

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)

IDROLOGIA E IDRAULICA

Elaborati Generali

Relazione idraulica opere minori

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 RI ID0002 001 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Dic-2019	C. Volpini - D. Orlando	Dic-2019	A. Barreca	Dic-2019	F. Arduini Emissione Esecutiva ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Arduini Data: 29/04/2020 Firma: [Firma]
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	C. Volpini - D. Orlando	Gen-2020	A. Barreca	Gen-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Feb-2020	C. Volpini - D. Orlando	Feb-2020	A. Barreca	Feb-2020	
D	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	C. Volpini - D. Orlando	Apr-2020	A. Barreca	Apr-2020	

File: RS3U.4.0.D.29.RI.ID.00.0.2.001.D

n. Elab.: 29_525

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	<small>COMMESSA</small> RS3U	<small>LOTTO</small> 40 D 29	<small>CODIFICA</small> RI	<small>DOCUMENTO</small> ID0002 001	<small>REV.</small> D	FOGLIO 2 di 215

INDICE

1	PREMESSA	6
1.1	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO PRINCIPALI DELLA LINEA FERROVIARIA	9
2	ELENCO ELABORATI.....	10
3	ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI	12
3.1	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	12
3.1.1	<i>Manuale di progettazione ferroviario</i>	<i>12</i>
3.1.2	<i>NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa.....</i>	<i>13</i>
3.1.3	<i>Criteri di verifica.....</i>	<i>17</i>
3.1.4	<i>Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente HEC RAS</i>	<i>18</i>
3.1.4.1	<i>Caratteristiche del modello matematico</i>	<i>18</i>
3.1.5	<i>Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente _HY8.....</i>	<i>32</i>
3.1.6	<i>Il calcolo idraulico</i>	<i>34</i>
3.2	VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE	38
3.2.1	<i>Geometria degli alvei</i>	<i>38</i>
3.2.2	<i>Portate di progetto</i>	<i>38</i>
3.2.3	<i>Definizione dei coefficienti di scabrezza</i>	<i>39</i>
3.2.4	<i>Definizione delle condizioni al contorno.....</i>	<i>41</i>
3.2.5	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde.....</i>	<i>43</i>
3.2.6	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni dei rilevati.....</i>	<i>46</i>
3.2.7	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni delle pile dei viadotti.....</i>	<i>48</i>
3.3	INTERFERENZE PROGRESSIVE DA PK 0+450 A PK2+076 E PK 1+7167 A PK 2+312 ALLACCIO LINEA STORICA	50
3.3.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	<i>50</i>
3.3.1.1	<i>Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 est – ovest/est</i>	<i>53</i>
3.3.1.2	<i>Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 – Opera 3</i>	<i>55</i>
3.3.1.3	<i>Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni - 1+830.....</i>	<i>56</i>
3.3.1.4	<i>Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – Ramo unione Pk 1+830 e 0+638.....</i>	<i>57</i>
3.3.1.5	<i>Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+057 opera5.....</i>	<i>58</i>

3.3.1.6	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – ramo unione 0+638 1+830 1+057.....	59
3.3.1.7	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+345 opera7.....	60
3.3.1.8	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 1+830 1+057 1+345.....	61
3.3.1.9	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+830sud.....	62
3.3.1.10	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 1+830 1+057 1+345 1+830sud.....	63
3.3.1.11	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+716 opera8.....	63
3.3.1.12	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+897 opera9.....	64
3.3.1.13	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 2+061 opera12.....	65
3.3.1.14	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+716 opera13.....	66
3.3.1.15	Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 3+670 opera 10.....	67
3.3.2	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	68
3.3.2.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Tombino IN02- Sistemazione IN31 - Pk 0+638.....	68
3.3.2.2	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN32 – Pk 0+511.....	77
3.3.2.3	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Tombino IN03 Pk 0+905 – Sistemazione IN33.....	83
3.3.2.4	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN34 - Pk 1+345.....	88
3.3.2.5	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN35 Pk 1+805.....	96
3.3.2.6	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN81 Pk 1+722 (allaccio LS– opera 8).....	101
3.3.2.7	Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni - Sistemazione IN51 Pk 1+898 (allaccio LS – opera 9).....	107
3.3.2.8	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni - Sistemazione IN36 Km 2+077.....	112
3.3.2.9	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN52 Pk 2+062 (allaccio LS – opera 12) 119	
3.3.2.10	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN53 Pk 2+202 (allaccio LS - opera 13) 124	
3.4	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 2+310 - SISTEMAZIONE IN54.....	130
3.4.1	Risultati simulazione TR 200 anni HY8.....	131
3.5	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 3+459 - SISTEMAZIONE IN37.....	132
3.5.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	133
3.5.2	Sistemazione e protezioni dell'alveo.....	135
3.6	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 3+465 - SISTEMAZIONE IN37.....	137
3.6.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	139
3.6.2	Sistemazione e protezioni dell'alveo.....	141
3.7	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 3+744 – TOMBINO IN04.....	144
3.7.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....	144
3.7.2	Sistemazione e protezioni dell'alveo.....	148
3.8	INTERFERENZE ALLA PROGRESSIVA 3+917 - TOMBINO IN05 E PROGRESSIVA 3+969 -TOMBINO IN06.....	150
3.8.1	Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni –Tombino IN05 Pk 3+917 e Tombino IN06 Pk 3+969 152	

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	<small>COMMESSA</small> RS3U	<small>LOTTO</small> 40 D 29	<small>CODIFICA</small> RI	<small>DOCUMENTO</small> ID0002 001	<small>REV.</small> D	FOGLIO 4 di 215

3.8.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo – Tombino IN05 Pk 3+917.....</i>	154
3.8.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo - Tombino IN06 Pk 3+969</i>	157
3.9	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 4+170 - TOMBINO NI07	160
3.9.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni</i>	161
3.9.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo – monte del tombino di progetto NI07</i>	163
3.9.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo – valle del tombino di progetto IN07</i>	165
3.10	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 6+505 – TOMBINO IN07 – Pk 6+505	166
3.10.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni</i>	168
3.11	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 7+386 - SISTEMAZIONE IN38	170
3.11.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni</i>	171
3.12	INTERFERENZE ALLA PROGRESSIVA 11+752 - TOMBINO NI11 E ALLA PROGRESSIVA 11+800 - TOMBINO NI10 - SISTEMAZIONE IN39.....	176
3.12.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni</i>	177
3.12.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo - Tombino NI11 Pk 11+752</i>	182
3.12.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo– Tombino NI10 Pk 11+800.....</i>	185
3.12.4	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo – Sistemazione IN39 Pk 11+800</i>	187
3.13	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 12+532 SISTEMAZIONE IN40.....	189
3.13.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni</i>	190
3.14	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 12+973 – TOMBINO IN08	195
3.14.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	196
3.15	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 0+300 NV97– SISTEMAZIONE NI18	199
3.15.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	199
4	RIEPILOGO INTERVENTI	207
5	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	208
5.1	STUDIO IDROLOGICO.....	210
5.2	VERIFICHE IDRAULICHE	211
5.3	SISTEMAZIONI IDRAULICHE	212

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 5 di 215

5.4 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....212

1 PREMESSA

La linea ferroviaria Palermo – Catania, facente parte del Corridoio n.5 “Helsinki – La Valletta” della Rete Trans-Europea di trasporto, è interessata da un ampio progetto di investimento denominato “Nuovo Collegamento Palermo – Catania” che prevede una serie di interventi sulla tratta Fiumetorto – Bicocca.

Allo stato attuale sono già in corso i lavori finalizzati al raddoppio della tratta Catenanuova – Bicocca (tratto arancione in Figura 1) mentre la restante tratta, Fiumetorto – Catenanuova (tratto rosso in Figura 1), è oggetto di appositi incarichi di progettazione definitiva, affidati ad Italferr dalla Committente RFI.

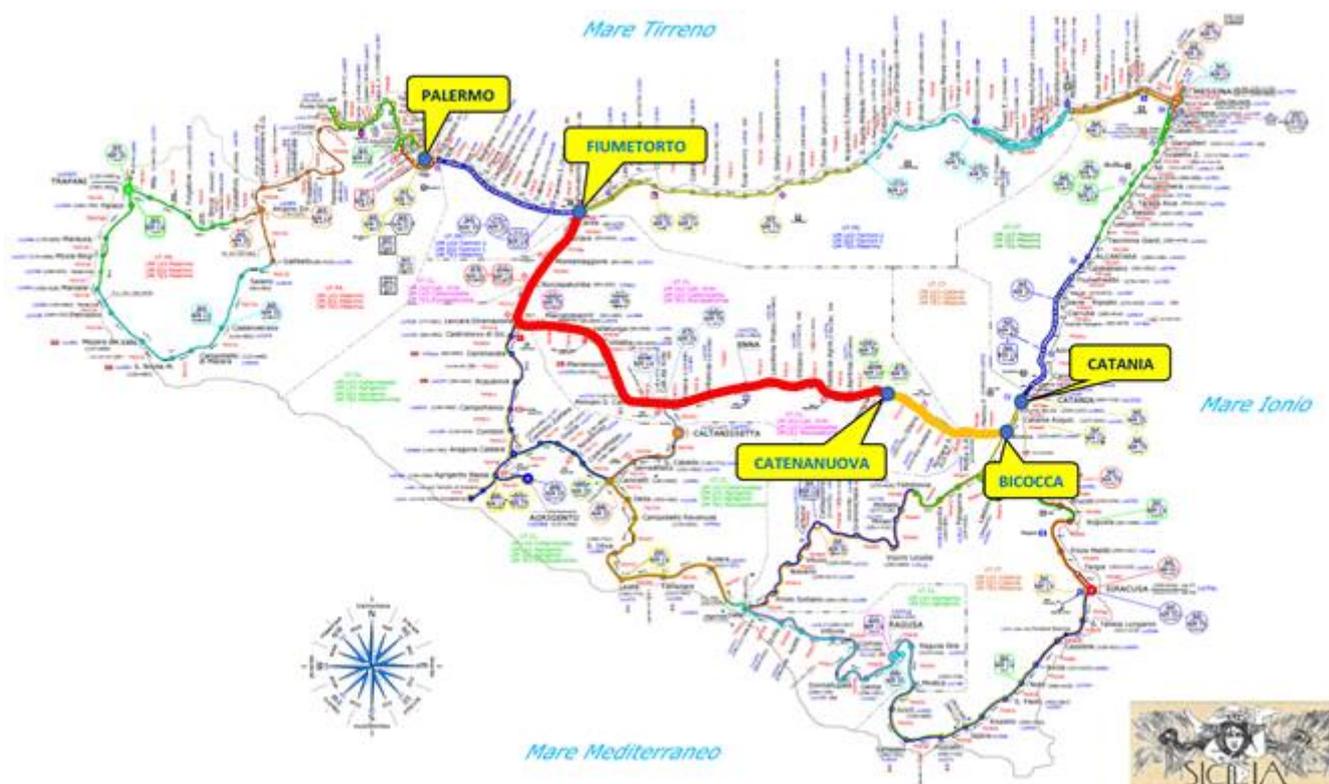


Figura 1: Planimetria tratto Fiumetorto - Catenanuova

La tratta suddetta Fiumetorto – Catenanuova risulta suddivisa nei seguenti lotti funzionali come meglio si evince dalla corografia in Figura 2:

- Lotto “1+2”: tratta Fiumetorto – Lercara Diramazione di circa 30 km;

- Lotto 3: tratta Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi di circa 47 km;
- Lotto 4a: tratta Caltanissetta Xirbi – Enna Nuova di circa 27 km;
- Lotto 4b: tratta Enna Nuova - Dittaino di circa 15 km;
- Lotto 5: tratta Dittaino – Catenanuova di circa 22 km.

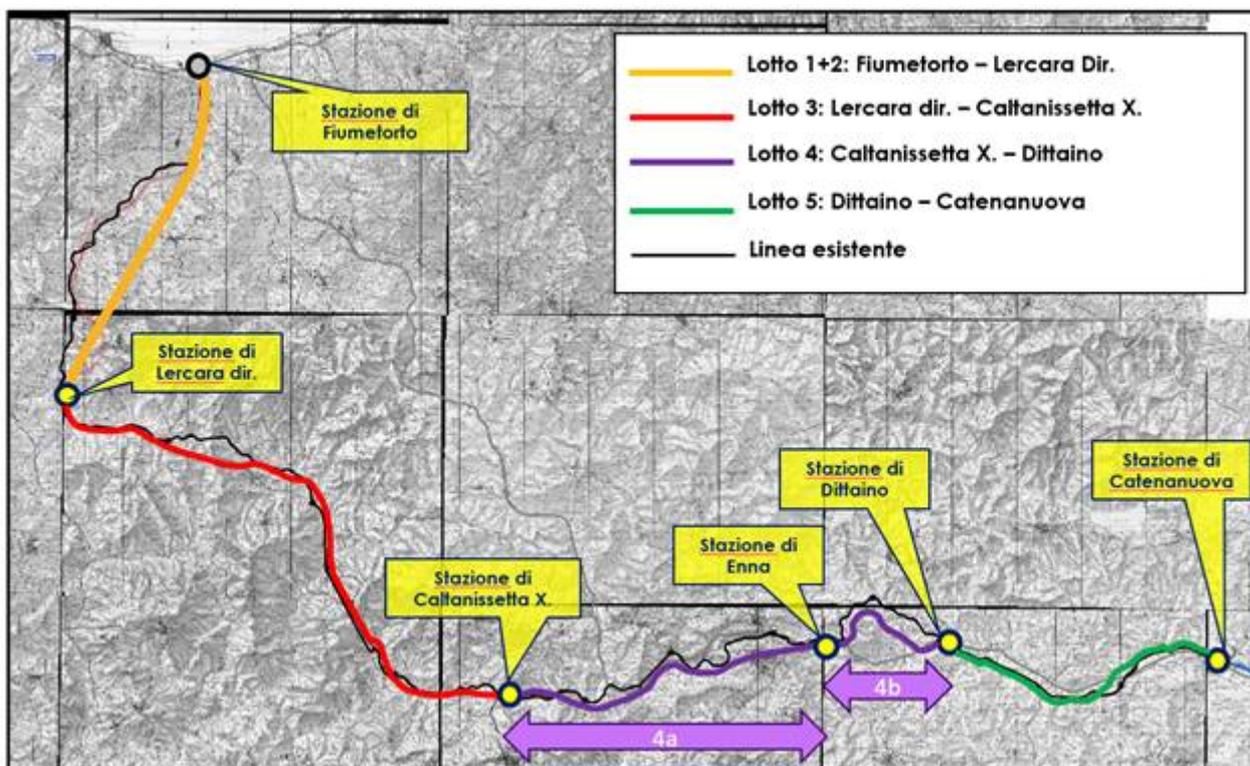


Figura 2: Corografia – tratta Fiumetorto - Catenanuova

La presente relazione descrive i risultati delle verifiche idrauliche degli attraversamenti minori nella tratta "Caltanissetta Xirbi – Enna Nuova" facente parte del Lotto 4a.

Tali opere sono state individuate sulla base sia di analisi geomorfologiche dei bacini idrografici afferenti alla linea ferroviaria, sia di valutazioni visive condotte durante una serie di sopralluoghi estesi a tutte le opere esistenti lungo la tratta ferroviaria in oggetto.

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

- verifica idraulica delle opere di attraversamento mediante elaborazione di simulazione idraulica su modello matematico in schema di moto permanente;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 8 di 215

- redazione delle planimetrie, dei profili di moto permanente e delle sezioni con livelli idrici ed energetici relativamente alle opere di attraversamento;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere;
- verifica della stabilità delle opere di sistemazione idraulica degli attraversamenti analizzati mediante modello matematico;

Il tracciato di progetto del lotto 4 della ferrovia Palermo – Catania, evidenziato in arancione in Figura 3, attraversa la parte centrale della Sicilia e ricade all'interno dei bacini del Fiume Imera Meridionale.

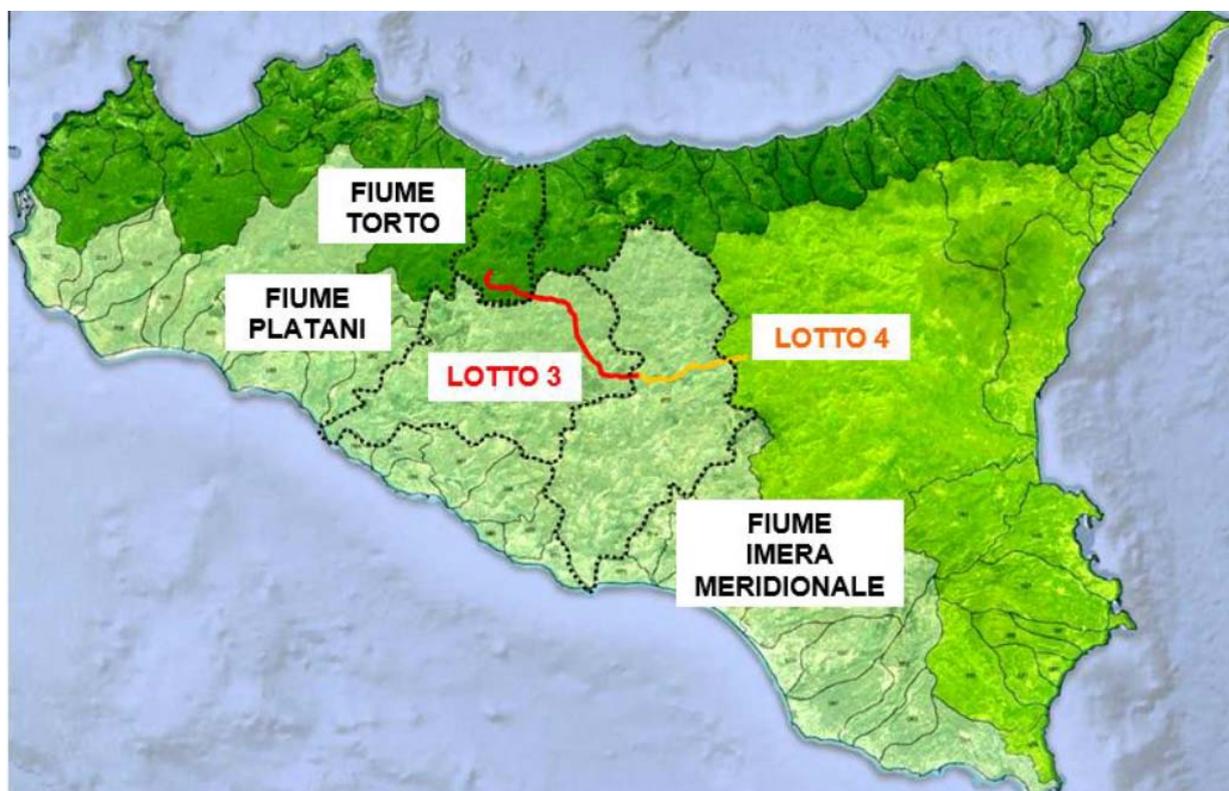


Figura 3: Inquadramento del lotto 3 e 4 della linea ferroviaria CATANIA – PALERMO e dei bacini idrografici Siciliani

1.1 Inquadramento manufatti di attraversamento principali della linea ferroviaria

Nella seguente tabella sono riportati i manufatti principali per i quali la verifica idraulica è stata eseguita mediante elaborazione su modello matematico monodimensionale in schema di moto permanente. Per ogni manufatto si riporta la progressiva chilometrica e il tipo di verifica.

HEC RAS	HY8	WBS		Interferenza	PK Bacino	OPERA
1		IN32	0+511	NV04B	NVX1 0+559	Deviazione
		IN01	0+450	TR01	0+450	Tombino - prolungare esistente
		IN02	0.638	TR01 / NV04B	0+638	Tombino
		IN31	0.576			Sistemazione
		IN03	0+905	RI01	1+057	Tombino
		IN33	0+987			Deviazione
		IN34	1+352.88	VI02	1+345	Viadotto
			NI06	VI02	NI06	Viadotto
		IN35	1+805	VI03	1+875 1+830	Sistemazione
		IN36	2+077	VI04	2+076	Sistemazione
		IN81	1+722	VI52	1+717	Sistemazione
		IN51	1+898	RI53	1+898	Tombino
		IN52	2+062	TR52	2+061	Tombino
IN53	2+202	RI54	2+200	Tombino		
	1	IN54	2+310	RI54	2+323	Tombino
2		IN37	3+459	VI05	3+440	Sistemazione
3			3+459		3+465	Sistemazione
4		IN04	3+744	RI09	3+744	Tombino
5		IN05	3+921	RI09	3+917	Tombino
		IN06	3+976	RI09	3+969	Tombino
6		IN07	6+505	RI10	6+500	Tombino
7		IN38	7+389	VI06	7+381	Sistemazione
			7+389	NV94	7+381	Sistemazione
8		NI10	11+742	NV02 0+334	11+804	Tombino
		IN39	11+800	VI07	11+683 11+804	Viadotto
		NI11	11+752	NV02 0+262	11+683	Tombino
9		IN40	12+532	VI07	12+535	Viadotto
10		IN08	12+973	RI13 NV98	13+092	Tombino
11		NI07	4+170	NV90	0+177	Tombino
12		NI18	0+300	NV97		Viadotto

Tabella 1 – Elenco delle opere di attraversamento principali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 10 di 215

2 ELENCO ELABORATI

Nella seguente tabella è riportato l'elenco degli elaborati previsti per il lotto 4A.

	IDROLOGIA E IDRAULICA	.....
	Elaborati Generali	.....
29_525	Relazione idraulica opere minori	RS3U.4.0.D.29.RI.ID.00.0.2.001.C
	Tombini HY8	.....
29_526	Planimetria individuazione	RS3U.4.0.D.29.P7.ID.00.0.2.001.C
	Tipologici sistemazioni idrauliche	.....
29_527	Opere Tipologiche - Sistemazioni corsi d'acqua minori	RS3U.4.0.D.29.BZ.ID.00.0.2.001.B
	IDRAULICA MINORE INTERFERENTE	.....
	IN01 - Pk 0+450 e IN32 Pk 0+511	.....
29_528	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.01.0.0.001.C
29_528_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.01.0.0.001.A
	IN02 - Pk 0+638 e IN31 Pk 0+638	.....
29_529	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.02.0.0.001.C
29_529_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.02.0.0.001.A
	IN03 - Pk 0+905 e IN33 Pk 0+987	.....
29_530	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.03.0.0.001.C
29_530_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.03.0.0.001.A
	IN04 - Pk 3+744	.....
29_531	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.04.0.0.001.C
29_531_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.04.0.0.001.A
	IN05 - Pk 3+917	.....
29_532	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.05.0.0.001.C
29_532_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.05.0.0.001.A
	IN06 - Pk 3+969	.....
29_533	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.06.0.0.001.C
29_533_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.06.0.0.001.A
	IN07 -Pk 6+505	.....
29_533_2	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.07.0.0.001.A
29_533_3	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.07.0.0.001.A
	IN08 - Pk 12+973	.....
29_534	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.08.0.0.001.C
29_534_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.08.0.0.001.A
	IN34 - Pk 1+352	.....
29_535	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.34.0.0.001.C
29_535_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.34.0.0.001.A

	IDROLOGIA E IDRAULICA	.....
	IN35 - Pk 1+805	.....
29_536	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.35.0.0.001.C
29_536_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.35.0.0.001.A
	IN36 - Pk 2+077	.....
29_537	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.36.0.0.001.C
29_537_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.36.0.0.001.A
	IN37 - Pk 3+440	.....
29_538	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.37.0.0.001.C
29_538_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.37.0.0.001.A
	IN38 - Pk 7+389	.....
29_539	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.38.0.0.001.C
29_539_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.38.0.0.001.A
	IN39 e NI11 Pk 11+752	.....
29_540	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.39.0.0.001.C
29_540_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.39.0.0.001.A
	IN39 - Pk 11+800	.....
29_541	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.39.0.0.002.C
29_541_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.39.0.0.002.A
	IN40 - PK 12+532	.....
29_542	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.40.0.0.001.C
29_542_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.40.0.0.001.A
	IN51 - Pk 1+898	.....
29_543	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.51.0.0.001.C
29_543_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.51.0.0.001.A
	IN52 - Pk 2+062	.....
29_544	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.52.0.0.001.C
29_544_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.52.0.0.001.A
	IN53 - Pk 2+202	.....
29_545	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.53.0.0.001.C
29_545_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.53.0.0.001.A
	IN81 - Pk 1+722	.....
29_546	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.IN.81.0.0.001.C
29_546_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.IN.81.0.0.001.A
	VIABILITA': IDRAULICA MINORE INTERFERENTE	.....
	NI18	.....
29_547	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.NI.07.0.0.001.C
29_547_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.NI.07.0.0.001.A
	NI18	.....

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 12 di 215

	IDROLOGIA E IDRAULICA	.....
29_552	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3U.4.0.D.29.LZ.NI.18.0.0.001.C
29_552	Sezioni idrauliche post operam	RS3U.4.0.D.29.W9.NI.18.0.0.001.A

Tabella 2 – Elenco elaborati annessi

3 ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI

3.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

3.1.1 Manuale di progettazione ferroviario

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

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

linea ferroviaria $Tr = 300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$

linea ferroviaria $Tr = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$

deviazioni stradali $Tr = 200$ anni

...omississ...

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

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

– franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico

– posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;

– posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.

– Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto considerando le dimensioni del plinto invece che quelle della pila.”

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

“ Le tipologie ammesse sono:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 13 di 215

tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;

tombini scatoari in c.a. con dimensione minima 2m;

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

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

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

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

3.1.2 NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa

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

- NTC 2018: 5.1.2.3 Compatibilità idraulica Ponti

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.

L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni ($T_r=200$).

Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;
- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 14 di 215

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.

Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato. In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $Tr = 1,001$) devono essere combinati con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente ψ_0 unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione ψ_1 .

- Circolare applicativa: C5.1.2.3 Compatibilità idraulica

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

Gli elementi del ponte, quali le opere strutturali, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, fanno parte di un progetto unitario corredato dallo studio di compatibilità idraulica di cui al punto 5.1.2.3 delle NTC. Il progetto sarà impostato tenendo in considerazione la necessità di garantire l'accesso per il ripristino dell'efficienza idraulica degli attraversamenti parzialmente o totalmente intasati dai detriti durante gli eventi di piena.

Fermo restando quanto previsto dalla Norma, nello studio di compatibilità idraulica, in funzione delle diverse situazioni, è opportuno siano tra l'altro illustrati i seguenti aspetti:

- analisi degli eventi di massima piena; esame dei principali eventi verificatisi nel corso d'acqua; raccolta dei valori estremi in quanto disponibili, e loro elaborazione in termini di frequenza probabile del verificarsi; per i ponti in sezioni di un corso d'acqua che abbiano a monte manufatti artificiali che limitino

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 15 di 215

il naturale deflusso delle piene, queste sono da valutarsi anche nell'ipotesi che tali manufatti siano dismessi;

- ricerca e raccolta, presso gli Uffici ed Enti competenti, delle notizie e dei rilievi esistenti, anche storici, utili per lo studio idraulico da svolgere;

- giustificazione della soluzione proposta per: l'ubicazione del ponte, le sue dimensioni e le sue strutture in pianta, in elevazione ed in fondazione, tenuto conto del regime del corso d'acqua, dell'assetto morfologico attuale e della sua possibile evoluzione, nonché delle caratteristiche geotecniche della zona interessata;

- allontanamento delle acque dall'impalcato e prevenzione del loro scolo incontrollato sulle strutture del ponte stesso o su infrastrutture sottostanti.

Inoltre è di interesse stimare i valori della frequenza probabile (1/Tr) di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso. Nello studio idraulico, in funzione delle diverse situazioni, sono inoltre considerati, ove applicabili, i seguenti problemi:

- classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna: per ponti posti su vie classificate navigabili va rispettata la luce minima sotto il ponte che compete ai natanti per i quali il corso è classificato, fino alla portata per la quale sia consentita la navigazione;

- valutazione dell'influenza dello scavo localizzato che si realizza in corrispondenza delle pile e delle spalle, sulla stabilità di argini e sponde, oltre che delle fondazioni di altri manufatti presenti nelle vicinanze;

- esame delle conseguenze della presenza di corpi flottanti, considerando anche il possibile disormeggio dei natanti, trasportati dalle acque in relazione a possibili ostruzioni delle luci (specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte), sia in fase costruttiva sia durante l'esercizio delle opere;

- sollecitazioni indotte dall'acqua per evento sismico quando sia di qualche rilievo la superficie immersa delle pile (e, per i ponti esistenti, delle spalle) con riferimento al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno.

Per la stima del livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno, in assenza di dati che garantiscano una robusta caratterizzazione statistica degli eventi, è da utilizzarsi il minimo fra i valori di portata massimi annuali registrati. Scalzamento e azioni idrodinamiche devono in tal caso essere combinate con tutte le altre azioni variabili, mentre nella situazione corrispondente all'evento di piena di progetto, nella combinazione con le altre azioni variabili sono da considerare solo quelle variabili da traffico. In situazioni particolarmente complesse può essere opportuno sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici. Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.... omissis....

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 16 di 215

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. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

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

- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;*

- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.*

- per sezioni di area maggiore a 1,5 m² è da garantire la praticabilità del manufatto;*

- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;*

- 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;*

- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;*

- la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;*

- il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;*

- 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 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. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;*

- i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento.*

Nel caso il tombino sia opera provvisoria, ovvero a servizio di un cantiere, le precedenti disposizioni possono essere assunte come elementi di riferimento, tenendo opportunamente conto del tempo di utilizzo previsto per l'opera provvisoria stessa.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 17 di 215

3.1.3 Criteri di verifica

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

Ponti

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
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>	1,50 m
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>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</i>

Tombini

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Manufatti di attraversamento minori (tombini)	<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 Per portate maggiori di $50 \text{ m}^3/\text{s}$ va previsto ponte
Grado di riempimento	Min. 70%	Min. 2/3 dell'altezza e comunque franco 50 cm dall'intradosso

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 18 di 215

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

3.1.4.1 Caratteristiche del modello matematico

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

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

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

dove:

Y_1 e Y_2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte;

Z_1 e Z_2 rappresentano rispettivamente l'elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte;

V_1 e V_2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte;

α_1 e α_2 i rispettivi coefficienti di Coriolis;

g l'accelerazione di gravità;

h_e le perdite di energia tra le due sezioni.

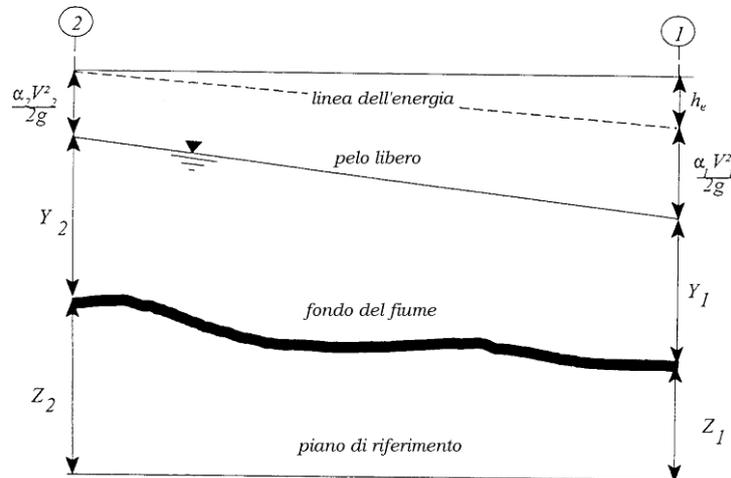


Figura 4 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 4 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (1).

Le perdite di energia complessive tra le due sezioni h_e 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:

L indica la distanza tra le due sezioni;

\bar{J} le perdite di carico medie distribuite tra le due sezioni;

C rappresenta le correlazioni tra le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua e alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni.

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

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

dove:

Q rappresenta la portata;

A l'area bagnata,

R_h il raggio idraulico;

n il coefficiente di scabrezza secondo Manning;

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 le sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 5).

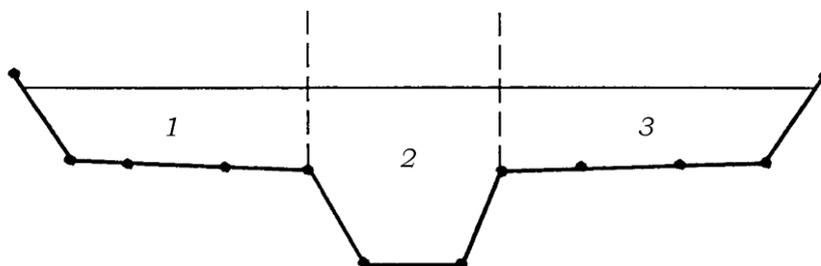


Figura 5: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 5 indicata con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte i -esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning :

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

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

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

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando 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 quindi la portata totale

è pari a $Q = \sum_i Q_i$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 21 di 215

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 è 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:

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

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

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

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

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

L'equazione della conservazione del momento è definita partendo dalla seconda legge di Newton $\sum F_x = ma$ (in cui x è la direzione del moto) applicata ad un elemento di fluido racchiuso tra due generiche sezioni 1-2 (Figura 6).

Per equilibrio si ottiene:

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

dove

P_i è la risultante della pressione idrostatica;

W_x la componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f la forza d'attrito tra le due sezioni;

Q la portata complessiva;

ρ la densità del fluido;

ΔV_x la variazione della velocità tra le due sezioni.

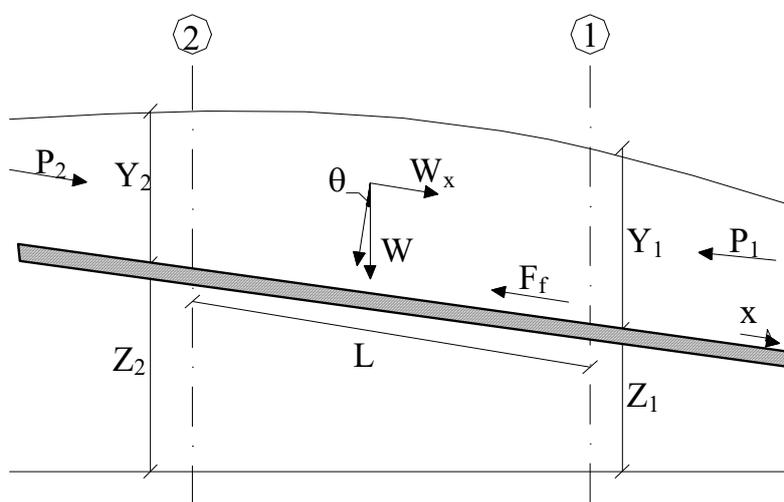


Figura 6: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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, $\cos \theta = 1$.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 23 di 215

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, sono valutate nel modo seguente:

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

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

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

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

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

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

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

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte (Figura 7 e Figura 8), 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.

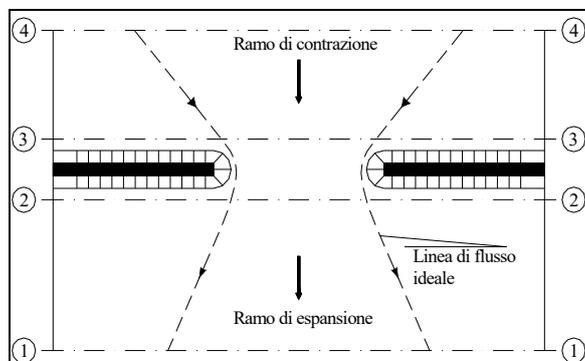


Figura 7: Pianta schematica di un attraversamento fluviale

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 8.

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 3 in funzione del tipo di pila presente.

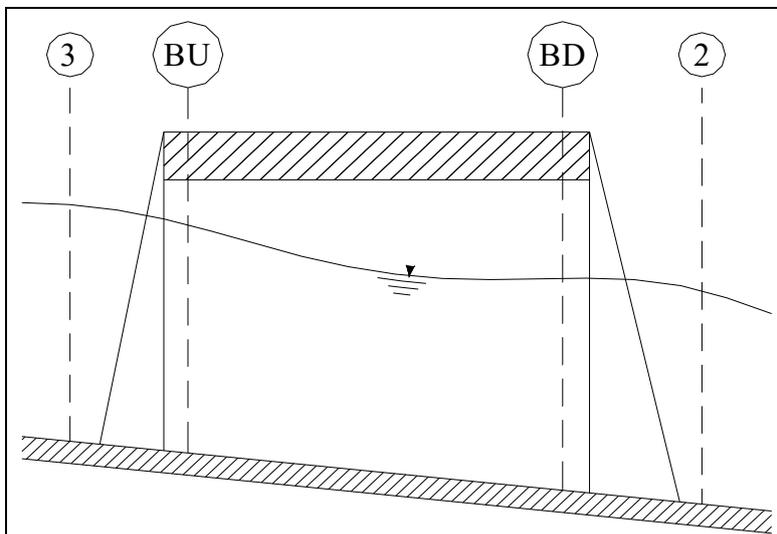


Figura 8: Sezione schematica di un attraversamento fluviale

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 3: Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

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

Con riferimento alle Figura 7 e Figura 8, 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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 26 di 215

H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita;

K è il coefficiente di Yarnell, che tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti (Tabella 4);

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;

V_2 la velocità a valle della sezione.

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

Tabella 4: 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 10, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

A_1 l'area della luce nella sezione di monte;

Y_1 l'altezza idrica della sezione di monte;

α il coefficiente correttivo cinetico;

V_1 la velocità della corrente a monte.

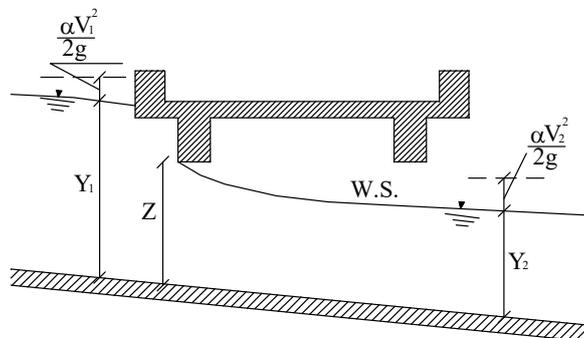


Figura 9: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

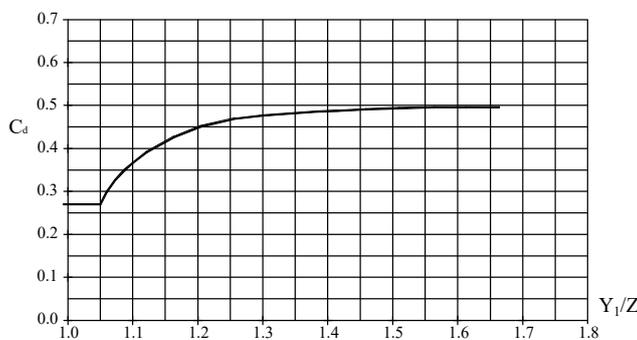


Figura 10: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

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

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

dove C assume il valore di 0.8 ed H coincide con la perdita di energia totale tra la sezione di monte e di valle del ponte come indicato in Figura 11.

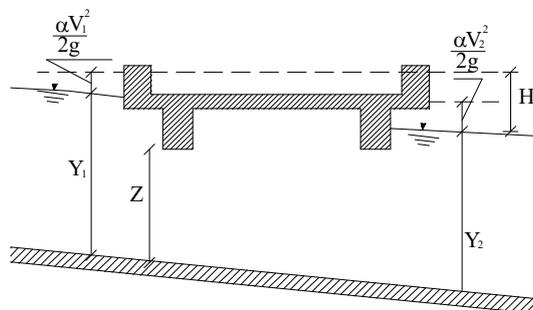


Figura 11: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine, se il ponte è superato dalla corrente di piena (Figura 12), la portata si calcola nel modo seguente:

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

Dove:

C indica un coefficiente correttivo della portata;

L la lunghezza del ponte;

H la differenza di energie tra monte e valle.

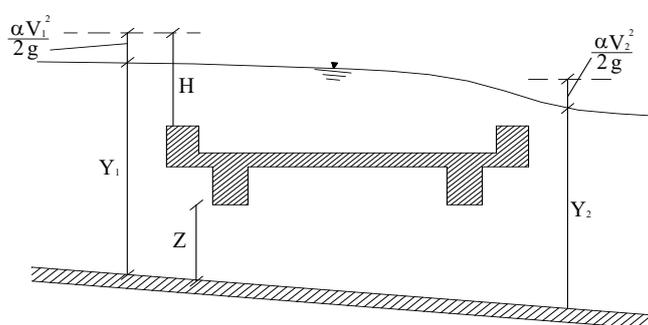


Figura 12: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

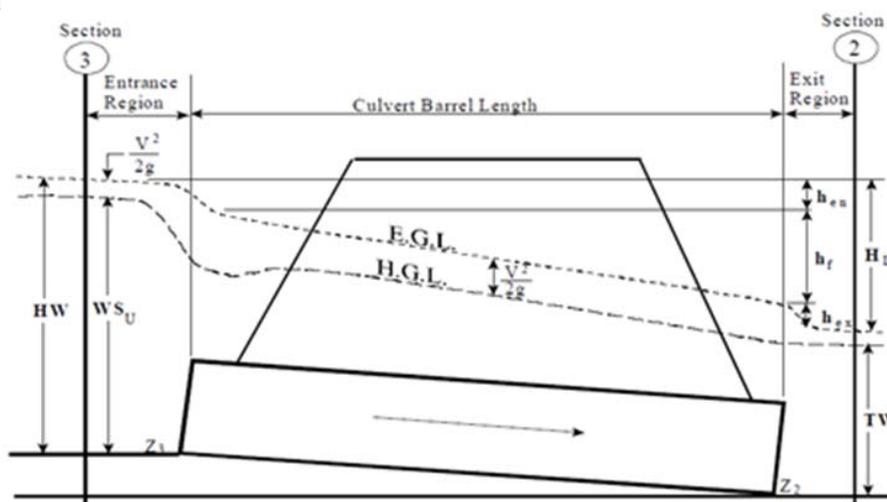


Figura 13: Schema di un tombino ponticello

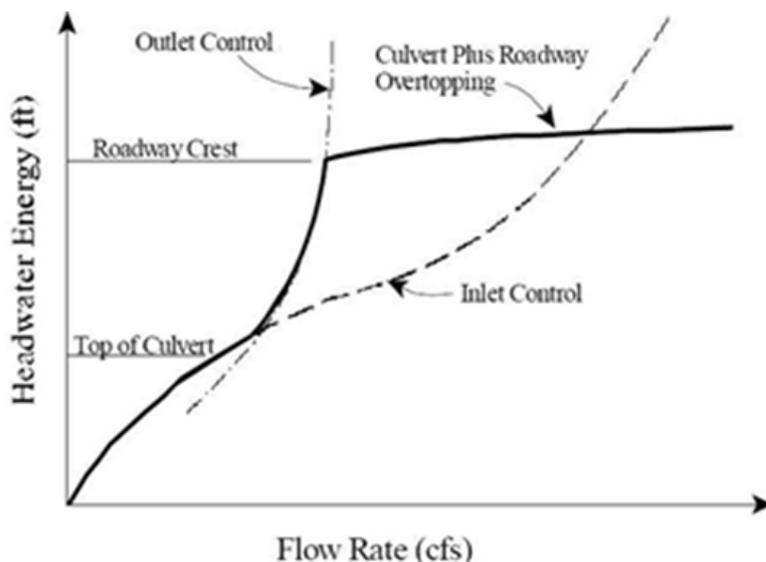


Figura 14: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 30 di 215

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 è il livello dell'energia all'imbocco;

D l'altezza interna del tombino;

H_c l'altezza critica;

Q la portata;

A l'area della sezione interna del tombino;

S la pendenza;

K, M, c, Y le 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 utilizza l'equazione di Bernoulli per effettuare tale calcolo:

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

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 31 di 215

dove:

Y_3, Y_2 sono i tiranti d'acqua nelle sezioni di monte e di valle;

Z_3, Z_2 le quote del fondo del tombino a monte e a valle;

α_3, α_2 i coefficienti di Coriolis nella sezione 1 e 2;

g è l'accelerazione di gravità;

H_L la 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} sono le perdite in entrata;

h_f le perdite per attrito;

h_{ex} le perdite in uscita.

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

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

dove:

L è la lunghezza del tombino;

Q la portata;

n il coefficiente di scabrezza di Manning;

A l'area della sezione di flusso;

R il 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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 29</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>32 di 215</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	32 di 215
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	32 di 215								

3.1.5 Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente _HY8

Il programma HY-8 è un software implementato dall'Università della Pennsylvania in collaborazione con la Federal Highway Administration (FHWA) ed ha lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica dei canali tombinati.

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo programma sono:

determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire una portata di progetto;

definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;

calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco.

determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per determinare il livello di rischio della struttura.

determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

Il programma fornisce direttamente output sintetici con le variabili principali della simulazione ed alcuni grafici che mostrano il comportamento idraulico della struttura al variare della portata di progetto o del livello idrico di monte.

I dati di ingresso sono i seguenti:

· *Culvert Data*

- *project name*: nome del progetto;
- *the station or location*: progressiva;
- *the date (automatically set)*: data.

I dati di portata sono:

- *minimum discharge*: portata minima di deflusso;
- *design discharge*: portata di progetto;
- *maximum discharge*: portata massima di deflusso;
- *number of barrels*: numero di manufatti.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA												
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 29</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>33 di 215</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	33 di 215
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	33 di 215								

La portata di progetto deve essere sempre maggiore della minima, mentre quella massima sarà di norma maggiore o pari a quelle di progetto. Tali dati sono utilizzati solo nel caso si vogliano determinare le scale di deflusso del manufatto ed eseguire analisi di sensitività.

Nel caso specifico è stata condotta solo l'analisi per la portata di progetto.

I dati del tombino prevedono:

- *culvert shape*: forma del tombino;
- *size*: dimensioni;
- *inlet*: tipo di imbocco;
- *material*: materiale;
- *roughness coefficients*: scabrezza di Manning.

I dati di output sono i seguenti:

- *headwater depth*: carico idraulico totale in coordinate relative, della corrente nel tombino. Tale valore è stato assunto come livello idrico all'imbocco nel caso in cui il tombino preveda acqua ferma (es. un pozzo) all'ingresso;
- *inlet control elevation*: quota assoluta del carico all'imbocco;
- *inlet depth*: altezza idrica all'imbocco nel caso di imbocco senza pozzo di ingresso, ovvero considerando il carico cinetico all'ingresso;
- *break control elevation*: carico idraulico in termini di quote assolute;
- *critical depth*: altezza critica;
- *tailwater depth*: altezza idrica nel canale di valle;
- *occurrence of a hydraulic jump*: presenza di risalto idraulico;
- *hydraulic jump location (if occurred)*: posizione del risalto;
- *hydraulic jump length (if occurred)*: lunghezza del risalto;
- *outlet depth*: altezza idrica nella sezione di sbocco;
- *outlet velocity*: velocità nella sezione di sbocco;
- *outlet Froude number*: numero di Froude nella sezione di sbocco.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 34 di 215

Si illustra di seguito il modulo relativo alla verifica delle opere d'arte di attraversamento dei corsi d'acqua minori.

3.1.6 Il calcolo idraulico

Il comportamento idraulico dei tombini è piuttosto complesso perchè può ricadere sia nel campo dell'idraulica a pelo libero che in quello delle condotte in pressione, in funzione della portata transitante.

Come già accennato, per affrontare il calcolo idraulico il programma BCAP segue le indicazioni del manuale di progettazione Hydraulic Design Series No. 5, Hydraulic Design of Highway Culverts (1985) redatto dall'agenzia americana U.S. Federal Highway Administration.

L'approccio utilizzato affronta il problema individuando due possibili sezioni di controllo per il moto: l'ingresso (Inlet control) e l'uscita (Outlet control).

Sezione di controllo all'ingresso. Essa si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico.

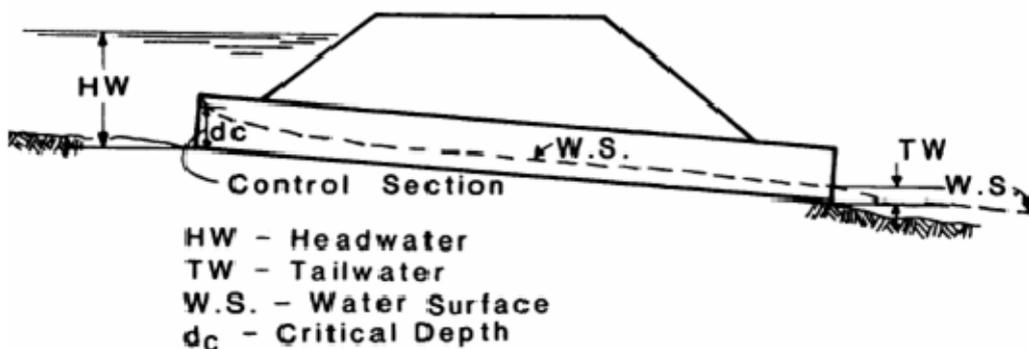


Figura 15 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

Sezione di controllo all'uscita. Si realizza quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l'ingresso. La sezione di controllo si localizza all'uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

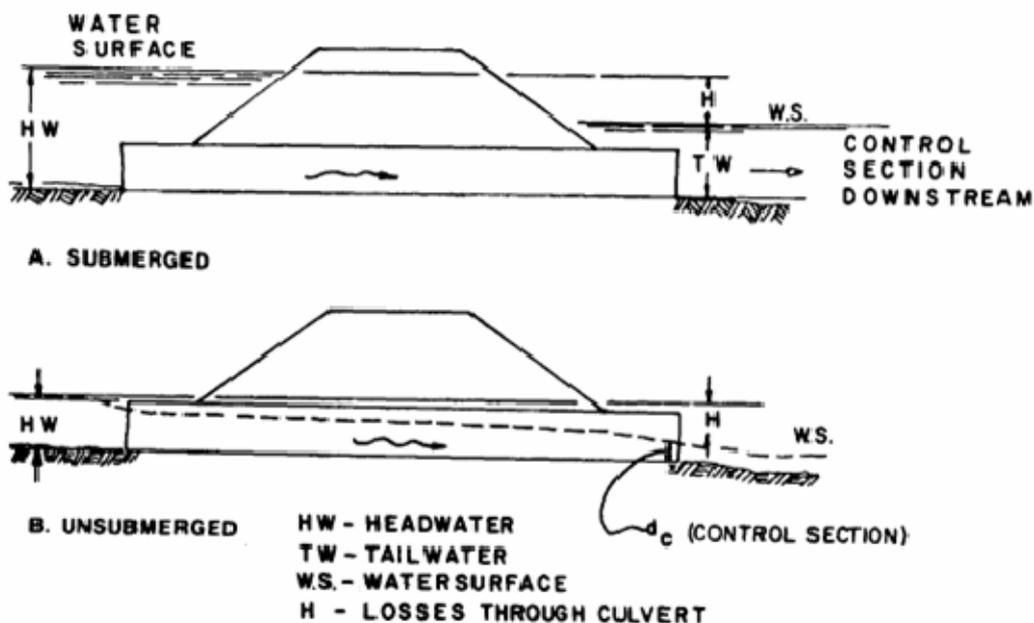


Figura 16 Esempio di moto controllato dalla sezione a valle del tombino

Si illustra il calcolo idraulico per i tombini con sezione di controllo all'ingresso.

Le equazioni del deflusso dipendono dal fatto che l'imbocco del tombino sia sommerso o meno. Il manuale HDS-5, già citato fornisce le equazioni sulla base del parametro (non adimensionale):

$$\frac{Q}{AD^{0.5}} \quad (\text{ft}0.5/\text{s})$$

dove

Q (ft³/s) è la portata;

A (ft²) è la sezione del tombino;

D (ft) l'altezza interna.

Dato che 1 ft = 0.3048 m possiamo dire calcolare il fattore di conversione 1 (m 0.5/s) = 1.81 (ft 0.5/s) per le unità del SI. Riferendoci a questo sistema di misura le equazioni hanno le seguenti forme:

- se $\frac{Q}{AD^{0.5}} < 1.932$: imbocco non sommerso:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 36 di 215

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[1.81 \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

- se $\frac{Q}{AD^{0.5}} > 2.208$ - imbocco sommerso:

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[1.81 \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

- se $1.932 < \frac{Q}{AD^{0.5}} < 2.208$ - zona di transizione: si interpola linearmente tra le due equazioni precedenti

dove

HW_i è l'altezza idrica prima dell'imbocco, nel caso di velocità di arrivo nulla;

H_c è l'energia critica;

S è la pendenza della condotta;

K , M , Y e c sono dei coefficienti dipendenti dalla forma dell'imbocco, dai materiali e dall'equazione usata.

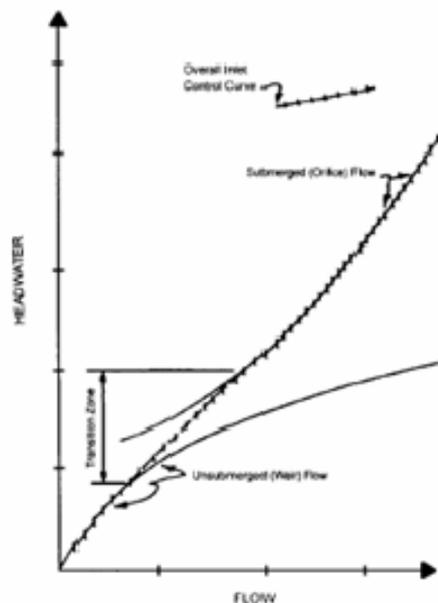


Figura 17 Andamento tipico della scala di portata per moto controllato da monte

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 37 di 215

Calcolo idraulico per i tombini con sezione di controllo a valle

Il calcolo viene eseguito sulla base dell'equazione di conservazione dell'energia:

$$HW_0 + \frac{V_u^2}{2g} = TW + \frac{V_d^2}{2g} + H_L$$

dove i simboli hanno il significato indicato in Figura 18.

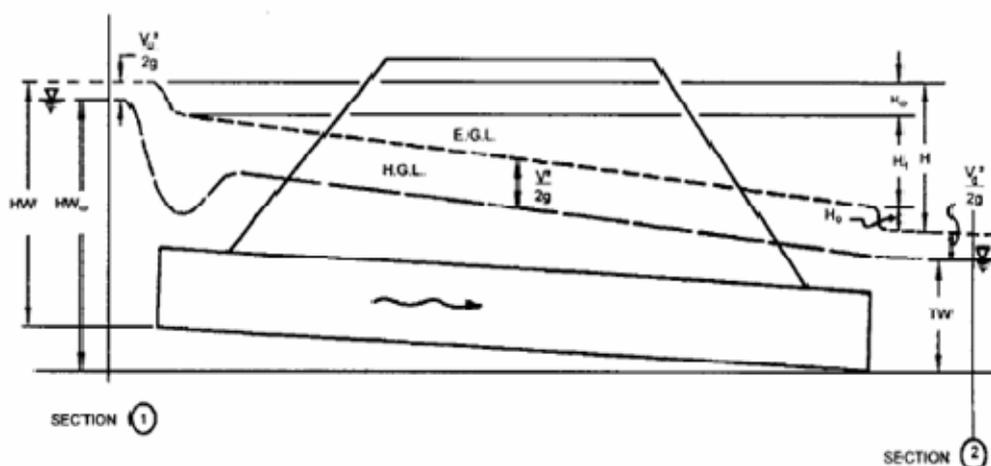


Figura 18 Significato delle variabili usate per il calcolo dei tombini con sezioni di controllo a valle

Il pelo libero di moto permanente viene integrato utilizzando gli usuali metodi numerici e tenendo conto della pendenza dello stato rapido o lento della corrente e degli eventuali risalti idraulici.

TAILWATER – La condizione al contorno di valle

Nell'analisi delle strutture esistenti e nel progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell'immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla.) o l'altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle. A questo scopo è possibile definire la sezione del canale e la sua scabrezza sia per canali con sezione geometrica (rettangolare, trapezia ecc..) sia per alvei naturali.

Il calcolo del moto uniforme si basa sulla formula di Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 38 di 215

dove

v (m/s) è la velocità media della corrente;

R (m) è il raggio idraulico;

S è la pendenza della linea dell'energia;

n è il coefficiente di scabrezza dipendente dalle caratteristiche dell'alveo.

3.2 Verifica idraulica delle opere

3.2.1 Geometria degli alvei

I modelli matematici sono stati sviluppati riproducendo la geometria degli alvei naturali mediante le sezioni trasversali dei corsi d'acqua, ricavate da un rilievo topografico di dettaglio realizzato da Italferr. In taluni casi le sezioni di rilievo sono state implementate, o laddove non presenti sostituite, con sezioni ricavate dal rilievo Lidar sempre realizzato da Italferr.

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

3.2.2 Portate di progetto

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto. In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018), sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 e 300 anni. Inoltre è stata considerata la portata con tempo di ritorno pari a 30 anni.

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

La portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 300 anni rappresenta 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.

La portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 30 anni rappresenta invece l'evento di verifica del transitorio tra le opere in progetto e il completamento della macrofase 2 laddove è prevista la dismissione della linea storica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 39 di 215

Nello studio idrologico le portate di calcolo sono state ottenute dall'applicazione del metodo razionale a partire da altezze di pioggia calcolate con due fonti di dati diversi (Protezione Civile regione Sicilia e Annali idrologici aggiornati). Nelle verifiche idrauliche è stata considerata come portata di calcolo per ogni corso d'acqua quella massima tra quelle ottenute dalle due fonti di dati.

Nel lotto 4 le verifiche sono state eseguite per la configurazione finale di progetto considerando quindi portate con tempi di ritorno duecentennali (vedi Tabella 5).

HEC RAS	HY8	WBS		Interferenza	PK Bacino	OPERA	Q TR200 (mc/s)	
1		IN32		0+511	NV04B	NVX1 0+559	Deviazione	9.70
		IN01		0+450	TR01	0+450	Tombino - prolungare esistente	3.20
		IN02		0.638	TR01 / NV04B	0+638	Tombino	24.90
		IN31		0.576			Sistemazione	
		IN03		0+905	RI01	1+057	Tombino	6.50
		IN33		0+987			Deviazione	
		IN34		1+352.88	VI02	1+345	Viadotto	9.60
				NI06	VI02	NI06	Viadotto	
		IN35		1+805	VI03	1+875 1+830	Sistemazione	67.50
		IN36		2+077	VI04	2+076	Sistemazione	10.0
		IN81		1+722	VI52	1+717	Sistemazione	2.20
		IN51		1+898	RI53	1+898	Tombino	1.90
		IN52		2+062	TR52	2+061	Tombino	0.90
IN53		2+202	RI54	2+200	Tombino	31.70		
	1	IN54		2+310	RI54	2+323	Tombino	1.10
2		IN37		3+459	VI05	3+440	Sistemazione	4.20
3			3+459	3+465		Sistemazione	3.20	
4		IN04		3+744	RI09	3+744	Tombino	8.40
5		IN05		3+921	RI09	3+917	Tombino	2.90
		IN06		3+976	RI09	3+969	Tombino	23.90
6		IN07		6+505	RI10	6+500	Tombino	0.70
7		IN38		7+389	VI06	7+381	Sistemazione	33.90
			7+389	NV94	7+381	Sistemazione	33.90	
8			NI10	11+742	NV02 0+334	11+804	Tombino	30.40
		IN39		11+800	VI07	11+683 11+804	Viadotto	35.70
			NI11	11+752	NV02 0+262	11+683	Tombino	5.30
9		IN40		12+532	VI07	12+535	Viadotto	16.30
10		IN08		12+973	RI13 NV98	13+092	Tombino	26.40
11			NI07	4+170	NV90	0+177	Tombino	5.10
12		IN18		0+300	NV97		Viadotto	4.00

Tabella 5: Valori portate di calcolo

3.2.3 Definizione dei coefficienti di scabrezza

La stima dei coefficienti di scabrezza delle superfici è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 40 di 215

dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

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

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

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

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

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

Pertanto i coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono:

- 0.045 s/m^{1/3} per l'alveo inciso;
- 0.06 s/m^{1/3} per le aree golenali;
- 0.035 s/m^{1/3} per gli alvei rivestiti in massi.

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

Tabella 6: Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

3.2.4 Definizione delle condizioni al contorno

Alcuni corsi d'acqua considerati confluiscono nel Fiume Anghilla e Morello e la linea ferroviaria è situata poco a monte delle rispettive confluenze. Per tale ragione è stata imposta come condizione al contorno il livello ottenuto dal modello bidimensionale dei fiumi principali nella sezione di valle di ogni singolo corso d'acqua per un evento con tempo di ritorno 30 anni.

Per i corsi d'acqua non direttamente confluenti, la condizione al contorno di valle considerata è quella corrispondente al moto uniforme a valle.

Nella seguente tabella sono riassunte le condizioni al contorno utilizzate nei modelli

IN	Pk	Nome Hec Ras	Q di progetto m ³ /s	CC di monte	CC di valle
IN32	0+511	1+830.05	9.70	Normal Depth=0.0226	Normal Depth=0.0124
NI04	0+638 est	0+638_est	17.23	Normal Depth=0.0433	Normal Depth=0.0124
IN31 / IN02	0+638 ovest / 0+576	0+638_ouest	7.65	Normal Depth=0.008	Normal Depth=0.0124
IN03	0+905	1+057.46	6.46	Normal Depth=0.05494	Normal Depth=0.0124
IN33	0+987				
IN04	3+744	3_744	4.20	Normal Depth=0.09	-
		River 1	4.20	Normal Depth=0.03	-
		3_744-new river	8.40	-	Know W.S.= 340.18 m
IN05	3+917	3+917	2.90	Normal Depth=0.1	-
IN06	3+969	3+969	23.9	Normal Depth=0.06	-
		unione	26.8	-	Know W.S.=340.18 m
IN08	12+973	13+092_1	17.70	Normal Depth=0.08	-
		13+092_2	8.70	Normal Depth=0.066	-
		13+092	26.40	-	Know W.S.=332.02 m
IN34	1+345	1+345.43	7.74	Normal Depth=0.04875	-
		NI06	1.22	Normal Depth=0.13	-
		1+345.43_NI06	8.96	-	Normal Depth=0.0124
IN35	1+805	1+830-1+830-sud	67.45	-	Normal Depth=0.0124
IN36	2+077	2+076.30	10.00	Normal Depth=0.0374	Normal Depth=0.0124
IN37	3+459	3+440	4.20	Normal Depth=0.051	Normal Depth=0.0383
		3+459	3.20	Normal Depth=0.106	Normal Depth=0.059
IN38	7+386	7_381	33.9	Normal Depth=0.04493	Normal Depth=0.00833
NI11	11+752	11+683	5.30	Normal Depth=0.015	-
IN39	11+800	11+803	30.40	Normal Depth=0.014	-
NI10		11+683-11+803	35.70	-	Normal Depth=0.02
IN40	12+532	12+535	16.30	Normal Depth=0.0226	Know W.S.=329.92 m
IN51	1+898	OPERA 9	1.94	Normal Depth=0.081	Normal Depth=0.0124
IN52	2+062	OPERA 12	0.86	Normal Depth=0.15	Normal Depth=0.0124
IN53	2+202	OPERA 13	31.67	Normal Depth=0.035	Normal Depth=0.0124
IN54	2+310	HY8	1.10	-	0.066
IN81	1+722	OPERA 8	2.15	Normal Depth=0.2	Normal Depth=0.0124
NI 07	4+170	0_177	5.10	Normal Depth=0.05034	Normal Depth=0.05194
IN07	6+505	IN07	0.70	Normal Depth=0.0566	Normal Depth=0.1428
NI18	0+300	0_300	4.00	Normal Depth=0.15	Know W.S.=339.6m

Tabella 7: Tabella Condizioni al contorno

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 43 di 215

3.2.5 Criteri di dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde

Stante il carattere talvolta torrentizio dei corsi d'acqua e la presenza, in taluni casi, di attraversamenti esistenti a ridosso delle nuove opere, è stato previsto di proteggere l'alveo e le sponde in prossimità dei manufatti di progetto mediante massi sciolti intasati con calcestruzzo.

Il diametro dei massi è stato scelto verificando che il rapporto tra la tensione tangenziale critica dei medesimi e la tensione tangenziale massima derivante dalle modellazioni monodimensionali fosse sempre superiore a 1. Nelle verifiche i massi sono stati considerati sciolti, operando in tal modo in favore di sicurezza.

È da precisare che la distribuzione delle tensioni tangenziali è strettamente legata alla forma della ; questa è prossima a quella media solo quando la sezione è larga rispetto al tirante idrico e approssimativamente rettangolare. Un esempio della distribuzione delle tensioni tangenziali per una sezione trapezia, di dimensioni modeste, è raffigurato nella figura seguente, dove τ_0 rappresenta la tensione tangenziale media nella sezione.

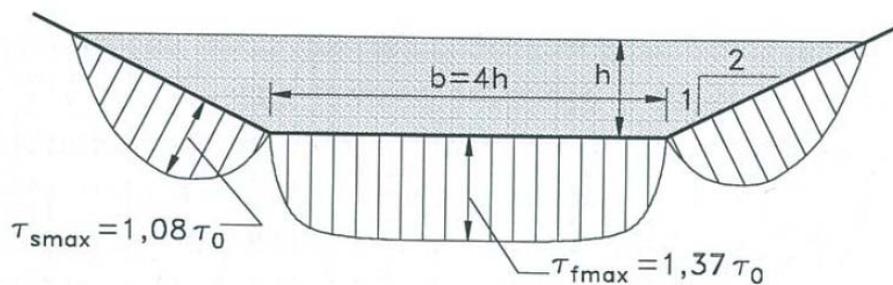


Figura 19: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia

Il valore della tensione tangenziale massima sul fondo e sulle sponde, in una sezione, può essere ottenuto applicando al valore medio i fattori correttivi ricavati dagli abachi sperimentali di Figura 20 , in funzione del rapporto tra base della sezione e altezza del tirante idrico (b/h) e dell'inclinazione della sponda. Pertanto, per gli alvei a sezione trapezoidale con un rapporto b/h minore di 8, sono state calcolate le tensioni massime al fondo e sulle sponde applicando i parametri correttivi precedentemente indicati al massimo tra i valori medi ottenuti dalle simulazioni monodimensionali nelle sezioni oggetto di sistemazione.

È da precisare che laddove i fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima sulle sponde risultavano inferiori all'unità, non sono stati applicati in ragione di sicurezza.

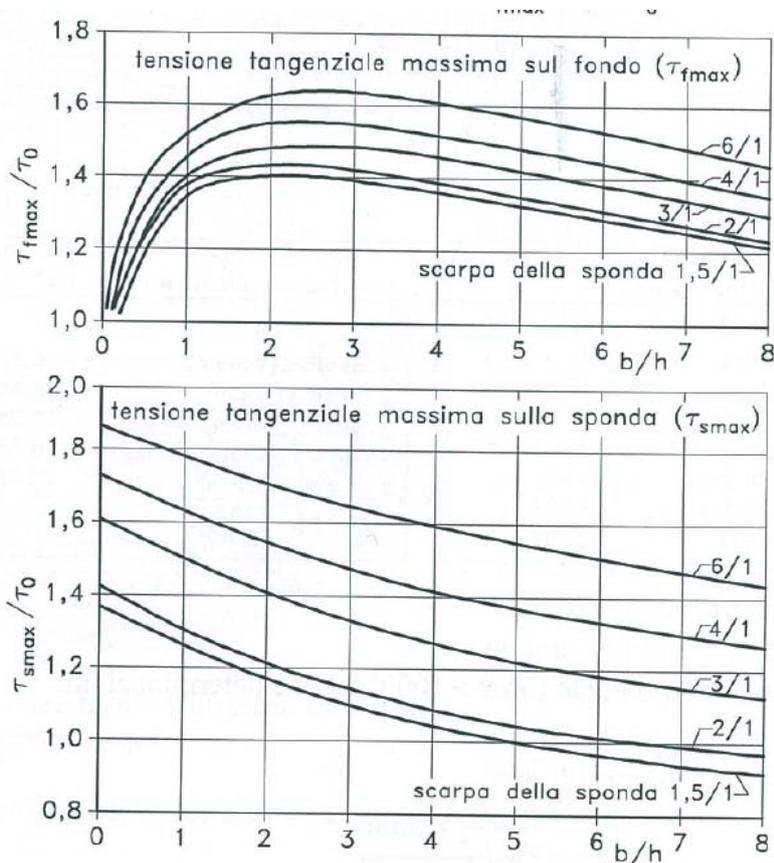


Figura 20: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima

Invece, per gli alvei con un rapporto b/h maggiore di 8, la tensione tangenziale è stata assunta pari a quella massima tra i valori medi nelle sezioni oggetto di sistemazione ottenuti dalle simulazioni monodimensionali, sia per l'alveo che per le sponde.

Nel caso in cui le sezioni risultavano larghe, ma con presenza di curve a monte dell'attraversamento o singolarità che potessero far temere incrementi locali di velocità e conseguentemente di tensione tangenziale, la velocità media nella sezione è stata aumentata di un fattore 1.5. Con il nuovo valore di velocità è stata ricalcolata la cadente piezometrica così come la tensione tangenziale al fondo di verifica.

Il calcolo della tensione critica è stato effettuato utilizzando il criterio di Shields, ossia:

$$\tau_c = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d$$

dove:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 45 di 215

γ_s è il peso specifico dei massi;

γ_w è il peso specifico dell'acqua;

d è il diametro dei massi.

Nei casi in cui vi era presenza di bassa sommersa dei massi, ossia il rapporto tra tirante e diametro era inferiore a 6, è stato invece applicato al criterio di Shields il fattore correttivo di Armanini e Scott.

$$\tau_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d \cdot \left(1 + 0.67 \cdot \left(\frac{d}{h} \right)^{0.5} \right)$$

dove h è il tirante idrico.

Poiché le relazioni indicate valgono nel caso di fondo piano, la tensione tangenziale critica sulle sponde è stata calcolata applicando il criterio di Lane, ossia applicando un fattore correttivo pari a:

$$\frac{\tau_{cr}(\alpha)}{\tau_{cr}(0)} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}}$$

dove:

$\tau_{cr}(\alpha)$ è la tensione tangenziale critica sulla sponda;

$\tau_{cr}(0)$ è la tensione tangenziale critica sul fondo;

α l'angolo di inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale;

φ l'angolo d'attrito dei massi.

Per quanto concerne quest'ultimo valore esso è stato assunto ovunque pari a 45°.

Tra il terreno naturale e i massi è prevista la posa di un geotessuto di massa non inferiore ai 400 gr/m², prevedendo uno strato di allettamento in sabbia al fine di non danneggiarlo durante le operazioni di posa.

Nella figura seguente è riportata una sezione tipo delle sistemazioni previste delle quali si tratterà nel dettaglio nei singoli paragrafi dei vari corsi d'acqua.

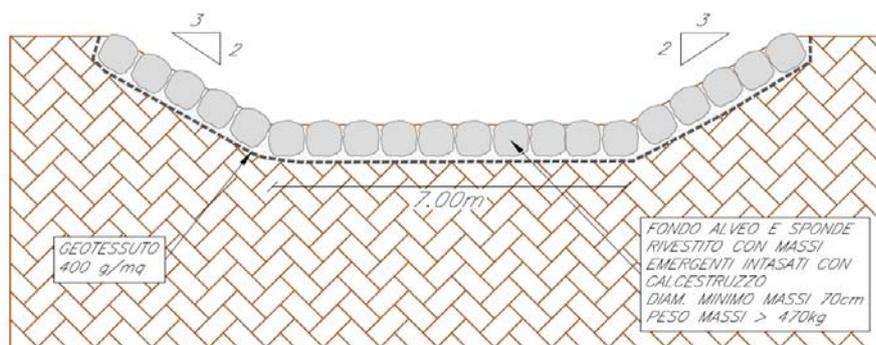


Figura 21: Sezione tipo protezione

3.2.6 Criteri di dimensionamento delle protezioni dei rilevati

Parte dei rilevati di progetto, ferroviari e stradali, vengono lambiti dagli allagamenti dovuti alle piene dei corsi d'acqua, come riportato dettagliatamente nelle planimetrie delle aree di esondazione. Con il fine di proteggere l'infrastruttura da possibili crolli o danneggiamenti dovuti da effetti erosivi della corrente vengono previste due tipologie di protezioni:

- Protezione in materassi "tipo Reno": Questo tipo di rivestimento del rilevato viene adottato laddove le velocità della corrente non sono particolarmente elevate, non superiori a 2 m/s. Il dettaglio tipologico è riportato nella figura sottostante (Figura 22). I rivestimenti vengono estesi in altezza fino a una quota superiore di almeno un metro rispetto al massimo livello idrico raggiunto per la piena con TR 300 anni;

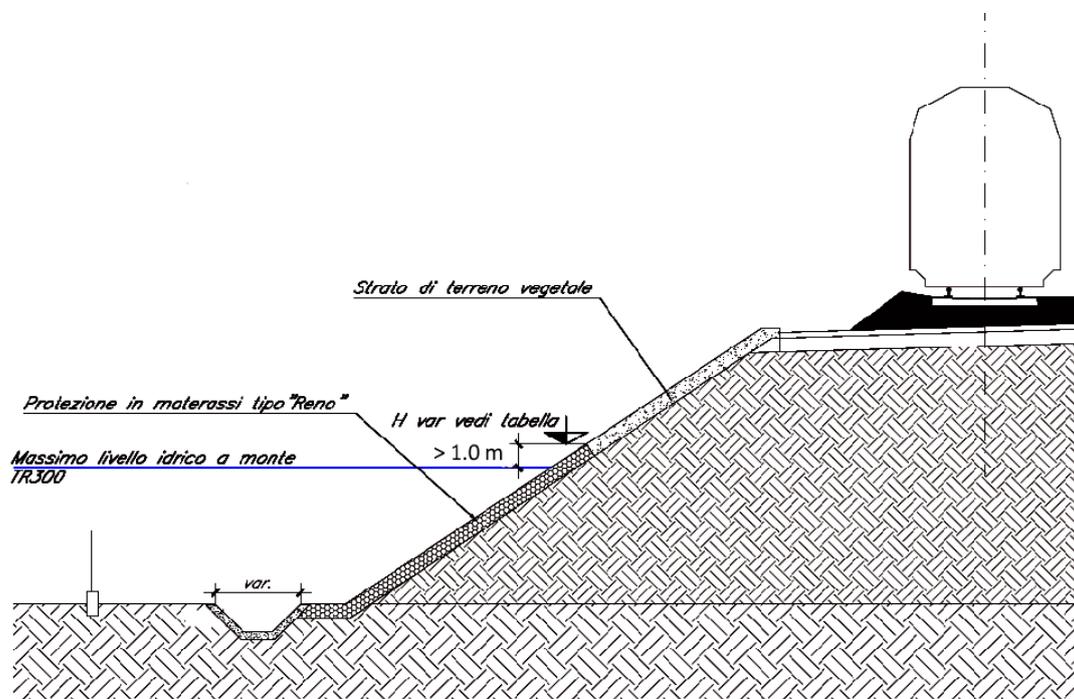


Figura 22: Protezione del rilevato in materassi "tipo Reno"

- **Protezione in massi cementati:** questo tipo di protezione viene impiegato per quelle porzioni di rilevati lambite da correnti liquide con velocità superiori a 2 m/s. Rispetto ai materassi, questo rivestimento garantisce una maggiore resistenza all'effetto erosivo della corrente. Le protezioni saranno estese in altezza fino a una quota superiore di almeno 100 cm rispetto al massimo livello idrico raggiunto per le massime piene di progetto. Nella prossima immagine è riportato un dettaglio tipologico (Figura 23).

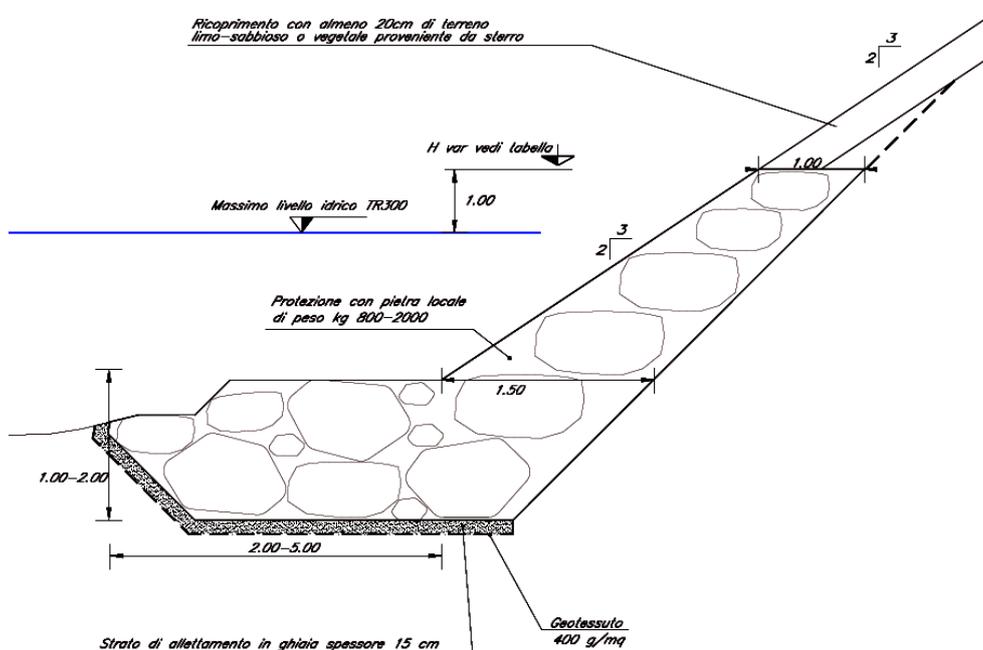


Figura 23: Protezione del rilevato in massi cementati

3.2.7 Criteri di dimensionamento delle protezioni delle pile dei viadotti

Il calcolo delle escavazioni localizzate attorno alle pile è riportato nella relazione idraulica degli studi bidimensionali. La tipologia di protezioni adottate è quella in massi.

Il dimensionamento delle protezioni attorno alle pile è stato effettuato valutando la condizione di incipiente di moto dei massi posti a protezione delle pile. Nello specifico è stata confrontata la velocità critica degli elementi di protezione con la velocità della corrente in approccio alla singola pila.

Secondo le linee guida HEC23, il terreno attorno ad ogni pila soggetta ad escavazione deve essere "armato" con massi che occupano un rettangolo di lato almeno pari a 5-6 volte il diametro della pila. Lo spessore minimo raccomandato per le protezioni è pari a tre volte D_{50} . È bene prevedere uno strato filtrante al di sotto dei massi di protezione.

In genere, sono stati adottati massi sciolti fino ad un diametro medio pari a 0.70 – 0.80 m; per diametri superiori, è stata prevista anche la legatura.

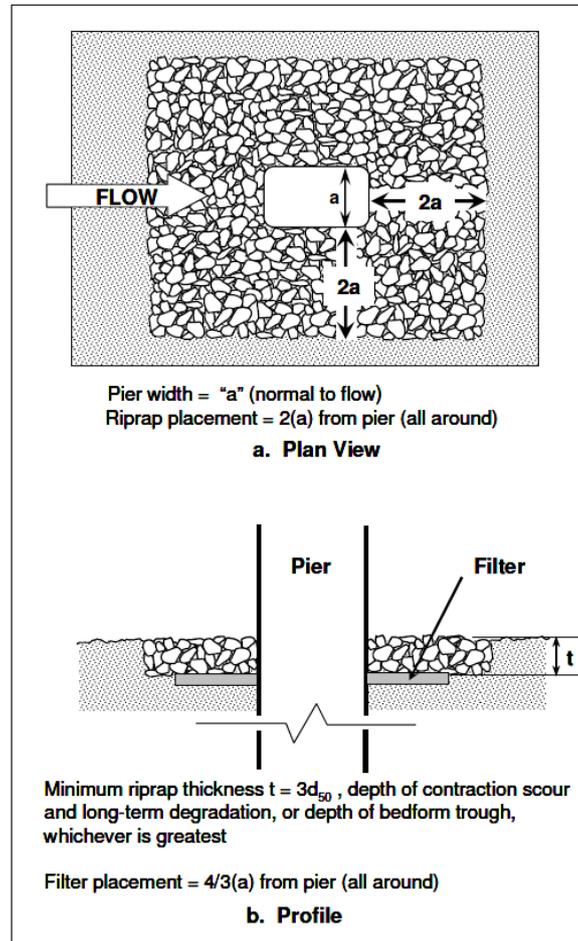


Figura 24: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 50 di 215

3.3 Interferenze progressive da pk 0+450 a pk2+076 e pk 1+7167 a pk 2+312 allaccio linea storica

La linea ferroviaria di progetto dalla pk 0+450 fino alla pk 2+312 della variante alla linea storica si sviluppa parallelamente al Fiume Anghilla. La linea di progetto interferisce con una serie di corsi d'acqua minori che allo stato attuale alimentano tale corso d'acqua.

Tutti gli interventi di progetto, tombini e deviazioni sono stati pertanto studiati in unico modello Hec Ras.



Figura 25: Inquadramento area di intervento

3.3.1 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni

Nelle figure seguenti sono rappresentate le sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente della simulazione ante operam e lo schema utilizzato per la definizione delle portate.

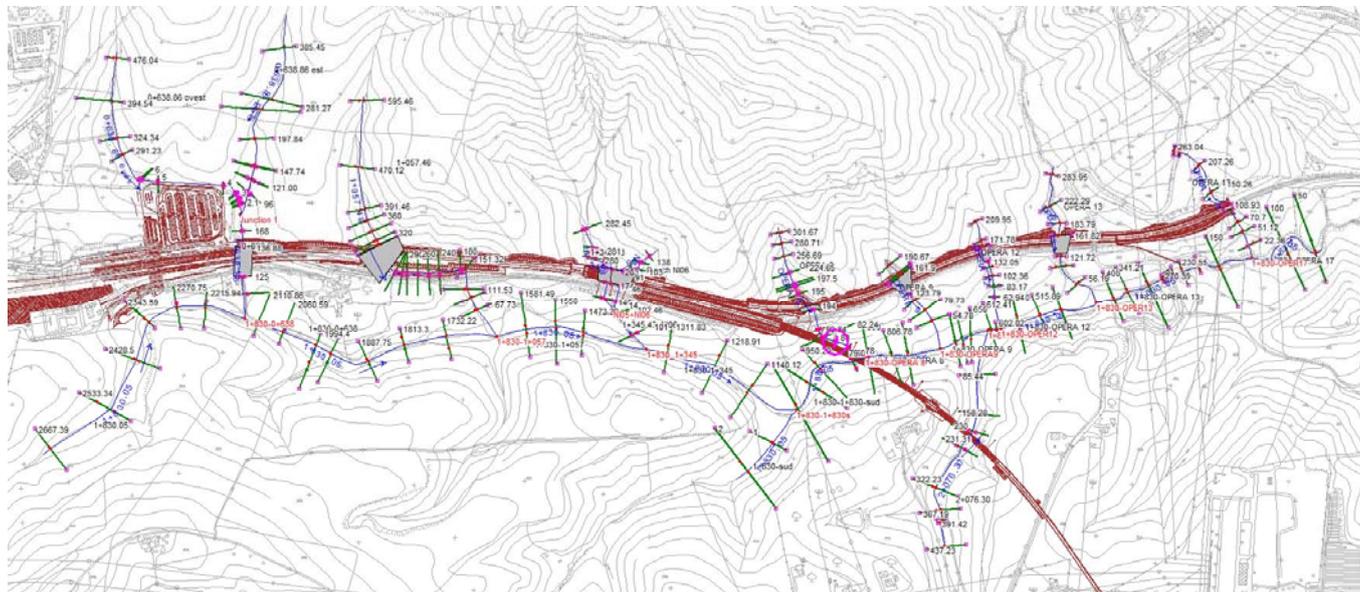


Figura 26: Planimetria sezioni Hec ras – Ante operam

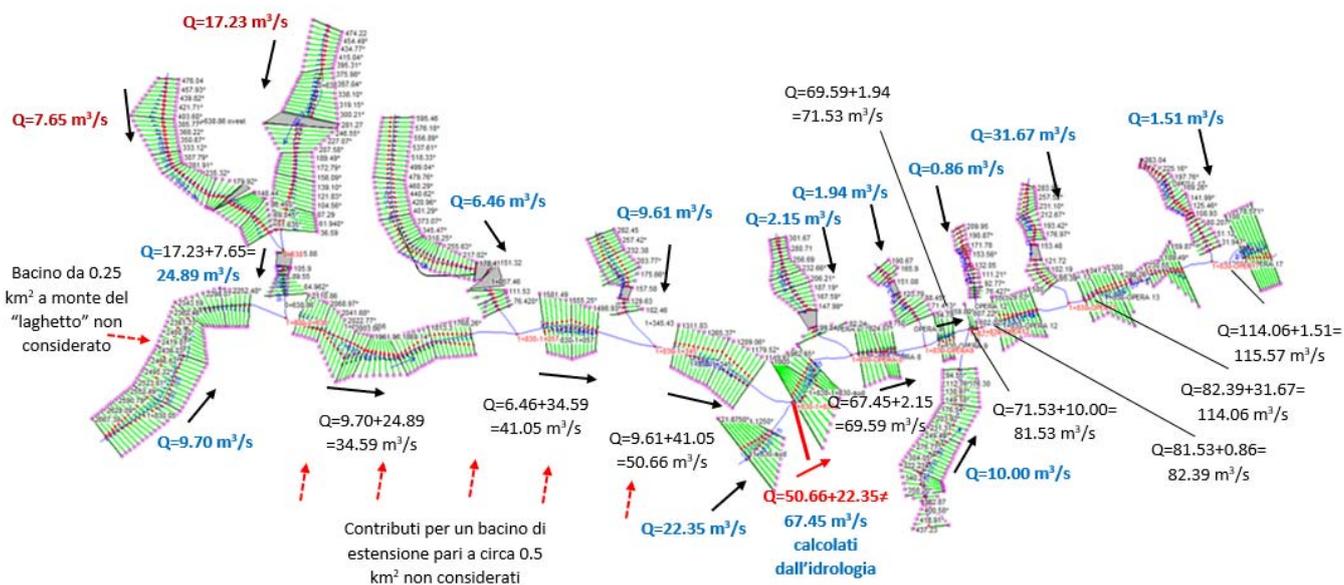


Figura 27: Definizione delle portate del modello

La schematizzazione adottata è volta ad inquadrare cautelativamente il nodo idraulico ad est della stazione di Xirbi. In blu sono indicate le portate "idrologiche" individuate con l'analisi idrologica di progetto per gli attraversamenti di progetto. In bordeaux le portate ricavate in proporzione ai bacini scolanti rispetto alla portata totale. In nero le portate ricavate dalla somma alle junction. In rosso il nodo

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 52 di 215

dove la somma delle portate è diversa dalla portata uscente dalla junction a causa della modellazione idraulico-idrologica adottata.

Il calcolo al nodo dove la somma delle portate è diversa dalla portata uscente dalla junction trova giustificazione nell'ipotesi idrologica per la quale la portata in uscita da un bacino non è pari alla somma delle portate dei sottobacini affluenti ma è inferiore.

Si riporta di seguito una tabella con le dimensioni dei tombini esistenti utilizzati nella simulazione ante operam.

Pk	nome opera rilievo	sede	tipologia	B	H	D	Progetto
0+638		0+638 est - Strada esistente	2 tombini circolari			0.3	
		0+638 ovest - Strada esistente	2 tombini circolari			0.6	
	opera 3	ferrovia esistente	tombino ad arco	1.3	2.1	0.6	Demolizione
		strada esistente	2 tombini circolari				Demolizione
1+057	opera 5	ferrovia esistente	tombino ad arco	1.1	1.4		Demolizione
		ferrovia esistente	tombino ad arco	1.6	1.4		Demolizione
1+345	opera 7	ferrovia esistente	tombino ad arco	0.9	1.3		Demolizione
1+716 Allaccio LS	opera 8	ferrovia esistente	tombino ad arco	1	1.5		Demolizione
1+897 Allaccio LS	opera 9	ferrovia esistente	tombino ad arco	0.8	1.4		Demolizione
2+061 Allaccio LS	opera 12	ferrovia esistente	tombino ad arco	0.6	1.6		Demolizione
1+716 Allaccio LS	opera 13	ferrovia esistente	tombino ad arco	2.6	2.7		Demolizione
3+670	opera 8	strada esistente	tombino circolare			1	Demolizione

Figura 28: Tabella tombini esistenti

Nelle figure seguenti è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA												
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 29</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>53 di 215</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	53 di 215
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	53 di 215								

3.3.1.1 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 est – ovest/est



Figura 29: Inquadramento – 0+639 ovest/est

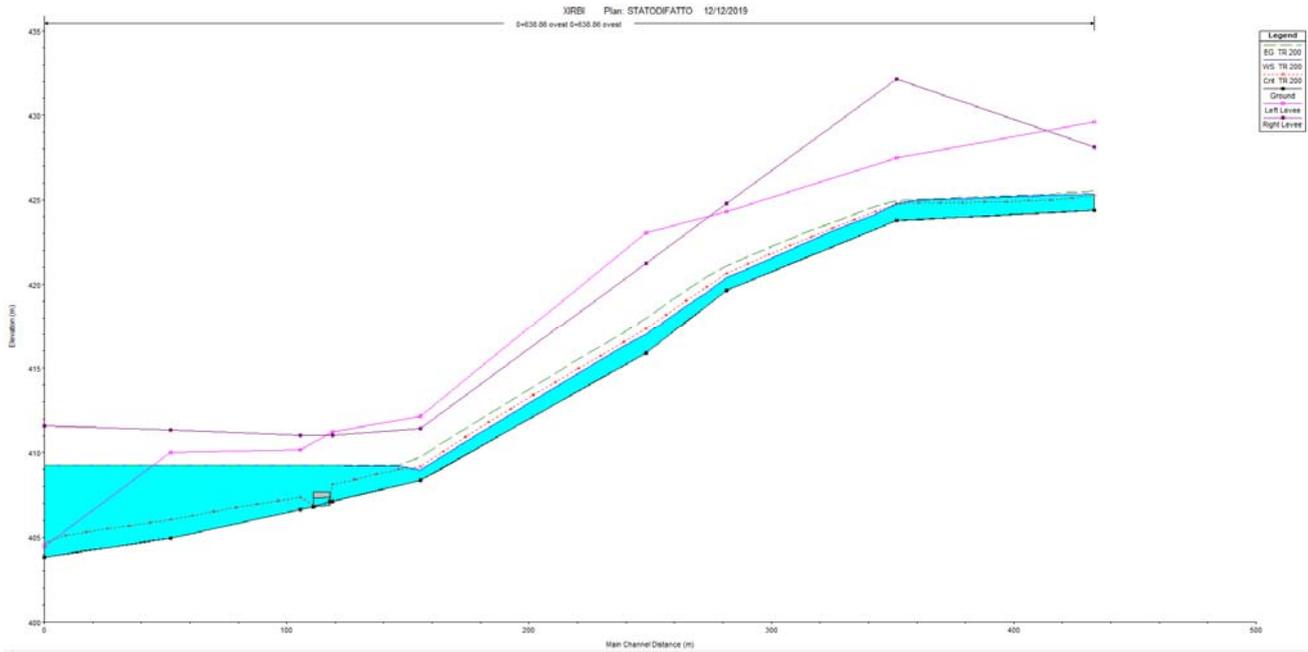


Figura 30: Profilo ante operam – 0+639 ovest

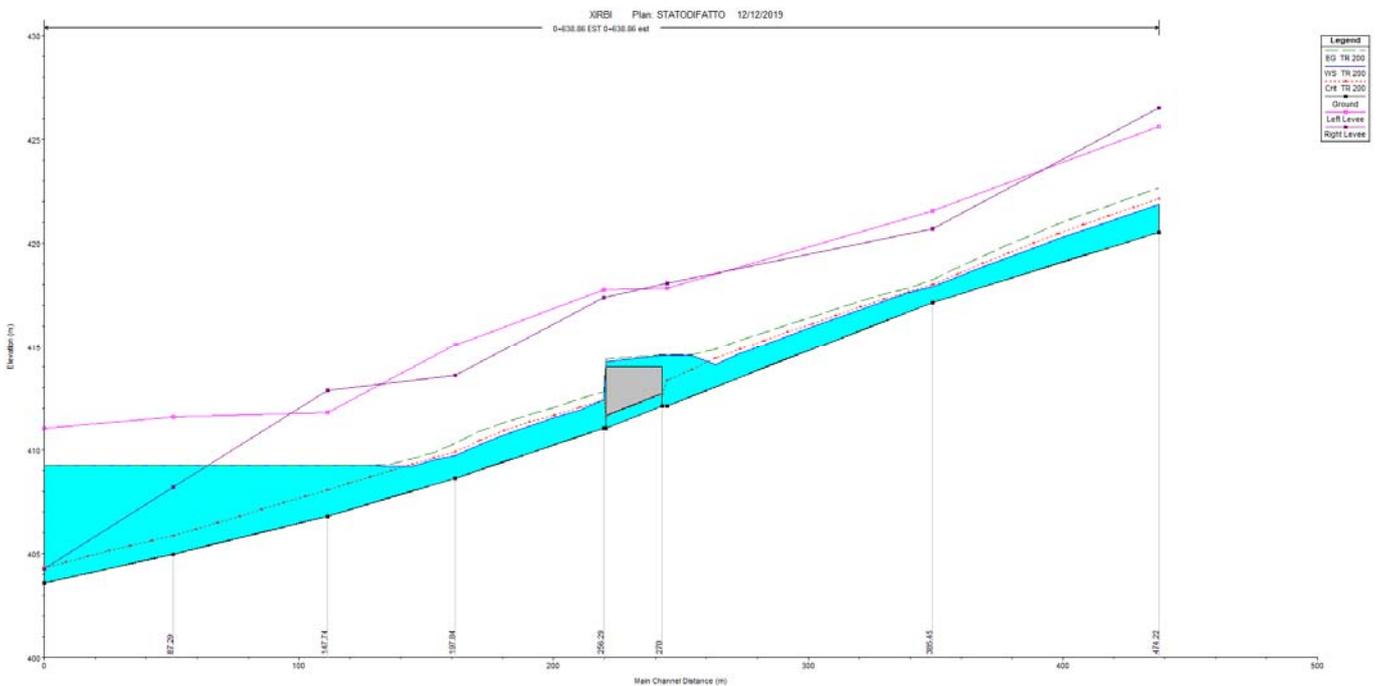


Figura 31: Profilo ante operam – 0+639 est

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA				
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. FOGLIO D 55 di 215

3.3.1.2 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 – Opera 3



Figura 32: Inquadramento – Opera 3

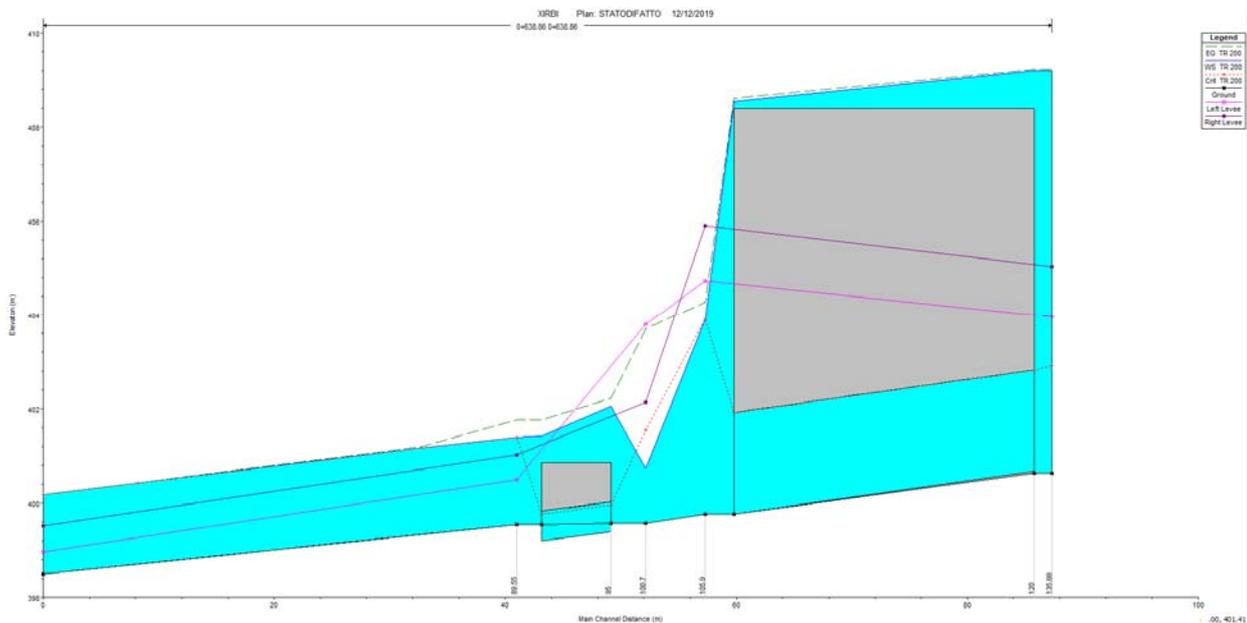


Figura 33: Profilo ante operam – 0+639 – Tombino ferroviario e stradale

3.3.1.3 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni - 1+830

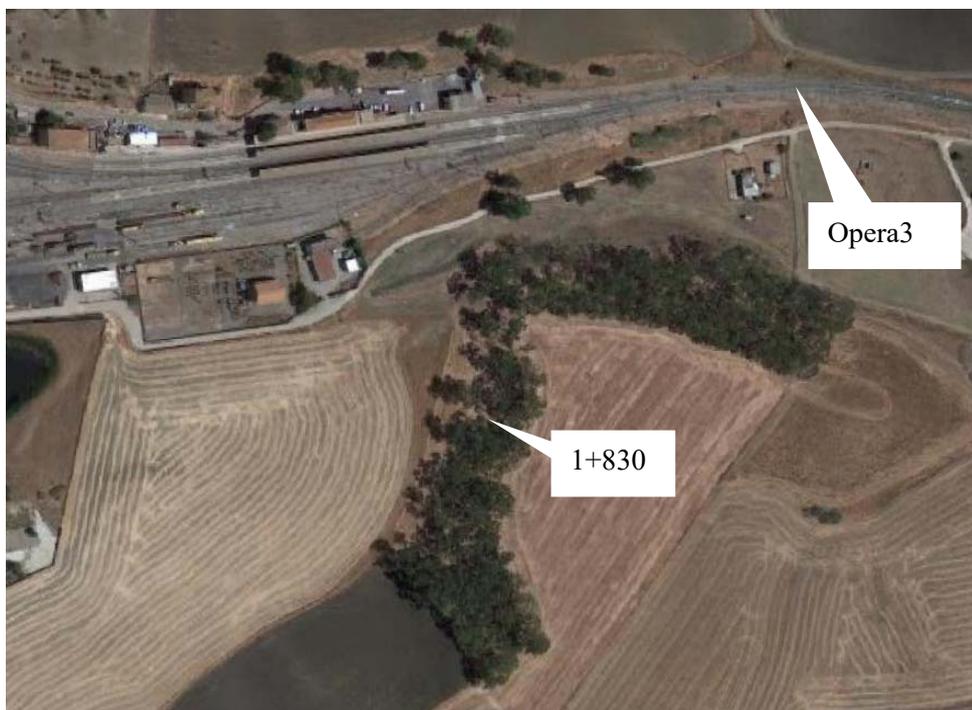


Figura 34: Inquadramento 1+830

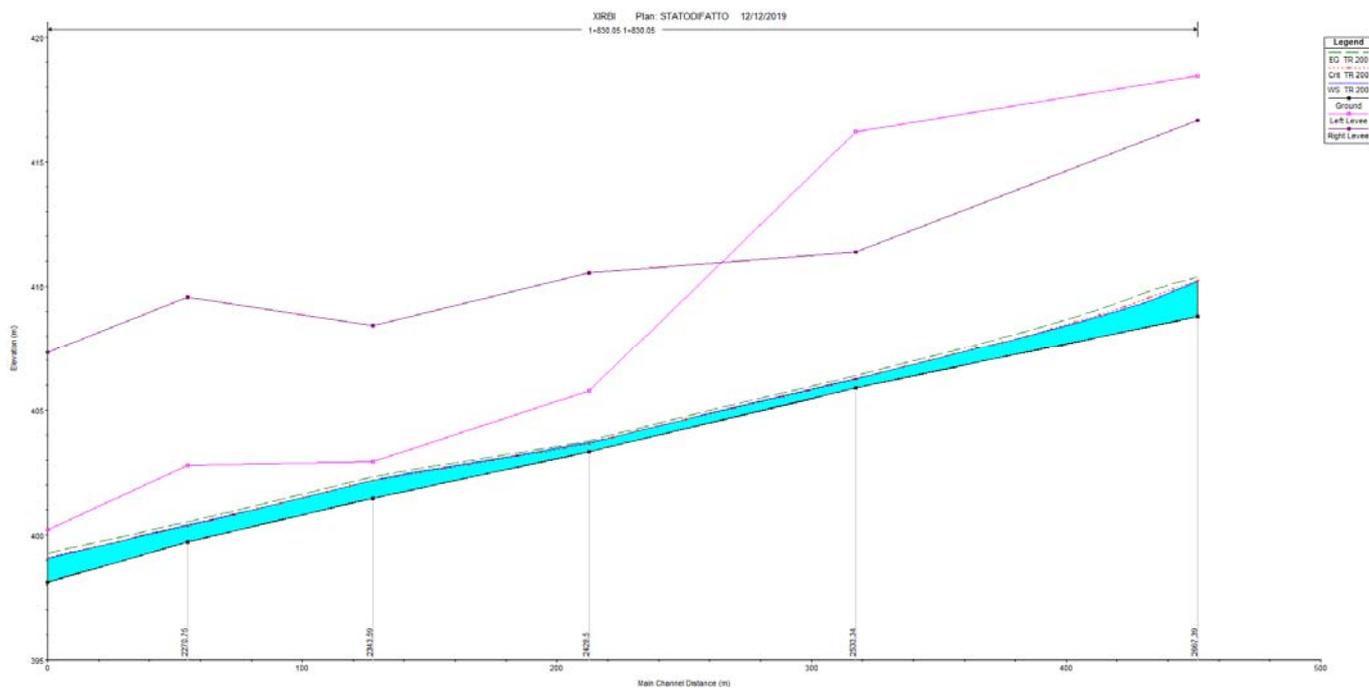


Figura 35: Profilo ante operam – 1+830

3.3.1.4 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – Ramo unione Pk 1+830 e 0+638



Figura 36: Inquadramento

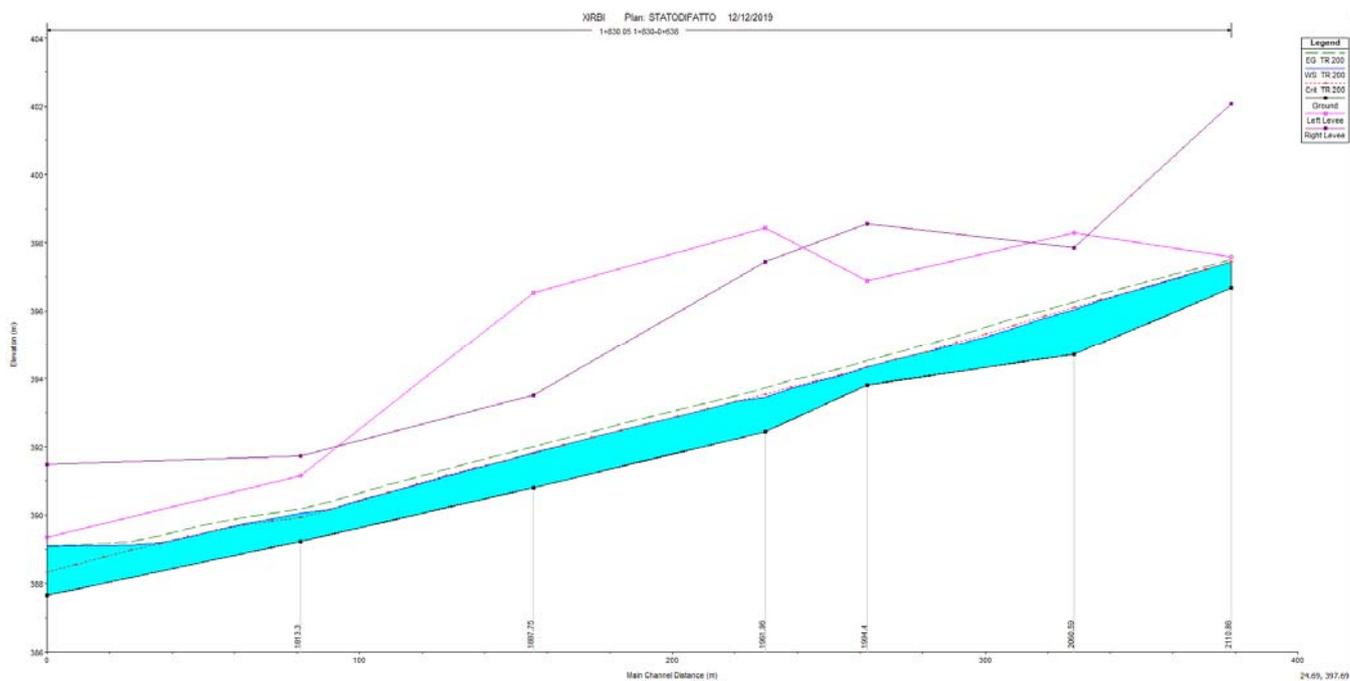


Figura 37: Profilo ante operam – 1+830 + 0+638

3.3.1.5 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+057 opera5



Figura 38: Inquadramento

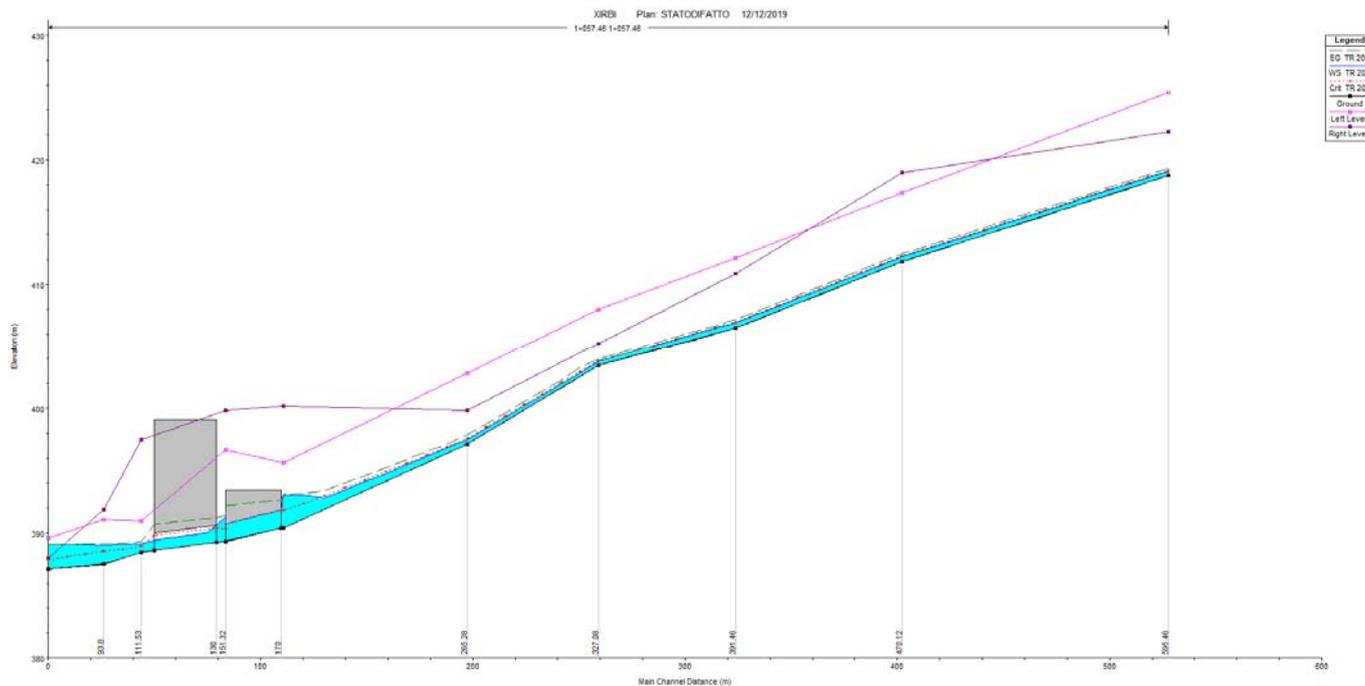


Figura 39: Profilo ante operam – 1+057 . Tombino stradale e ferroviario

3.3.1.6 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – ramo unione 0+638 1+830 1+057



Figura 40: Inquadramento

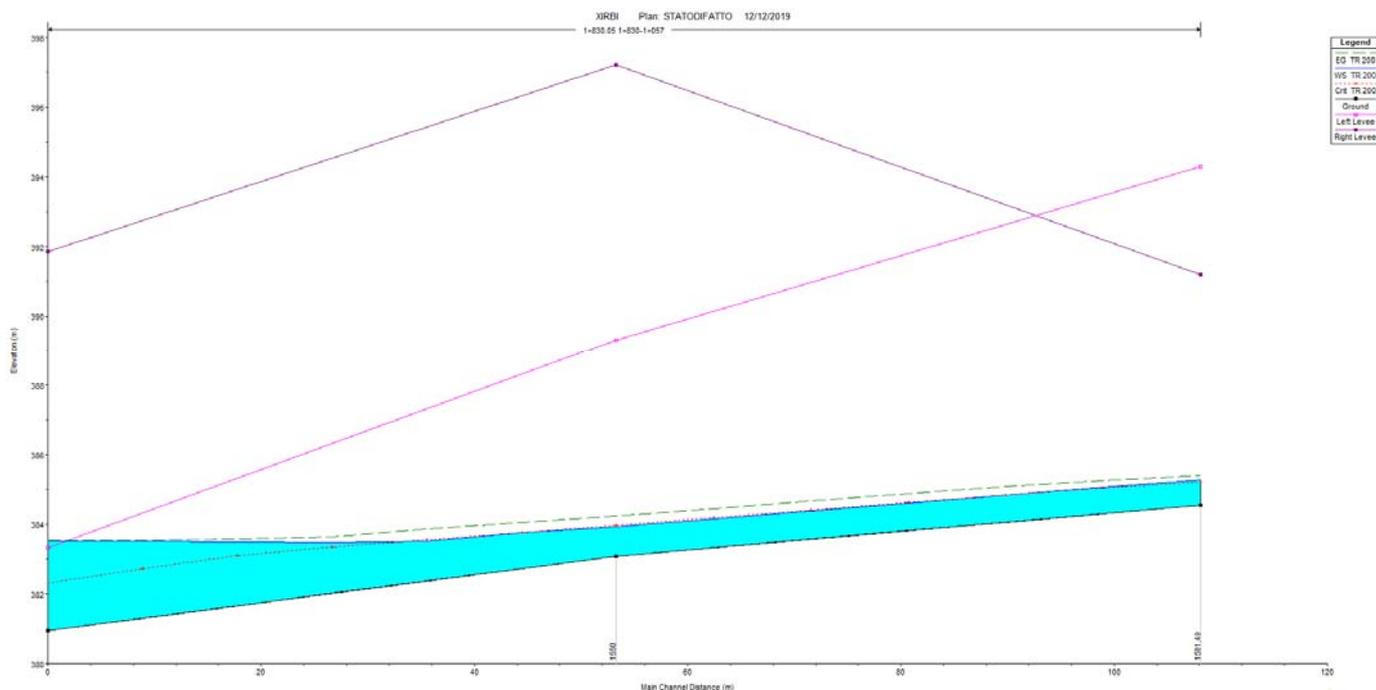


Figura 41: Profilo ante operam – 1+830-1+057

3.3.1.7 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+345 opera7



Figura 42: Inquadramento

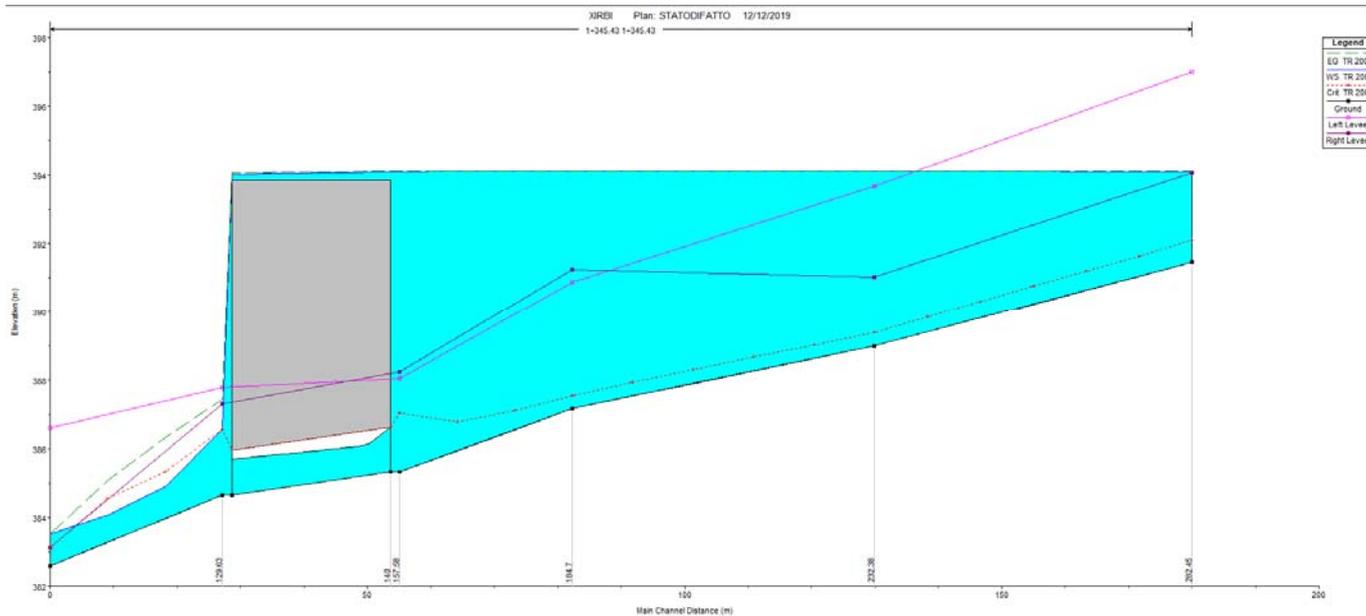


Figura 43: Profilo ante operam 1+345

3.3.1.8 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 1+830 1+057 1+345



Figura 44: Inquadramento

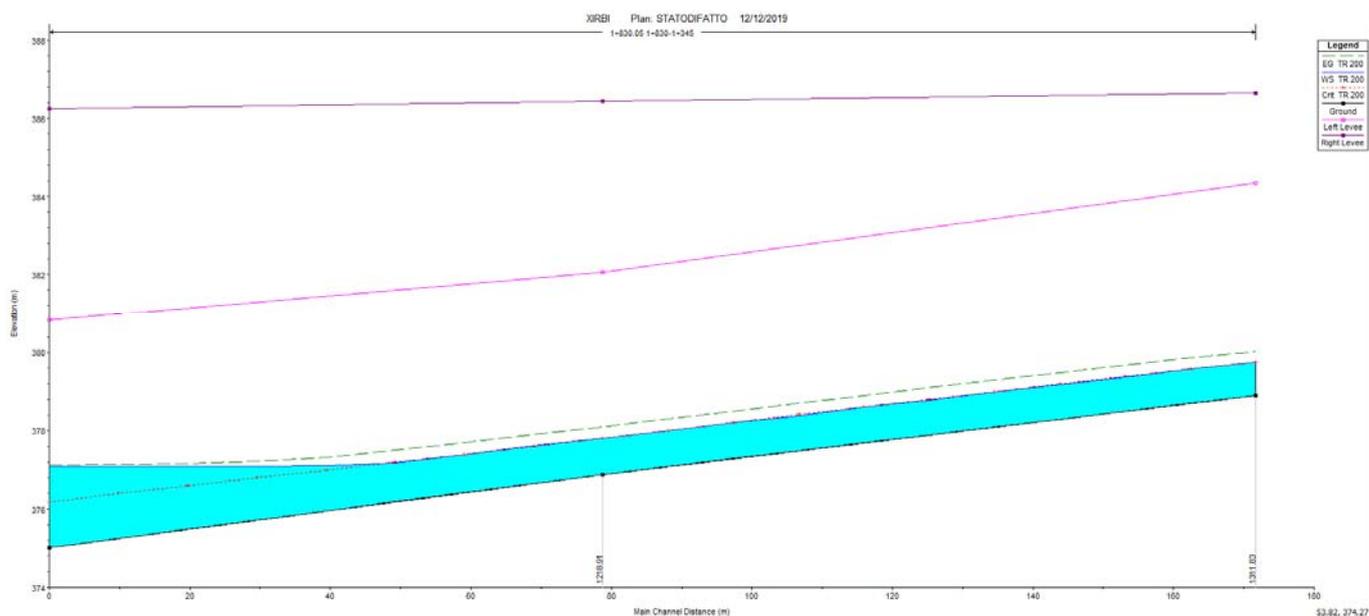


Figura 45: Profilo ante operam 1+ 830 1+345

3.3.1.9 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+830sud

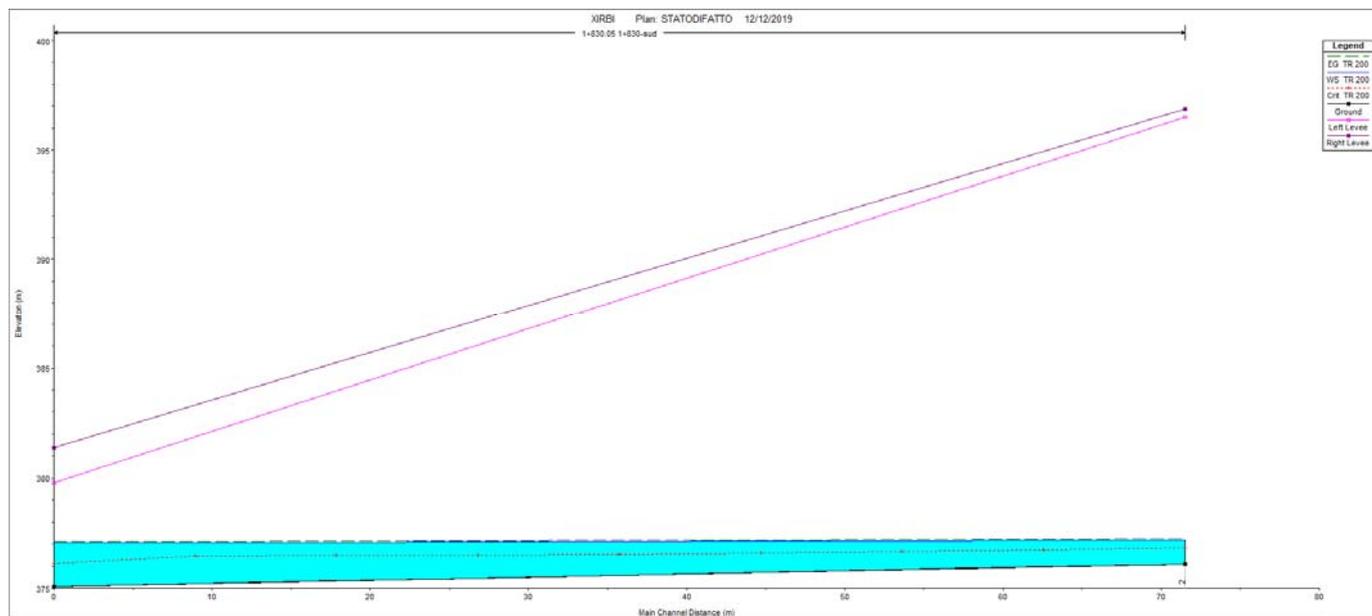


Figura 46: Profilo ante operam 1+ 830 sud

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 63 di 215

3.3.1.10 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 0+638 1+830 1+057 1+345 1+830sud

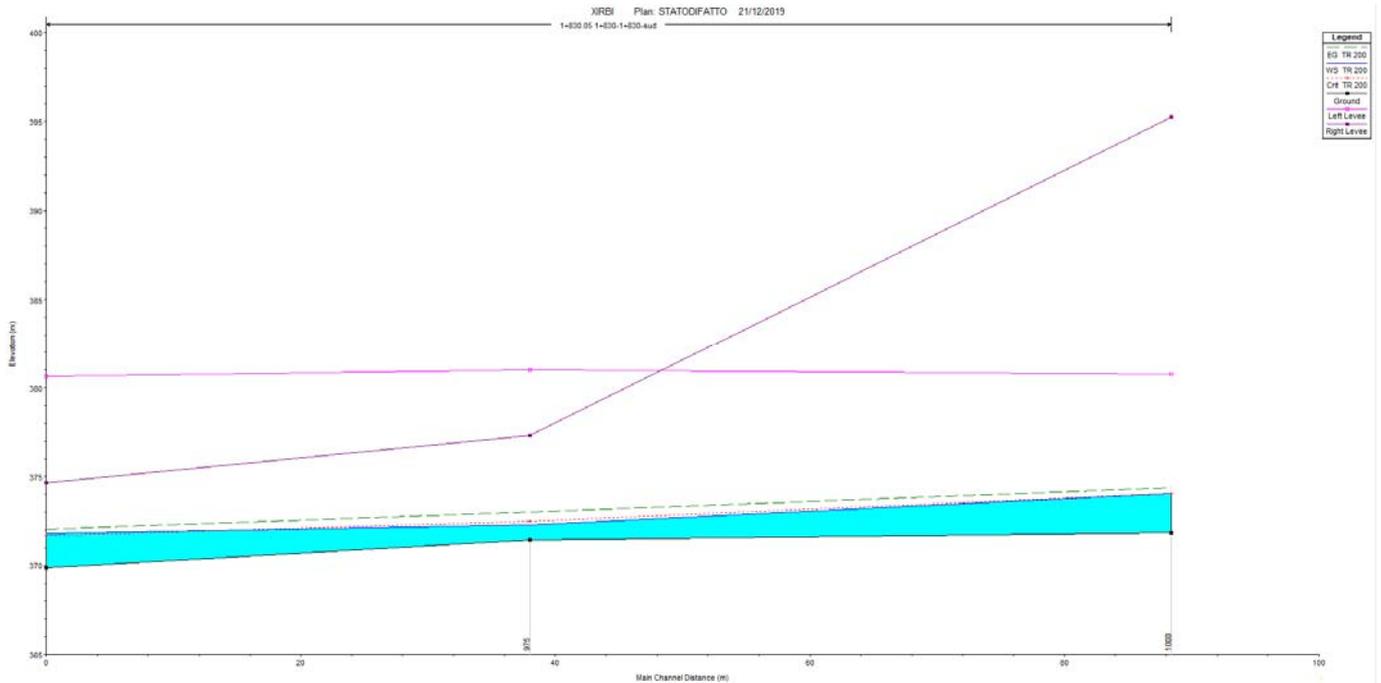


Figura 47: Profilo ante operam 1+830 - 1+ 830 sud

3.3.1.11 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+716 opera8



Figura 48: Inquadramento

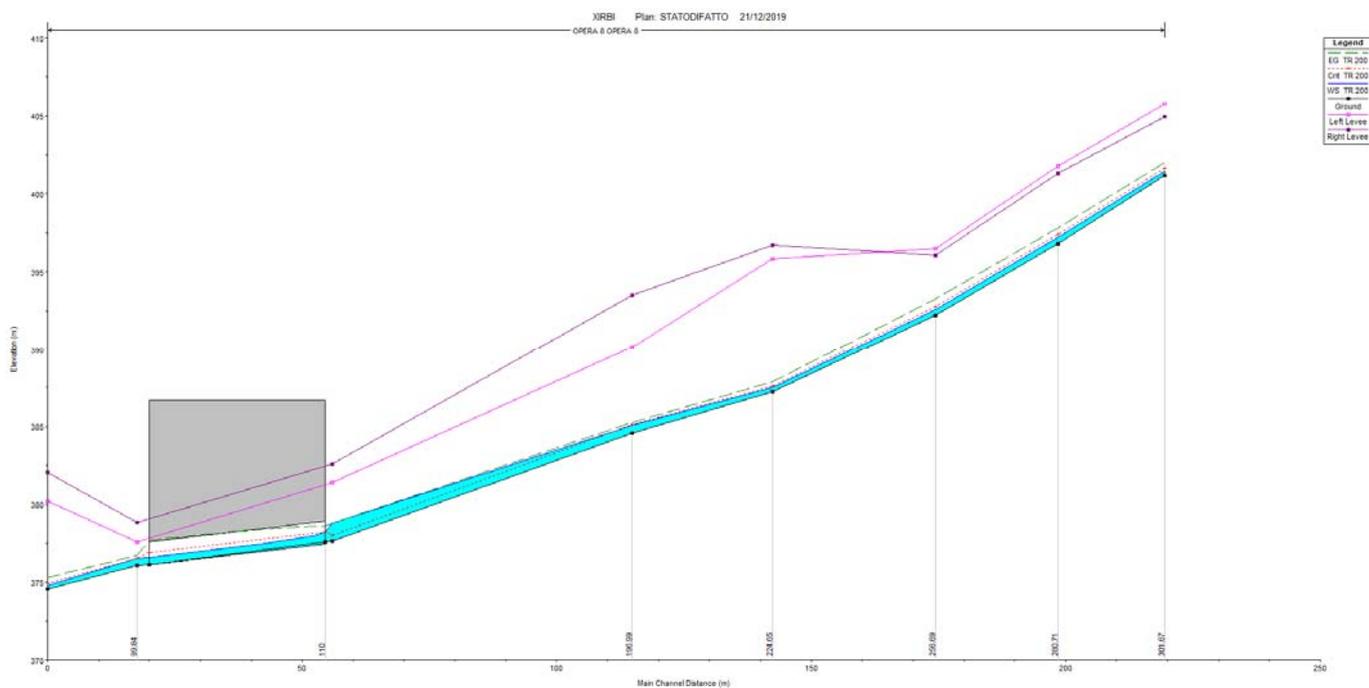


Figura 49: Profilo ante operam OPERA 8

3.3.1.12 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+897 opera9



Figura 50: Inquadramento

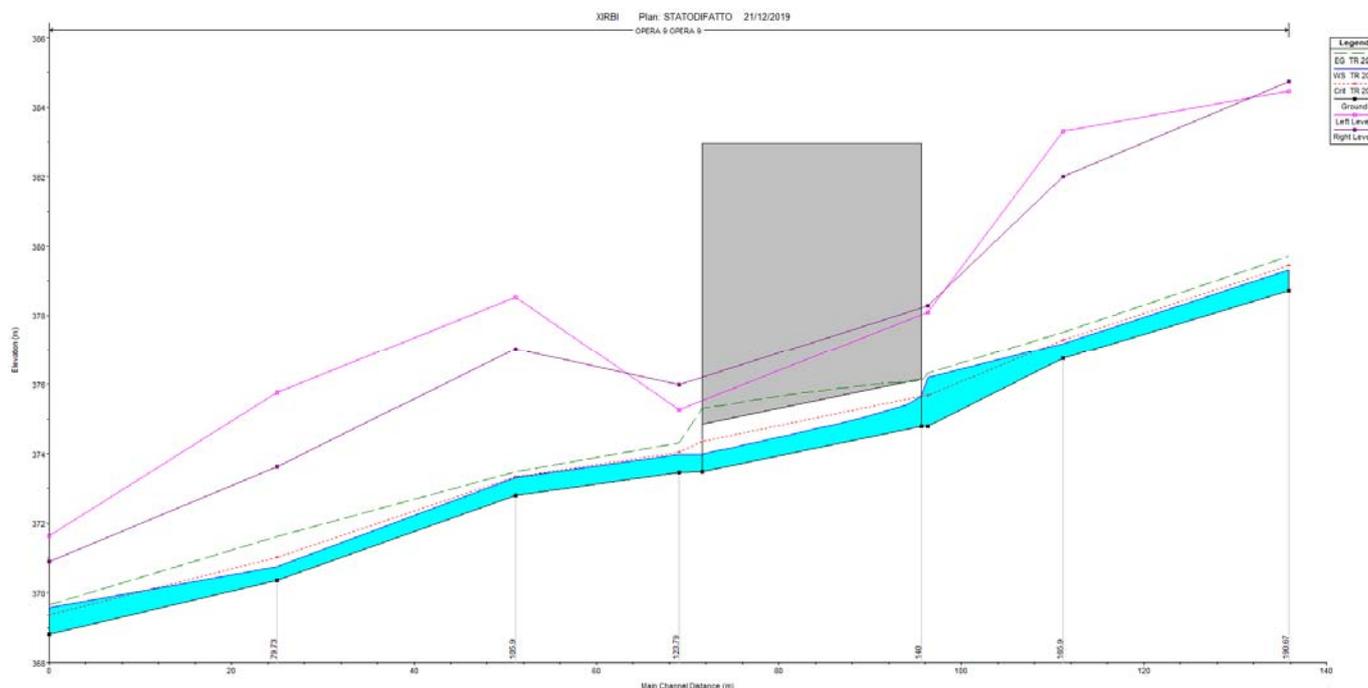


Figura 51: Profilo ante operam OPERA 9

3.3.1.13 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 2+061 opera12



Figura 52: Inquadramento

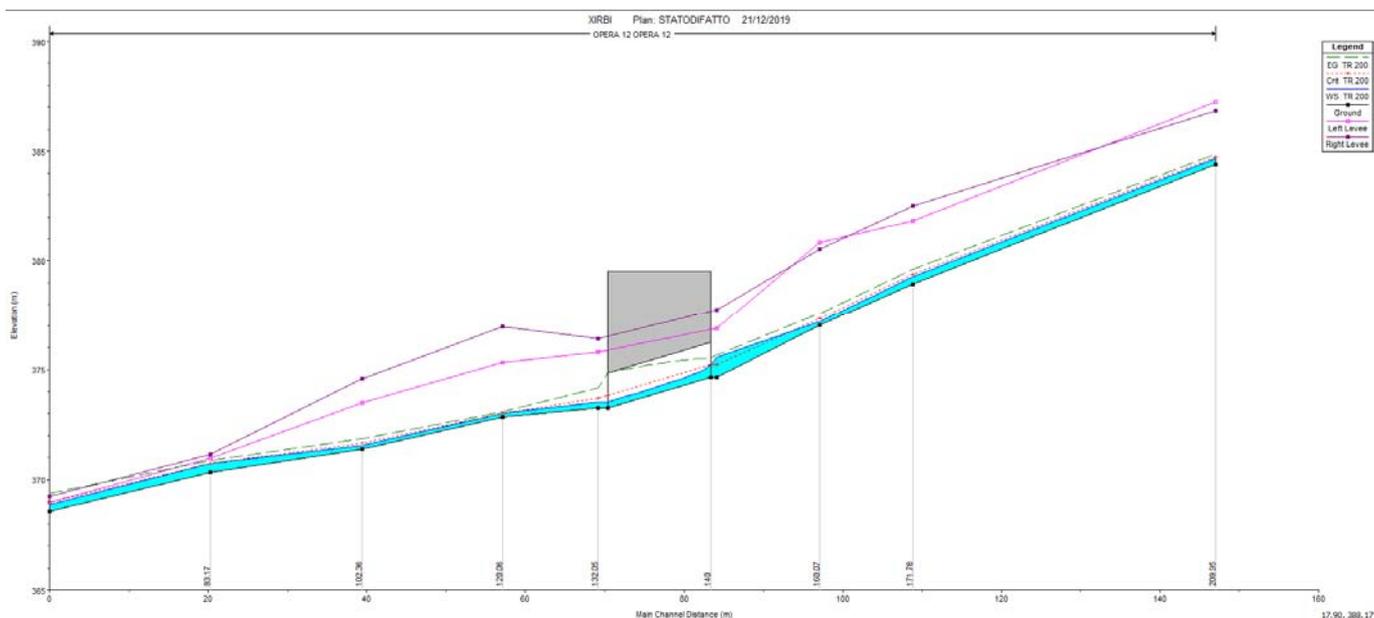


Figura 53: Profilo ante operam OPERA 12

3.3.1.14 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 1+716 opera13



Figura 54: Inquadramento

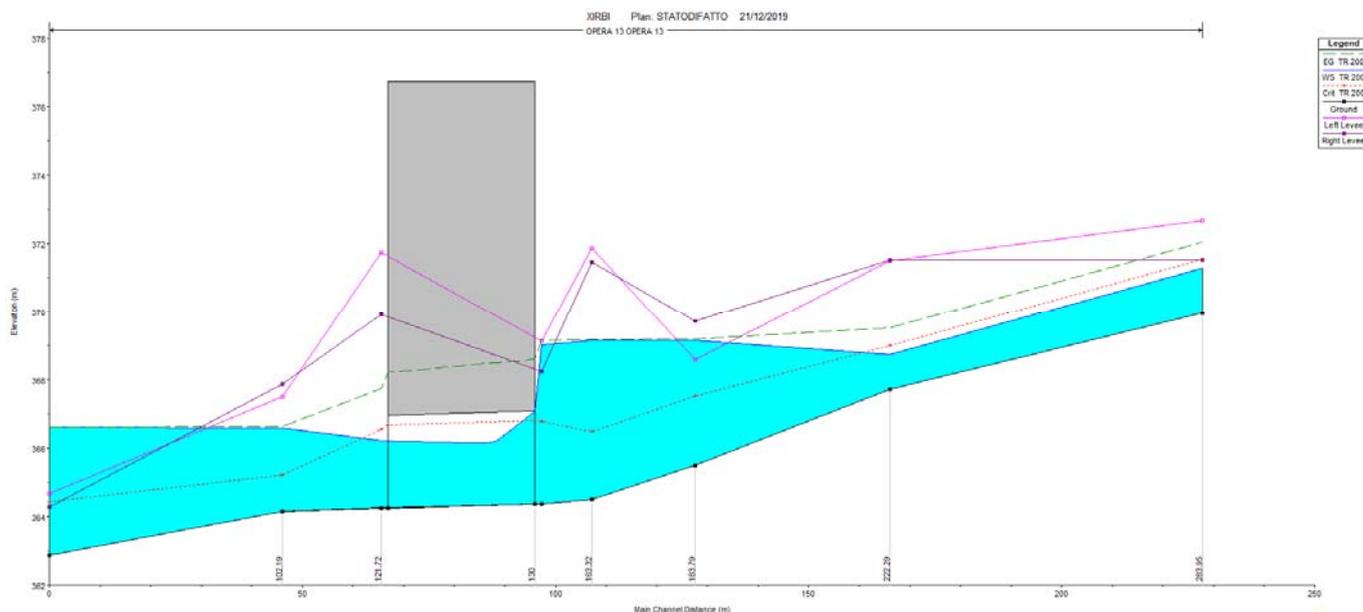


Figura 55: Profilo ante operam OPERA 13

3.3.1.15 Profilo longitudinale ante operam TR 200 anni – 3+670 opera 10

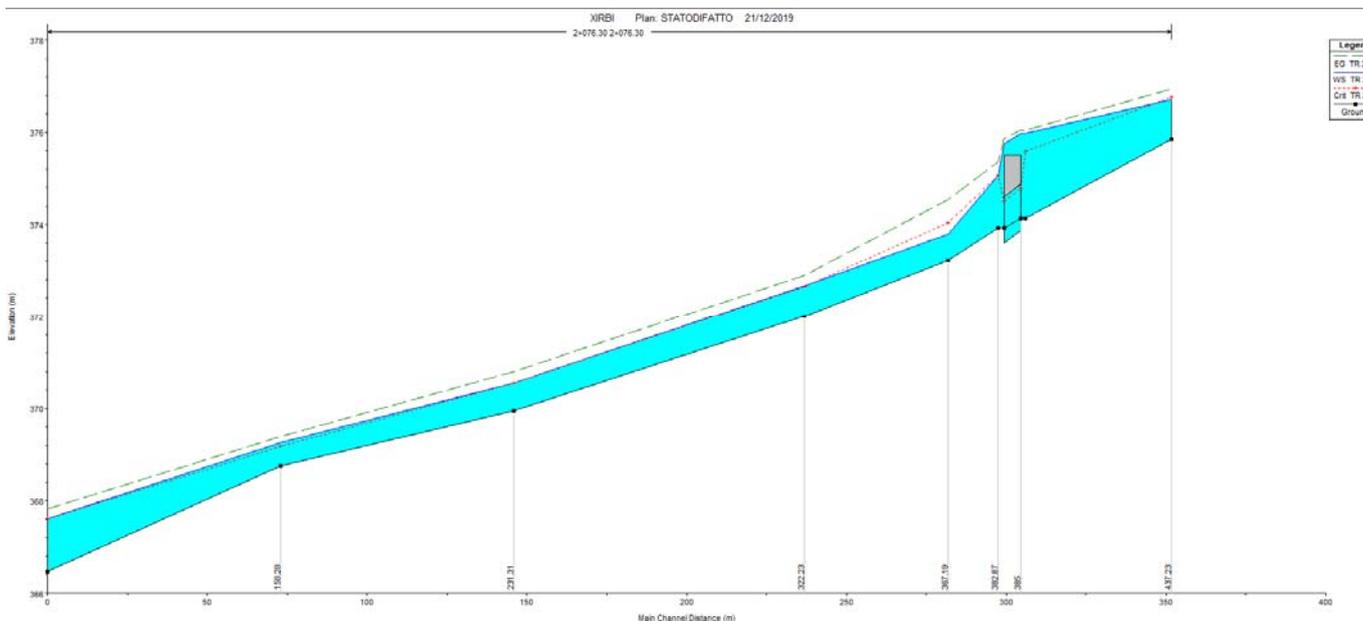


Figura 56: Profilo ante operam 3+670

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 68 di 215

3.3.2 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

Nella configurazione finale di progetto i tombini esistenti sulla linea storica saranno dismessi. Nei seguenti paragrafi sono descritti puntualmente gli interventi progettuali previsti all' interno del modello Hec Ras.

3.3.2.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Tombino IN02- Sistemazione IN31 - Pk 0+638

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 0+638 attraversa la linea storica mediante un tombino ad arco largo 1.3m ed alto 2.15m.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 7.65 m³/s per il ramo ovest e 17.23 m³/s per il ramo ovest.

Nella configurazione di progetto il ramo ovest interferisce con un piazzale. Si prevede pertanto di deviare tale corso d' acqua con un canale rettangolare largo 4m che si sviluppa tra il piazzale e la viabilità NV05E fino all' unione con il ramo est.

Il rilevato di progetto interferisce con l'opera di imbocco dell'opera esistente. È prevista pertanto la sostituzione del tombino esistente con un tombino rettangolare di dimensioni 5X4m. Sarà prevista un'opera unica tra rilevato ferroviario e rilevato stradale.

Il corso d'acqua interferisce con la viabilità interpoderale NV05E (rifacimento dell'interpoderale esistente). Sono stati previsti pertanto dei tombini 2x2, ovvero tombini con dimensioni maggiori degli esistenti con il solo scopo di dare continuità al reticolo idrografico per le portate ordinarie.

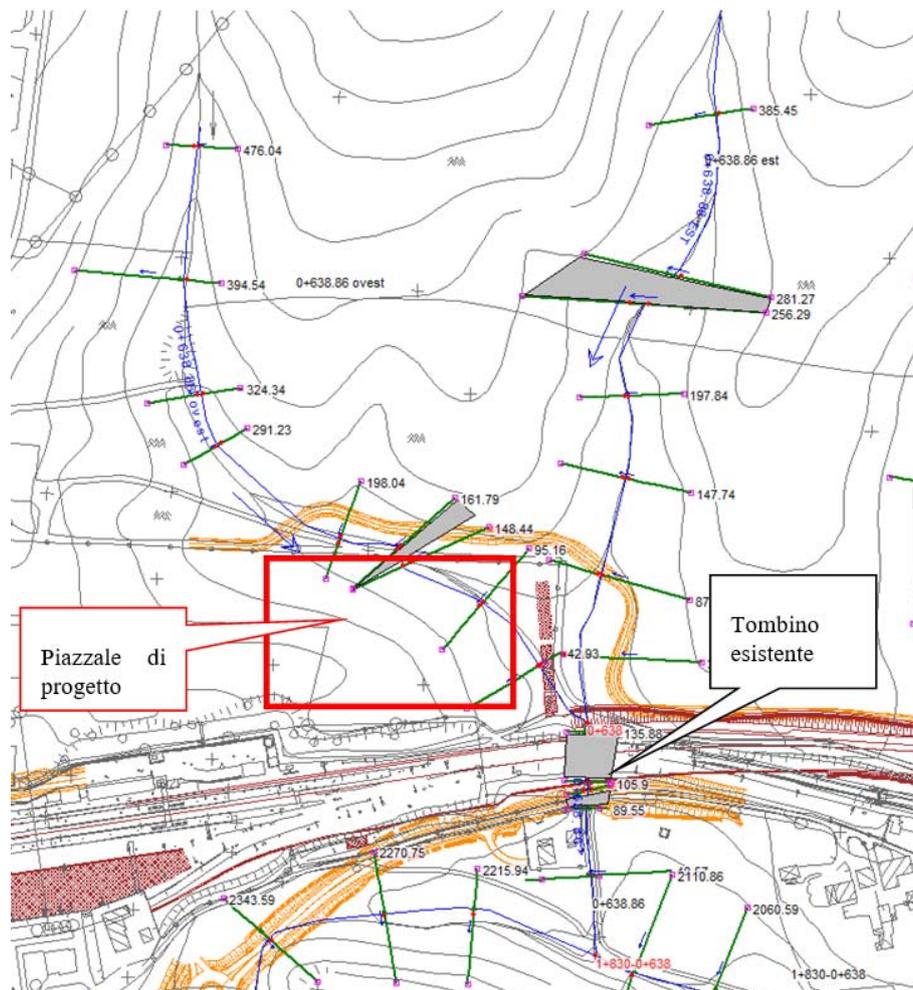


Figura 57: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

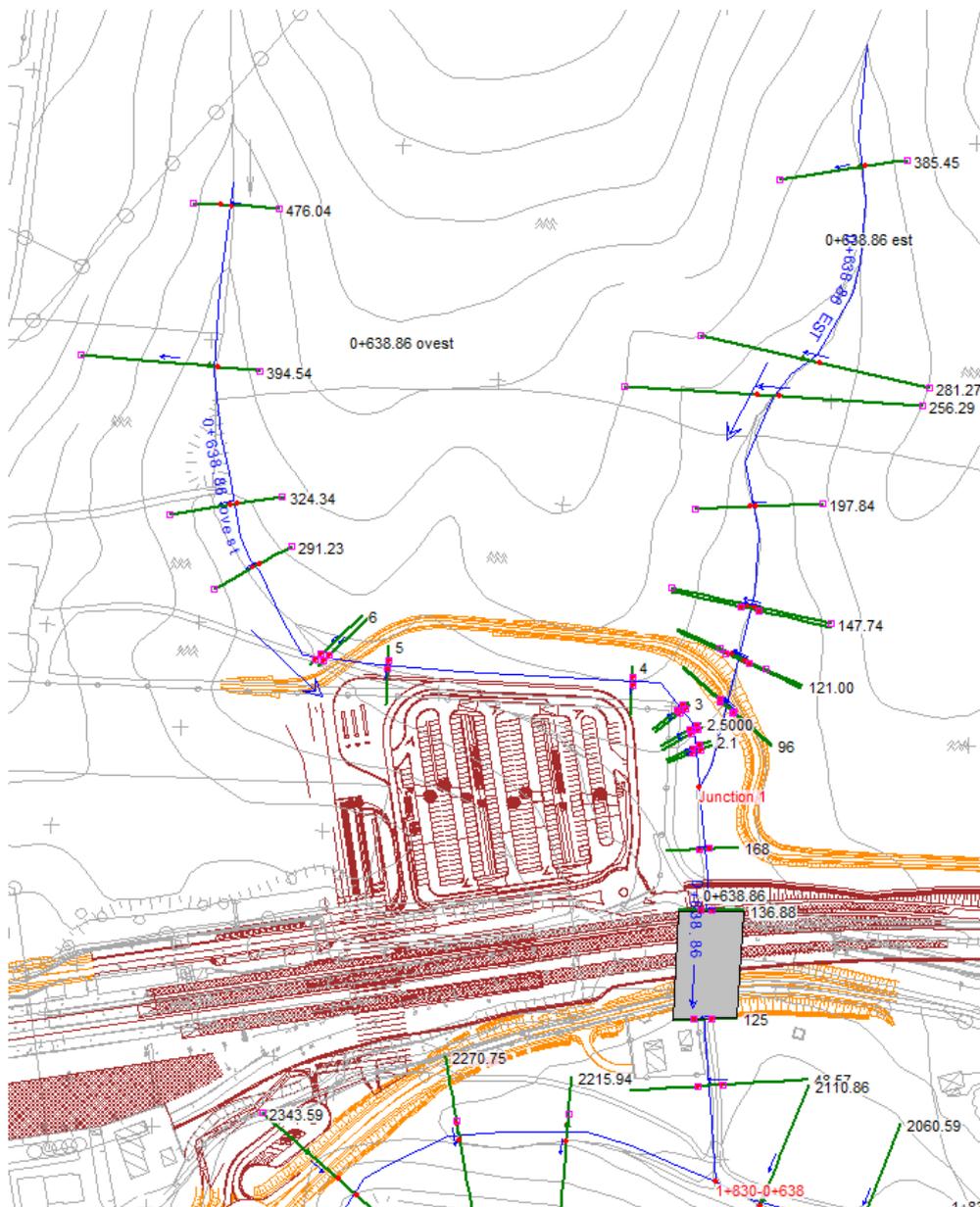


Figura 58: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch EI), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	476.04	PF 1	7.65	424.36	425.37	425.23	425.52	0.004954	1.81	5.18	9.41	0.69
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	394.54	PF 1	7.65	423.77	424.83	424.83	424.98	0.009228	2.11	6.36	18.90	0.86
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	324.34	PF 1	7.65	419.64	420.09	420.63	422.91	0.233030	7.44	1.03	3.12	4.08
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	291.23	PF 1	7.65	415.90	416.89	417.32	418.34	0.078572	5.34	1.43	2.52	2.26
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	6	PF 1	7.65	408.44	408.73	409.16	410.90	0.235208	6.52	1.17	4.00	3.84
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	5.9	PF 1	7.65	406.78	407.00	407.50	410.71	0.552792	8.52	0.90	4.00	5.75
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	5	PF 1	7.65	406.59	407.63	407.31	407.80	0.004999	1.83	4.17	4.00	0.57
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	4	PF 1	7.65	405.98	407.03	406.70	407.20	0.004970	1.83	4.18	4.00	0.57
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	3	PF 1	7.65	405.86	406.58	406.58	406.94	0.014904	2.66	2.87	4.00	1.00
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	2.9	PF 1	7.65	404.16	404.44	404.88	406.74	0.258472	6.71	1.14	4.00	4.02
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	2.5000	PF 1	7.65	404.10	404.62	404.82	405.30	0.038583	3.65	2.10	4.00	1.61
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	2.4	PF 1	7.65	402.60	402.89	403.32	405.14	0.249838	6.64	1.15	4.00	3.95
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	2.1	PF 1	7.65	402.54	403.03	403.26	403.80	0.046188	3.87	1.98	4.00	1.76
0+638.86 ovest	0+638.86 ovest	2	PF 1	7.65	400.50	400.76	401.22	403.58	0.358114	7.44	1.03	4.00	4.69
0+638.86 EST	0+638.86 est	385.45	PF 1	17.23	417.15	417.93	418.00	418.20	0.043355	3.26	8.93	25.79	1.29
0+638.86 EST	0+638.86 est	281.27	PF 1	17.23	412.12	413.21	413.36	413.84	0.039867	3.52	4.90	6.31	1.28
0+638.86 EST	0+638.86 est	256.29	PF 1	17.23	411.05	412.31	412.43	412.81	0.039216	3.15	5.47	8.28	1.24
0+638.86 EST	0+638.86 est	197.84	PF 1	17.23	408.63	409.76	409.91	410.24	0.049404	3.94	6.94	16.91	1.40
0+638.86 EST	0+638.86 est	147.74	PF 1	17.23	406.81	407.94	408.06	408.31	0.030050	3.32	8.75	24.36	1.13
0+638.86 EST	0+638.86 est	146	PF 1	17.23	405.30	406.14	406.70	408.15	0.079411	6.27	2.75	4.53	2.57
0+638.86 EST	0+638.86 est	121.00	PF 1	17.23	405.15	406.48	406.56	407.02	0.012999	3.23	5.33	6.00	1.09
0+638.86 EST	0+638.86 est	120	PF 1	17.23	403.45	404.22	404.85	406.81	0.113293	7.13	2.42	4.30	3.04
0+638.86 EST	0+638.86 est	96	PF 1	17.23	403.30	404.50	404.69	405.22	0.019576	3.76	4.59	5.61	1.33
0+638.86 EST	0+638.86 est	95	PF 1	17.23	402.00	402.81	403.40	405.07	0.093837	6.66	2.59	4.42	2.78
0+638.86	0+638.86	168	PF 1	24.89	400.38	401.11	401.74	403.49	0.022658	6.85	3.64	5.00	2.56
0+638.86	0+638.86	136.88	PF 1	24.89	399.74	400.48	401.10	402.78	0.021419	6.72	3.70	5.00	2.49
0+638.86	0+638.86	135		Culvert									
0+638.86	0+638.86	125	PF 1	24.89	399.45	400.52	400.68	401.23	0.016697	3.73	6.67	7.48	1.26
0+638.86	0+638.86	48.57	PF 1	24.89	398.49	400.36	399.69	400.51	0.001954	1.70	14.61	10.61	0.46

Figura 59: Risultati simulazione post operam

Nelle figure seguenti sono riportati i profili di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

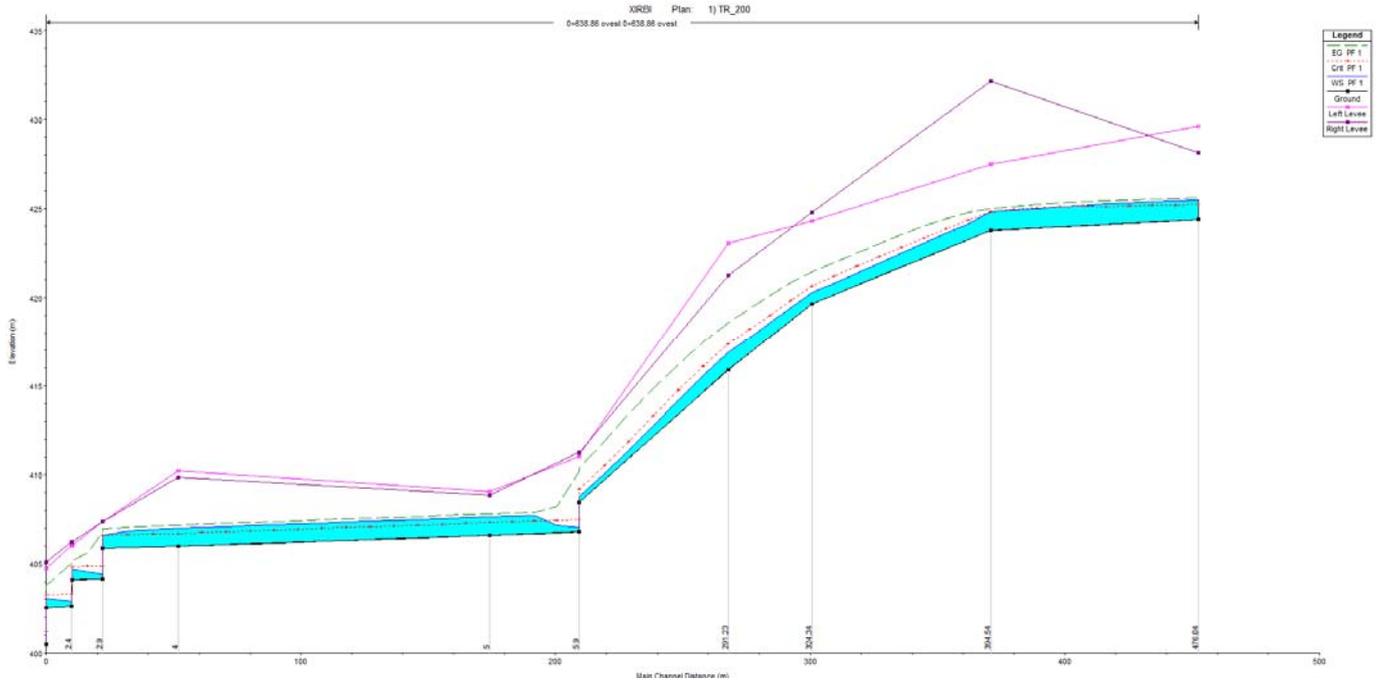


Figura 60: Profilo 0+639 ovest

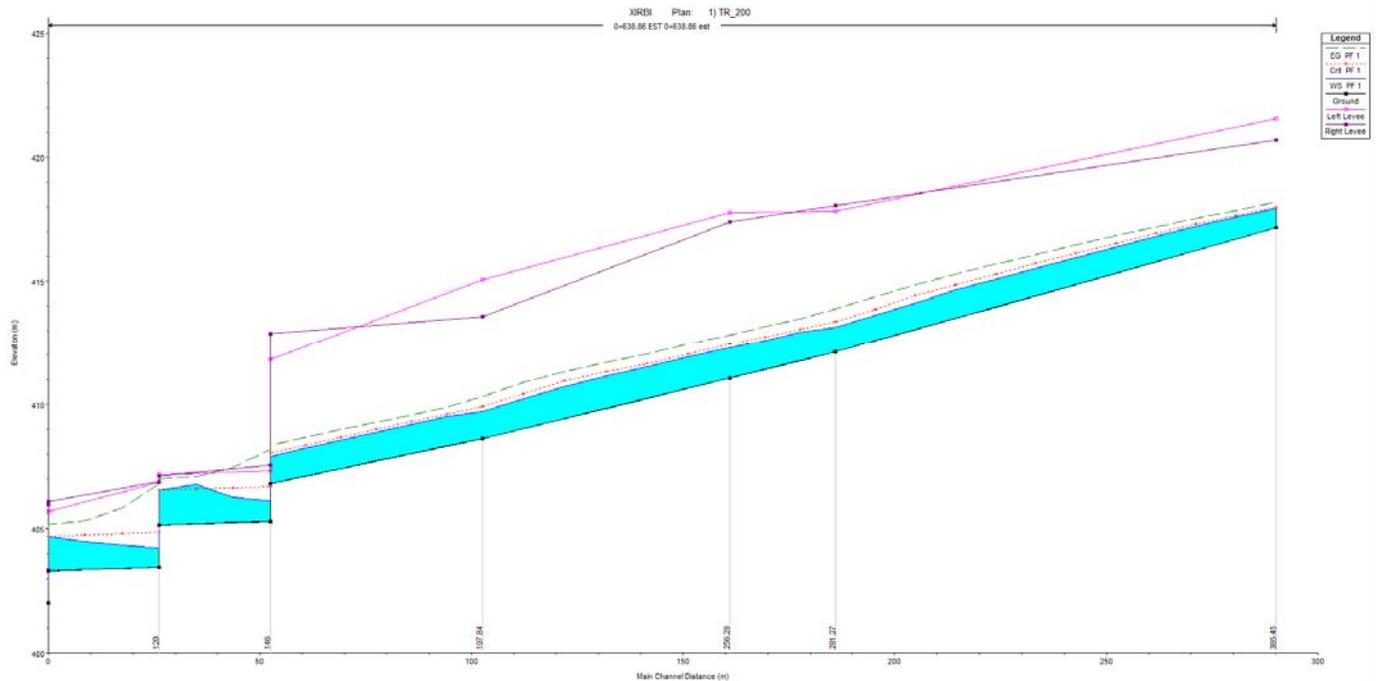


Figura 61: Profilo 0+639 est

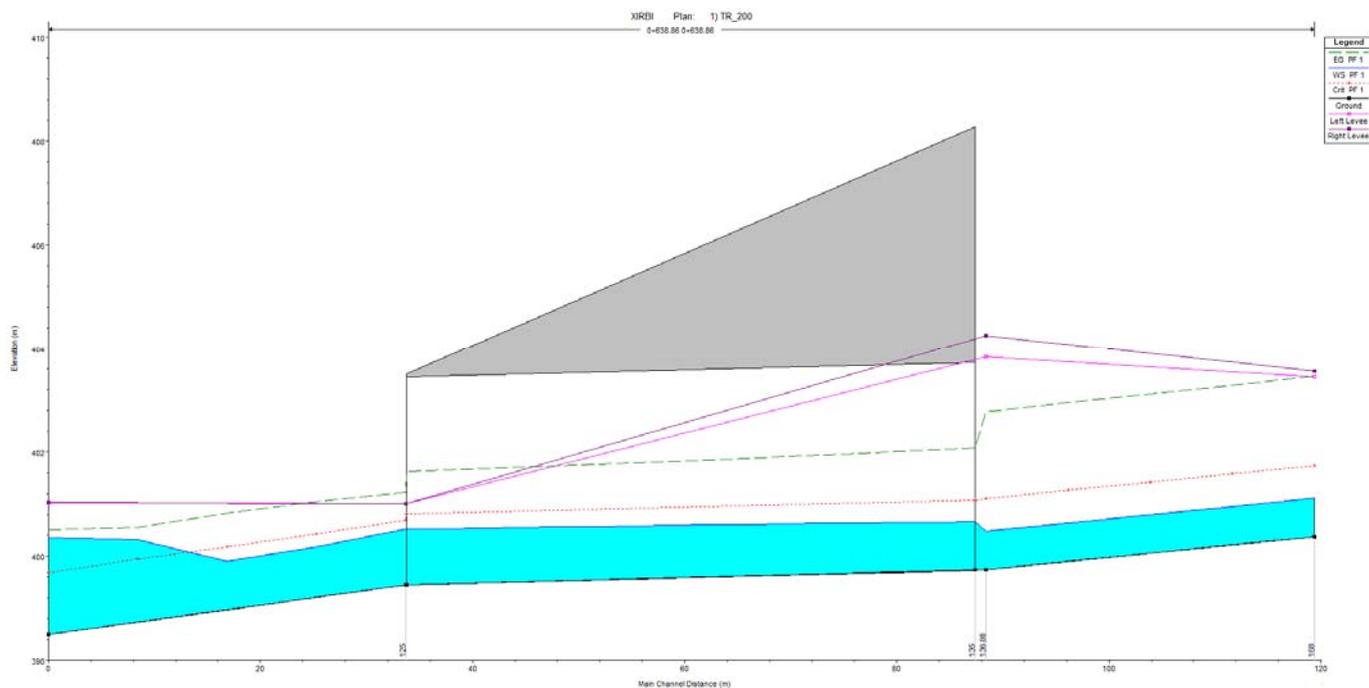


Figura 62: Profilo 0+639

Il tirante massimo che si instaura nell'opera è pari a 2.20m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 53%.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si riportano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

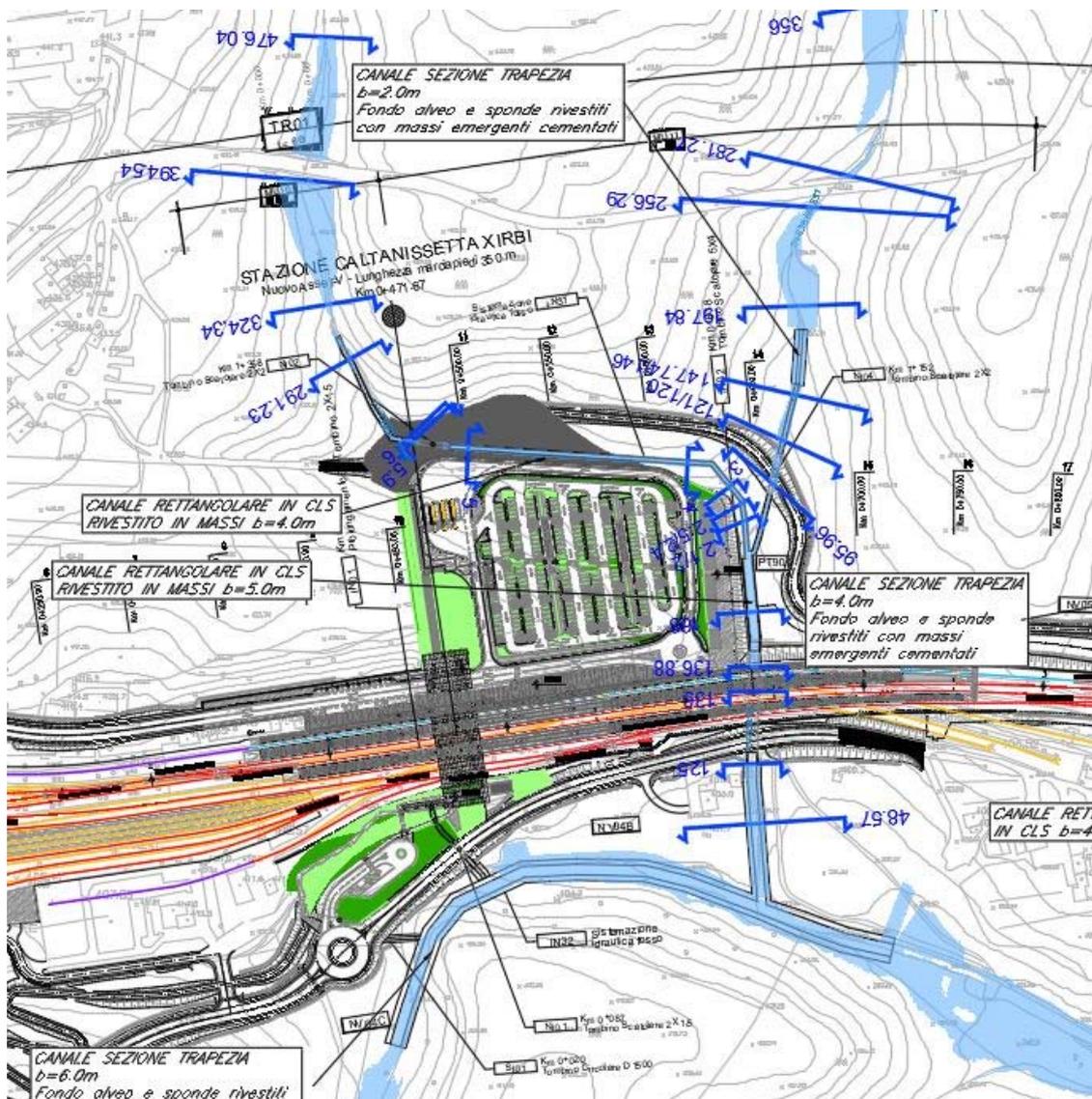


Figura 63: Planimetria di progetto

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 75 di 215

Sistemazione e protezioni dell'alveo

Il piazzale di progetto interferisce con il corso d' acqua alla pk 0+638 ovest. Si prevede una deviazione del corso d' acqua mediante un canale rettangolare in cls rivestito in massi a monte del piazzale fino alla connessione con il corso d' acqua alla pk 0+638 est.

In quest'ultimo corso d' acqua si prevede la regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 2 m e pendenza delle sponde 3:2.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 30 cm dalla sezione 146 fino al collegamento con il ramo 0+638 est.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
0+638 est sez 96	0.7	138.8	3.8	0.82

Tabella 8: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 2.4, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, fondo}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, sponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.7 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (ϕ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 76 di 215

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{spende}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$, $\tau_{cr(\beta)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spende}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{spende}}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.2	194.3	166.6	409.5	271	2.1	1.6

Tabella 9: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

Dall'unione dei due rami fino al tombino ferroviario si prevede la realizzazione di un canale in cls largo 5m fino all'imbocco del tombino ferroviario di progetto. Dall'uscita del tombino fino al collegamento con il ramo 1+830 si prevede la regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 5m e pendenza delle sponde 3:2.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm dalla sezione 146 fino al collegamento con il ramo 0+638 est.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
0+638 sez 125	0.95	92.3	3.2	1.0

Tabella 10: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 77 di 215

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 5.0, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.35 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spende}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{spende}}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1.0	119.99	92.3	553.2	366	4.6	3.97

Tabella 11: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.2 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN32 – Pk 0+511

Allo stato attuale il corso d'acqua non interferisce con le opere esistenti. In seguito alla futura realizzazione della viabilità NV04B si prevede la deviazione del corso d'acqua in prossimità della pk 0+511 fino al collegamento con il corso d'acqua alla pk 0+638.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale, è pari a $9.7 \text{ m}^3/\text{s}$.
Si prevede la deviazione del corso d'acqua con una sezione base trapezia di base pari a 6m e sponde con pendenza 3:2. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm dalla sezione 2428.5 alla sezione 2110.86 del ramo 1+830-0+638.

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

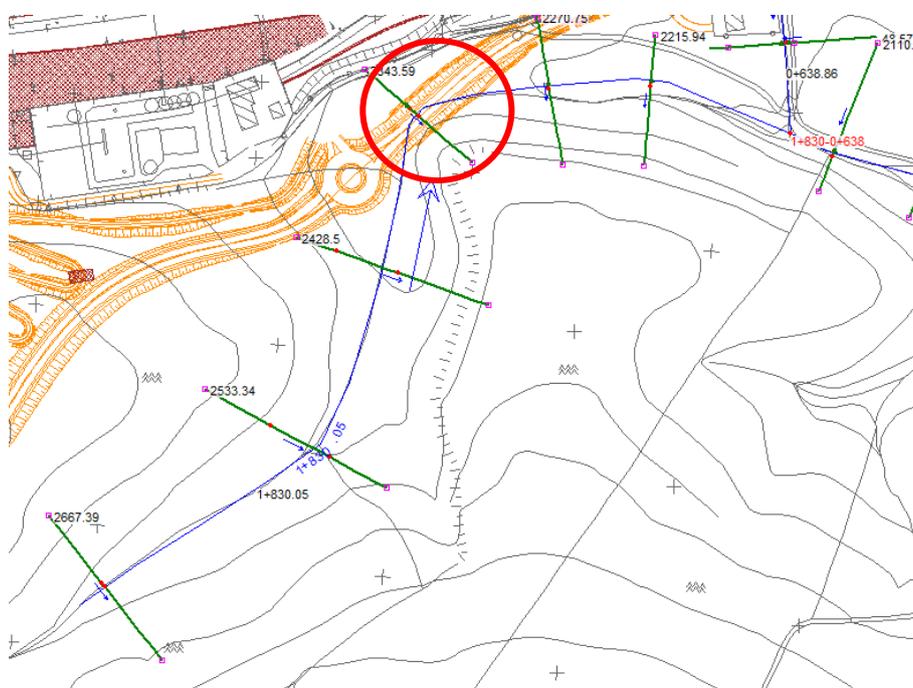


Figura 64: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

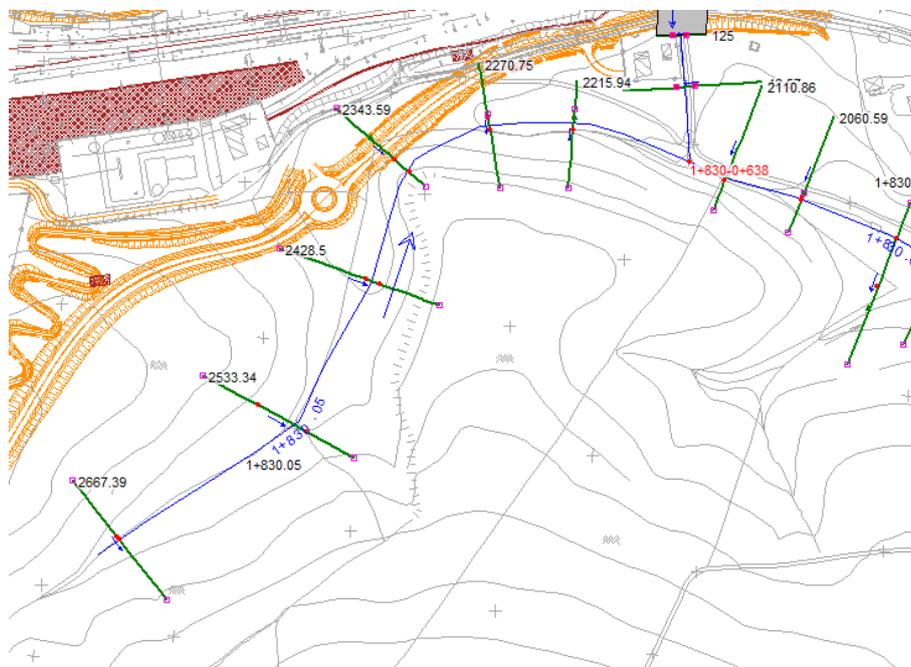


Figura 65: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev. (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev. (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1+830.05	2667.39	PF 1	9.70	408.78	410.19	410.20	410.36	0.022600	2.33	6.66	19.59	0.82
1+830.05	2533.34	PF 1	9.70	405.88	406.24	406.24	406.37	0.030801	1.61	6.10	23.84	1.00
1+830.05	2428.5	PF 1	9.70	402.50	403.01	403.11	403.41	0.029057	2.82	3.44	7.53	1.33
1+830.05	2343.59	PF 1	9.70	400.80	401.37	401.41	401.69	0.020204	2.50	3.88	7.70	1.12
1+830.05	2270.75	PF 1	9.70	399.35	400.34	399.95	400.43	0.002648	1.30	7.58	10.55	0.44
1+830.05	2215.94	PF 1	9.70	398.11	400.36	398.72	400.37	0.000119	0.50	23.81	17.01	0.11

Figura 66: Risultati – SDP

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini. Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

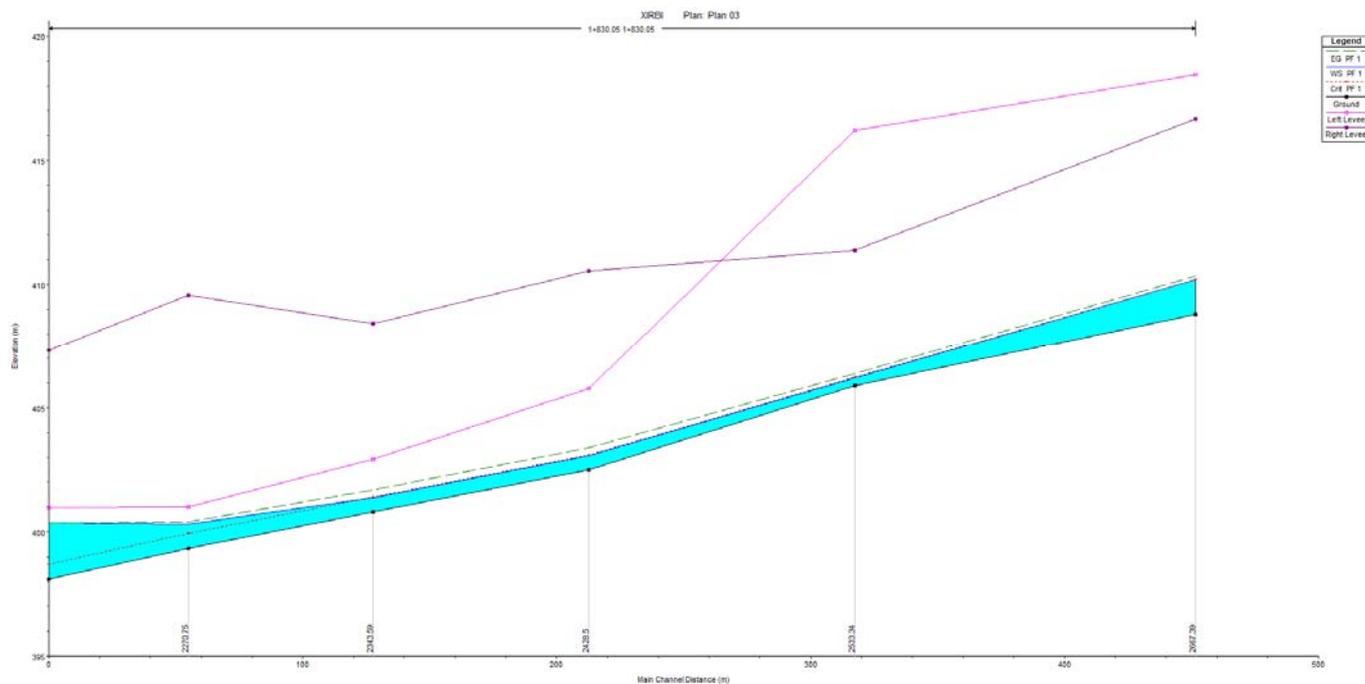


Figura 67: profilo idrico – SDP

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si riportano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

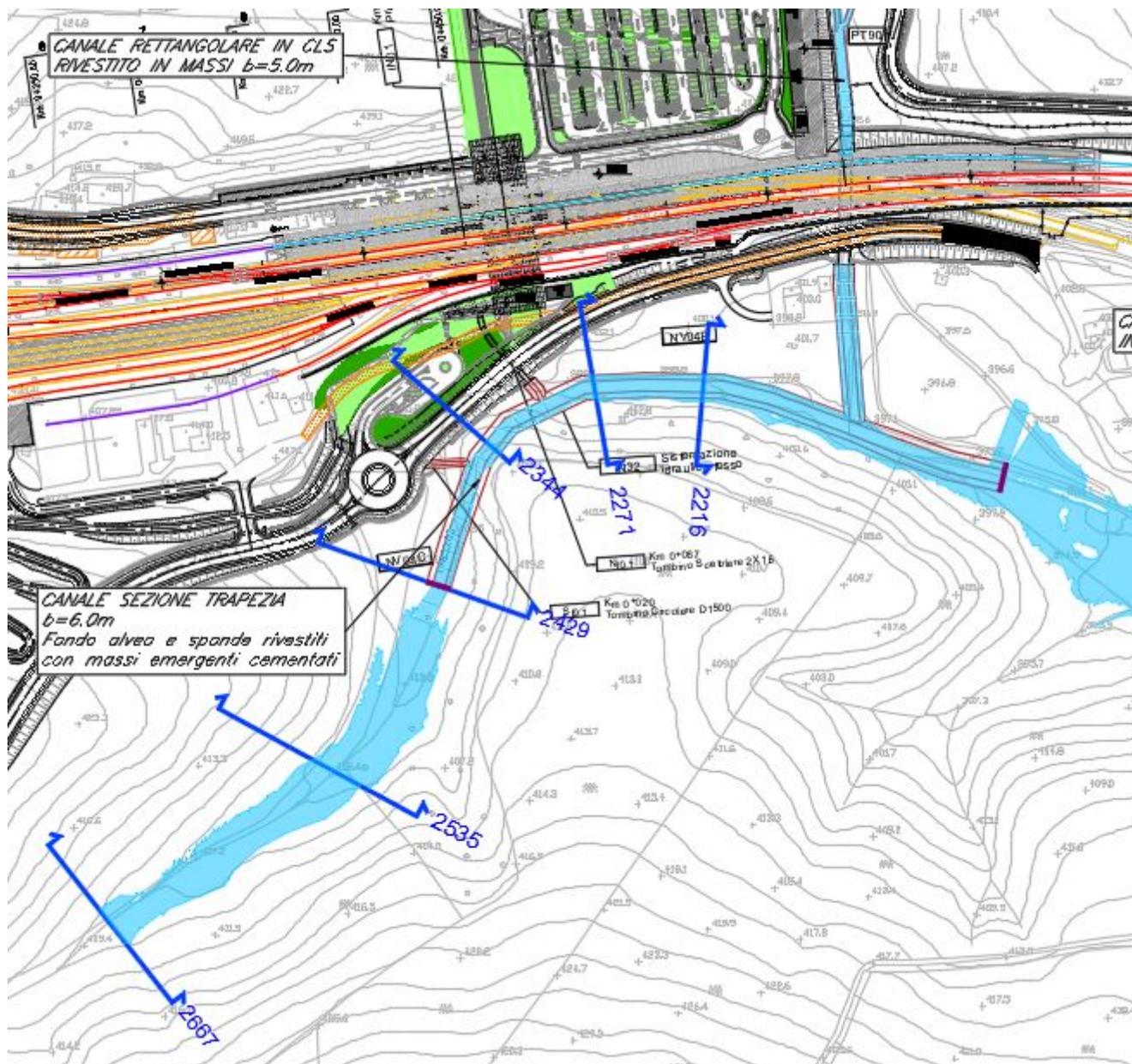


Figura 68: Planimetria di progetto

Le tabelle seguenti riportano i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 82 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 2428.25	0.44	125.26	2.8	0.46

Tabella 12: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 13, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.1 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

Le tabelle seguenti riportano i risultati della verifica di stabilità eseguita per i due tratti del corso d'acqua, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
125.06	631	418	5	3

Tabella 13: Verifica della stabilità delle protezioni tratto a monte attraversamenti

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 83 di 215

3.3.2.3 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Tombino IN03 Pk 0+905 – Sistemazione IN33

Allo stato attuale, il corso d'acqua denominato con la pk 1+057, attraversa la viabilità esistente mediante un tombino ad arco largo 1.13 e alto 1.42 e la linea ferroviaria esistente con un tombino ad arco largo 1.60 e alto 1.38m.

La linea ferroviaria di progetto interferisce con il corso d'acqua. La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 6.46 m³/s. La soluzione progettuale prevede di realizzare un nuovo attraversamento di progetto alla pk 0+900 mediante un tombino di dimensioni 4x2m.

Subito a valle dell'attraversamento ferroviario è previsto un canale in cls largo 4m tra la linea di progetto e la linea storica fino al recapito nel tombino esistente che verrà demolito nella fase finale. La verifica è stata eseguita per la configurazione finale nella quale si prevede la demolizione del tombino esistente.

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente

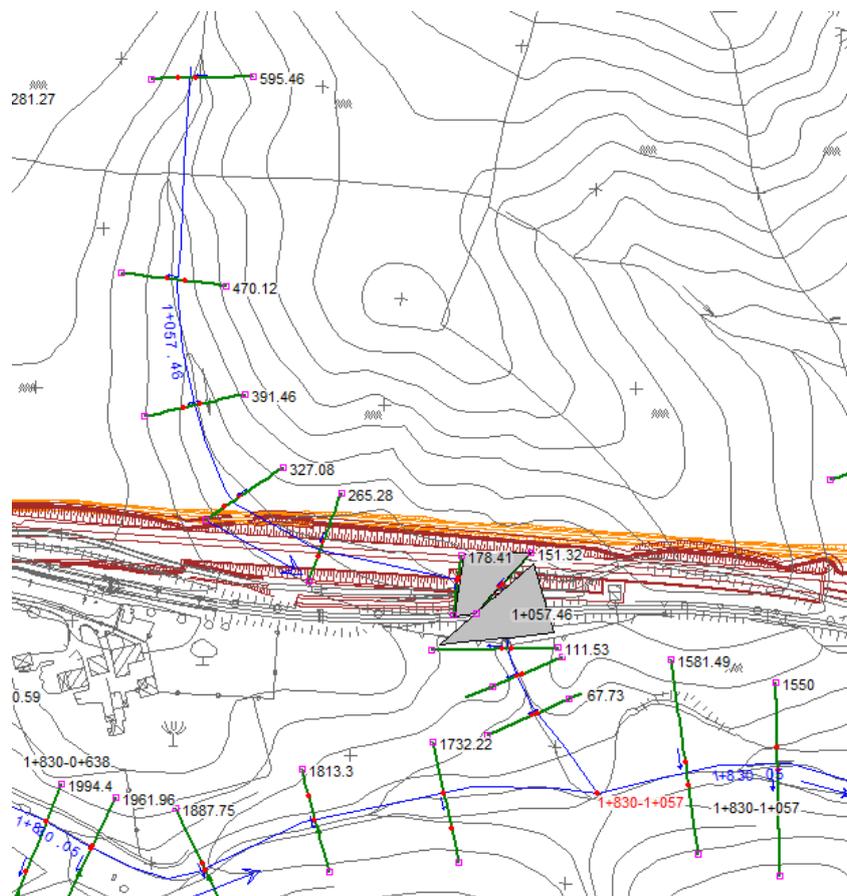


Figura 69: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

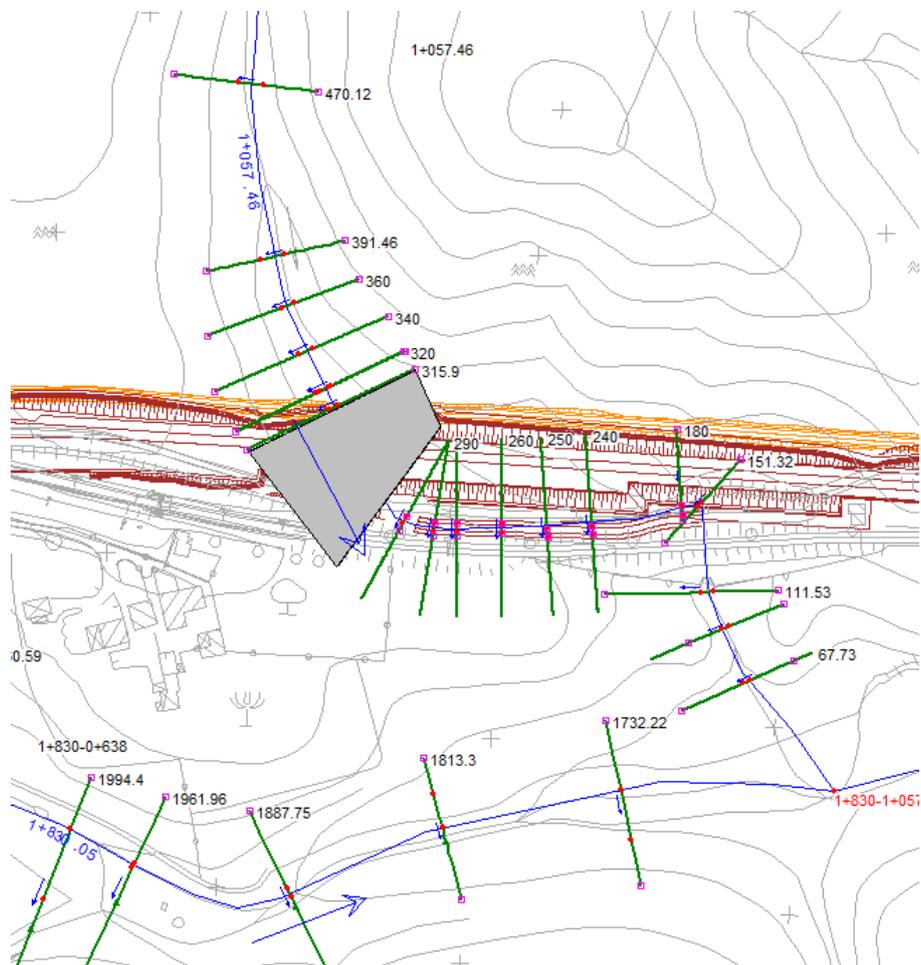


Figura 70: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1+057.46	595.46	6.46	418.72	419.09	419.15	419.32	0.054949	2.21	3.20	12.98	1.34
1+057.46	470.12	6.46	411.84	412.22	412.28	412.45	0.054725	2.14	3.12	13.06	1.33
1+057.46	391.46	6.46	406.47	406.88	406.98	407.19	0.082936	2.48	2.64	11.79	1.61
1+057.46	360	6.46	404.94	405.39	405.54	405.87	0.041693	3.04	2.12	5.36	1.54
1+057.46	340	6.46	403.71	404.11	404.31	404.73	0.062062	3.47	1.86	5.21	1.86
1+057.46	320	6.46	402.68	403.10	403.28	403.65	0.052230	3.28	1.97	5.27	1.71
1+057.46	319.9	6.46	400.18	401.76	400.82	401.82	0.000277	1.02	6.33	4.00	0.26
1+057.46	315.9	6.46	400.17	401.76	400.81	401.81	0.000272	1.01	6.37	4.00	0.26
1+057.46	300	Culvert									
1+057.46	290	6.46	400.46	401.17	401.10	401.43	0.002745	2.27	2.84	4.00	0.86
1+057.46	280	6.46	400.42	401.06	401.06	401.38	0.003724	2.52	2.57	4.00	1.00
1+057.46	270	6.46	399.76	400.40	400.40	400.72	0.003686	2.51	2.58	4.00	1.00
1+057.46	260	6.46	398.44	398.72	399.08	400.41	0.048228	5.75	1.12	4.00	3.47
1+057.46	250	6.46	397.17	397.81	397.81	398.13	0.003775	2.53	2.56	4.00	1.01
1+057.46	240	6.46	395.81	396.09	396.45	397.81	0.049834	5.81	1.11	4.00	3.52
1+057.46	180	6.46	393.13	393.38	393.77	395.44	0.066272	6.36	1.02	4.00	4.03
1+057.46	179.9	6.46	389.33	389.48	389.98	395.08	0.329613	10.47	0.62	4.00	8.52
1+057.46	151.32	6.46	389.33	389.53	389.97	392.81	0.139179	8.02	0.81	4.00	5.70
1+057.46	111.53	6.46	388.46	388.79	389.10	390.01	0.029065	4.90	1.32	4.00	2.72
1+057.46	93.8	6.46	387.50	389.16	388.09	389.18	0.000399	0.60	10.77	8.98	0.17
1+057.46	67.73	6.46	387.10	389.17	387.73	389.17	0.000020	0.20	60.97	46.55	0.04

Figura 71: Risultati SDP

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

Il tombino risulta quindi verificato con un grado di riempimento pari al 54%.

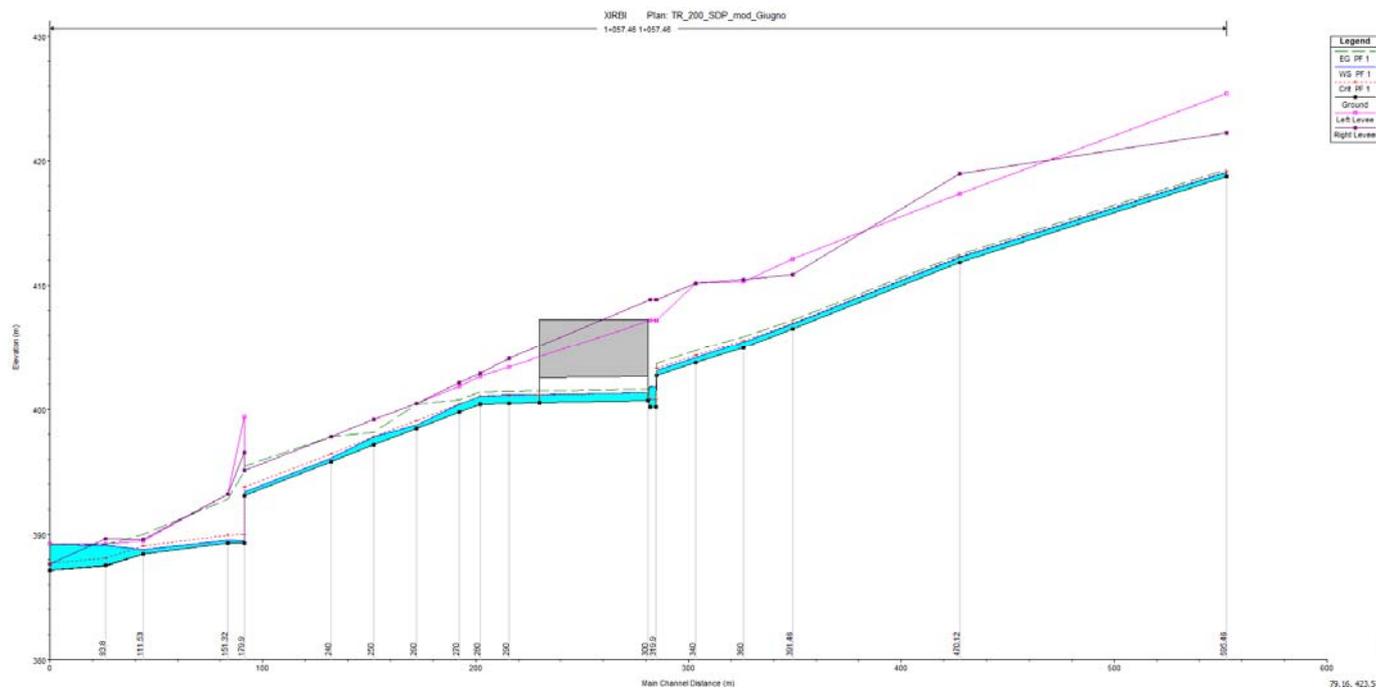


Figura 72: Planimetria Hec ras – profilo idrico SDP

A monte del tombino, è prevista la regolarizzazione del corso d'acqua mediante un canale trapezoidale di larghezza pari a 4 m e sponde 3:2. La medesima protezione viene prevista a valle del canale in cls fino al recapito nel corso d' acqua principale.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm, dalla sezione 360 fino all' imbocco del tombino.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

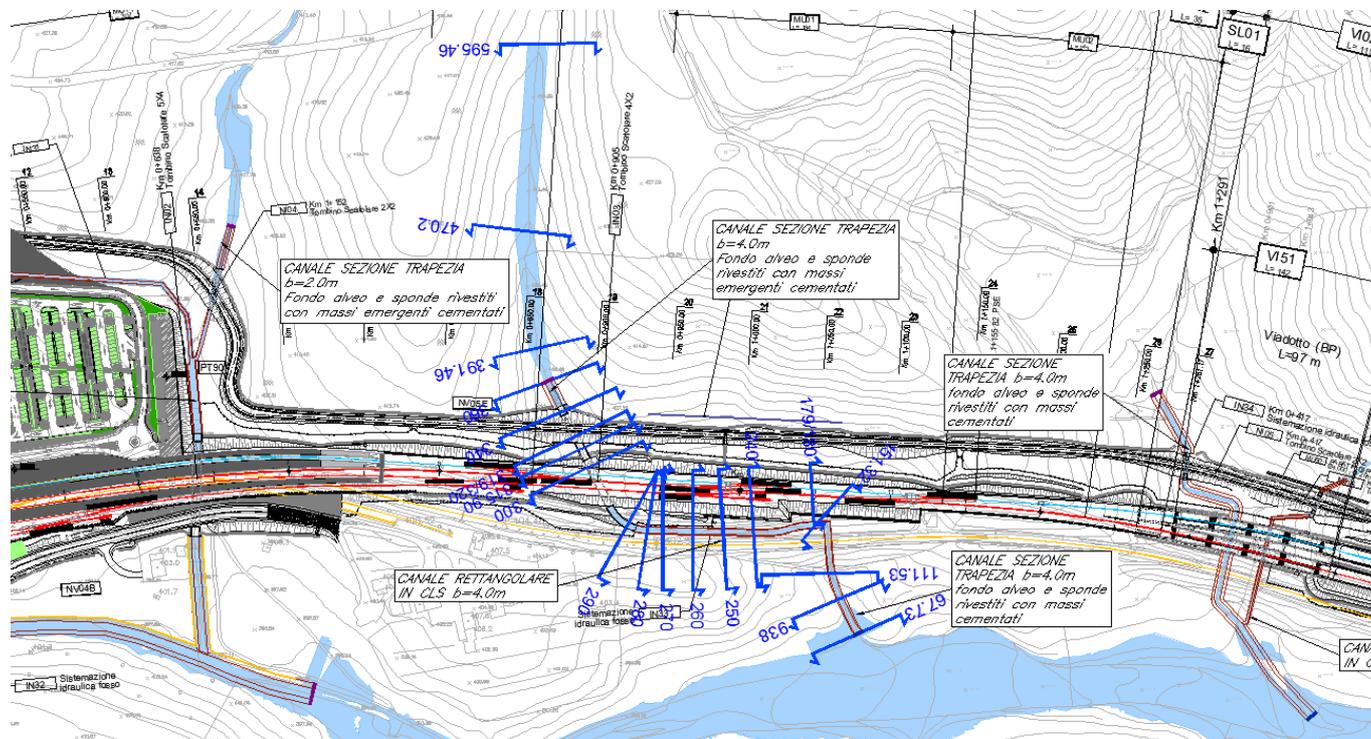


Figura 73: Planimetria progetto

Le tabelle seguenti riportano i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 320	0.34	190.6	3.3	0.37

Tabella 14: Dati verifica stabilità protezioni

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 11, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.9 evidenzia una bassa sommersenza della

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 88 di 215

protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

Le tabelle seguenti riportano i risultati della verifica di stabilità eseguita per i due tratti del corso d'acqua, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
190.6	659	436	3.5	2.3

Tabella 15: Verifica della stabilità delle protezioni tratto a monte attraversamenti

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.4 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN34 - Pk 1+345

Allo stato attuale il corso d'acqua denominato con la pk 1+345, riferito alla sistemazione IN34, attraversa la linea ferroviaria esistente con un tombino ad arco 0.92×1.3 prima del recapito nel corso d'acqua principale.

Nella configurazione di progetto il viadotto interferisce con il corso d'acqua e con l'imbocco del tombino esistente.

La verifica è stata eseguita nella configurazione finale di progetto dove si prevede la deviazione dei corsi d'acqua in prossimità della pila. La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $8.96 \text{ m}^3/\text{s}$, di cui $7.74 \text{ m}^3/\text{s}$ sono attribuiti al corso d'acqua denominato pk 1+345, mentre i restanti $1.22 \text{ m}^3/\text{s}$ sono attribuiti al corso d'acqua rinominato NI06.

Il corso d'acqua interferisce inoltre con la viabilità interpodereale NV05E (rifacimento dell'interpodereale esistente). Sono stati previsti pertanto dei tombini di dimensioni 2x2m, ovvero tombini con dimensioni maggiori degli esistenti con il solo scopo di dare continuità al reticolo idrografico per le portate ordinarie.

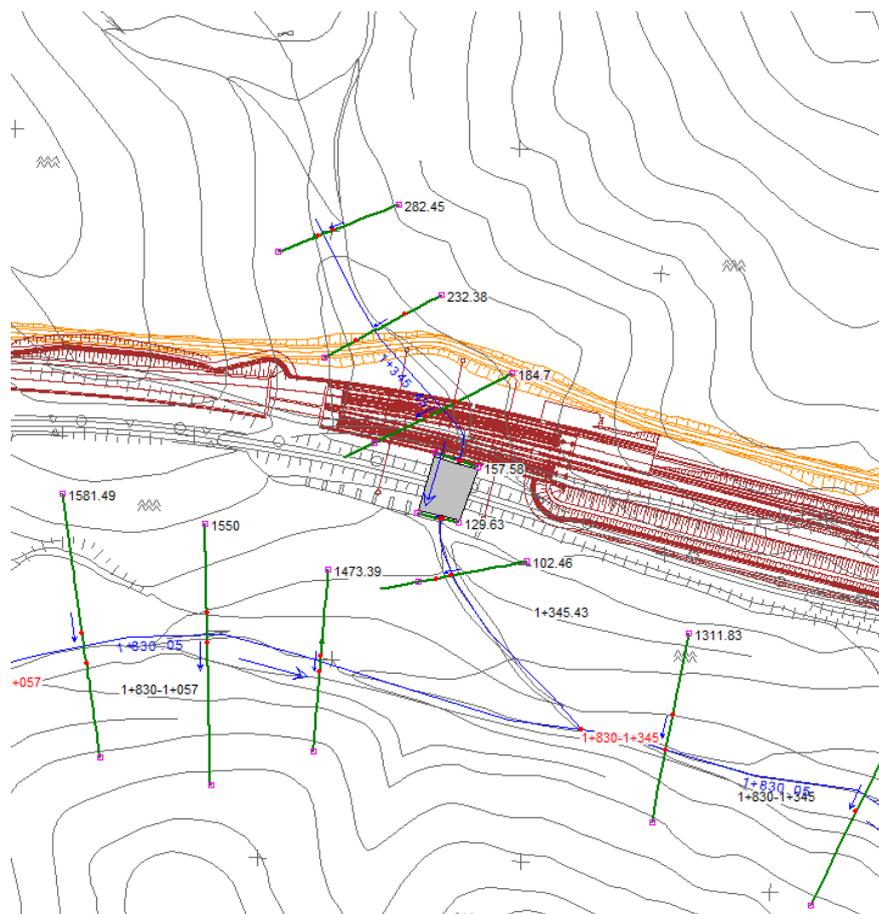


Figura 74: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente

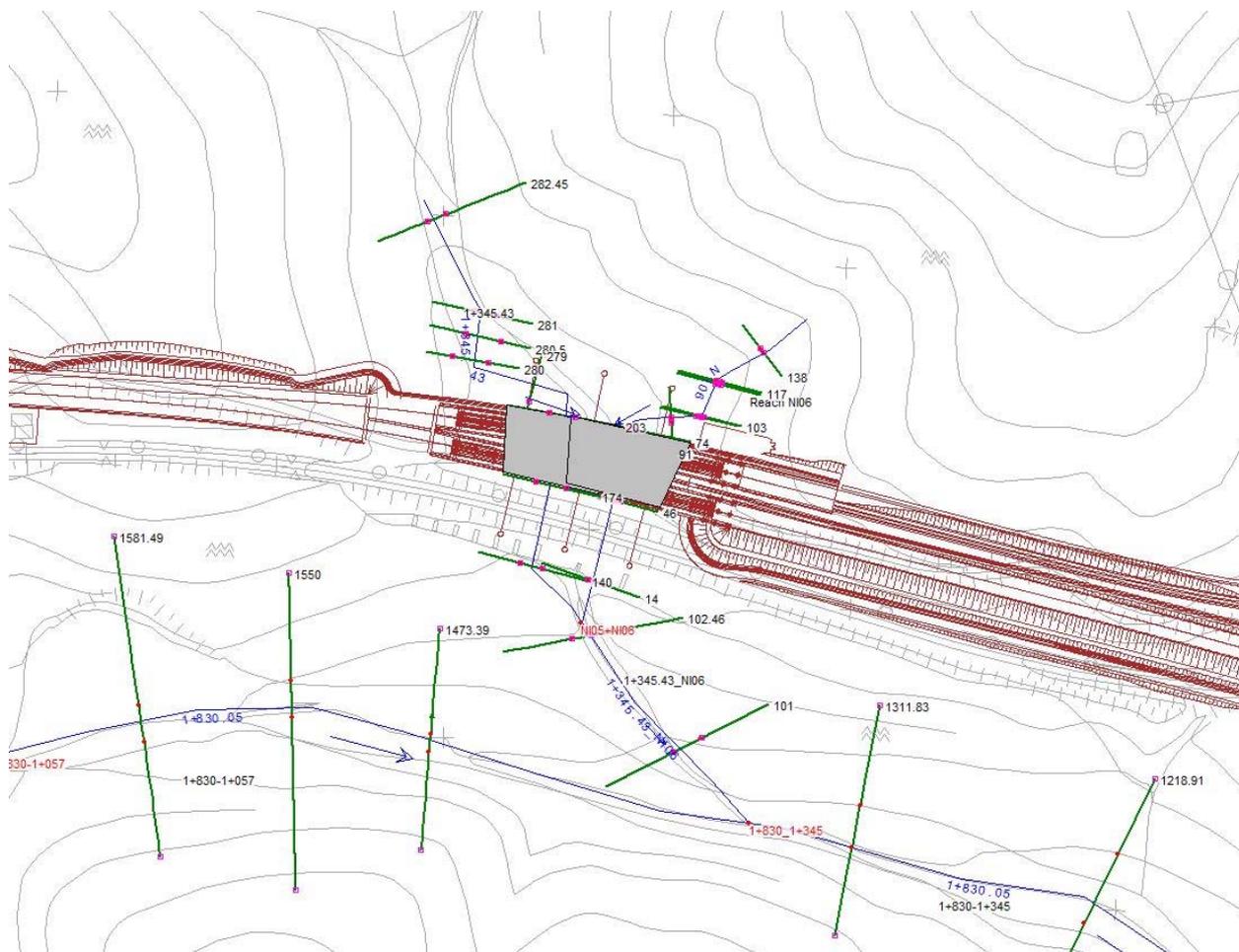


Figura 75: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1+345.43	282.45	PF 1	7.74	391.45	391.94	392.03	392.30	0.048758	2.64	2.93	7.08	1.31
1+345.43	281	PF 1	7.74	388.50	388.91	389.17	389.77	0.086081	4.11	1.88	5.22	2.19
1+345.43	280.5	PF 1	7.74	386.58	386.82	387.24	389.58	0.511847	7.36	1.05	4.72	4.98
1+345.43	280	PF 1	7.74	386.41	386.96	387.08	387.40	0.031996	2.95	2.62	5.63	1.38
1+345.43	279	PF 1	7.74	386.18	386.96	386.85	387.15	0.008970	1.91	4.05	6.35	0.76
1+345.43	203	PF 1	7.74	385.99	386.77	386.65	386.96	0.008959	1.91	4.05	6.35	0.76
1+345.43	202	Bridge										
1+345.43	174	PF 1	7.74	385.75	386.41	386.41	386.69	0.015935	2.33	3.32	5.99	1.00
1+345.43	140	PF 1	7.74	384.23	385.40	384.90	385.47	0.002130	1.15	6.71	7.50	0.39

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach NI06	138	PF 1	1.22	395.50	395.74	395.91	396.31	0.130088	3.33	0.37	1.50	2.16
Reach NI06	117	PF 1	1.22	392.05	393.09	393.26	393.66	0.120668	3.32	0.37	1.50	2.14
Reach NI06	116	PF 1	1.22	390.35	390.46	390.76	393.42	1.675379	7.62	0.16	1.50	7.44
Reach NI06	103	PF 1	1.22	390.06	390.41	390.47	390.69	0.045322	2.34	0.52	1.50	1.26
Reach NI06	102	PF 1	1.22	387.56	387.67	387.97	390.44	1.508091	7.37	0.17	1.50	7.08
Reach NI06	91	PF 1	1.22	387.33	387.66	387.74	387.97	0.052681	2.46	0.50	1.50	1.37
Reach NI06	74	PF 1	1.22	386.98	387.40	387.39	387.59	0.026978	1.95	0.63	1.50	0.96
Reach NI06	73	Bridge										
Reach NI06	46	PF 1	1.22	386.43	386.84	386.84	387.04	0.029310	2.01	0.61	1.50	1.01
Reach NI06	14	PF 1	1.22	384.43	385.40	384.84	385.43	0.002733	0.84	1.45	1.59	0.27

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1+345.43_NI06	102.46	PF 1	8.96	382.59	383.32	383.32	383.62	0.015470	2.41	3.71	6.19	1.00
1+345.43_NI06	101	PF 1	8.96	380.77	382.80	381.30	382.80	0.000014	0.16	96.11	67.52	0.04

Tabella 16: Risultati simulazione post operam

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini. Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

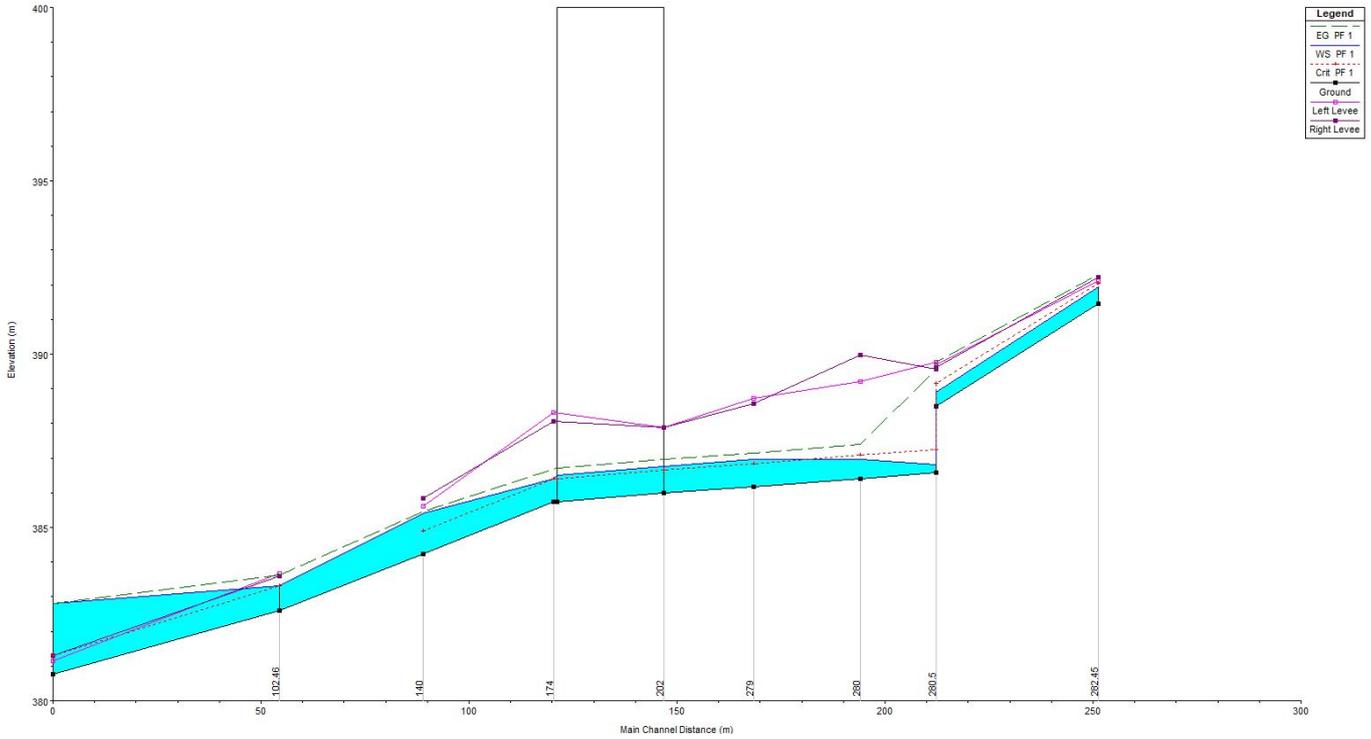


Figura 76: Planimetria Hec ras Profilo idrico – SDP 1+345.43

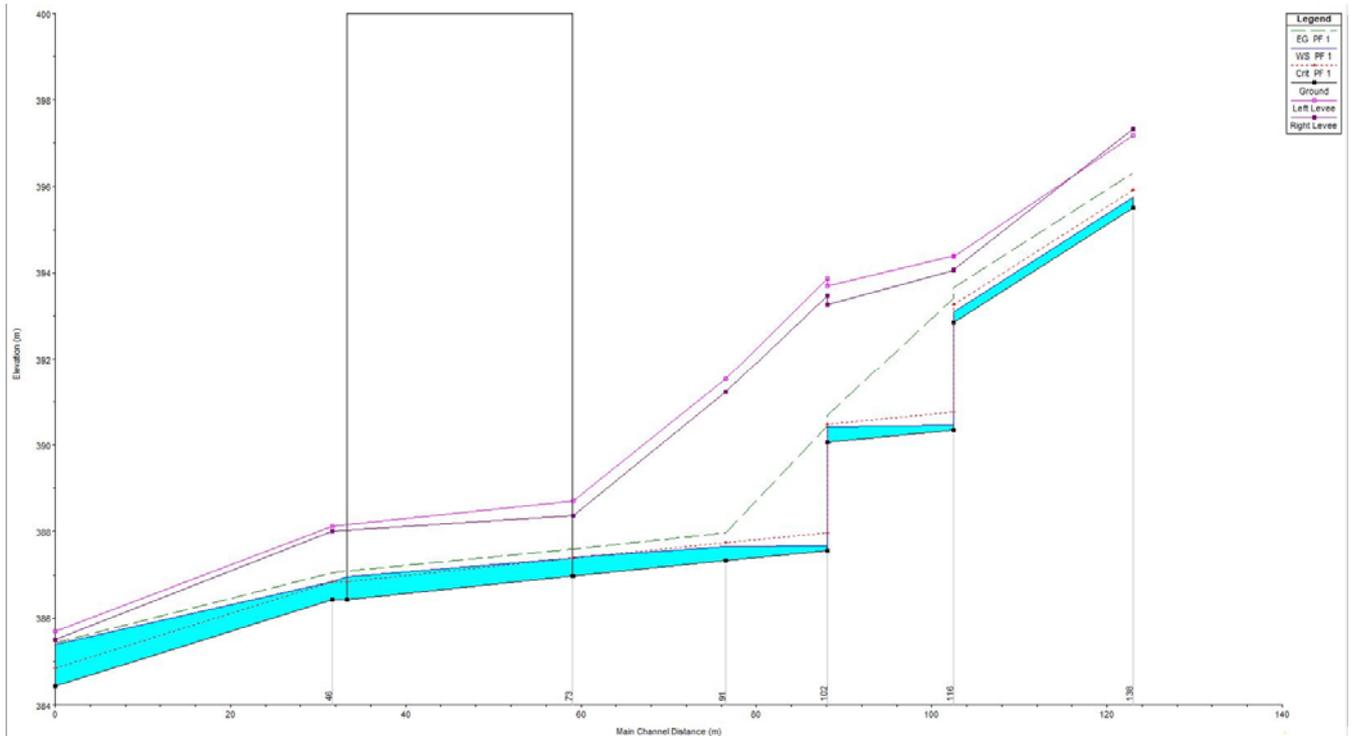


Figura 77: Planimetria Hec ras Profilo idrico – SDP NI06

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 93 di 215

Tra le sezioni 73 e 46 del corso d'acqua denominato NI06, a valle del tombino stradale di progetto NI06 alla pk 0+356, è prevista la realizzazione del viadotto VI02. L'intradosso del viadotto è a 398.6 m s.m.m.. Il franco rispetto al livello idrico risulta quindi di 11.1m mentre il franco rispetto al livello di energia risulta pari a 10.9m.

L'intervento di sistemazione prevede la deviazione del corso d'acqua secondo una sezione rettangolare di base 1.5 m realizzata in massi emergenti cementati nel calcestruzzo, fino al raccordo con la sezione 102.46, dove la sistemazione confluisce nella sistemazione di progetto IN34, ovvero in un canale a base trapezia con base 4 m e pendenza sponde 3:2.

Tra le sezioni 202 e 174 dell'interferenza IN34, denominata 1+345.43, a valle del tombino di progetto NI05, è prevista la realizzazione del viadotto VI02. L'intradosso del viadotto è a 398.6 m s.m.m.. Il franco rispetto al livello idrico risulta quindi di 11.9m mentre il franco rispetto al livello di energia risulta pari a 11.4m.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm dalla sezione 232.38 fino al recapito nel corso d'acqua principale denominato con pk 1+830-1+345.

Nelle seguenti immagini si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

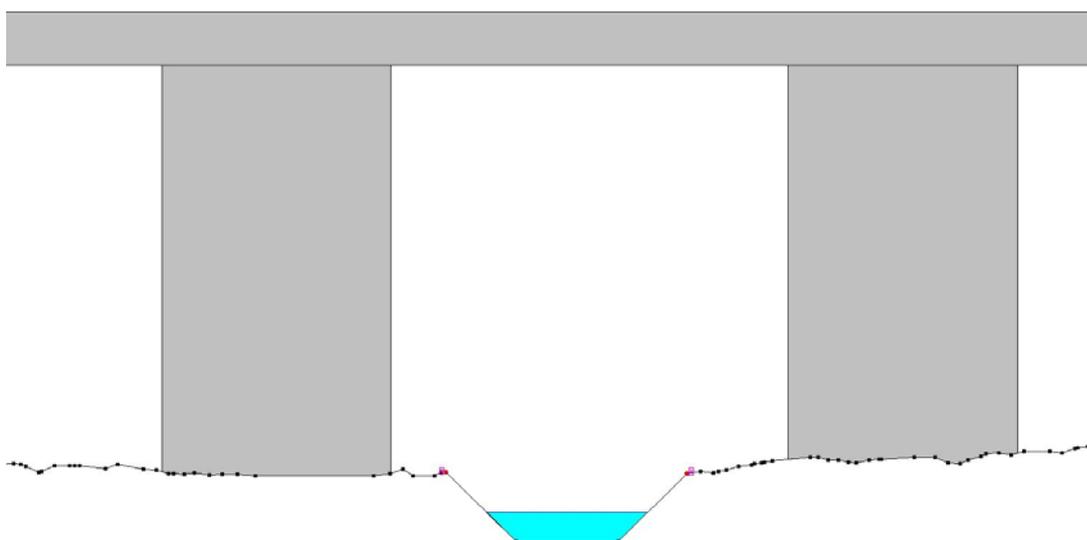


Figura 78: Sezione trasversale del viadotto: 202

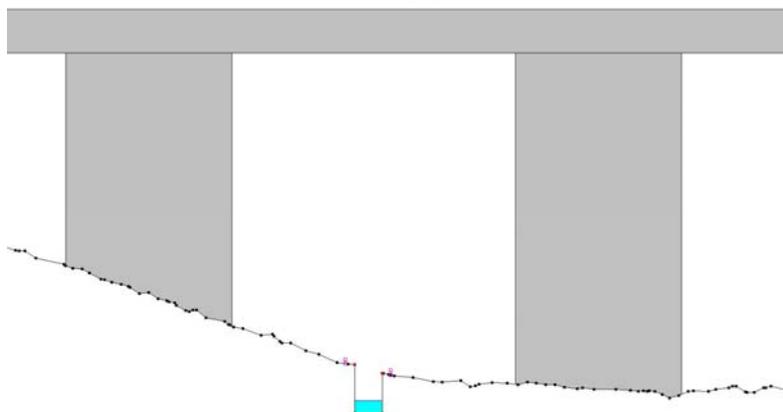


Figura 79: Sezione trasversale del viadotto: 73

Si riportano nella seguente immagine le planimetrie di progetto della sistemazione, in cui si riportano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

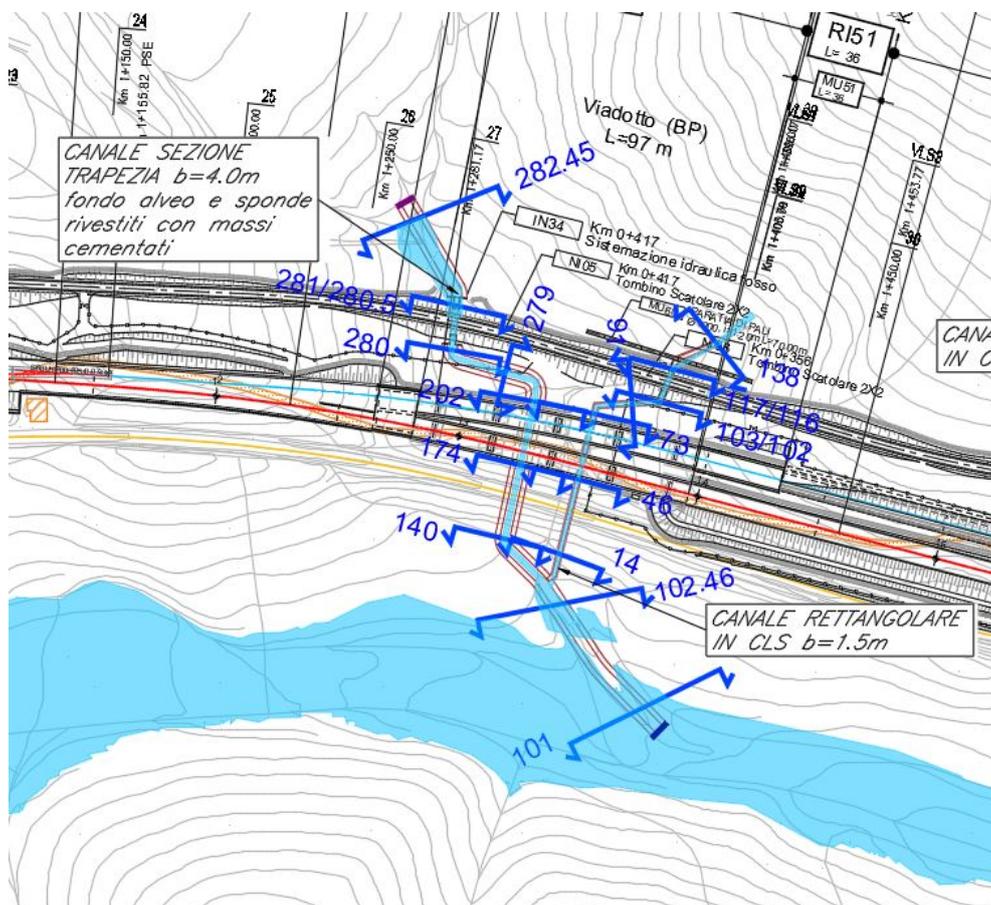


Figura 80: Planimetria di progetto

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 95 di 215

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 226	0.42	246.28	3.9	0.44

Tabella 17: Dati verifica

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 9 la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.9. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (T_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}, \tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

T_{max}	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
246.3	832	551	3.4	2.2

Tabella 18: Verifica della stabilità delle protezioni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 96 di 215

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.5 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN35 Pk 1+805

Allo stato attuale i corsi d'acqua denominati 1+830-1+345 e 1+830sud confluiscono in unico corso d'acqua denominato 1+830-1+830sud.

Il progetto prevede la realizzazione di un viadotto le cui pile andranno ad interferire con il corso d'acqua. Si prevede pertanto la regolarizzazione e la deviazione dell'alveo fino a valle del collegamento con il ramo denominato opera8.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 67.45 m³/s.

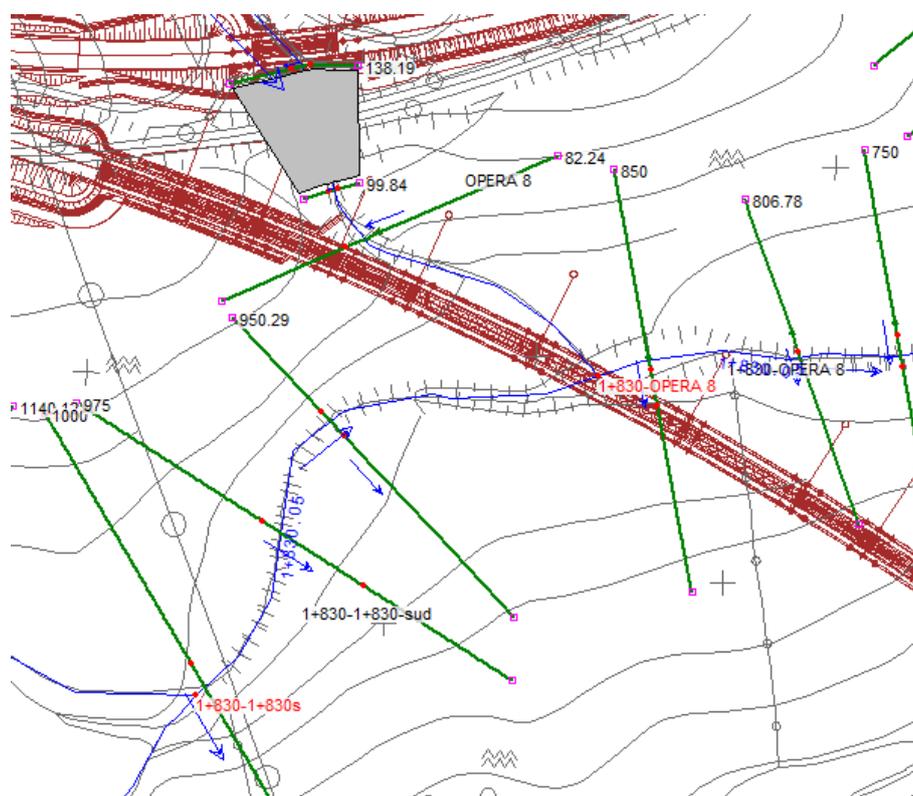


Figura 81: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

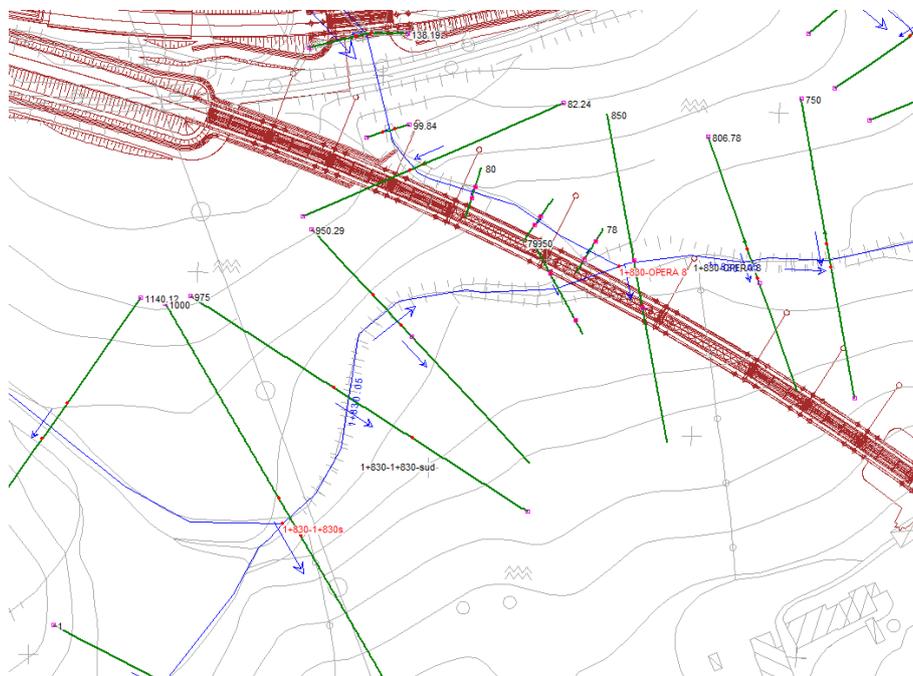


Figura 82: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
1+830-1+830-sud	1000	PF 1	67.45	371.83	374.06	374.06	374.39	0.013154	2.75	33.40	55.21	0.81
1+830-1+830-sud	975	PF 1	67.45	371.44	372.57	372.48	372.83	0.016014	2.31	32.72	57.04	0.85
1+830-1+830-sud	950.29	PF 1	67.45	369.88	371.40	371.40	372.07	0.019892	3.60	18.82	15.57	1.01
1+830-1+830-sud	950	PF 1	67.45	368.53	370.69	370.07	370.97	0.003620	2.36	28.59	16.48	0.57

Figura 83: Profilo idrico – SDP

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini. Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato. Il franco rispetto il livello idrico risulta pari a 18.2m mentre il franco rispetto la linea dell' energia risulta pari a 17.9m.

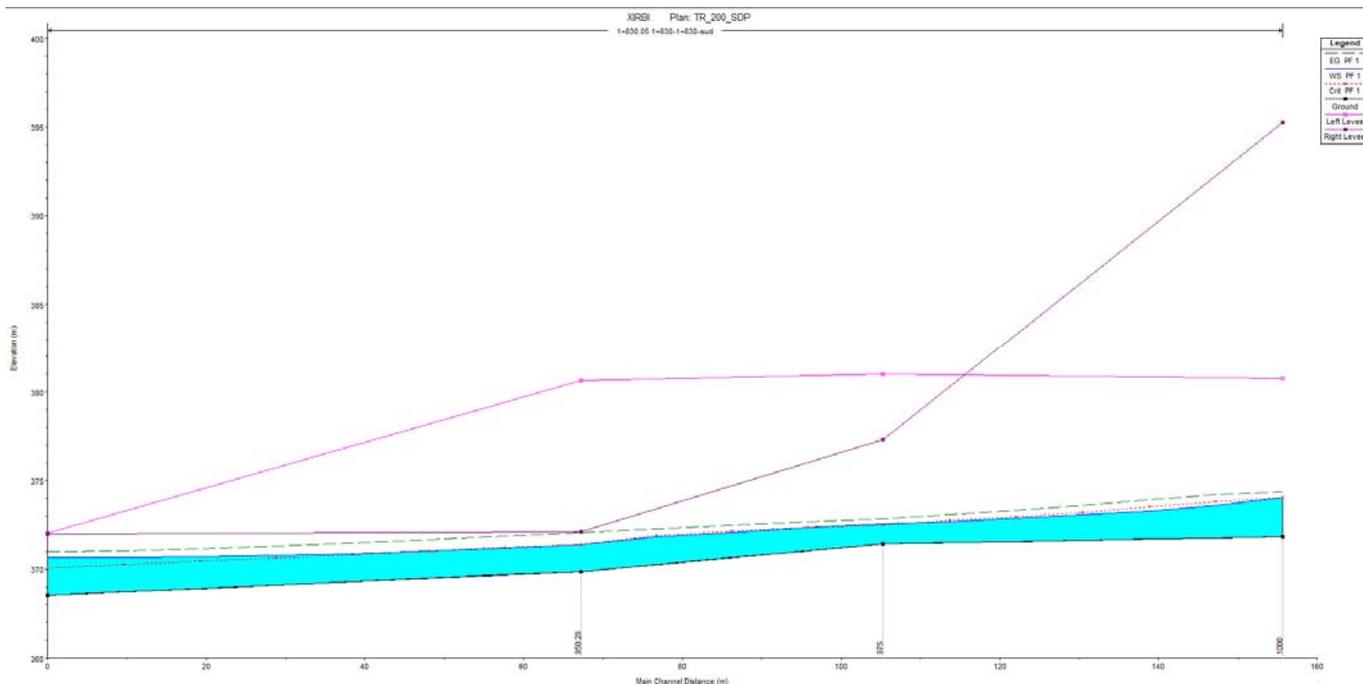


Figura 84: Profilo idrico – SDP

Nelle seguenti immagini si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

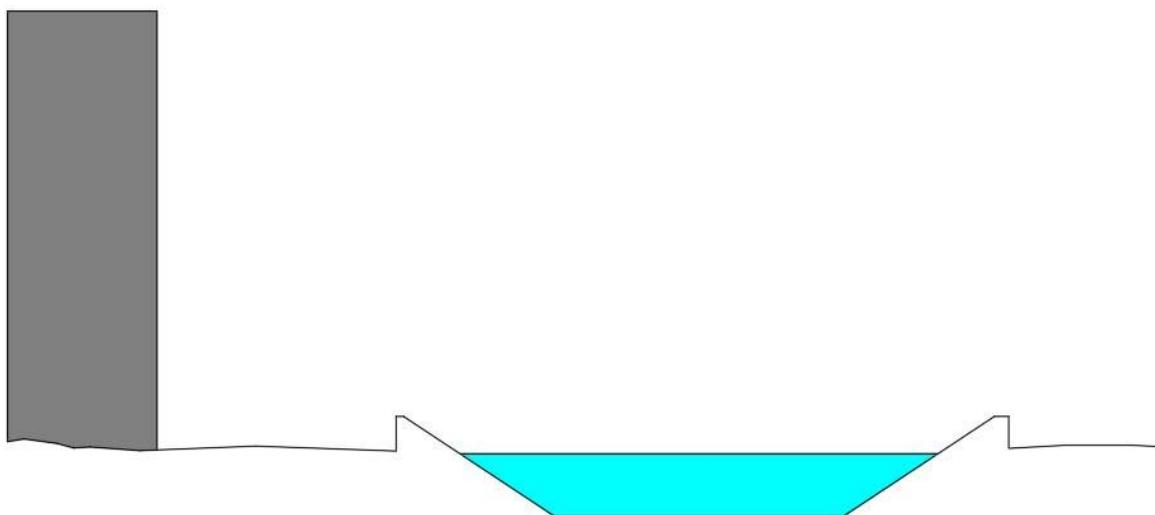


Figura 85: Sezione trasversale del viadotto:950

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

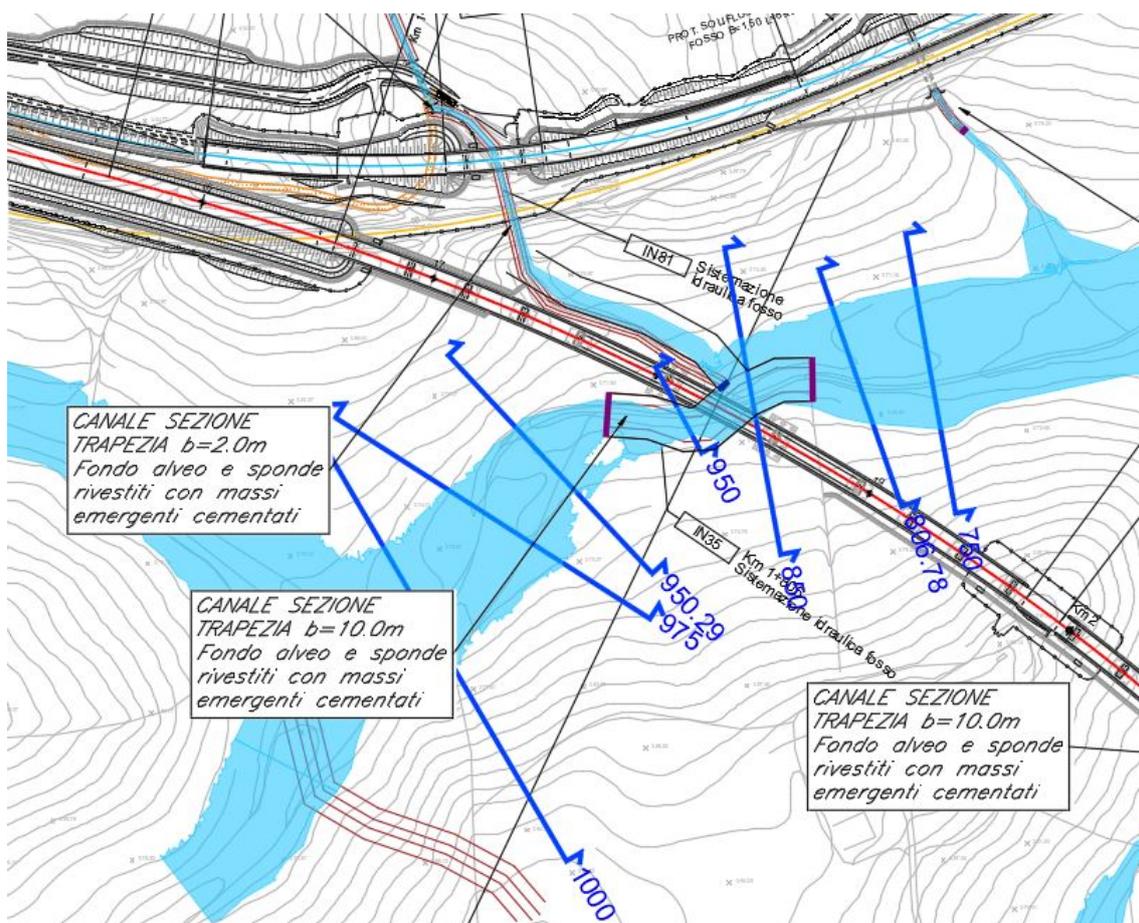


Figura 86: Profilo idrico – SDP

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 10 m e pendenza delle sponde 3:2. La sistemazione è prevista immediatamente dalla sezione 950.29 fino alla sezione 806.78 del ramo 1+830-opera8. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 100 di 215

oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 950.29	1.2	240.27	3.60	1.3

Tabella 19: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 7.7, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.6 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

Le tabelle seguenti riportano i risultati della verifica di stabilità eseguita per i due tratti del corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{sponde}}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		

1.3	1	312	240	687.5	455	2.2	1.9
-----	---	-----	-----	-------	-----	-----	-----

Tabella 20: Verifica della stabilità delle protezioni tratto a monte attraversamento

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.6 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN81 Pk 1+722 (allaccio LS– opera 8)

Allo stato attuale il corso d'acqua attraversa la linea esistente mediante un tombino ad arco di dimensioni 1x1.5.

Il progetto prevede la realizzazione di un viadotto a monte della linea storica andando ad interferire con il tombino esistente.

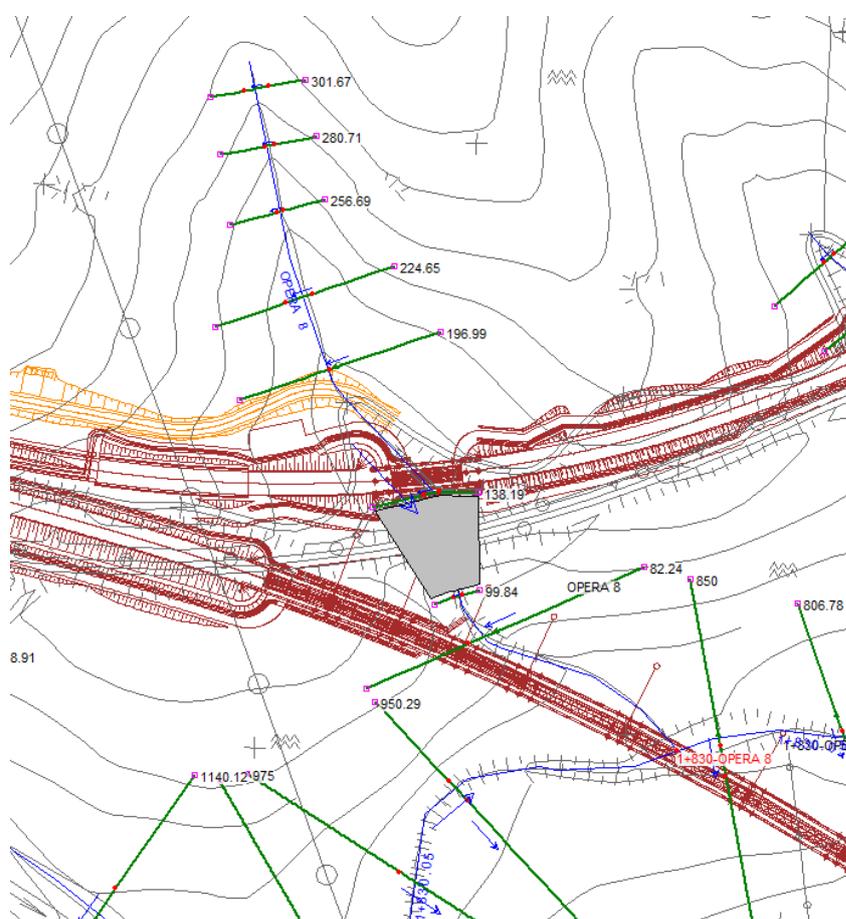


Figura 87: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La verifica è stata eseguita nella configurazione finale di progetto nella quale si prevede la demolizione del tombino esistente. La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $2.15 \text{ m}^3/\text{s}$.

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

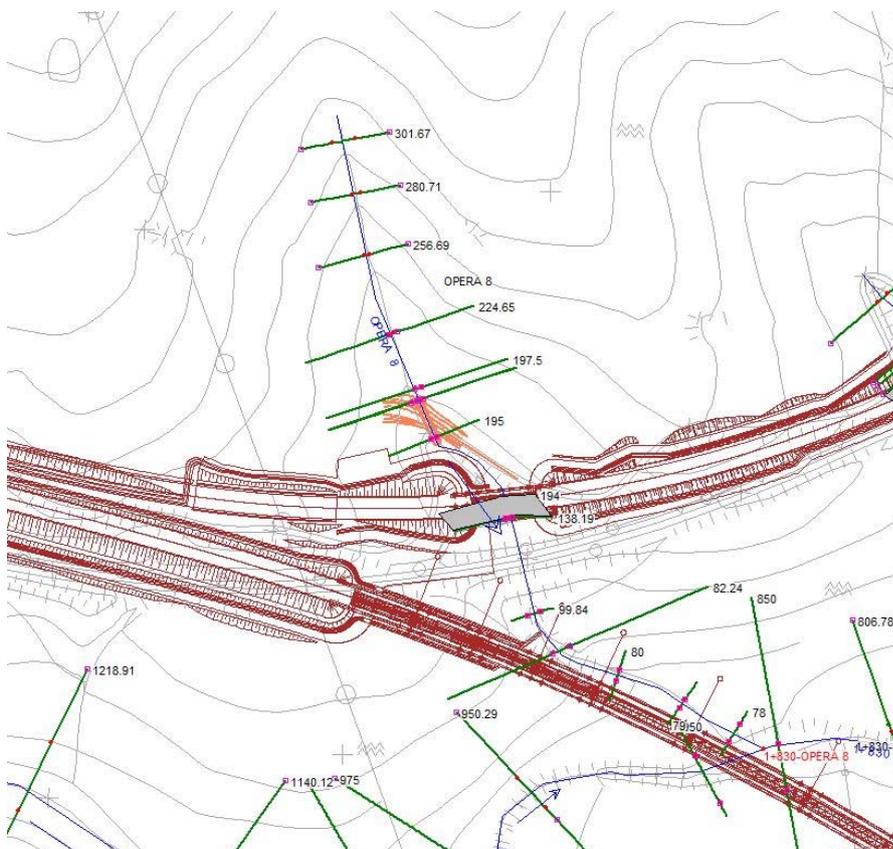


Figura 88: Planimetria Hec ras – SDP

Il corso d'acqua interferisce inoltre con la viabilità interpodereale NV05E (rifacimento dell'interpodereale esistente). Sono stati previsti pertanto dei tombini di dimensioni $2 \times 2 \text{ m}$, ovvero tombini con dimensioni maggiori degli esistenti con il solo scopo di dare continuità al reticolo idrografico per le portate ordinarie.

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata ($Q \text{ Total}$), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
OPERA 8	301.67	PF 1	2.15	401.15	401.46	401.62	401.98	0.200294	3.21	0.67	3.59	2.37
OPERA 8	280.71	PF 1	2.15	396.79	397.22	397.39	397.82	0.196273	3.43	0.63	2.91	2.36
OPERA 8	256.69	PF 1	2.15	392.22	392.59	392.77	393.25	0.184042	3.71	0.65	3.68	2.38
OPERA 8	224.65	PF 1	2.15	385.52	385.76	386.01	386.79	0.219614	4.48	0.48	2.00	2.92
OPERA 8	197.5	PF 1	2.15	383.55	383.94	384.04	384.33	0.050336	2.75	0.78	2.00	1.40
OPERA 8	197	PF 1	2.15	381.55	381.71	382.04	384.12	0.837625	6.88	0.31	2.00	5.56
OPERA 8	196.99	PF 1	2.15	381.49	381.75	381.98	382.65	0.182849	4.22	0.51	2.00	2.67
OPERA 8	195	PF 1	2.15	381.22	382.17	381.71	382.24	0.004142	1.14	1.89	2.00	0.37
OPERA 8	194		Bridge									
OPERA 8	138.19	PF 1	2.15	377.61	377.99	378.10	378.40	0.054372	2.82	0.76	2.00	1.46
OPERA 8	99.84	PF 1	2.15	376.05	376.42	376.49	376.69	0.035633	2.31	0.93	3.09	1.35
OPERA 8	82.24	PF 1	2.15	374.53	374.77	374.97	375.50	0.152371	3.79	0.57	2.72	2.65
OPERA 8	80	PF 1	2.15	373.03	373.39	373.47	373.67	0.038126	2.37	0.91	3.07	1.39
OPERA 8	79	PF 1	2.15	371.28	371.55	371.72	372.07	0.098364	3.21	0.67	3.00	2.16
OPERA 8	78	PF 1	2.15	369.81	370.70	370.25	370.73	0.001481	0.76	2.85	4.41	0.30

Tabella 21: Risultati simulazione post operam

Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini. Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

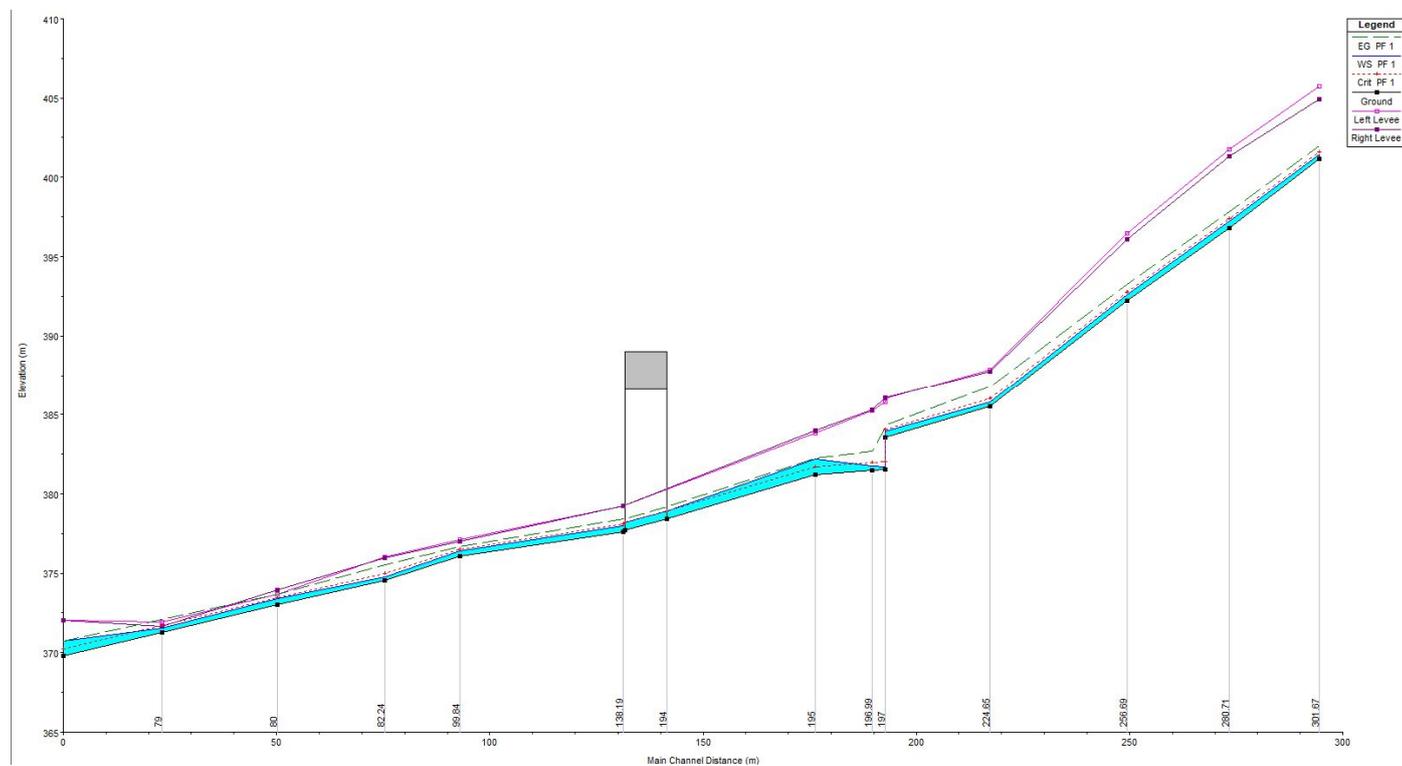


Figura 89: Profilo opera 8 – SDP

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 104 di 215

Subito a monte della sezione 138 è prevista la realizzazione di un viadotto il cui intradosso risulta pari circa 388.6 m s.m.m. Il franco rispetto il livello idrico risulta pari a 7.7m mentre il franco rispetto la linea dell' energia risulta pari a 7.4m.

Nelle seguenti immagini si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

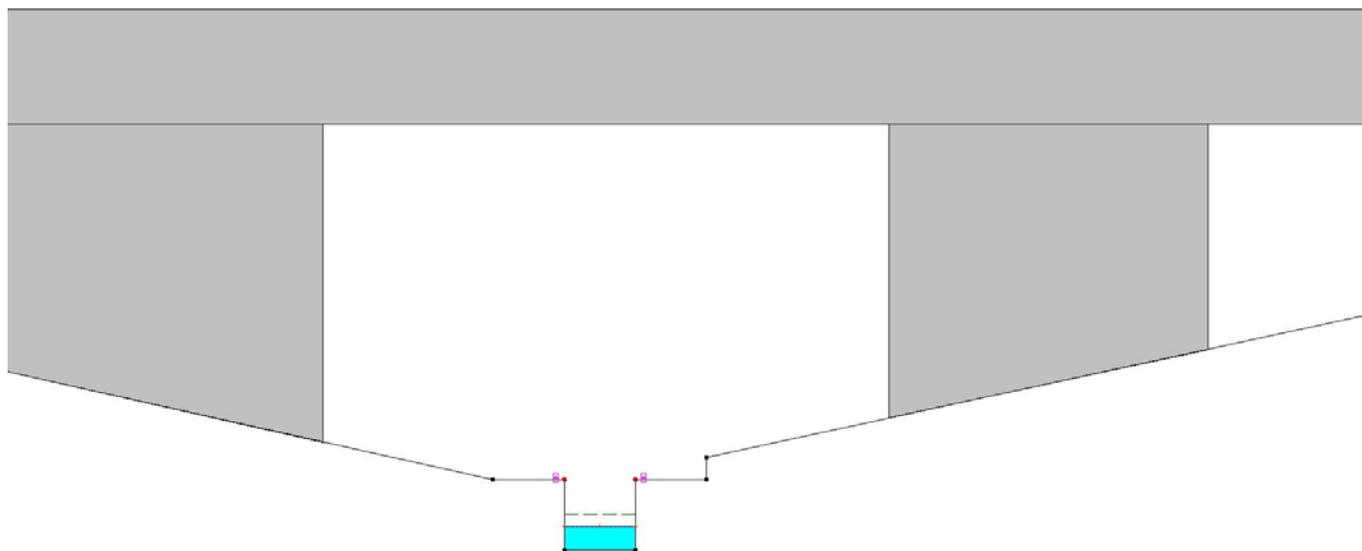


Figura 90: Sezione trasversale del viadotto:194

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 2 m e pendenza delle sponde 3:2 nel tratto a valle del tombino esistente che sarà demolito fino alla confluenza con il ramo 1+830-1+830sud. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 30 cm nelle sezioni subito a valle del tombino esistente.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

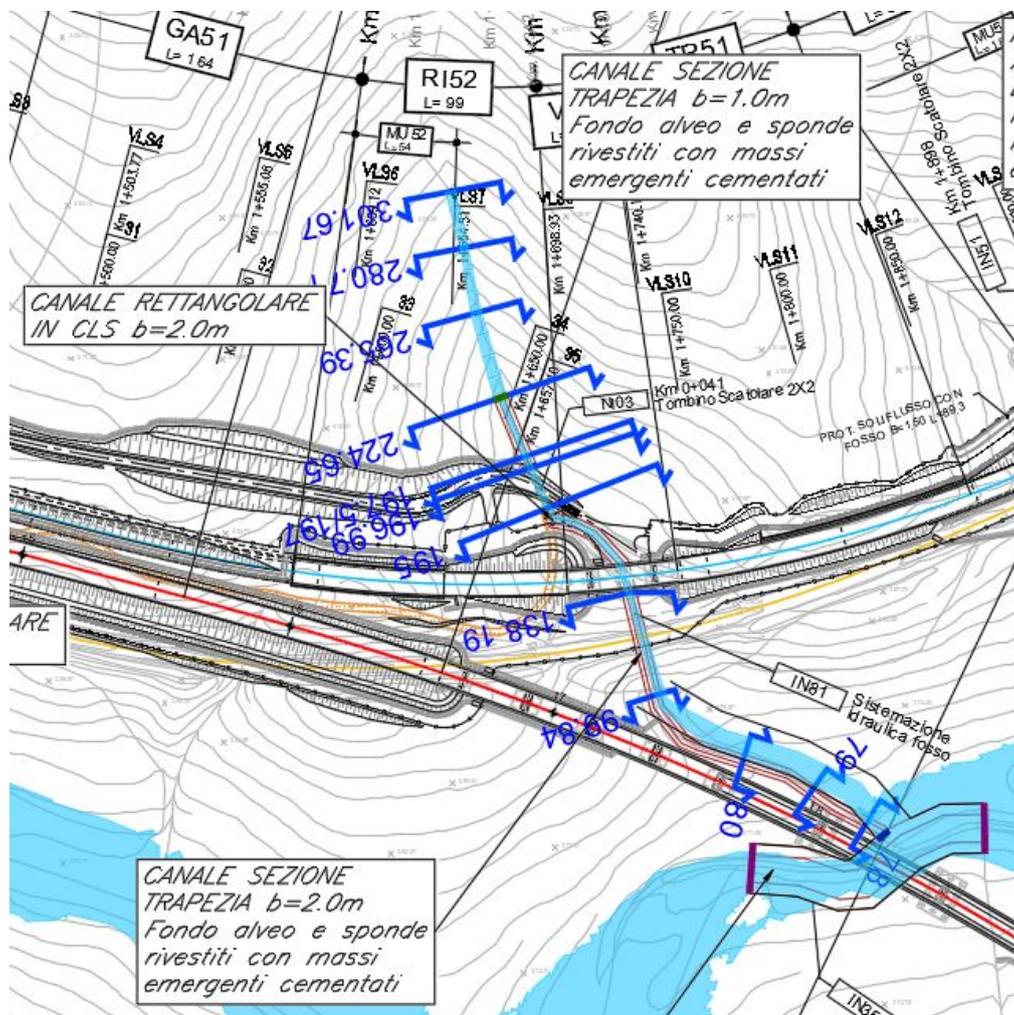


Figura 91: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 99.84	0.32	62.55	1.9	0.35

Tabella 22: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 106 di 215

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 5.7, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.17 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

Le tabelle seguenti riportano i risultati della verifica di stabilità eseguita per i due tratti del corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spende}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{spende}}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1	81.31	62.55	472.19	313	5.81	5.00

Tabella 23: Verifica della stabilità delle protezioni tratto a monte attraversamento

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 107 di 215

3.3.2.7 Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni - Sistemazione IN51 Pk 1+898 (allaccio LS – opera 9)

Allo stato attuale il corso d'acqua denominato come Opera 9 attraversa il rilevato ferroviario esistente con tombino ad arco di dimensioni 0.76x1.36m.

Il rilevato ferroviario di progetto si colloca subito a monte del rilevato esistente andando ad interferire con l'imbocco dell'opera esistente.

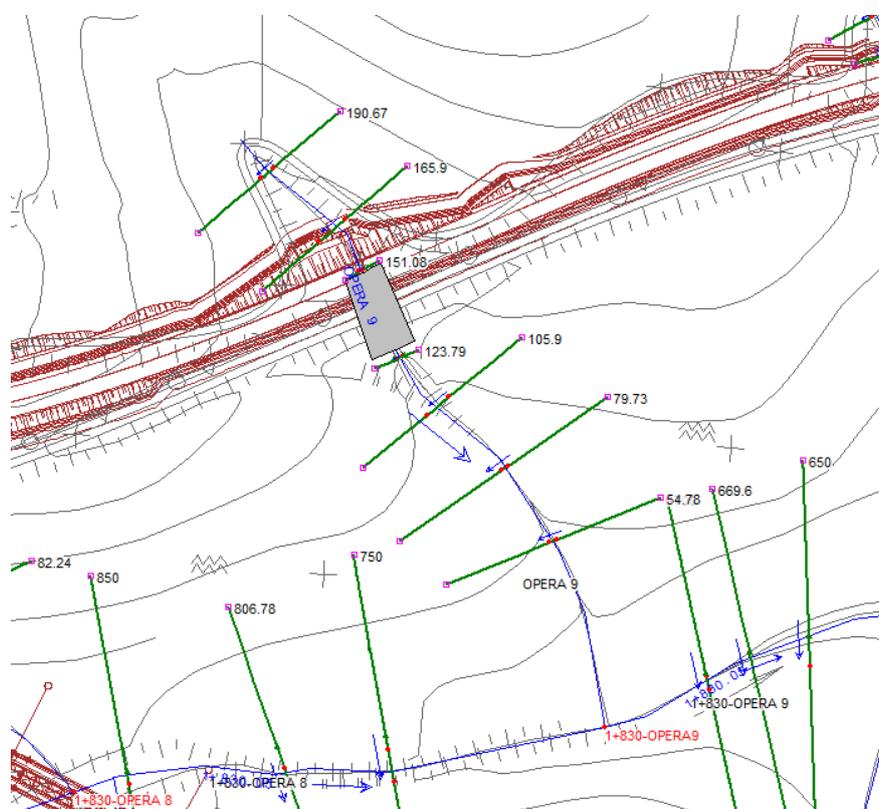


Figura 92: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La verifica è stata eseguita nella configurazione finale di progetto nella quale si prevede la demolizione del tombino esistente e la realizzazione di un tombino di dimensioni 2x2m. La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 1.94 m³/s.

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

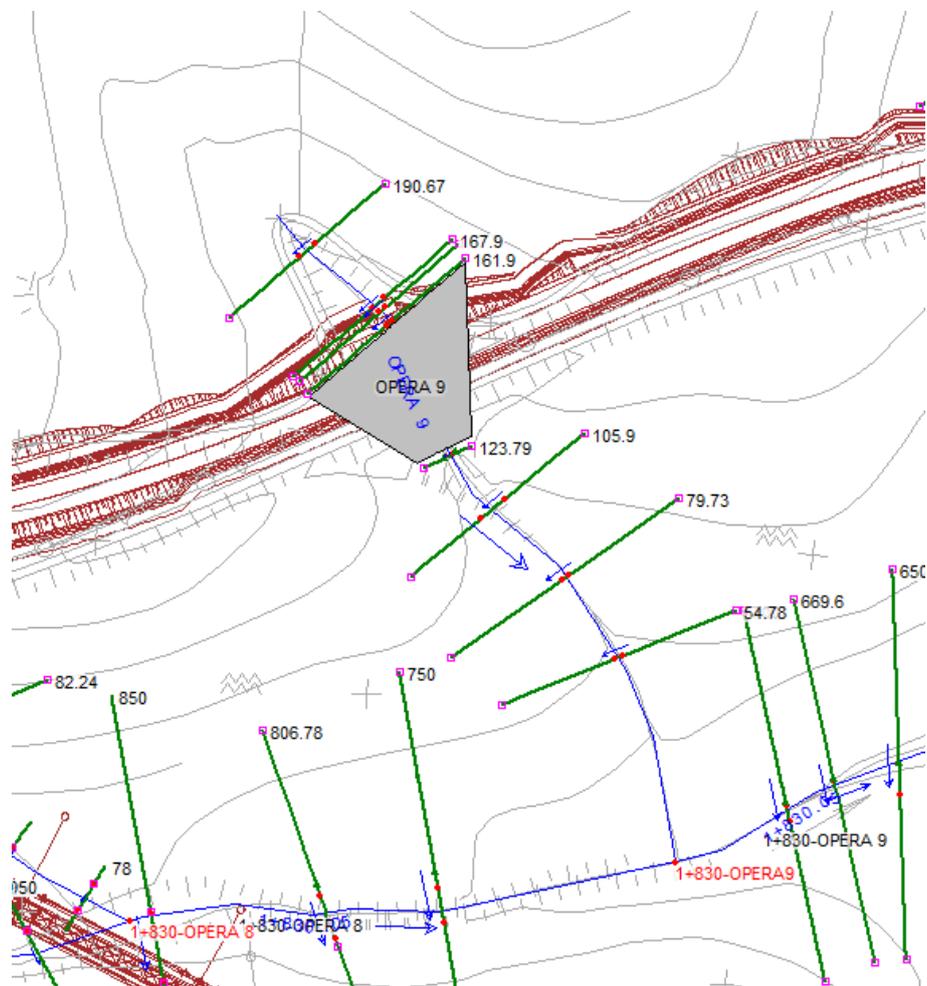


Figura 93: Planimetria Hec ras – SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
OPERA 9	190.67	PF 1	1.94	378.71	379.07	379.23	379.57	0.081155	3.12	0.62	2.44	1.97
OPERA 9	167.9	PF 1	1.94	377.57	378.01	378.12	378.37	0.045375	2.63	0.74	2.33	1.49
OPERA 9	165.9	PF 1	1.94	374.07	375.36	374.53	375.39	0.000275	0.75	2.57	2.00	0.21
OPERA 9	161.9	PF 1	1.94	374.07	375.36	374.53	375.38	0.000276	0.75	2.57	2.00	0.21
OPERA 9	155		Culvert									
OPERA 9	123.79	PF 1	1.94	374.48	374.94	374.94	375.17	0.025263	2.10	0.92	2.00	0.99
OPERA 9	105.9	PF 1	1.94	372.79	373.12	373.33	374.06	0.257520	4.28	0.45	2.70	3.34
OPERA 9	79.73	PF 1	1.94	370.35	370.89	371.01	371.30	0.079214	2.83	0.68	1.69	1.42
OPERA 9	54.78	PF 1	1.94	368.80	369.85	369.37	369.86	0.001235	0.64	4.98	14.94	0.22

Tabella 24: Risultati simulazione post operam senza opera esistente TR200

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

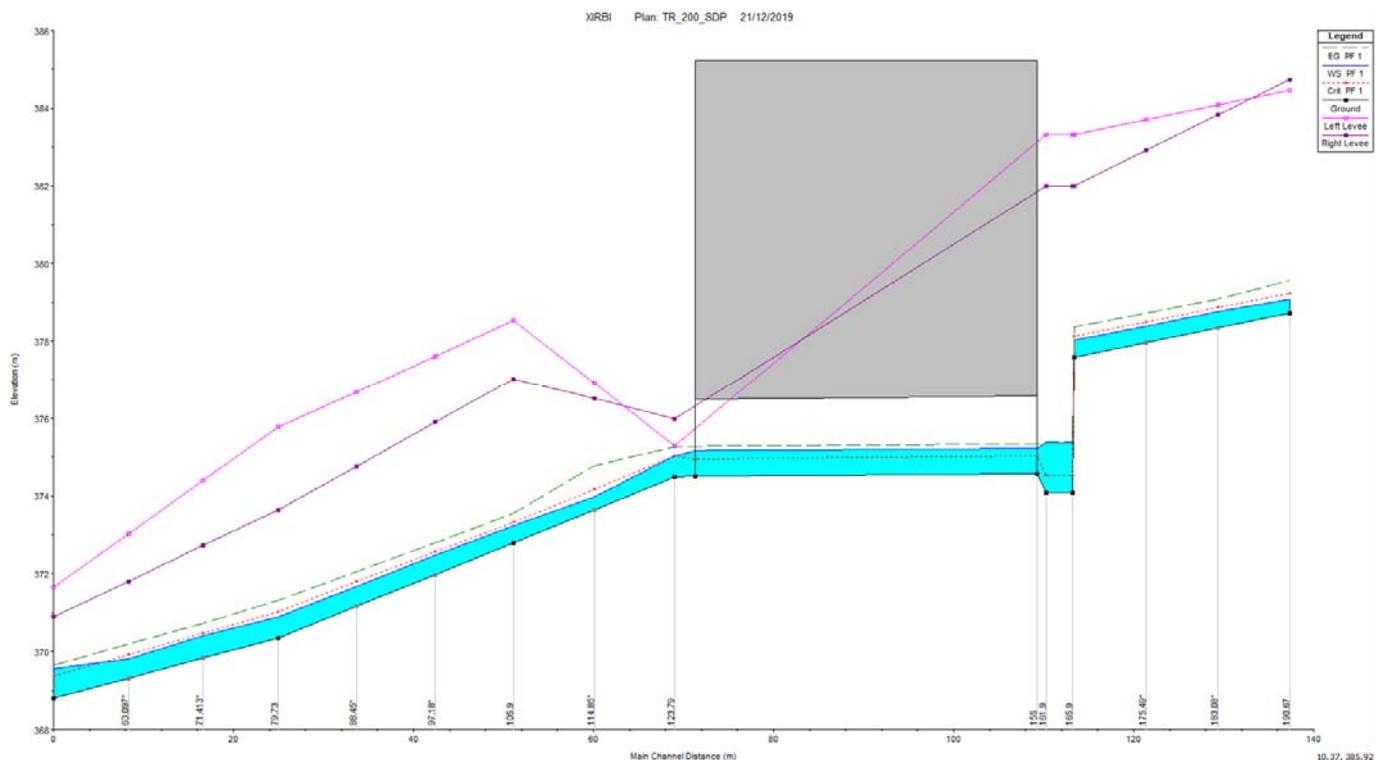


Figura 94: Profilo opera 9 – SDP

Il tirante che si instaura all'interno del tombino di progetto è pari a 0.8m al quale corrisponde un grado di riempimento pari al 40%.

L'intervento di sistemazione prevede, a monte del tombino una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 1 m e pendenza delle sponde 3:2.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde tra le sezioni 190.67 e 167.9 con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

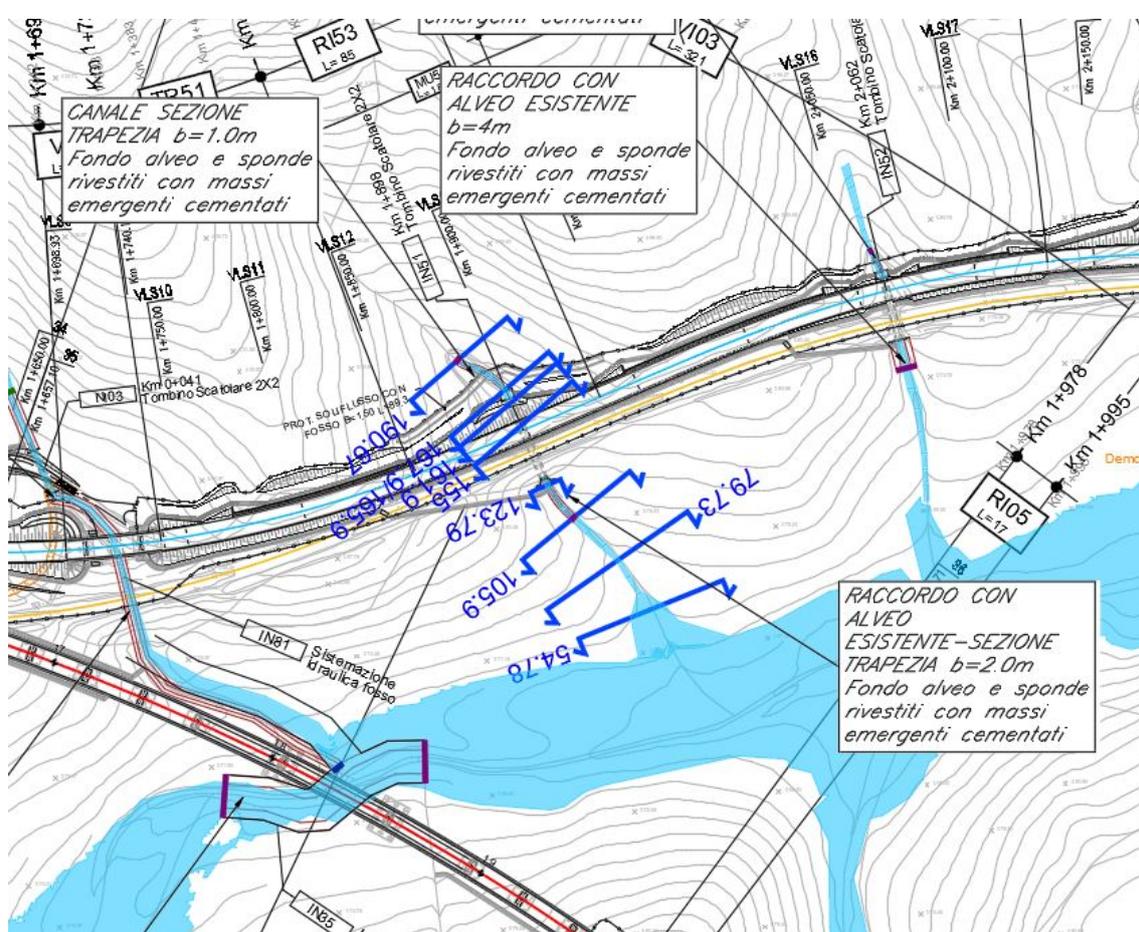


Figura 95: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 111 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
190.67	0.24	188.71	3.12	0.25

Tabella 25: Dati verifica stabilità protezioni

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 4, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.63 evidenzia una bassa sommersione della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spende}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{spende}}$	$\tau_{cr(o)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	264.19	107.58	717.86	475	2.72	2.29

Tabella 26: Verifica della stabilità delle protezioni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 112 di 215

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.8 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni - Sistemazione IN36 Km 2+077

Allo stato attuale il corso d' acqua denominato come 2+076 si collega nel corso d' acqua principale tra i corsi d' acqua denominati opera 9 e opera12.

Il progetto prevede la realizzazione del viadotto che interferisce con il corso d' acqua alla pk 2+076.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 10 m³/s.

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

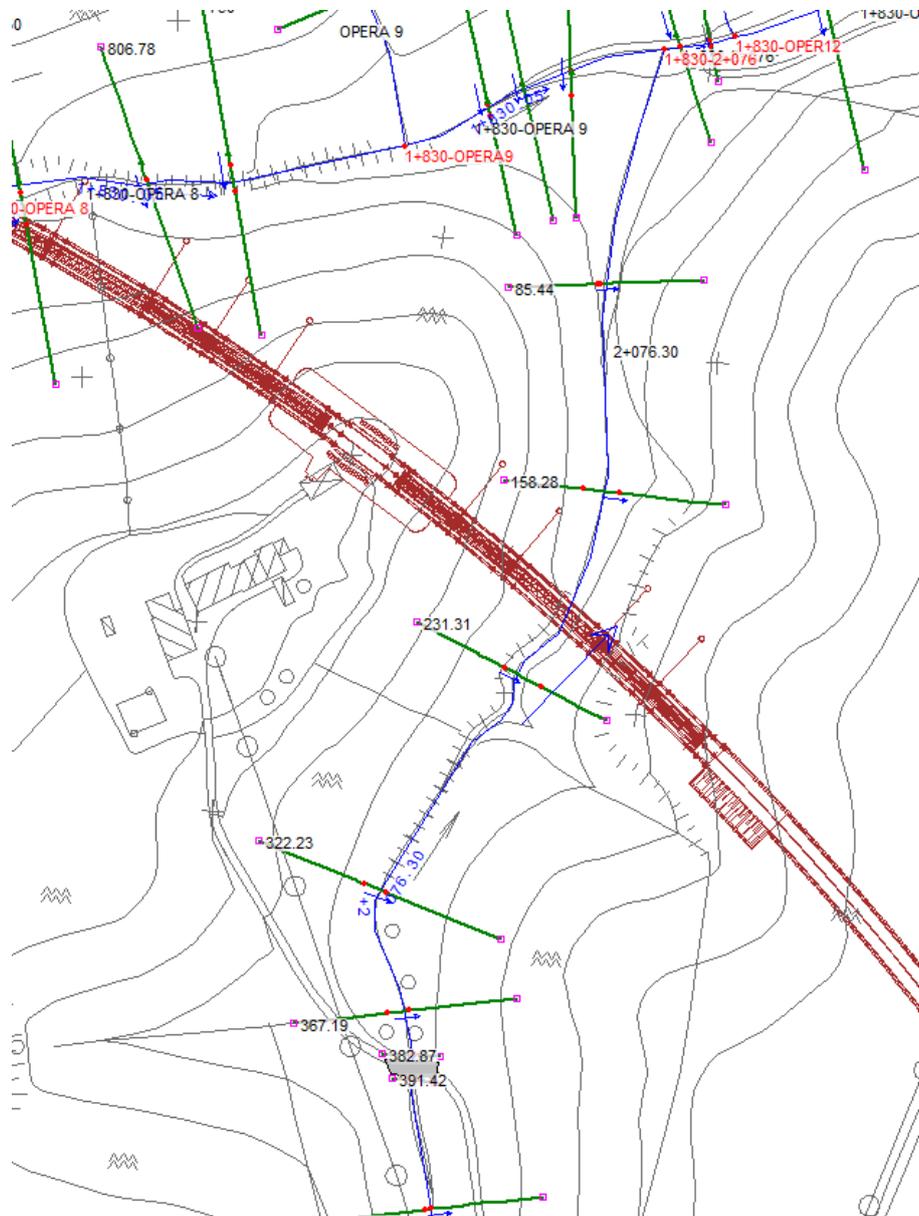


Figura 96: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

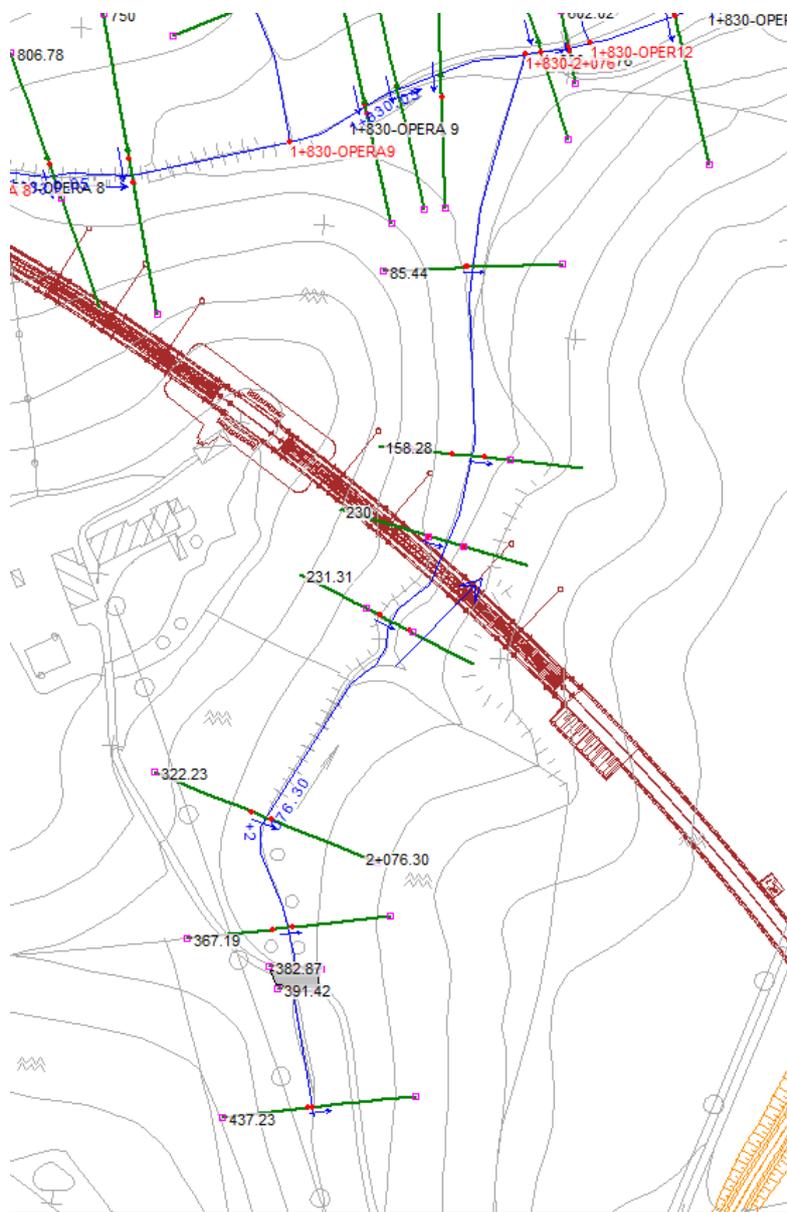


Figura 97: Planimetria Hec ras –SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
2+076.30	437.23	PF 1	10.00	375.84	376.78	376.76	376.93	0.021121	2.38	6.75	16.78	0.87
2+076.30	391.42	PF 1	10.00	374.14	375.97	375.58	376.05	0.003318	1.42	10.38	14.46	0.37
2+076.30	385		Culvert									
2+076.30	382.87	PF 1	10.00	373.92	375.07	375.07	375.36	0.029571	3.33	4.69	7.77	1.03
2+076.30	367.19	PF 1	10.00	373.23	373.82	374.03	374.48	0.083265	3.60	2.78	6.39	1.74
2+076.30	322.23	PF 1	10.00	372.00	372.57	372.65	372.91	0.037639	2.58	3.91	9.02	1.19
2+076.30	231.31	PF 1	10.00	369.95	370.28	370.41	370.70	0.048163	2.88	3.48	10.99	1.63
2+076.30	230	PF 1	10.00	368.88	369.68	369.33	369.74	0.002413	1.11	9.04	12.42	0.41
2+076.30	158.28	PF 1	10.00	368.75	369.19	369.18	369.36	0.025421	1.91	5.61	15.95	0.97
2+076.30	85.44	PF 1	10.00	366.48	368.17	367.62	368.21	0.003068	1.05	12.48	15.33	0.28

Figura 98: Risultati post operam

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

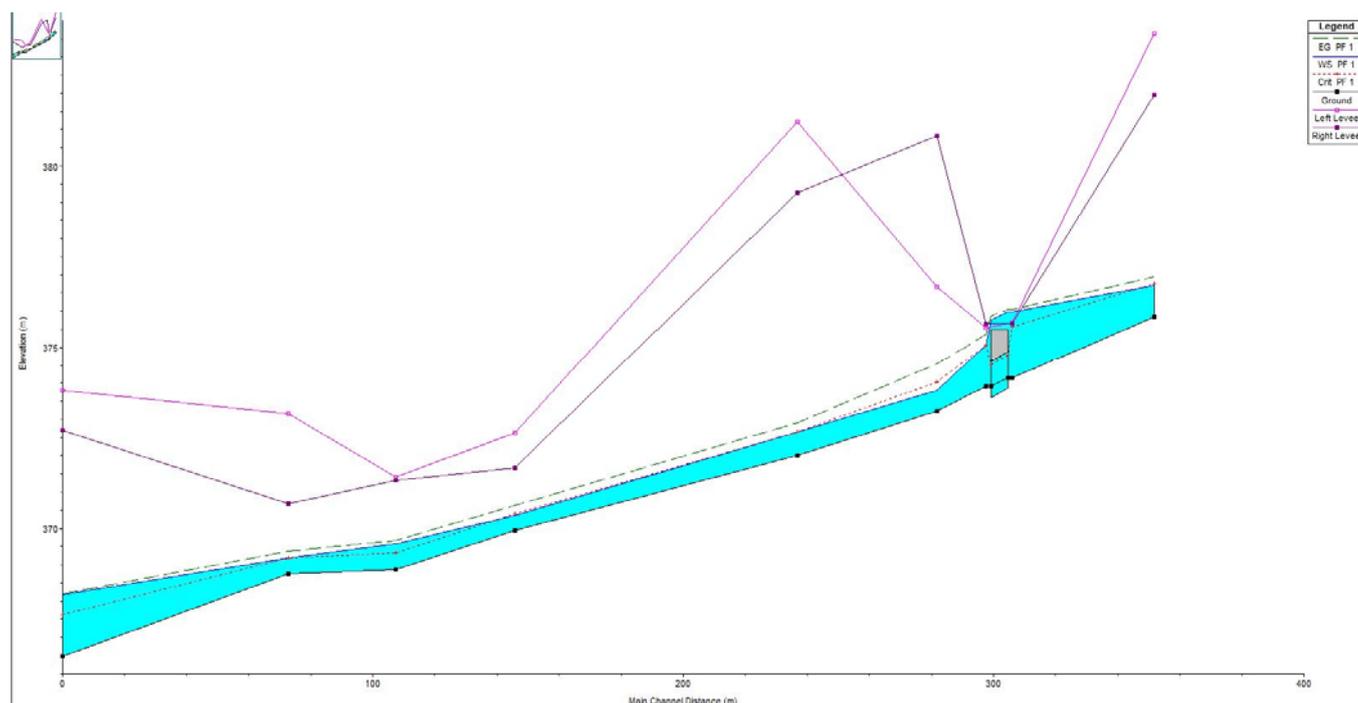


Figura 99: Profilo idrico SDP

Dall'andamento del profilo si deduce che il tombino stradale esistente non risulta verificato ma che questo non influenza l'andamento del flusso a valle e nell'intorno delle pile del viadotto di progetto localizzate tra le sezioni 231 e 230. L'intradosso del viadotto è pari 386.1 m s.m.m. Il franco rispetto al livello idrico e al livello di energia risulta quindi pari 16.4 m.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 116 di 215

Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

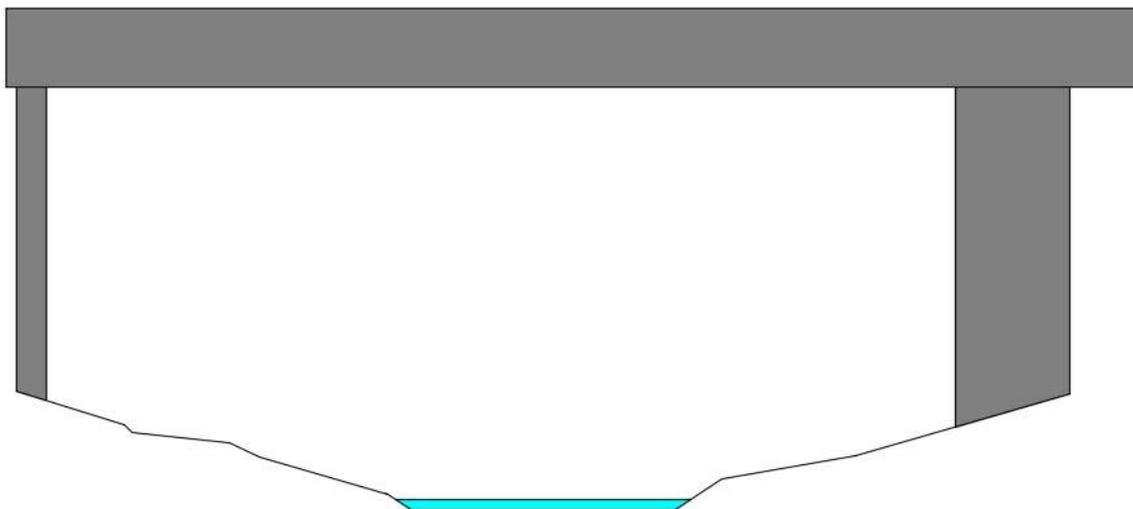


Figura 100: Sezione trasversale del viadotto

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 10 m e pendenza delle sponde 3:2. La sistemazione è prevista a monte e a valle del viadotto tra le sezioni 231.31 e 230. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 118 di 215

oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 231.31	0.42	171	2.9	0.48

Tabella 27: Dati verifica

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 20.8, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.96. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}, \tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
171	626	415	3.7	2.4

Tabella 28: Verifica della stabilità delle protezioni

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.9 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN52 Pk 2+062 (allaccio LS – opera 12)

Allo stato attuale il corso d'acqua denominato come opera12 attraversa il rilevato esistente con un tombino di dimensioni 0.6x1.61.

Il rilevato di progetto sarà realizzato subito a monte del rilevato esistente andando ad interferire con l'opera di imbocco. La verifica è stata eseguita nella configurazione finale nella quale si prevede la demolizione del tombino esistente e la realizzazione di un tombino di dimensioni 2x2m. La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 0.86 m³/s.

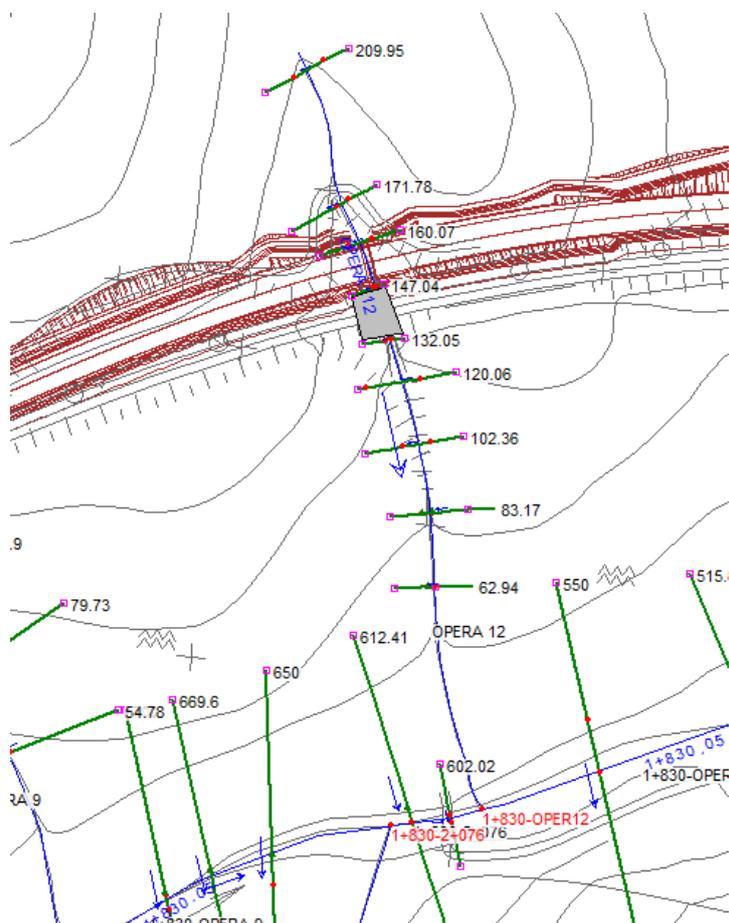


Figura 102: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

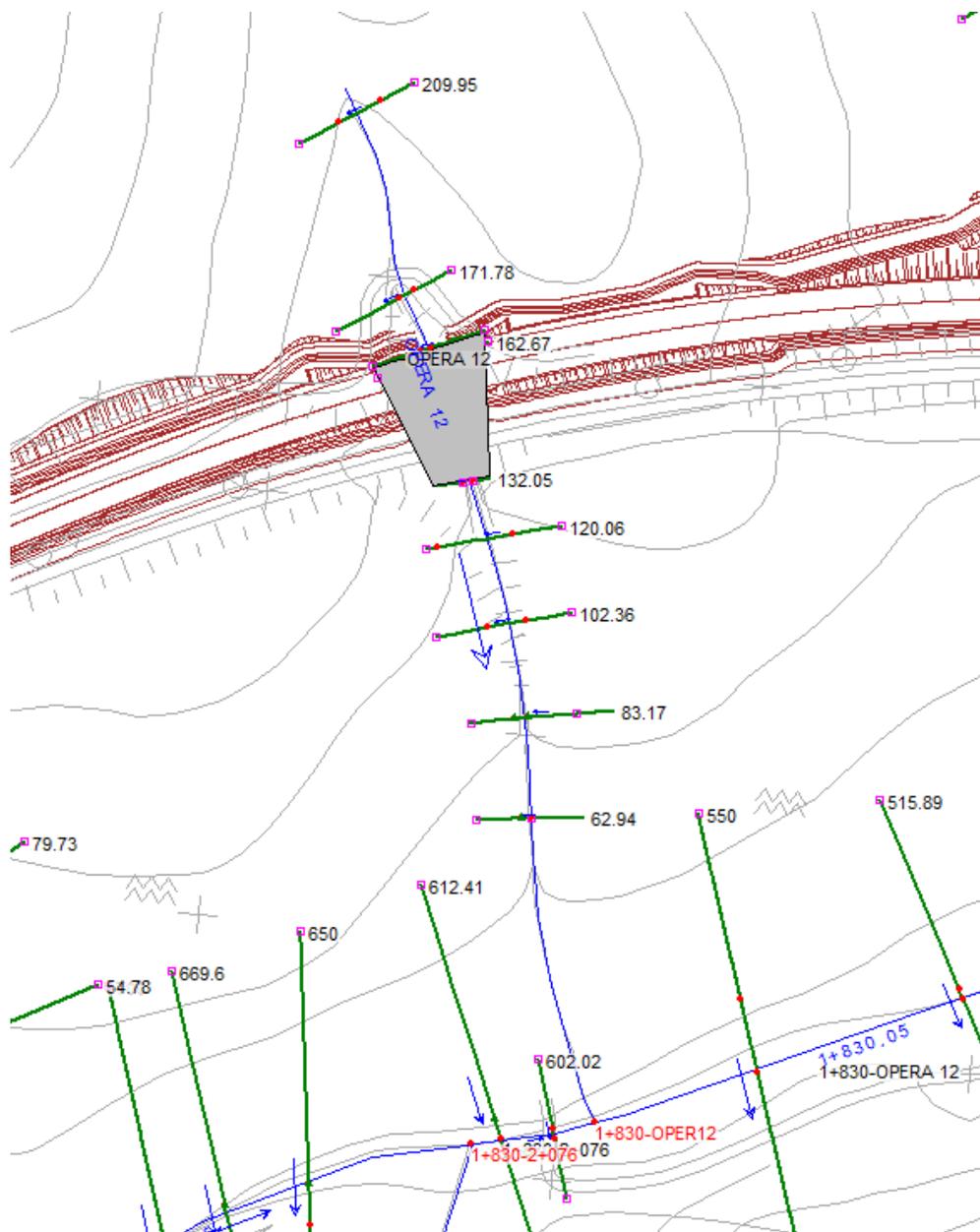


Figura 103: Planimetria Hec ras –SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
OPERA 12	209.95	PF 1	0.86	384.41	384.65	384.72	384.87	0.150215	2.09	0.41	3.42	1.92
OPERA 12	171.78	PF 1	0.86	378.94	379.22	379.36	379.70	0.121722	3.08	0.28	1.46	2.24
OPERA 12	162.67	PF 1	0.86	378.17	378.51	378.61	378.84	0.068990	2.54	0.34	1.51	1.72
OPERA 12	162.57	PF 1	0.86	374.17	375.13	374.44	375.14	0.000116	0.45	1.93	2.00	0.15
OPERA 12	160.07	PF 1	0.86	374.17	375.13	374.44	375.14	0.000116	0.45	1.93	2.00	0.15
OPERA 12	133		Culvert									
OPERA 12	132.05	PF 1	0.86	374.61	374.88	374.88	375.01	0.025693	1.62	0.53	2.00	1.00
OPERA 12	120.06	PF 1	0.86	372.84	372.91	373.02	373.94	1.861049	4.48	0.19	4.90	7.23
OPERA 12	102.36	PF 1	0.86	371.39	371.62	371.65	371.76	0.051650	1.61	0.53	2.83	1.19
OPERA 12	83.17	PF 1	0.86	370.33	370.74	370.75	370.87	0.041155	1.64	0.52	2.20	1.08
OPERA 12	62.94	PF 1	0.86	368.58	368.90	368.99	369.32	0.181665	2.88	0.30	1.65	2.16

Tabella 29: Risultati simulazione post operam

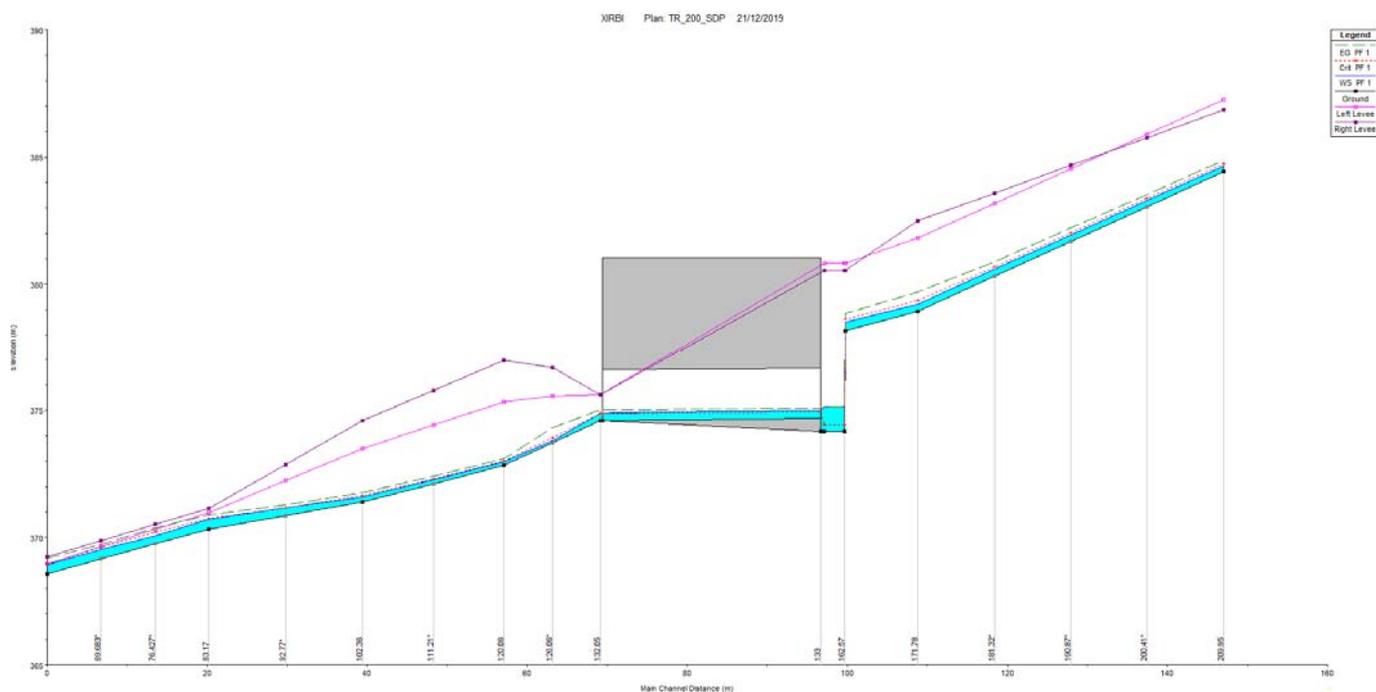


Figura 104: Profilo -SDP

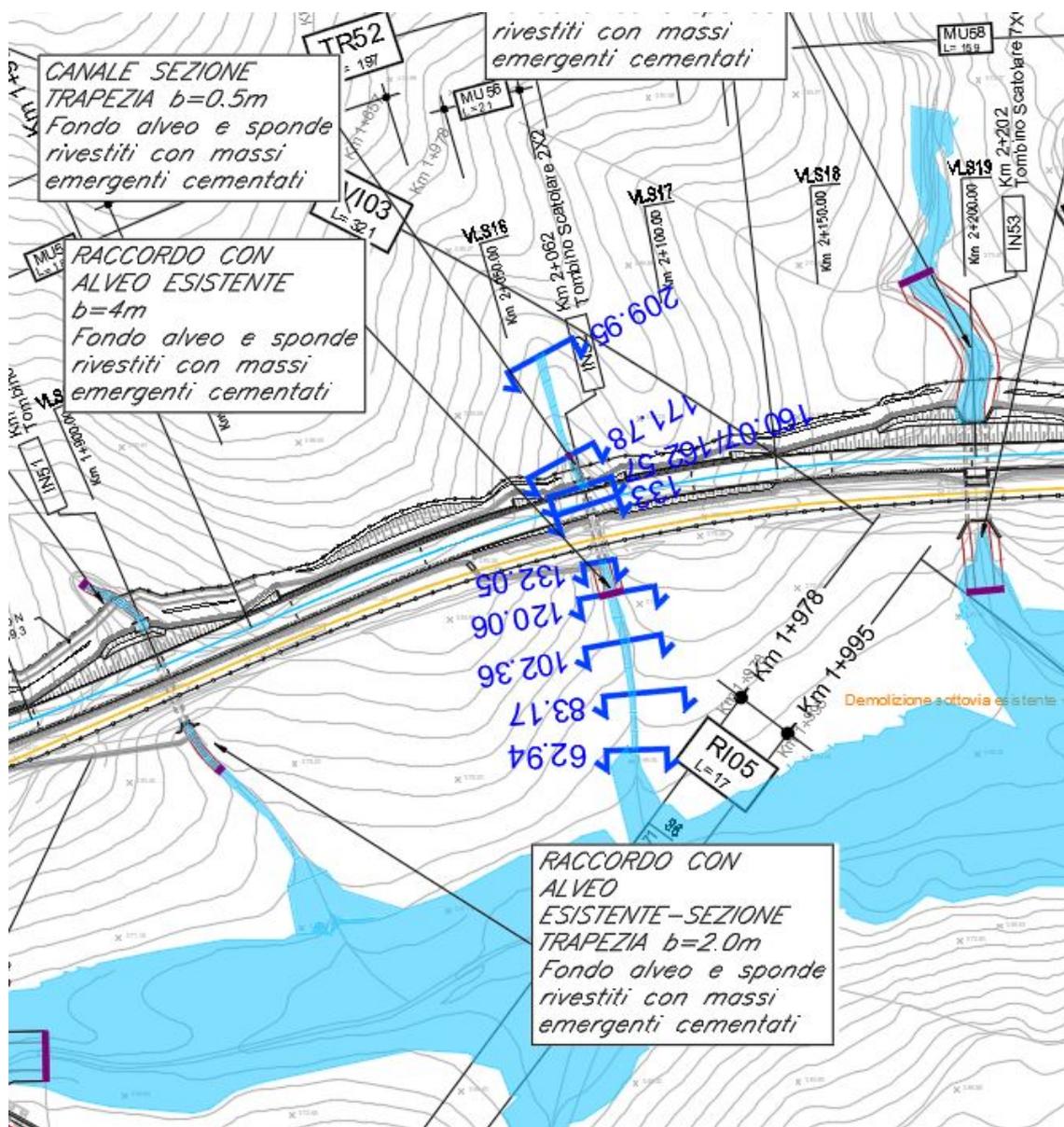
Nella figura seguente è riportato il profilo idrico di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

Il tirante che si instaura all'interno del tombino di progetto è pari a 0.40m al quale corrisponde un grado di riempimento pari al 22%.

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso a monte del tombino di progetto tra le sezioni 171.78 e 162.67 secondo una sezione trapezia di base 1.0 m e pendenza delle

sponde 3:2. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm. A valle del tombino si prevede invece il raccordo dall'opera di sbocco del tombino con il canale esistente.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 123 di 215

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 171.78	0.17	197.86	3.03	0.19

Tabella 30: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 2.6, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.48 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 124 di 215

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\text{max,fondo}}$	$\tau_{\text{max,sponde}}$	$\tau_{\text{cr}(0)}$	$\tau_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	277.00	217.65	766.29	507	2.77	2.33

Tabella 31: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.3.2.10 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni – Sistemazione IN53 Pk 2+202 (allaccio LS - opera 13)

Allo stato attuale il corso d' acqua denominato come opera 13 attraversa il rilevato ferroviario esistente mediante un tombino ad arco di dimensioni 2.58x2.71m prima del recapito nel corso d' acqua principale.

Il rilevato di progetto sarà realizzato subito a monte del rilevato esistente andando ad interferire con l'opera di imbocco. La verifica è stata eseguita nella configurazione finale nella quale si prevede la demolizione del tombino esistente e la realizzazione di un tombino di dimensioni 7x6m.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 31.67 m³/s.

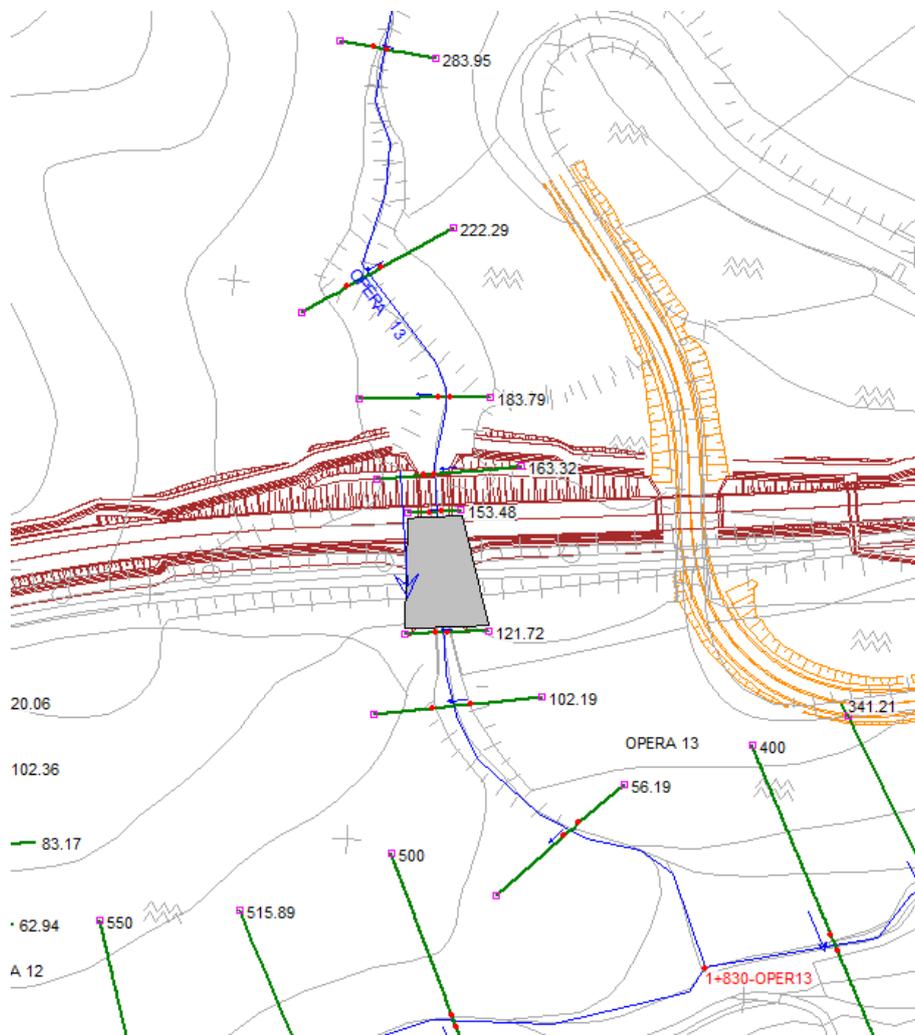


Figura 106: Planimetria Hec ras – sovrapposizione SDF – linea di progetto

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

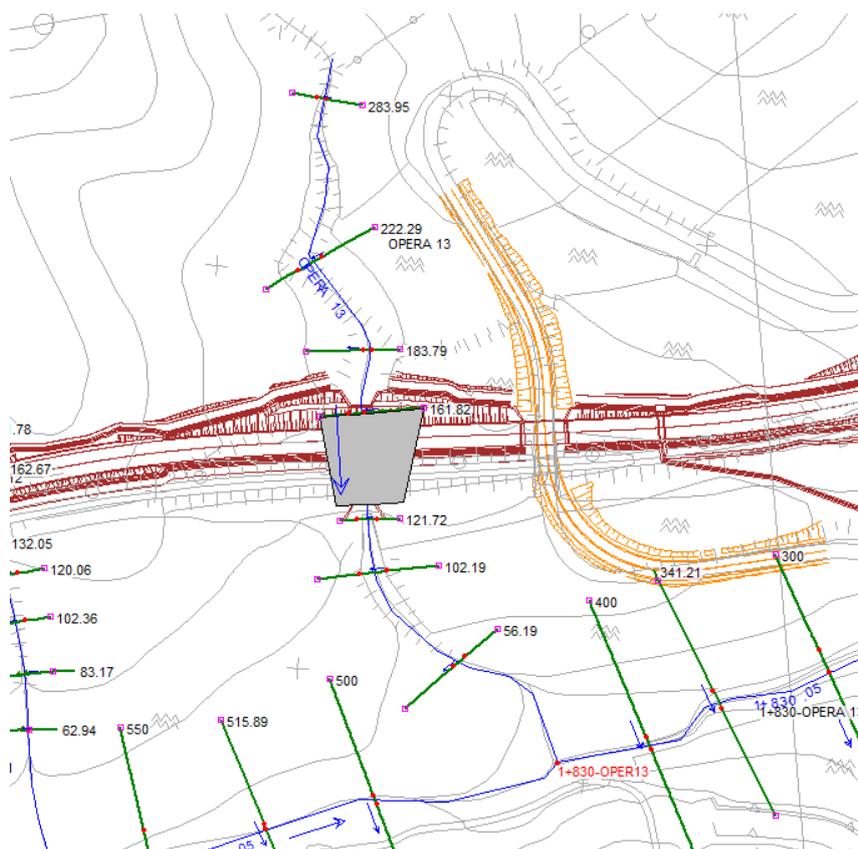


Figura 107: Planimetria Hec ras –SDP

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
OPERA 13	283.95	PF 1	31.67	369.95	371.27	371.46	371.91	0.035033	4.10	10.34	16.56	1.28
OPERA 13	222.29	PF 1	31.67	367.71	368.76	368.99	369.49	0.044078	3.86	8.85	14.75	1.41
OPERA 13	183.79	PF 1	31.67	365.51	367.28	367.59	368.32	0.021364	5.19	9.19	9.87	1.35
OPERA 13	161.82	PF 1	31.67	364.41	365.29	365.93	367.52	0.072182	6.63	4.90	6.42	2.35
OPERA 13	160	Culvert										
OPERA 13	121.72	PF 1	31.67	364.32	366.43	365.60	366.67	0.003887	2.14	14.79	7.00	0.47
OPERA 13	102.19	PF 1	31.67	364.16	366.54	365.21	366.59	0.000608	0.99	32.04	18.09	0.24
OPERA 13	56.19	PF 1	31.67	362.88	366.56	364.44	366.57	0.000077	0.42	114.14	44.34	0.07

Figura 108: Risultati Hec ras –SDP

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

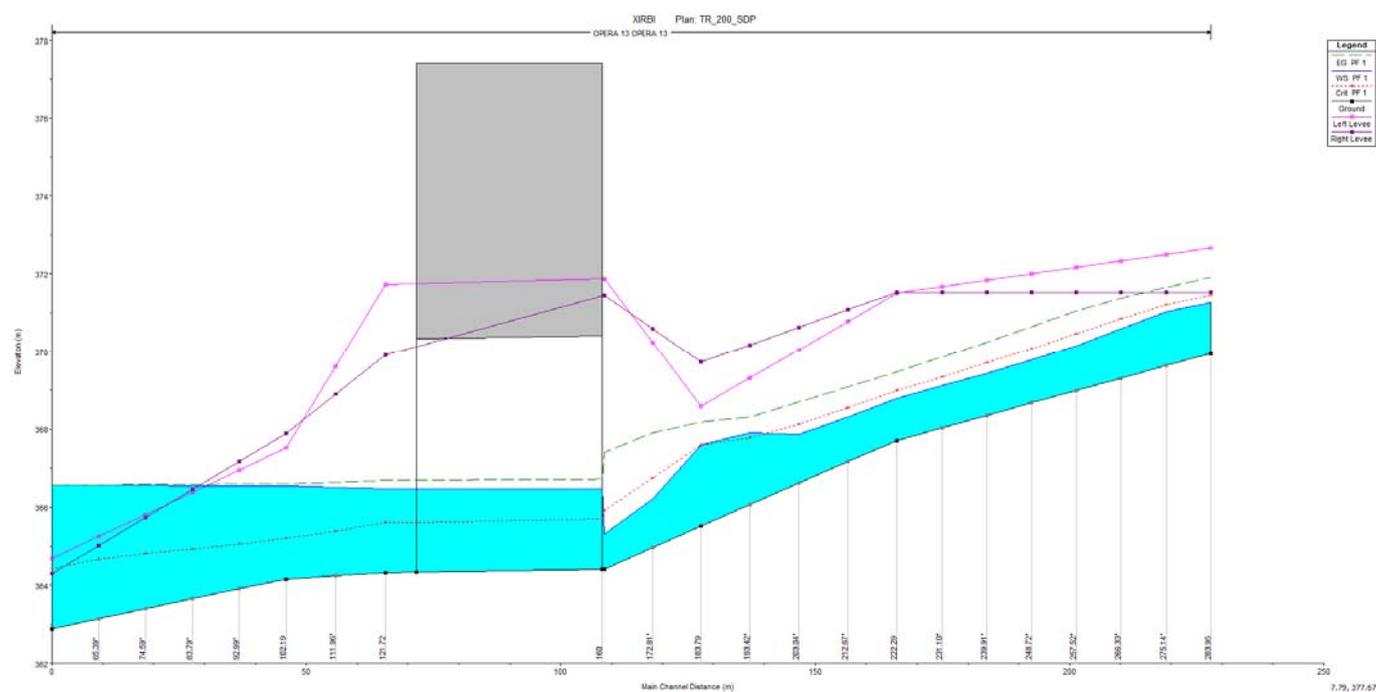


Figura 109: Profilo Hec ras –SDP

Il tirante che si instaura all'interno del tombino di progetto è pari a 2.1m al quale corrisponde un grado di riempimento pari al 34%.

L' intervento di sistemazione prevede la regolarizzazione delle sezioni esistenti all'imbocco e all' uscita del tombino di progetto con una sezione trapezia di base 7.0m rivestita in massi.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

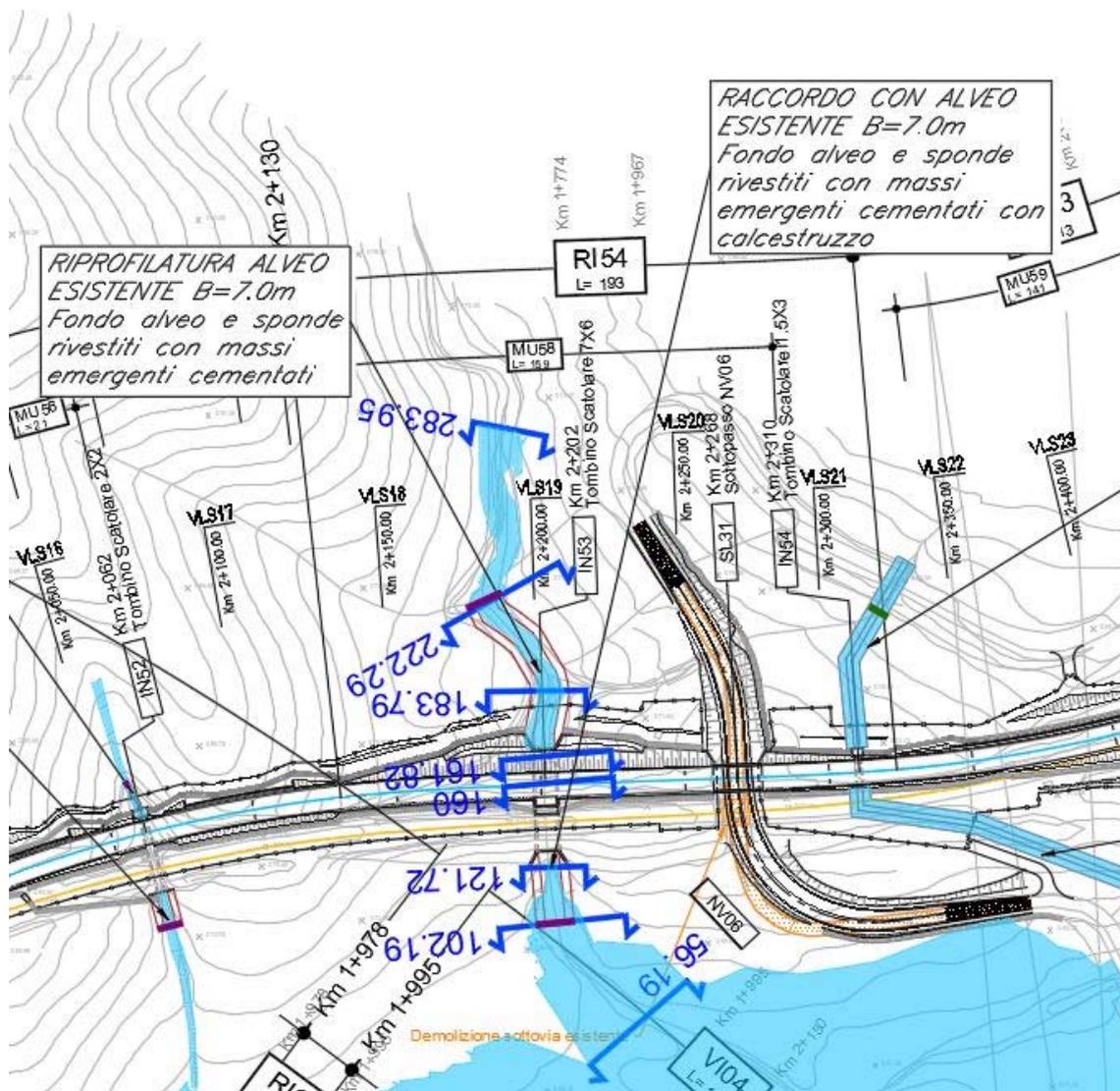


Figura 110: Profilo Hec ras –SDP

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 129 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 222	0.59	307.1	3.76	0.61

Tabella 32: Dati verifica

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 11.4, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.5. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}, \tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(o)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
307	599.37	397	1.95	1.3

Tabella 33: Verifica della stabilità delle protezioni

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 130 di 215

3.4 Interferenza alla progressiva 2+310 - Sistemazione IN54

Allo stato attuale il corso d'acqua esistente attraversa la viabilità in due punti prima del recapito nel corso d'acqua alla pk 2+200 (opera 12).

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

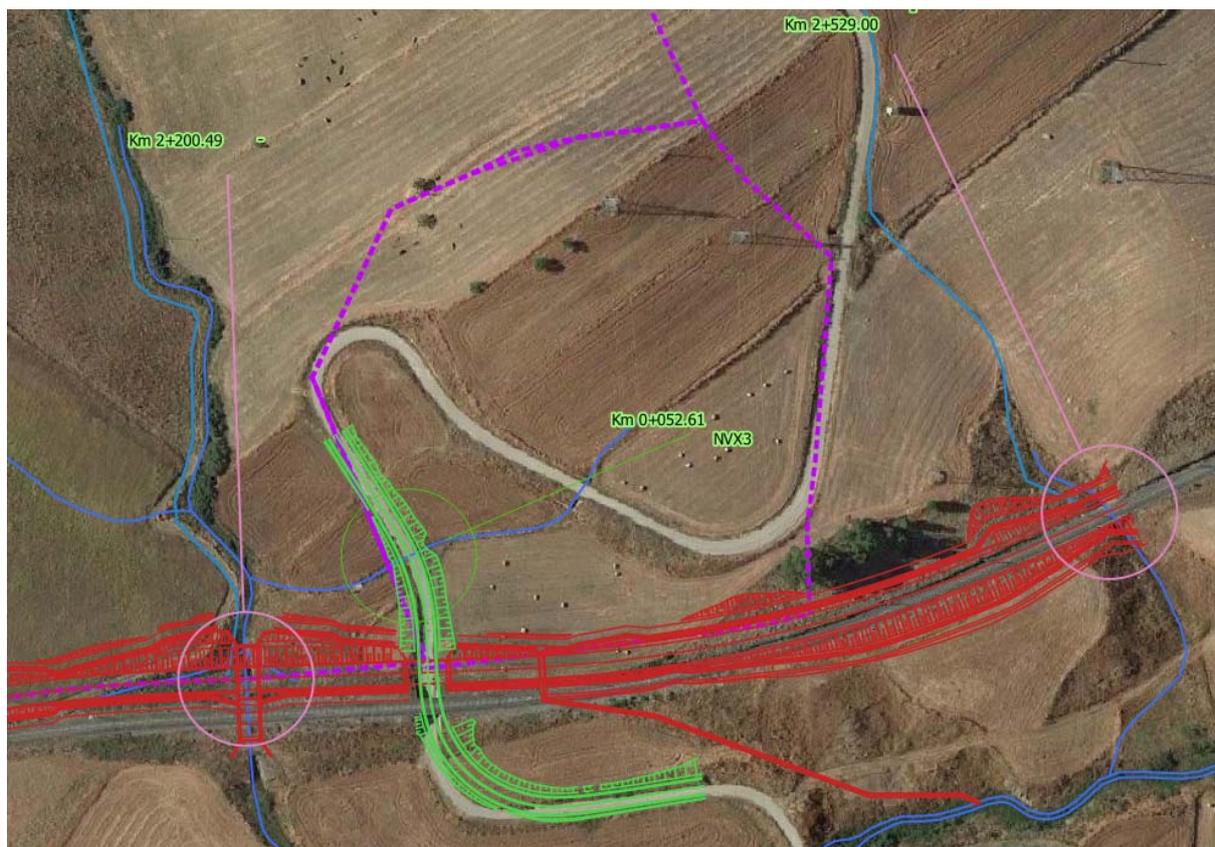


Figura 111: Inquadramento dell'opera

Il progetto prevede di deviare il corso d'acqua subito a valle del primo tombino fino alla pk 2+310 del rilevato ferroviario di progetto per poi attraversarlo con un tombino di dimensioni 2x2m.

A valle del tombino si prevede la realizzazione di un canale di forma trapezia e base 2m fino al recapito nel corso d'acqua principale.

Per la verifica a moto uniforme della sezione a monte del tombino, è stata imposta una sezione trapezia di base 2 metri, pendenza delle sponde 3:2 e pendenza di 4.5%. Il tirante ottenuto dalla verifica a moto uniforme risulta pari a 0.3 m. L'altezza media della sezione di progetto è circa 3m.

Nel seguente paragrafo si riporta i risultati della verifica idraulica del tombino eseguita con il software HY8.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 131 di 215

3.4.1 Risultati simulazione TR 200 anni HY8

Di seguito si riportano le caratteristiche del tombino scatolare:

- Dimensioni: 2.0x2.0m; Lunghezza: 11.50m
- Inlet Elevation (invert): 371.5 m s.m.m.
- Outlet Elevation (invert): 371.46 m s.m.m.

Come condizione al contorno di valle è stata imposta una sezione trapezia di base 2.0m, pendenza 0.3% e sponde con pendenza 3:2. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati ottenuti dall' analisi idraulica per la portata di progetto.

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
1.10	1.10	372.04	0.54	0.54	2-M2c	0.35	0.31	0.31	0.22	1.75	2.37

Tabella 3-34 – Risultati HY-8

Per la verifica è stato considerato il livello idrico all'imbocco (Headwater Elevation). Il tombino risulta quindi verificato con un grado di riempimento pari al 27%.

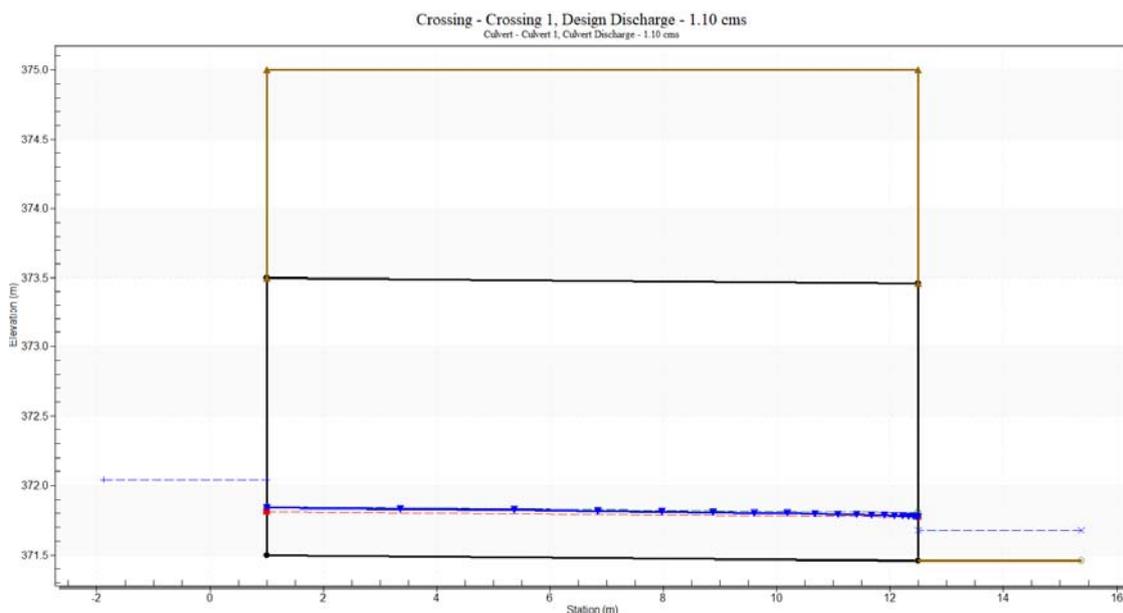


Figura 112: Profilo HY8

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 132 di 215

3.5 Interferenza alla progressiva 3+459 - Sistemazione IN37

Nel tratto in esame la nuova linea è prevista in viadotto. Il tracciato del corso d'acqua è interferente con le pile del viadotto pertanto è stata prevista una soluzione post operam con una lieve deviazione del percorso al fine di eliminare l'interferenza.

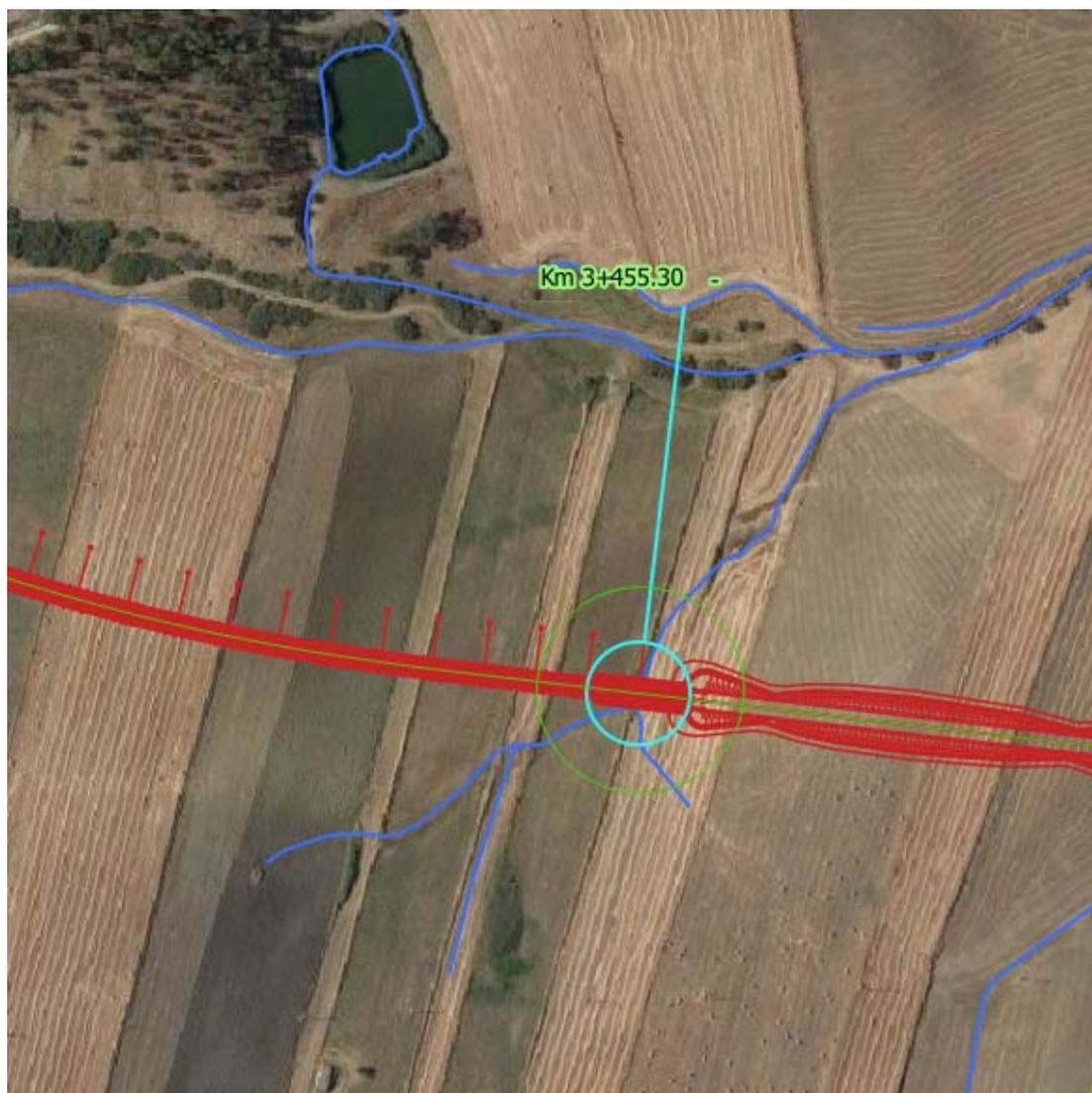


Figura 113: Inquadramento

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 4.20 m³/s.

Il progetto prevede la regolarizzazione delle sezioni a monte e a valle del viadotto con una protezione del fondo e delle sponde in massi cementati.

3.5.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

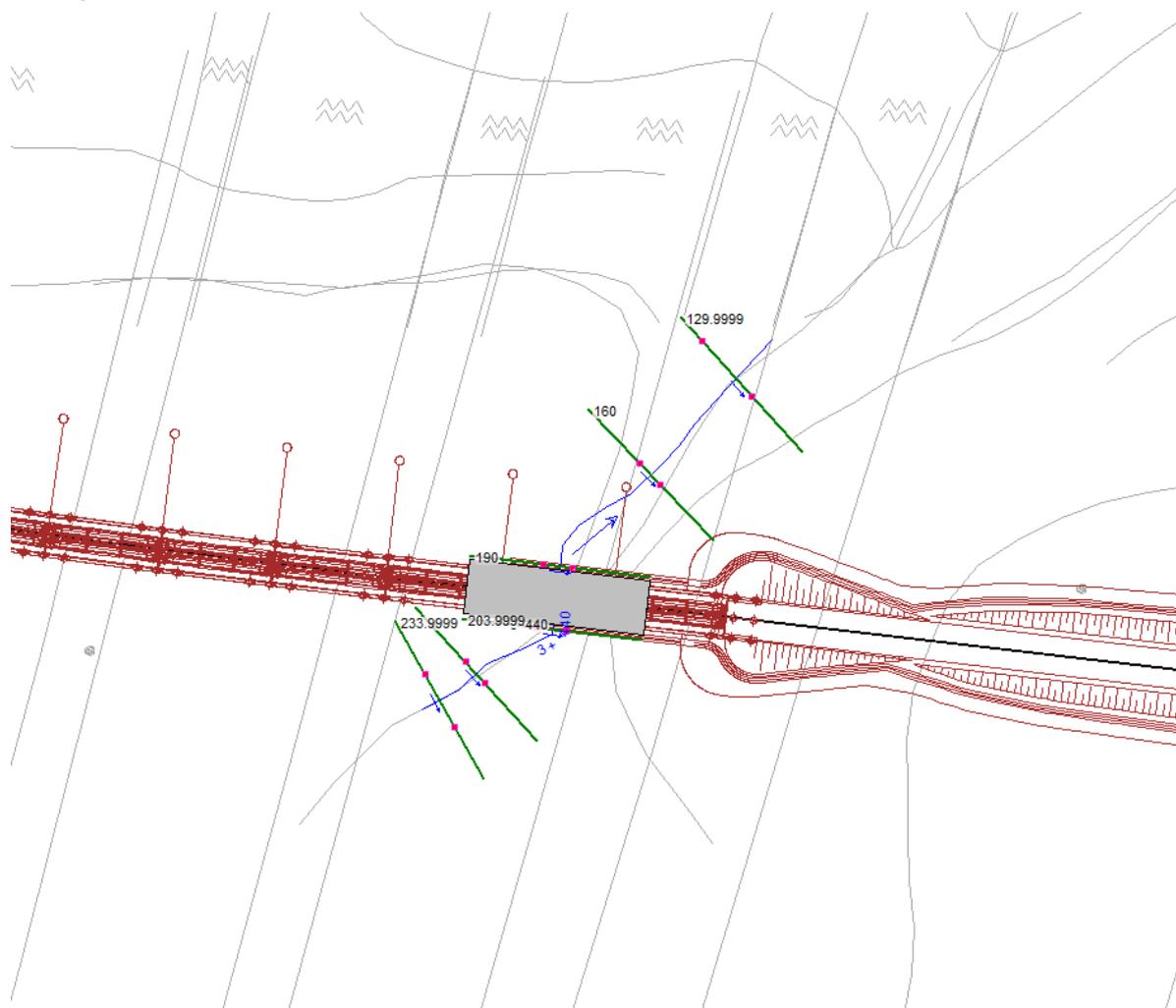


Figura 114: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
3+440	233.9999	PF 1	4.20	361.01	361.36	361.39	361.52	0.050999	1.76	2.39	11.75	1.23
3+440	223.9999	PF 1	4.20	359.61	359.97	360.14	360.53	0.115650	3.34	1.26	4.07	1.92
3+440	203.9999	PF 1	4.20	358.91	359.68	359.44	359.77	0.007506	1.30	3.22	5.32	0.53
3+440	195		Bridge									
3+440	190	PF 1	4.20	358.85	359.38	359.38	359.60	0.028151	2.07	2.03	4.60	0.99
3+440	160	PF 1	4.20	357.87	358.53	358.40	358.66	0.013702	1.61	2.61	4.97	0.71
3+440	129.9999	PF 1	7.40	357.50	358.09	358.09	358.24	0.030954	1.72	4.30	14.43	1.01

Tabella 35: Risultati simulazione post operam

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

Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

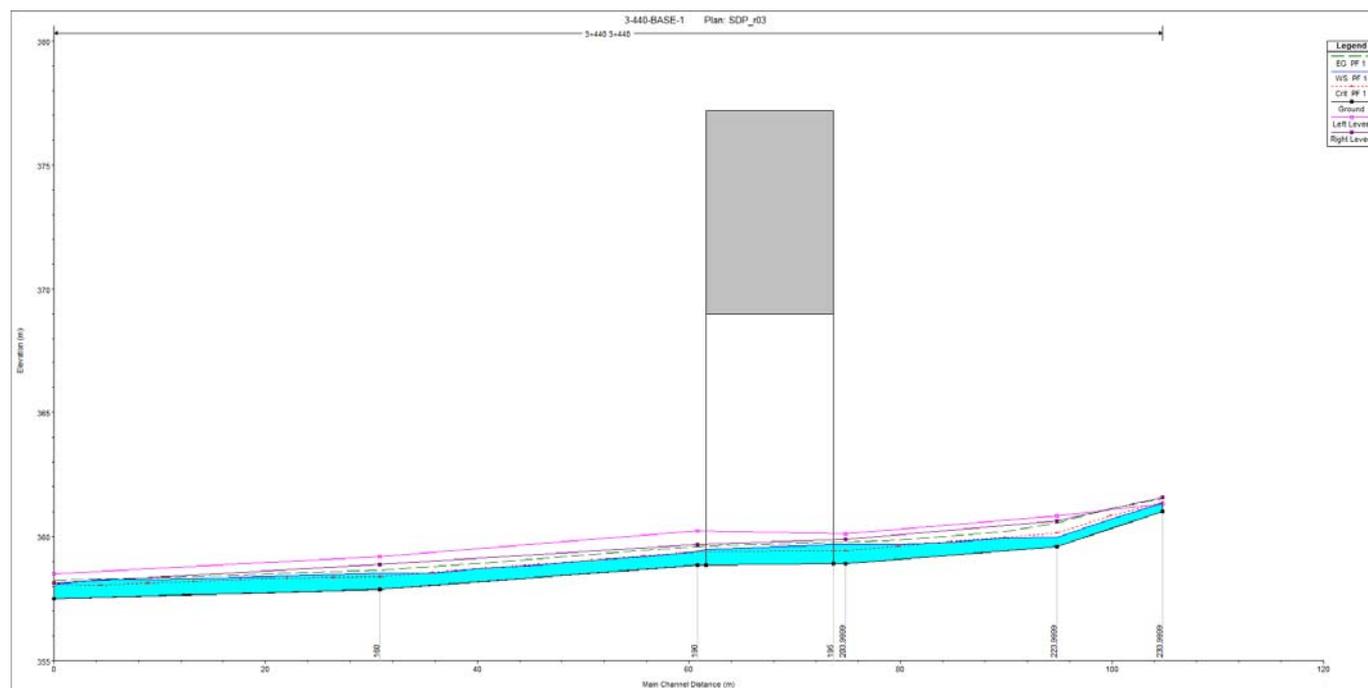


Figura 115: Profilo idrico post operam TR 200 anni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 135 di 215

3.5.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una deviazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 3 m e pendenza delle sponde 1:1 tra le sezioni 223.99 e 160.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm.

Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

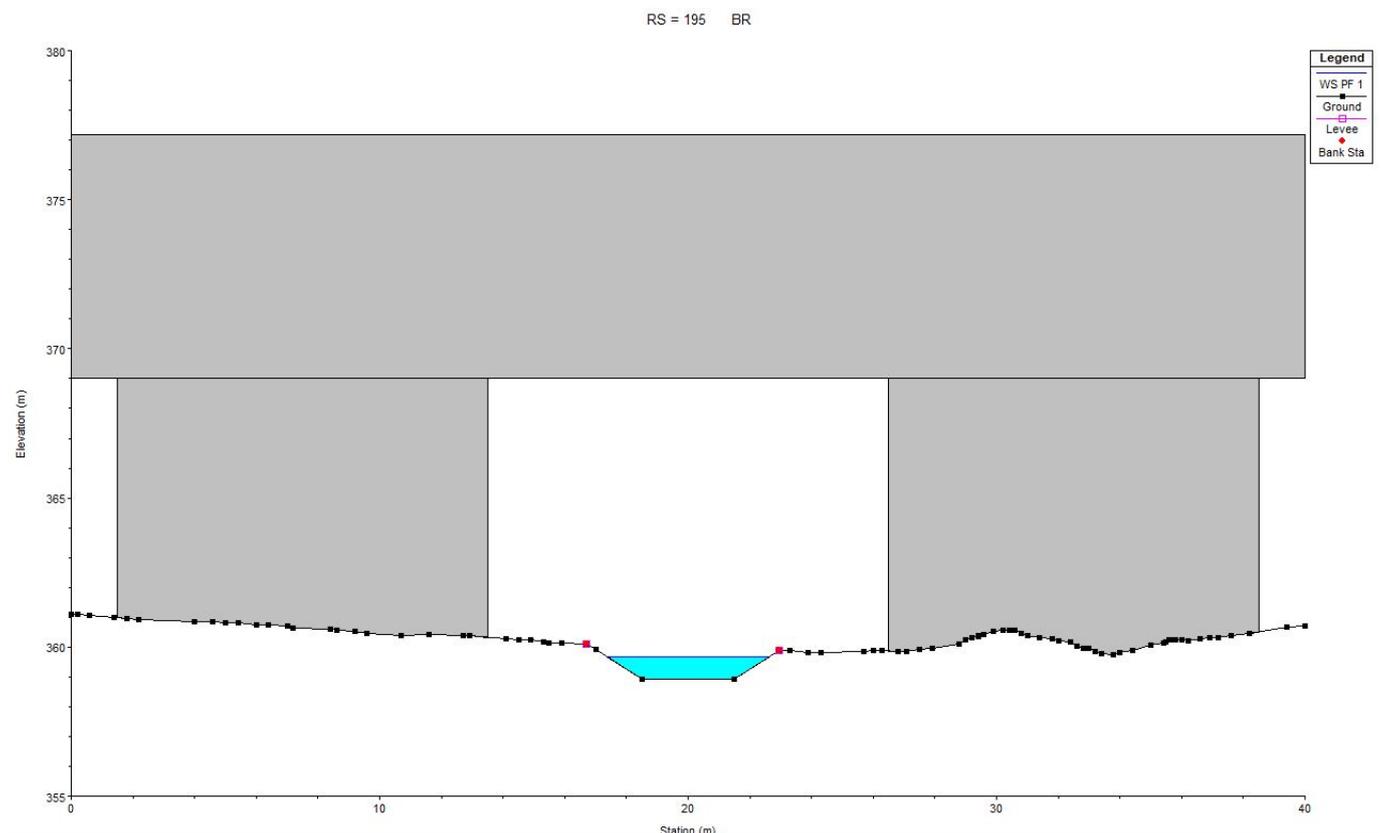


Figura 116: Sezione trasversale del viadotto: 195

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

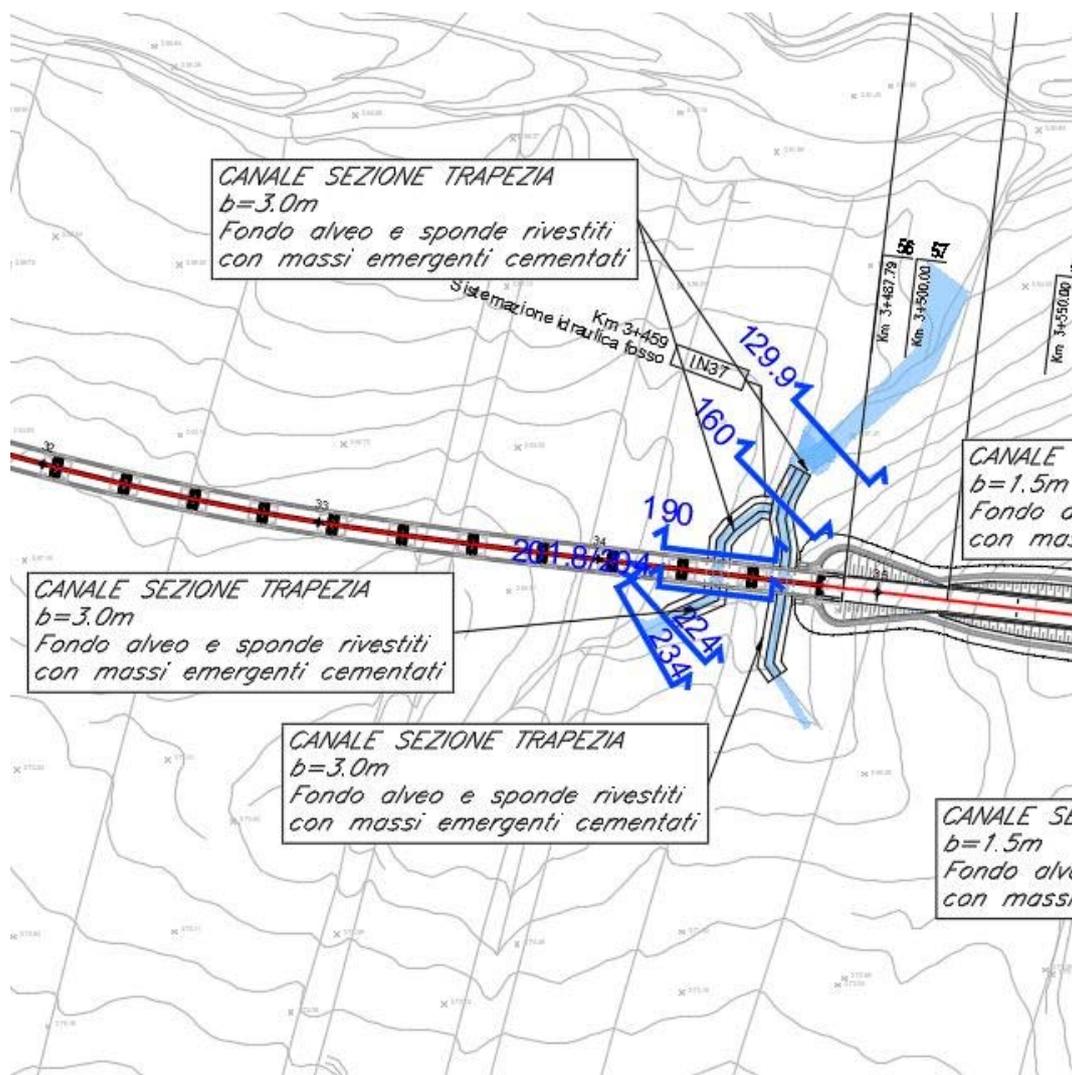


Figura 117: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 137 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 223.999	0.29	333.06	3.3	0.31

Tabella 36: Dati verifica

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 9.68, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.78. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (T_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

T_{max}	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
333.06	684.28	453	2.1	1.4

Tabella 37: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.6 Interferenza alla progressiva 3+465 - Sistemazione IN37

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 138 di 215

Nel tratto in esame la nuova linea è prevista in viadotto. Il tracciato del corso d'acqua è interferente con le pile del viadotto pertanto è stata prevista una soluzione post operam con una lieve deviazione del percorso fino al collegamento con il corso d'acqua della pk 3+440.

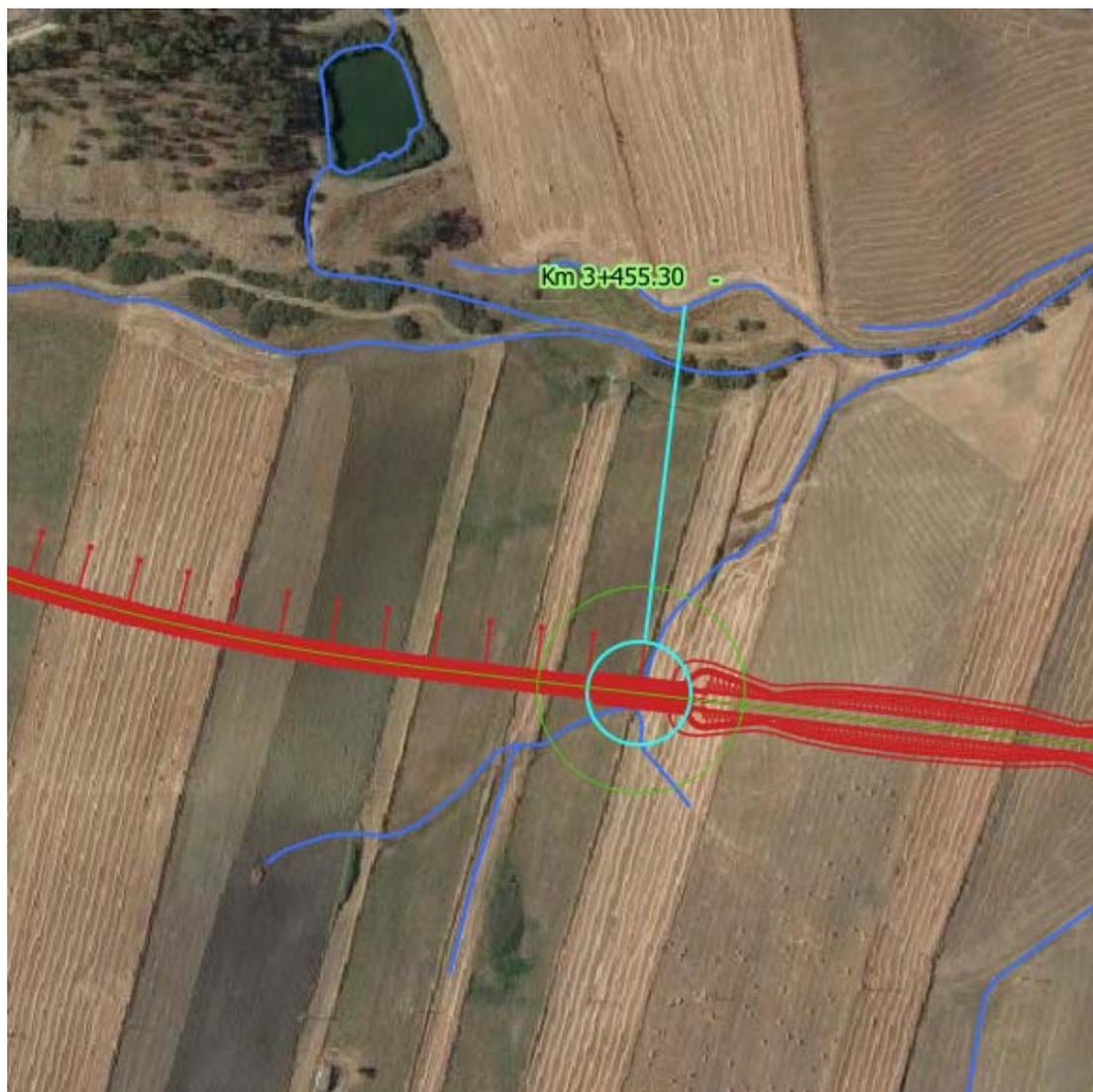


Figura 118: Inquadramento

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il progetto prevede la regolarizzazione delle sezioni a monte e a valle del viadotto con una protezione del fondo e delle sponde in massi cementati.

3.6.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

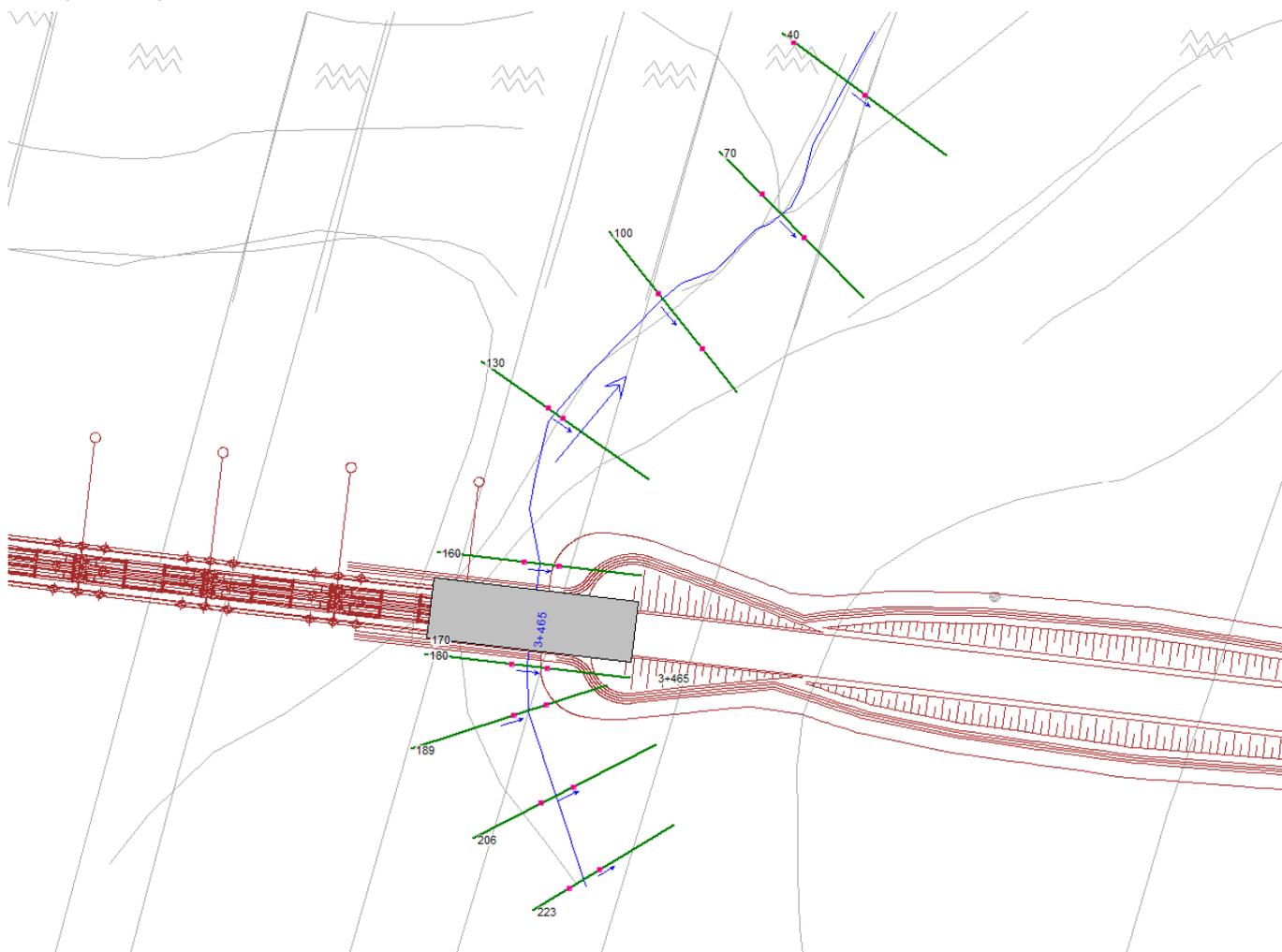


Figura 119: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch EI), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
3+465	223	PF 1	3.20	362.97	363.28	363.42	363.73	0.106055	2.96	1.08	3.93	1.81
3+465	206	PF 1	3.20	362.02	362.40	362.47	362.69	0.055113	2.38	1.34	4.13	1.33
3+465	189	PF 1	3.20	360.57	360.90	361.02	361.28	0.083017	2.73	1.17	4.00	1.61
3+465	180	PF 1	3.20	360.00	360.61	360.45	360.70	0.010449	1.35	2.37	4.82	0.61
3+465	170		Bridge									
3+465	160	PF 1	3.20	358.83	359.28	359.28	359.47	0.029377	1.92	1.66	4.36	0.99
3+465	130	PF 1	7.40	357.77	358.37	358.37	358.55	0.021019	2.21	4.70	12.41	0.92
3+465	100	PF 1	7.40	356.04	356.70	356.78	357.00	0.052204	2.43	3.04	8.91	1.33
3+465	70	PF 1	7.40	354.16	354.77	354.86	355.07	0.064201	2.42	3.06	10.62	1.44
3+465	40	PF 1	7.40	352.76	353.20	353.23	353.36	0.048459	1.82	4.27	19.56	1.21

Tabella 38: Risultati simulazione post operam

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

Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

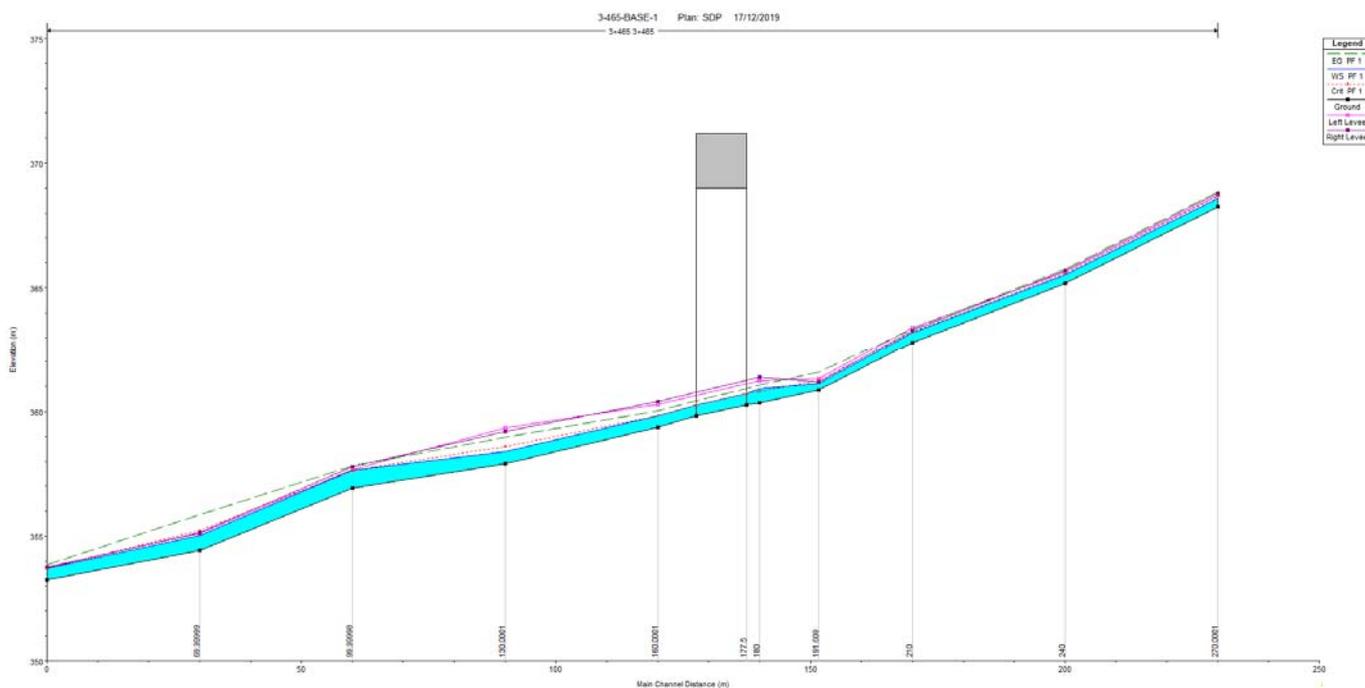


Figura 120: Profilo idrico post operam TR 200 anni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA				
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D FOGLIO 141 di 215

3.6.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una deviazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 3 m e pendenza delle sponde 3:2 tra le sezioni 223 e 130. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm.

Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

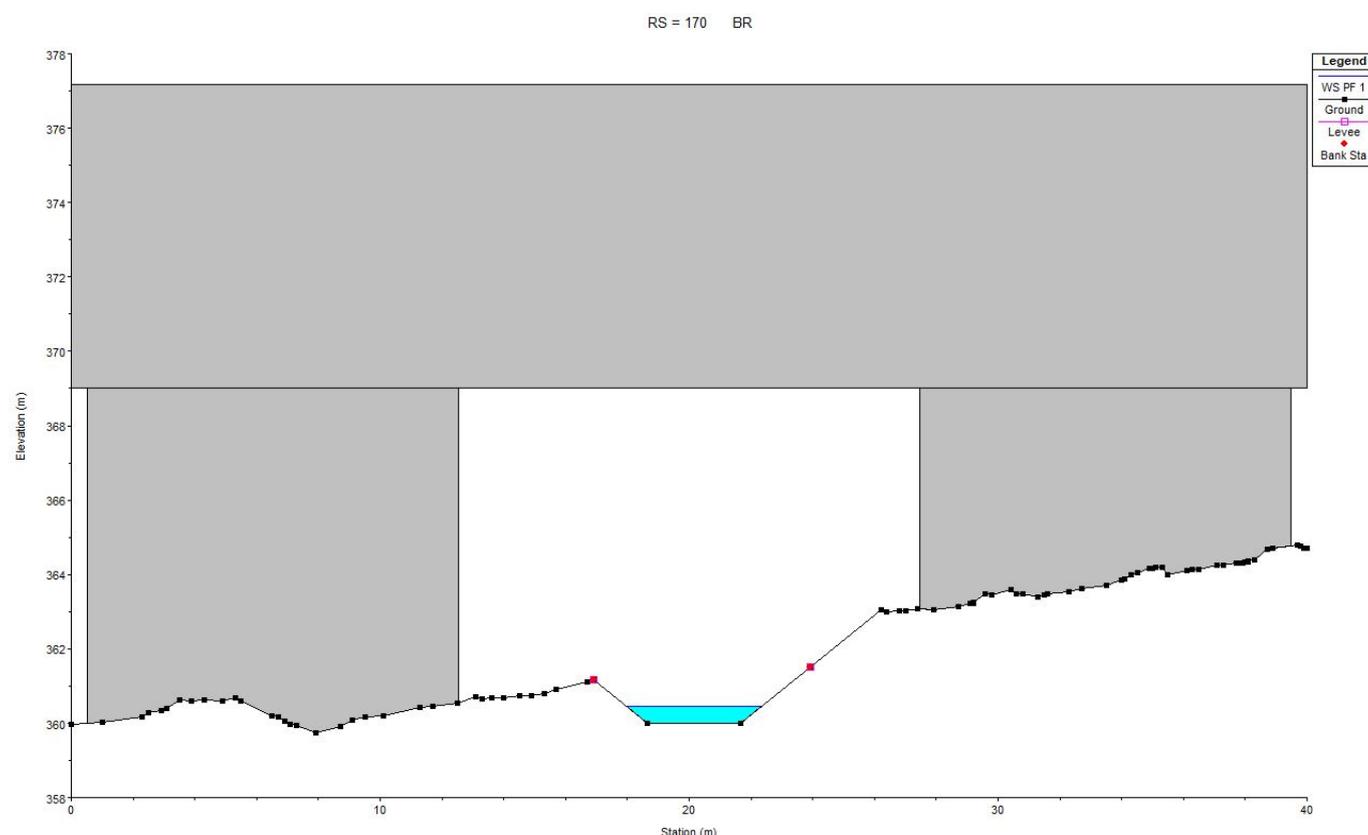


Figura 121: Sezione trasversale del viadotto:170

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

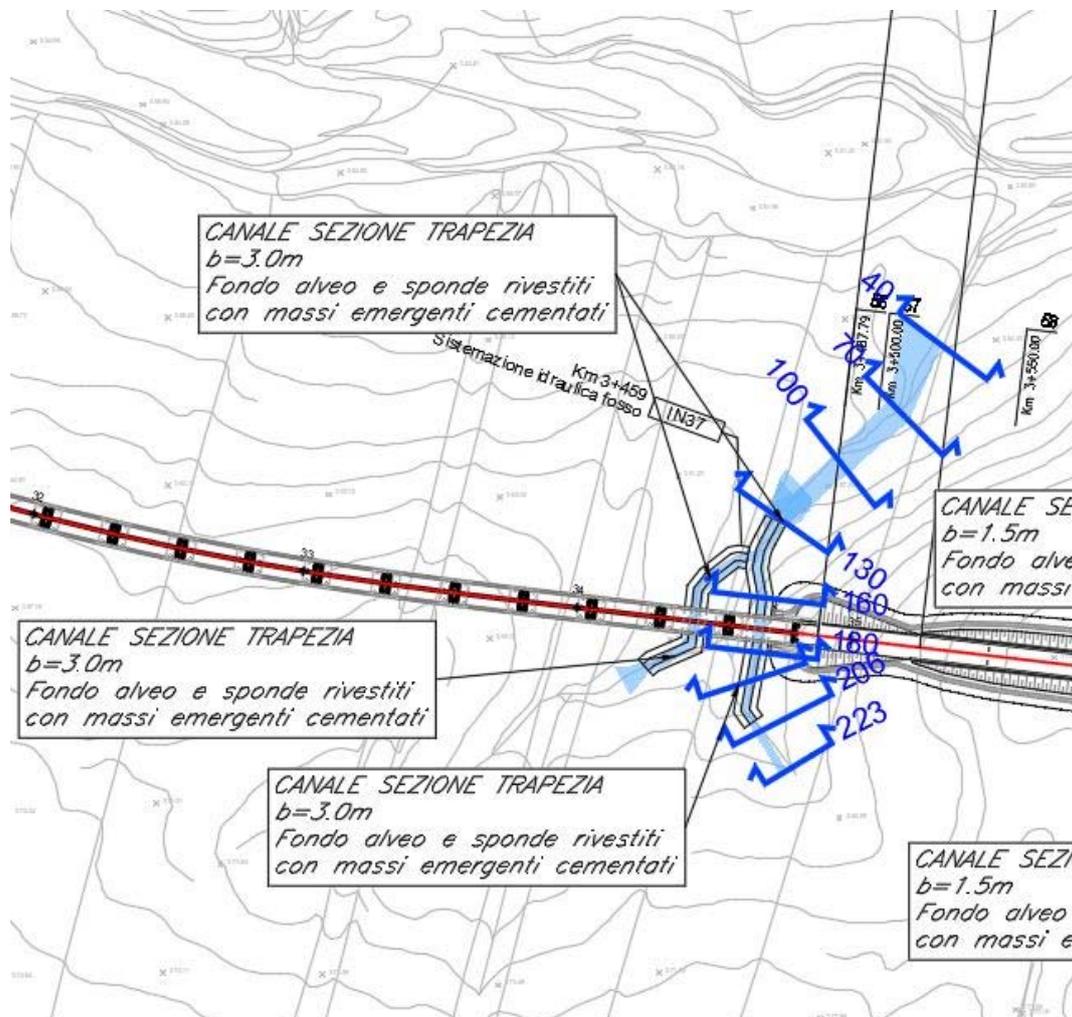


Figura 122: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 223	0.26	272.43	2.93	0.27

Tabella 39: Dati verifica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 143 di 215

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 11.11, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.68. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(o)}$	$\tau_{cr,(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
272.4	705.4	467	2.59	1.71

Tabella 40: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 144 di 215

3.7 Interferenza alla progressiva 3+744 – Tombino IN04

Nel tratto in esame la nuova linea si colloca a monte di circa 700m dalla viabilità esistente. Il nuovo rilevato di progetto interferisce con il corso d'acqua alla pk 3+744.

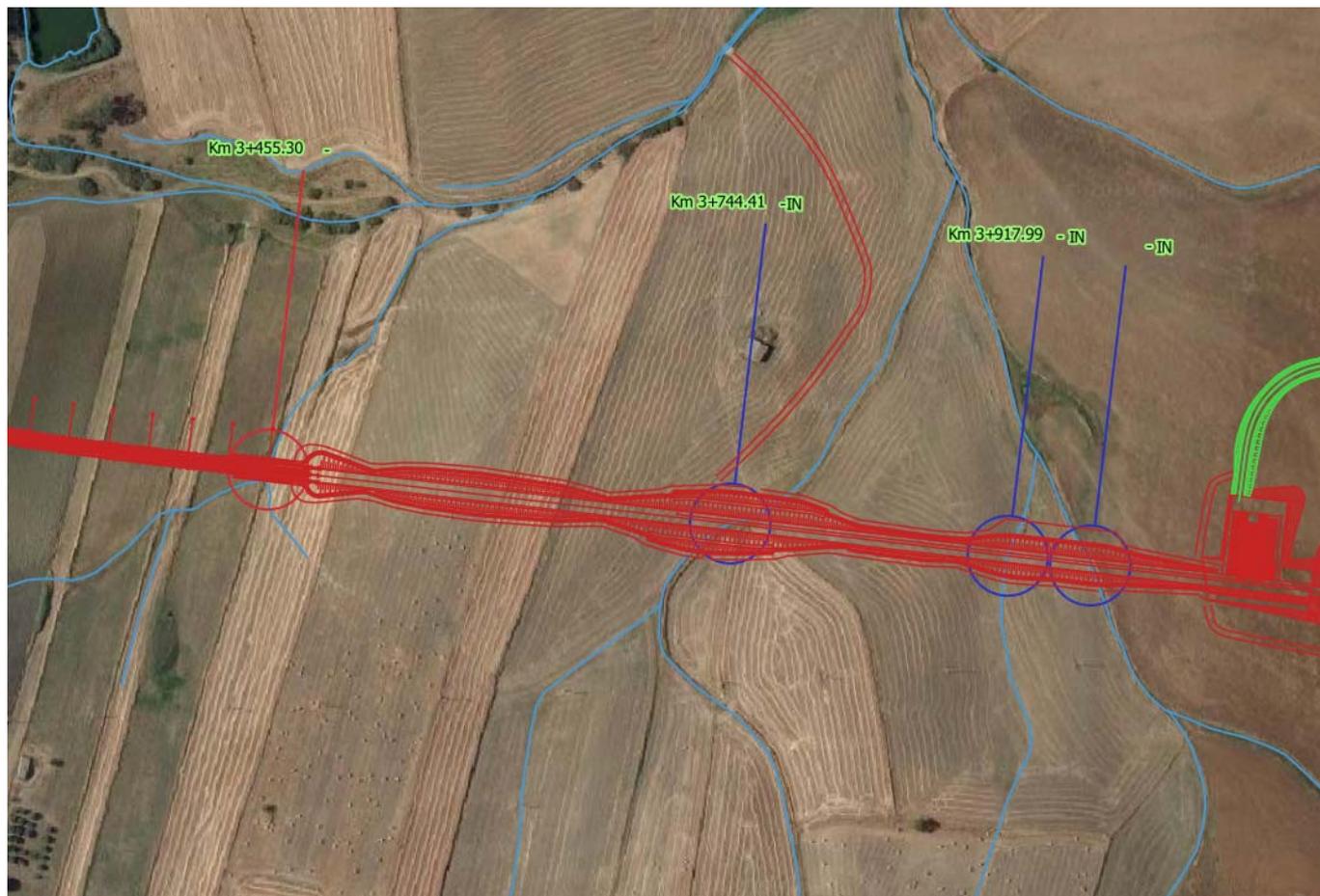


Figura 123: Inquadramento

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $8.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensioni $3 \times 3 \text{ m}$ e la regolarizzazione delle sezioni di deflusso a monte e a valle dell'opera.

3.7.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.



Figura 124: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
3-744	399.7391	PF 1	4.20	370.20	370.53	370.68	371.02	0.089997	3.09	1.36	6.19	2.11
3-744	339.9977	PF 1	4.20	364.96	365.51	365.74	366.27	0.069316	3.87	1.09	2.10	1.72
3-744	309.9983	PF 1	4.20	362.67	363.14	363.40	363.95	0.086200	3.98	1.05	2.93	2.12
3-744	279.9987	PF 1	4.20	360.78	361.29	361.47	361.83	0.055212	3.26	1.29	3.56	1.73
3-744	249.999	PF 1	4.20	358.93	360.08	359.60	360.12	0.001321	0.93	5.38	21.80	0.31

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	95	PF 1	4.20	361.00	361.63	361.72	362.01	0.030005	2.72	1.54	3.39	1.29
Reach 1	66	PF 1	4.20	360.13	360.76	360.86	361.14	0.030002	2.72	1.54	3.39	1.29
Reach 1	21	PF 1	4.20	358.80	360.08	359.53	360.12	0.001640	0.94	4.94	11.30	0.33

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
3-744_new_river	219.9995	PF 1	8.40	357.71	358.74	358.74	359.07	0.015665	2.55	3.30	4.90	0.99
3-744_new_river	209.9996	PF 1	8.40	357.32	358.75	358.31	358.85	0.003254	1.39	6.05	6.96	0.48
3-744_new_river	207.77		Culvert									
3-744_new_river	169.9997	PF 1	8.40	356.54	357.24	357.59	358.34	0.077367	4.64	1.81	3.62	2.10
3-744_new_river	139.9997	PF 1	8.40	355.89	356.90	356.90	357.22	0.015651	2.51	3.35	5.17	1.00
3-744_new_river	109.9997	PF 1	8.40	355.00	356.01	356.01	356.15	0.009771	2.04	7.64	24.94	0.74
3-744_new_river	90.00004	PF 1	8.40	354.39	355.21	355.37	355.73	0.048625	3.39	3.15	10.06	1.31
3-744_new_river	59.99994	PF 1	8.40	353.45	354.43	354.44	354.67	0.023430	2.53	5.54	23.78	0.95
3-744_new_river	29.99991	PF 1	8.40	352.56	353.37	353.47	353.66	0.052570	2.99	5.00	31.03	1.39

Tabella 41: Risultati simulazione post operam

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

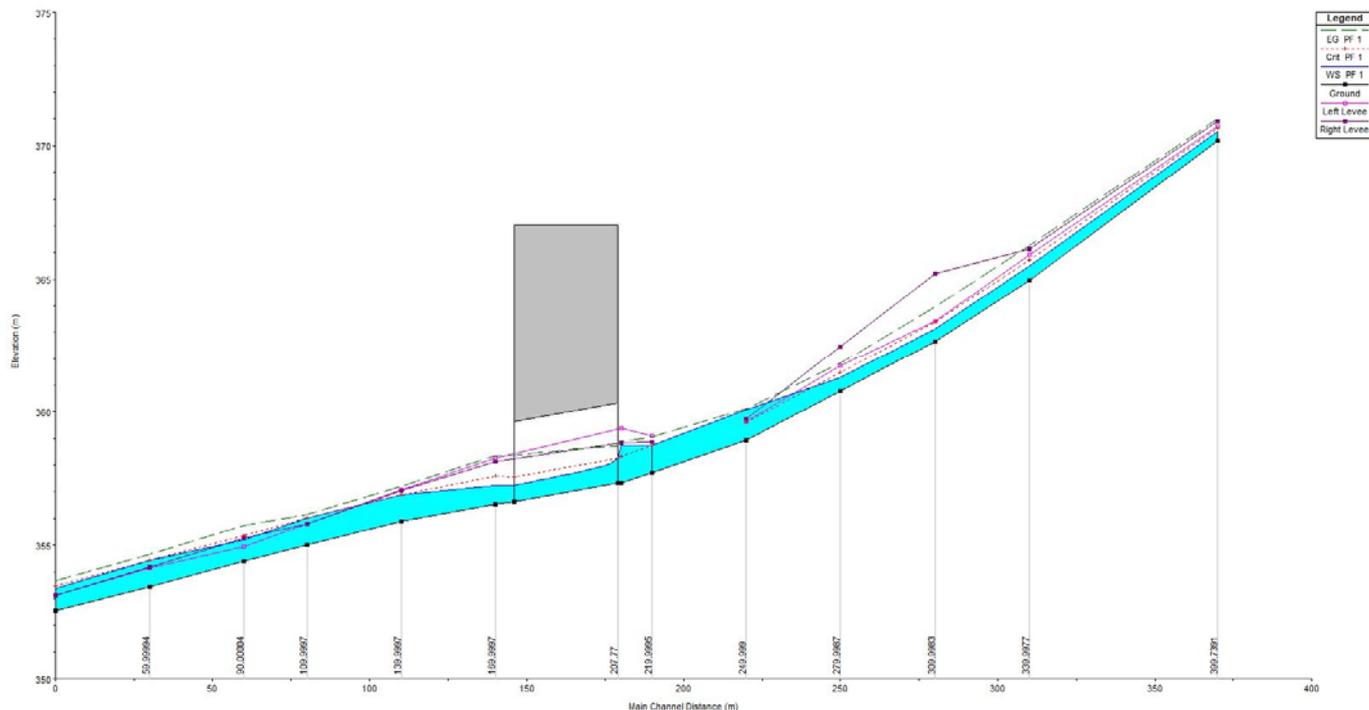


Figura 125: Profilo idrico post operam TR 200 anni: 3+744

Il tirante massimo che si instaura nell'opera è pari a 1.43m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 48%.

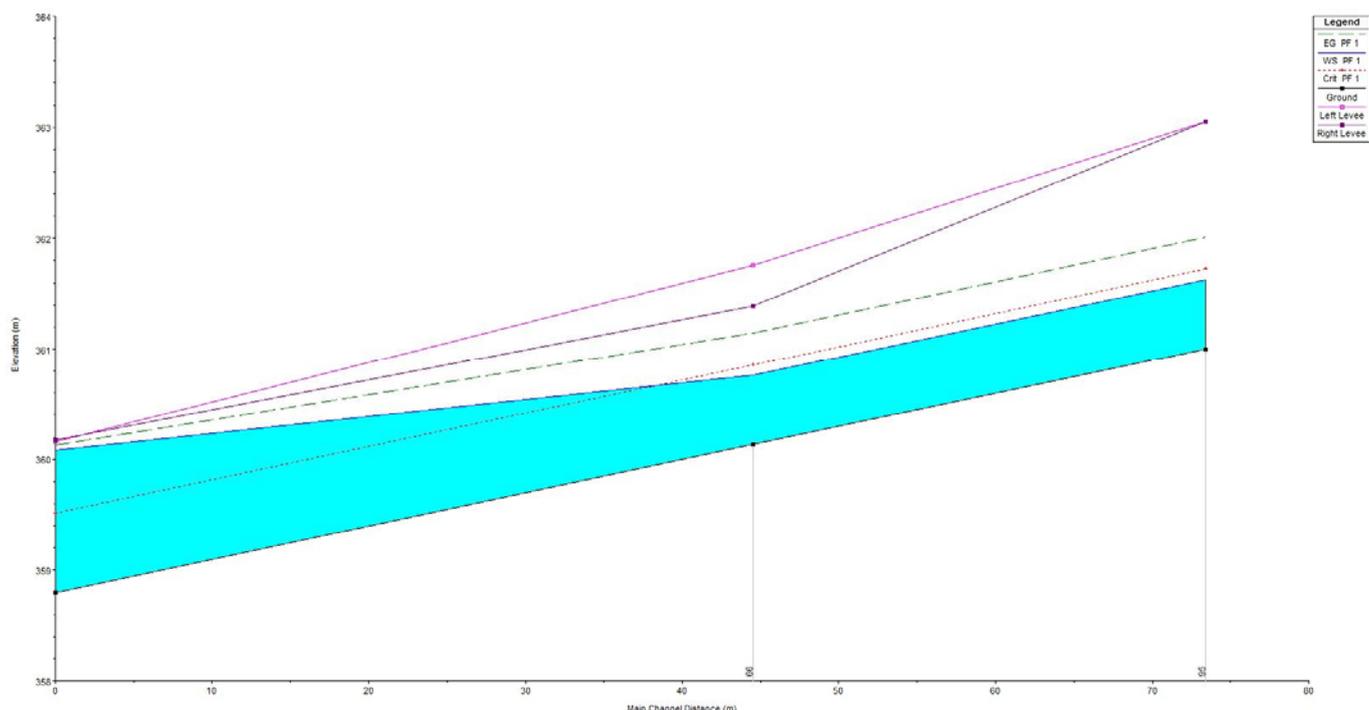


Figura 126: Profilo idrico post operam TR 200 anni: river 1

3.7.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede la regolarizzazione del corso d'acqua denominato 3+744, secondo una sezione trapezia di base 1.5m e pendenza delle sponde 3:2 tra le sezioni 309.99 e 59.99, a cui si unirà un altro corso d'acqua esistente, a valle della sezione 250, il cui intervento di regolarizzazione prevede la realizzazione di una sezione trapezia di base 1.5 m e pendenza delle sponde 3:2, dalla sezione 95 fino alla confluenza nel 3+744. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

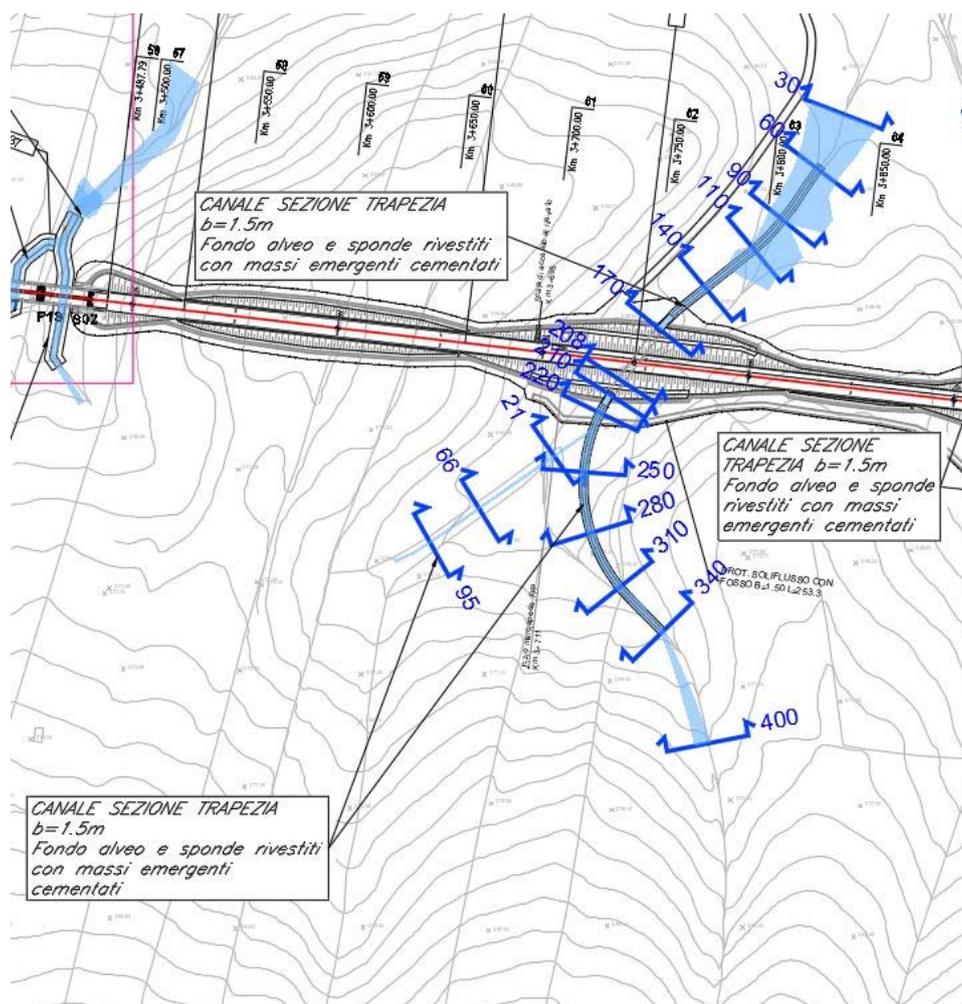


Figura 127: Planimetria di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 149 di 215

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R _H	T ₀	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 309.99	0.44	364.21	4.80	0.49

Tabella 42: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 3.06, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($T_{max, fondo}$) e sulle sponde ($T_{max, sponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($T_{cr(\alpha)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.98 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($T_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($T_{max, fondo}$, $T_{max, sponde}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($T_{cr(\alpha)}$, $T_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F0 e F α rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 150 di 215

β_{fondo}	β_{sponde}	$T_{\text{max,fondo}}$	$T_{\text{max,sponde}}$	$T_{\text{cr}(0)}$	$T_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	509.89	400.63	814.42	539	1.6	1.35

Tabella 43: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.8 Interferenze alla progressiva 3+917 - Tombino IN05 e progressiva 3+969 -Tombino IN06

Nel tratto in esame la nuova linea si colloca a monte di circa 700m dalla viabilità esistente. Il nuovo rilevato di progetto interferisce con i corsi d' acqua alle pk 3+917 e 3+969.

I corsi d' acqua si uniscono subito a valle del rilevato di progetto.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 2.9 m³/s per il corso d' acqua alla pk 3+917 e 23.9 m³/s per la pk 3+969.

Il progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensioni 2x3m per la pk 3+917 e un tombino di dimensioni 6x4m per la pk 3+969.

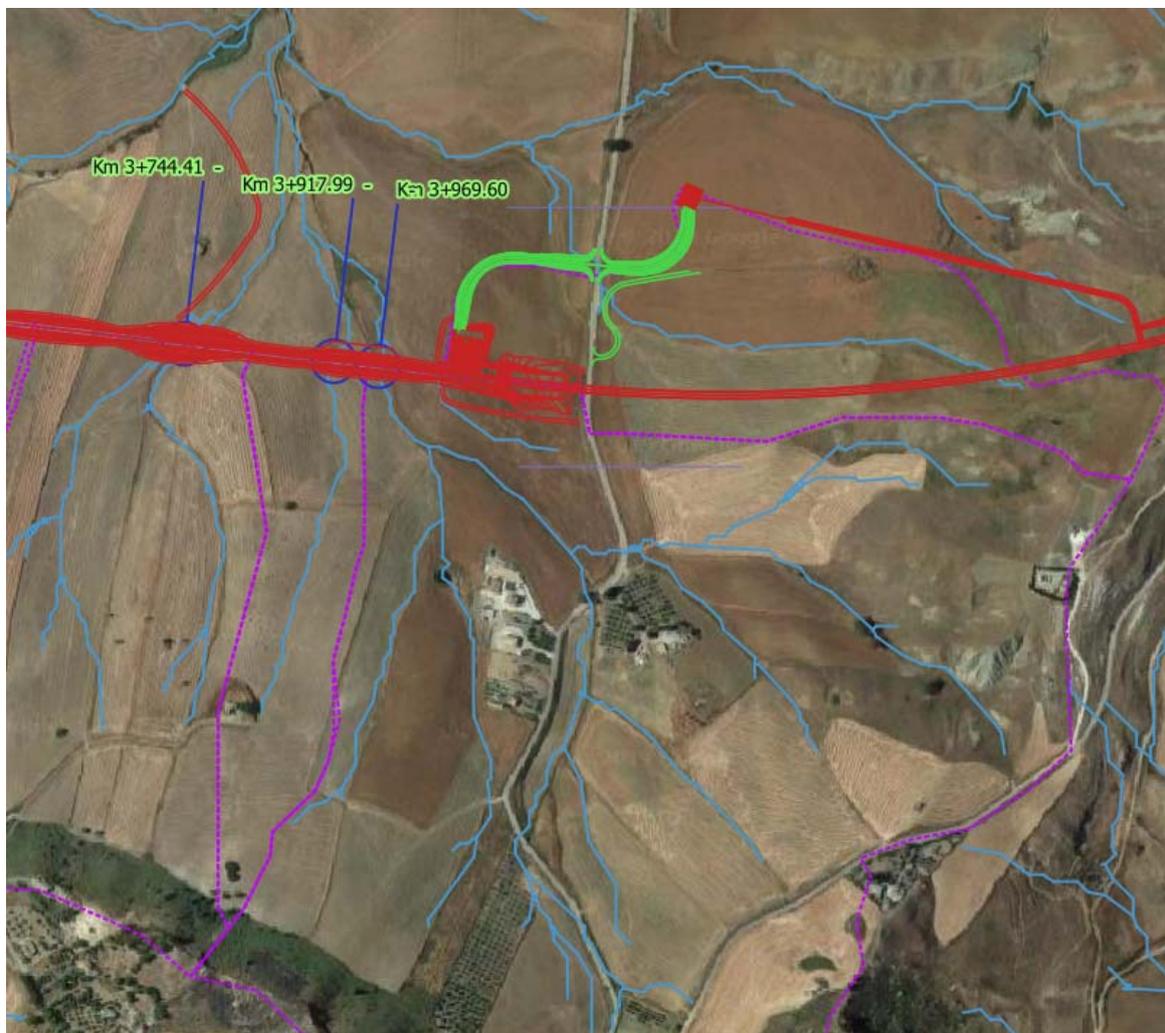


Figura 128: Inquadramento

3.8.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni –Tombino IN05 Pk 3+917 e Tombino IN06 Pk 3+969

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

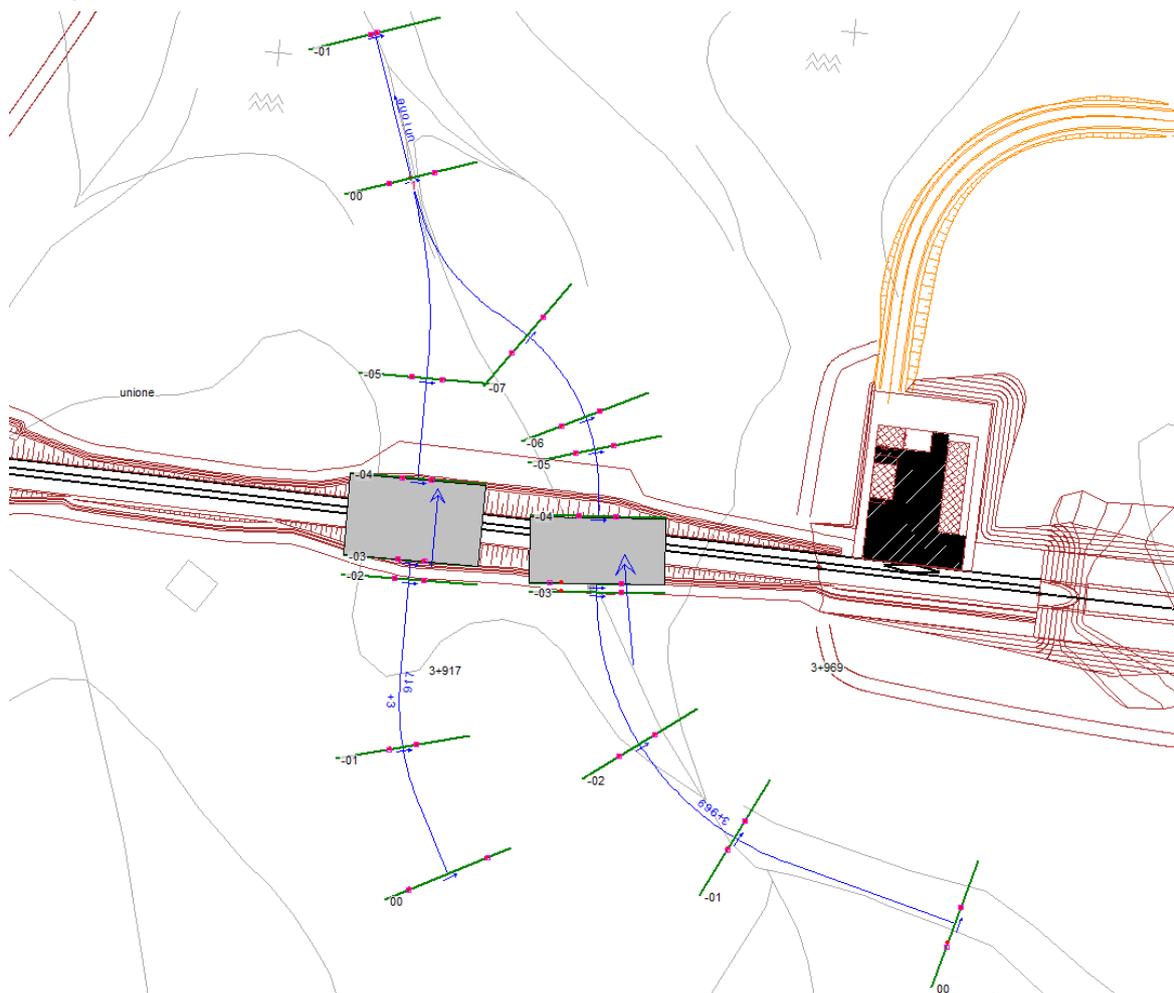


Figura 129: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unione	unione	00	PF 1	26.80	352.61	353.77	353.76	354.23	0.021856	3.01	8.91	9.48	0.99
unione	unione	-01	PF 1	26.80	351.84	352.84	352.84	353.10	0.026919	3.41	13.59	24.27	1.13
3+969	3+969	00	PF 1	23.90	361.61	362.74	363.06	363.77	0.060019	4.50	5.32	6.40	1.58
3+969	3+969	-01	PF 1	23.90	359.46	360.81	360.91	361.44	0.030416	3.51	6.80	7.07	1.14
3+969	3+969	-02	PF 1	23.90	358.14	359.25	359.51	360.10	0.031773	4.10	5.82	7.54	1.49
3+969	3+969	-03	PF 1	23.90	357.22	359.15	358.28	359.25	0.001578	1.37	17.43	12.09	0.36
3+969	3+969	-03.1	PF 1	23.90	357.19	359.15	358.26	359.24	0.001477	1.34	17.82	12.35	0.36
3+969	3+969	-03.2		Culvert									
3+969	3+969	-04	PF 1	23.90	356.99	357.93	358.06	358.53	0.021476	3.43	6.98	8.87	1.23
3+969	3+969	-05	PF 1	23.90	356.34	357.18	357.41	357.95	0.031442	3.89	6.14	8.63	1.47
3+969	3+969	-06	PF 1	23.90	355.97	356.78	357.04	357.62	0.034626	4.04	5.92	8.46	1.54
3+969	3+969	-07	PF 1	23.90	354.83	356.83	355.90	356.92	0.001441	1.33	17.95	11.99	0.35
3+917	3+917	00	PF 1	2.90	363.67	363.87	363.92	364.04	0.100052	1.83	1.59	11.93	1.60
3+917	3+917	-01	PF 1	2.90	359.54	359.98	360.13	360.46	0.091773	3.06	0.95	2.82	1.69
3+917	3+917	-02	PF 1	2.90	357.00	357.68	357.58	357.81	0.017023	1.65	1.76	3.70	0.77
3+917	3+917	-03	PF 1	2.90	356.70	357.70	357.29	357.75	0.003925	0.97	2.97	4.47	0.38
3+917	3+917	-03.1		Culvert									
3+917	3+917	-04	PF 1	2.90	356.47	356.84	356.84	357.00	0.030479	1.80	1.61	4.84	0.99
3+917	3+917	-05	PF 1	2.90	355.05	356.83	355.63	356.84	0.000315	0.38	7.65	7.09	0.12

Tabella 44: Risultati simulazione post operam

Nella figura seguente sono riportati i profili idrici di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

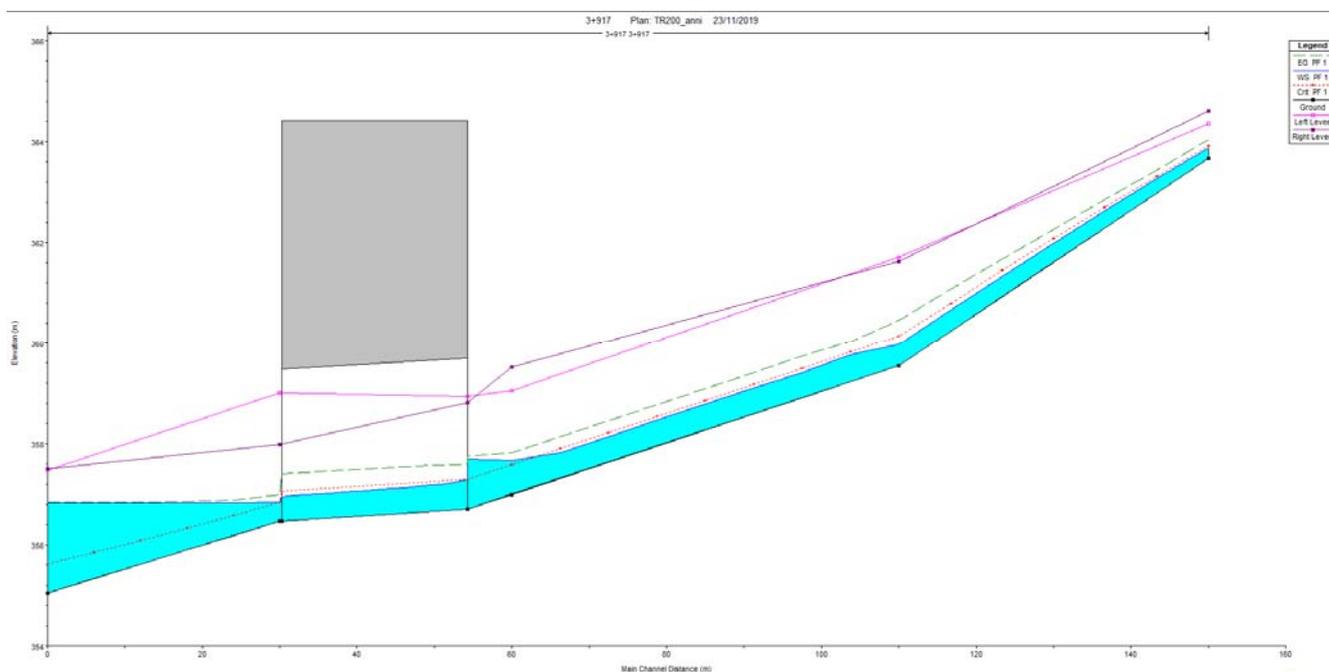


Figura 130: Profilo idrico post operam TR 200 anni 3+917

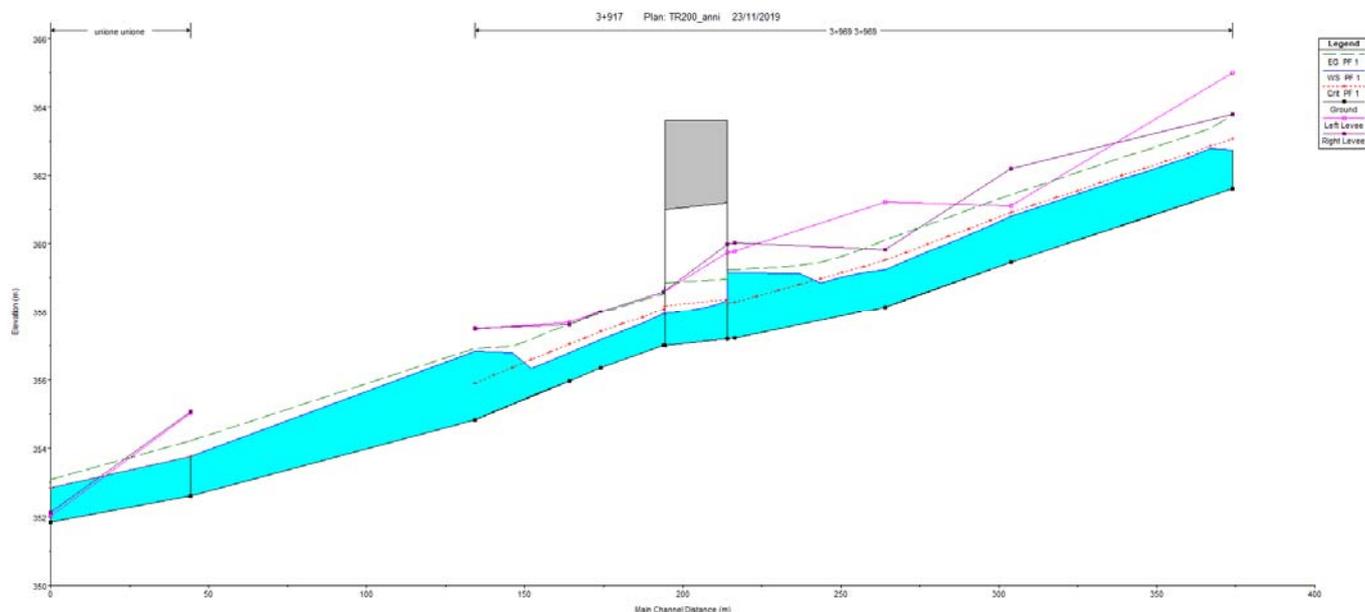


Figura 131: Profilo idrico post operam TR 200 anni 3+969 e unione

Il tirante massimo che si instaura nell'opera 3+917 è pari a 0.99m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 33.3%.

Il tirante massimo che si instaura nell'opera 3+969 è pari a 1.97m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 50%.

3.8.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo – Tombino IN05 Pk 3+917

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 1.5m e pendenza delle sponde 3:2 tra le sezioni -1 e la confluenza. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 156 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione -1	0.31	276.36	3.06	0.34

Tabella 45: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 4.41, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{max,fondo}$) e sulle sponde ($\tau_{max,sponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.98 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{max,fondo}$, $\tau_{max,sponde}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{max,fondo}$	$\tau_{max,sponde}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.38	1.05	381.38	290.18	880.33	583	2.31	2.01

Tabella 46: Verifica della stabilità delle protezioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 157 di 215

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.8.3 Sistemazione e protezioni dell'alveo - Tombino IN06 Pk 3+969

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione del corso d'acqua, per tutte le sezioni considerate, secondo una sezione trapezia di base 3m a monte del tombino di progetto e base 6m a valle di questo. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 60 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

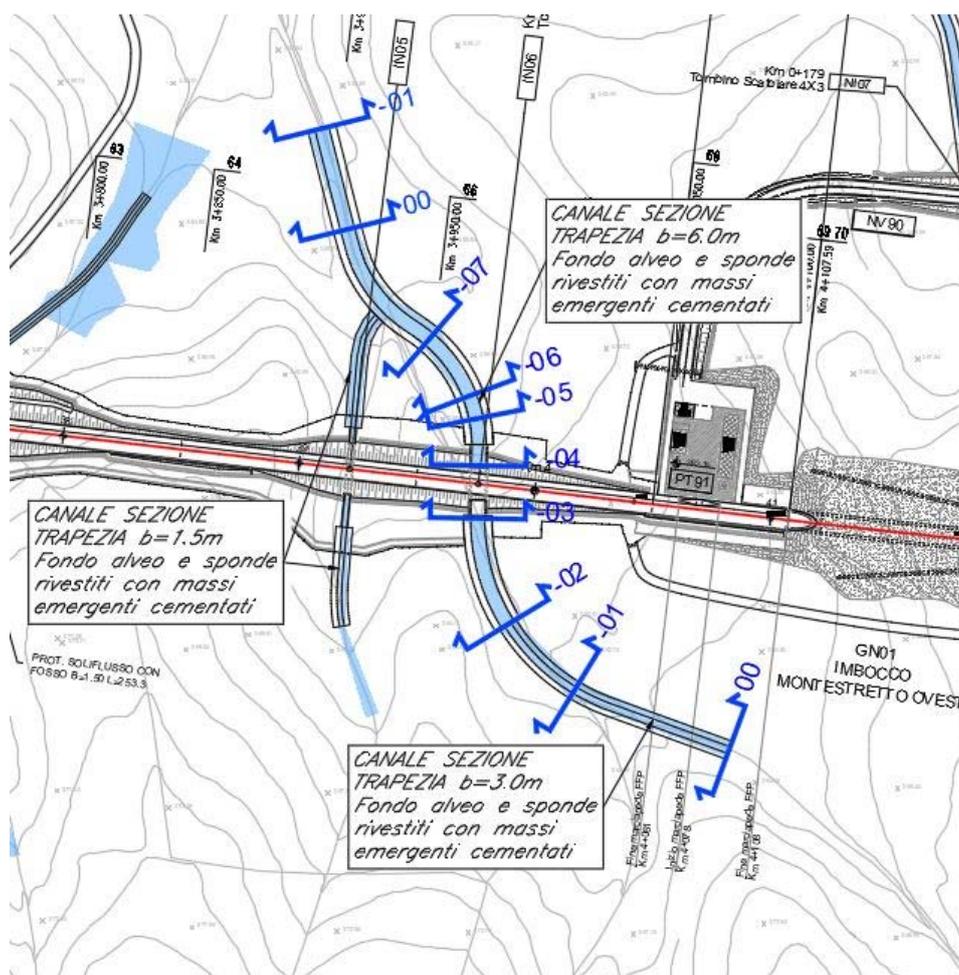


Figura 133: Planimetria di progetto: 3+969

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 158 di 215

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezioni a monte:

Sezione	R _H	T ₀	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione -0	0.75	441.58	4.50	0.83

Tabella 47: Dati verifica – monte tombino

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 3.6, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.38 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F0 e Fa rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 159 di 215

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\text{max,fondo}}$	$\tau_{\text{max,sponde}}$	$\tau_{\text{cr}(0)}$	$\tau_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	618.21	485.74	914.86	606	1.48	1.25

Tabella 48: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

Sezioni a valle:

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione -06	0.66	224.51	4.04	0.70

Tabella 49: Dati verifica – valle tombino

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 8.57, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{\text{cr}(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.17. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{\text{cr}(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{\text{cr}(0)}$, $\tau_{\text{cr}(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 160 di 215

T_{max}	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
224.51	944.38	625	1.17	2.79

Tabella 50: Verifica della stabilità delle protezioni

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.9 Interferenza alla progressiva 4+170 - Tombino NI07

Nel tratto in esame, la viabilità di progetto NV90 interferisce con il corso d' acqua esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 5.1 m³/s.

Il progetto prevede la realizzazione di un tombino, alla pk 0+177, di dimensioni 4x3m.

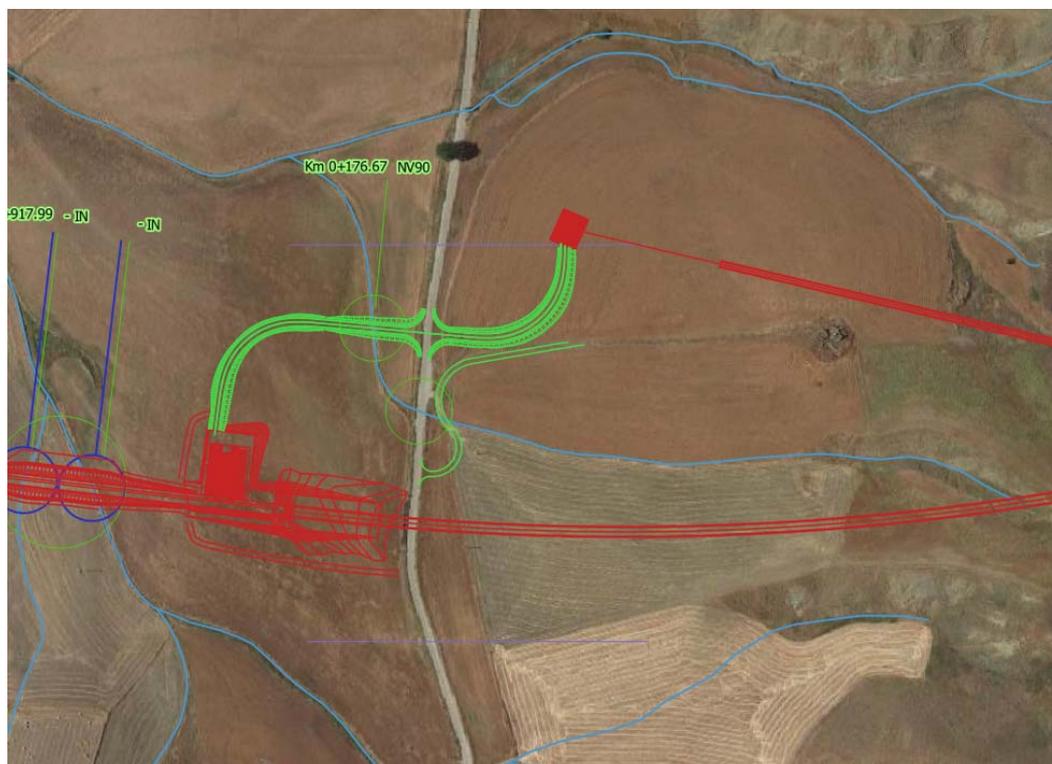


Figura 134: Inquadramento dell'opera

3.9.1 Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

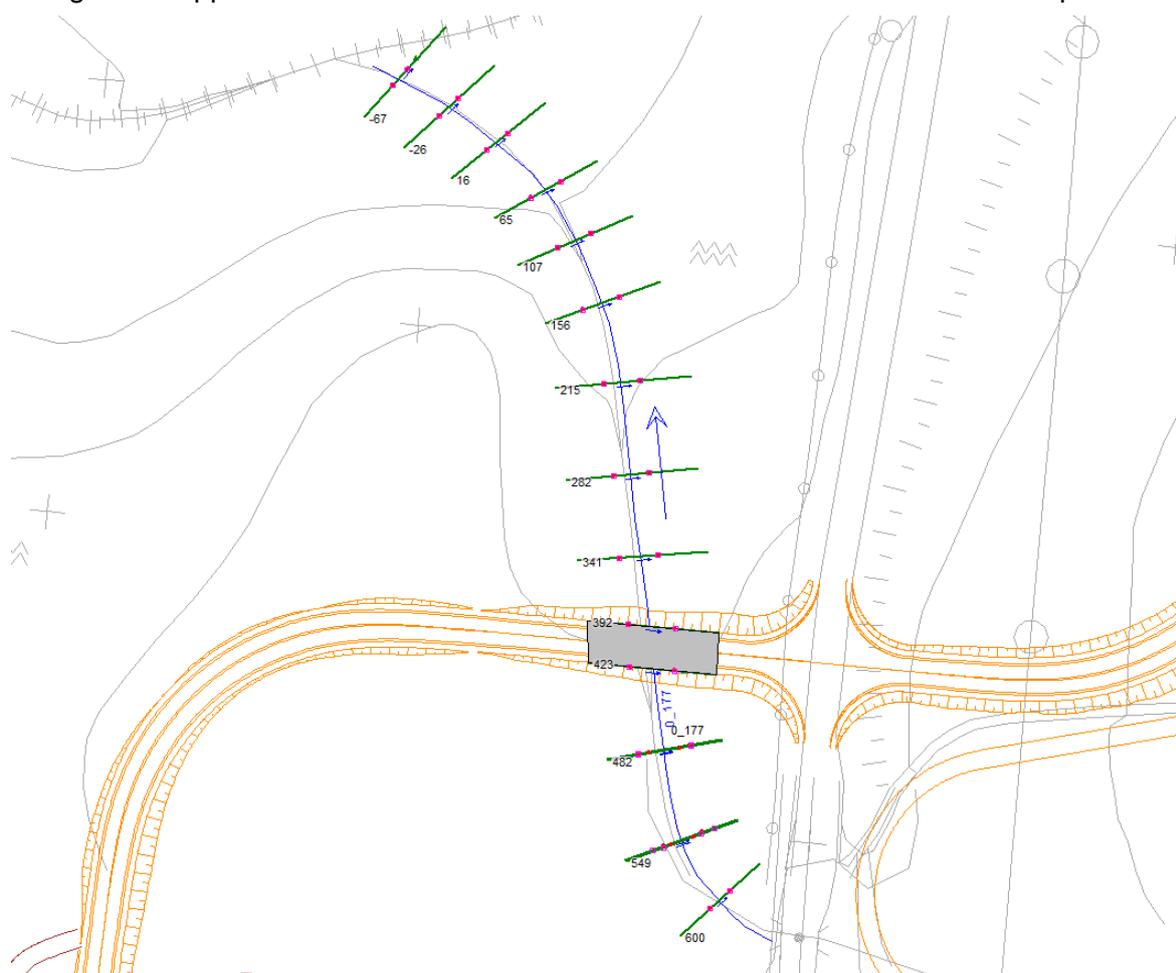


Figura 135: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
0_177	600	PF 1	5.10	366.20	366.74	366.92	367.32	0.050344	3.38	1.51	3.61	1.67
0_177	549	PF 1	5.10	365.43	365.96	366.15	366.54	0.049868	3.37	1.51	3.62	1.66
0_177	548	PF 1	5.10	363.93	364.25	364.66	366.39	0.325443	6.47	0.79	2.95	4.00
0_177	482	PF 1	5.10	363.81	364.50	364.53	364.80	0.019727	2.42	2.11	4.08	1.08
0_177	481	PF 1	5.10	362.32	362.65	363.04	364.63	0.292368	6.24	0.82	2.98	3.81
0_177	423	PF 1	5.10	362.23	362.93	362.95	363.22	0.019804	2.42	2.10	4.08	1.08
0_177	422		Culvert									
0_177	392	PF 1	5.10	362.18	362.89	362.69	362.99	0.005642	1.43	3.56	6.11	0.60
0_177	341	PF 1	5.10	362.10	362.61	362.62	362.84	0.017173	2.09	2.44	5.54	1.01
0_177	282	PF 1	5.10	361.76	362.24	362.27	362.49	0.020886	2.23	2.28	5.45	1.10
0_177	215	PF 1	5.10	360.84	361.18	361.36	361.75	0.070363	3.34	1.53	5.02	1.93
0_177	156	PF 1	5.10	359.94	360.33	360.45	360.74	0.041810	2.81	1.81	5.18	1.52
0_177	107	PF 1	5.10	359.19	359.56	359.71	360.03	0.052797	3.04	1.68	5.11	1.69
0_177	65	PF 1	5.10	358.55	358.92	359.06	359.37	0.048374	2.95	1.73	5.13	1.63
0_177	16	PF 1	5.10	357.79	358.16	358.30	358.62	0.050250	2.99	1.71	5.12	1.65
0_177	-26	PF 1	5.10	357.15	357.53	357.66	357.98	0.049796	2.98	1.71	5.12	1.65
0_177	-67	PF 1	5.10	356.52	356.86	356.86	357.04	0.034010	2.21	3.25	14.09	1.26

Tabella 51: Risultati simulazione post operam con opera esistente

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

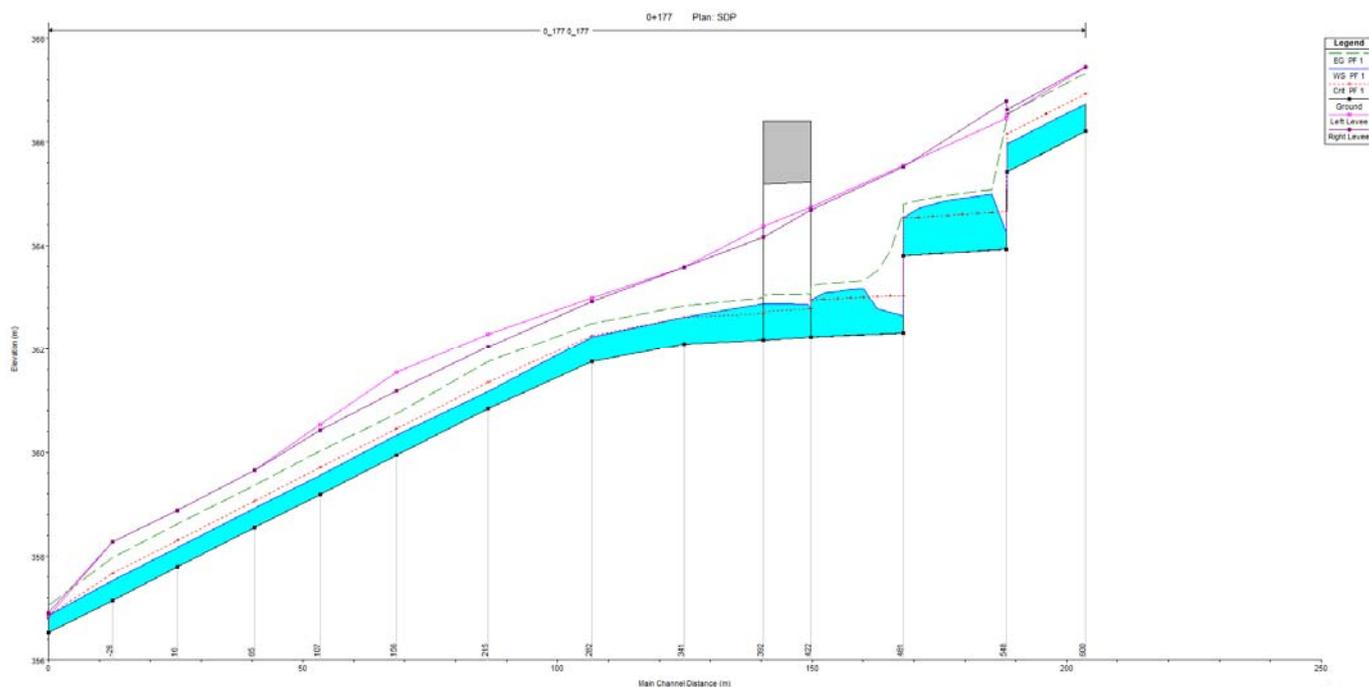


Figura 136: Profilo idrico post operam TR 200 anni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 164 di 215

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 549	0.38	188.2	3.37	0.42

Tabella 52: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 4.8 si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 20.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.05 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

Le tabelle seguenti riportano i risultati della verifica di stabilità eseguita per i due tratti del corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 165 di 215

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\text{max,fondo}}$	$\tau_{\text{max,sponde}}$	$\tau_{\text{cr}(0)}$	$\tau_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1.0	244.7	188.2	642.6	425	2.6	2.3

Tabella 53: Verifica della stabilità delle protezioni tratto a monte attraversamento

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.9.3 Sistemazione e protezioni dell'alveo – valle del tombino di progetto IN07

L'intervento di sistemazione prevede la regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 4 m e pendenza delle sponde 3:2 nel tratto a valle del tombino.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 40 cm.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 215	0.29	201.1	3.3	0.3

Tabella 54: Dati verifica stabilità protezioni a valle opera

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 13.3, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{\text{cr}(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.75. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{\text{cr}(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 166 di 215

sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(\alpha)}$, $\tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
201.1	689.2	3.4	2.97	2.3

Tabella 55: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.10 Interferenza alla progressiva 6+505 – Tombino IN07 – Pk 6+505

Allo stato attuale non esiste un'incisione netta che interferisce con la pk 6+505 del nuovo tracciato di progetto. Dall'analisi del DTM si può notare come comunque l'esistenza di un avvallamento in corrispondente di questa chilometrica.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari $0.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

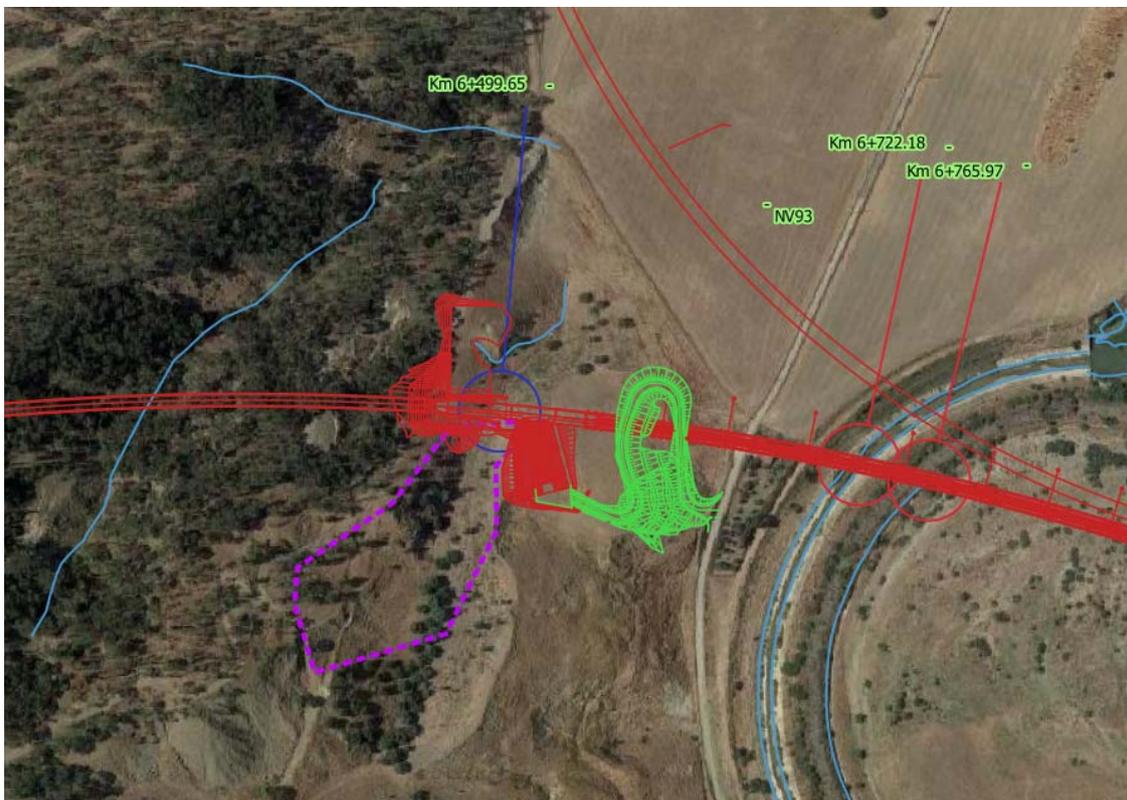


Figura 138: Inquadramento dell'opera con individuazione bacino afferente

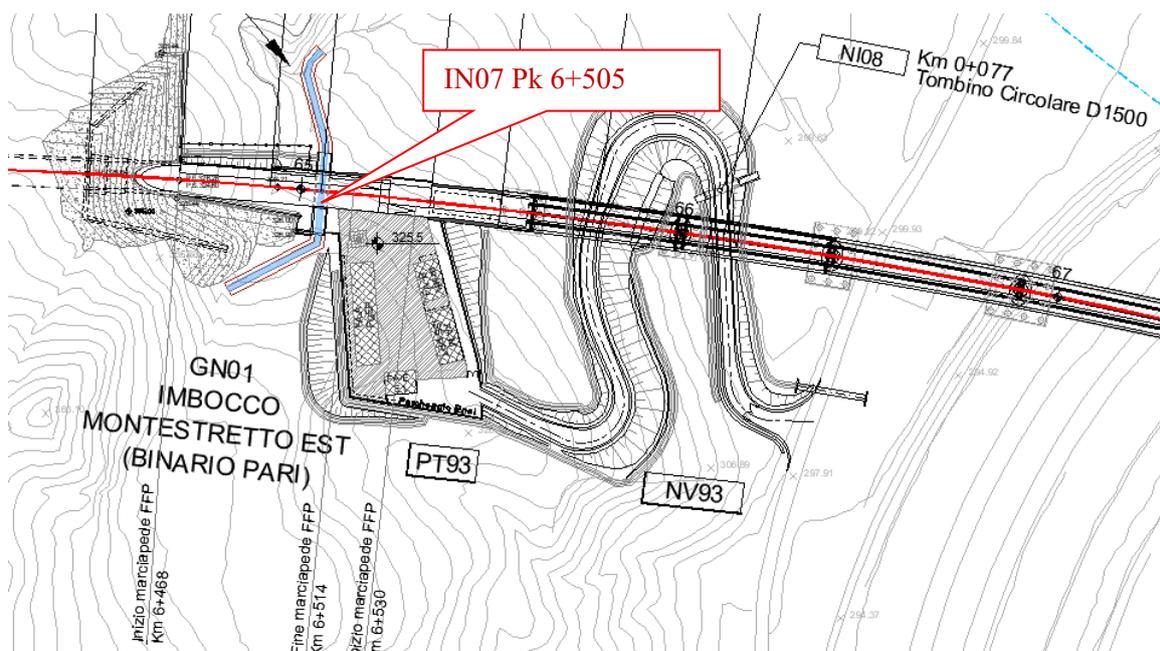


Figura 139: Inquadramento dell'opera

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 168 di 215

Il progetto prevede di realizzare un pozzetto di salto a monte della linea ferroviaria e attraversarla con un tombino di dimensioni 3x2m.

A valle del tombino si prevede la riprofilatura del corso d' acqua esistente, mediante sezione trapezia in calcestruzzo di base 1.5 metri fino all' immissione nell' incisione esistente.

3.10.1 Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.



Figura 140: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
in07	13	0.70	325.64	325.76	325.90	326.38	0.056619	3.50	0.20	1.86	3.41
in07	12	0.70	325.01	325.13	325.27	325.76	0.057344	3.51	0.20	1.86	3.43
in07	11	0.70	324.81	324.93	325.07	325.55	0.056318	3.49	0.20	1.86	3.40
in07	10	0.70	323.31	323.38	323.57	325.40	0.351828	6.30	0.11	1.71	7.88
in07	9	0.70	323.14	323.21	323.32	323.74	0.080685	3.20	0.22	3.00	3.79
in07	8	0.70	323.13	323.21	323.30	323.68	0.069885	3.06	0.23	3.00	3.55
in07	7	0.70	321.61	321.91	321.79	321.94	0.000890	0.79	0.89	3.00	0.46
in07	6	0.70	321.61	321.90	321.79	321.93	0.000963	0.81	0.87	3.00	0.48
in07	5.9	Culvert									
in07	5	0.70	319.10	319.28	319.28	319.37	0.004591	1.32	0.53	3.00	1.00
in07	4	0.70	319.06	319.21	319.24	319.33	0.007730	1.55	0.45	3.00	1.28
in07	3	0.70	318.28	318.38	318.53	319.17	0.086982	3.93	0.18	1.95	4.15
in07	2	0.70	316.55	316.64	316.80	317.78	0.150595	4.73	0.15	1.85	5.34
in07	1	0.70	315.34	315.43	315.60	316.53	0.135629	4.64	0.15	1.78	5.09

Figura 141: Risultati hec ras

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

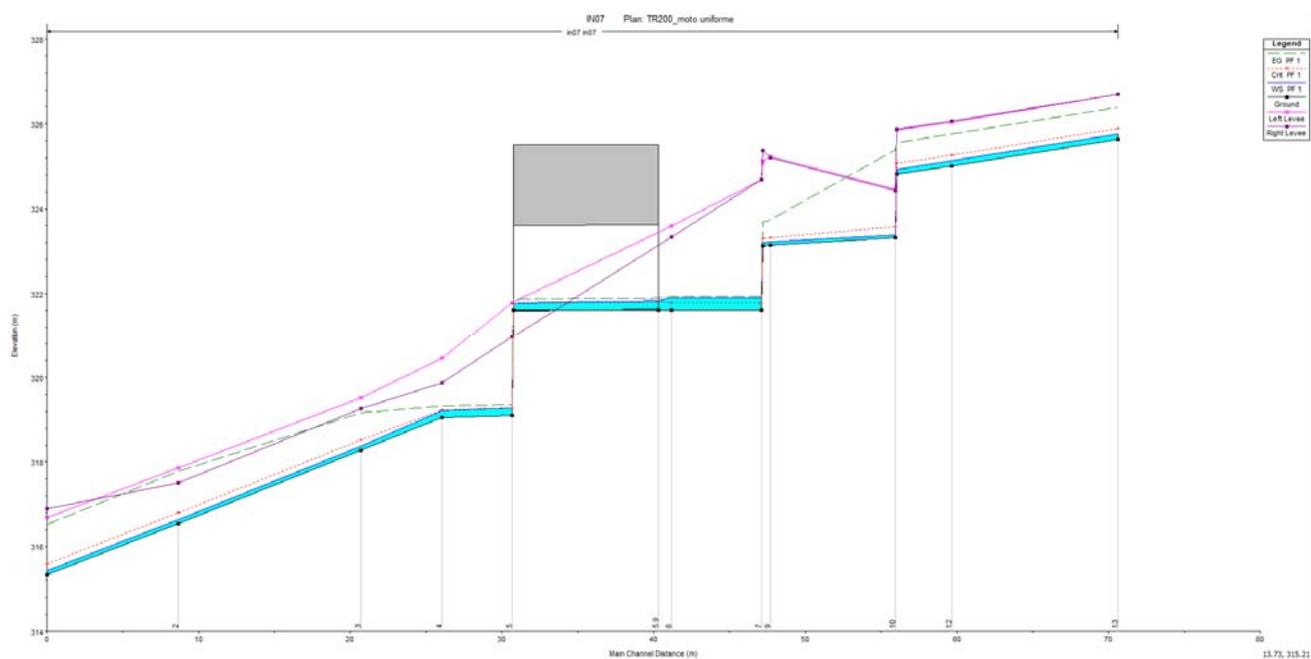


Figura 142: Profilo idrico ante operam TR 200 anni

Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è contenuta nel corso d'acqua in progetto. Il grado di riempimento del tombino è pari al 15%.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 170 di 215

3.11 Interferenza alla progressiva 7+386 - Sistemazione IN38

Nel tratto in esame il corso d'acqua interferisce sia con il rilevato ferroviario che con la viabilità di progetto. Entrambe le interferenze vengono risolte con due viadotti di luce pari 28.34m

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 33.9 m³/s.

Il corso d'acqua non interferisce con le pile pertanto si prevede la regolarizzazione delle sezioni in corrispondenza del viadotto e il loro rivestimento in massi.

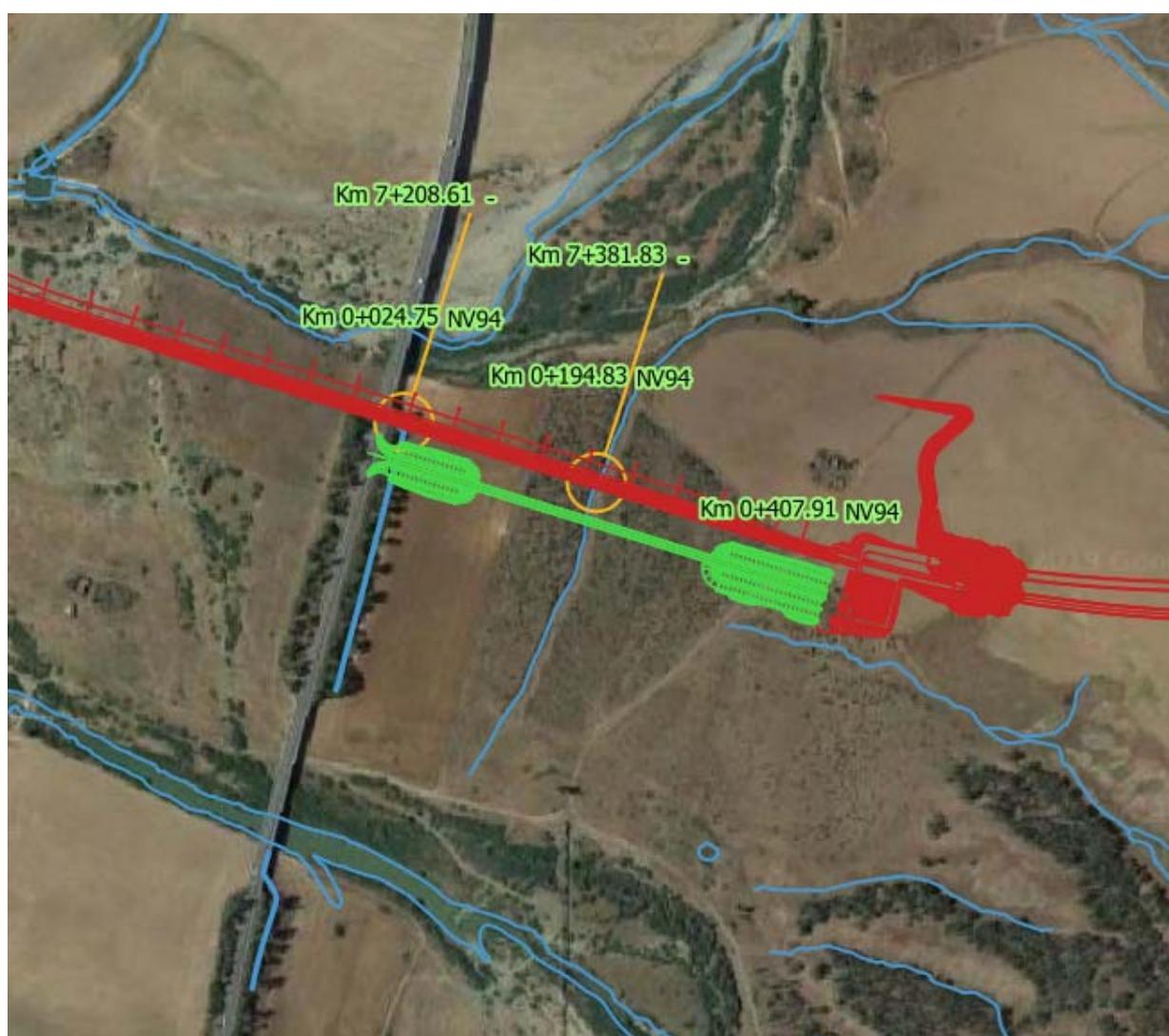


Figura 143: Inquadramento

3.11.1 Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

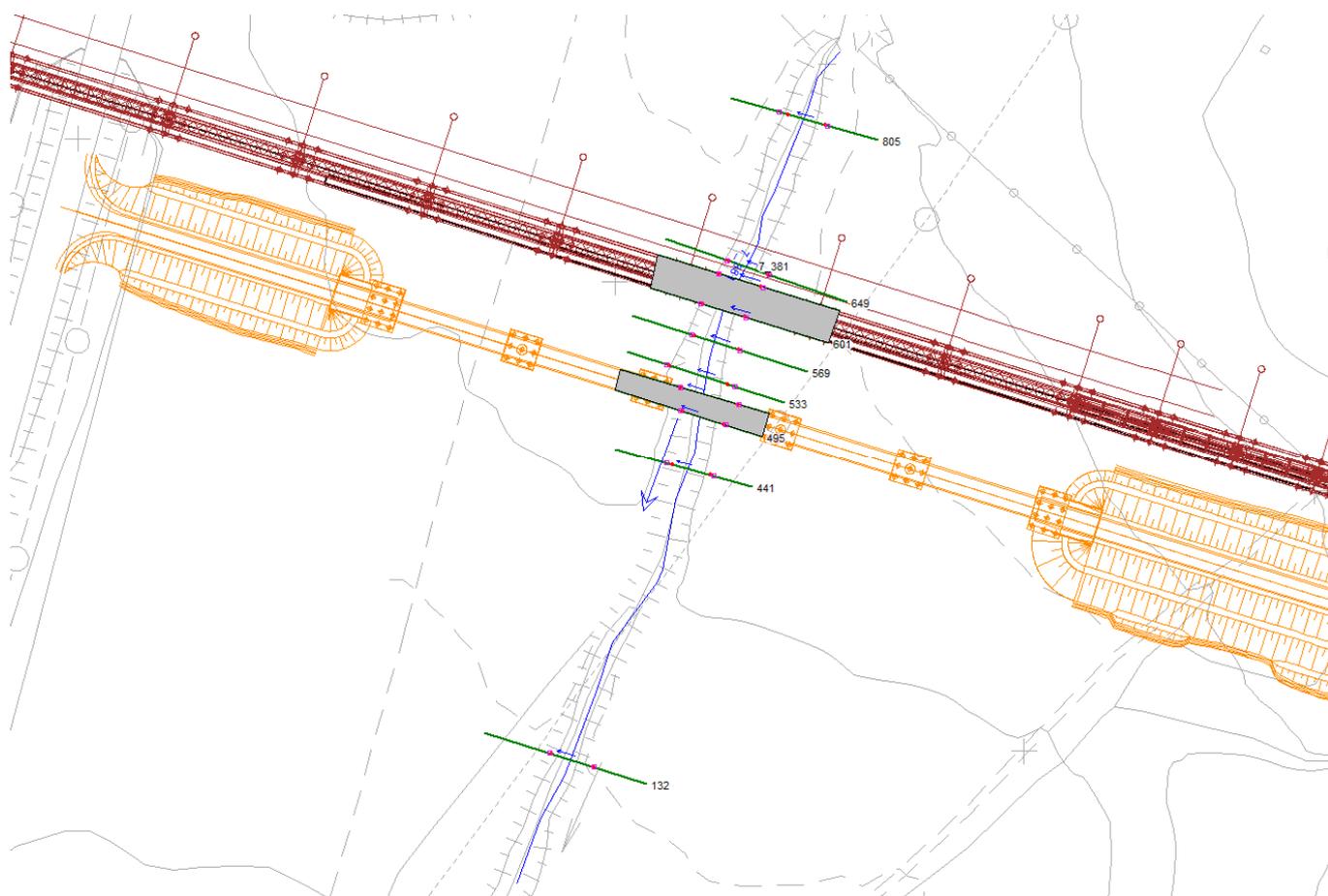


Figura 144: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalle simulazioni, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
7_381	805	PF 1	33.90	297.30	299.39	299.69	300.49	0.044944	4.65	7.29	5.69	1.31
7_381	649	PF 1	33.90	295.16	298.18	297.81	298.66	0.009107	3.07	11.04	6.35	0.74
7_381	635	PF 1	33.90	295.42	298.13	297.75	298.62	0.009025	3.12	10.86	6.03	0.74
7_381	634		Bridge									
7_381	601	PF 1	33.90	295.14	297.77	297.77	298.48	0.015730	3.74	9.06	6.31	1.00
7_381	569	PF 1	33.90	294.81	297.28	297.54	298.24	0.029532	4.33	7.83	7.45	1.35
7_381	533	PF 1	33.90	294.63	297.61	296.94	297.81	0.003398	1.97	17.20	11.48	0.51
7_381	517	PF 1	33.90	294.54	297.10	297.10	297.74	0.014878	3.52	9.64	7.62	1.00
7_381	516		Bridge									
7_381	495	PF 1	33.90	294.49	296.86	296.86	297.55	0.015003	3.67	9.24	6.79	1.00
7_381	441	PF 1	33.90	294.39	296.78	296.59	297.29	0.009799	3.16	10.74	7.34	0.83
7_381	132	PF 1	33.90	293.61	295.67	295.21	295.96	0.008335	2.41	14.06	9.32	0.63

Figura 145: Risultati hec ras

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

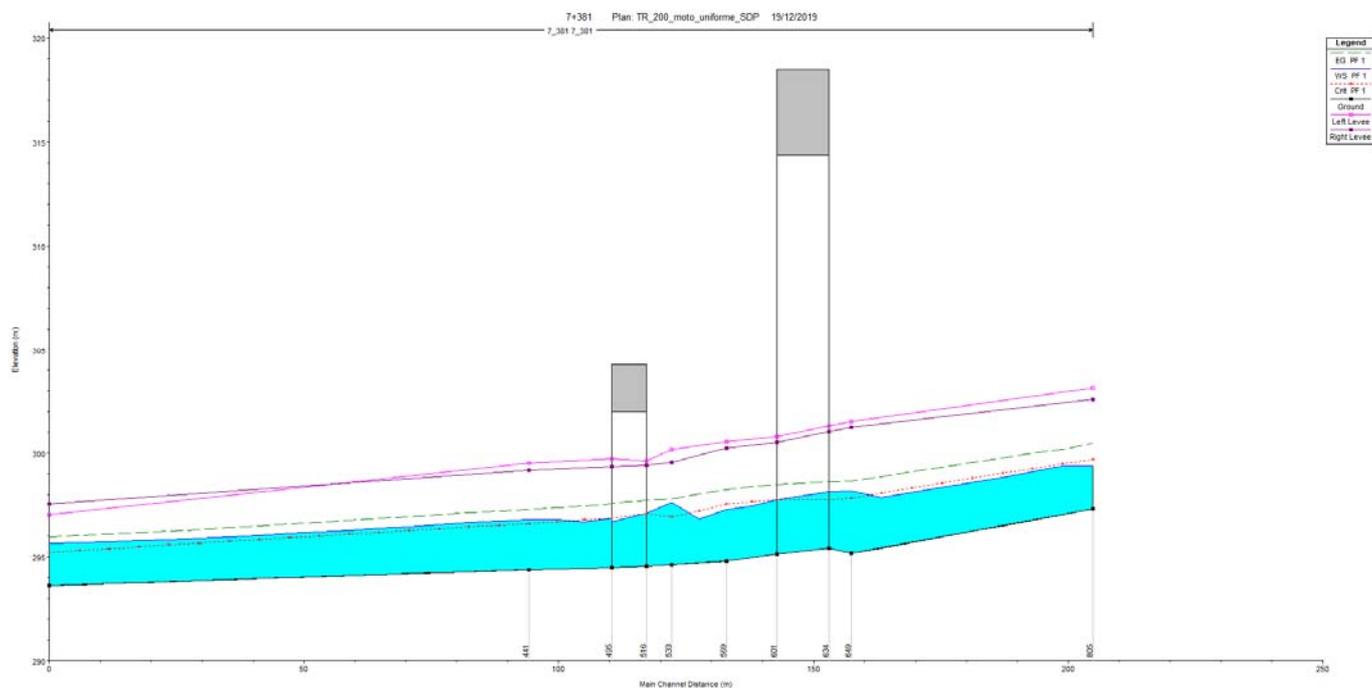


Figura 146: Profilo idrico ante operam TR 200 anni

Nelle seguenti immagini si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

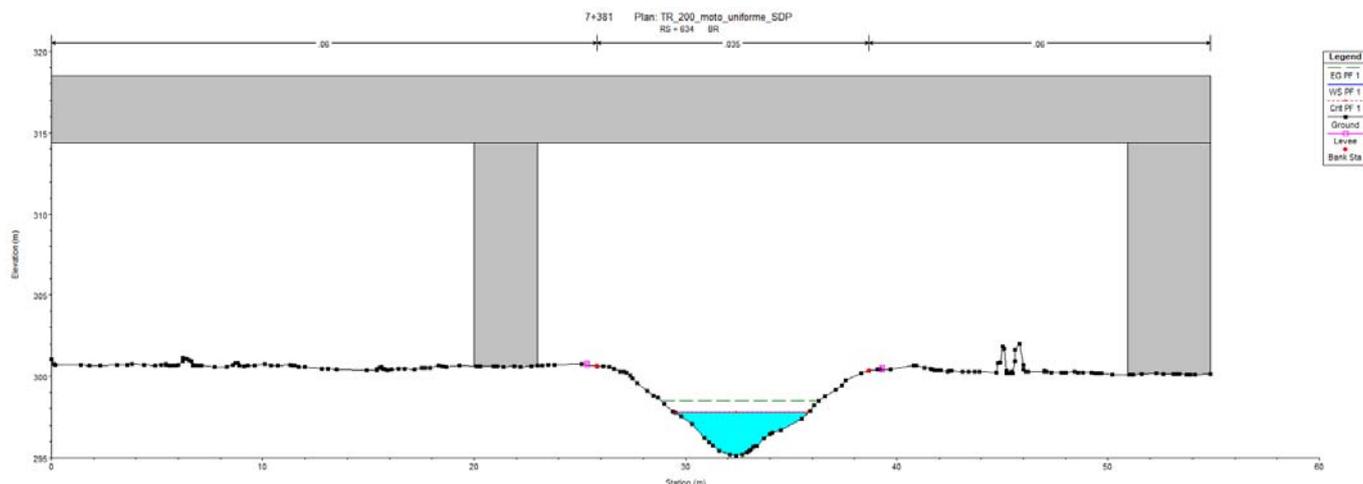


Figura 147: Sezione a monte viadotto ferroviario TR 200 anni

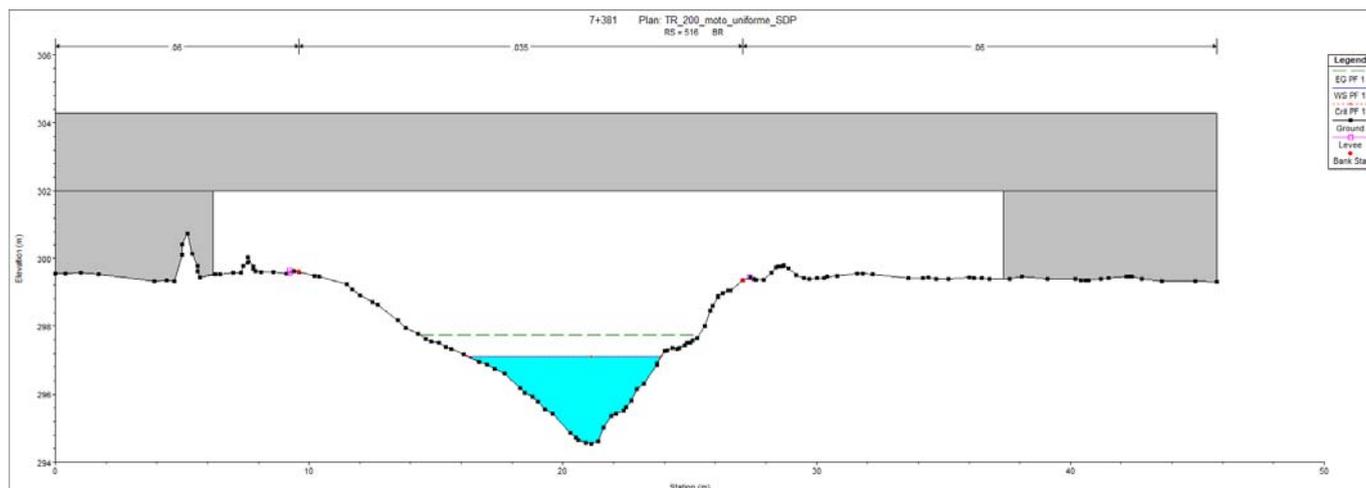


Figura 148: Sezione a monte viadotto NV94 TR 200 anni

Dall'andamento del profilo e dalle sezioni in corrispondenza dei viadotti si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato.

Si riportano di seguito i franchi idraulici ottenuti dalla verifica:

- VI06 Intradosso 314.4 m s.m.m.; Franco (Livello) = 16.3 m ; Franco (Energia)= 15.8 m
- VI06 Intradosso 303.7m s.m.m.; Franco (Livello) = 6.10 m ; Franco (Energia)= 5.90 m

3.11.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una riprofilatura e pulizia delle sezioni di deflusso esistenti che presentano una base di circa 3m. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde tra le sezioni 649 e 441 con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

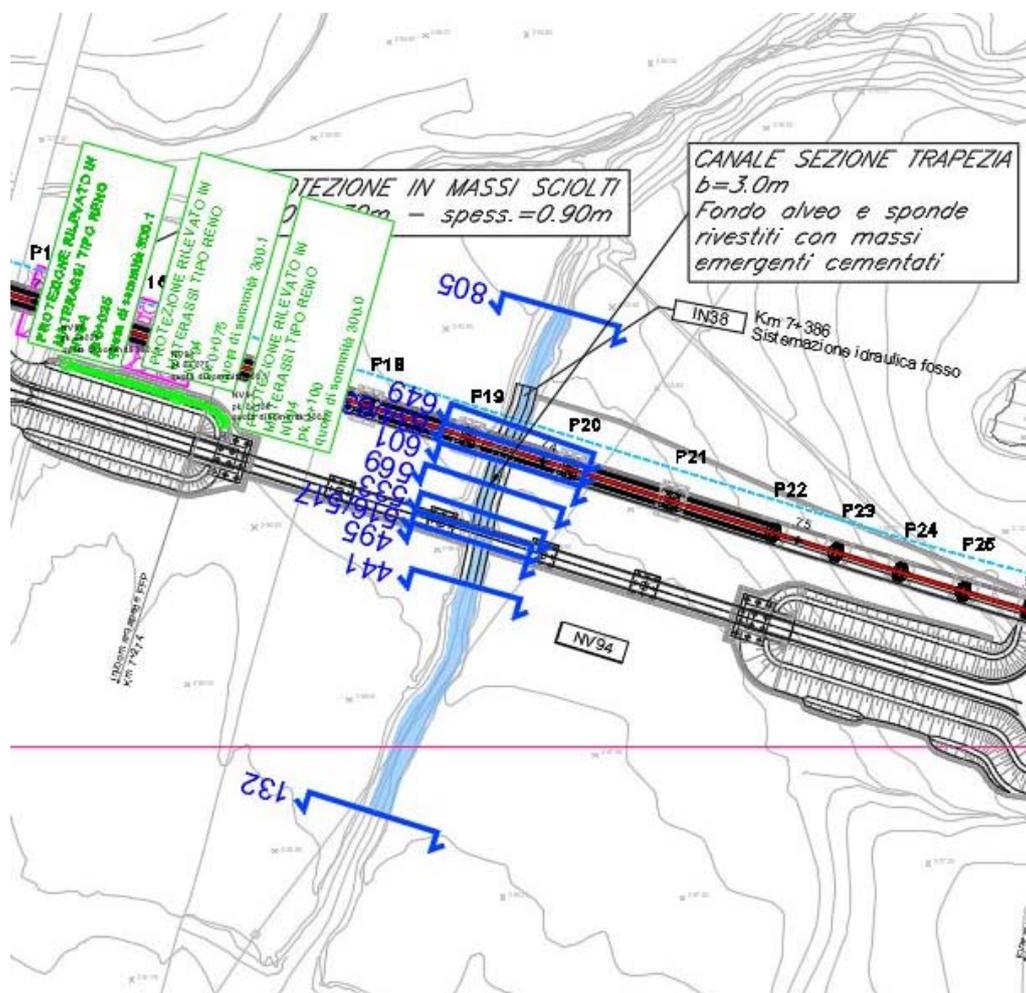


Figura 149: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 175 di 215

oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
569	0.83	239.65	4.33	1.05

Tabella 56: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 2.9, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.6 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 45°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 60°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{sponde}}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	335.6	263.7	710	410	2.1	1.6

Tabella 57: Verifica della stabilità delle protezioni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA												
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS3U</td> <td>40 D 29</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>D</td> <td>176 di 215</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	176 di 215
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS3U	40 D 29	RI	ID0002 001	D	176 di 215								

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.12 Interferenze alla progressiva 11+752 - Tombino NI11 e alla progressiva 11+800 - Tombino NI10 - Sistemazione IN39

Nel tratto in esame il rilevato e viadotto di progetto interferiscono con due corsi d'acqua rispettivamente alle pk 11+683 e 11+802.

Le portate di calcolo, corrispondenti ad un evento con tempo di ritorno duecentennale sono pari a 5.3 m³/s per la pk 11+683 e 35.7 m³/s per la pk 11+803.

Per quanto riguarda la prima interferenza si prevede di deviare il corso d'acqua a monte del rilevato ferroviario e attraversare la viabilità NV02 alla pk 262.5 con un tombino di dimensioni 3x2m. Il corso d'acqua si collega infine al corso d'acqua che attraversa il viadotto in progetto alla pk 11+802.

Il secondo corso d'acqua in esame attraversa la viabilità di progetto NV02 alla pk 0+035 con un tombino di dimensioni 5x6m. Il rilevato stradale si colloca subito a valle dei due viadotti stradali esistenti.

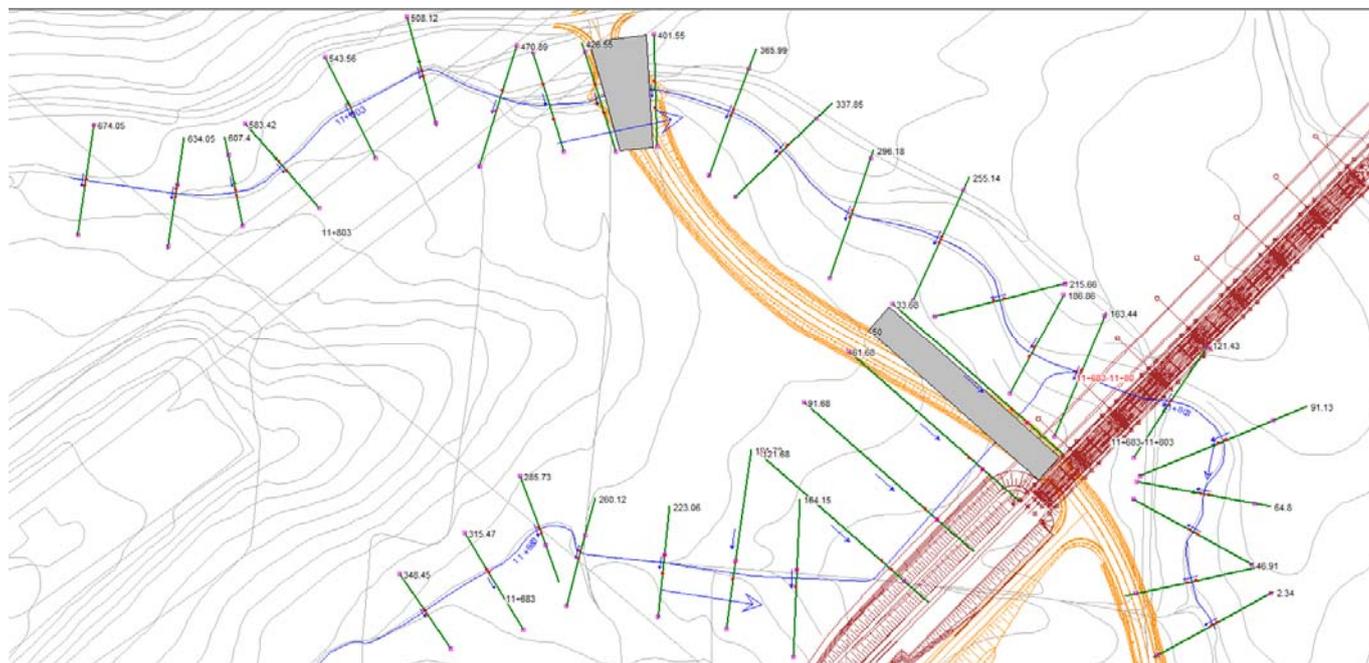
Entrambi i corsi d'acqua confluiscono in un unico ramo che interferisce con la pila del viadotto di progetto alla pk 11+802. Si prevede pertanto la deviazione del corso d'acqua in prossimità delle pile con una sezione trapezia di base 4m rivestita in massi cementati.



Figura 150: Inquadramento

3.12.1 Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.



River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
11+803	11+803	674.05	Tr200	30.40	338.62	340.31	340.31	340.50	0.014511	2.83	20.51	40.48	0.78
11+803	11+803	634.05	Tr200	30.40	338.31	339.60	339.60	339.74	0.010950	2.38	21.46	32.18	0.72
11+803	11+803	607.4	Tr200	30.40	337.62	338.72	338.84	339.29	0.049316	4.65	12.04	27.22	1.47
11+803	11+803	583.42	Tr200	30.40	337.35	338.35	338.33	338.55	0.021413	2.63	17.69	35.99	0.96
11+803	11+803	543.56	Tr200	30.40	336.69	337.99	337.77	338.07	0.006930	1.90	28.16	44.82	0.57
11+803	11+803	508.12	Tr200	30.40	336.38	337.38	337.38	337.63	0.025677	3.21	16.20	32.90	1.09
11+803	11+803	470.89	Tr200	30.40	332.70	333.95	334.57	335.96	0.071383	6.27	4.85	5.75	2.18
11+803	11+803	450	Tr200	30.40	330.25	332.78	331.82	332.90	0.001769	1.52	20.02	12.82	0.39
11+803	11+803	426.55	Tr200	30.40	330.10	332.71	331.76	332.85	0.002121	1.69	18.01	10.82	0.42
11+803	11+803	410		Culvert									
11+803	11+803	401.55	Tr200	30.40	329.95	331.83	331.61	332.23	0.008307	2.80	10.84	8.54	0.80
11+803	11+803	365.99	Tr200	30.40	329.35	331.52	331.52	331.83	0.012883	3.14	16.29	22.92	0.74
11+803	11+803	337.85	Tr200	30.40	328.79	330.88	330.81	331.35	0.016611	3.36	12.77	18.18	0.86
11+803	11+803	296.18	Tr200	30.40	328.01	330.30	330.30	330.66	0.015040	3.40	15.52	22.97	0.80
11+803	11+803	255.14	Tr200	30.40	327.50	329.68	329.55	329.85	0.008571	2.47	21.89	31.04	0.60
11+803	11+803	215.66	Tr200	30.40	327.44	329.30	329.22	329.52	0.007767	2.50	19.77	29.82	0.63
11+803	11+803	186.86	Tr200	30.40	327.26	329.23	328.74	329.34	0.003533	1.91	26.84	29.70	0.45
11+803	11+683-11+803	163.44	Tr200	35.70	326.48	327.96	327.96	328.53	0.012956	3.35	10.67	9.54	1.00
11+803	11+683-11+803	139	Tr200	35.70	325.88	327.09	327.36	328.05	0.027566	4.35	8.21	8.62	1.42
11+803	11+683-11+803	130		Bridge									
11+803	11+683-11+803	128	Tr200	35.70	325.60	326.80	327.07	327.77	0.027764	4.36	8.19	8.61	1.43
11+803	11+683-11+803	91.13	Tr200	35.70	324.75	326.57	326.25	326.70	0.002955	1.83	29.36	34.45	0.49
11+803	11+683-11+803	64.8	Tr200	35.70	324.35	326.24	326.24	326.54	0.012516	3.26	19.48	26.67	0.82
11+803	11+683-11+803	46.91	Tr200	35.70	324.26	325.88	325.94	326.26	0.018588	3.55	16.66	25.05	0.97
11+803	11+683-11+803	24.01	Tr200	35.70	323.89	325.74	325.53	325.95	0.008115	2.71	21.42	24.22	0.68
11+803	11+683-11+803	2.34	Tr200	35.70	323.16	325.28	325.28	325.70	0.015907	3.82	15.92	18.47	0.90
11+683	11+683	348.45	Tr200	5.30	335.65	336.30	336.30	336.44	0.019765	2.12	4.05	13.45	0.90
11+683	11+683	315.47	Tr200	5.30	335.22	335.68	335.59	335.70	0.008708	1.07	8.53	36.99	0.56
11+683	11+683	285.73	Tr200	5.30	334.77	335.19	335.19	335.26	0.029056	1.74	5.32	30.81	0.99
11+683	11+683	260.12	Tr200	5.30	333.52	334.39	334.41	334.63	0.020180	2.28	3.04	12.13	0.90
11+683	11+683	223.06	Tr200	5.30	331.50	331.83	332.11	332.94	0.151156	4.67	1.14	3.98	2.79
11+683	11+683	191.78	Tr200	5.30	330.41	330.98	331.02	331.27	0.021511	2.41	2.20	4.71	1.12
11+683	11+683	164.15	Tr200	5.30	329.44	329.89	330.05	330.40	0.047273	3.15	1.68	4.37	1.62
11+683	11+683	121.68	Tr200	5.30	329.01	329.72	329.63	329.89	0.010164	1.85	2.86	5.11	0.79
11+683	11+683	91.68	Tr200	5.30	328.71	329.51	329.33	329.64	0.006669	1.60	3.32	5.38	0.65
11+683	11+683	61.68	Tr200	5.30	328.41	329.43	329.03	329.50	0.002679	1.15	4.59	6.05	0.42
11+683	11+683	50		Culvert									
11+683	11+683	33.68	Tr200	5.30	328.12	329.23	328.73	329.28	0.001912	1.02	5.19	6.35	0.36

Tabella 58: Risultati simulazione post operam

Nella figura seguenti sono riportati i profili idrici di calcolo, unitamente ai profili del terreno, dell'energia, del tirante critico e quelli degli argini.

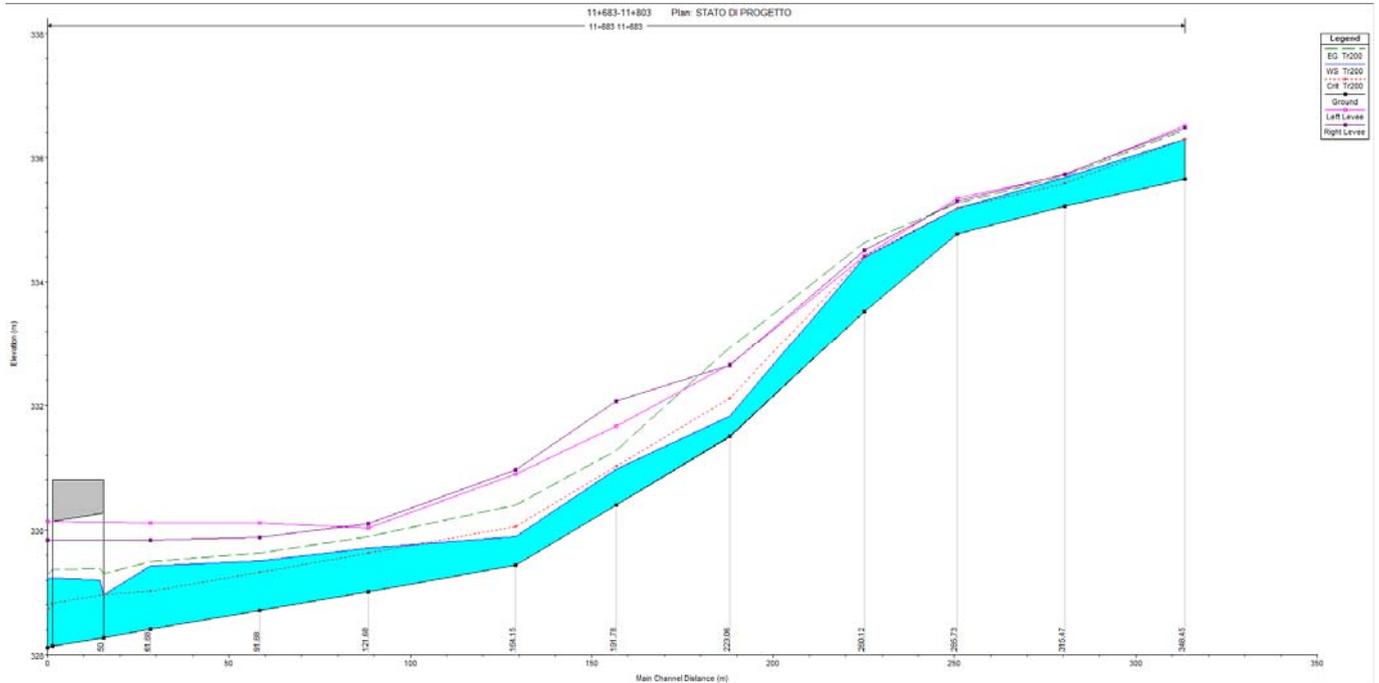


Figura 152: Profilo idrico 11+683

Il tirante massimo che si instaura nell'opera è pari a 1.1 m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 56%.

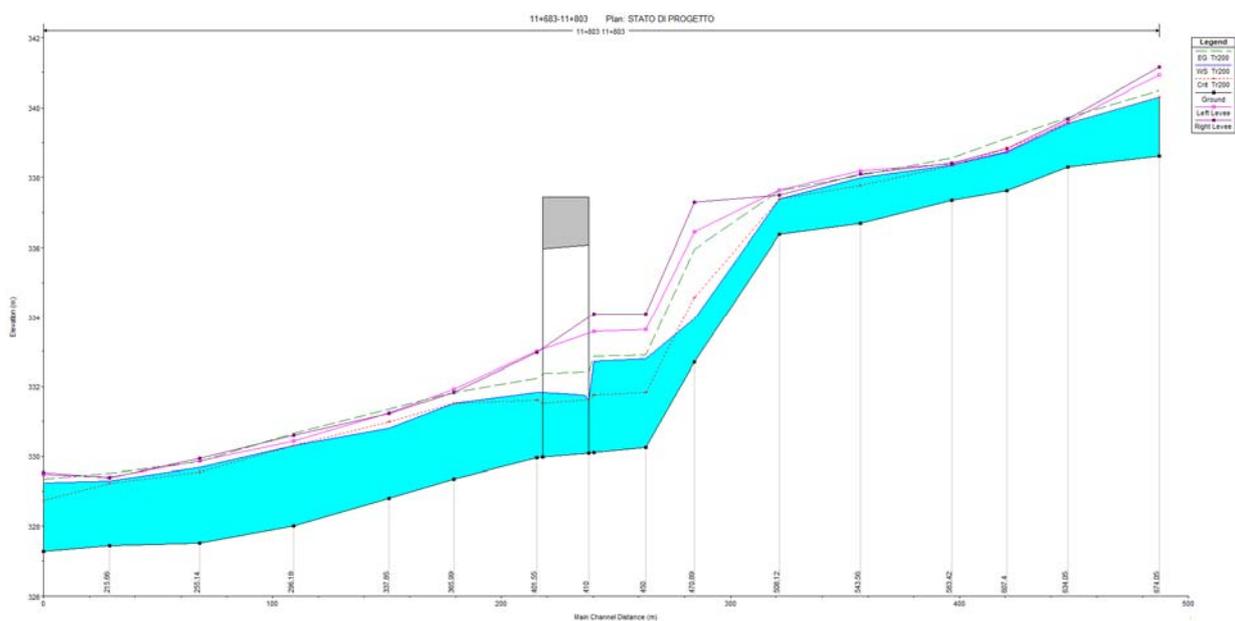


Figura 153: Profilo idrico 11+803

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 181 di 215

Il tirante massimo che si instaura nell'opera è pari a 2.6m. Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 44%.

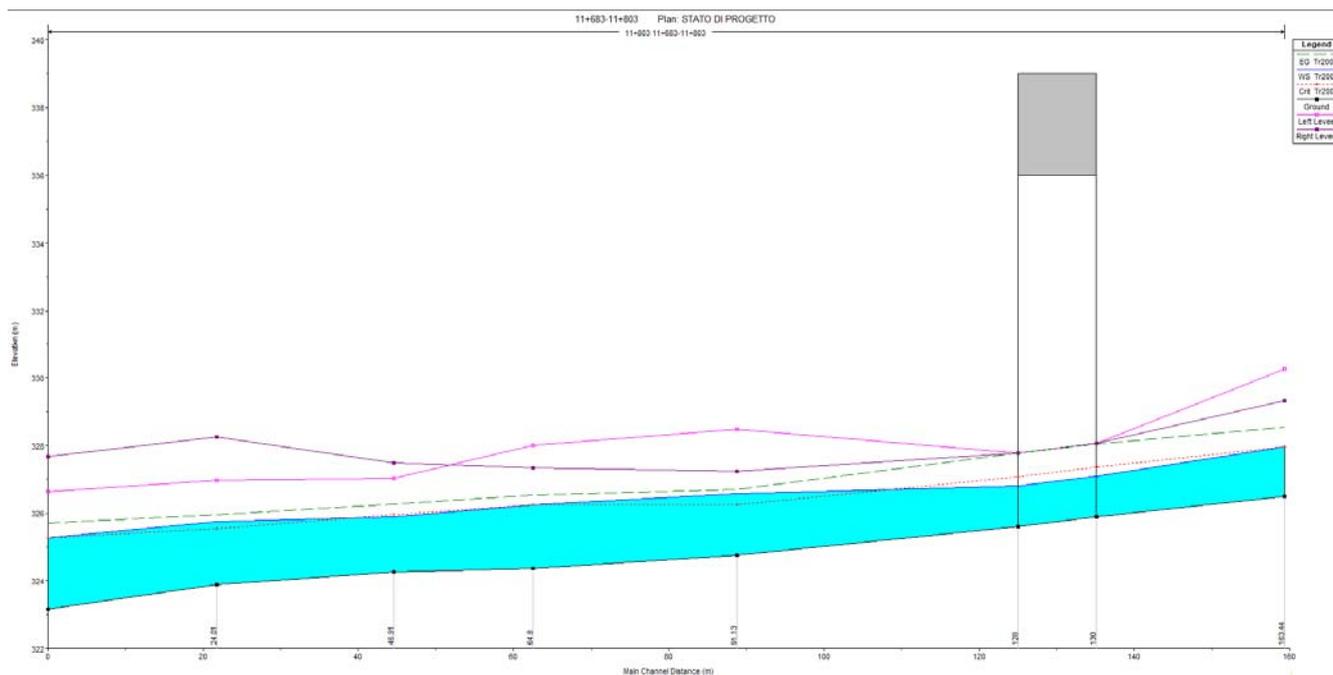


Figura 154: Profilo idrico 11+683 e 11+803

Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è contenuta nella sistemazione di progetto e il franco idraulico è ampiamente verificato. Il franco rispetto il livello idrico risulta pari a 9.0m mentre il franco rispetto la linea dell'energia risulta pari a 8.0m. Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

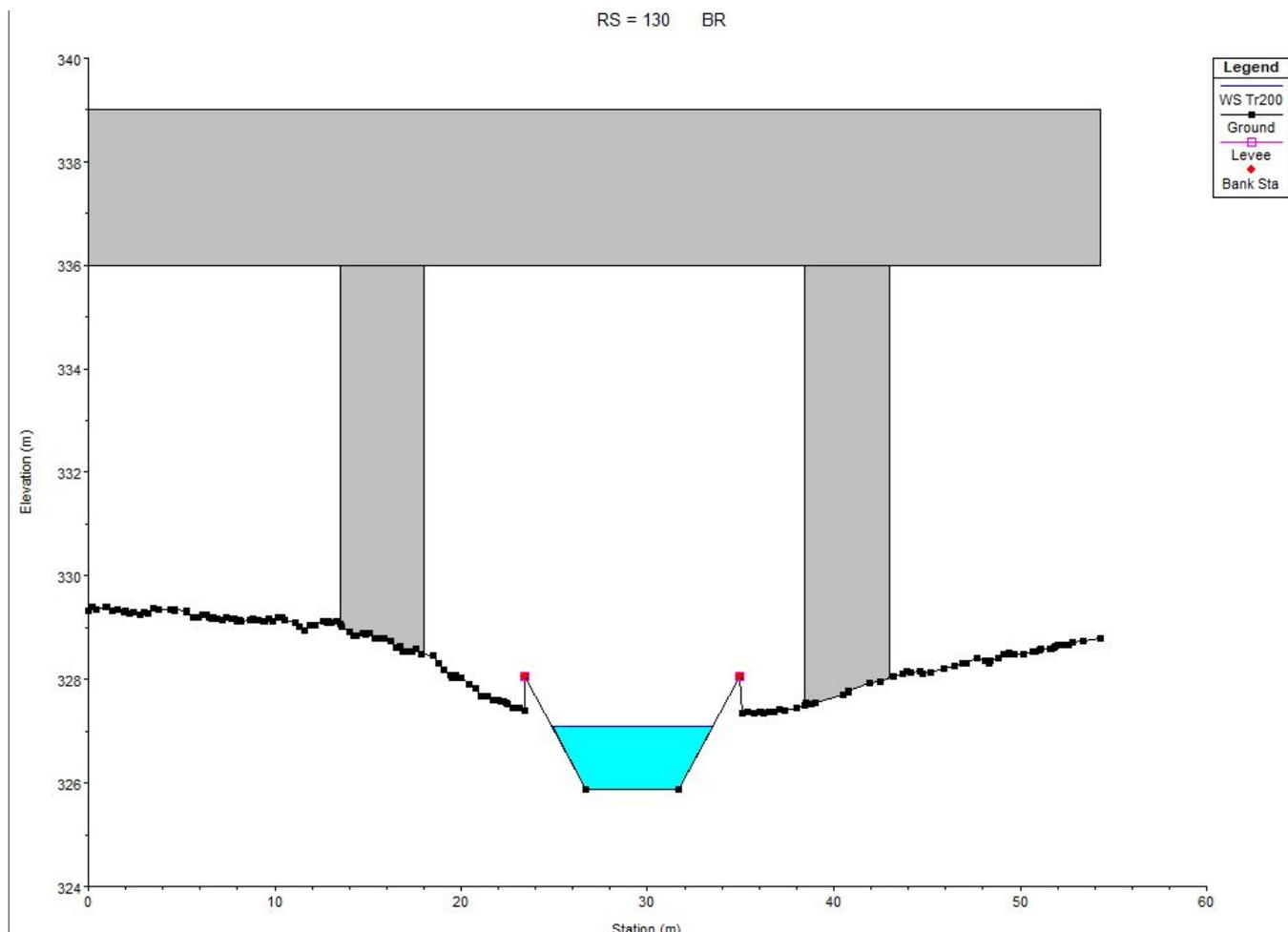


Figura 155: Sezione trasversale viadotto:130

3.12.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo - Tombino N11 Pk 11+752

L'intervento di sistemazione prevede la deviazione del corso d' acqua secondo una sezione trapezia di base 3.0 m e pendenza delle sponde 3:2.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm dalla sezione 223.06 fino al recapito nel corso d' acqua 11+808.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

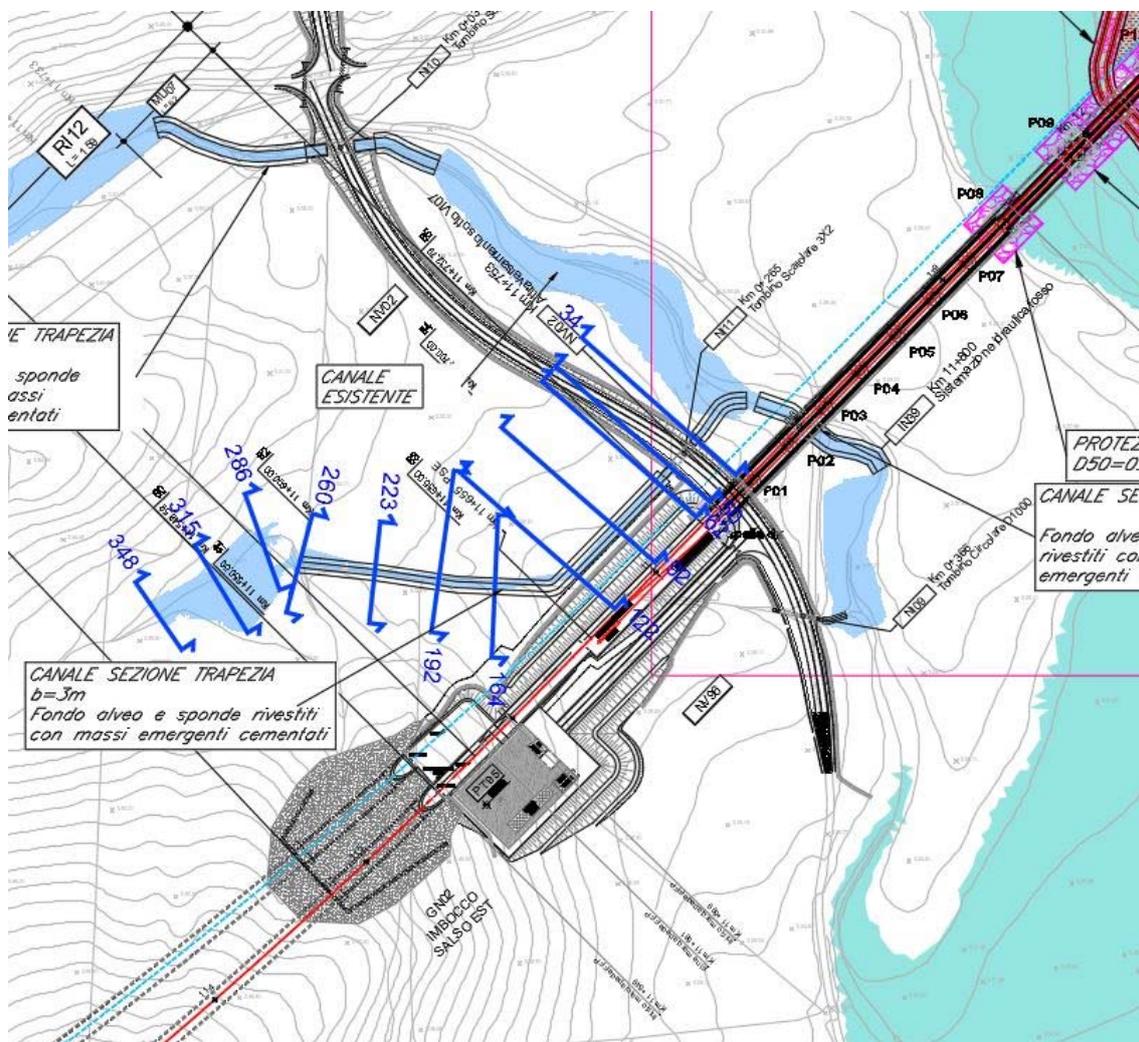


Figura 156: Planimetria di progetto:11+742

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
223.06	0.27	403.4	4.7	0.29

Tabella 59: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 184 di 215

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 8.8, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(0)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.85. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,\alpha}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32° , un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45° , un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m^3 ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m^3 .

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}, \tau_{cr,\alpha}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr,\alpha}$	F_0	F_α
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
403.4	880.3	583	2.18	1.44

Tabella 60: Verifica della stabilità delle protezioni

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 185 di 215

3.12.3 Sistemazione e protezioni dell'alveo– Tombino NI10 Pk 11+800

L'intervento di sistemazione prevede la regolarizzazione del corso d' acqua secondo una sezione trapezia di base 3.0 m e pendenza delle sponde 3:2.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 70 cm dalla sezione 470.89 fino alla sezione a valle del tombino 365.99.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto della sistemazione, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

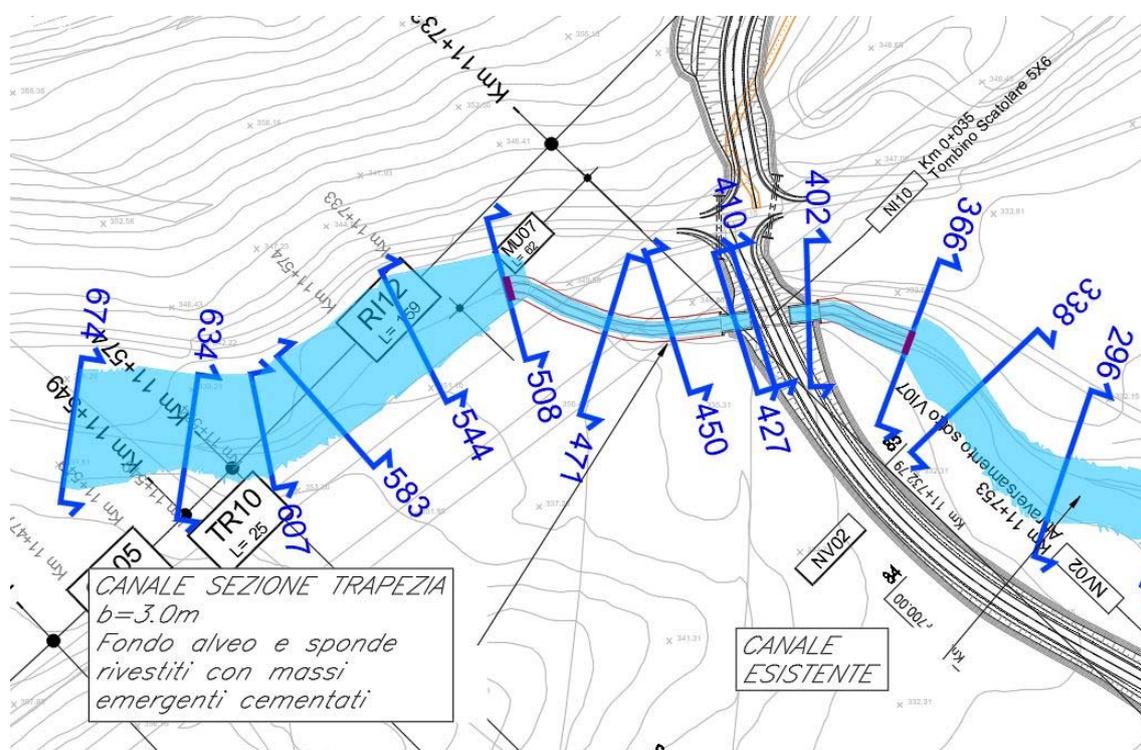


Figura 157: Planimetria di progetto:11+800

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (RH), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 186 di 215

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
470.89	0.74	521.29	6.3	0.84

Tabella 61: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 3.61, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{sponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.2 evidenzia una bassa sommersa della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{sponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\max, \text{fondo}}$	$\tau_{\max, \text{sponde}}$	$\tau_{cr(o)}$	$\tau_{cr,(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	729.8	573.4	1098.37	727	1.5	1.3

Tabella 62: Verifica della stabilità delle protezioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 187 di 215

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.12.4 Sistemazione e protezioni dell'alveo – Sistemazione IN39 Pk 11+800

L'intervento di sistemazione, a valle della confluenza tra i corsi d'acqua alle Pk 11+752 e 11+800, prevede la deviazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 5.0 m e pendenza delle sponde 3:2.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

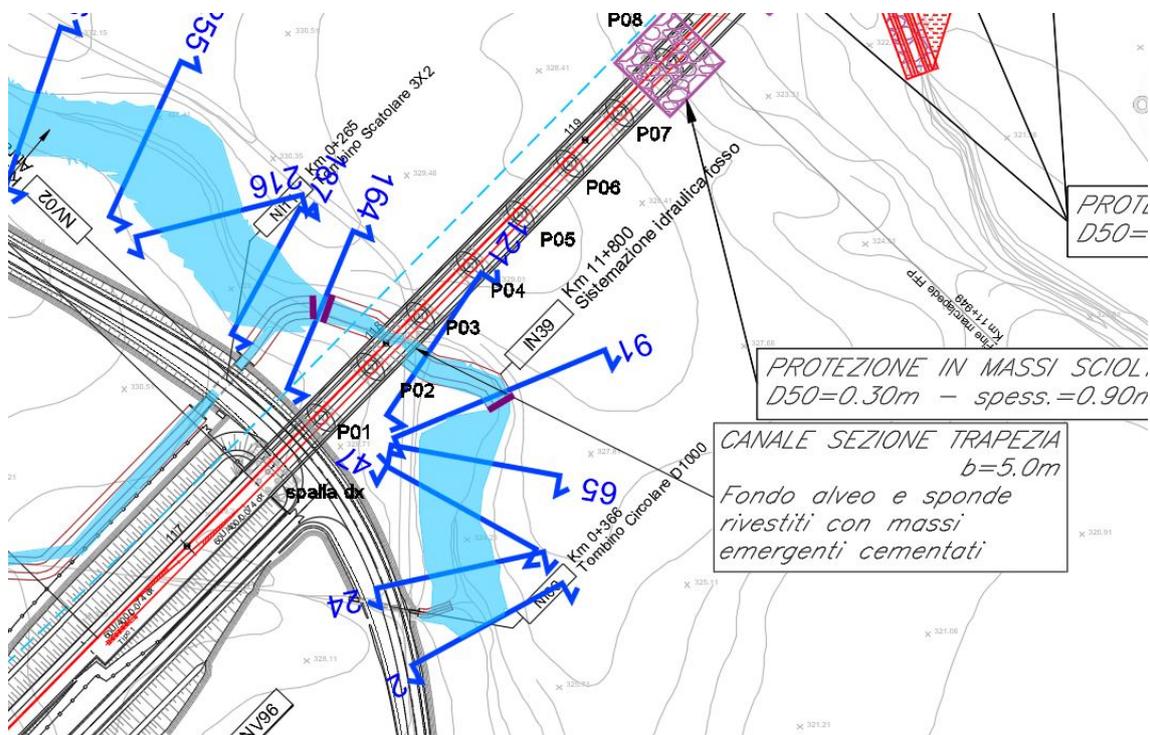


Figura 158: Planimetria di progetto:11+800

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 188 di 215

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 70 cm dalla sezione 163.44 fino alla sezione a valle del viadotto 91.13.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
128	0.88	238.7	4.4	0.95

Tabella 63: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 5.3, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 1.4 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}$, $\tau_{cr,(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 189 di 215

β_{fondo}	β_{sponde}	$\tau_{\text{max,fondo}}$	$\tau_{\text{max,sponde}}$	$\tau_{\text{cr}(0)}$	$\tau_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1.1	310.3	262.7	1071	709	3.4	2.7

Tabella 64: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

3.13 Interferenza alla progressiva 12+532 Sistemazione IN40

Nel tratto in esame, in corrispondenza della pk 12+535, le pile del viadotto di progetto, non interferiscono con il corso d'acqua esistente. Si prevede pertanto la regolarizzazione e il rivestimento delle sezioni in prossimità del viadotto con massi cementati.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 16.3 m³/s



Figura 159: Inquadramento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 190 di 215

3.13.1 Risultati simulazione idraulica post operam con attraversamento esistente TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente.

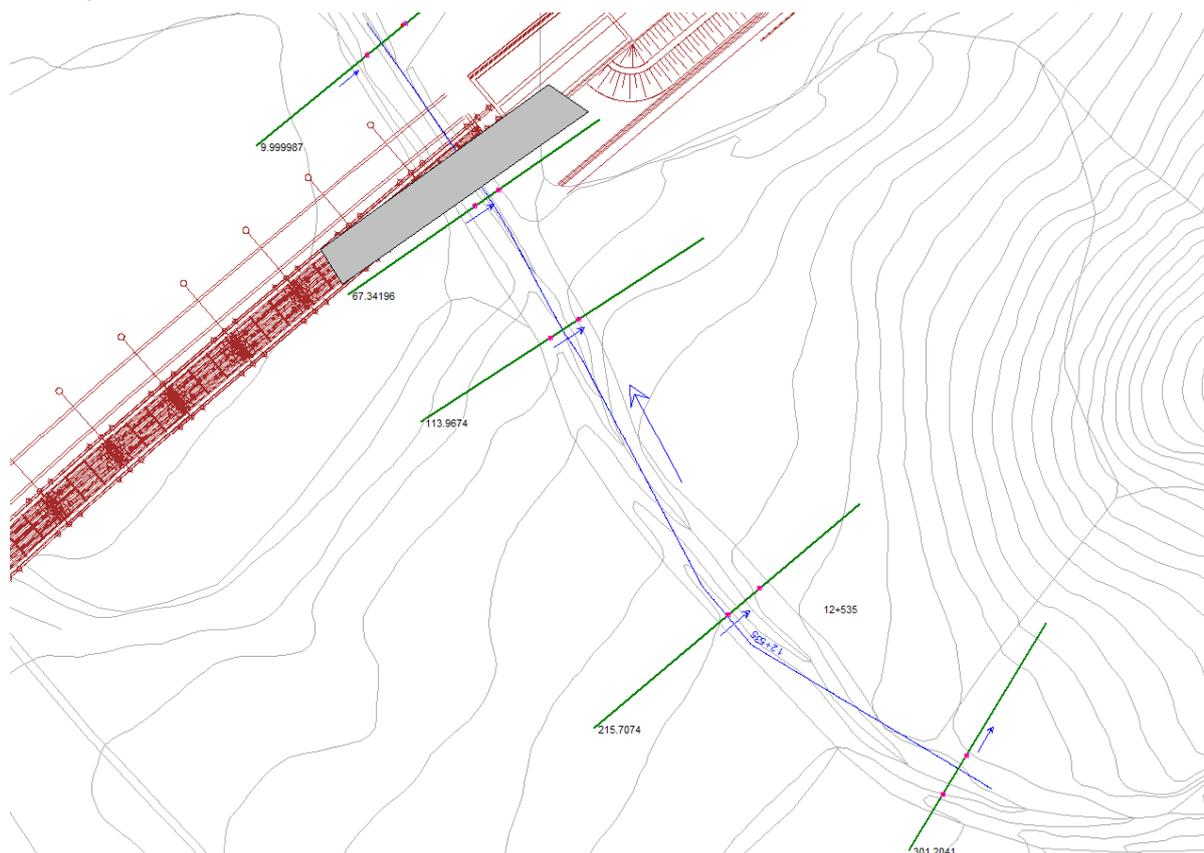


Figura 160: Planimetria sezioni Hec Ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
12+535	301.2041	PF 1	16.30	341.06	342.15	342.15	342.48	0.024487	2.54	6.41	9.67	1.00
12+535	215.7074	PF 1	16.30	337.65	338.53	338.53	338.88	0.023469	2.63	6.20	8.69	0.99
12+535	113.9674	PF 1	16.30	331.00	331.96	331.96	332.38	0.024483	2.85	5.72	6.92	1.00
12+535	67.34196	PF 1	16.30	329.91	331.39	330.89	331.56	0.003769	1.80	9.08	7.26	0.51
12+535	63.55		Bridge									
12+535	9.99987	PF 1	16.30	329.50	330.32	330.32	330.63	0.014477	2.46	6.62	10.63	1.00

Tabella 65: Risultati simulazione post operam

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 191 di 215

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

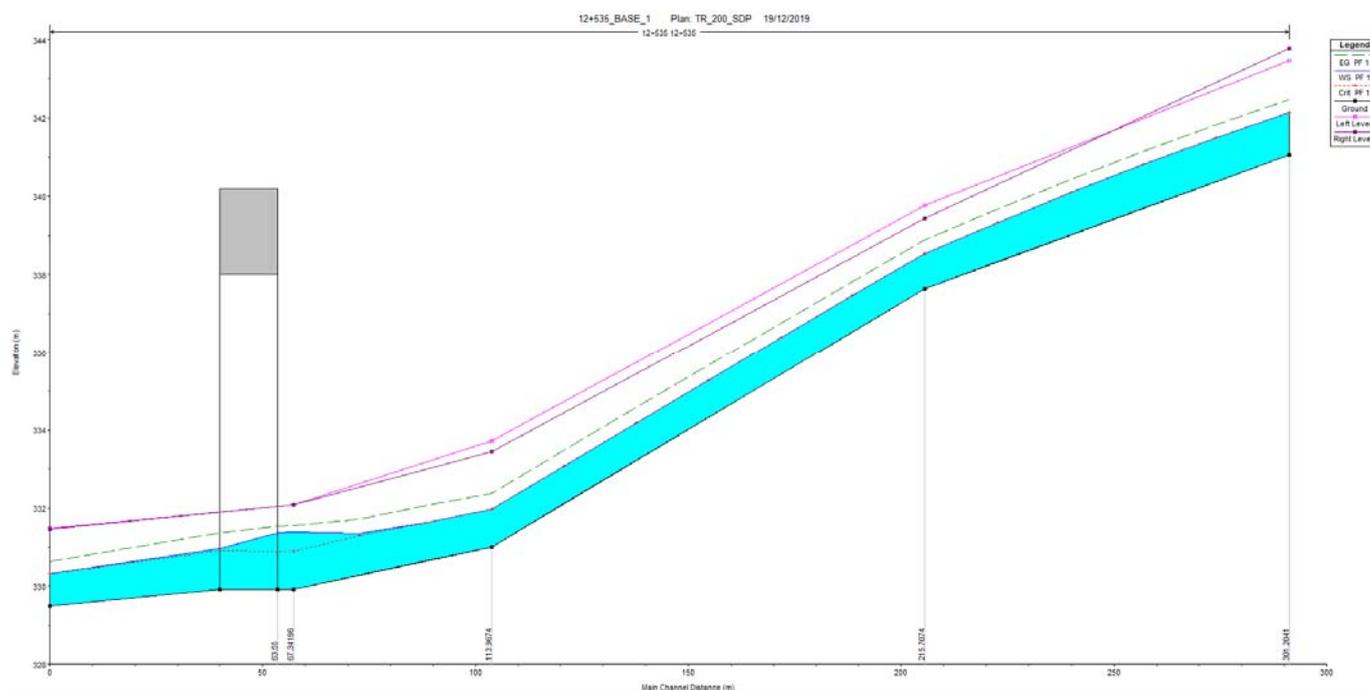


Figura 161: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Dall'andamento del profilo si deduce che la portata di progetto è interamente contenuta nel corso d'acqua e il franco idraulico è ampiamente verificato. Il franco rispetto il livello idrico risulta pari a 5.2m mentre il franco rispetto la linea dell' energia risulta pari a 5.1m.

Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

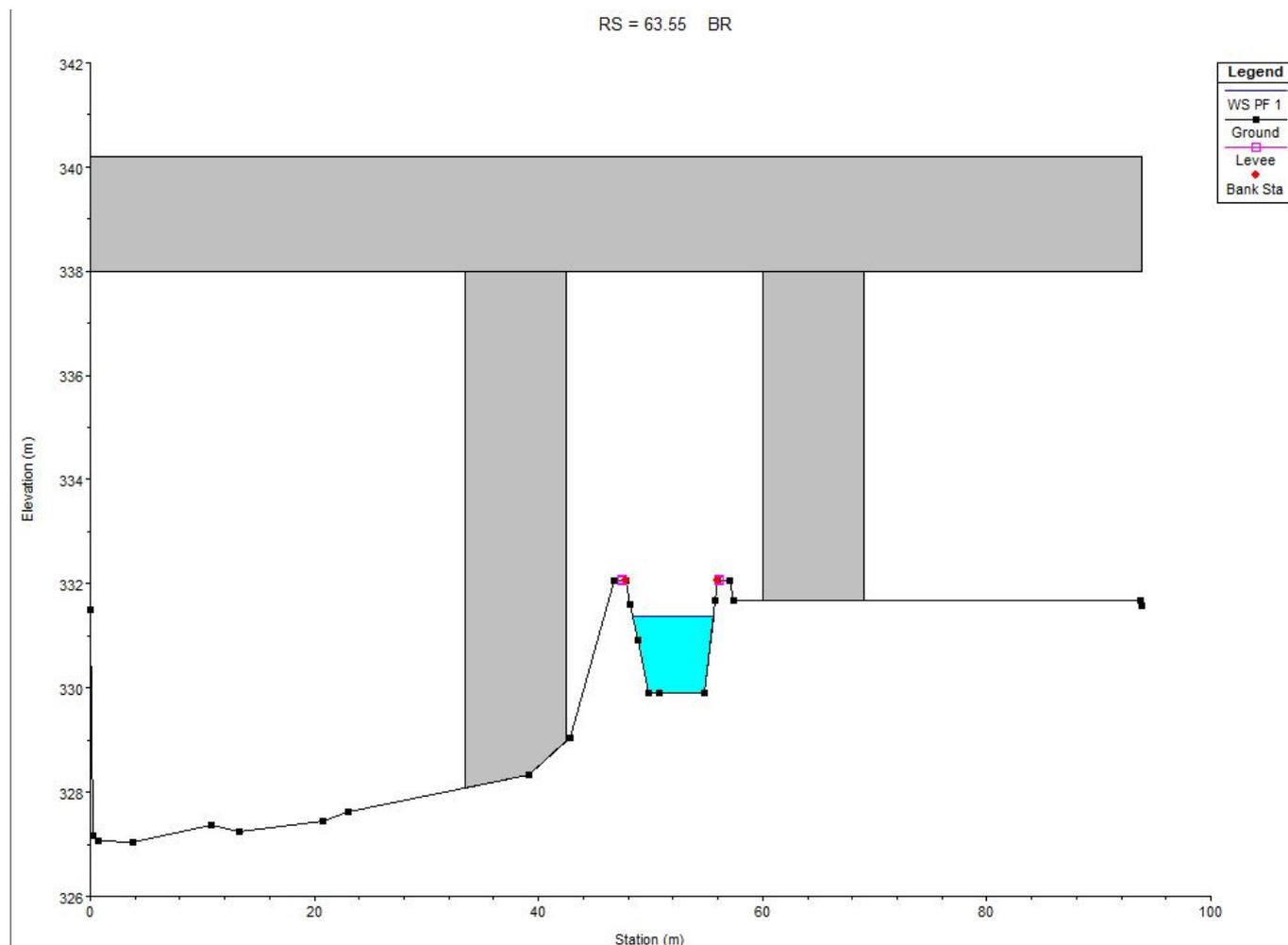


Figura 162: Sezione trasversale viadotto:63.55

3.13.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo – Sistemazione IN40 Pk 12+535

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione e arginatura delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 5m e pendenza delle sponde 3:2 dalla sezione 67.34 alla 9.99. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 30 cm.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

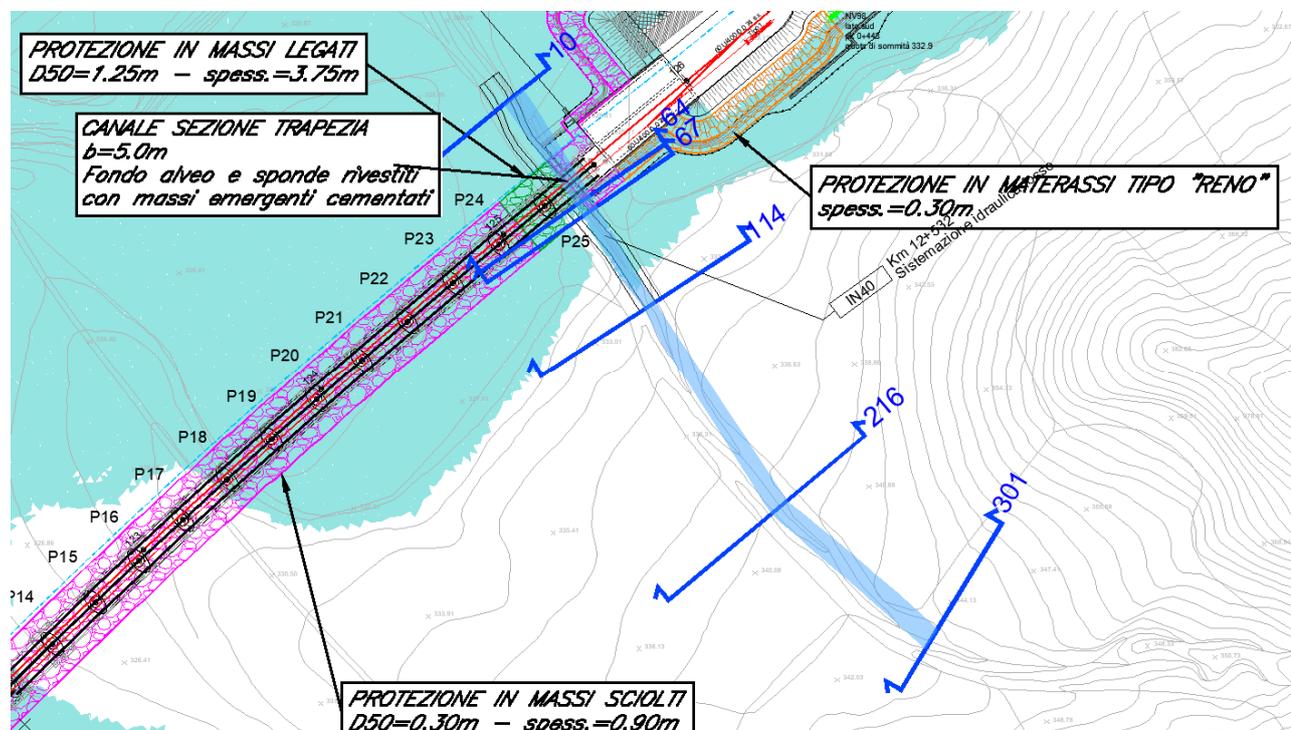


Figura 163: Planimetria di progetto

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
9.999	0.61	86.01	2.46	0.62

Tabella 66: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Non essendo la sezione di dimensioni limitate, poiché il rapporto tra larghezza della base e tirante è pari a 8.1, la tensione tangenziale è stata considerata costante nella sezione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 194 di 215

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.07. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(α)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde ($α$) pari a 45°, un angolo di attrito dei massi ($φ$) pari a 60°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita, in particolare: il valore della tensione tangenziale massima (τ_{max}), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(o)}, \tau_{cr,(α)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e $F_α$ rispettivamente).

τ_{max}	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(α)}$	F_0	$F_α$
[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
86.01	427.24	247	4.97	2.87

Tabella 67: Verifica della stabilità delle protezioni

Le tabelle evidenziano che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 195 di 215

3.14 Interferenza alla progressiva 12+973 – Tombino IN08

Nel tratto in esame in corrispondenza della pk 12+973 il rilevato ferroviario e il rilevato stradale interferiscono con il corso d'acqua esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 26.4 m³/s

La soluzione progettuale prevede la deviazione del corso d'acqua a monte della linea di progetto fino alla pk 12+973 dove attraverserà i rilevati con un tombino di dimensioni 8x4m. A valle del tombino si prevede una sistemazione del canale fino al recapito nel corso d'acqua principale.



Figura 164: Inquadramento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 196 di 215

3.14.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente

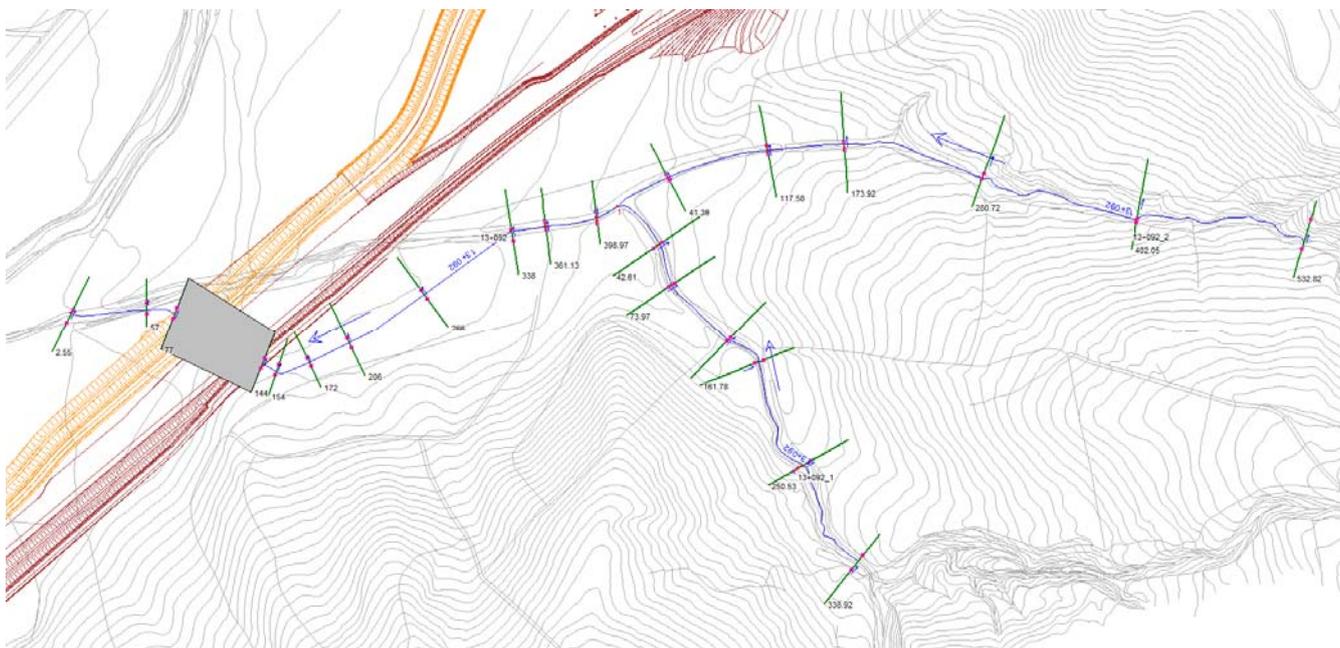


Figura 165: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
13+092	398.97	PF 1	26.40	339.99	343.04	343.04	343.79	0.028834	3.92	7.53	6.24	0.79
13+092	361.13	PF 1	26.40	338.90	341.52	341.52	342.51	0.044925	4.43	6.07	3.54	0.94
13+092	338	PF 1	26.40	338.55	339.18	339.59	340.58	0.055436	5.23	5.04	8.00	2.10
13+092	266	PF 1	26.40	336.05	337.41	337.09	337.71	0.005242	2.43	10.85	8.00	0.67
13+092	206	PF 1	26.40	335.65	337.13	336.69	337.39	0.004017	2.23	11.86	8.00	0.58
13+092	172	PF 1	26.40	335.55	336.92	336.59	337.22	0.005072	2.41	10.97	8.00	0.66
13+092	154	PF 1	26.40	335.45	336.49	336.49	337.00	0.011771	3.18	8.30	8.00	1.00
13+092	153.9	PF 1	26.40	332.60	332.99	333.64	336.68	0.261008	8.51	3.10	8.00	4.37
13+092	144	PF 1	26.40	332.33	332.92	333.37	334.52	0.068987	5.61	4.71	8.00	2.34
13+092	80		Culvert									
13+092	77	PF 1	26.40	330.83	331.42	331.87	333.03	0.069402	5.62	4.70	8.00	2.34
13+092	57	PF 1	26.40	330.40	331.90	331.44	332.15	0.003848	2.19	12.03	8.00	0.57
13+092	2.55	PF 1	26.40	329.56	332.02	330.77	332.02	0.000053	0.24	132.31	61.57	0.06

Tabella 68: Risultati simulazione post operam

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

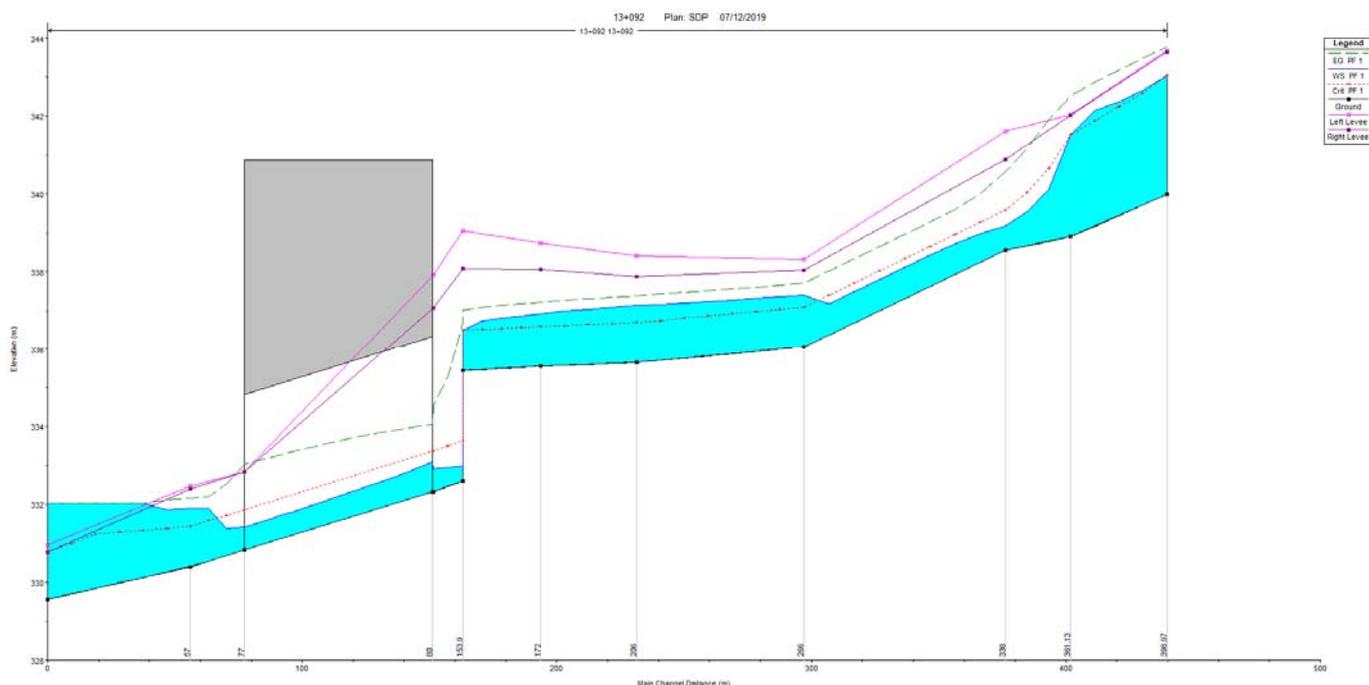


Figura 166: Profilo idrico hec ras

Il tirante massimo che si instaura nell'opera è pari a 0.60 m.

Tale tirante corrisponde ad un grado di riempimento pari al 15%.

3.14.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo – Tombino IN08 Pk 12+973

L'intervento di sistemazione prevede la deviazione del corso d'acqua con una sezione rettangolare in cls rivestita in massi di base 8m.

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

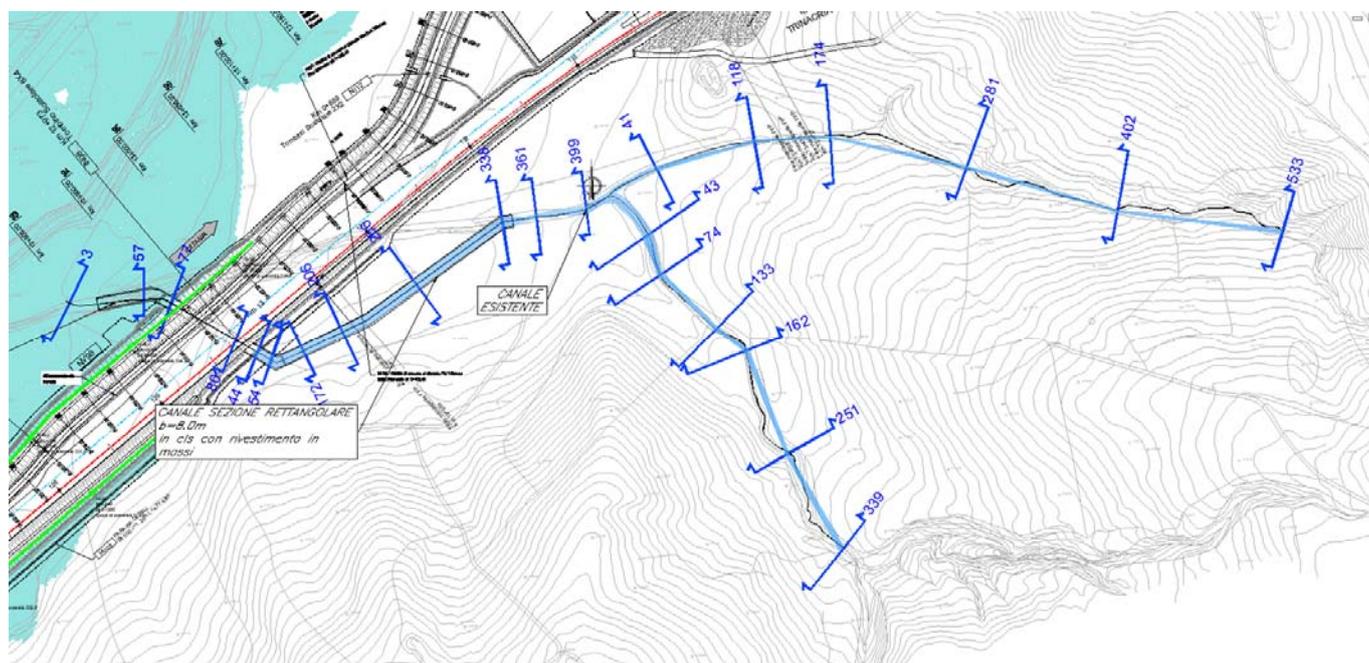


Figura 167: Planimetria di progetto

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 199 di 215

3.15 Interferenza alla progressiva 0+300 NV97– Sistemazione NI18

Nel tratto in esame in corrispondenza della pk 0+300 il viadotto stradale interferisce con il corso d' acqua esistente.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 4 m³/s

La soluzione progettuale prevede la deviazione del corso d' acqua attraverso il viadotto di progetto.

A valle del tombino si prevede una sistemazione del canale fino al recapito nel corso d'acqua principale.



Figura 168: Inquadramento

3.15.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

La figura seguente rappresenta l'ubicazione delle sezioni utilizzate nella verifica a moto permanente

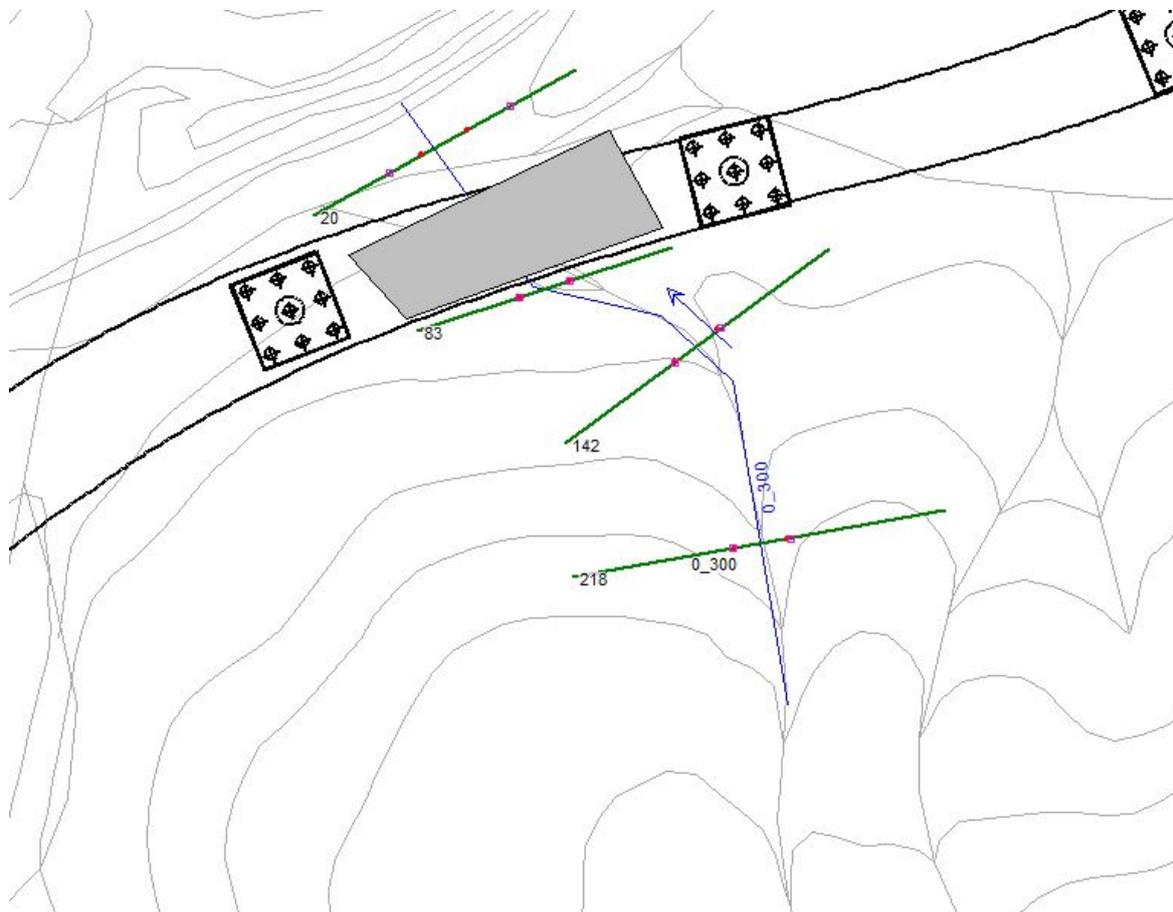


Figura 169: Planimetria sezioni hec ras

La tabella seguente riporta tutte le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, in particolare: la portata (Q Total), la quota del fondo (Min Ch El), la quota del pelo libero della corrente (W.S. Elev.), il livello critico (Crit. W.S.) ed energetico (E.G. Elev.), la pendenza della linea dell'energia (E.G. Slope), la velocità media della corrente (Vel Chnl), Area liquida (Flow Area), la larghezza del pelo libero (Top Width) e il numero di Froude (Fr).

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
0_300	218	PF 1	4.00	340.22	340.62	340.92	341.79	0.150101	4.79	0.84	2.70	2.75
0_300	142	PF 1	4.00	336.77	339.60	337.48	339.60	0.000009	0.13	52.64	34.98	0.03
0_300	83	PF 1	4.00	335.88	339.60	336.58	339.60	0.000003	0.10	71.80	28.67	0.02
0_300	82	Bridge										
0_300	20	PF 1	4.00	335.49	339.60	336.20	339.60	0.000001	0.07	93.48	32.06	0.01

Tabella 69: Risultati simulazione post operam

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 201 di 215

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

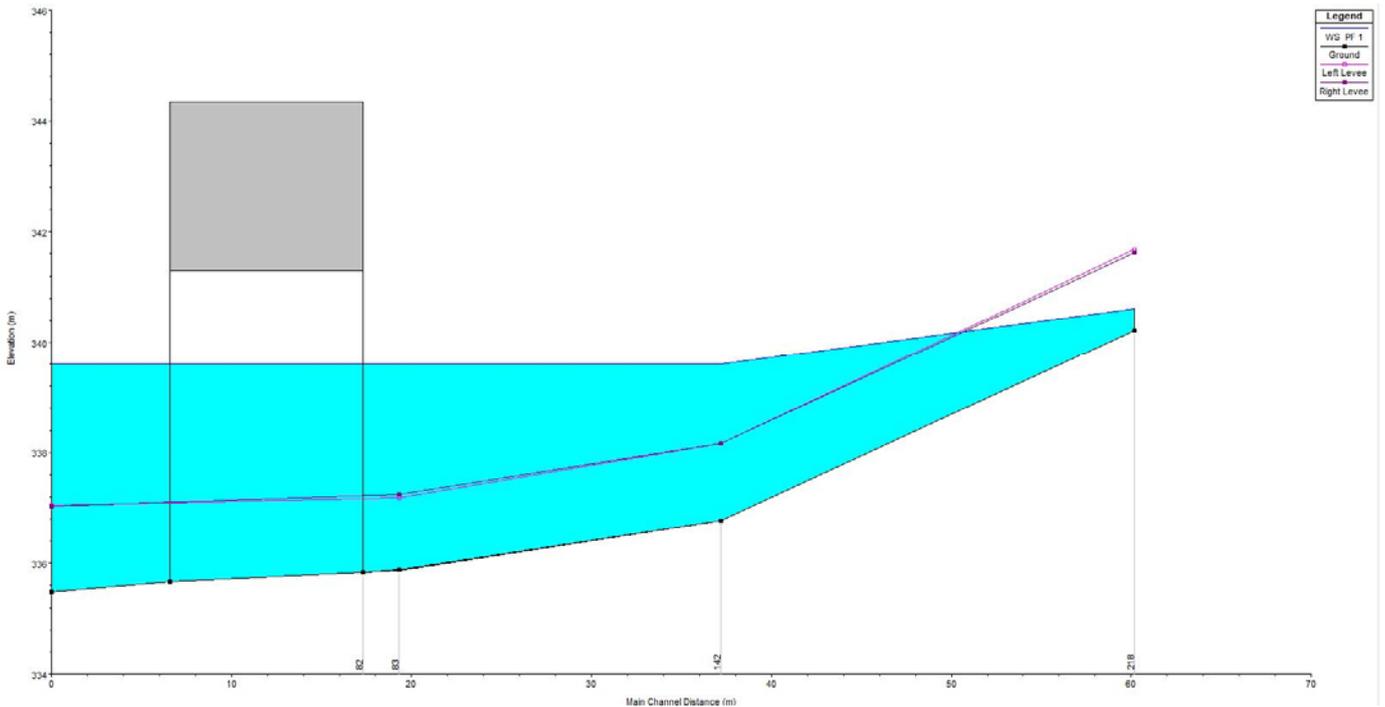


Figura 170: Profilo idrico hec ras : livello a valle

Dall'andamento del profilo si deduce che il corso d'acqua ricade nell'area di esondazione del fiume Morello, ottenuta attraverso la simulazione con tempo di ritorno 30 anni.

Il viadotto risulta verificato con un franco idraulico ed energetico pari a 1.7m.

Nella seguente immagine si riporta la sezione in corrispondenza del viadotto.

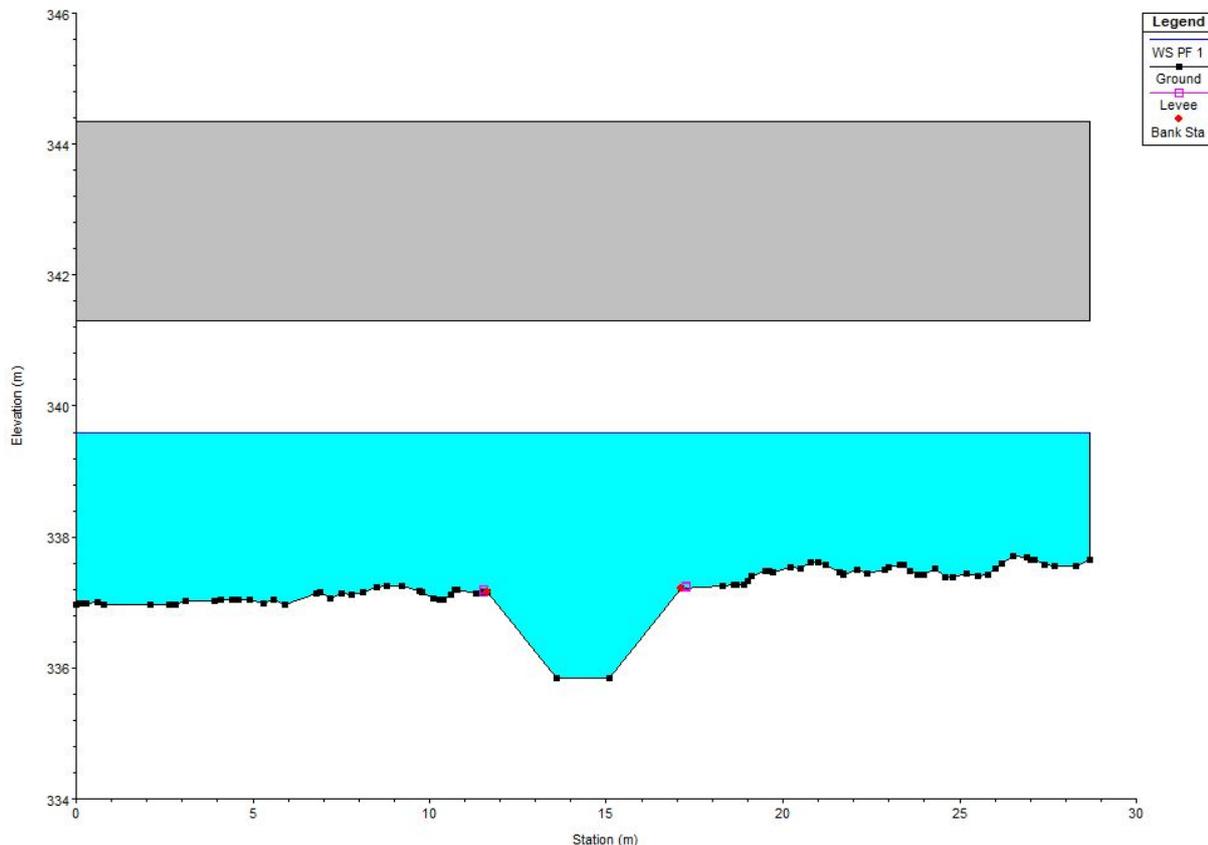


Figura 171: Sezione trasversale viadotto:82

Si riporta nella seguente immagine la planimetria di progetto delle sistemazioni, in cui si evidenziano le aree di allagamento ottenute attraverso il modello numerico e le protezioni previste in fase progettuale.

Al fine di valutare la tenuta del corso d'acqua per eventi che non risentano dell'influenza del livello del fiume Morello, si riporta il profilo e la sezione trasversale del viadotto calcolati con le condizioni di moto uniforme a valle.

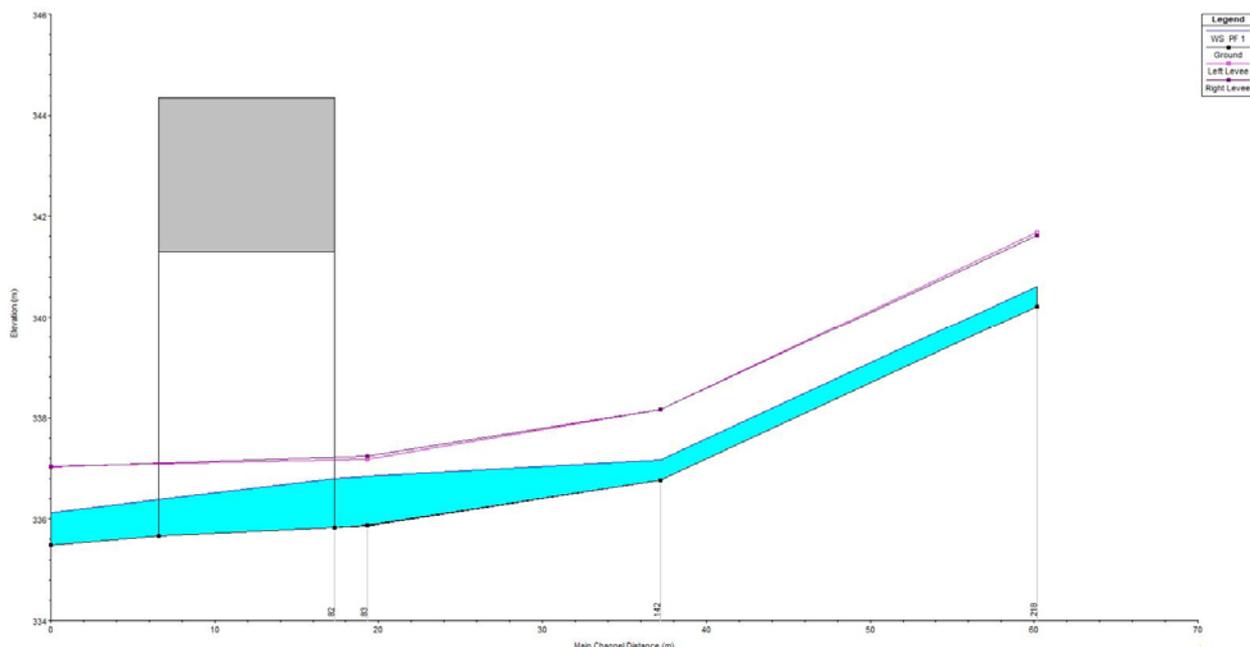


Figura 173: Profilo idrico hec ras : moto uniforme

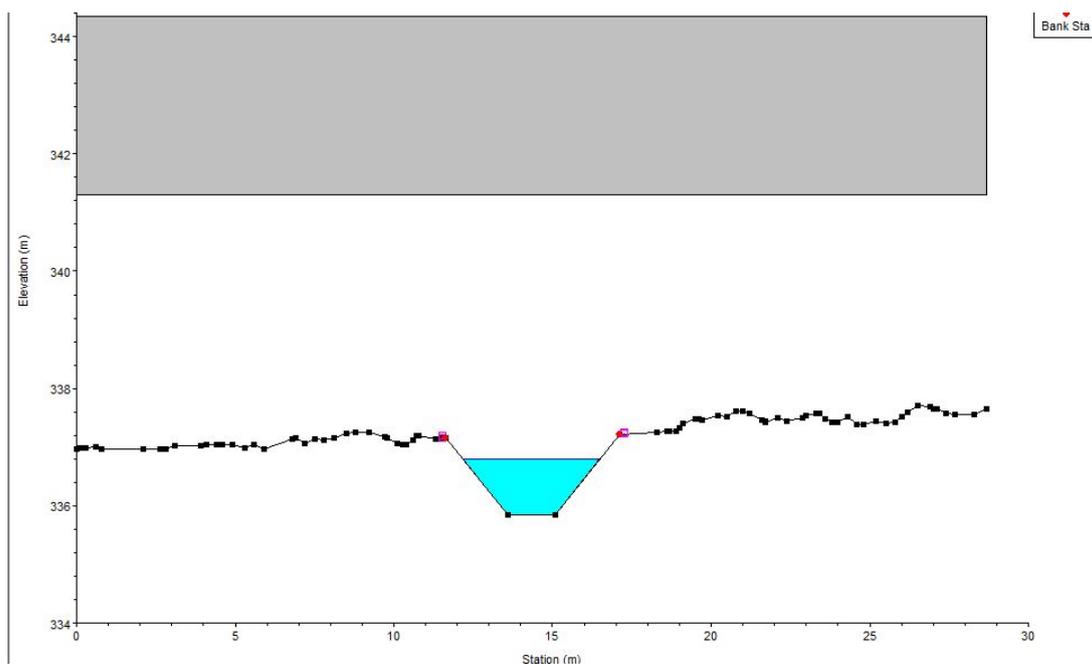


Figura 174: Sezione trasversale viadotto:82

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 205 di 215

3.15.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo – Sistemazione IN18 Pk 0+300

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione e arginatura delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 1.5m e pendenza delle sponde 3:2 dalla sezione 218 alla 20.

Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 50 cm.

La tabella seguente riporta i dati caratteristici della simulazione monodimensionale, nella sezione con tensione tangenziale al fondo maggiore, necessari alla verifica della stabilità dei massi nelle sezioni oggetto di sistemazione a monte e a valle dell'opera in progetto, in particolare: il raggio idraulico (R_H), La tensione tangenziale media (τ_0), la velocità media (V), il tirante (h).

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
218	0.28	441.58	4.79	0.4

Tabella 70: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 3.75, si è tenuto conto della diversa distribuzione della tensione tangenziale lungo la medesima. Pertanto sono stati calcolati il valore massimo della tensione tangenziale al fondo ($\tau_{\max, \text{fondo}}$) e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fsponde}}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(o)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 0.5 evidenzia una bassa sommergenza della protezione. La tensione tangenziale critica sulle sponde ($\tau_{cr,(\alpha)}$) è invece stata calcolata utilizzando il criterio di Lane, assumendo un angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°, un angolo di attrito dei massi (φ) pari a 45°, un peso specifico dei medesimi pari a 26000 N/m³ ed un peso specifico dell'acqua pari a 9810 N/m³.

La tabella seguente riporta i risultati della verifica di stabilità eseguita per il corso d'acqua, in particolare: i fattori moltiplicativi per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde (indicati con β_1 e β_2), il valore della tensione tangenziale massima al fondo e sulle sponde ($\tau_{\max, \text{fondo}}$, $\tau_{\max, \text{fsponde}}$),

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 206 di 215

il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($\tau_{cr(0)}, \tau_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spende}	$\tau_{\text{max,fondo}}$	$\tau_{\text{max,spende}}$	$\tau_{\text{cr}(0)}$	$\tau_{\text{cr}(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	618	485	849.5	562	137	1.16

Tabella 71: Verifica della stabilità delle protezioni

La tabella evidenzia che le protezioni sono sufficienti a garantire la stabilità del fondo e delle sponde. È da precisare che l'intasamento con calcestruzzo garantisce un ulteriore fattore di sicurezza di cui non si è tenuto conto nella verifica appena eseguita.

4 RIEPILOGO INTERVENTI

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con gli interventi previsti nel progetto.

WBS			Interferenza	OPERA	Q TR200 (mc/s)	B	H	Intradosso viadotto	Sistemazione
IN32		0+511	NV04B	Deviazione	9.7				sezione trapezia B=6.0m d massi=0.4m L=340m
IN01		0+450	TR01	Tombino - prolungare esistente	3.2				
IN02		0.638	TR01 / NV04B	Tombino	24.9	5.0	4.0		
IN31		0.576		Sistemazione					Canale rett in cls rivestito in massi B=4.0m L=276m
IN03		0+905	RI01	Tombino	6.5	4.0	2.0		
IN33		0+987		Deviazione					Canale rett in cls B=4.0m L=185m
IN34		1+352.88	VI02	Viadotto	9.6			398.6	sezione trapezia B=4.0m d massi=0.5m L=123m
		NI06	VI02	Viadotto				398.6	Sezione rettangolare B=1.5 m d massi=0.5
IN35		1+805	VI03	Sistemazione	67.5			388.9	sezione trapezia B=10.0m d massi=0.5m L=180m
IN36		2+077	VI04	Sistemazione	10.0			386.1	sezione trapezia B=10.0m d massi=0.4m L=60.6
IN81		1+722	VI52	Sistemazione	2.2			386.6	sezione rettangolare B=2.0m d massi=0.3m
IN51		1+898	RI53	Tombino	1.9	2.0	2.0		
IN52		2+062	TR52	Tombino	0.9	2.0	2.0		
IN53		2+202	RI54	Tombino	31.7	7.0	6.0		
IN54		2+310	RI54	Tombino	1.1	2.0	2.0		
IN37		3+459	VI05	Sistemazione	4.2			368.1	sezione trapezia B=3.0m d

WBS			Interferenza	OPERA	Q TR200 (mc/s)	B	H	Intradosso viadotto	Sistemazione
									massi=0.4m L=127
		3+459		Sistemazione	3.2			367.7	sezione trapezia B=3.0m d massi=0.4m L=131m
IN04		3+744	RI09	Tombino	8.4	3.0	3.0		
IN05		3+921	RI09	Tombino	2.9	2.0	3.0		
IN06		3+976	RI09	Tombino	23.9	6.0	4.0		
IN07		6+505	RI10	Tombino	0.7	3.0	2.0		
IN38		7+389	VI06	Sistemazione	33.9			314.4	Sezione esistente - B=3m d massi 0.5m L=78.4m
		7+389	NV94	Sistemazione	33.9			303.7	
	NI10	11+742	NV02 0+334	Tombino	30.4	5.0	6.0		
IN39		11+800	VI07	Viadotto	35.7			336.0	sezione trapezia B=3.0m d massi=0.7m L=71.3
	NI11	11+752	NV02 0+262	Tombino	5.3	3.0	2.0		
IN40		12+532	VI07	Viadotto	16.3			336.6	sezione trapezia B=5.0m d massi=0.3m L=94m
IN08		12+973	RI13 NV98	Tombino	26.4	8.0	4.0		
	NI07	4+170	NV90	Tombino	5.1	4.0	3.0		
IN18		0+300	NV97	Viadotto	4	1.5		341.3	Sezione trapezia B=1.5 m d massi= 0.5m

Tabella 72: Tabella riepilogo interventi

5 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 209 di 215

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

- NTC 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- Manuale di Progettazione RFI 2019;
- “Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia” (PAI Sicilia)

All’interno del “Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia” (PAI Sicilia) sono perimetrate aree di “Pericolosità idraulica” e “Rischio idraulico”. Le opere in progetto non rientrano all’interno di tali perimetrazioni, fatta eccezione per un’area limitata collocata nell’intorno del viadotto VI06 del lotto 4a, in corrispondenza della progressiva 6+630.

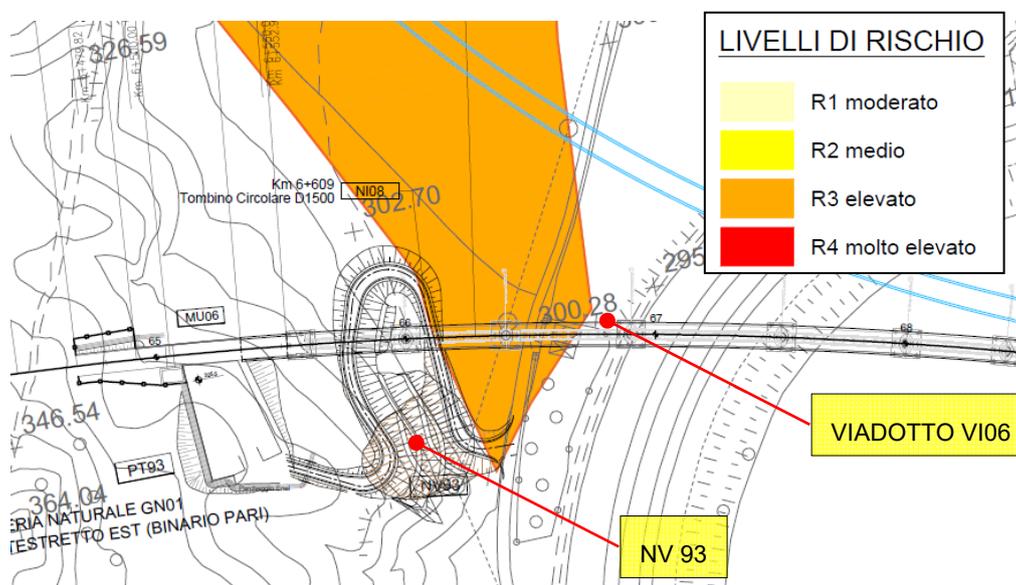


Figura 175: Sovrapposizione tra area di pericolosità e viadotto VI06

In tale posizione, i documenti di piano individuano una zona di rischio idraulico elevato R3. Le Norme di Attuazione del PAI Sicilia, contenute nella Relazione Generale all’Art. 12, disciplinano gli interventi nelle aree R3 e R4. Si riporta nel seguito il testo dell’articolo:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 210 di 215

Art. 12

Disciplina delle aree a rischio molto elevato (R4) ed elevato (R3)

1. *Nelle aree a rischio idraulico molto elevato (R4) ed elevato (R3) sono esclusivamente consentiti:*

a) *Gli interventi di demolizione senza ricostruzione da autorizzarsi ai sensi dell'articolo 5 della legge regionale 10 agosto 1985, n. 37;*

b) *Gli interventi sul patrimonio edilizio esistente di manutenzione ordinaria e straordinaria, gli interventi di restauro e risanamento conservativo e gli interventi di ristrutturazione edilizia parziale degli edifici (con esclusione pertanto della loro totale demolizione e ricostruzione) così come previsto dall'articolo 20, comma 1, lettere a), b), c) e d) della legge regionale 27 dicembre 1978, n. 71;*

c) *Gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superfici e volume, anche con cambiamenti di destinazione d'uso;*

d) *Gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria, straordinaria e di consolidamento delle opere infrastrutturali e delle opere pubbliche e di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;*

e) *Interventi di adeguamento del patrimonio edilizio esistente per il rispetto delle norme in materia di sicurezza e igiene del lavoro e di abbattimento di barriere architettoniche;*

f) *Gli interventi di difesa idraulica per la mitigazione o riduzione del rischio idraulico.*

5.1 Studio idrologico

Lo studio idrologico è stato condotto con l'obiettivo di valutare le portate al colmo di piena nei tronchi torrentizi interessati dalle opere in progetto.

Per le aste torrentizie, le stime sono state effettuate mediante applicazione del metodo razionale a partire da dati di precipitazione forniti dal Dipartimento della Protezione Civile e i dati presenti negli Annali Idrologici.

I valori di portata di progetto sono stati assunti pari ai massimi derivanti dalle due analisi effettuate.

Le stime condotte sono riportate nelle Relazione Idrologica annessa.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 211 di 215

5.2 Verifiche idrauliche

Gli attraversamenti sui corsi d'acqua sono stati verificati sulla base delle prescrizioni tecniche ferroviarie e per quanto concerne i ponti secondo le prescrizioni previste dalle Norme Tecniche delle Costruzioni.

Il Manuale di Progettazione ferroviario distingue tra attraversamenti di corsi d'acqua principali e secondari a seconda che il bacino afferente agli attraversamenti sia superiore o inferiore ai 10 kmq. Per i suddetti attraversamenti si prevede che: *“Sulla base dei dati idrometrici ovvero dello studio idrologico, ad ogni tipo di manufatto idraulico verranno associati i seguenti tempi di ritorno Tr:*

[...]

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

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

(essendo S la superficie del bacino)

Per gli attraversamenti principali, il Manuale prevede che:

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

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

Per gli attraversamenti secondari, il Manuale prevede che:

“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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI – NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDROLOGIA E IDRAULICA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 29	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. D	FOGLIO 212 di 215

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

5.3 Sistemazioni idrauliche

Gli interventi previsti in alveo sono stati definiti applicando criteri di ingegneria naturalistica ed utilizzando laddove possibile, opere di protezione di tipo “elastico” quali massi sciolti, che costituiscono un’affidabile protezione degli stessi dall’azione erosiva della corrente di piena.

Nella progettazione di ponti e viadotti si è cercato di minimizzare la realizzazione di pile nell’alveo di magra dei corsi d’acqua in modo da variare il meno possibile le caratteristiche del moto della corrente di piena.

Gli interventi di sistemazione ripropongono la sagoma delle sezioni attuali d’alveo, e incidono solo localmente sulle pendenze longitudinali dei corsi d’acqua.

Le sistemazioni idrauliche sono state progettate in generale con lo scopo di:

- assicurare con il periodo di ritorno previsto la sicurezza dell’infrastruttura ferroviaria;
- diminuire le eventuali condizioni di rischio, eliminando o riducendo eventuali esondazioni nella zona di intervento;
- non alterare le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio;
- impedire divagazioni che possano andare ad interessare le opere di fondazione delle pile o delle spalle;
- assicurarsi che l’evoluzione della livelletta d’alveo, non approfondisca l’incisione esistente in corrispondenza dell’opera di attraversamento;
- evitare le conseguenze derivanti dai fenomeni di erosione localizzata.

Particolari accorgimenti sono stati adottati per una corretta manutenzione delle opere, onde poter ridurre al minimo gli interventi atti a garantirne l’efficienza e, in ogni caso, a ridurre a livelli minimi i costi delle opere.

5.4 Analisi di compatibilità idraulica

L’infrastruttura ferroviaria e stradale di progetto, come già accennato in precedenza, è esterna alle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica del PAI.

WBS			Interferenza	OPERA	Q TR200 (mc/s)	B	H	Intradosso viadotto	Q.S.	WS	EG	GR	FRANCO (WS)	FRANCO (EG)	v
IN34	1+352.88	VI02	Viadotto	9.6			398.6		386.7	387.3			11.9	11.4	1.9
	NI06	VI02	Viadotto				398.6		387.5	387.6			11.1	10.9	1.95
IN35	1+805	VI03	Sistemazione	67.5			388.9		370.7	371.0			18.2	17.9	2.4
IN36	2+077	VI04	Sistemazione	10.0			386.1		369.7	369.7			16.4	16.4	2.9
IN81	1+722	VI52	Sistemazione	2.2			386.6		378.9	379.2			7.7	7.4	1.1
IN51	1+898	RI53	Tombino	1.9	2.0	2.0		374.6	375.4		40%		1.2		2.1
IN52	2+062	TR52	Tombino	0.9	2.0	2.0		374.7	375.1		22%		1.6		1.6
IN53	2+202	RI54	Tombino	31.7	7.0	6.0		364.4	366.5		34%		3.9		2.2
IN54	2+310	RI54	Tombino	1.1	2.0	2.0		371.5	372.0		27%		1.5		1.8
IN37	3+459	VI05	Sistemazione	4.2			368.1		359.7	359.8			8.4	8.3	2.1
	3+459		Sistemazione	3.2			367.7		360.6	360.7			7.1	7.0	1.9
IN04	3+744	RI09	Tombino	8.4	3.0	3.0		357.3	358.8		48%		1.6		4.6
IN05	3+921	RI09	Tombino	2.9	2.0	3.0		356.7	357.7		33%		2.0		1.8
IN06	3+976	RI09	Tombino	23.9	6.0	4.0		357.2	359.2		50%		2.0		3.4
IN07	6+505	RI10	Tombino	0.7	3.0	2.0		321.7	322.0		15%		1.7		1.1
IN38	7+389	VI06	Sistemazione	33.9			314.4		298.1	298.6			16.3	15.8	3.7
	7+389	NV94	Sistemazione	33.9			303.7		297.6	297.8			6.1	5.9	3.7
	NI10	11+742	NV02 0+334	Tombino	30.4	5.0	6.0		330.1	332.7		44%	3.4		3.3
IN39		11+800	VI07	Viadotto	35.7			336.0		327.1	328.1		9.0	8.0	4.4
	NI11	11+752	NV02 0+262	Tombino	5.3	3.0	2.0		328.3	329.4		56%	0.9		1.6

WBS			Interferenza	OPERA	Q TR200 (mc/s)	B	H	Intradosso viadotto	Q.S.	WS	EG	GR	FRANCO (WS)	FRANCO (EG)	v
IN40		12+532	VI07	Viadotto	16.3			336.6		331.4	331.6		5.2	5.1	2.8
IN08		12+973	RI13 NV98	Tombino	26.4	8.0	4.0		332.3	332.9		15%	3.4		5.6
	NI07	4+170	NV90	Tombino	5.1	4.0	3.0		362.2	363.0		24%	2.3		2.3
NI18		0+300	NV97	Viadotto	4	1.5		341.3		339.6	339.6		1.7	1.7	0.1

Tabella 73 - Verifica del franco sul carico idraulico e gradi di riempimento per i ponti stradali e tombini in progetto