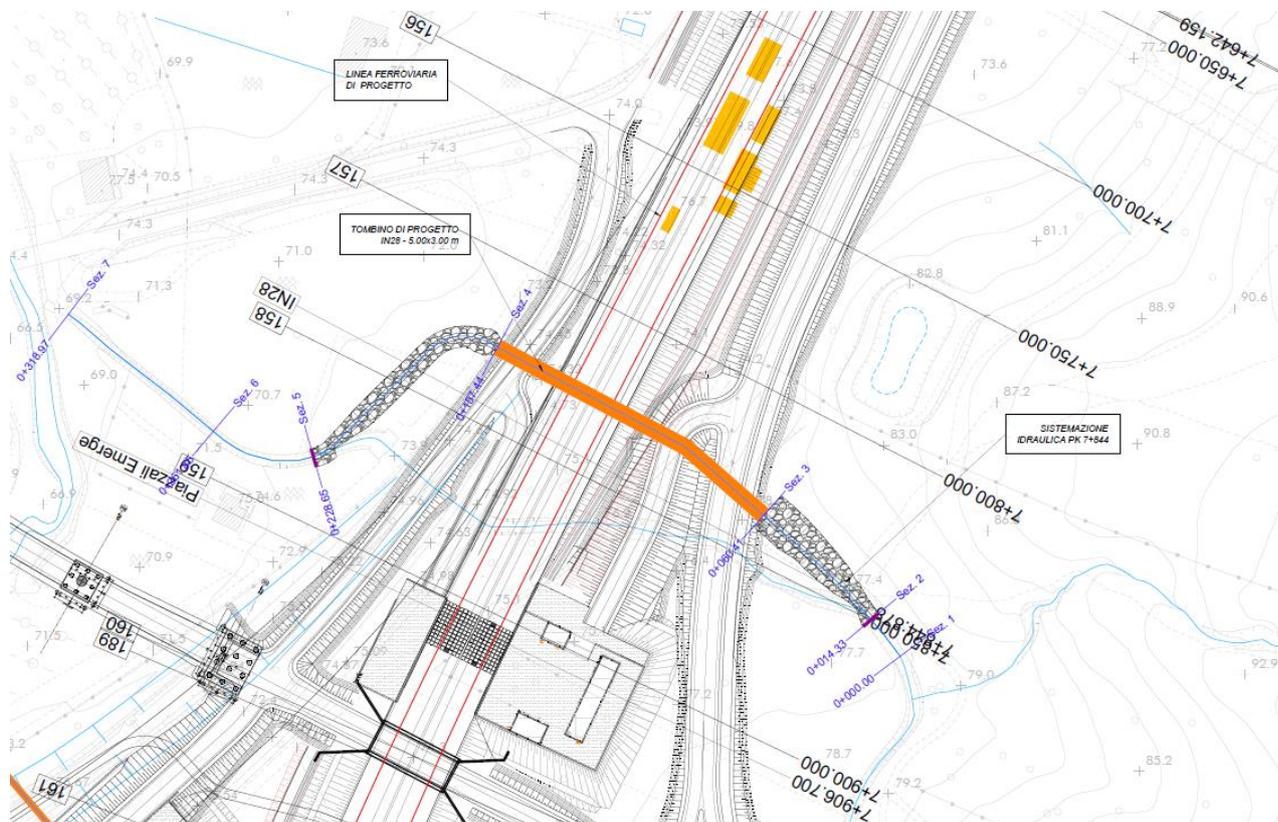


Figura 32 – Configurazione post operam Pk 7+844.

5.12.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 7
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti

Tombino di progetto	
▪ Tipologia	tombino
▪ Larghezza x Altezza	5.0x3.0 m
▪ Lunghezza	97.00 m
- Condizioni al contorno

○ Portata di verifica	22.88 m ³ /s (Tr200)
○ Condizione monte	altezza moto uniforme
○ Condizione valle	altezza moto uniforme
- Scabrezza (Manning)

○ Alveo inciso di progetto	n=0.028 m ^{-1/3} s
○ Golene	n=0.05 m ^{-1/3} s

Risultati

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A	FOGLIO 57 di 84

In Tabella 26 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 26 – Risultati post operam Pk 7+844. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	22.88	76.37	78.32	78.37	78.65	2.93	0.87
Sez. 2	22.88	76.03	77.38	77.72	78.29	4.22	1.42
Sez. 3	22.88	74.07	75.20	75.69	76.75	5.52	2.01
Sez. 4	22.88	71.50	72.29	73.12	76.56	9.15	3.86
Sez. 5	22.88	71.03	72.37	72.53	72.97	3.70	1.20
Sez. 6	22.88	69.95	71.27	71.35	71.69	3.23	1.11
Sez. 7	22.88	68.19	69.37	69.33	69.70	2.26	0.91

In Figura 33 è riportato il profilo idrico di calcolo.

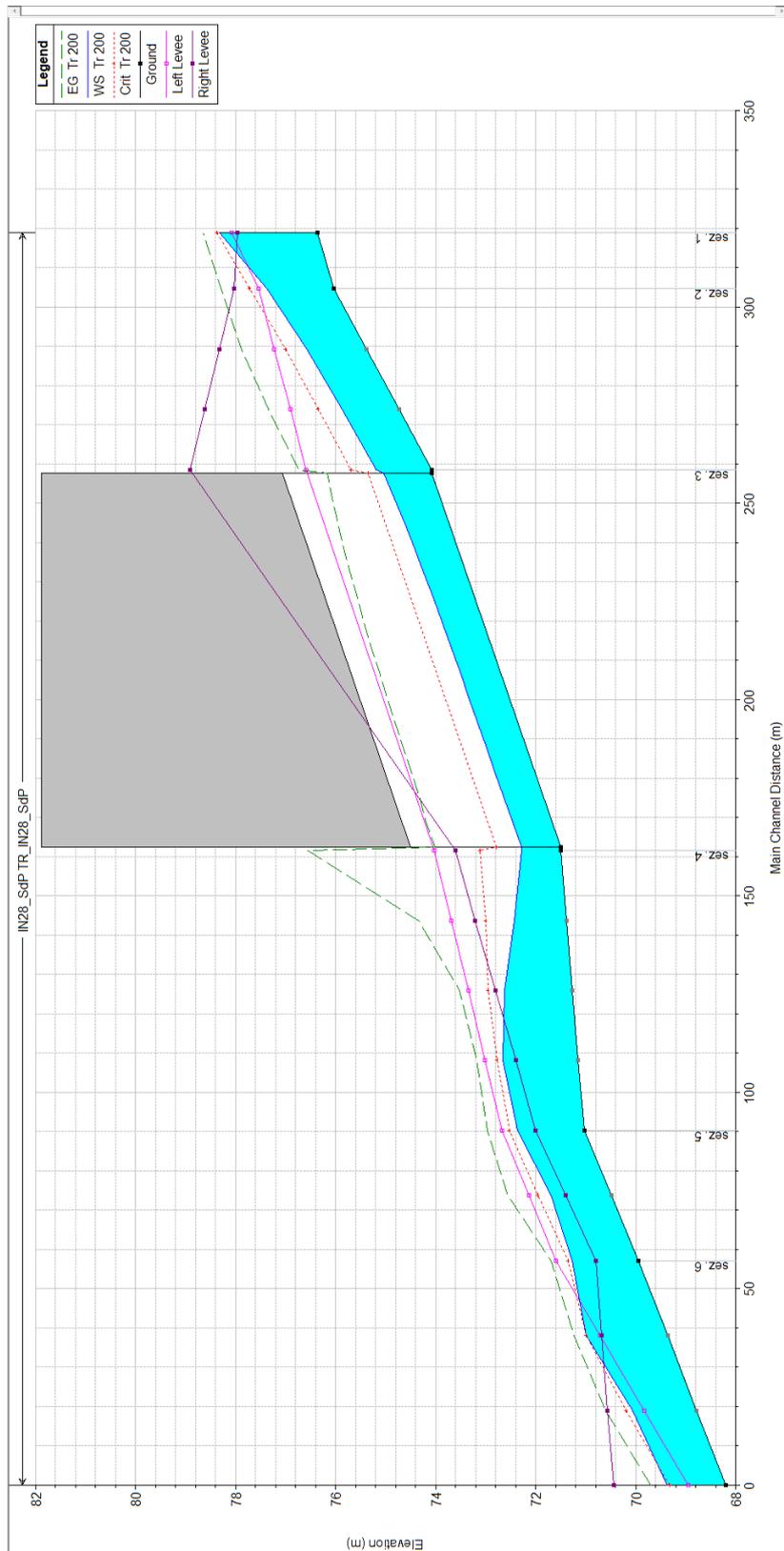


Figura 33 – Profilo idraulico post operam Pk 7+844. Tr 200 anni.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del franco e dal grado di riempimento riportati in Tabella 27 e **soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 27 – Verifiche idrauliche dell'opera di progetto. Pk 7+844. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN28	Sez. 3	74.07	75.20	1.13	3.00	37.7%

5.12.2 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.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 34).

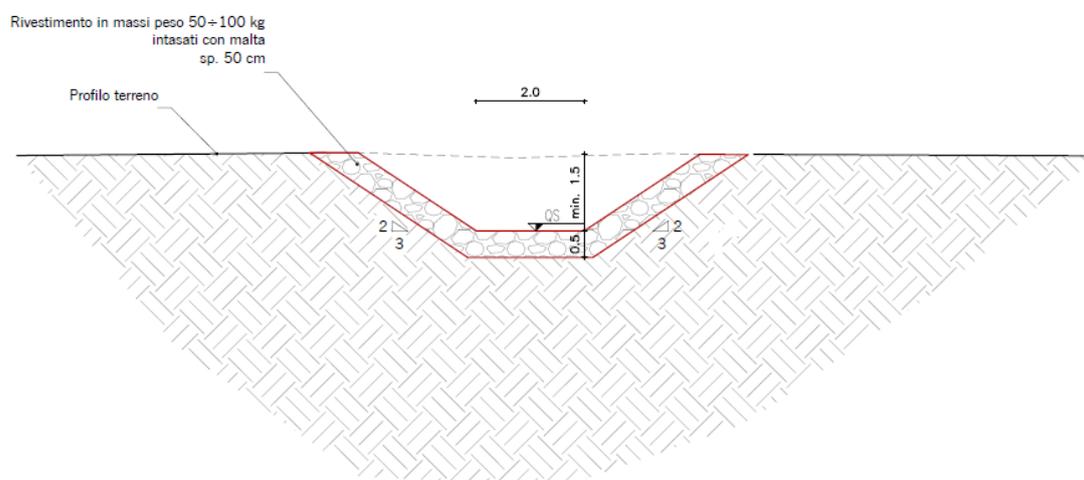


Figura 34 – Sezione tipo sistemazione Pk 7+844.

5.13 TOMBINO IDRAULICO IN 29 ALLA PROGRESSIVA KM 8+032 BP

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 2.0x2.0m al disotto della linea ferroviaria e del piazzale FA03.

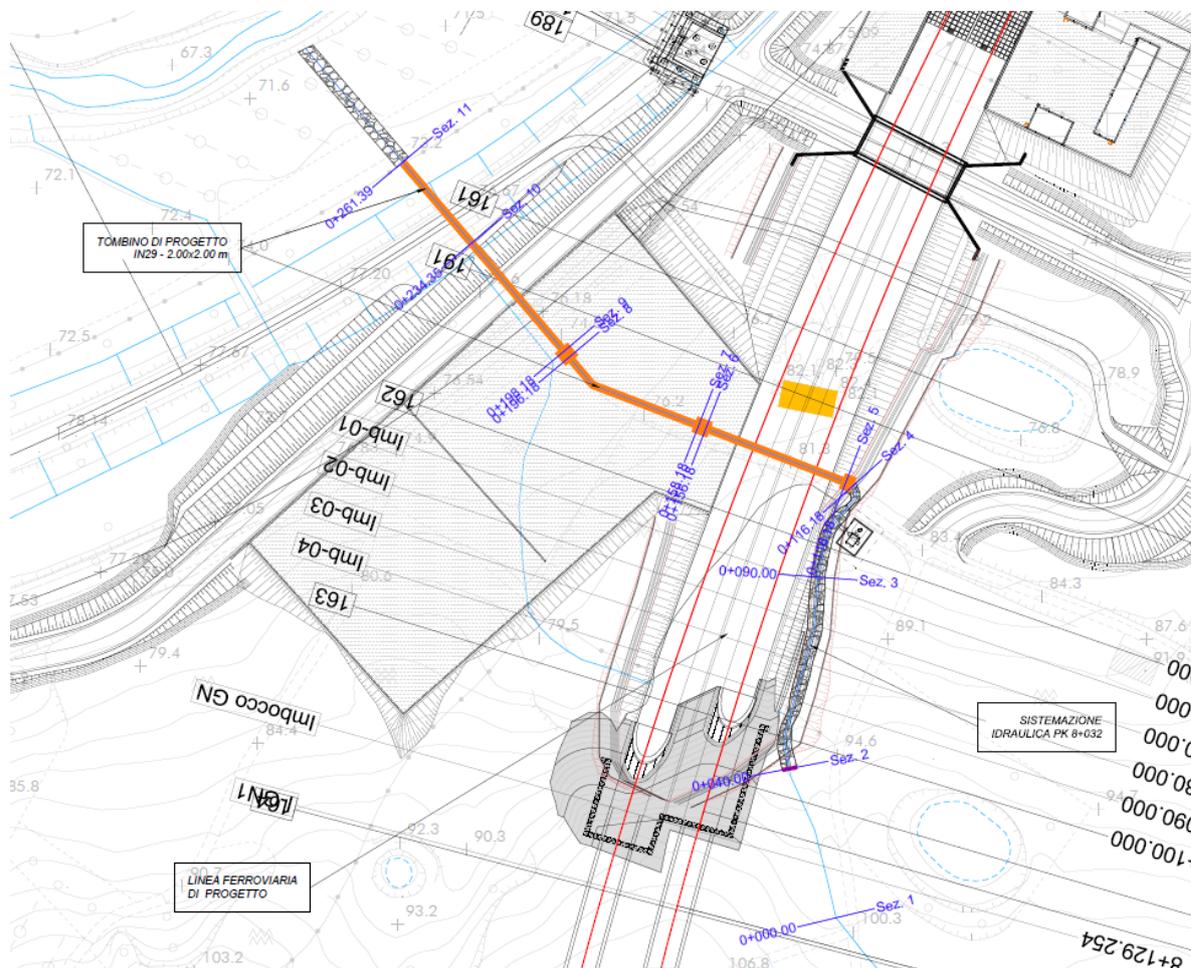


Figura 35 – Configurazione post operam Pk 8+032.

5.13.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 12
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto al disotto del piazzale FA03
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 2.0x2.0 m
 - Lunghezza 143.00 m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 2.65 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza moto uniforme
- Scabrezza (Manning)
 - Alveo inciso di progetto $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

Risultati

In Tabella 28 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 28 – Risultati post operam Pk 8+032. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 1	2.65	99.07	99.50	99.63	99.90	2.78	1.91
Sez. 2	2.65	93.14	93.50	93.79	94.65	4.75	2.94
Sez. 3	2.65	85.73	86.07	86.38	87.43	5.17	3.28
Sez. 4	2.65	80.87	81.28	81.70	83.06	5.91	3.1
Sez. 5	2.65	79.12	79.29	79.68	82.45	7.87	6.13
Sez. 6	2.65	78.36	78.75	78.92	79.34	3.38	1.73
Sez. 7	2.65	76.33	76.52	76.89	79.03	7.02	5.16
Sez. 8	2.65	75.56	75.96	76.12	76.52	3.33	1.69
Sez. 9	2.65	73.53	73.72	74.09	76.22	7.00	5.15
Sez. 10	2.65	72.80	73.67	73.36	73.79	1.52	0.52
Sez. 11	2.65	72.26	72.68	72.82	73.19	3.16	1.56
Sez. 0	2.65	71.26	71.64	71.82	72.25	3.44	1.77

In Figura 36 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del franco e dal grado di riempimento riportati in Tabella 29 e **soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.**

Tabella 29 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 8+032. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN29b	Sez. 5	79.12	79.29	0.17	2.00	8.5%

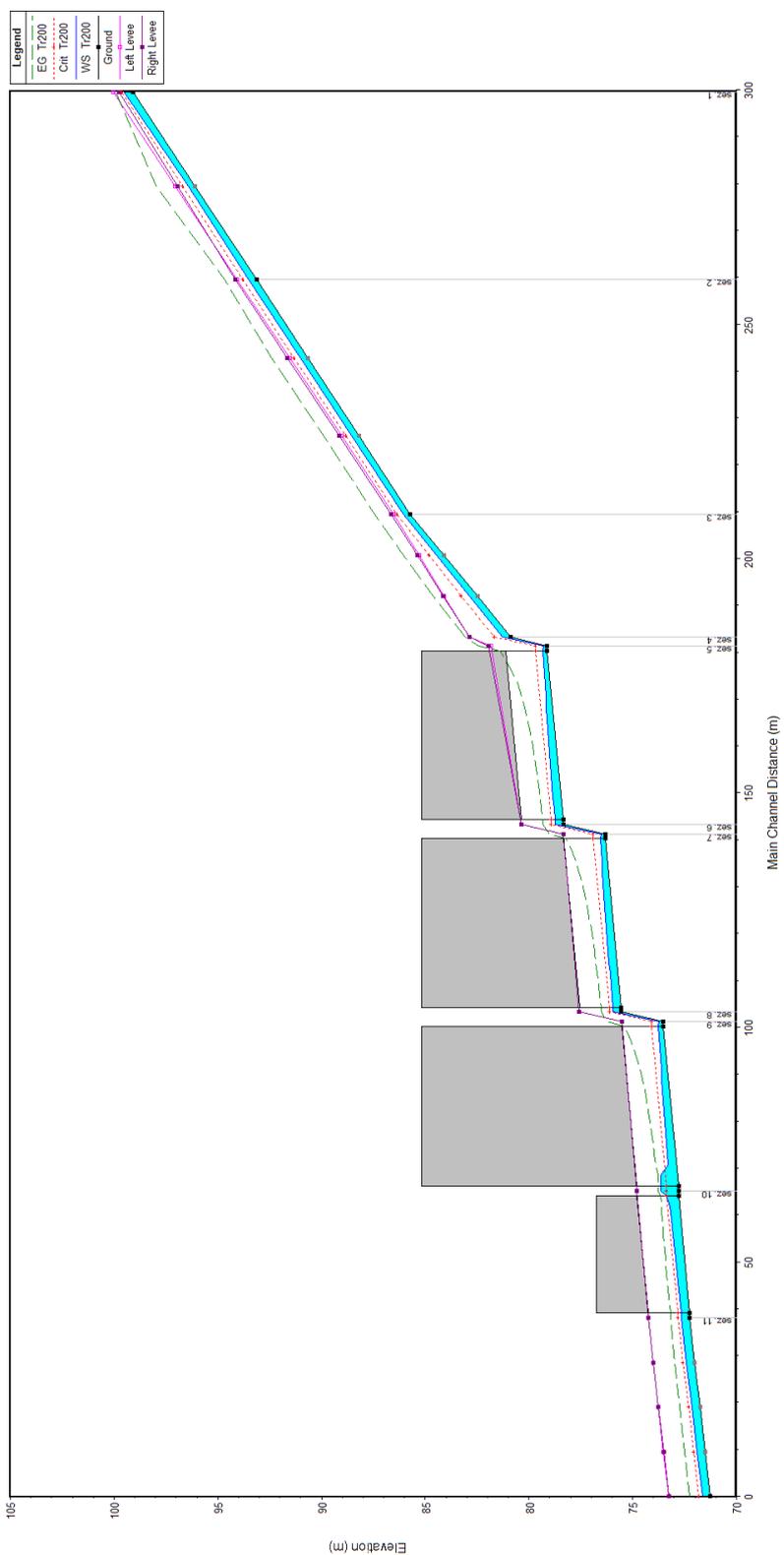


Figura 36 – Profilo idraulico post operam Pk 8+032. Tr 200 anni.

5.13.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre alla canalizzazione, l'adeguamento del fosso di guardia secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.0 m e pendenza delle sponde 2:3.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 37).

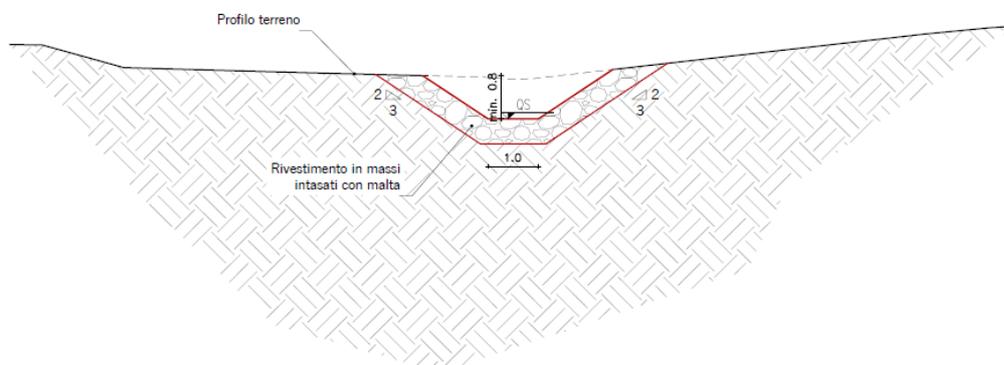


Figura 37 – Sezione tipo sistemazione Pk 8+032.

5.14 INTERFERENZA IDRAULICA ALLA PROGRESSIVA KM 28+000 BP

Alla progressiva pk 28+000 circa, la linea ferroviaria di progetto interferisce con un corso d'acqua in corrispondenza di un tratto in trincea allo sbocco della galleria di progetto.

La risoluzione di tale interferenza consiste nella deviazione della inalveazione al di sopra del tratto di galleria artificiale (Figura 38).

Nel tratto di nuova inalveazione, il corso d'acqua interferito sarà caratterizzato da una sezione trapezia di larghezza alla base pari a 5.75 m, sponde di pendenza 2:3 e con una sezione di magra di larghezza pari a 2.0 m e altezza 0.25 m (Figura 39).

Per la verifica idraulica della sezione di progetto è stato implementato un modello idraulico a moto permanente, applicando la portata di progetto Tr 200 anni pari a 18.07 m³/s.

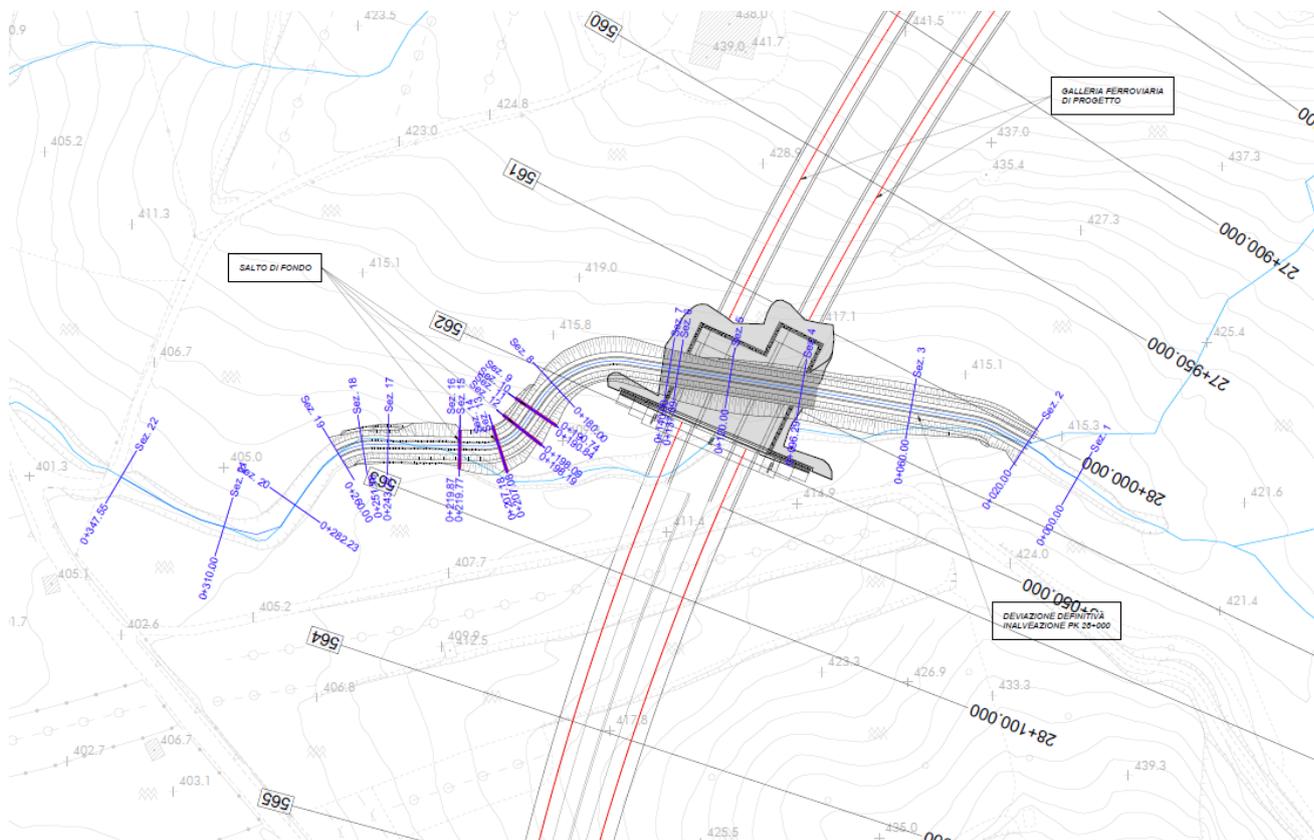


Figura 38 – Configurazione post operam Pk 28+000.

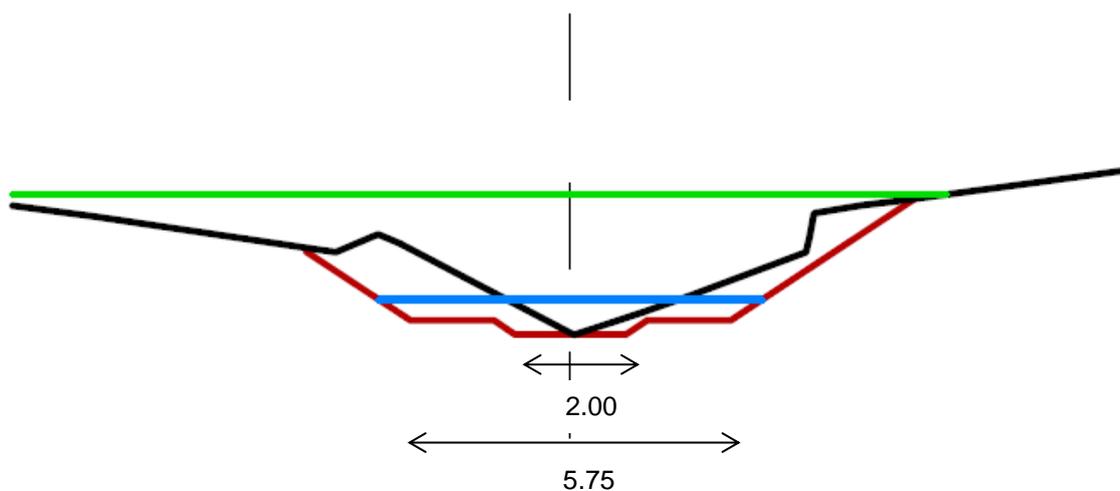


Figura 39 – Sezione deviazione sopra galleria pk 28+000

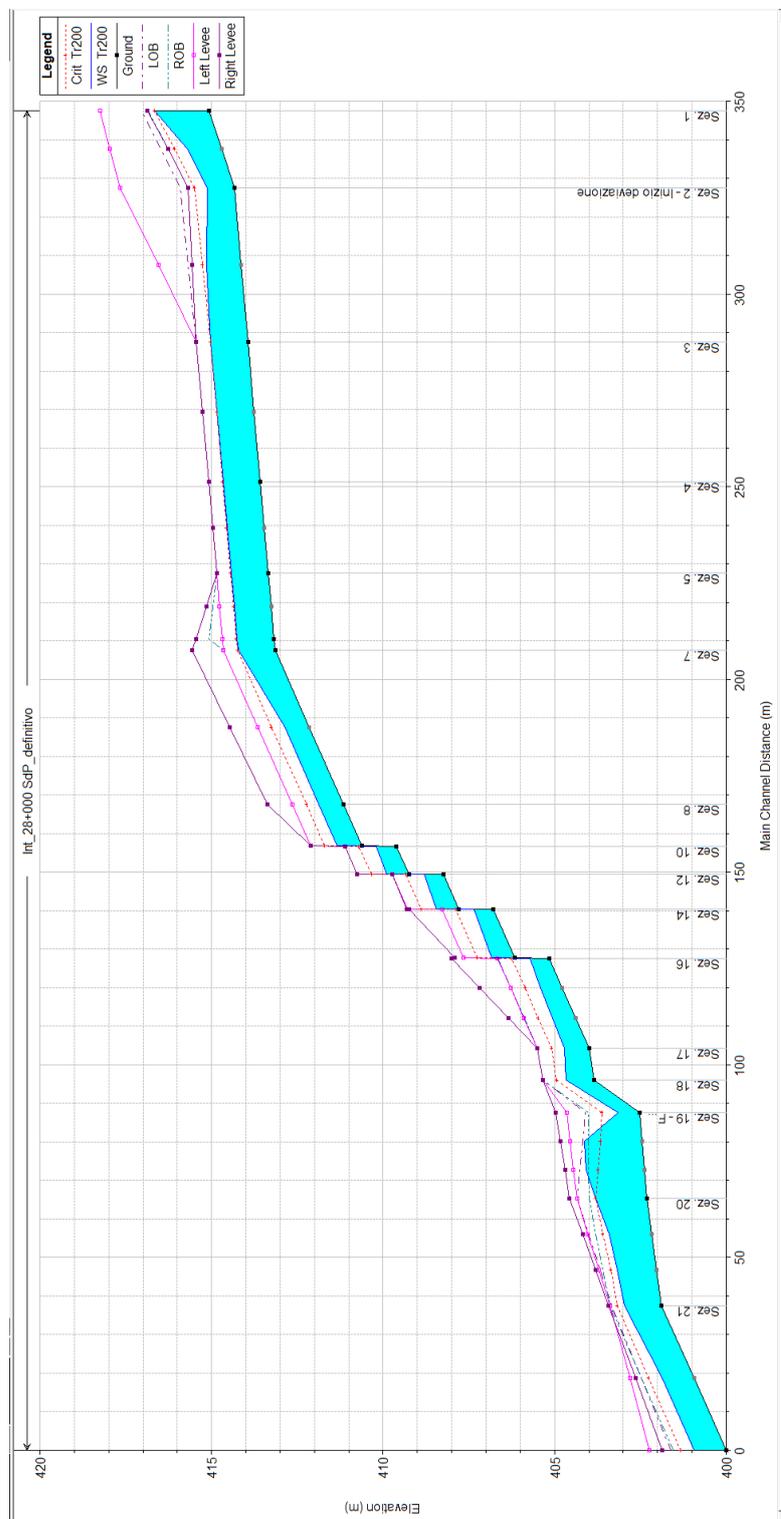
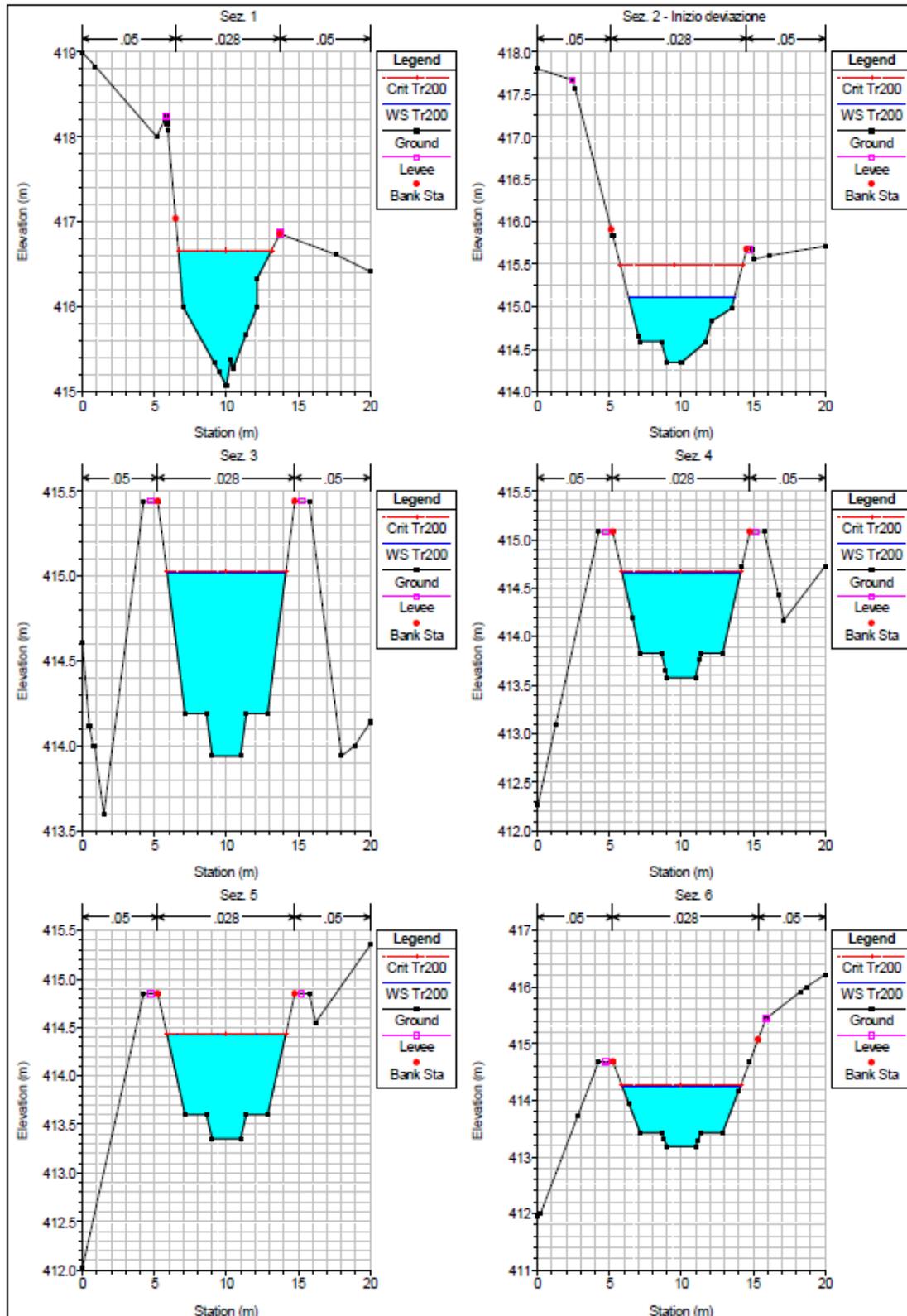
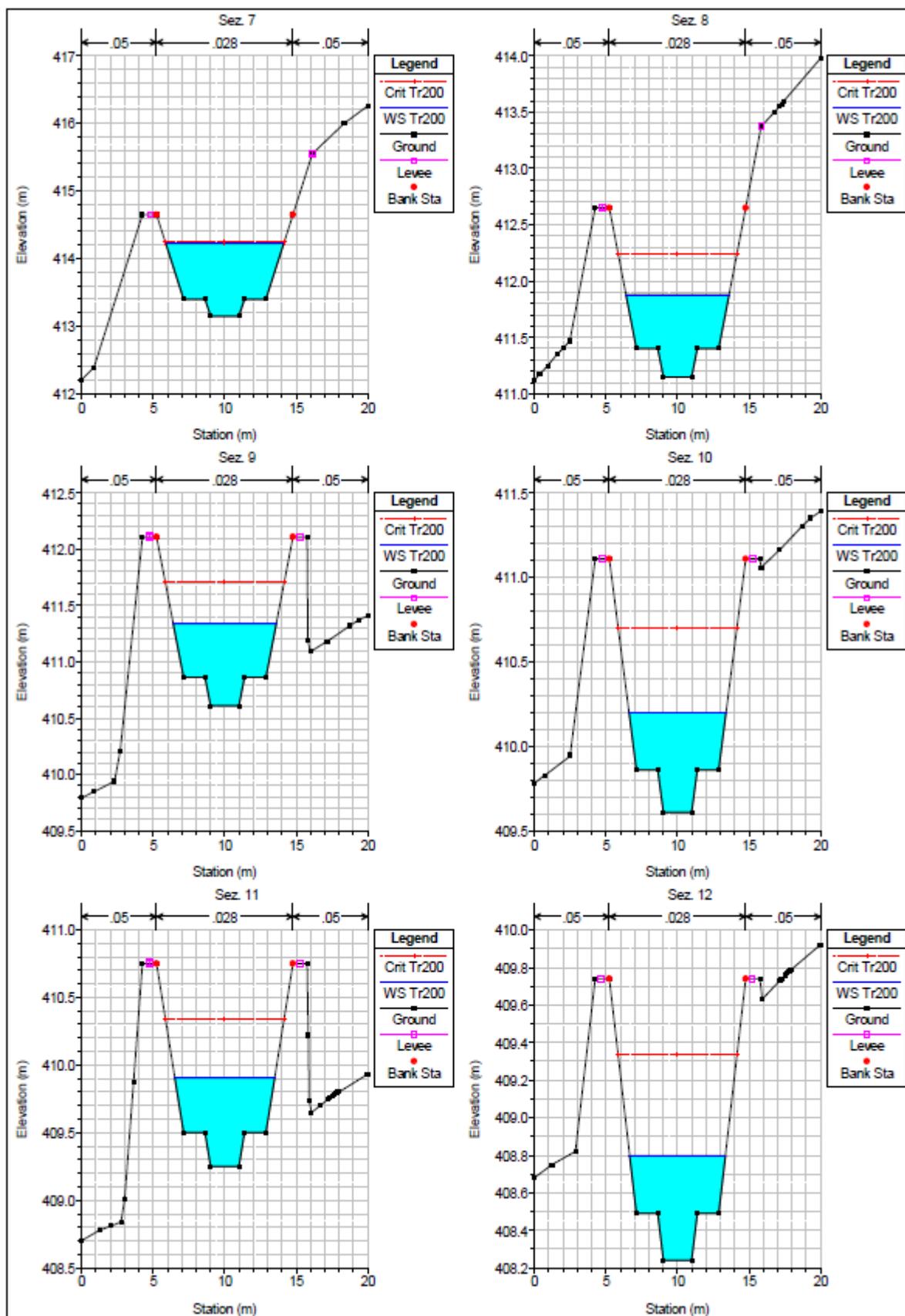
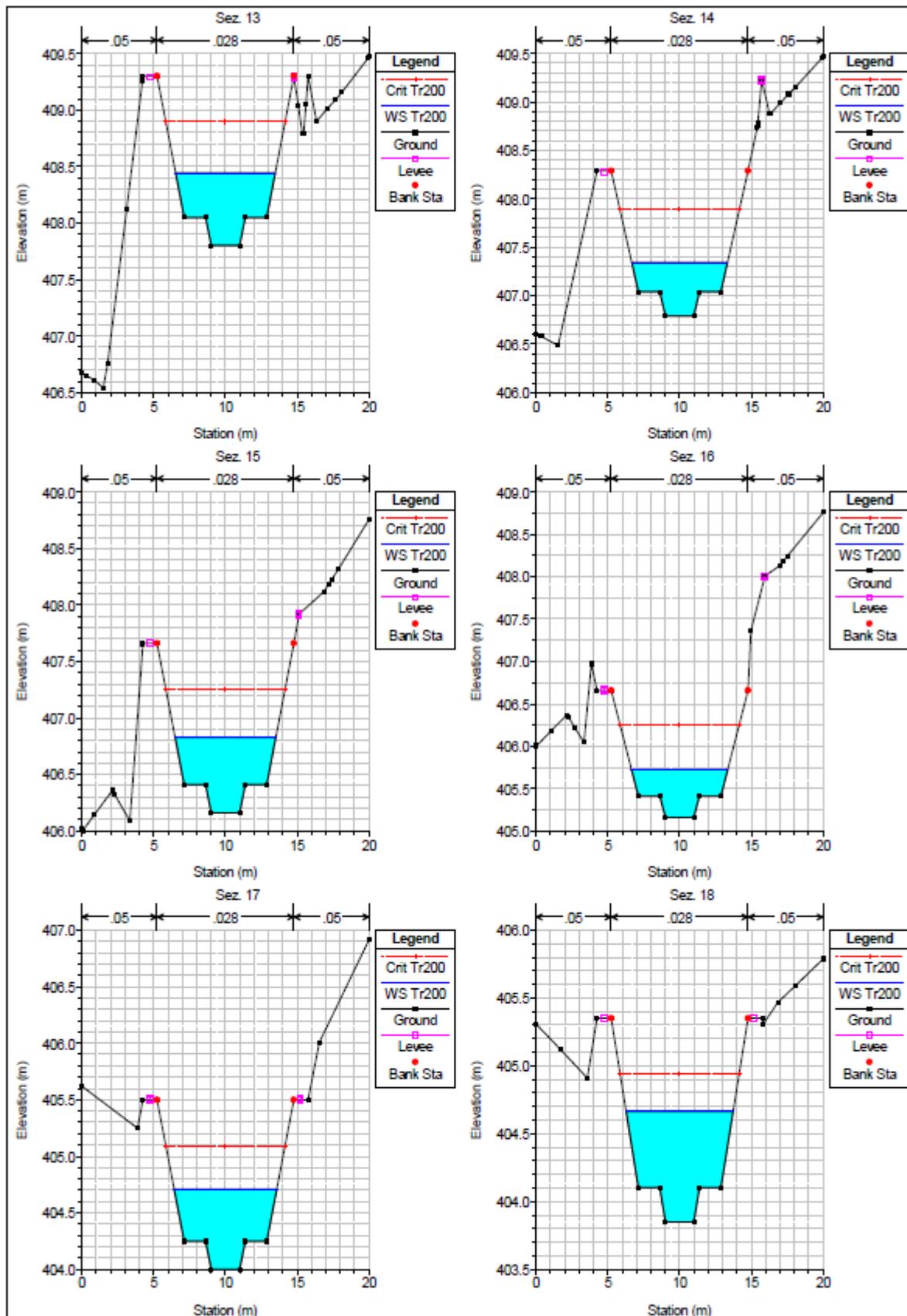


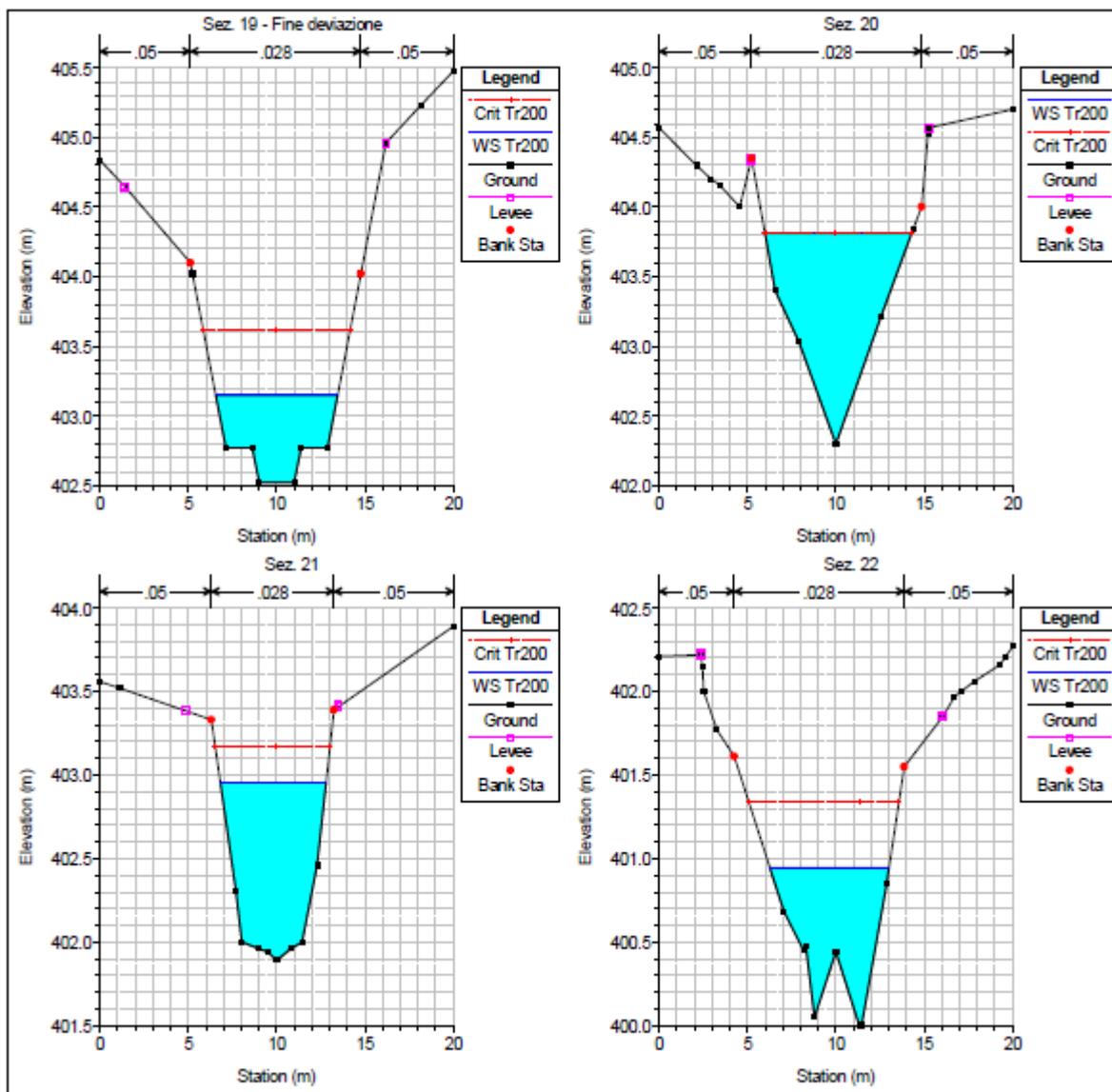
Figura 40 – Profilo idraulico pk 28+000

Nelle figure seguenti sono rappresentati i risultati della simulazione idraulica in corrispondenza delle sezioni.









Per la realizzazione del tratto di galleria artificiale, la deviazione definitiva dell'interferenza idraulica deve essere preceduta da una fase di deviazione provvisoria il cui tracciato è rappresentato in Figura 41.

La deviazione provvisoria sarà realizzata mediante la posa di uno scatolare a U di dimensioni 3.0x2.0 m in un primo tratto, seguito dalla posa di un mezzotubo $\phi 120$ cm nel tratto di maggiore pendenza.

Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici:

- RS3Z00D09PZID0002014
- RS3Z00D09PZID0002015
- RS3Z00D09PZID0002016

APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS

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.

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 ANALYSIS SYSTEM versione 4.1.0 del gennaio 2010, utilizzata per il calcolo dei livelli di piena e conseguenti aree d'esondazione.

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

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

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

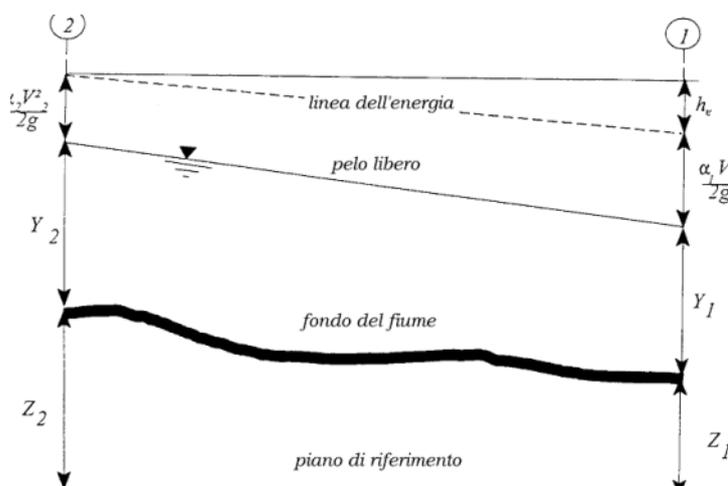


Figura 42 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 42 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 ed 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, RH 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 43).

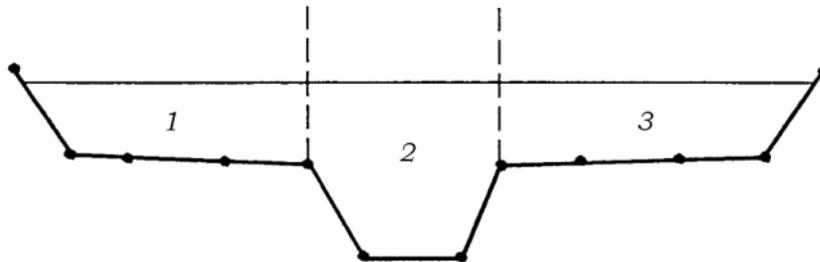


Figura 43 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 43 indicata con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte *i*-esima in cui è stato 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 $Q = \sum_i Q_i$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3Z	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

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, sovrалzo 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 44.

Per equilibrio si ottiene:

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

dove

P_i , risultante della pressione idrostatica;

W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f , forza d'attrito tra le due sezioni;

Q , portata complessiva;

ρ , densità del fluido;

ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

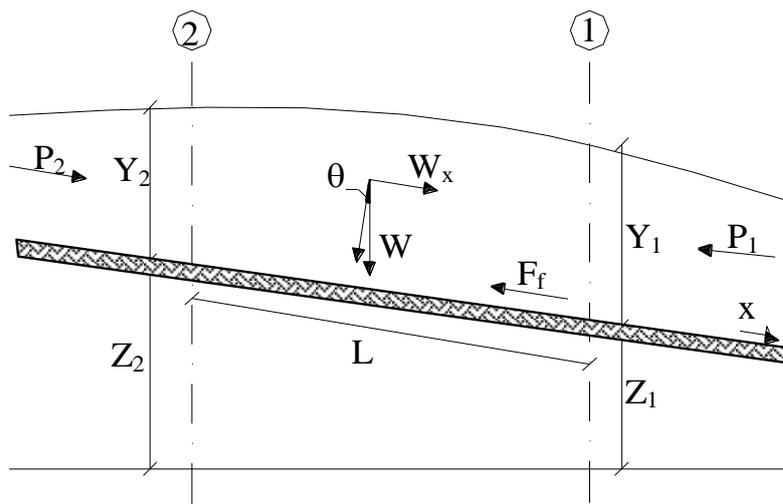


Figura 44 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma R J \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} J PL = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot J L \quad (11)$$

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

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

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

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 45 e Figura 46, 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.

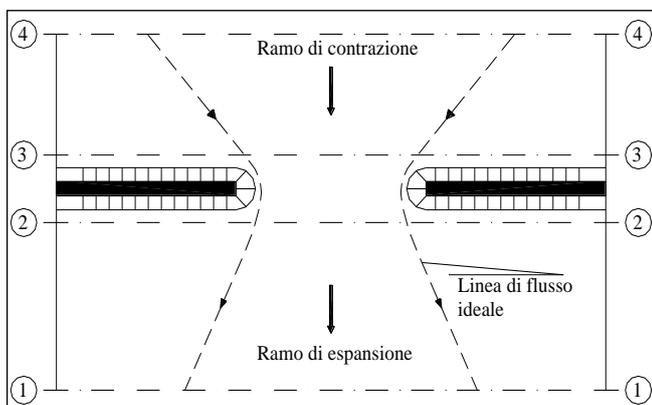


Figura 45 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale

L'applicazione dell'equazione della conservazione del momento tra le sezioni 1-2 e 3-4 è del tutto analoga alla situazione vista in precedenza mentre la presenza del ponte comporta termini nuovi nella valutazione dell'equilibrio tra le sezioni 2-BD (Step 1), BD-BU (Step 2) ed BU-3 (Step 3), rappresentate in Figura 46.

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

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

Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

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

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

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

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

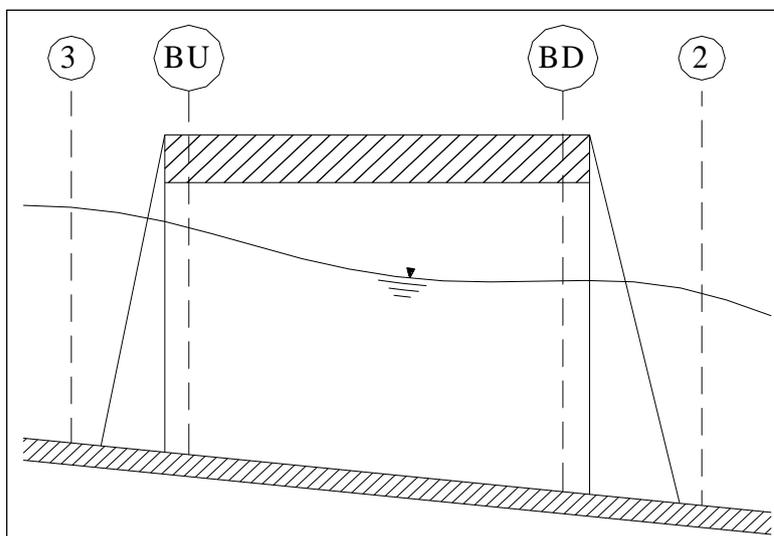


Figura 46 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale

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: 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 45 e Figura 46, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono valutate nel modo seguente:

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

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K, coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, tab. 2; ω rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V₂ 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: Coefficiente di Yarnell

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

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

Dove:

C_d , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 48, 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.

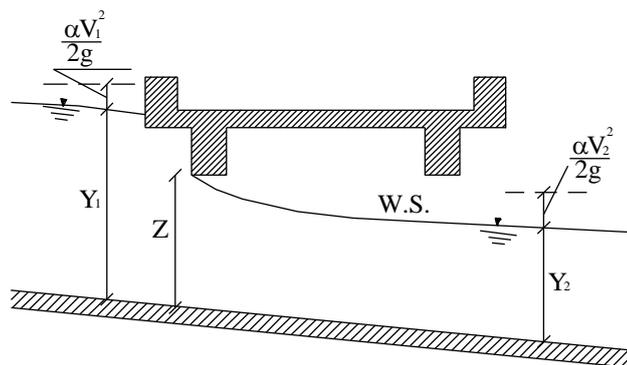


Figura 47 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

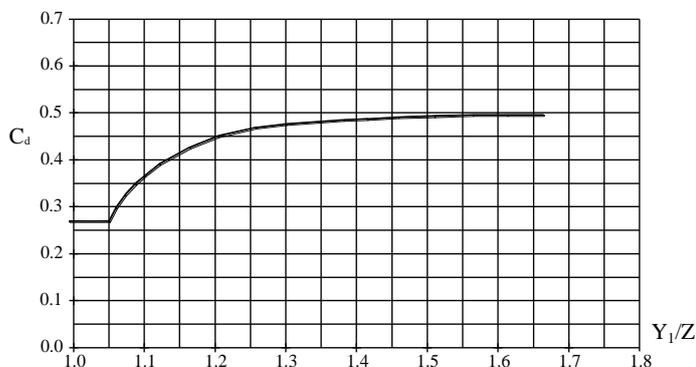


Figura 48 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd

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 49.

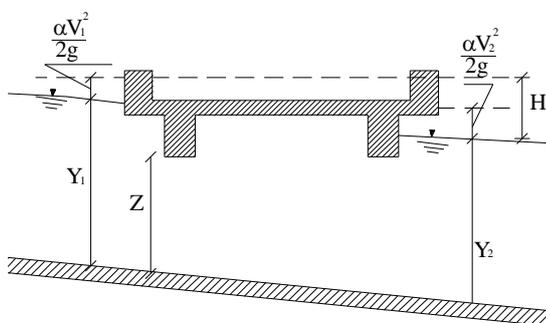


Figura 49 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 50, 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.

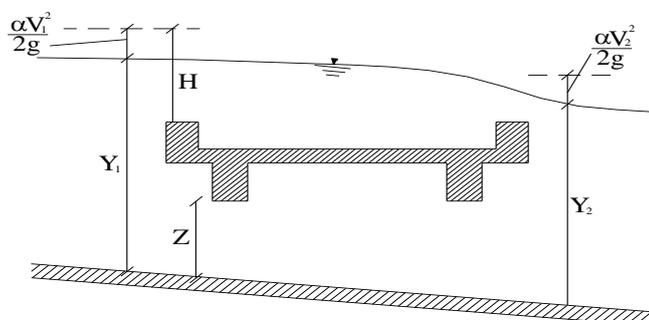


Figura 50 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

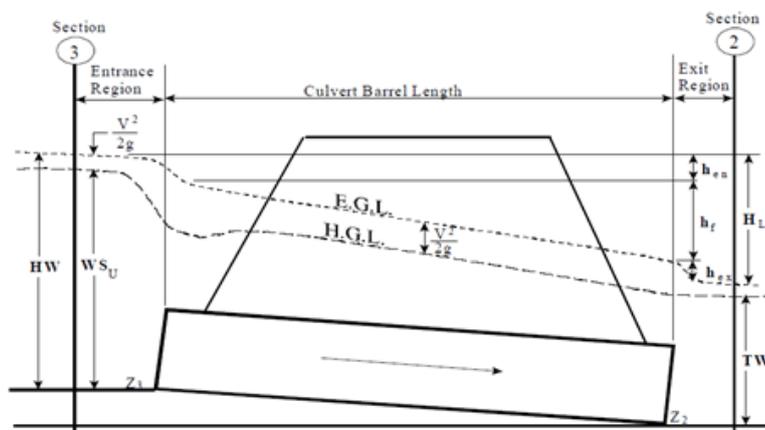


Figura 51 - Schema di un tombino ponticello

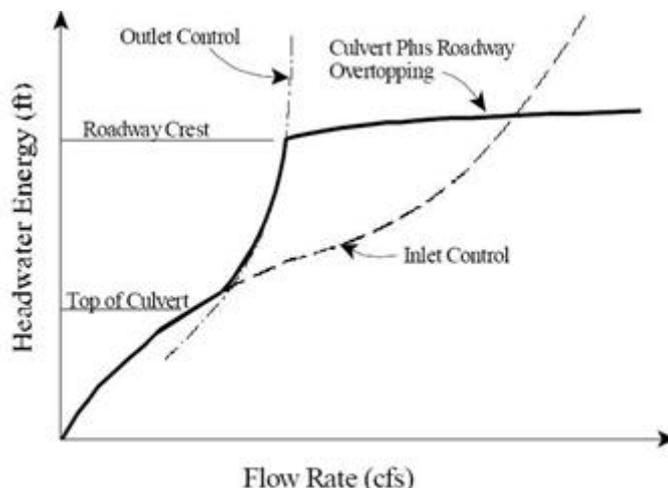


Figura 52 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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.