

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)

IDRAULICA E IDROLOGIA

Elaborati Generali

Relazione idraulica opere minori - Lotto 3b

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 78 RI ID0002 002 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	G.De Cianni	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	D.Tiberti Mag-2021
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	G.De Cianni	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Mar-2021	G.De Cianni	Mar-2021	A.Barreca	Mar-2021	
D	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Mag-2021	G.De Cianni	Mag-2021	A.Barreca	Mag-2021	

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
UO Infrastrutture Sud
Dist. Ing. Gianfr. Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 11878

File: RS3T.3.0.D.78.RI.ID.00.0.2.002.D

n. Elab.: 78_603

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

INDICE

1 Sommario

2	PREMESSA	9
3	ELENCO ELABORATI.....	11
4	DESCRIZIONE INTERVENTO.....	16
4.1	MACROFASI COSTRUTTIVE.....	17
4.2	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO PRINCIPALI DELLA LINEA FERROVIARIA	17
5	ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI	22
5.1	METODOLOGIA DI CALCOLO.....	22
5.1.1	<i>Manuale di progettazione ferroviario</i>	<i>22</i>
5.1.2	<i>NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa.....</i>	<i>24</i>
5.1.3	<i>Criteri di verifica.....</i>	<i>29</i>
5.1.4	<i>Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente.....</i>	<i>30</i>
5.2	VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE	43
5.2.1	<i>Geometria degli alvei</i>	<i>43</i>
5.2.2	<i>Portate di progetto</i>	<i>43</i>
5.2.3	<i>Definizione dei coefficienti di scabrezza</i>	<i>48</i>
5.2.4	<i>Definizione delle condizioni al contorno.....</i>	<i>50</i>
5.2.5	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde.....</i>	<i>56</i>
5.2.6	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni dei rilevati.....</i>	<i>60</i>
5.2.7	<i>Criteri di dimensionamento delle protezioni delle pile dei viadotti.....</i>	<i>61</i>
5.3	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 18+910 E 19+000 (IN51-KM18+910).....	63
5.3.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>64</i>
5.3.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	<i>66</i>
5.4	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 19+558 (IN81-A KM19+548).....	67

5.4.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	72
5.5	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 20+228 E 20+470 (IN52 KM 20+469)	73
5.5.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	75
5.5.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	77
5.6	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 20+889 (IN53 KM 20+889).....	79
5.6.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	81
5.6.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	83
5.7	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 21+206 (IN54 KM 21+206).....	85
5.7.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	87
5.7.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	89
5.8	INTERFERENZE ALLA PROGRESSIVA 21+491, 21+552, 21+705+783.4 (IN81-B KM 21+704).....	91
5.9	INTERFERENZA CON NV 53A 0+225 E 0+415 (NI51 KM 21+818).....	93
5.9.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	94
5.9.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	97
5.10	INTERFERENZA CON NV 53A 1+300 (NI52 KM 22+688)	98
5.10.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	99
5.10.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	102
5.11	INTERFERENZA CON NV 53A 1+640 (NI53 KM 22+943)	103
5.11.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	104
5.11.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	108
5.12	INTERFERENZA CON NV 53A 1+900 (NI55-B KM 23+384).....	109
5.12.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	110
5.12.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	112
5.13	INTERFERENZA CON NV 53A 2+180 (NI57 KM 23+713)	113
5.13.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	114
5.13.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	117

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.14	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 22+180 E 22+270 (IN55 KM22+215).....	118
5.14.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>120</i>
5.15	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 23+129 - NI54 23+156	123
5.15.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	<i>125</i>
5.15.2	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>127</i>
5.15.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo.....</i>	<i>132</i>
5.16	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 23+622 (NI55-A KM23+375 E NI55-C KM23+550).....	135
5.16.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>136</i>
5.17	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 24+527 (IN56 KM24+535).....	139
5.17.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>140</i>
5.18	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 24+715 (IN57 24+691)	143
5.18.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>145</i>
5.19	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+019 (IN58 KM25+024).....	147
5.19.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>149</i>
5.20	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+148 E 25+175 (IN59 KM 25+133)	152
5.20.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>154</i>
5.21	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+292 (IN60 KM25+292).....	157
5.21.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>158</i>
5.21.2	<i>Risultati simulazione idraulica fase provvisoria</i>	<i>161</i>
5.22	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+381 E 25+403 (IN61 KM25+403).....	164
5.22.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>165</i>
5.22.2	<i>Risultati simulazione idraulica fase provvisoria</i>	<i>168</i>
5.23	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+552 E 25+600 25+689 (IN62 IN63 IN64).....	172
5.23.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>174</i>
5.24	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 25+892 (IN65 KM25+890).....	179
5.24.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	<i>181</i>

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.25	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 26+090 (IN66 KM26+085).....	183
5.25.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	184
5.25.2	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	187
5.26	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 26+299 (IN67)	190
5.26.1	<i>Risultati simulazione idraulica ante operam TR 200 anni</i>	191
5.26.2	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	192
5.27	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 26+483 (IN82 KM26+490).....	195
5.27.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	196
5.27.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	200
5.28	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 27+531 (IN83-A KM27+544).....	201
5.28.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	202
5.28.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	204
5.29	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 28+051 (IN83-B E NI56-A KM 27+544)	206
5.29.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	207
5.29.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	212
5.30	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 34+755 (IN85 KM 34+758).....	214
5.30.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 300 anni</i>	214
5.30.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	219
5.31	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 35+048 (NI58 KM35+155).....	220
5.31.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	221
5.32	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 35+177 (IN86 E NI59 KM35+180).....	224
5.32.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	225
5.32.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	229
5.33	INTERFERENZA NV59 0+200 (NI61 35+700).....	231
5.33.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	232
5.33.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	234

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.34	INTERFERENZA NV59 0+580 (NI60 35+433).....	235
5.34.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	236
5.34.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	239
5.35	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 37+048 (IN68 37+047)	240
5.35.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	241
5.36	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 37+498 (IN87 KM37+488).....	244
5.37	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 37+813 (IN88 KM37+819).....	246
5.37.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	247
5.37.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	251
5.38	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 39+162 (IN69) E 39+273 (IN70 KM39+289)	253
5.38.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	254
5.38.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo Pk 39+162.....</i>	258
5.38.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo – B=6.0m</i>	260
5.39	INTERFERENZA NV61 0+092 (NI62 KM39+428).....	261
5.39.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	262
5.40	INTERFERENZA NV61 0+250 (NI63 KM39+570).....	265
5.40.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	266
5.41	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 39+673 (NI65 KM39+654 – IN89 KM39+665)	269
5.41.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	270
5.41.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	274
5.42	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 39+947 (NI66 IN71 NI67 IN72).....	275
5.42.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	277
5.42.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo</i>	283
5.43	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 40+297 E 40+415 (NI68 KM 40+419 – IN73 KM40+424).....	285
5.43.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni.....</i>	286
5.43.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua 40+297</i>	291

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.43.3	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua 40+414</i>	292
5.44	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 41+412 (NI69-2 KM41+593)	293
5.44.1	<i>Risultati simulazione TR 200 anni HY8</i>	296
5.45	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 41+561 (NI72 KM41+593))	298
5.45.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	299
5.46	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 41+640 (IN91 KM41+617).....	303
5.47	INTERFERENZA NV62A 1+270 (NI69 KM40+838)	304
5.47.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	305
5.47.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua</i>	308
5.48	INTERFERENZA NV62C 0+125 (NI71 KM41+429)	309
5.48.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	310
5.49	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 41+823 (IN92 KM41+840).....	315
5.49.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	316
5.49.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua 41+823</i>	320
5.50	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 42+050 (IN93 KM42+053).....	322
5.50.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	323
5.50.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua 42+050</i>	327
5.51	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 42+413 E 42+557 (IN94 KM42+596)	329
5.51.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	330
5.52	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 43+950 - 43+985 (IN95 KM43+988).....	335
5.52.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	337
5.52.2	<i>Sistemazione e protezioni dell'alveo corso d'acqua</i>	341
5.53	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 44+284	343
5.54	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 46+430 (IN74)	343
5.54.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	344
5.54.2	<i>Sistemazioni e protezioni dell'alveo</i>	348

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.55	INTERFERENZA ALLA PROGRESSIVA 38+175 (NI73 TOMBINO SOTTO STRADA ACCESSO PT58)	350
5.55.1	<i>Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni</i>	351
6	RIEPILOGO INTERVENTI	354
7	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	359
7.1	STUDIO IDROLOGICO	360
7.2	VERIFICHE IDRAULICHE	360
7.3	SISTEMAZIONI IDRAULICHE.....	361
7.4	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	362
8	GRIGLIA SELETTIVA A BARRE VERTICALI A MONTE DEI TOMBINI CON GR>50%	370
8.1	ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO IN53.....	375
8.2	ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO NI55-C	376
8.3	ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO IN61.....	377
8.4	ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO IN64.....	377
8.5	ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI IN71-IN72.....	378

2 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 Fiume Torto – 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.

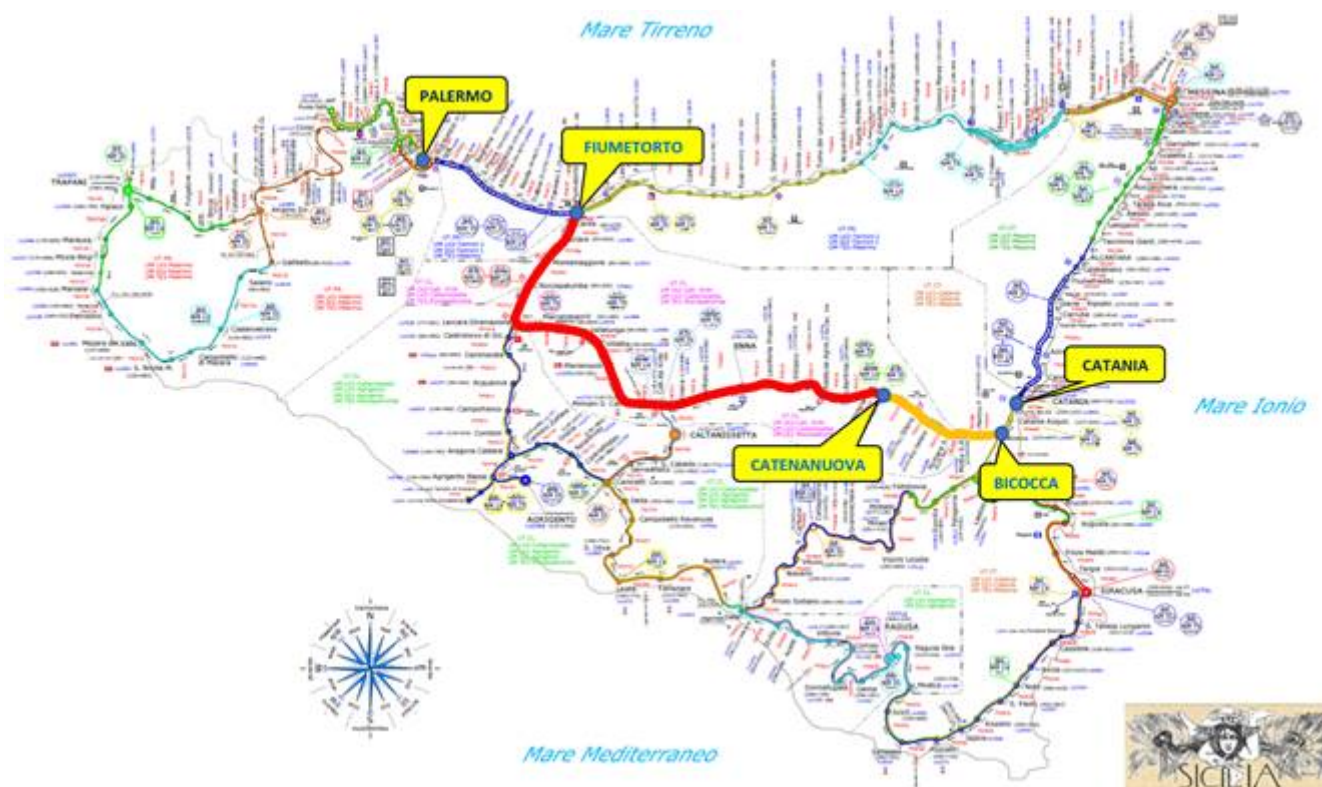


Figura 1: Planimetria tratto Fiumetorto - Catenanuova

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;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

- 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.

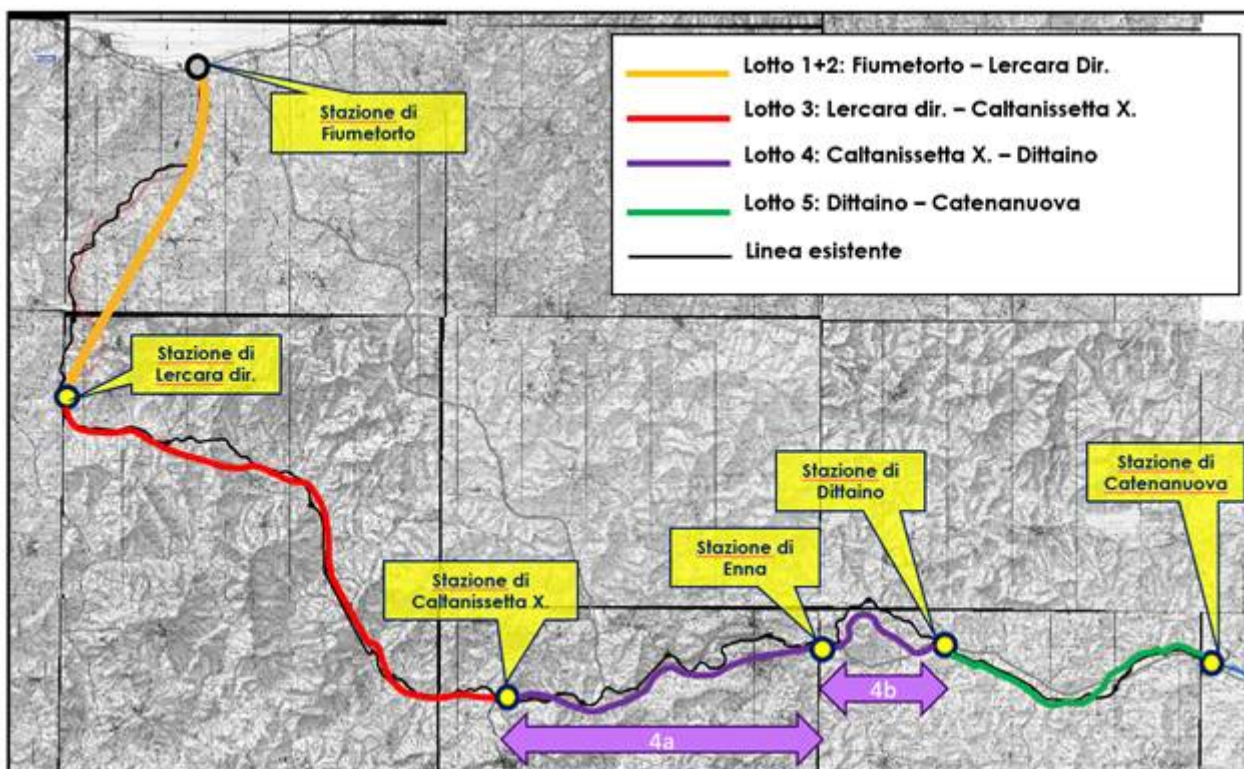


Figura 2: Corografia – tratta Fiume Torto - Catenanuova

La presente relazione descrive i risultati delle verifiche idrauliche degli attraversamenti minori del lotto 3B nella tratta tratta “Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi di circa 47 km”

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;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

- 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;

3 ELENCO ELABORATI

	IDRAULICA E IDROLOGIA	
	Elaborati Generali	
09-482	Relazione idrologica generale	RS3T.3.0.D.09.RI.ID.00.0.1.001
78_603	Relazione descrittiva risoluzione interferenze idrauliche	RS3T.3.0.D.78.RI.ID.0.00.2.003
	Tombini HY8	
78_603_1	Planimetria individuazione - Lotto 3b	RS3T.3.0.D.78.B7.ID.00.0.2.002
	Deviazioni fossi in corrispondenza delle pile dei viadotti	
78_603_2	Planimetria altre sistemazioni - Lotto 3b	RS3T.3.0.D.78.B7.ID.00.0.2.003
	Tipologici sistemazioni idrauliche	
78_603_3	Opere Tipologiche - Sistemazioni corsi d'acqua minori - Lotto 3b	RS3T.3.0.D.78.BZ.ID.00.0.2.002
78_603_3	Opere Tipologiche – Tombino griglia selettiva	RS3T.3.0.D.78.BZ.ID.00.0.2.008
	IDRAULICA MINORE INTERFERENTE	
	Lotto 3b	
	IN51 - Pk 18+910	
78_604	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.51.0.0.001
78_604_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.51.0.0.001
	IN52 - Pk 20+469	
78_605	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.52.0.0.001
78_605_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.52.0.0.001
	IN53 - Pk 20+889	
78_606	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.53.0.0.001
78_606_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.53.0.0.001
	IN54 - Pk 21+206	
78_607	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.54.0.0.001
78_607_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.54.0.0.001
	IN55 - Pk 22+215	
78_608	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.55.0.0.001
78_608_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.55.0.0.001



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO
 NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA
 TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)
 IDRAULICA E IDROLOGIA

RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3T	30 D 78	RI	ID0002 002	D	12 di 379

IDRAULICA E IDROLOGIA		
Elaborati Generali		
	IN56 - Pk 24+535	
78_609	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.56.0.0.001
78_609_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.56.0.0.001
	IN57 - Pk 24+714	
78_610	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.57.0.0.001
78_610_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.57.0.0.001
	IN58 - Pk 25+024	
78_611	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.58.0.0.001
78_611_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.58.0.0.001
	IN59 - Pk 25+133	
78_612	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.59.0.0.001
78_612_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.59.0.0.001
	IN60 - Pk 25+292	
78_613	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.60.0.0.001
78_613_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.60.0.0.001
	IN61 - Pk 25+403	
78_614	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.61.0.0.001
78_614_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.61.0.0.001
	IN62 - Pk 25+550	
78_615	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.62.0.0.001
78_615_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.62.0.0.001
	IN63 - Pk 25+608	
78_616	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.63.0.0.001
78_616_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.63.0.0.001
	IN64 - Pk 25+689	
78_617	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.64.0.0.001
78_617_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.64.0.0.001
	IN65 - PK 25+890	
78_618	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.65.0.0.001
78_618_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.65.0.0.001
	IN66 - Pk 26+085	
78_619	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.66.0.0.001
78_619_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.66.0.0.001
	IN67 - Pk 26+299	
78_620	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.67.0.0.001
78_620_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.67.0.0.001

IDRAULICA E IDROLOGIA		
Elaborati Generali		
	IN68 - Pk 37+047	
78_621	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.68.0.0.001
78_621_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.68.0.0.001
	IN69 - Pk 39+162	
78_622	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.69.0.0.001
78_622_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.69.0.0.001
	IN70 - Pk 39+289	
78_623	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.70.0.0.001
78_623_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.70.0.0.001
	IN71 - Pk 39+935	
78_624	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.71.0.0.001
78_624_	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.71.0.0.001
	IN73 e NI69 - Pk 40+838	
78_625	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.73.0.0.001
78_625_	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.73.0.0.001
	IN73 - Pk 40+424	
78_626	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.73.0.0.002
78_626_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.73.0.0.001
	IN74 - Pk 46+430	
78_627	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.74.0.0.001
78_627_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.74.0.0.001
	IN81A - Pk 19+548	
78_628	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.81.A.0.001
78_628_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.81.0.0.001
	IN82 - Pk 26+490	
78_629	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.82.0.0.001
78_629_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.82.0.0.001
	IN83A - Pk 27+544	
78_630	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.83.A.0.001
78_630_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.83.A.0.001
	IN83B - Pk 27+544	
78_631	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.83.B.0.001
78_631_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.83.B.0.001
	IN85 - Pk 34+758	
78_632	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.85.0.0.001
78_632_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.85.0.0.001

IDRAULICA E IDROLOGIA		
Elaborati Generali		
IN86 e NI58 - Pk 35+155		
78_633	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.86.0.0.001
78_633_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.86.0.0.001
IN86 - Pk 35+180		
78_634	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.86.0.0.002
78_634_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.86.0.0.002
IN88 - Pk 37+819		
78_635	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.88.0.0.001
78_635_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.88.0.0.001
IN89 e NI63 - Pk 39+570		
78_636	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.89.0.0.001
78_636_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.89.0.0.001
IN89 - Pk 39+665		
78_637	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.89.0.0.002
78_637_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.89.0.0.002
IN91 - Pk 41+593 41+617		
78_638	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.91.0.0.001
78_638_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.91.0.0.001
IN92 - Pk 41+840		
78_639	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.92.0.0.001
78_639_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.92.0.0.001
78_639_2	p.m.	
IN93 - Pk 42+053		
78_640	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.93.0.0.001
78_640_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.93.0.0.001
78_640_2	p.m.	
IN94 - Pk 42+596		
78_641	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.94.0.0.001
78_641_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.94.0.0.001
IN95 - Pk 43+988		
78_642	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.IN.95.0.0.001
78_642_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.IN.95.0.0.001
VIABILITA': IDRAULICA MINORE INTERFERENTE		
Lotto 3b		
NI51 - Pk 21+818		
78_643	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.51.0.0.001

IDRAULICA E IDROLOGIA		
Elaborati Generali		
78_643_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.51.0.0.001
	NI52 - Pk 22+688	
78_644	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.52.0.0.001
78_644_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.52.0.0.001
	NI53 - Pk 22+943	
78_645	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.53.0.0.001
78_645_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.53.0.0.001
	NI54 - Pk 23+156	
78_646	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.54.0.0.001
78_646_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.54.0.0.001
	NI55A - Pk 23+375	
78_647	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.55.A.0.001
78_647_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.55.A.0.001
	NI55B - Pk 23+384	
78_648	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.55.B.0.001
78_648_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.55.B.0.001
	NI57 - Pk 23+713	
78_649	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.57.0.0.001
78_649_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.57.0.0.001
	NI60 - Pk 35+443	
78_650	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.60.0.0.001
78_650_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.60.0.0.001
	NI61 - Pk 35+709	
78_651	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.61.0.0.001
78_651_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.61.0.0.001
	NI62 - Pk 39+428	
78_652	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.62.0.0.001
78_652_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.62.0.0.001
	NI71 - Pk 41+429	
78_653	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.71.0.0.001
78_653_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.71.0.0.001
	NI73 - Pk 38+175	
78_654	Planimetria con sezioni e profilo post operam	RS3T.3.0.D.78.LZ.NI.73.0.0.001
78_654_1	Sezioni idrauliche post operam	RS3T.3.0.D.78.W9.NI.73.0.0.001

Tabella 1 – Elenco elaborati grafici annessi

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

4 DESCRIZIONE INTERVENTO

Il tracciato di progetto del lotto 3 della ferrovia Palermo – Catania, evidenziato in rosso in Figura 3, attraversa in direzione SE-NO la parte centrale della Sicilia e ricade all'interno dei bacini del Fiume Torto e del Fiume Platani.

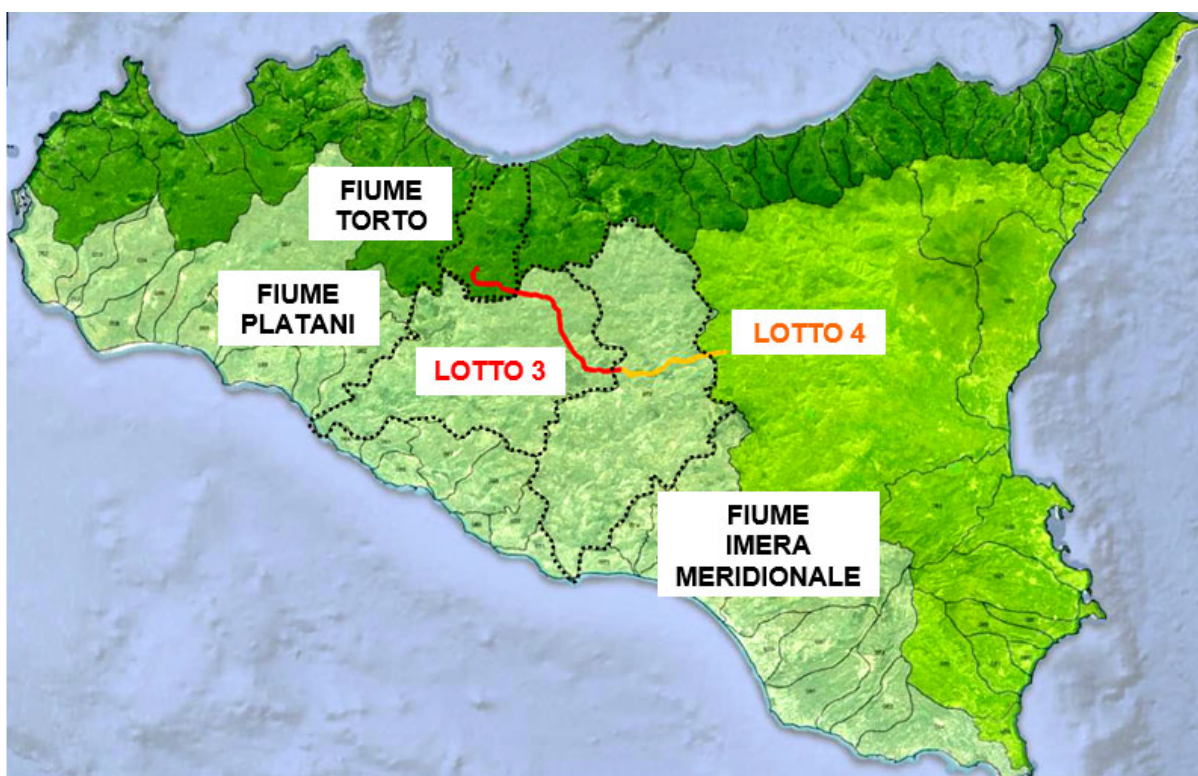


Figura 3: Inquadramento del lotto 3 e 4 della linea ferroviaria CATANIA – PALERMO e dei bacini idrografici Siciliani

Nel suo sviluppo, la nuova linea ferroviaria segue all'incirca il tracciato esistente interferendo con i corsi d'acqua principali Torto e Belici. Il lotto 3B si sviluppa dalla pk 18+636 alla pk 46+703.

- Dalla pk 0+741 alla pk7+918 la linea si mantiene in sinistra idraulica del fiume Torto che attraversa la linea ferroviaria alla progressiva 0+741.
- Dalla pk 15+974 alla pk 27+314 la linea ferroviaria si sviluppa lungo il Fiume Belici che interferisce con la linea ferroviaria alle seguenti pk 18+258, 21+933, 22+749, 23+716 e 27+314.
- Dalla km 34+754.77 alla km 46+434 la linea ferroviaria si sviluppa lungo il Fiume Salito che interferisce con la linea ferroviaria alle seguenti pk 34+754, 37+622, 41+197. 41+755 42+296 e 43+950.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

4.1 Macrofasi costruttive

La linea ferroviaria del lotto 3B si sviluppa dalla km 19+113 alla km 46+703.

In questo tratto la linea di progetto sarà a singolo binario (sia macro 1 che macro 2) e la linea storica resta in esercizio.

Gli attraversamenti idraulici di progetto sono stati verificati per eventi con tempi di ritorno duecentennali. Nel caso in cui la presenza del tombino esistente genera rigurgiti tali da interessare la nuova linea, è stato previsto un nuovo tombino a spinta al di sotto della storica.

4.2 Inquadramento manufatti di attraversamento principali della linea ferroviaria

Nella Tabella 2 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 da profilo, il toponimo e la WBS (work breakdown structure) dell'opera. Si riportano inoltre le dimensioni dei tombini oggetto di verifica idraulica.

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto		PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D
		ID	pk							
1		IN51 strada	18+910	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	18+910		3	2	
		IN51 ferr		Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	18+910		3	2	
		IN44b	18+900	Sistemazione idraulica fosso						
		IN44b	18+901	Sistemazione idraulica fosso						
2		IN81-a	19+548	Tombino - Starda esistente	strada esistente			6	3.5	
				Tombino ad arco - Ferrovia esistente	Ferrovia esistente			6	6	
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	19+558	412.2			
3		IN52	20+469	Canale di gronda	Ferrovia	20+228				
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			3	2	
				Tombino scatolare BxH 8X5	Strada	20+469		8	5	
				Tombino scatolare BxH 8X5	Ferrovia	20+470		8	5	
4		IN53	20+889	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			1.3	1.2	
				Tombino scatolare BxH 3X5	Ferrovia	20+889		3	5	
				Tombino scatolare BxH 3X5	Strada	20+889		3	5	

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto	PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D	
		ID	pk							
5		IN54	21+206	Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia esistente		1.1	1.2		
				Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia	21+206	5	4		
				Tombino scatolare BxH 5X4	Strata	21+206	5	4		
		IN81-b	21+701	Deviazione	viadotto	21+490				
					viadotto	21+552				
					viadotto	21+705				
					viadotto	21+783				
6		IN55	22+215	Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	22+180/22+270	4	2		
				Tombino scatolare BxH 4X3	Ferrovia	70	4	2		
7		NI54	23+156	Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	NV54 0+469	3	3		
				Nuova inalveazione	Ferrovia Viadotto	23+129	380.32			
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente					
8		NI55-a	23+375	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	NV55A 0+107 (Pk23+622)	2	2		
		NI55-c	23+550	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	23+622	2	2		
9		IN56	24+535	Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia Variante	24+527	7	3		
				Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia	24+527	7	3		
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	24+527	7	3		
10		IN57	24+691	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia Variante	24+714	2	2		
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	24+714	2	2		
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	24+714	2	2		
11		IN58	25+024	Deviazione fosso						
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia+variante	25+019	3	2		
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+019	3	2		
12		IN59	25+133	Demolizione esistente -Nuovo Tombino scatolare BxH 4X2	strada esistente	25+148/25+175	4	2		
				Tombino scatolare BxH 4X2	variante+ferr ovia	25+148/25+175	4	2		
				Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	25+148/25+175	4	2		
13		IN60	25+292	Tombino stradale esistente	starda esistente		1.4	1.3		
				Tombino esistente BxH 3X2	Ferrovia esistente	25+292	3	2		
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	25+292	3	2		
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+292	3	2		

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto	PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D	
		ID	pk							
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria	25+292			2 φ1500	
14		IN61	25+403	tombino stradale esistente	Strada esistente				1.5	
				Tombino scatolare BxH 3X2	variante	25+381/25+403		3	2	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	25+381/25+403		3	2	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+381/25+403		3	2	
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria					2 φ1500
15		IN62	25+550	Tombino stradale esistente	strada esistente	25+552			1.5	
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+552		3	1.1	
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+552		3	3	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+552		3	3	
		IN63	25+608	Tombino stradale esistente	strada esistente	25+600				1.5
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+600		3	1.35	
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+600		3	3	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+600		3	3	
		IN64	25+689	Tombino stradale esistente	strada esistente					1.5
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+688		3	1.35	
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+689		3	3	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+689		3	3	
16		IN65	25+890	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	25+892		1.3	1.3	
				Tombino scatolare BxH 3X2	ferrovia	25+892		3	2	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+892		3	2	
17		IN66	26+085	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	26+090		0.93	1	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	26+090		3	3	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	26+090		3	2	
18		IN67	26+299	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	26+299		0.92	1.63	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	26+299		2	2	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	26+299		2	2	
19		IN82	26+490	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	26+483		4	1.9	
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	26+483	353.82			

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto	PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D
		ID	pk						
				Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto	26+483	351.77		
20		IN83-a	27+544	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	27+531 28+051	348.78		
21		NI56-a	27+798	Tombino scatolare BxH 3x2	Strada	NV57A		3	2
		IN83-b	27+544	Deviazione in 27+531		28+051			
22		IN85	34+758	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	34+755	337.66		
				Tombino stradale esistente	Strada esistente	34+755		14	4.2
23		NI58	35+155	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	35+048		2	2
				Deviazione	Ferrovia viadotto	35+048			
24		IN86	35+180	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	35+177	331.49		
		NI59	35+232	Tombino scatolare BxH 7X3.5	Strada	NV59 0+794		7	3.5
25		IN68	37+047	Tombino scatolare BxH 4X3	Ferrovia	37+048		4	3
				Deviazione galleria	Ferrovia				
		IN87	37+488	sez esistente		37+500			
26		IN88	37+819	Tombino stradale esistente	strada esistente			1.48	1.24
				Tombino stradale esistente	strada esistente			1	1.65
				Tombino stradale esistente	strada esistente			1.16	0.4
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	37+813		1	2
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	37+813	298.86		
27		IN69	39+162	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	39+162		3	3
				Tombino scatolare BxH 3.5X2.0	strada bianca	39+162		3.5	2
		IN70	39+289	Tombino scatolare BxH 6X3	ferrovia	39+273		6	3
				Tombino stradale esistente	strada esistente	39+273		2	2.2
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	39+273		3	2
28		NI65	39+654	Tombino stradale esistente	strada esistente	39+673		1.58	4.05
				Tombino stradale esistente	strada esistente	39+673		2.07	4.9
				Tombino scatolare BxH 8X3.5	strada	39+673		8	3.5
				Tombino stradale esistente	esistente	39+672			

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto	PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D	
		ID	pk							
		IN89	39+665	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	39+673	306.41			
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	39+673		2.85	2.85	
29		NI66	39+935	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	39+947		2	3	
				Sistemazione	Ferrovia viadotto	39+948	308.51			
		IN71	39+935	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	39+947		2	2	
		NI67	40+010	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	40+005		2	3	
				Sistemazione	Ferrovia	40+006	308.61			
		IN72	40+012	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	40+005		2	2	
30		NI68	40+419	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Strada	40+297/40+415		6.5	3	
		IN73	40+424	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Ferrovia	40+297/40+415		6.5	3	
				DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X2.5	Ferrovia +viabilità	40+297/40+415		6.5	2.5	
	1	NI69-2	41+593	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	41+413		2	2	
				Deviazione	Ferrovia viadotto	41+413	324.39			
31		NI72	41+593	Tombino scatolare BxH 2X3	strada	41+561		2	3	
		IN91	41+593	Deviazione	Ferrovia viadotto	41+561	327.23			
		IN91	41+617	canale di gronda - deviazione	Ferrovia viadotto	41+640	327.23			
32		IN92	41+840	Tombino ferroviario esistente		41+824			1	
				Deviazione	Ferrovia viadotto	41+824	331.21			
33		IN93	42+053	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	42+050			1	
				Deviazione	Ferrovia viadotto	42+050	334.62			
34		IN94	42+596	Deviazione	Ferrovia viadotto	42+566				
35				Deviazione	Ferrovia viadotto	43+950	365.77			
35		IN95	43+988	Sistemazione	Ferrovia viadotto	43+985	365.77			
36			46+430	Tombino esistente	Ferrovia esistente			2.5	3	
				Tombino scatolare BxH 8X5	strada NV66			8	5	
				IN74	Tombino scatolare BxH 8X5	ferrovia	46+430		8	5
				Tombino esistente	Ferrovia esistente					

HEC	HY8	WBS		Opera su linea di progetto	PK bacino (km)	Viadotto intradoss o	B (m)	H (m)	D	
		ID	pk							
37		NI51	21+818	Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	NV53A 0+255/0+415		7	3	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada ricucitura			7	3	
				Fosso di guardia NV53A		0+415				
38		NI52	22+688	Deviazione	Strada viadotto	NV53 1+300	378.96			
39		NI53	22+943	Deviazione	Strada viadotto	NV53 1+640	376.88			
40		NI55-b	23+384	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV53 1+910		3	3	
41		NI57	23+713	Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto	NV53 2+180	377.73			
42		NI61	35+709	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV59 0+200		3	3	
43		NI60	35+443	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV59 0+580		3	3	
44		NI69	40+838	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	NV62A 1+270		2	2	
45		NI71	41+429	Deviazione	Ferrovia viadotto	NV62C 0+125	319.4			
		NI71	41+430	Deviazione	Ferrovia viadotto	NV62C 0+126	321.42			
46		NI62	39+428	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	NV61 0+092		2	2	
				tombino esistente	ferrovia	NV61 0+092		0.8	2	
47		IN89 NI63	39+570	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	NV61 0+250		3	2	
48		NI73	38+175	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	Accesso PT58		3	3	

Tabella 2 – Elenco delle opere di attraversamento principali.

5 ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO


5.1.1 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 T_r :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

- linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$
- deviazioni stradali $T_r = 200$ anni
- ...omississ...

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

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

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

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

Le tipologie ammesse sono:

- tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;
- tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2m;
- Sono ammessi fino a due tombini affiancati.
- In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.
- La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.
- La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

Relativamente al grado di riempimento massimo, nel caso in esame è stato assunto pari al 67% se la morfologia del territorio escludeva la presenza di trasporto solido, e pari al 40% dove si riteneva possibile la presenza di trasporto solido a causa di erosione dei versanti.

5.1.2 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.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D	FOGLIO 25 di 379

- Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.
 - 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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

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 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 ($1/T_r$) 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;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

- 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 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:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D	FOGLIO 28 di 379

- 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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.

5.1.3 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
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 <i>Per portate maggiori di $50 \text{ m}^3/\text{s}$ va previsto ponte</i>
Grado di riempimento	G.R. max 67%	<i>Min. 2/3 dell'altezza e comunque franco 50 cm dall'intradosso</i>

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione del profilo idrico nella situazione attuale e di progetto è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS 4.1.0 River Analysis System del gennaio 2010, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, i cui fondamenti concettuali sono riportati in seguito.

5.1.4.1 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'esonazione.

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

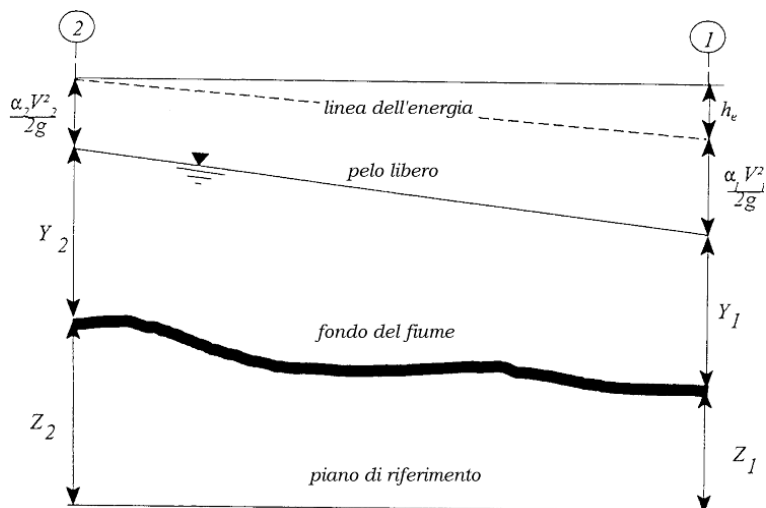


Figura 4 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

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

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

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

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

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

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

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 5).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

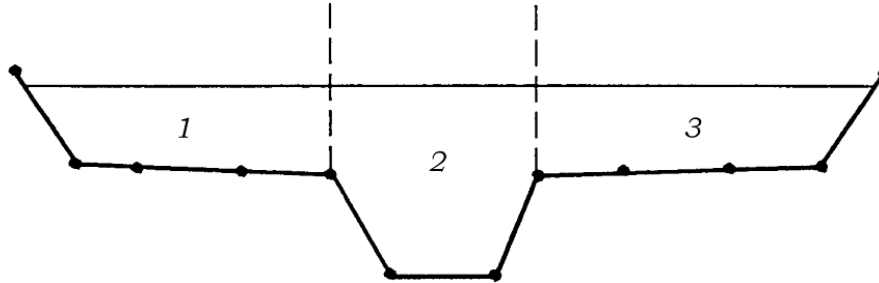


Figura 5: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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 stato suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning :

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

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


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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

$\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 .

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

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

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

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

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

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

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

Per equilibrio si ottiene:

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

dove

P_i , risultante della pressione idrostatica;

W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f , forza d'attrito tra le due sezioni;

Q , portata complessiva;

ρ , densità del fluido;

ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

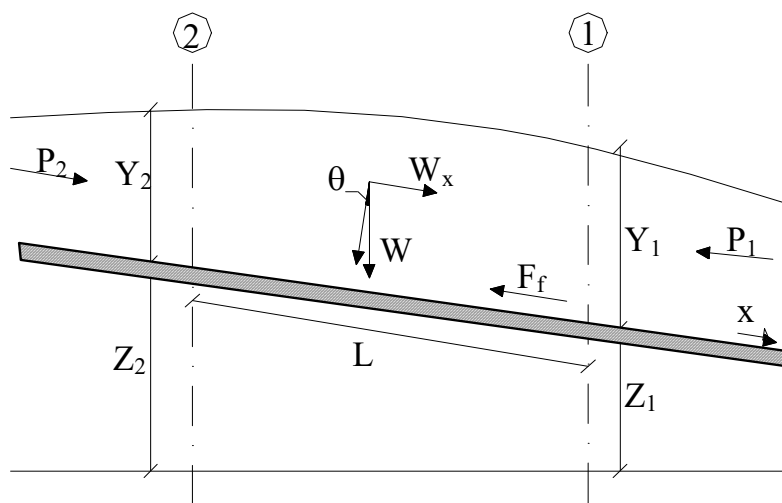


Figura 6: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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, $\cos \theta = 1$.

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

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

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

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

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

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 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.

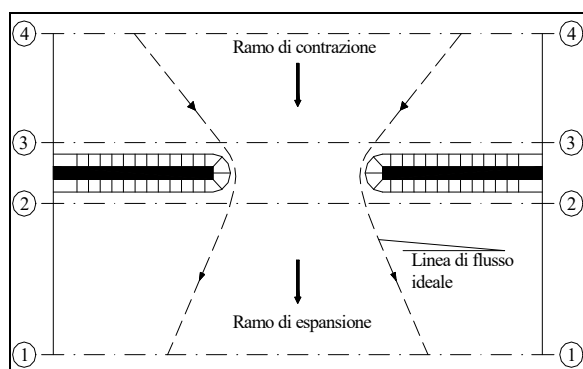


Figura 7: Pianta schematica di un attraversamento fluviale

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.

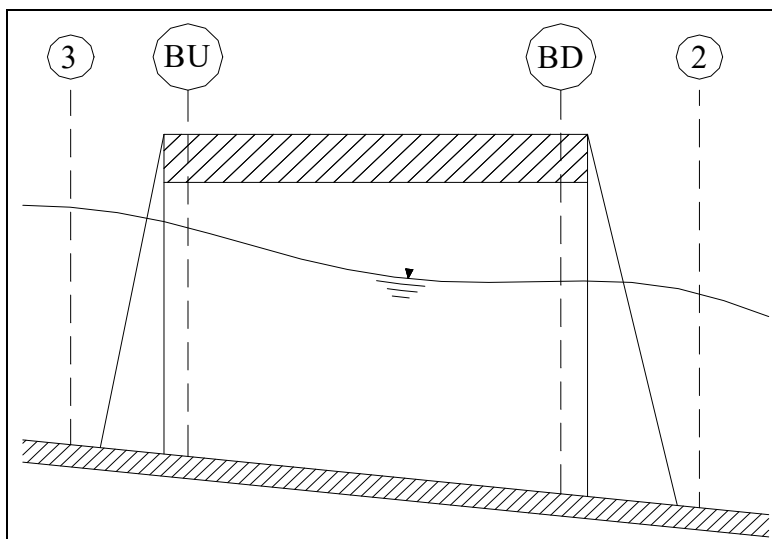


Figura 8: Sezione schematica di un attraversamento fluviale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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 CD

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

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

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

Figura 9 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 11, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

A_1 , area della luce nella sezione di monte;

Y_1 , altezza idrica della sezione di monte;

α , coefficiente correttivo cinetico;

V_1 , velocità della corrente a monte.

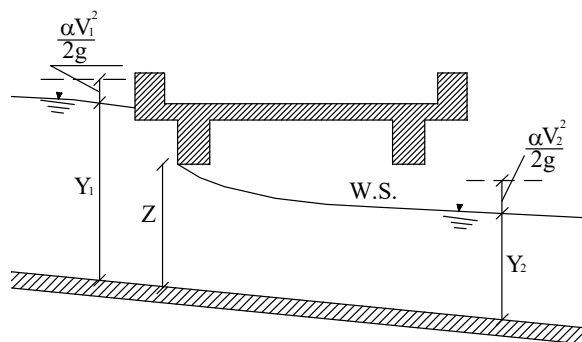


Figura 10: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

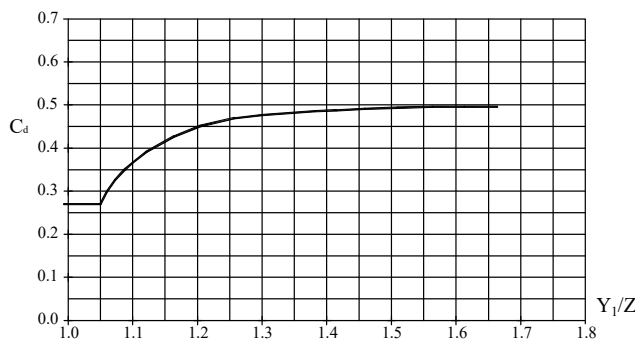


Figura 11: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

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 12.

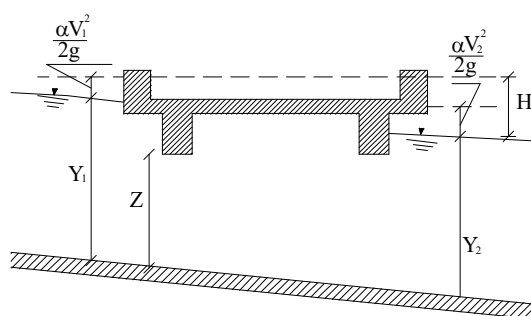


Figura 12: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 13, la portata si calcola nel modo seguente:

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

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

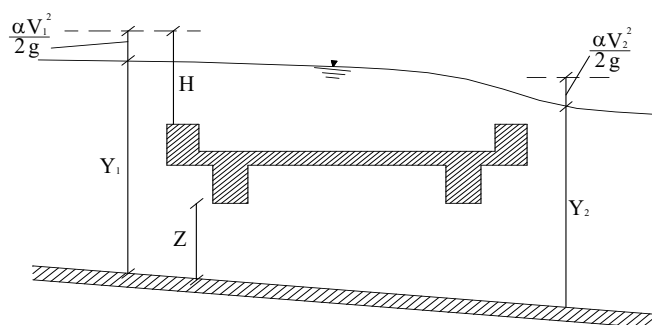


Figura 13: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

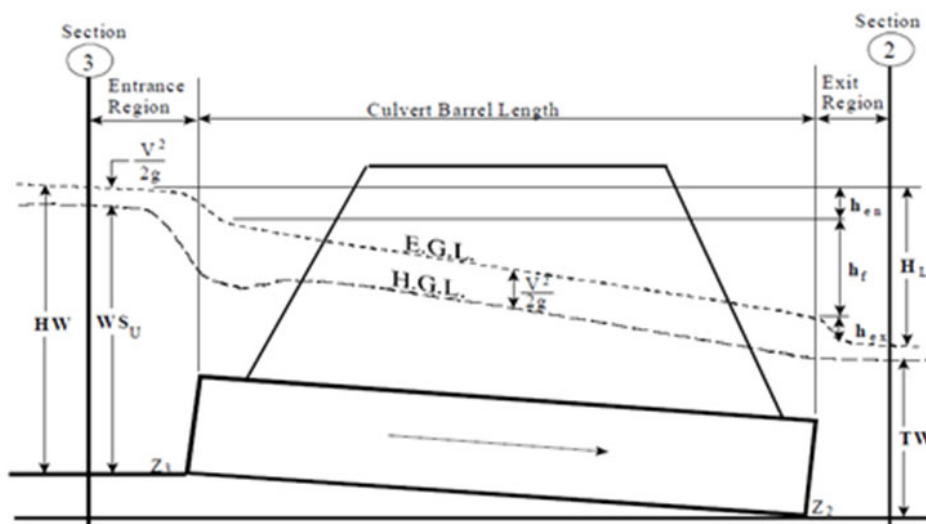


Figura 14: Schema di un tombino ponticello

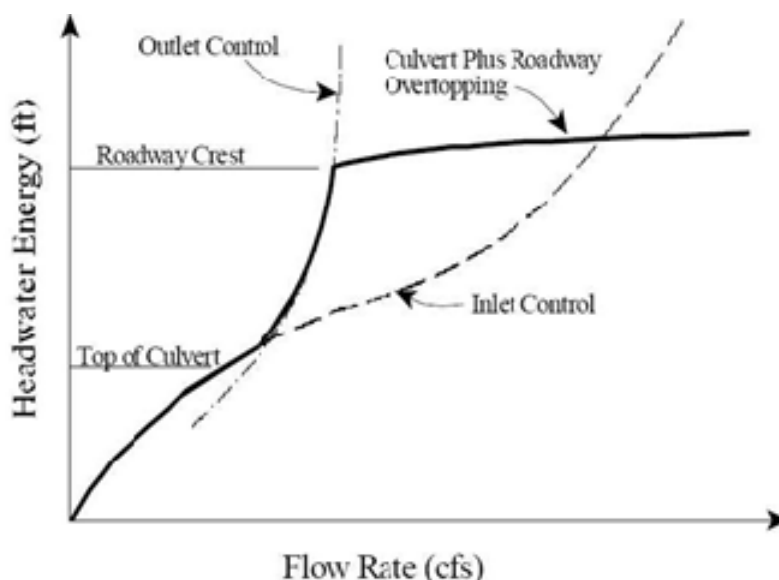


Figura 15: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

livello a valle. Per il controllo allo sbocco l'energia di monte viene calcolata effettuando un bilancio di energia dalla sezione di valle a quella di monte. Il modulo considera le perdite di ingresso, quelle di uscita e quelle per attrito all'interno della struttura.

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

Deflusso libero:

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

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

Deflusso rigurgitato:

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

Dove:

- HW_i livello dell'energia all'imbocco
- D altezza interna del tombino
- H_c altezza critica
- Q portata
- A area della sezione interna del tombino
- S pendenza
- K, M, c, Y costanti variabili con la geometria e le condizioni di ingresso.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

dove:

- Y3, Y2 tirante d'acqua nelle sezioni di monte e di valle;
- Z3, Z2 quota del fondo del tombino a monte e a valle;
- a3, a2 coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;
- g accelerazione di gravità;
- HL 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:

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

Dove:

- h_{en} perdite in entrata
- h_f perdite per attrito
- h_{ex} perdite in uscita.

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

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

Dove:

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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.

5.2 Verifica idraulica delle opere

5.2.1 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.

5.2.2 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 è stata utilizzata nella verifica delle opere provvisorie.

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.


In Tabella 4 sono riportati i valori di portata massimi ottenuti dalle analisi idrologiche, per i tempi di ritorno considerati.

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Tipologia	PK bacino (km)	Q300	Q200	Q30
		ID	pk				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
1		IN51 strada	18+910	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	18+910		10.33	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	18+910		10.33	
		IN44b	18+900	Sistemazione idraulica fosso				7.45	
		IN44b	18+901	Sistemazione idraulica fosso				2.88	
2		IN81-a	19+548	Tombino - Starda esistente	strada esistente		175		
				Tombino ad arco - Ferrovia esistente	Ferrovia esistente		175		
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	19+558	175		
3		IN52	20+469	Canale di gronda	Ferrovia	20+228		3.3	
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			48.9	
				Tombino scatolare BxH 8X5	Strada	20+469		48.9	
				Tombino scatolare BxH 8X5	Ferrovia	20+470		48.9	
4		IN53	20+889	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente				
				Tombino scatolare BxH 3X5	Ferrovia	20+889		3.2	
				Tombino scatolare BxH 3X5	Strada	20+889		3.2	
5		IN54	21+206	Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia esistente				
				Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia	21+206		7.1	
				Tombino scatolare BxH 5X4	Strada	21+206		7.1	
		IN81-b	21+704	Deviazione	viadotto	21+490			
					viadotto	21+552			
					viadotto	21+705			
					viadotto	21+783			
6		IN55	22+215	Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	22+180/22+270		7.3	
				Tombino scatolare BxH 4X2	Ferrovia				
7		NI54	23+156	Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	NV54 0+469		5.3	
				Nuova inalveazione	Ferrovia Viadotto	23+129		5.3	
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			5.3	
8		NI55-a	23+375	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	NV55A 0+107 (Pk23+622)		2.4	
		NI55-c	23+550	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	23+622		2.4	
9		IN56	24+535	Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia Variante	24+527		13.9	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia	24+527		13.9	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	24+527		13.9	

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Tipologia	PK bacino (km)	Q300	Q200	Q30
		ID	pk				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
10		IN57	24+691	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia Variante	24+714		1.3	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	24+714		1.3	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	24+714		1.3	
11		IN58	25+024	Deviazione fosso				3.5	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia+variante	25+019		6.1	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+019		6.1	
12		IN59	25+133	Demolizione esistente -Nuovo Tombino scatolare BxH 4X2	strada esistente	25+148/25+175		7.4	
				Tombino scatolare BxH 4X2	variante+ferrovia	25+148/25+175		7.4	
				Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	25+148/25+175		7.4	
13		IN60	25+292	Tombino stradale esistente	starda esistente			1.5	
				Tombino esistente BxH 3X2	Ferrovia esistente	25+292		1.5	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	25+292		1.5	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+292		1.5	
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria	25+292			0.9
14		IN61	25+403	tombino stradale esistente	Strada esistente			2.4	
				Tombino scatolare BxH 3X2	variante	25+381/25+403		2.4	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	25+381/25+403		2.4	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+381/25+403		2.4	
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria				1.5
15		IN62	25+550	Tombino stradale esistente	strada esistente	25+552			
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+552			
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+552		6.1	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+552		6.1	
		IN63	25+608	Tombino stradale esistente	strada esistente	25+600		4.95	
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+600		4.95	
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+600		4.95	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+600		4.95	
		IN64	25+689	Tombino stradale esistente	strada esistente			4.95	
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	25+688		4.95	
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	25+689		4.95	
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	25+689		4.95	
16		IN65	25+890	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	25+892			
				Tombino scatolare BxH 3X2	ferrovia	25+892		4.8	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	25+892		4.8	
17		IN66	26+085	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	26+090			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	26+090		6.5	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada	26+090		6.5	
18		IN67	26+299	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	26+299			
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia	26+299		0.93	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	26+299		0.93	
19		IN82	26+490	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	26+483			

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Tipologia	PK bacino (km)	Q300	Q200	Q30
		ID	pk				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	26+483		47.9	
				Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto	26+483		47.9	
20		IN83-a	27+544	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	27+531 28+051		21.9	
21		NI56-a	27+798	Tombino scatolare BxH 3x2	Strada	NV57A		1.2	
		IN83-b	27+544	Deviazione in 27+531		28+051		6.2	
22		IN85	34+758	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	34+755	200.6		
	Tombino stradale esistente			Strada esistente	34+755				
23		NI58	35+155	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	35+048		0.8	
	Deviazione			Ferrovia viadotto	35+048				
24		IN86	35+180	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	35+177		22	
		NI59	35+232	Tombino scatolare BxH 7X3.5	Strada	NV59 0+794		22	
25		IN68	37+047	Tombino scatolare BxH 4X3	Ferrovia	37+048		1.8	
	Deviazione galleria			Ferrovia			0.25		
		IN87	37+488	sez esistente		37+500			
26		IN88	37+819	Tombino stradale esistente	strada esistente				
	Tombino stradale esistente			strada esistente					
	Tombino stradale esistente			strada esistente					
	Tombino ferroviario esistente			Ferrovia esistente					
	Sistemazione inalveazione esistente			Ferrovia viadotto	37+813		8.3		
27		IN69	39+162	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	39+162		3	
	Tombino scatolare BxH 3.5X2.0			strada bianca	39+162		3		
	IN70	39+289	Tombino scatolare BxH 6X3	ferrovia	39+273		18.3		
			Tombino stradale esistente	strada esistente	39+273				
			Tombino ferroviario esistente	ferrovia esistente	39+273				
28		NI65	39+654	Tombino stradale esistente	strada esistente	39+673			
	Tombino stradale esistente			strada esistente	39+673				
	Tombino scatolare BxH 8X3.5			strada	39+673		24.8		
			Tombino stradale esistente	esistente	39+672		23.8		
	IN89	39+665	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	39+673		24.8		
			Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	39+673				
29		NI66	39+935	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	39+947		1.4	
				Sistemazione	Ferrovia viadotto	39+948		1.4	
	IN71	39+935	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	39+947		1.4		

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Tipologia	PK bacino (km)	Q300	Q200	Q30
		ID	pk				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
		NI67	40+010	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada	40+005		1.5	
				Sistemazione	Ferrovia	40+006		1.5	
		IN72	40+012	Tombino scatolare a spinta su LS BxH 2X2	Ferrovia esistente	40+005		1.5	
30		NI68	40+419	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Strada	40+297/40+415		27.8	
		IN73	40+424	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Ferrovia	40+297/40+415		27.8	
				DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X2.5	Ferrovia +viabilità	40+297/40+415		29.0	
	1	NI69-2	41+593	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	41+413		0.3	
				Deviazione	Ferrovia viadotto	41+413		0.3	
31		NI72	41+593	Tombino scatolare BxH 2X3	strada	41+561		1	
		IN91	41+593	Deviazione	Ferrovia viadotto	41+561		1	
		IN91	41+617	canale di gronda - deviazione	Ferrovia viadotto	41+640		0.7	
32		IN92	41+840	Tombino ferroviario esistente		41+824			
				Deviazione	Ferrovia viadotto	41+824		1.5	
33		IN93	42+053	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	42+050			
				Deviazione	Ferrovia viadotto	42+050		4.1	
34		IN94	42+596	Deviazione	Ferrovia viadotto	42+566		1.1	
35				Deviazione	Ferrovia viadotto	43+950		6.6	
35		IN95	43+988	Sistemazione	Ferrovia viadotto	43+985	194.7		
36			46+430	Tombino esistente	Ferrovia esistente			42	
				Tombino scatolare BxH 8X5	strada NV66			42	
		IN74		Tombino scatolare BxH 8X5	ferrovia	46+430		42	
				Tombino esistente	Ferrovia esistente			42	
37		NI51	21+818	Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	NV53A 0+255/0+415		9.7	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada ricucitura			9.7	
				Fosso di guardia NV53A		0+415		2	
38		NI52	22+688	Deviazione	Strada viadotto	NV53 1+300		6	
39		NI53	22+943	Deviazione	Strada viadotto	NV53 1+640		2.1	
40		NI55-b	23+384	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV53 1+910		1.7	
41		NI57	23+713	Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto	NV53 2+180		35.1	
42		NI61	35+709	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV59 0+200		2.2	
43		NI60	35+443	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	NV59 0+580		2	
44		NI69	40+838	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	NV62A 1+270		1.2	
45		NI71	41+429	Deviazione	Ferrovia viadotto	NV62C 0+125		2.5	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO	Tipologia	PK bacino (km)	Q300	Q200	Q30
		ID	pk				m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
		NI71	41+430	Deviazione	Ferrovia viadotto	NV62C 0+126		2.5	
46		NI62	39+428	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	NV61 0+092		0.7	
				tombino esistente	ferrovia	NV61 0+092			
47		IN89 NI63	39+570	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	NV61 0+250		0.9	
48		NI73	38+175	Tombino scatolare BxH 3X3	Strada accesso PT58	NI73		1.4	
				Tombino esistente	strada			1.8	

Tabella 4: Valori portate di calcolo

5.2.3 Definizione dei coefficienti di scabrezza

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

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

Nella valutazione dei coefficienti di scabrezza occorre tener presente che questi sono comunque suscettibili di 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;

- $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$ per le aree golenali;
- $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ 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.	Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080
h.	Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150
2.	Aree golenali			
a.	A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050
b.	Aree coltivate	0.020	0.035	0.050
c.	Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160
d.	Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120
3.	Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene			
a.	Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050
b.	Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070
B.	CANALI ARTIFICIALI			
1.	Canali in terra lisciata ed uniforme			
a.	Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020
b.	Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025
c.	Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030
d.	Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033
2.	Canali in terra con ondulazioni o irregolari			
a.	Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030
b.	Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033
c.	Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040
d.	Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035
e.	Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040
f.	Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050
3.	Canali scavati o dragati			
a.	Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033
b.	Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060
4.	Canali in roccia			
a.	Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040
b.	Fraggiati ed irregolari	0.035	0.040	0.050
5.	Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli			
a.	Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080
b.	Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110
c.	Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120
d.	Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140

Tabella 5: Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning(Chow, 1959)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.2.4 Definizione delle condizioni al contorno

Alcuni corsi d'acqua considerati confluiscono nel fiume Belici e Salito 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 del fiume principale 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 nei corsi d'acqua maggiori la condizione al contorno di valle considerata è quella corrispondente al moto uniforme a valle.

Infine, per il dimensionamento dei massi di protezione delle sistemazioni, nei casi in cui il livello alto dei corsi d'acqua principali crea rigurgito all'interno delle sistemazioni, è stata considerata la condizione di moto uniforme a valle.

Si riporta nella seguente tabella un riepilogo delle condizioni al contorno utilizzate nei modelli

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
1		IN51 strada	18+910	Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia	Altezza critica	416.18	
		IN51 ferr		Tombino scatolare BxH 3X2				
-		IN44b	18+900	Sistemazione idraulica fosso				
-		IN44b	18+901	Sistemazione idraulica fosso				
2		IN81-a	19+548	Tombino stradale esistente	Strada esistente	0.0055	403.42	
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto			
3		IN52	20+469	Canale di gronda	Ferrovia	Altezza critica	398.2	
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			
				Tombino scatolare BxH 8X5	Strada			
				Tombino scatolare BxH 8X5	Ferrovia			
4		IN53	20+889	Tombino ferroviario	Ferrovia esistente	0.111	394.55	

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
				esistente				
				Tombino scatolare BxH 3X5	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X5	Strada			
5		IN54	21+206	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente	0.064	389.05	
				Tombino scatolare BxH 5X4	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 5X4	Strada			
		IN81-b	21+704	Deviazione	viadotto			
					viadotto			
					viadotto			
					viadotto			
6		IN55	22+215	Tombino scatolare BxH 4X2	Strada/ferrovia	0.086	382.60	
7		NI54	23+156	Tombino scatolare BxH 3X3	Strada	0.004	371.92	
				Nuova inalveazione	Ferrovia Viadotto			
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente			
8		NI55-a	23+375	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada	0.002	368.5	
		NI55-c	23+550	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre			
9		IN56	24+535	Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia Variante	0.002	359.93	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada			
10		IN57	24+691	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia Variante	0.01	359.1	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada			
11		IN58	25+024	Deviazione fosso		0.005	357.08	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia+variante			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada			

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
12		IN59	25+133	Tombino scatolare BxH 4X2	Strada	0.02	356	
				Tombino scatolare BxH 4X2	variante+ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 4X2	Strada			
13		IN60	25+292	Tombino stradale esistente	strada esistente	0.02	354.7	
				Tombino esistente BxH 3X2	Ferrovia esistente			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada			
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria			
14		IN61	25+403	tombino stradale esistente	Strada esistente	0.02	353.55	
				Tombino scatolare BxH 3X2	variante			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada			
				TOMBINO PROVVISORIO	Linea provvisoria			
15		IN62	25+550	Tombino stradale esistente	strada	0.11	352.95	
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada			
		IN63	25+608	Tombino stradale esistente	strada	0.23	352.95	
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada			
		IN64	25+689	Tombino stradale esistente	strada	0.22	352.6	
				Tombino ferroviario	ferrovia			

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
				esistente				
				Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X3	Strada			
16		IN65	25+890	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	0.01	351	
				Tombino scatolare BxH 3X2	ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada			
17		IN66	26+085	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	0.004	350.55	
				Tombino scatolare BxH 3X2	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 3X2	Strada			
18		IN67	26+299	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	0.012	349.63	
				Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia			
				Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre			
19		IN82	26+490	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	0.02284	348.2	
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto			
				Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto			
20		IN83-a	27+544	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	0.03209	341.04	
21		NI56-a	27+798	Tombino scatolare BxH 3x2	Strada	Altezza critica		341
		IN83-b	27+544	Deviazione in 27+531				
22		IN85	34+758	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	0.0176		0.026
				Tombino stradale esistente				
23		NI58	35+155	Tombino scatolare BxH 2X2	Strada campestre	0.2		322.66
				Deviazione	Ferrovia viadotto			

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle		
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni	Condizioni utilizzate nei casi in cui: 1. fase provvisoria; 2. sistemazione lontana dal corso d'acqua principale
24		IN86	35+180	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto	0.022		319.5	
		NI59	35+232	Tombino scatolare BxH 7X3.5	Strada				
25		IN68	37+047	Tombino scatolare BxH 4X3	Ferrovia	0.1	Unione		
				Tombino scatolare BxH 4X3	Strada	Unione	283.9		
		IN87	37+488	Sezione esistente					
26		IN88	37+819	Tombino stradale esistente	strada esistente	0.115	286.73		
				Tombino stradale esistente	strada esistente				
				Tombino stradale esistente	strada esistente				
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia esistente				
				Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto				
27		IN69	39+162	Tombino scatolare BxH 3X3	ferrovia	0.07019	Unione		
				Tombino scatolare BXH 3.5X2	strada bianca				
		IN70	39+289	Tombino scatolare BxH 6X3	ferrovia	0.004	Unione		293.1
				Tombino stradale esistente	strada				
				Tombino ferroviario esistente	ferrovia				
28		NI65	39+654	Tombino stradale esistente	strada esistente	0.02	297.18		
				Tombino stradale esistente	strada esistente				
				Tombino scatolare BxH 8X3.5	strada				
		Tombino stradale esistente	esistente						
		IN89	39+665	Sistemazione inalveazione esistente	Ferrovia viadotto				
				Tombino ferroviario esistente	Ferrovia				
29		NI66	39+931	Tombino scatolare	Strada	0.035	301.1		

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
				BxH 2X3				
				Sistemazione	Ferrovia viadotto			
		IN71	39+935	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia			
		NI67	40+010	Tombino scatolare BxH 2X3	Strada			
				Sistemazione	Ferrovia viadotto	0.2239		
		IN72	40+012	Tombino scatolare BxH 2X2	Ferrovia			
30		NI68	40+419	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Strada	0.082	303.9	
		IN73	40+424	DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X3	Ferrovia	0.012		
				DOPPIO Tombino scatolare BxH 6.5X2.5	Ferrovia +viabilità	unione		
	1	NI69-2	41+593	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	0.05		0.11
				Deviazione	Ferrovia viadotto	314.04	314.04	
31		NI72	41+593	Tombino scatolare BxH 2X3	strada	0.05	314.4	
		IN91	41+593	Deviazione	Ferrovia viadotto			
		IN91	41+617	Deviazione	Ferrovia viadotto			
32		IN92	41+840	Tombino ferroviario esistente		0.003	316.92	0.03
				Deviazione	Ferrovia viadotto			
33		IN93	42+053	Tombino ferroviario esistente	Ferrovia	0.02	318.22	
				Deviazione	Ferrovia viadotto			
34		IN94	42+596	Deviazione	Ferrovia viadotto	0.25		0.08
35		IN95	43+988	Deviazione	Ferrovia viadotto	0.05		0.016
				Sistemazione	Ferrovia viadotto	0.0146		
36		IN74	46+430	Tombino esistente	Ferrovia esistente	0.035		0.01
				Tombino scatolare BxH 8X5	strada NV66			
				Tombino scatolare BxH 8X5	ferrovia			
				Tombino esistente	Ferrovia esistente			
37		NI51	21+818	Tombino scatolare BxH 7X3	Strada	0.066	384.9	
				Tombino scatolare BxH 7X3	Strada ricucitura			
				Fosso di guardia NV53A	NV53A			

HEC	HY8	WBS		OPERA SU LINEA DI PROGETTO		CC monte	CC valle	
		ID	pk				Condizioni di moto uniforme [pendenza]	Livello [m s.l.m.m.] del corso d'acqua principale corrispondente a TR = 30 anni
38		NI52	22+688	Deviazione	Strada viadotto	0.0569	374.55	
39		NI53	22+943	Deviazione	Strada viadotto	0.2	372.4	0.042
40		NI55-b	23+384	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	0.005	371.64	
41		NI57	23+713	Sistemazione inalveazione esistente	Strada viadotto	0.065	371.12	
42		NI61	35+709	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	0.17		0.098
43		NI60	35+443	Tombino scatolare BxH 3X3	strada	0.04869		0.175
44		NI69	40+838	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	0.22028	304.36	
45		NI71	41+429	Deviazione	Ferrovia viadotto	0.17	311.95	
			41+430	Deviazione	Ferrovia viadotto			
46		NI62	39+428	Tombino scatolare BxH 2X2	strada	0.02	296.65	
				Tombino esistente	ferrovia			
47		IN 89 NI63	39+570	Tombino scatolare BxH 3X2	strada	0.10402		301.05
48		NI73	38+175	Tombino scatolare BxH3x3	Strada accesso pt58	Altezza critica		0.02
				Tombino esistente	strada			

Tabella 6: Tabella riepilogativa condizioni al contorno

5.2.5 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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

È da precisare che la distribuzione delle tensioni tangenziali è strettamente legata alla forma della sezione. Infatti 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.

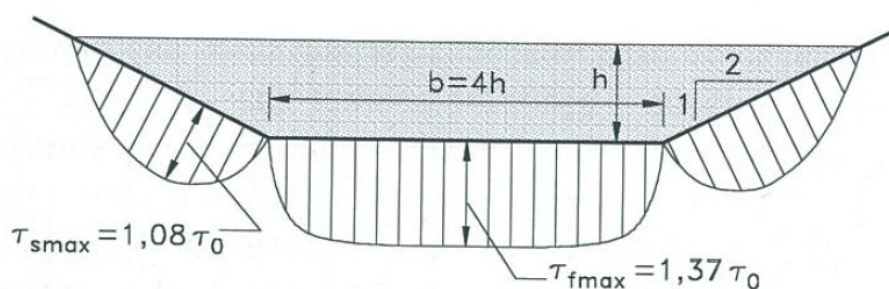


Figura 16: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia

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 17, 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.

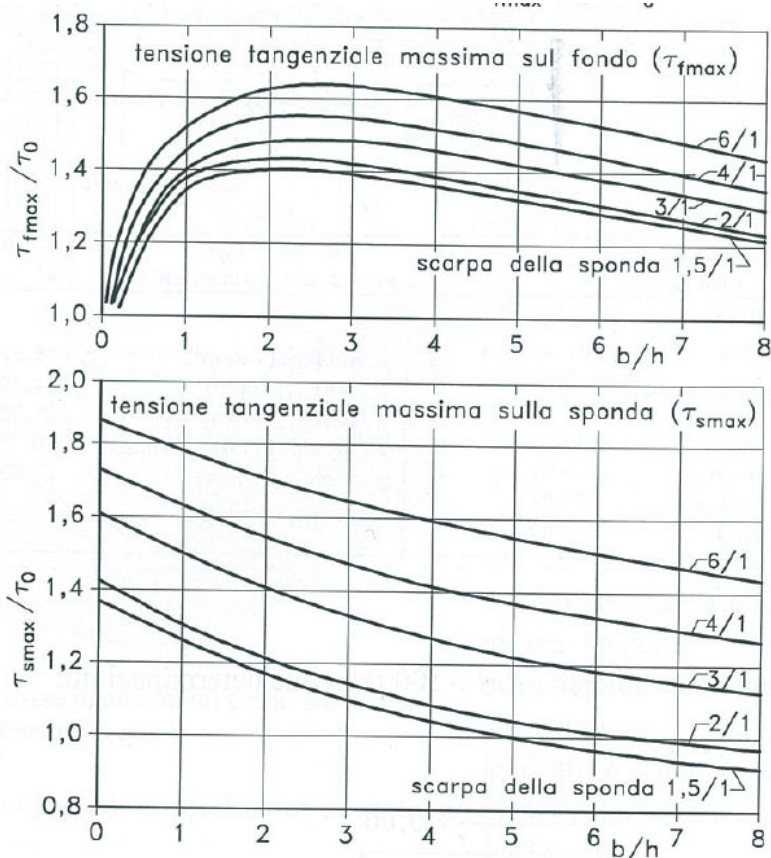


Figura 17: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima

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:

$$\tau_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d$$

Con :

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

γ_s peso specifico dei massi

γ_w peso specifico dell'acqua

d diametro del masso

Nei casi in cui vi era presenza di bassa sommergenza 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.

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

Con :

h 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.

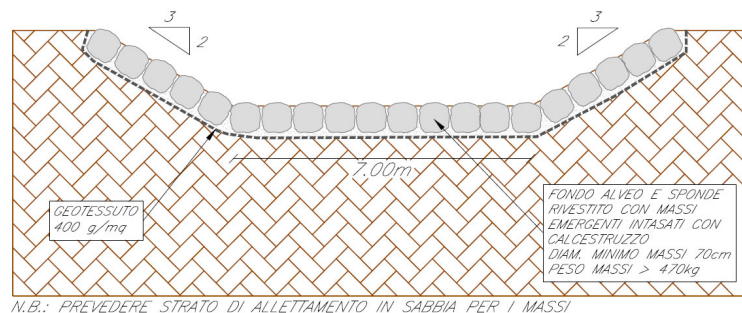


Figura 18: Sezione tipo protezione

5.2.6 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 erosi 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 19). 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;

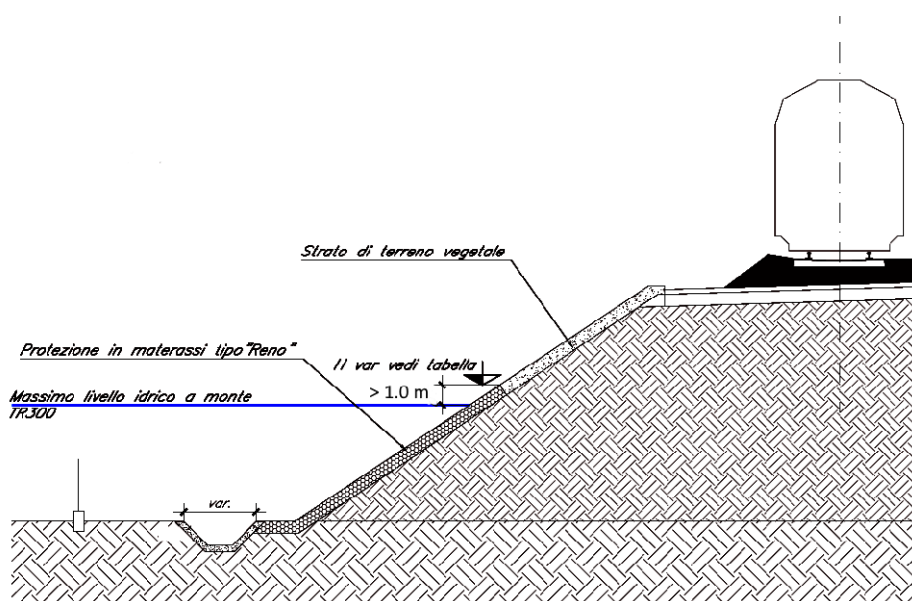


Figura 19: Protezione del rilevato in materassi "tipo Reno"

- 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 20).

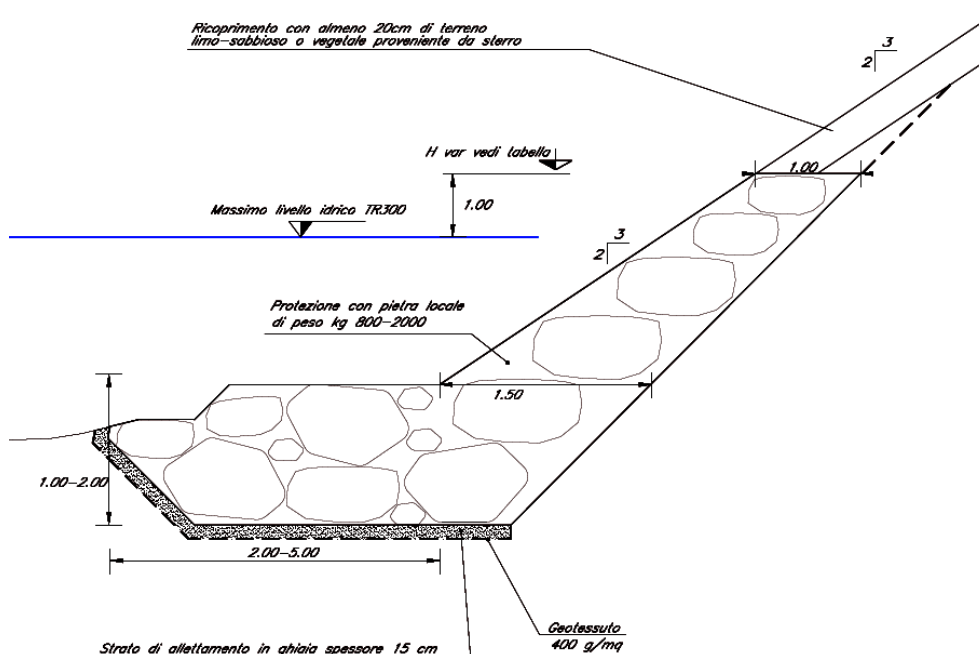


Figura 20: Protezione del rilevato in massi cementati

5.2.7 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.

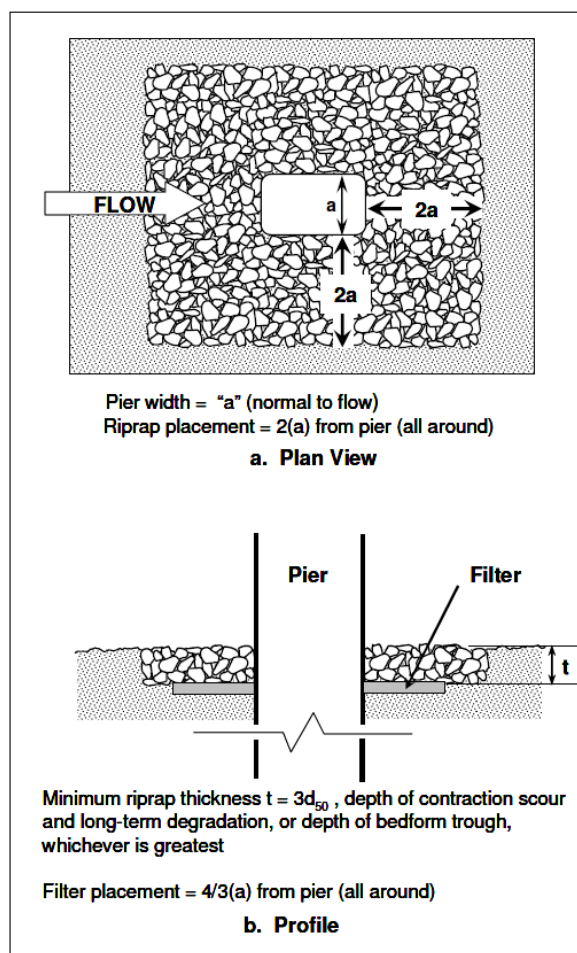


Figura 21: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.3 Interferenza alla progressiva 18+910 e 19+000 (IN51-Km18+910)

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 18+910 attraversa la linea storica a monte della futura linea ferroviaria e stradale di progetto.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 10.30 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 416.18 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

A monte della viabilità di progetto tra le km 18+650 e 19+100 è prevista la realizzazione di un canale di gronda che raccoglie e convoglia le acque nel tombino di dimensioni 3x2m posizionato alla km 18+910.

A monte e immediatamente a valle dell'attraversamento, si prevede inoltre la regolarizzazione dell'alveo naturale.

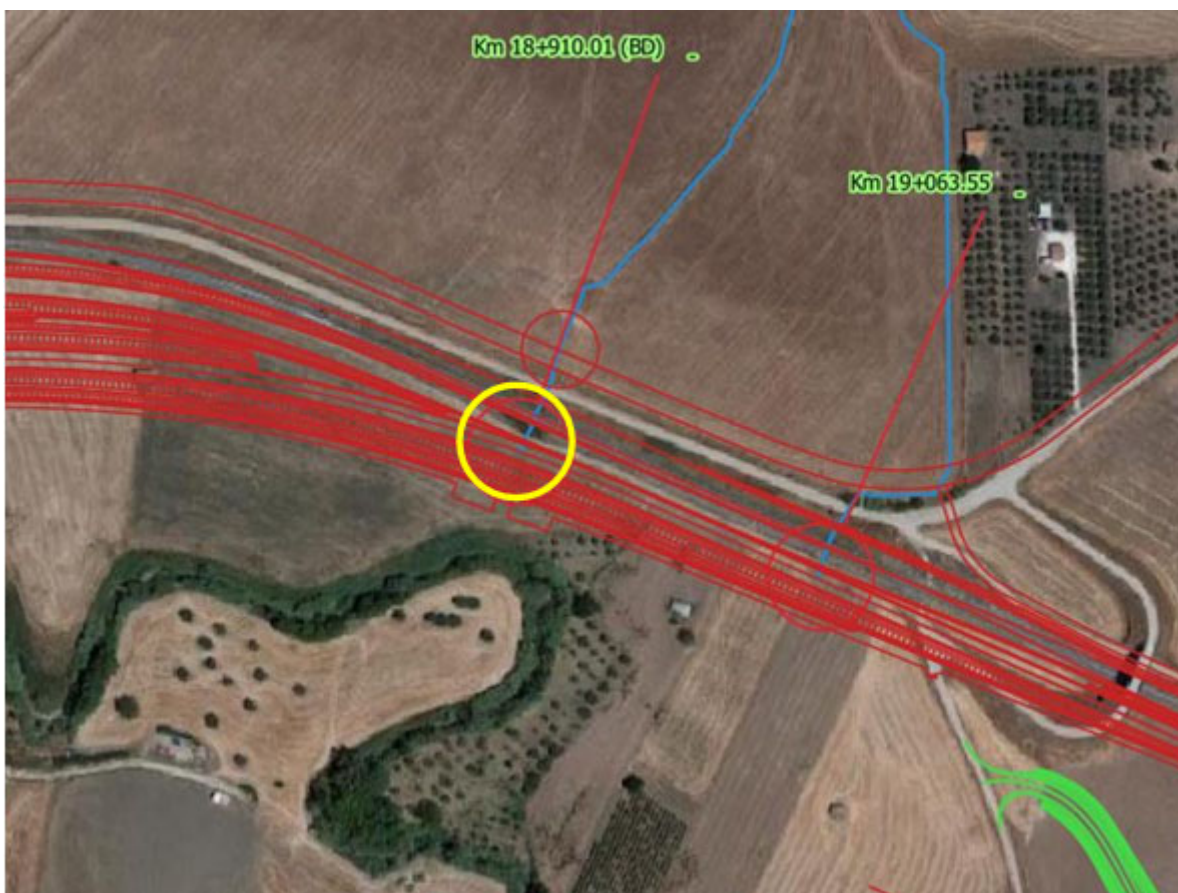


Figura 22: Inquadramento dell'opera

5.3.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

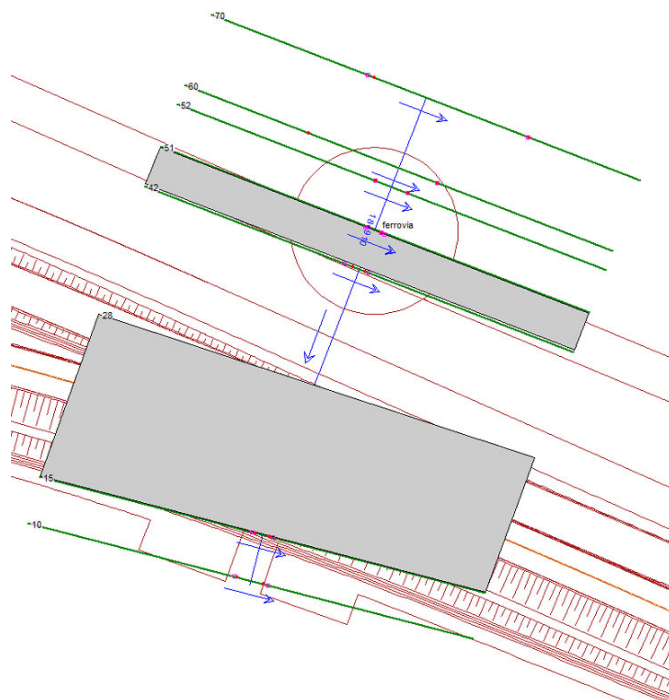


Figura 23: Planimetria sezioni hecras

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 (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
ferrovia	70	T 200	10.30	422.03	422.70	422.32	422.71	0.001249	0.53	19.67	36.64	0.23
ferrovia	60	T 200	10.30	421.79	422.68	422.17	422.70	0.000862	0.51	20.38	32.14	0.20
ferrovia	52	T 200	10.30	421.40	422.31	422.31	422.65	0.015186	2.59	3.97	5.73	0.99
ferrovia	51	T 200	10.30	417.34	417.70	418.40	422.24	0.102710	9.43	1.09	3.00	4.99
ferrovia	49	T 200	10.30	417.34	417.74	418.40	421.58	0.079838	8.68	1.19	3.00	4.41
ferrovia	48		Culvert									
ferrovia	42	T 200	10.30	417.31	417.86	418.38	419.86	0.029926	6.27	1.64	3.00	2.71
ferrovia	28		Culvert									
ferrovia	15	T 200	10.30	417.18	417.86	418.20	419.14	0.015426	5.01	2.06	3.01	1.94
ferrovia	10	T 200	10.30	416.50	416.96	417.41	418.80	0.167615	6.00	1.72	4.39	3.06

Tabella 7: Risultati simulazione post operam

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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

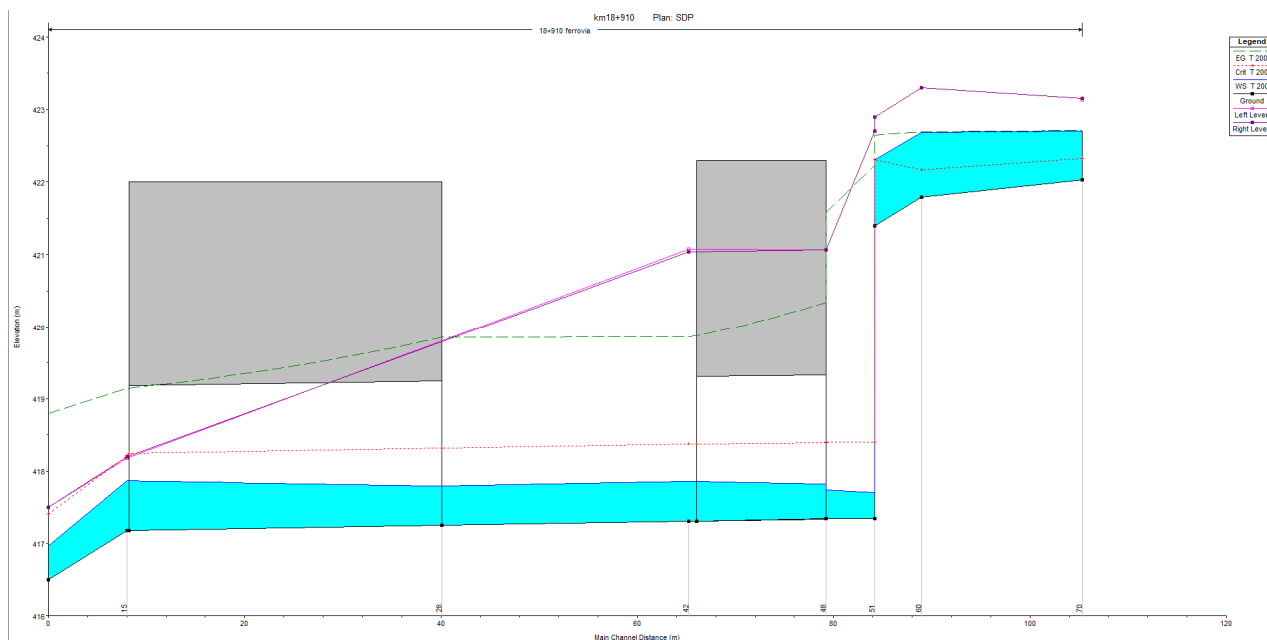


Figura 24: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Il tombino di progetto stradale risulta verificato con un grado di riempimento del 28% mentre quello ferroviario risulta verificato con GR=34%.

Per proteggere il rilevato dall' esondazione del Belici si prevede una protezione in materassi tipo "Reno" tra la km 18+870 e 19+000. Nella seguente immagine sui riporta un estratto della planimetria di progetto nella quale sono riportate le aree di esondazione.

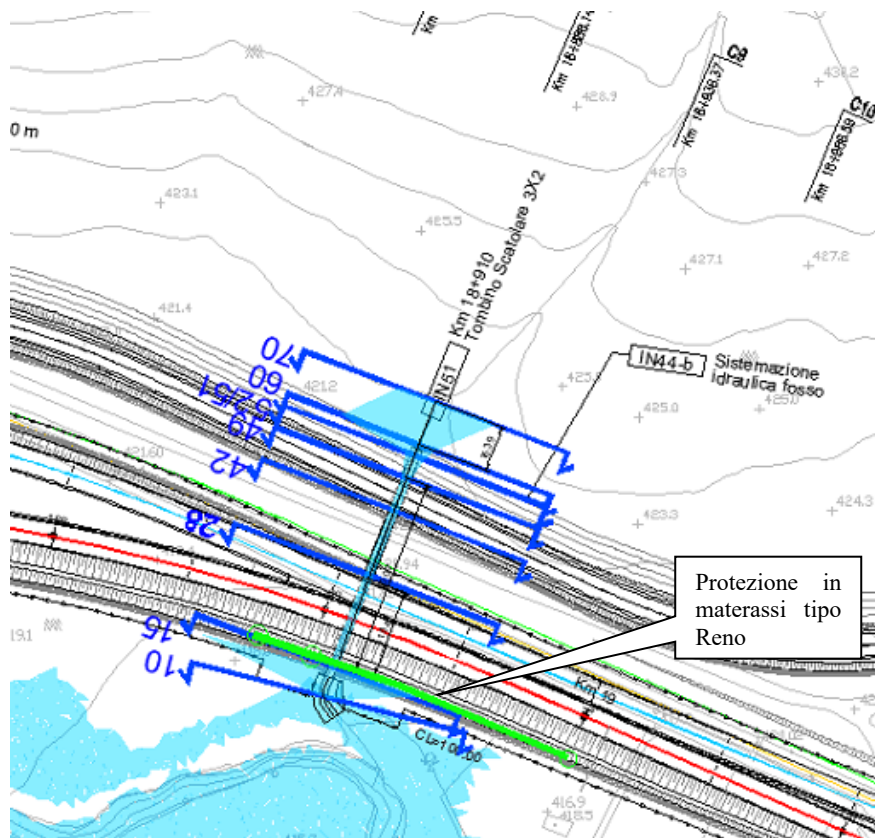


Figura 25: Protezione rilevato

5.3.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

Si prevede la protezione della sezione trapezia di base 3 con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 60cm fino al recapito nel fiume Belici.

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]
10	0.37	598	5.8	0.39

Tabella 8: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 7.6, 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 ($T_{max,fondo}$) e sulle sponde ($T_{max,spande}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 17.

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 0.65 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/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 ($T_{max,fondo}$, $T_{max,spande}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($T_{cr(0)}$, $T_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{spande}	$T_{max,fondo}$	$T_{max,spande}$	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.2	1	717.6	598.0	1067.2	707	1.5	1.2

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.

5.4 Interferenza alla progressiva 19+558 (IN81-a Km19+548)

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 19+558 attraversa la linea storica a monte della futura linea ferroviaria di progetto.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno trecentennale è pari a 175 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 403.42 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

Il progetto prevede la regolarizzazione dell'alveo naturale attraverso il rivestimento in massi intasati di cemento.

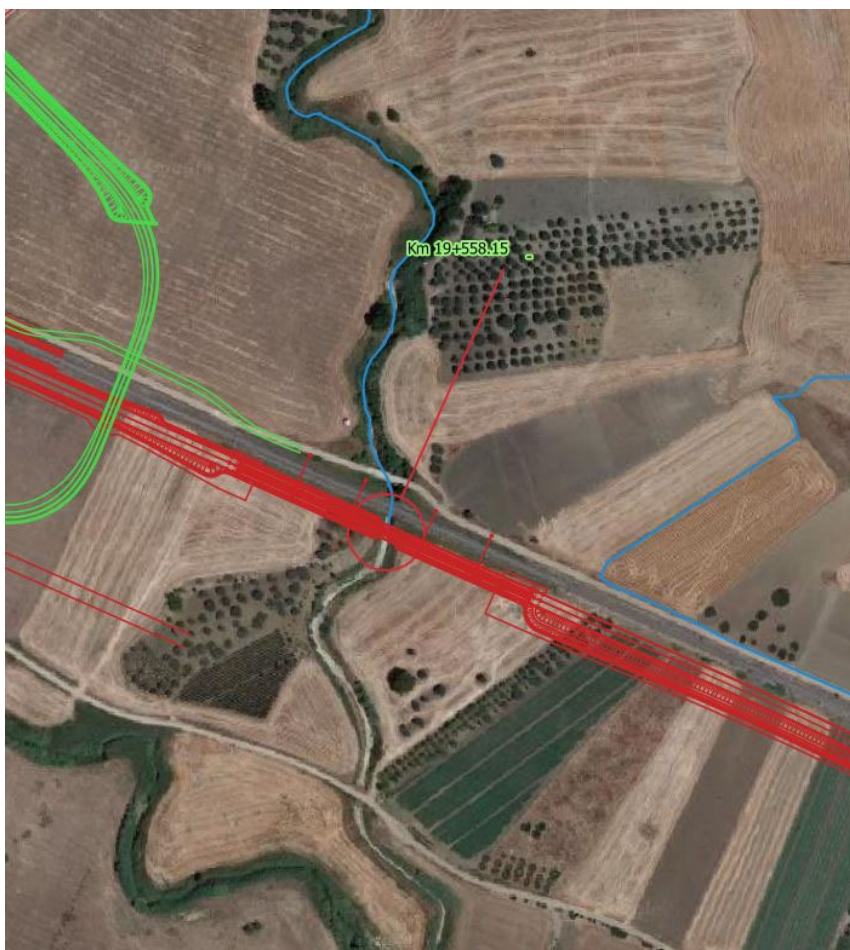


Figura 26: Inquadramento dell'opera

5.4.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 300 anni

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

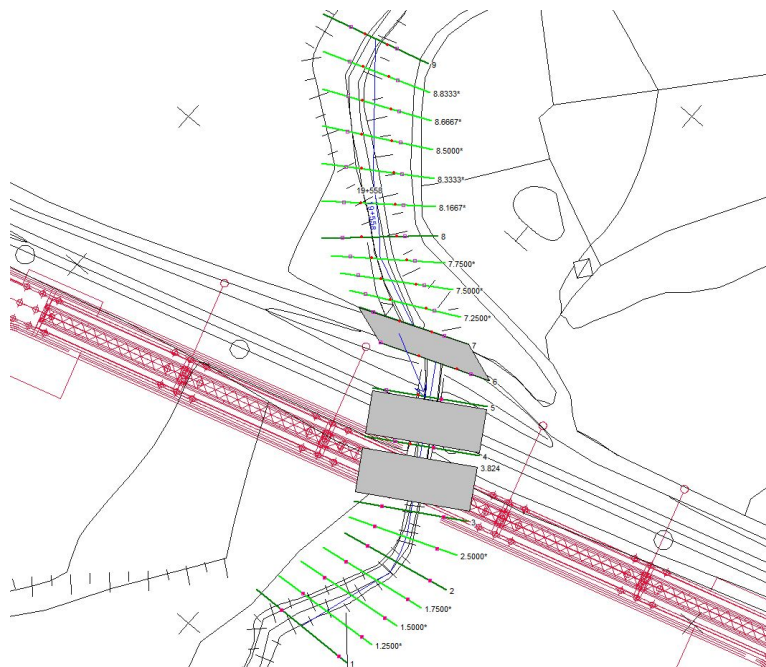


Figura 27: Planimetria sezioni hec ras

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 (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
19+558	9	PF 1	175.00	404.42	412.26	409.26	412.37	0.000801	1.88	136.06	30.00	0.23
19+558	8	PF 1	175.00	404.04	412.25	408.56	412.33	0.000453	1.54	161.21	30.00	0.18
19+558	7	PF 1	175.00	404.10	412.25	407.74	412.32	0.000355	1.45	173.32	30.00	0.16
19+558	6.5		Culvert									
19+558	6	PF 1	175.00	404.10	411.67	407.46	411.82	0.000914	1.88	121.53	30.00	0.22
19+558	5	PF 1	175.00	404.11	411.17	408.59	411.76	0.009412	3.61	56.70	20.01	0.44
19+558	4.5		Culvert									
19+558	4	PF 1	175.00	404.09	408.96	408.50	410.76	0.018869	5.95	29.42	6.06	0.86
19+558	3,824		Bridge									
19+558	3	PF 1	175.00	404.06	406.44	407.51	409.66	0.044871	7.95	22.01	13.33	1.98
19+558	2	PF 1	175.00	403.95	406.41	407.22	408.91	0.033260	7.01	24.97	14.77	1.72
19+558	1	PF 1	175.00	403.30	406.88	406.88	407.95	0.017495	4.59	38.14	17.71	1.00

Tabella 10: 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.

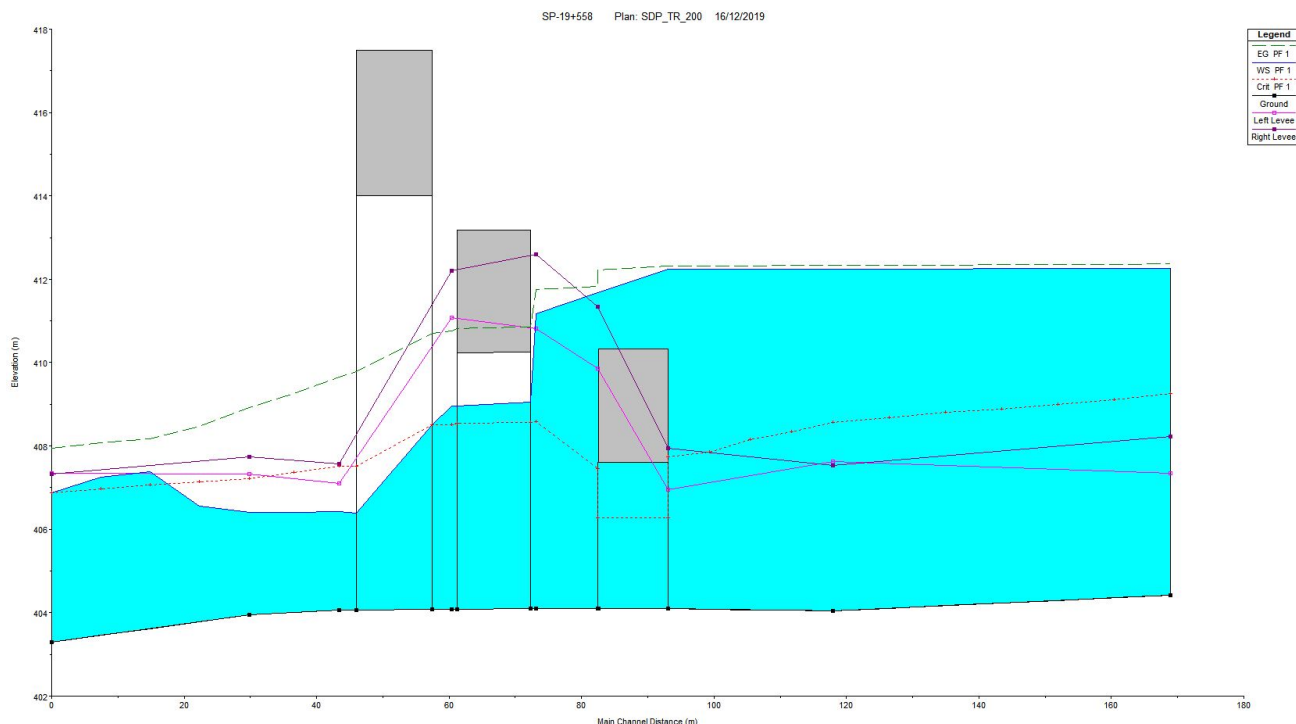


Figura 28: Profilo idrico post operam TR 300 anni

Il tombino stradale esistente risulta insufficiente per un evento con tempo di ritorno pari a 300 anni. La linea ferroviaria storica costituisce una protezione per il viadotto in progetto. Il tombino esistente presenta un funzionamento in pressione non creando criticità per il viadotto a valle.

Il viadotto ferroviario di progetto presenta un franco idraulico pari a 3.24 m ed un franco energetico pari a 1.44 m.

Si riporta di seguito un'immagine della sezione trasversale in prossimità del viadotto di progetto. La luce tra le pile del viadotto è circa 38m.

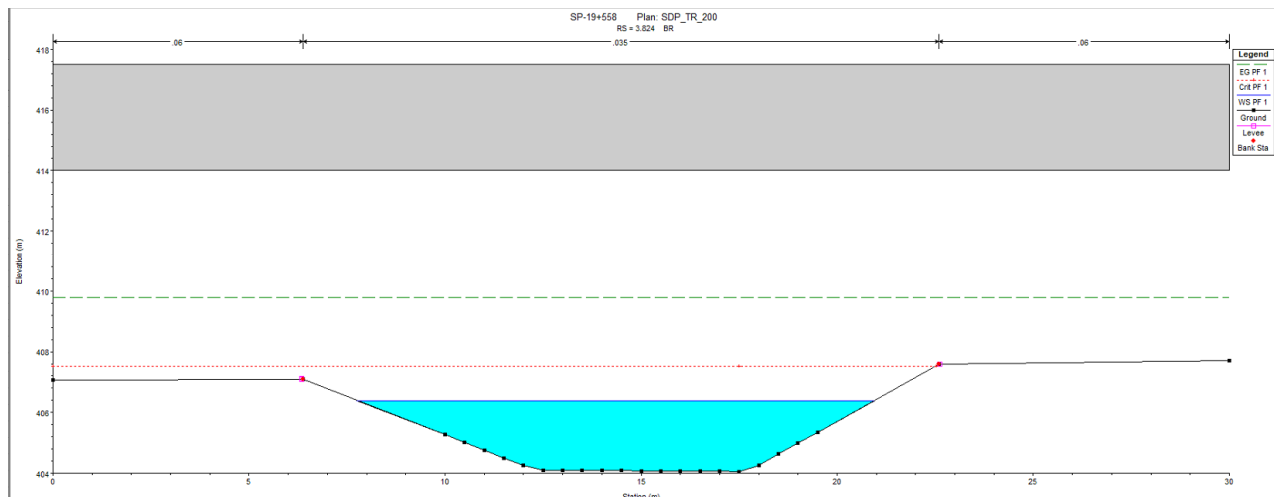


Figura 29: Sezione a monte del viadotto di progetto TR300

Nella seguente immagine si riporta un estratto della planimetria di progetto nella quale sono riportate le aree di esondazione. Dall'immagine, così come nel profilo di rigurgito, è possibile notare come i tombini esistenti non sono sufficienti a far transitare la portata. I rilevati esistenti creano quindi uno sbarramento provocando un importante allagamento a monte di essi.

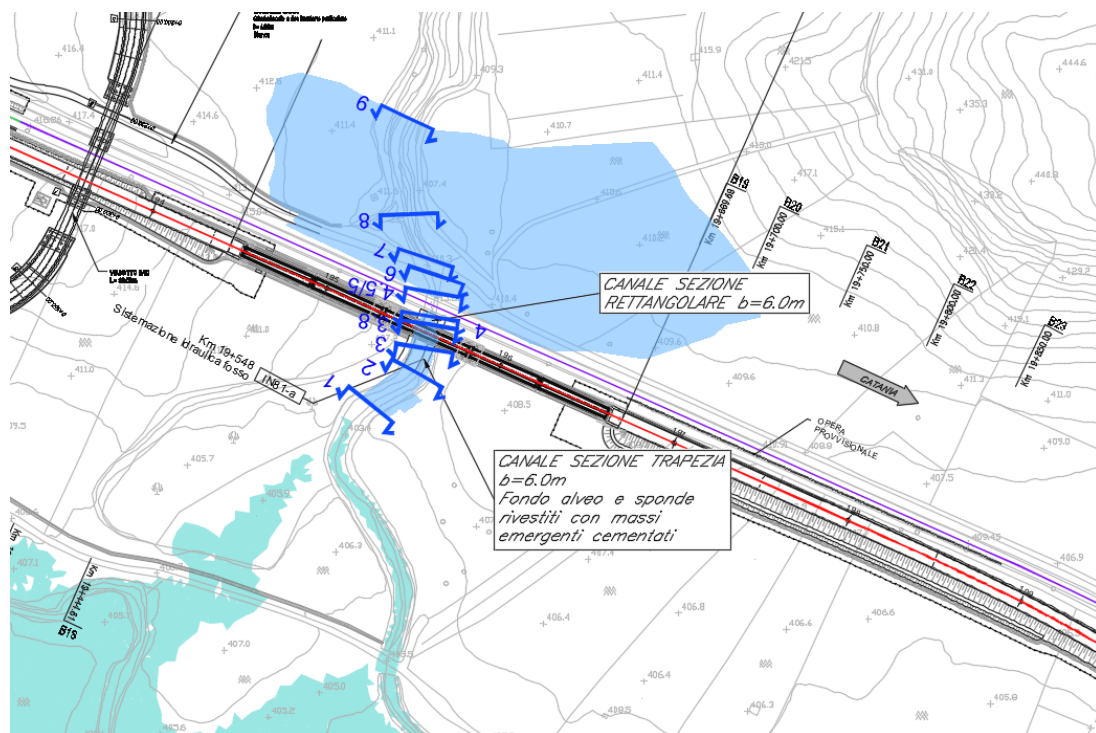


Figura 30: planimetria di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.4.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

Si prevede di realizzare una continuazione del canale rettangolare in cls esistente fino a monte del viadotto di progetto e proseguire poi l'intervento di sistemazione con una regolarizzazione delle sezioni di deflusso esistenti e il loro rivestimento in massi.

Si prevede la protezione della sezione trapezia di base 6 con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 80cm fino al recapito nel fiume Belici.

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]
3	1.51	662	7.95	1.65

Tabella 11: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 3.6, 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 ($\tau_{max, fondo}$) e sulle sponde ($\tau_{max, sponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 17.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(\phi)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.1 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.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

($T_{max,fondo}$, $T_{max,sponde}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($T_{cr(0)}$, $T_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$T_{max,fondo}$	$T_{max,sponde}$	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	913.6	728.2	1139.67	755	2.1	1.05

Tabella 12: 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.

5.5 Interferenza alla progressiva 20+228 e 20+470 (IN52 Km 20+469)

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 20+469 attraversa la linea storica a monte della futura linea ferroviaria di progetto e della nuova viabilità a valle della medesima.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 48.9 m³/s.

La portata contiene anche l'apporto del fosso alla progressiva 20+227 per il quale è prevista la deviazione a monte del rilevato mediante fosso di gronda. Il canale che si sviluppa tra le pk 20+227 e 20+469 presenta una base minore di 2m e convoglia una portata di 3.3mc/s verso l'attraversamento di progetto. Si riporta di seguito la verifica del a canale a moto uniforme

Larghezza fosso [m]	Pendenza fosso	Portata [m ³ /s]	Tirante[m]	Altezza minima fosso[m]	GR[%]
2.0	1.4%	3.3	0.45	1.1	41%

Tabella 13: Verifica moto uniforme

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 398.2 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

Il progetto prevede di risolvere l'interferenza con il rilevato ferroviario e stradale di progetto con due tombini di dimensioni 8X5 m collegati da un canale rettangolare di larghezza pari a 8 m, mantenendo l'attuale sulla linea storica. A valle è prevista inoltre la regolarizzazione dell'alveo con una sezione trapezia di base pari a 8m e pendenza delle sponde 3:2 integralmente rivestita in massi intasati di cemento.

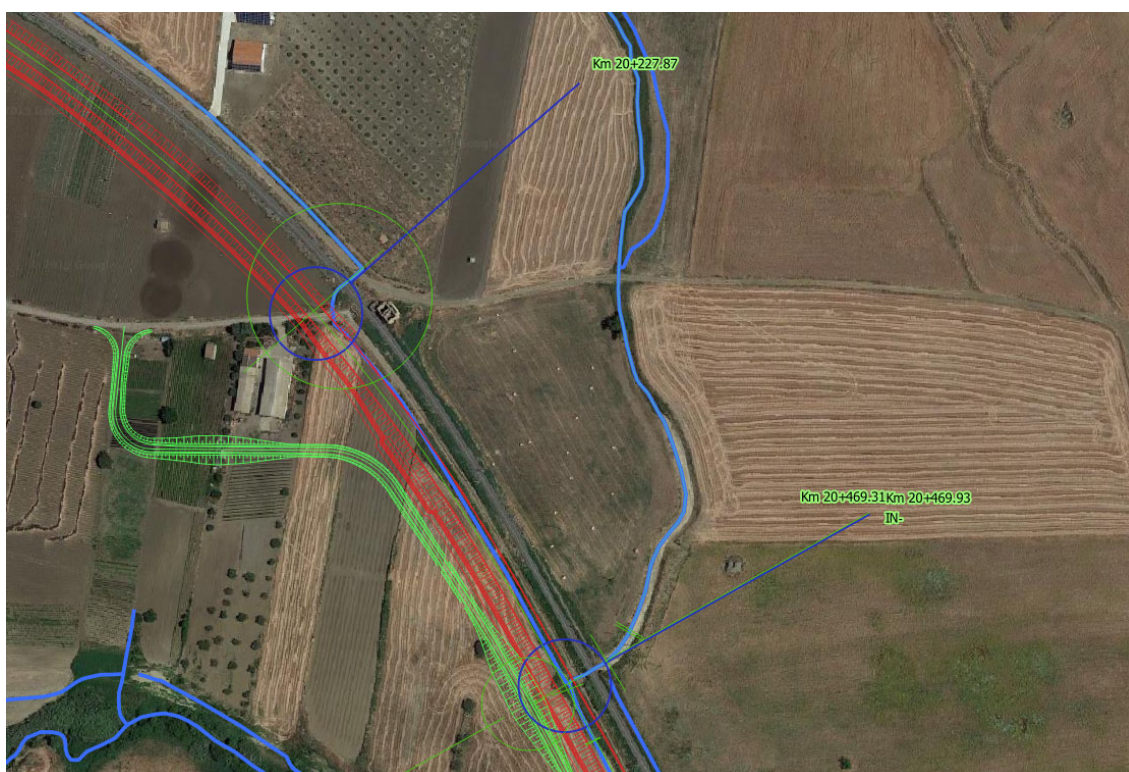


Figura 31: Inquadramento dell'opera



Figura 32: Attraversamento esistente

5.5.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

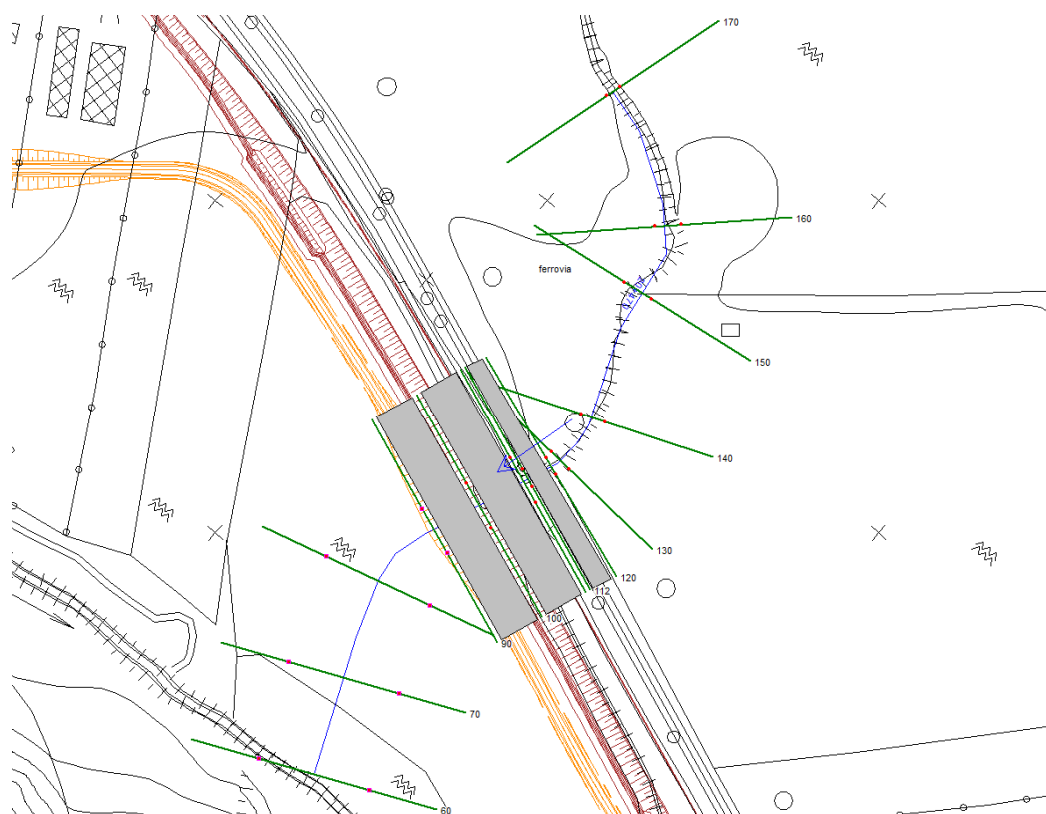


Figura 33: Planimetria sezioni hec ras

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
ferrovia	170	Tr 200	48.90	398.00	400.61	400.61	400.87	0.008038	2.55	33.58	67.37	0.54
ferrovia	160	Tr 200	48.90	397.28	400.25	399.17	400.32	0.001600	1.36	61.79	89.71	0.29
ferrovia	150	Tr 200	48.90	396.76	400.27		400.30	0.000660	1.00	80.91	78.47	0.20
ferrovia	140	Tr 200	48.90	396.28	400.27		400.27	0.000157	0.51	162.51	99.89	0.09
ferrovia	130	Tr 200	48.90	396.10	400.27		400.27	0.000102	0.44	186.09	100.00	0.08
ferrovia	120	Tr 200	48.90	396.00	400.25	398.43	400.27	0.000467	0.72	90.59	40.00	0.11
ferrovia	115											
ferrovia	112	Tr 200	48.90	395.95	399.22	399.22	400.14	0.026050	4.46	12.84	7.93	0.79
ferrovia	110	Tr 200	48.90	395.94	396.72	397.50	399.87	0.024662	7.86	6.22	8.00	2.85
ferrovia	105											
ferrovia	100	Tr 200	48.90	395.84	396.85	397.40	398.71	0.010873	6.03	8.11	8.00	1.91
ferrovia	95											
ferrovia	90	Tr 200	48.90	395.74	398.04	397.31	398.40	0.000959	2.66	18.40	8.02	0.56
ferrovia	80	Tr 200	48.90	395.59	398.23	396.94	398.28	0.000624	1.12	57.58	40.00	0.25
ferrovia	70	Tr 200	48.90	395.39	398.21	396.74	398.26	0.000455	1.02	63.97	40.00	0.22
ferrovia	60	Tr 200	48.90	395.19	398.20	396.54	398.24	0.000363	0.96	67.24	40.00	0.20

Tabella 14: 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.

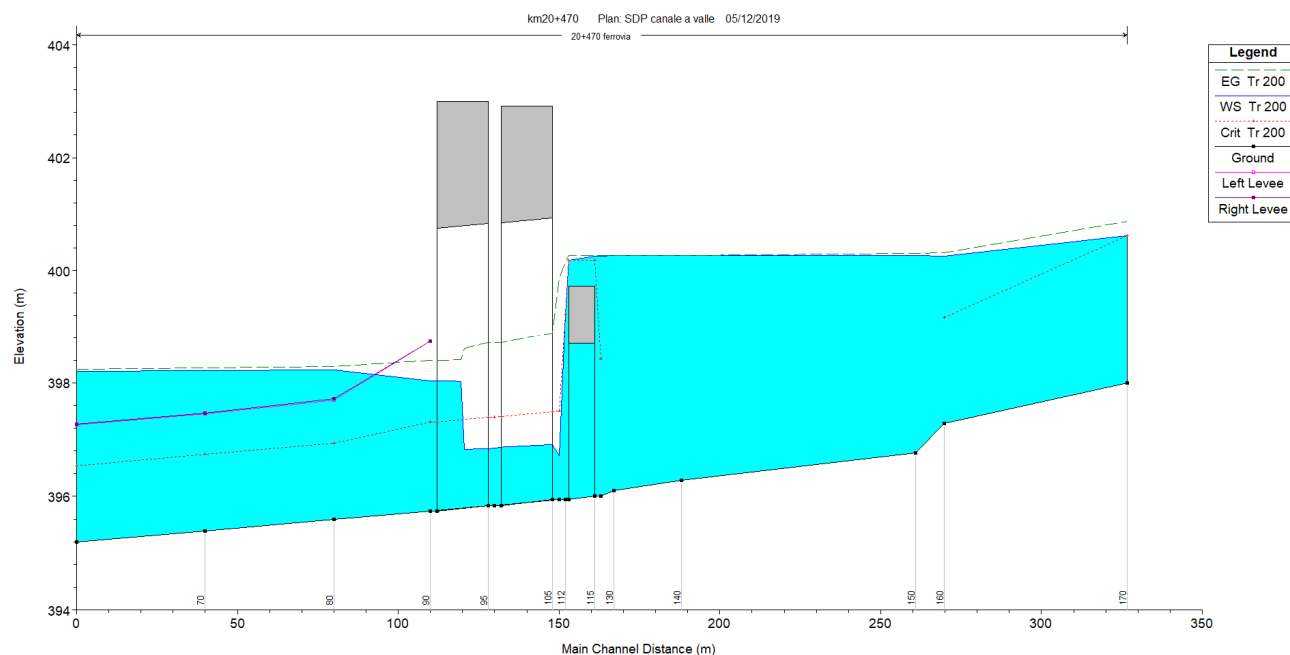


Figura 34: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Il grado di riempimento dei tombini risulta pari al 46%.

Il profilo mostra l'insufficienza idraulica del tombino esistente sotto la linea storica. Il funzionamento a pelo libero di un nuovo attraversamento sotto la storica comporterebbe un innalzamento della medesima non previsto nel presente progetto.

Il profilo è fortemente condizionato dalle condizioni al contorno imposte a valle. Il canale nel tratto terminale ricade all' interno dell'area di esondazione del Belici. Si prevede la protezione del rilevato stradale NV52 con Materassi tipo Reno (linee verde in Figura 35).

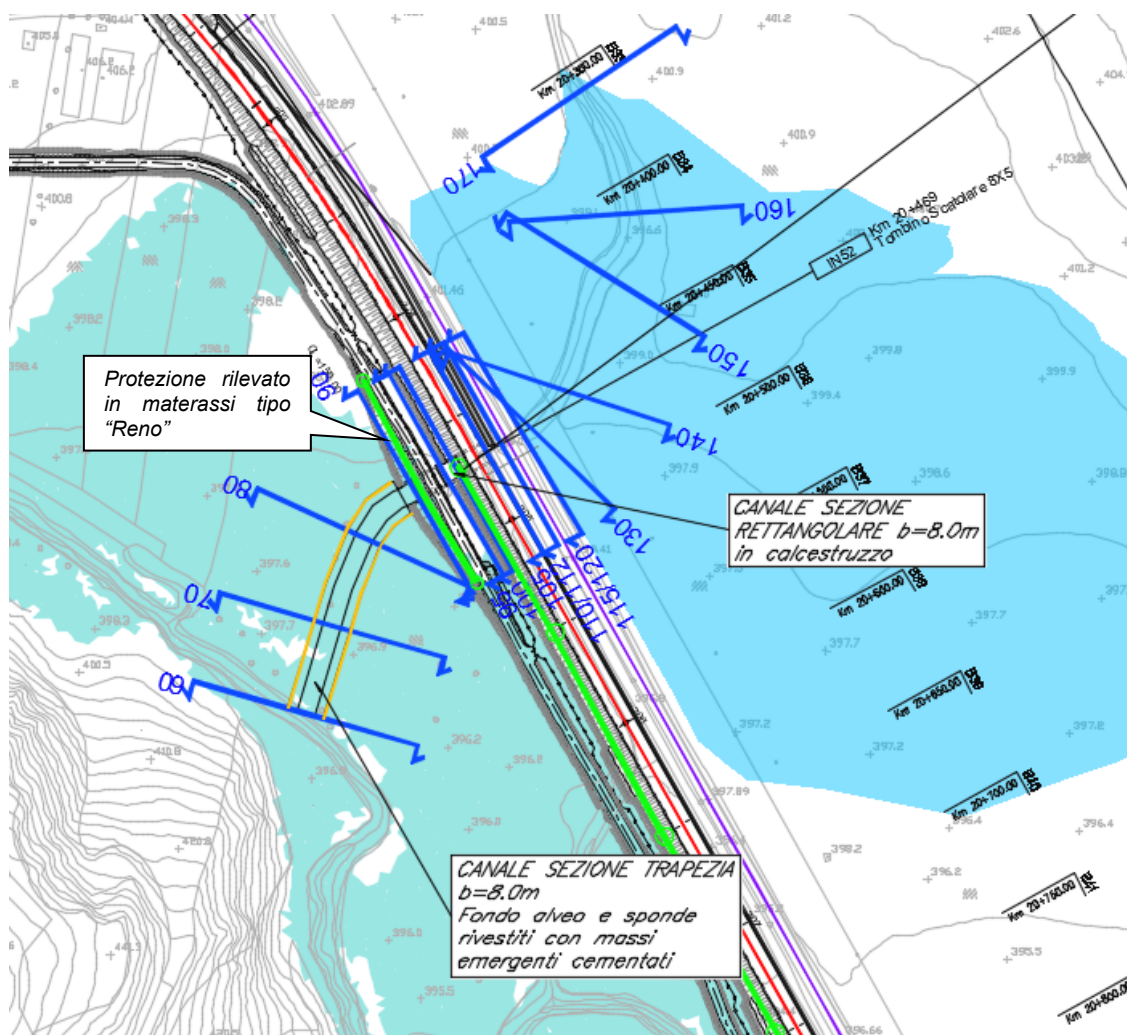


Figura 35: Protezione rilevato

5.5.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 8 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 di sbocco del tombino stradale fino al fiume Belici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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).

I dati sono stati estratti da una simulazione considerando come condizione di valle quella corrispondente al moto uniforme in quanto il profilo di progetto presentava un forte rigurgito del Belici e velocità molto basse.

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
80	0.74	340	5.0	0.93

Tabella 15: 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 8.6, 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 1.9. 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 (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]		
640	724	418	2.1	1.2

Tabella 16: Verifica della stabilità delle protezioni

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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.

5.6 Interferenza alla progressiva 20+889 (IN53 Km 20+889)

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 20+889 è costituito da un canale di gronda che attraversa la linea storica mediante un tombino di dimensioni 1.3x1.2m.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 3.2 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 394.55 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

Il rilevato ferroviario di progetto è addossato alla linea storica. Oltre alla linea ferroviaria è prevista in aderenza una viabilità di progetto.

Il progetto prevede di risolvere le due interferenze con due tombini di dimensioni 3X5m, mantenendo l'attuale sulla linea storica e realizzare un canale per scaricare la portata direttamente nel Belici.

La connessione tra le due opere di progetto avviene con un canale rettangolare di larghezza 3m.

A valle del tombino ferroviario, fino allo sbocco nel Belici, è prevista la regolarizzazione del corso d'acqua mediante canale trapezoidale con base di larghezza pari a 3 m e sponde con pendenza 3:2 integralmente rivestito in massi intasati con calcestruzzo.

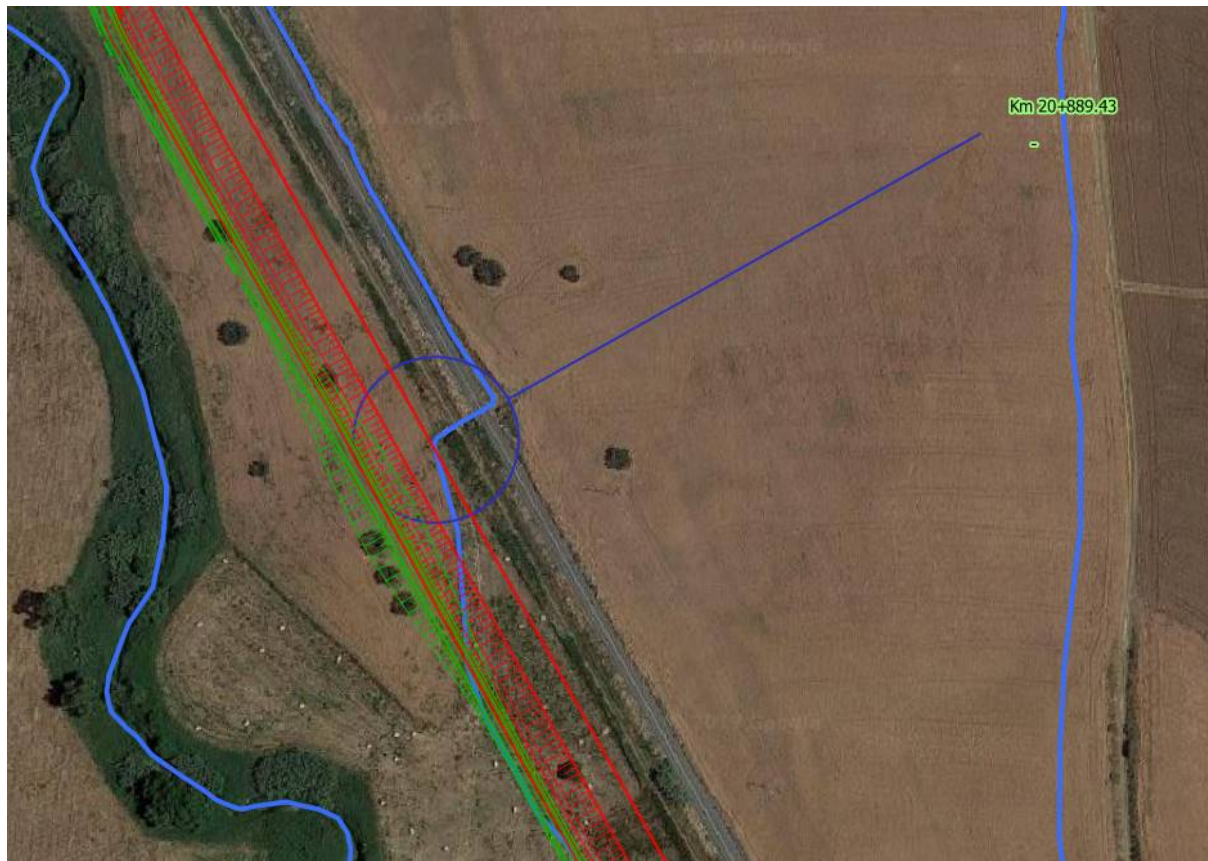


Figura 36: Inquadramento dell'opera



Figura 37: Attraversamento esistente

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.6.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

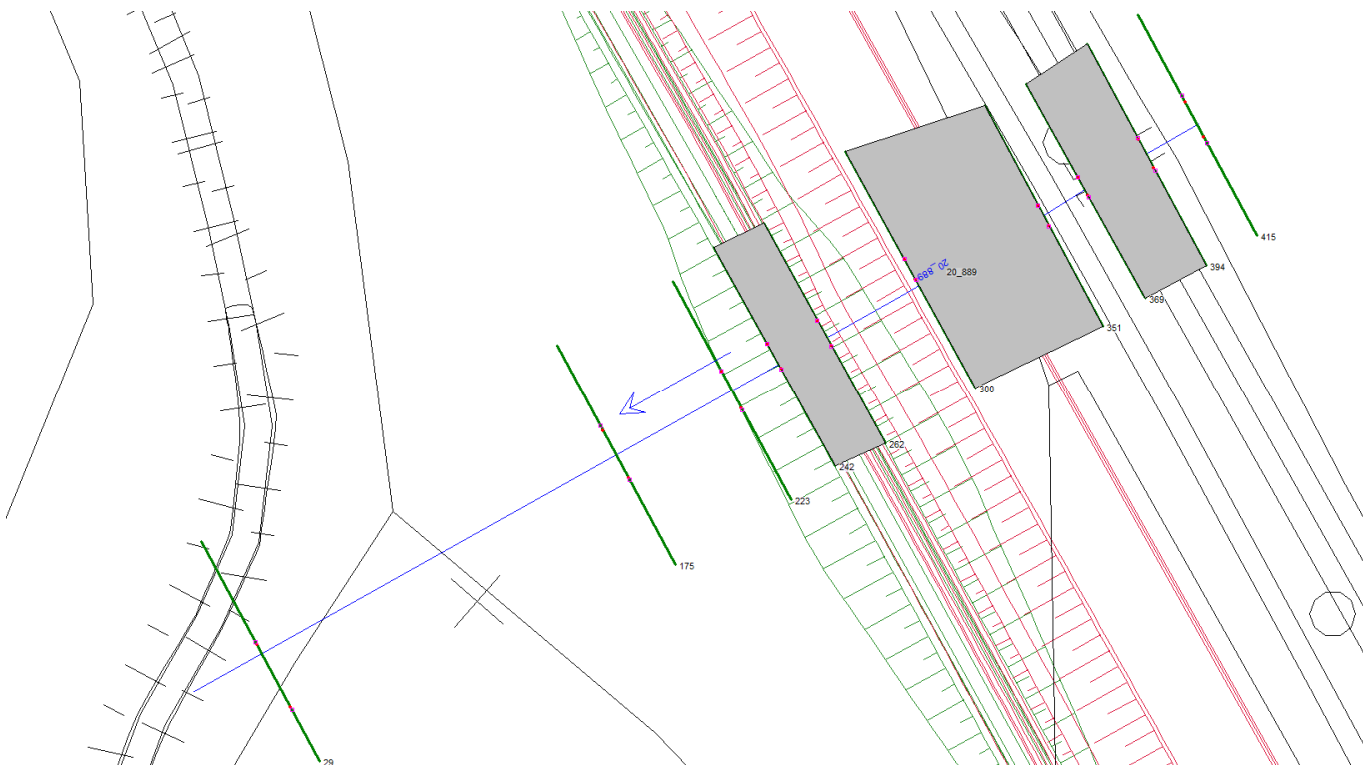


Figura 38: Planimetria sezioni hec ras

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
20_889	415	PF 1	3.20	393.09	394.74	393.69	394.74	0.000062	0.16	26.72	27.45	0.04
20_889	394	PF 1	3.20	392.37	394.74	393.11	394.74	0.000072	0.17	25.55	27.50	0.04
20_889	393											
20_889	369	PF 1	3.20	392.17	394.56	392.99	394.57	0.000095	0.58	13.66	25.11	0.13
20_889	351	PF 1	3.20	392.12	394.55	392.67	394.57	0.000066	0.53	6.12	2.56	0.11
20_889	350											
20_889	300	PF 1	3.20	391.96	394.55	392.51	394.56	0.000022	0.49	6.82	2.66	0.10
20_889	262	PF 1	3.20	391.84	394.55	392.33	394.56	0.000011	0.39	8.72	3.28	0.08
20_889	261											
20_889	242	PF 1	3.20	391.78	394.55	392.27	394.55	0.000010	0.39	8.69	3.18	0.07
20_889	223	PF 1	3.20	391.73	394.55	392.28	394.55	0.000004	0.08	57.31	27.27	0.02
20_889	175	PF 1	3.20	391.58	394.55	392.13	394.55	0.000006	0.09	50.51	27.39	0.02
20_889	29	PF 1	3.20	391.13	394.55	391.69	394.55	0.000005	0.09	52.23	27.37	0.02

Tabella 17: 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 come esso sia fortemente condizionato dal livello nel fiume Belici che comporta un rigurgito importante verso l'opera di progetto.

Il profilo mostra l'insufficienza idraulica del tombino esistente sulla linea storica. Si prevede infine la protezione dei rilevati ferroviari e di progetto mediante rivestimento dei rilevati con massi cementati.

Il grado di riempimento nel tombino ferroviario è pari al 52%, mentre in quello stradale al 55%.

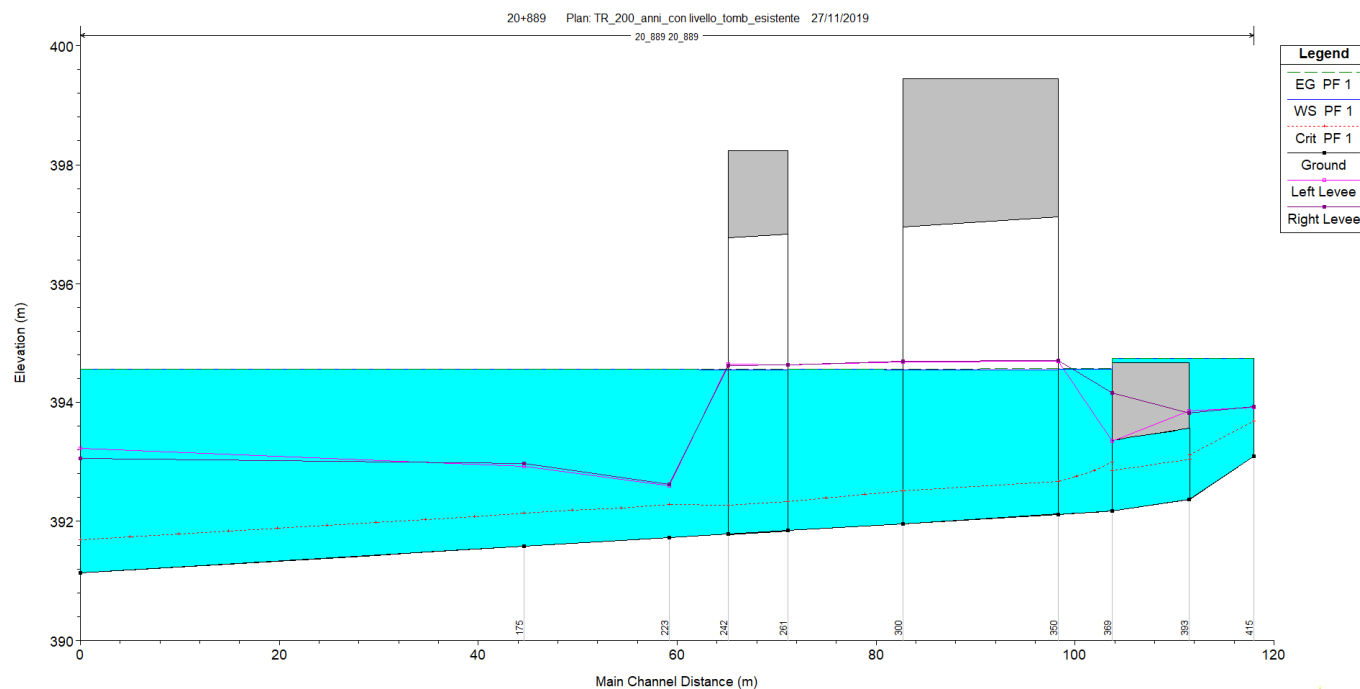


Figura 39: Profilo idrico post operam TR 200 anni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

Tra i due tombini in progetto si prevede l'arginatura del canale in modo tale da contenere il rigurgito del fiume Belici. I rilevati ferroviari e stradali in progetto sono protetti con massi cementati.

Nella figura seguente si riporta un estratto della planimetria di progetto nella quale si riportano le aree di esondazione. Dall'immagine risulta evidente come la parte finale del canale ricadi all'interno dell'area di esondazione del Belici e che a monte il tombino ferroviario esistente risulti insufficiente a far transitare la portata creando un allagamento a monte del rilevato esistente.

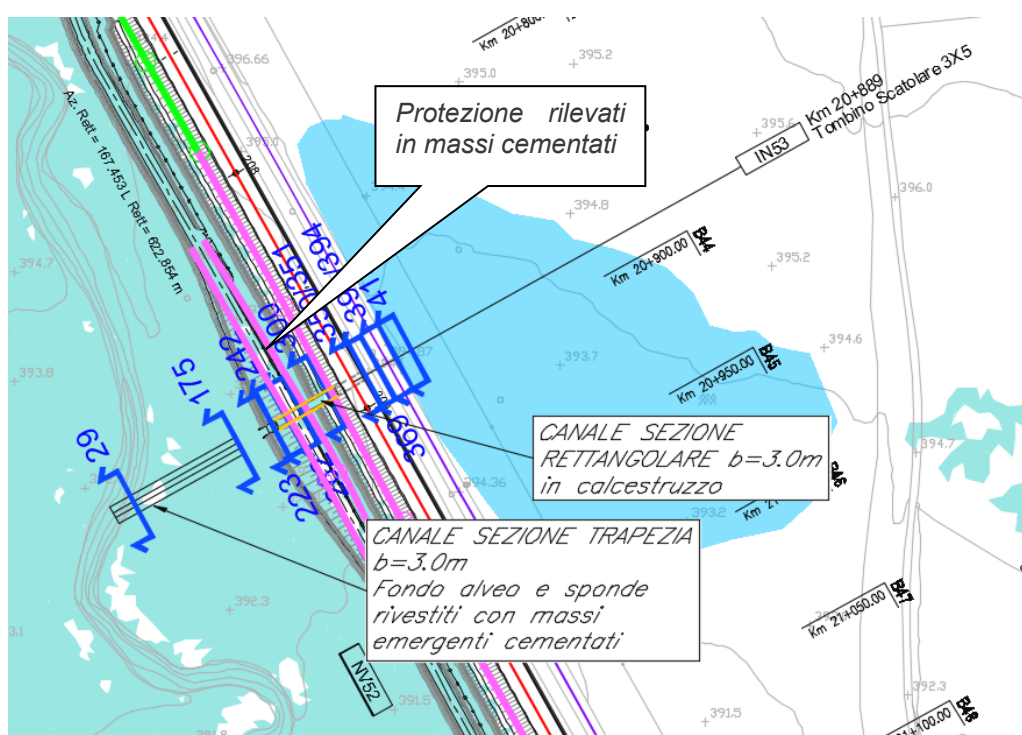


Figura 40: Protezione rilevati

5.6.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 3 m e pendenza delle sponde 3:2 dalla sezione di sbocco del tombino stradale fino al recapito nel Fiume Belici. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 30 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 LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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).

Essendo il profilo di progetto rigurgitato dal Belici con velocità quasi nulle, si è preferito estrarre i dati seguenti da una simulazione monodimensionale con condizione al contorno di valle a moto uniforme.

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 175	0.47	51	1.5	0.72

Tabella 18: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 4.2, 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 17.

Per il calcolo della tensione critica al fondo ($\tau_{cr(\alpha)}$) è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 2.4 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 ($\tau_{max, fondo}$, $\tau_{max, sponde}$), 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).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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	71	56	417	241	5.9	4.3

Tabella 19: 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.

5.7 Interferenza alla progressiva 21+206 (IN54 Km 21+206)

Allo stato attuale il corso d'acqua alla progressiva 21+206 attraversa la linea storica con un tombino ad arco. Il corso d'acqua continua poi in golena del fiume Belici per sfociare nel fiume circa 500 m a valle.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 7.1 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 389.05 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

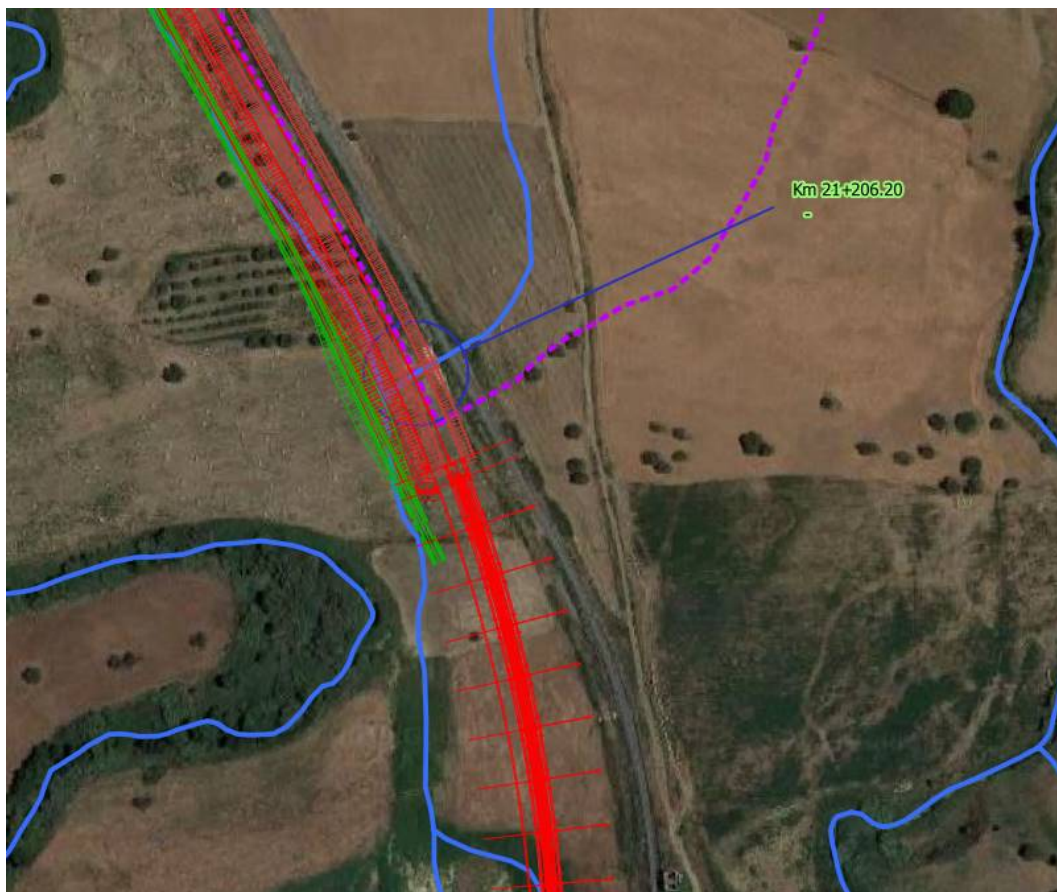


Figura 41: Inquadramento dell'opera

Il rilevato di progetto è addossato alla linea storica. Oltre alla linea ferroviaria è prevista in aderenza una viabilità di progetto.

Il progetto prevede di risolvere le due interferenze con due tombini di dimensioni 5X4 m, mantenendo l'attuale sulla linea storica, e realizzare un canale per scaricare la portata direttamente nel Belici.

La connessione tra le due opere di progetto avviene con un canale rettangolare di larghezza 5 m.

A valle del tombino ferroviario, fino allo sbocco nel Belici, è prevista la regolarizzazione del corso d'acqua mediante canale di sezione trapezia con base di larghezza pari a 5 m e sponde con pendenza 3:2 integralmente rivestito in massi intasati nel calcestruzzo.



Figura 42: Attraversamento esistente

5.7.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

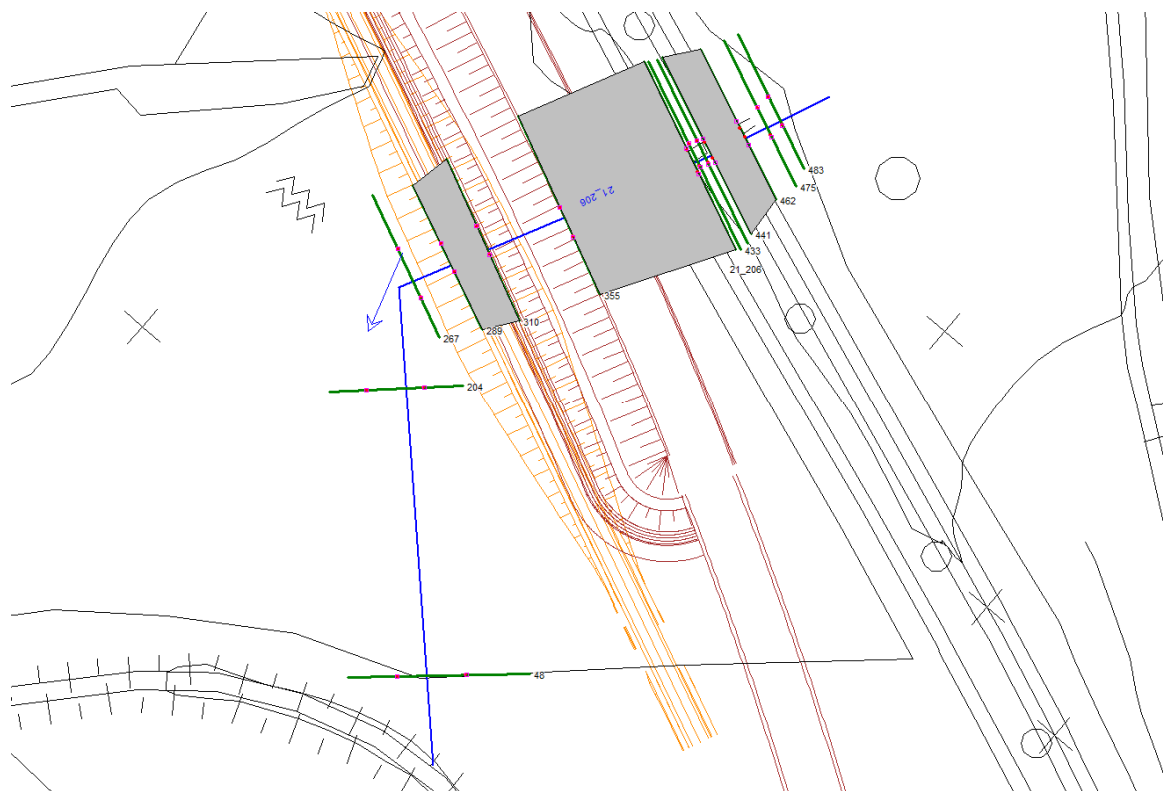


Figura 43: Planimetria sezioni hec ras

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 (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
21_206	483	PF 1	7.10	388.54	391.23	389.56	391.24	0.000126	0.29	32.99	24.67	0.06
21_206	475	PF 1	7.10	388.39	391.23	389.41	391.24	0.000083	0.25	38.39	26.66	0.05
21_206	462	PF 1	7.10	388.40	391.23	390.00	391.24	0.000783	0.40	20.76	27.62	0.08
21_206	461		Culvert									
21_206	441	PF 1	7.10	388.15	389.21	389.21	389.68	0.068953	3.02	2.35	2.50	1.00
21_206	438	PF 1	7.10	388.04	388.41	388.72	389.57	0.024035	4.77	1.49	4.00	2.50
21_206	433	PF 1	7.10	388.03	388.41	388.72	389.52	0.022449	4.67	1.52	4.00	2.42
21_206	431	PF 1	7.10	388.03	388.41	388.72	389.50	0.021755	4.62	1.54	4.00	2.38
21_206	430		Culvert									
21_206	355	PF 1	7.10	387.57	389.06	388.16	389.11	0.000160	0.95	7.73	5.32	0.25
21_206	310	PF 1	7.10	387.30	389.07	387.89	389.10	0.000112	0.80	8.96	5.16	0.19
21_206	309		Culvert									
21_206	289	PF 1	7.10	387.23	389.05	387.75	389.06	0.000049	0.55	19.87	26.28	0.13
21_206	267	PF 1	7.10	387.16	389.05	387.72	389.06	0.000170	0.45	19.11	25.95	0.12
21_206	204	PF 1	7.10	386.97	389.05	387.53	389.06	0.000119	0.40	20.59	21.92	0.10
21_206	48	PF 1	7.10	386.50	389.05	387.05	389.05	0.000052	0.29	29.29	22.42	0.07

Tabella 20: 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 come esso sia fortemente condizionato dal livello nel fiume Belici che comporta un rigurgito importante verso l'opera di progetto.

Il grado di riempimento nel tombino ferroviario è pari al 37%, mentre in quello stradale al 45%.

Il profilo mostra l'insufficienza idraulica del tombino esistente sotto la linea storica che crea un'importante area di allagamento a monte del rilevato esistente. Il funzionamento a pelo libero di un nuovo attraversamento sotto la storica comporterebbe un innalzamento della medesima non previsto nel presente progetto.

Si prevede infine la protezione dei rilevati ferroviari e di progetto mediante rivestimento dei rilevati con massi cementati.

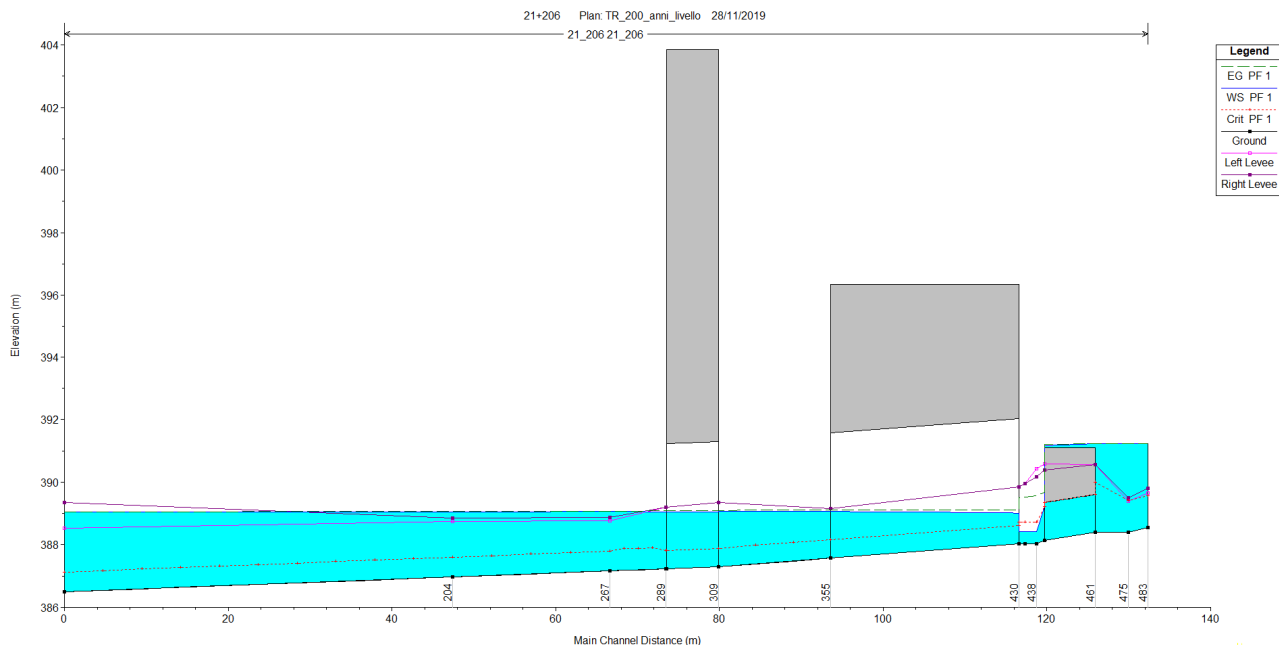


Figura 44: Profilo idrico post operam TR 200 anni

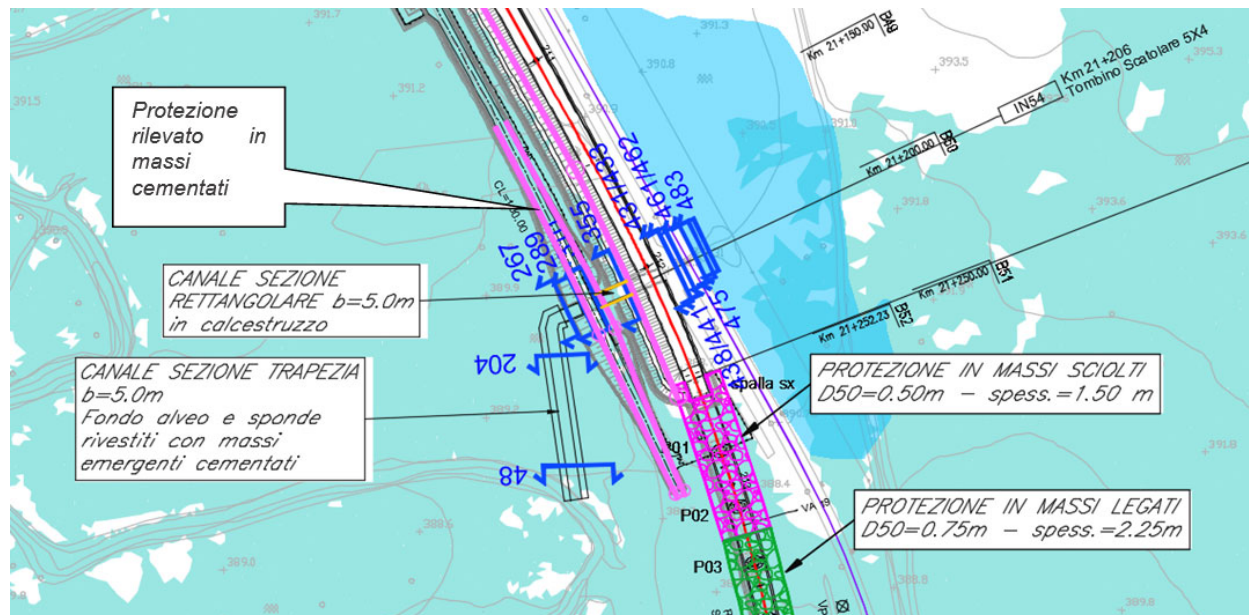


Figura 45: Planimetria protezioni

5.7.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

Dalla sezione di sbocco del tombino stradale fino al Belici l'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 5 m e pendenza delle

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

sponde 3:2. Si prevede la protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo pari a 30 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).

Essendo il profilo di progetto rigurgitato dal Belici con velocità quasi nulle, si è preferito estrarre i dati seguenti da una simulazione monodimensionale con condizione al contorno di valle a moto uniforme.

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 48	0.62	61	1.6	0.83

Tabella 21: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 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 (T_{max_fondo}) e sulle sponde (T_{max_spende}) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 17.

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 2.8 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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

($T_{max,fondo}$, $T_{max,sponde}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($T_{cr(0)}$, $T_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$T_{max,fondo}$	$T_{max,sponde}$	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1.0	79	61	409	236	5.2	3.9

Tabella 22: 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.

5.8 Interferenze alla progressiva 21+491, 21+552 , 21+705+783.4 (IN81-b Km 21+704)

Allo stato attuale il corso d'acqua che genera le interferenze alle progressive 21+491, 21+552, 21+705,21+783.4 rappresenta il canale di scarico del tombino sulla storica precedente (pk 21+206).

Avendo realizzato contestualmente ai tombini di progetto un nuovo canale di scarico diretto nel Belici, tale corso d'acqua raccoglierà gli apporti meteorici dell'area interclusa tra il viadotto di progetto e la linea storica. Pertanto non è stata eseguita una verifica a moto permanente.

Il progetto prevede di risolvere le interferenze con le pile di progetto deviando il fosso mantenendo la sezione attuale caratterizzata da una sezione trapezia di base 3m.

La sistemazione ricade all' interno dell'area di esondazione del Belici e si sviluppa parallelo al viadotto. Le pile del viadotto saranno protette in massi sciolti.

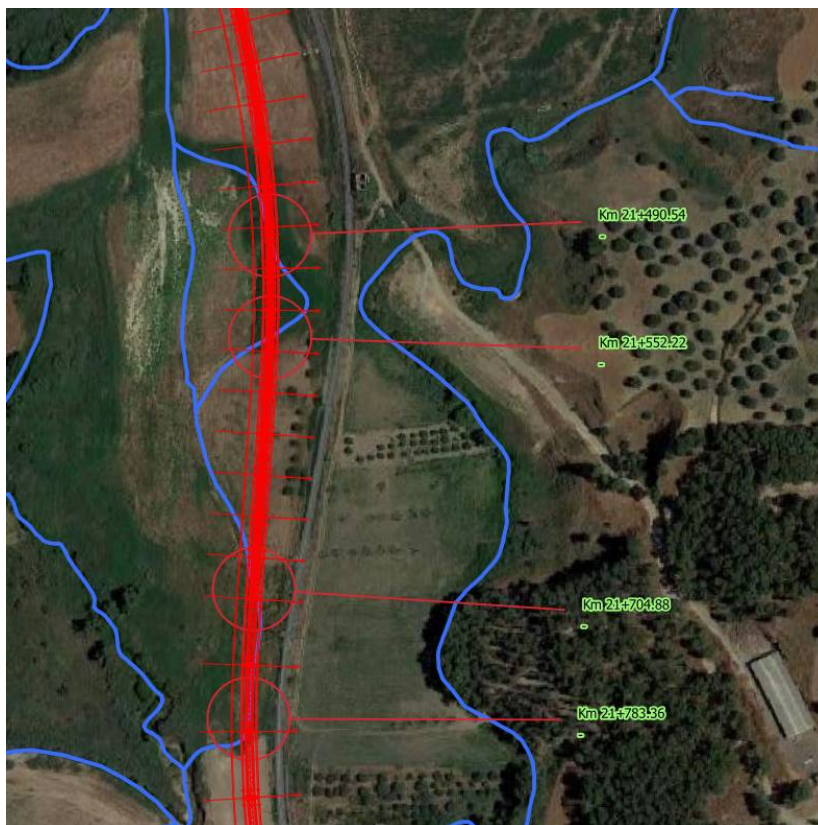


Figura 46: Inquadramento dell'opera

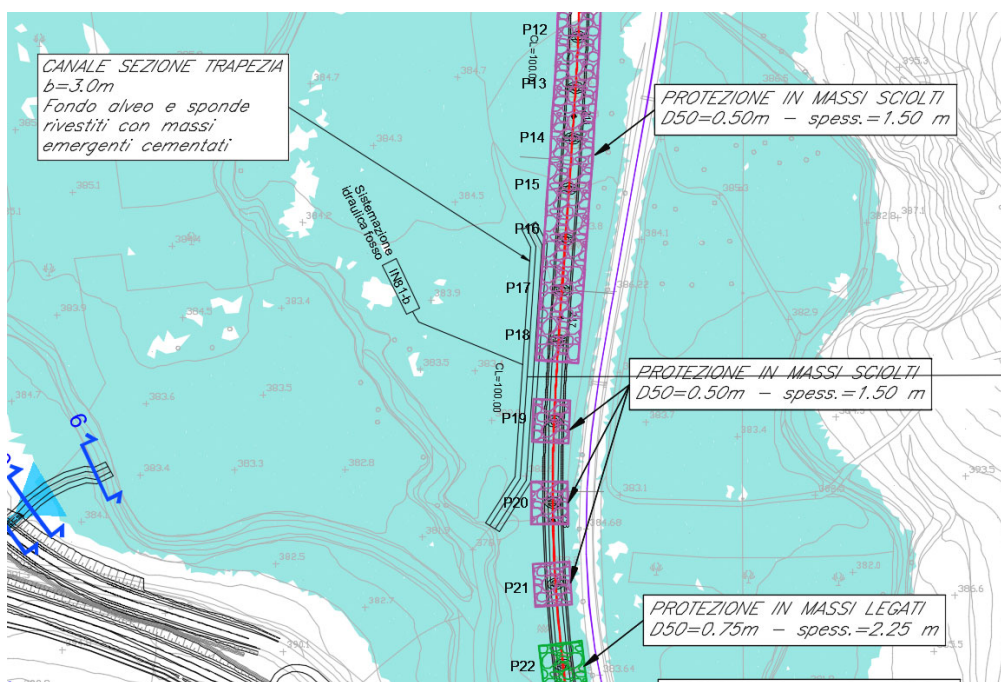


Figura 47: Inquadramento dell'opera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.9 Interferenza con NV 53A 0+225 e 0+415 (NI51 Km 21+818)

Allo stato attuale i due corsi d'acqua attraversano la strada provinciale SP121 prima di sfociare nel fiume Belici.

Poiché il ramo destro, che attualmente interferisce alla km 0+415, è una piccola incisione si prevede di deviare il medesimo nel ramo sinistro più importante con un fosso di forma trapezia e base 2m.

Il nuovo attraversamento stradale è costituito da un tombino di dimensioni 7X3 m con un salto a monte.

A monte e a valle dell'attraversamento è prevista la sistemazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 3m e pendenza delle sponde 3:2 integralmente rivestita in massi intasati con calcestruzzo.

Tra le sezioni 509 e 424 è prevista la realizzazione di una viabilità di ricucitura. Nel modello non è stato inserito il tombino in quanto si prevede la realizzazione di un'opera sagomata internamente. La sagomatura sarà delle stesse dimensioni del fosso.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 9.7 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 384.9 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

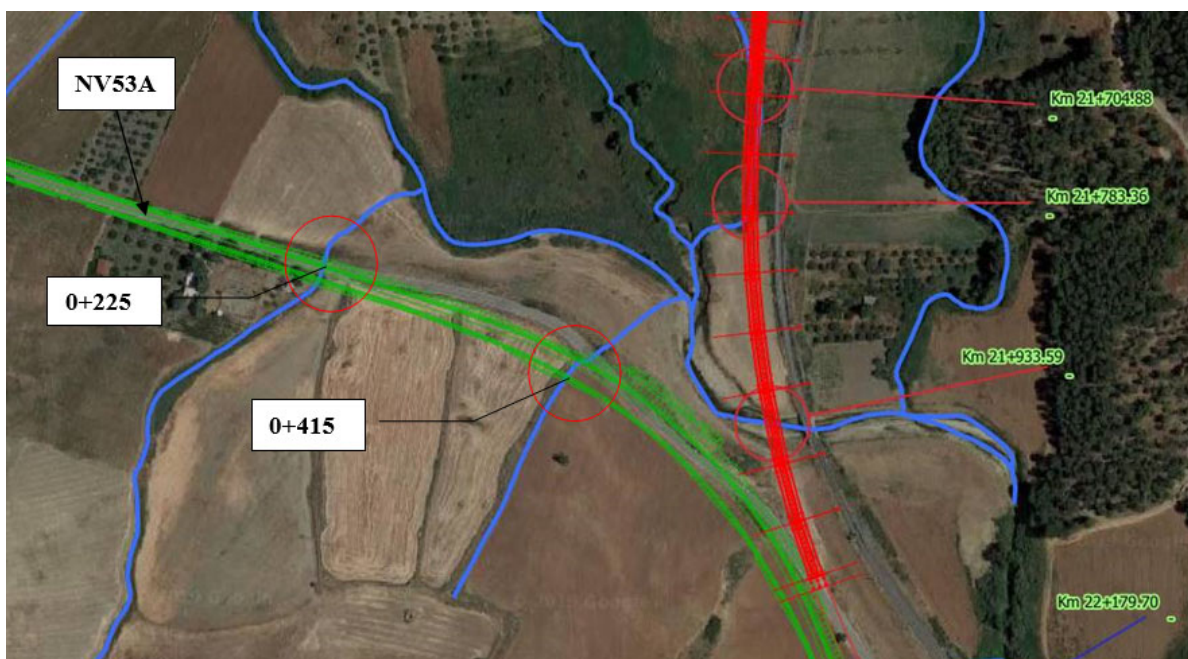


Figura 48: Inquadramento dell'opera

5.9.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

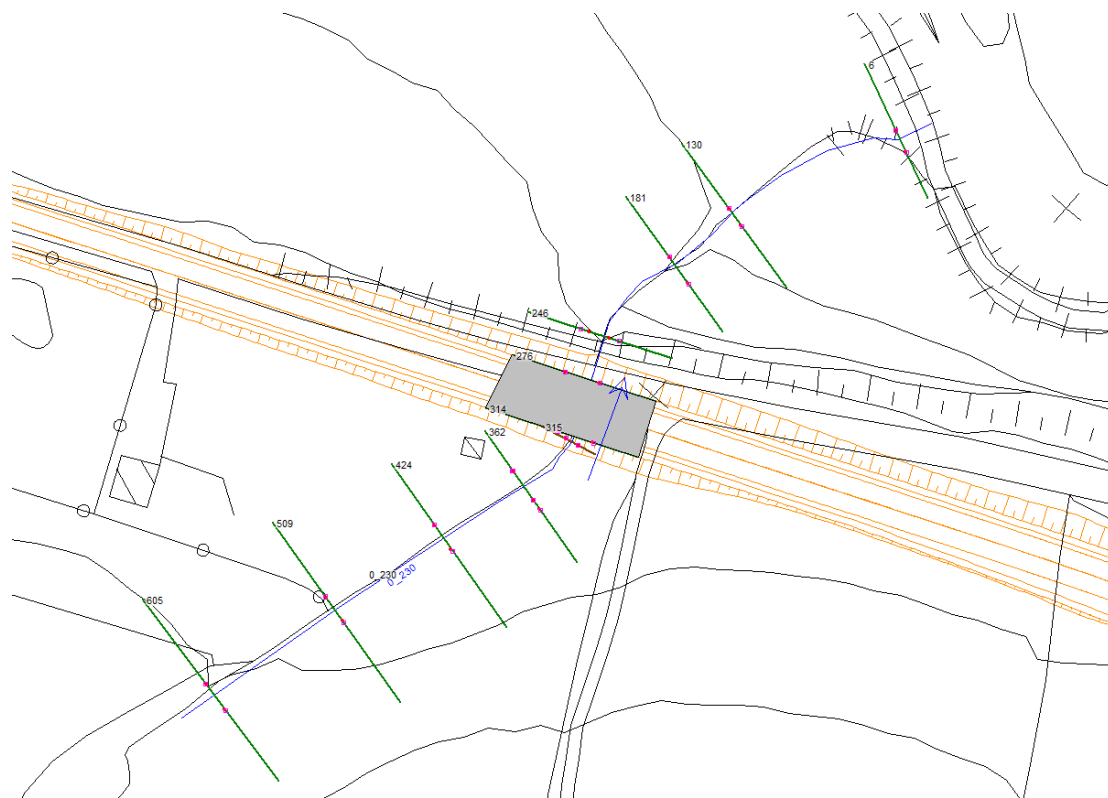


Figura 49: Planimetria sezioni hec ras

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 (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
0_230	605	9.70	395.10	395.68	395.97	396.61	0.066059	4.27	2.27	4.78	1.98
0_230	509	9.70	393.42	394.04	394.30	394.84	0.053060	3.96	2.45	4.87	1.78
0_230	424	9.70	391.97	392.58	392.85	393.42	0.056630	4.05	2.39	4.83	1.84
0_230	362	9.70	389.90	390.38	390.77	391.83	0.124408	5.32	1.82	4.47	2.66
0_230	361	9.70	387.90	388.06	388.48	391.61	0.182477	8.34	1.16	7.00	6.54
0_230	315	9.70	387.72	387.93	388.30	390.14	0.083956	6.58	1.47	7.00	4.58
0_230	314	9.70	387.70	387.93	388.28	389.82	0.065178	6.09	1.59	7.00	4.07
0_230	277	Culvert									
0_230	181	9.70	384.88	385.76	385.76	386.09	0.015213	2.55	3.80	5.64	0.99
0_230	130	9.70	384.44	385.05	385.28	385.70	0.039725	3.80	3.48	13.54	1.61
0_230	6	9.70	382.91	384.90	383.45	384.90	0.000090	0.40	43.28	29.60	0.09

Tabella 23: 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. Il grado di riempimento nel tombino stradale NI51 è pari al 33%. A monte di questo tombino è prevista la realizzazione di una strada secondaria. In hec ras non è stato inserito l'ingombro del tombino in quanto si prevede di realizzare una sagomatura interna di dimensioni uguali al canale. Il grado di riempimento del tombino risulta quindi pari al 21%.

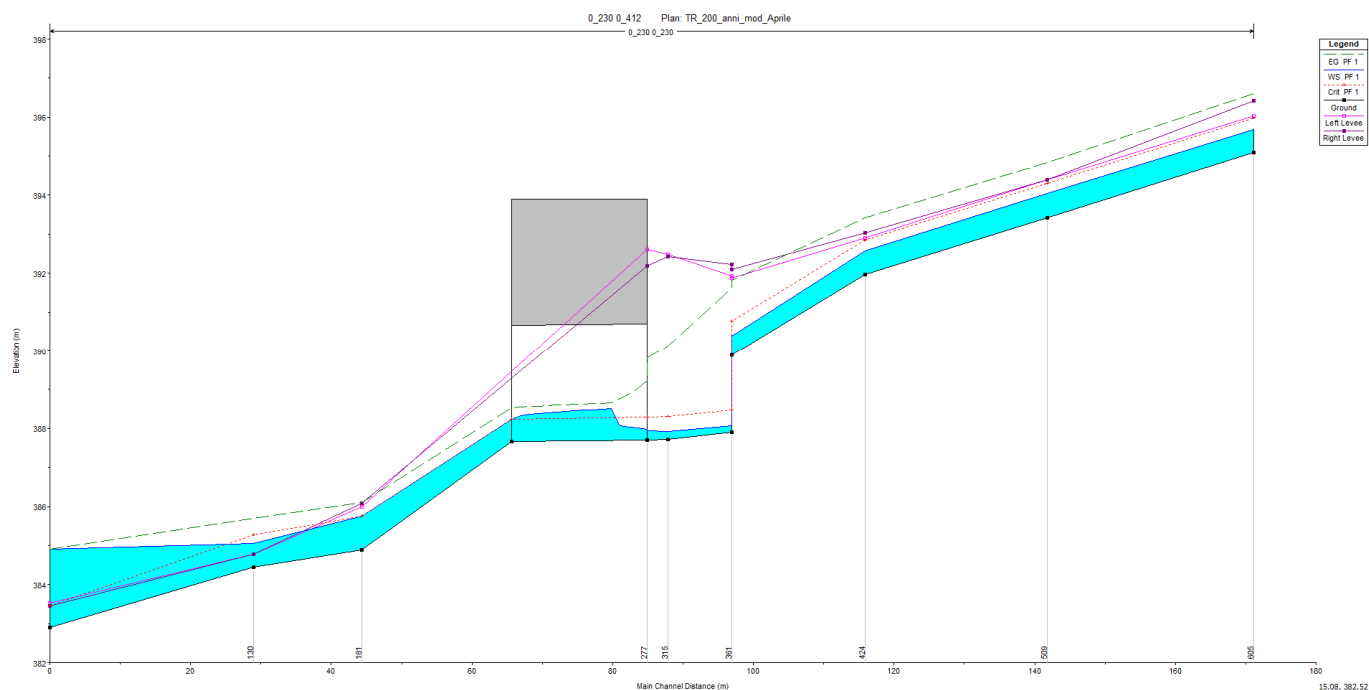


Figura 50: Profilo idrico post operam TR 200 anni

La parte finale della sistemazione ricade nell' area di esondazione del Belici. Si riporta nella seguente immagine un estratto della planimetria di progetto.

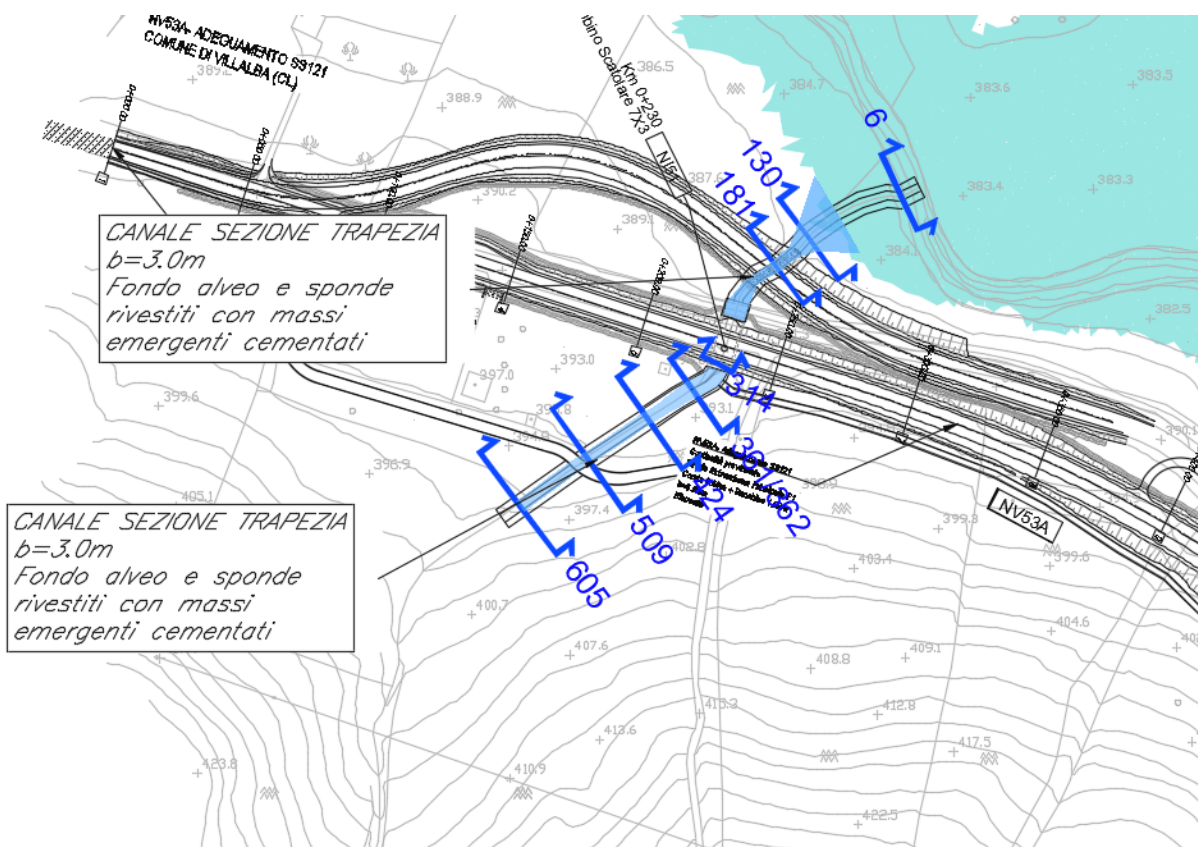


Figura 51: Planimetria

A monte della NV53A è prevista la realizzazione di un canale di gronda tra le pk 0+230 e 0+450 circa.

Il fosso di forma rettangolare e base 2m è stato verificato a moto uniforme per una portata di 2mc/s.

Larghezza fosso [m]	Pendenza fosso	Portata [m ³ /s]	Tirante[m]	Altezza minima fosso[m]	GR[%]
2.0	1.8%	2	0.3	1	30%

Tabella 24: Verifica moto uniforme

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.9.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 3 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 a monte dell'attraversamento e 70 cm a valle.

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 605	0.50	322	3.6	0.67

Tabella 25: Dati verifica monte

Sezione	R_H	T_0	V	h
	[m]	[N/m ²]	[m/s]	[m]
Sezione 130	0.42	565	4.6	0.55

Tabella 26: Dati verifica valle

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 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 ($T_{max, fondo}$) e sulle sponde ($T_{max, sponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 17.

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 1.3 a monte e 0.79 a valle 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 l'angolo di inclinazione delle sponde (α) pari a 32°.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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 ($T_{\max, \text{fondo}}$, $T_{\max, \text{sponde}}$), il valore della tensione tangenziale critica al fondo e sulle sponde ($T_{cr(0)}$, $T_{cr(\alpha)}$), i coefficienti di sicurezza per il fondo e le sponde (F_0 e F_α rispettivamente).

β_{fondo}	β_{sponde}	$T_{\max, \text{fondo}}$	$T_{\max, \text{sponde}}$	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.0	451	322	767	443	1.7	1.4

Tabella 27: Verifica della stabilità delle protezioni monte

β_{fondo}	β_{sponde}	$T_{\max, \text{fondo}}$	$T_{\max, \text{sponde}}$	$T_{cr(0)}$	$T_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.3	1.0	735	565	1194	689	1.6	1.2

Tabella 28: Verifica della stabilità delle protezioni valle

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.

5.10 Interferenza con NV 53A 1+300 (NI52 Km 22+688)

Il corso d'acqua di modeste dimensioni, affluente del fiume Belici, interferisce con le pile del viadotto di progetto alla pk 1+300 della viabilità NV53A. Si prevede pertanto la deviazione del corso d'acqua in prossimità delle pile.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 374.55 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

A monte e a valle dell'attraversamento è prevista la sistemazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 1.5 m e pendenza delle sponde 3:2 integralmente rivestita in massi intasati con calcestruzzo.

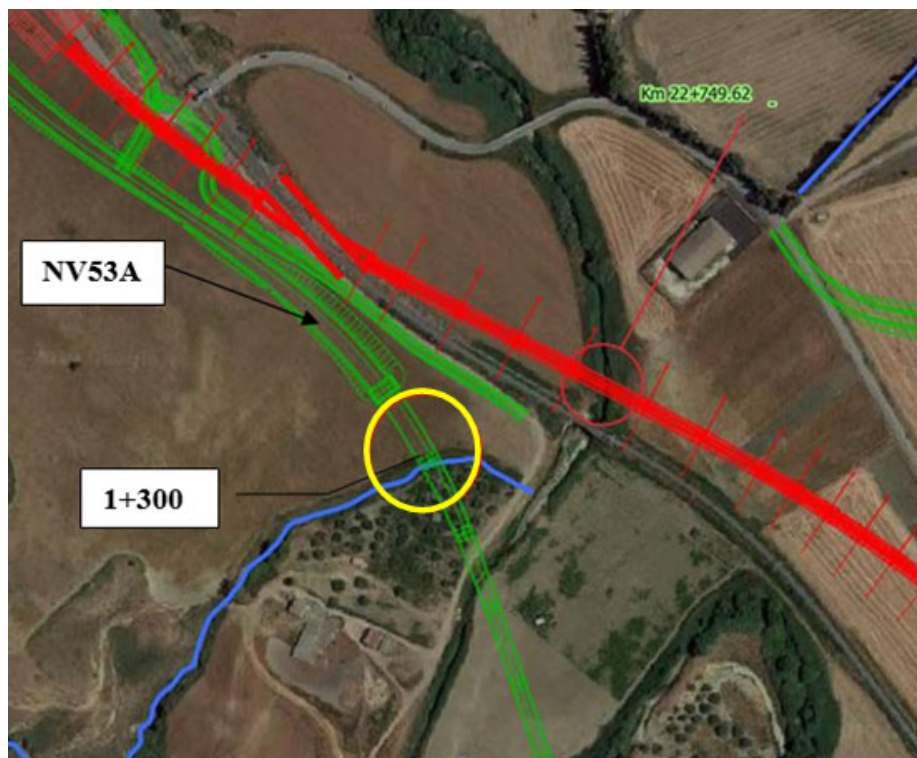


Figura 52: Inquadramento dell'opera

5.10.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

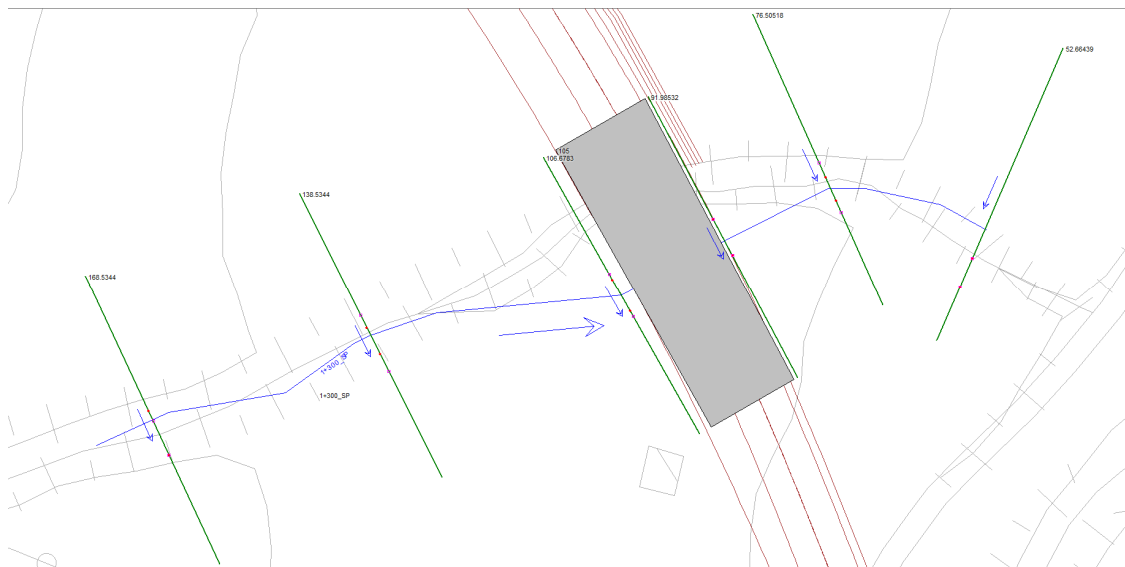


Figura 53: Planimetria sezioni hec ras

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 (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+300_SP	168.5344	6.00	376.43	377.37	377.49	377.88	0.056999	3.17	1.89	3.06	1.28
1+300_SP	138.5344	6.00	375.59	376.40	376.47	376.80	0.023510	2.80	2.14	3.61	1.16
1+300_SP	106.6783	6.00	375.10	376.09	375.98	376.30	0.010433	2.03	2.95	4.47	0.80
1+300_SP	105	Bridge									
1+300_SP	91.98532	6.00	374.81	375.63	375.69	376.00	0.022242	2.69	2.23	3.95	1.14
1+300_SP	76.50518	6.00	374.30	375.01	375.18	375.56	0.037663	3.26	1.84	3.65	1.47
1+300_SP	52.66439	6.00	373.92	374.80	374.80	375.10	0.016801	2.43	2.47	4.14	1.00

Tabella 29: Risultati simulazione post operam

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

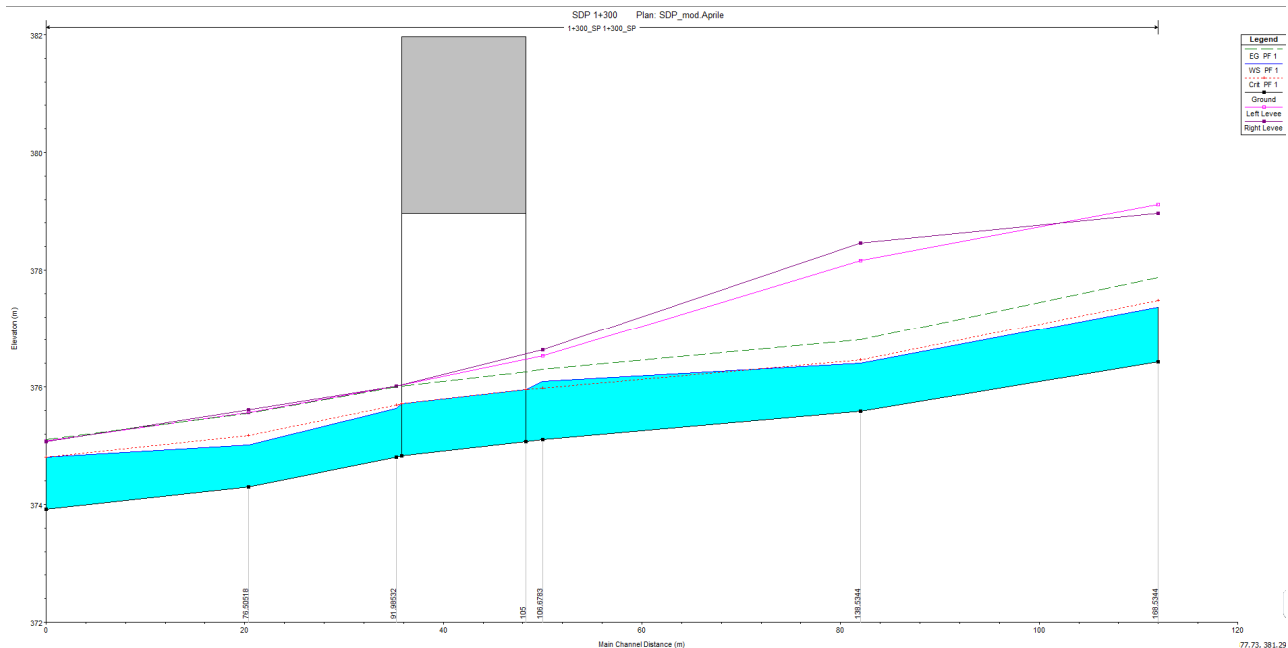


Figura 54: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Il viadotto stradale di progetto presenta un franco idraulico pari a 2.87 m ed un franco energetico pari a 2.66 m. La luce netta tra le pile risulta pari a circa 37m.

La sistemazione di progetto contiene la portata ad progetto in prossimità del viadotto come riportato nella seguente immagine.

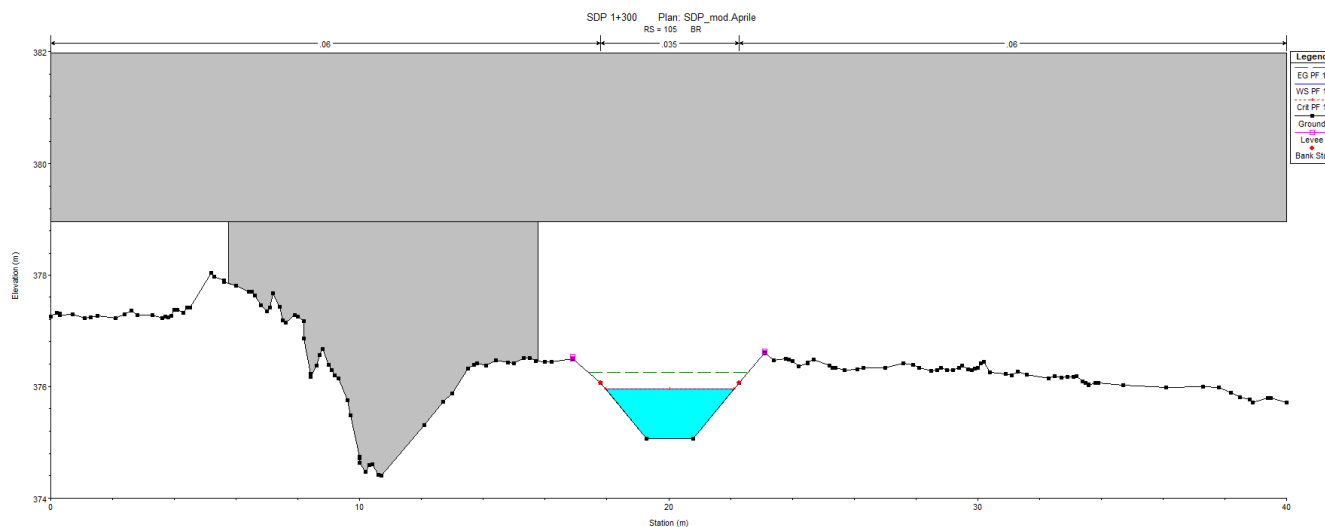


Figura 55: Sezione in prossimità del viadotto

Le pile del viadotto sono interessate dall' esondazione del Belici per eventi con tempi di ritorno maggiori di 30 anni. Si riportano le protezioni previste per le pile del viadotto.

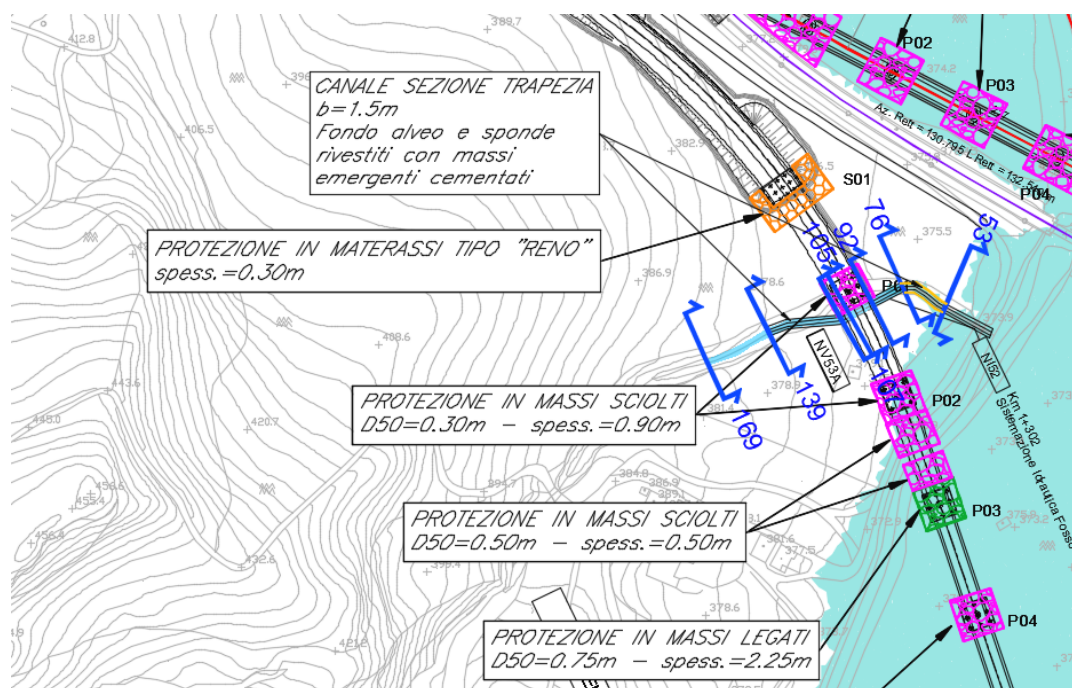



Figura 56: Sezione in prossimità del viadotto

5.10.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 1.5 m e pendenza delle sponde 3:2 dalla sezione 138.53 a monte del viadotto fino al Belici. 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 (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]

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

Sezione 138.5	0.48	149.8	3.1	0.55
---------------	------	-------	-----	------

Tabella 30: Dati verifica

Essendo la sezione di dimensioni limitate, con un rapporto tra larghezza della base e tirante pari a 2.7, 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 ($\tau_{max,fondo}$) e sulle sponde ($\tau_{max,fsponde}$) applicando a quella media i coefficienti moltiplicativi riportati in Figura 17.

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 1.4 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/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 ($\tau_{max,fondo}$, $\tau_{max,fsponde}$), 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}	$\tau_{max,fondo}$	$\tau_{max,sponde}$	$\tau_{cr(0)}$	$\tau_{cr(\alpha)}$	F_0	F_α
		[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]	[N/m ²]		
1.4	1.1	209.7	164.8	610.6	404	2.9	2.5

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.

5.11 Interferenza con NV 53A 1+640 (NI53 Km 22+943)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

Il corso d'acqua di modeste dimensioni, affluente del fiume Belici, interferisce con le pile del viadotto di progetto alla pk 1+300 della viabilità NV53A. Si prevede pertanto la deviazione del corso d'acqua in prossimità delle pile.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 2.1 m³/s.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 372.4 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

A monte e a valle dell'attraversamento è prevista la sistemazione del corso d'acqua secondo una sezione trapezia di base 3 m e pendenza delle sponde 3:2 integralmente rivestita in massi cementati.

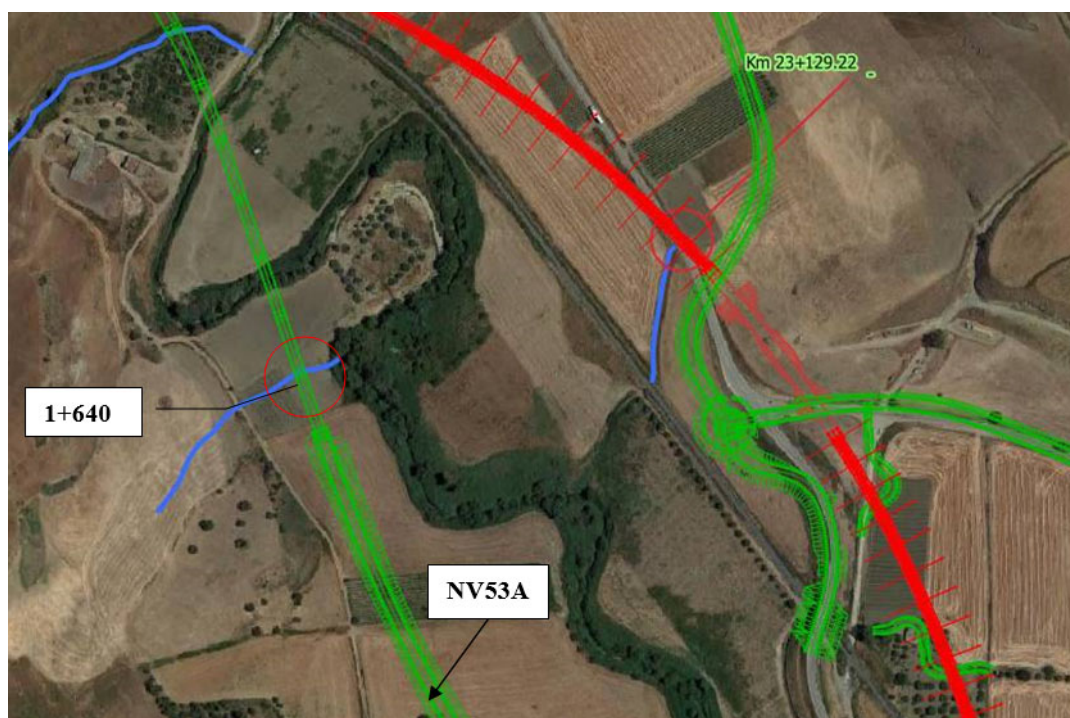


Figura 57: Inquadramento dell'opera

5.11.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

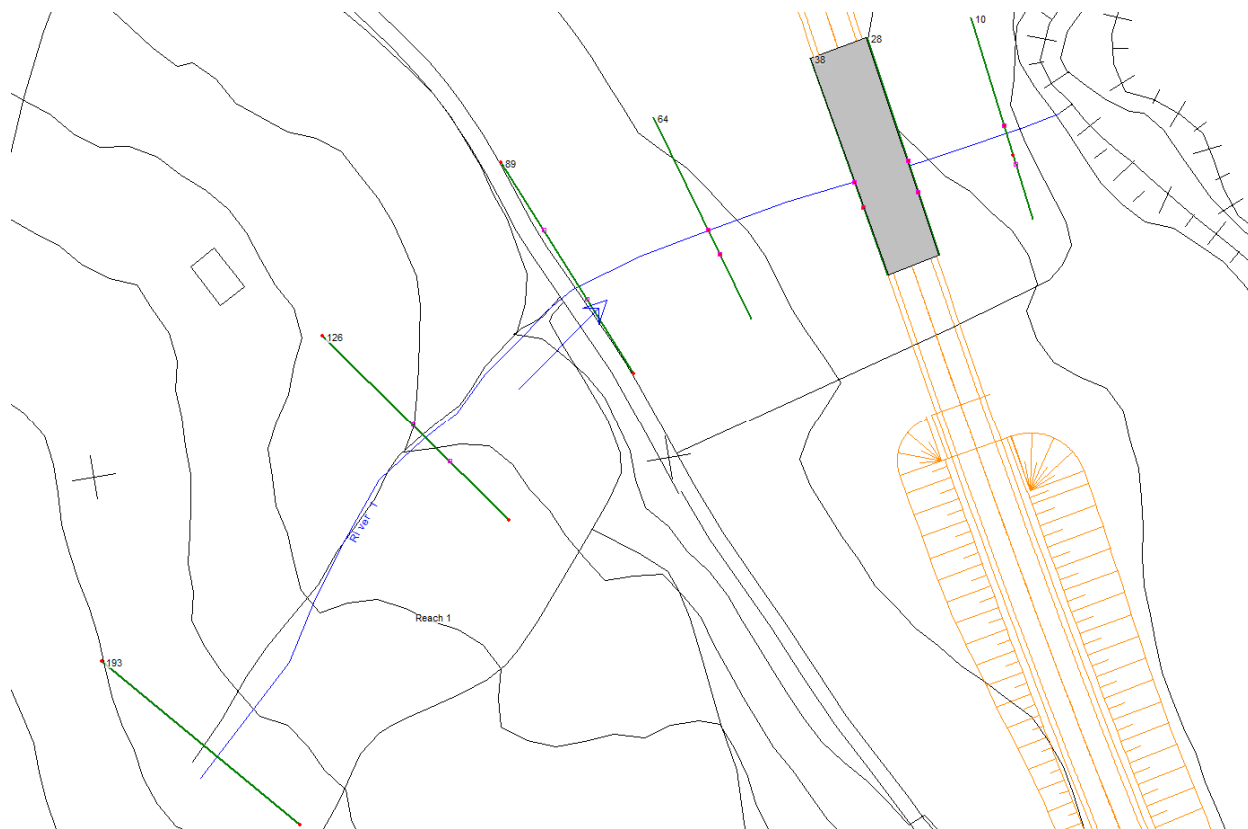


Figura 58: Planimetria sezioni hec ras

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 (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
Reach 1	193	PF 1	2.10	395.95	396.16	396.22	396.33	0.200048	1.83	1.15	9.27	1.66
Reach 1	126	PF 1	2.10	384.20	384.46	384.51	384.63	0.154713	1.83	1.15	7.61	1.51
Reach 1	89	PF 1	2.10	376.40	376.84	376.88	376.99	0.276404	1.74	1.21	13.18	1.84
Reach 1	64	PF 1	2.10	374.38	374.66	374.73	374.91	0.040681	2.21	0.95	3.83	1.42
Reach 1	38	PF 1	2.10	373.04	373.29	373.39	373.61	0.058462	2.49	0.84	3.75	1.68
Reach 1	30	Bridge										
Reach 1	28	PF 1	2.10	371.51	372.40	371.86	372.40	0.000082	0.20	16.95	27.83	0.07
Reach 1	10	PF 1	2.10	370.78	372.40	371.13	372.40	0.000004	0.07	47.89	36.45	0.02

Tabella 32: Risultati simulazione post operam

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

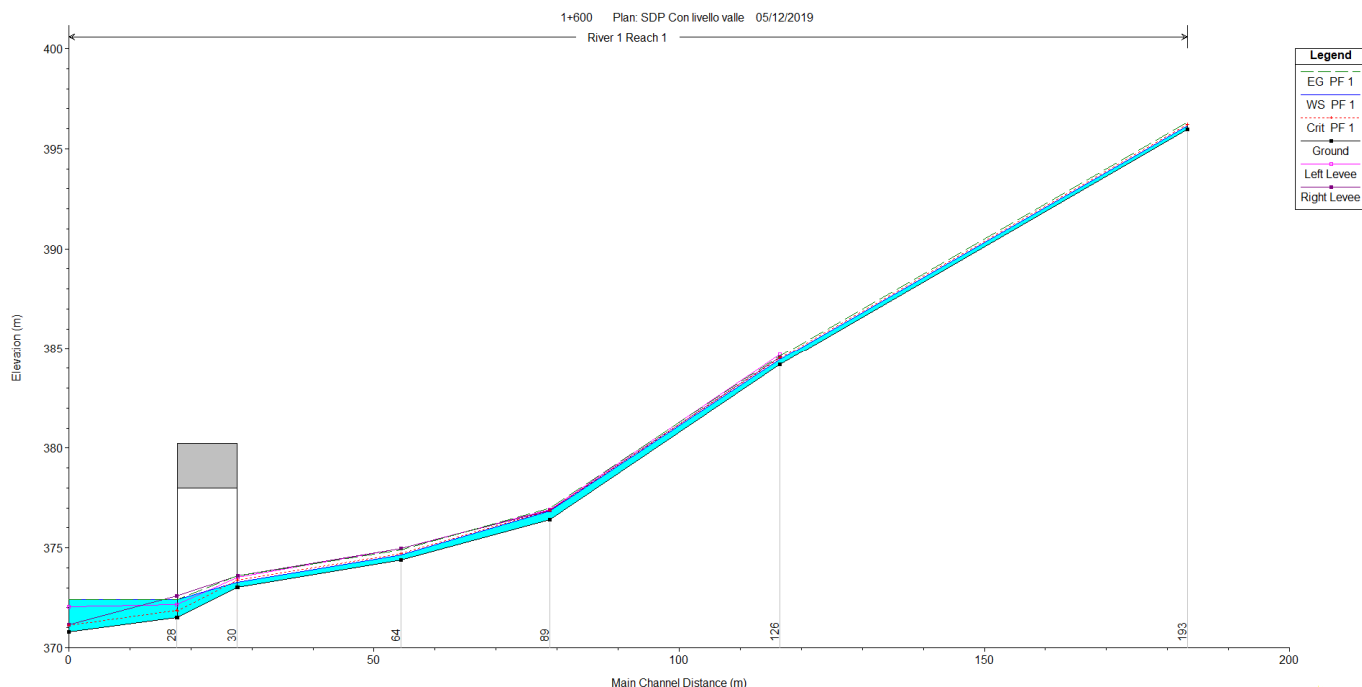


Figura 59: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Il viadotto stradale di progetto presenta un franco idraulico pari a 3.59 m ed un franco energetico pari a 3.49 m. La luce netta tra le pile del viadotto è circa 40m.

Nelle figure seguenti si riportano le sezioni in corrispondenza del viadotto.

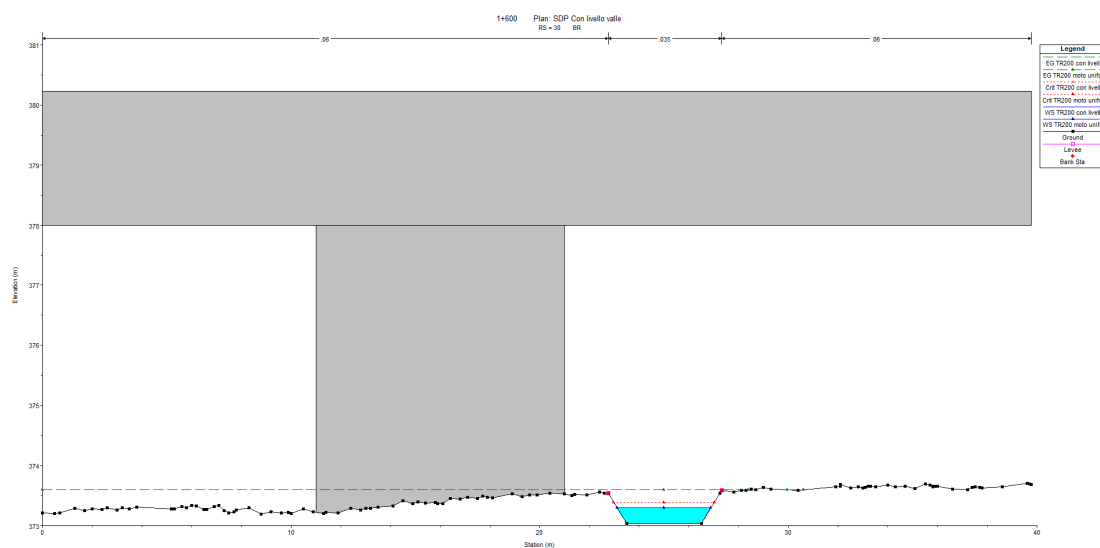


Figura 60: sezione a monte del viadotto di progetto

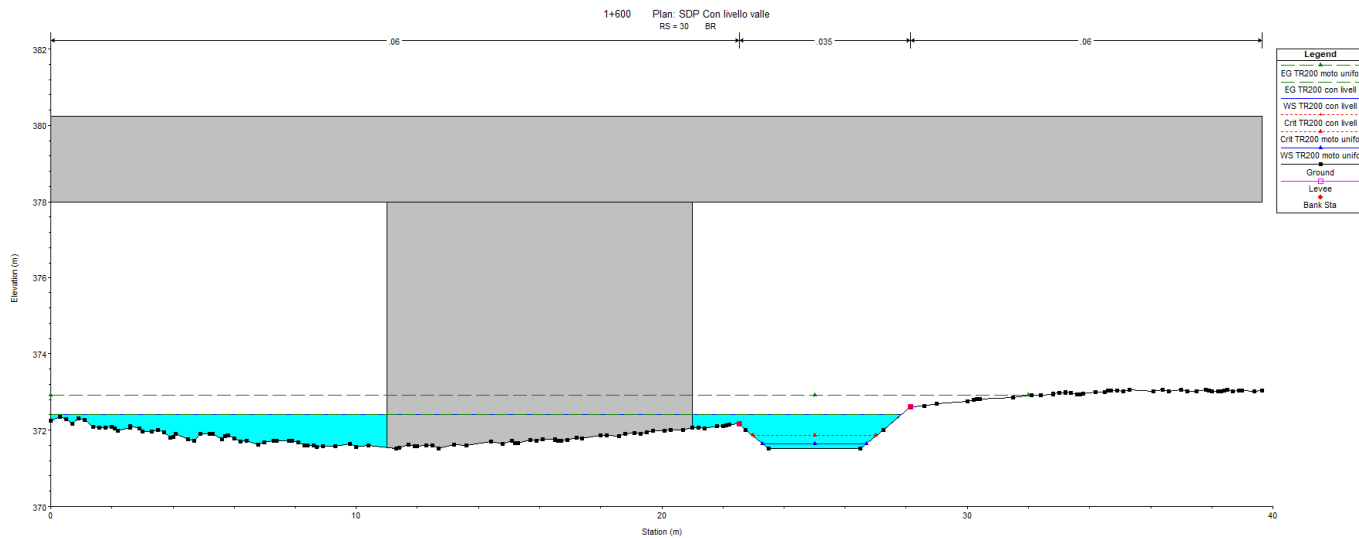


Figura 61: sezione a valle del viadotto di progetto

Il profilo è condizionato dal livello imposto come condizione al contorno corrispondente al livello del fiume principale per un evento con tempo di ritorno 30anni. Si prevede la protezione alle pile del viadotto in massi sciolti $d_{50}=0.30m$ e spessore $0.90m$ mentre la protezione della spalla invece è in materassi tipo Reno.

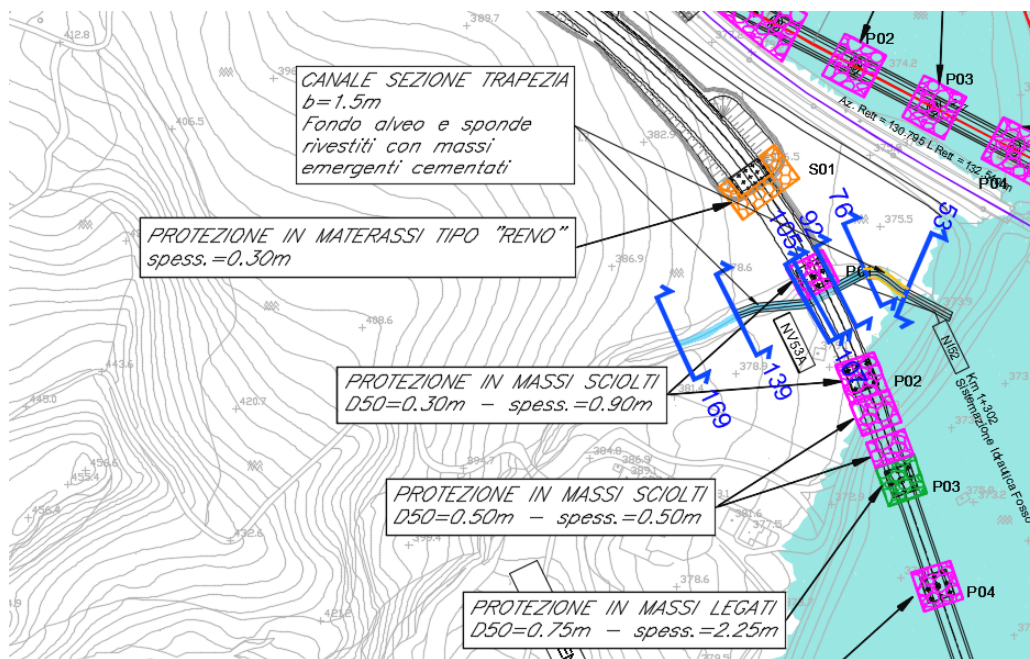


Figura 62: Protezioni di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.11.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia di base 3 m e pendenza delle sponde 3:2 dalla sezione 64 fino allo sbocco nel Belici. 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]
38	0.22	124	2.5	0.25

Tabella 33: 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 9.3, 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 0.8. 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]		
124	505	292	4.1	2.4

Tabella 34: Verifica della stabilità delle protezioni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

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.

5.12 Interferenza con NV 53A 1+900 (NI55-b Km 23+384)

Allo stato attuale non c'è un corso d'acqua ben definito. La viabilità di progetto NV53 A crea comunque una barriera al naturale deflusso delle acque. Per tale motivo è stato previsto un tombino di trasparenza di dimensioni 3X3 m in un punto di minimo del terreno. A valle è stata prevista la realizzazione di un alveo a sezione trapezia di base pari a 3m e pendenza delle sponde 3:2 integralmente rivestita in massi intasati con calcestruzzo fino al recapito nel fiume Belici.

La portata di calcolo, corrispondente ad un evento con tempo di ritorno duecentennale è pari a 1.7 m³/s per entrambi i corsi d'acqua.

Il livello nel fiume Belici per una piena con tempo di ritorno trentennale, calcolato mediante modello numerico bidimensionale, è pari a 371.64 m.s.m.. Tale livello è stato imposto come condizione al contorno di valle nella simulazione monodimensionale.

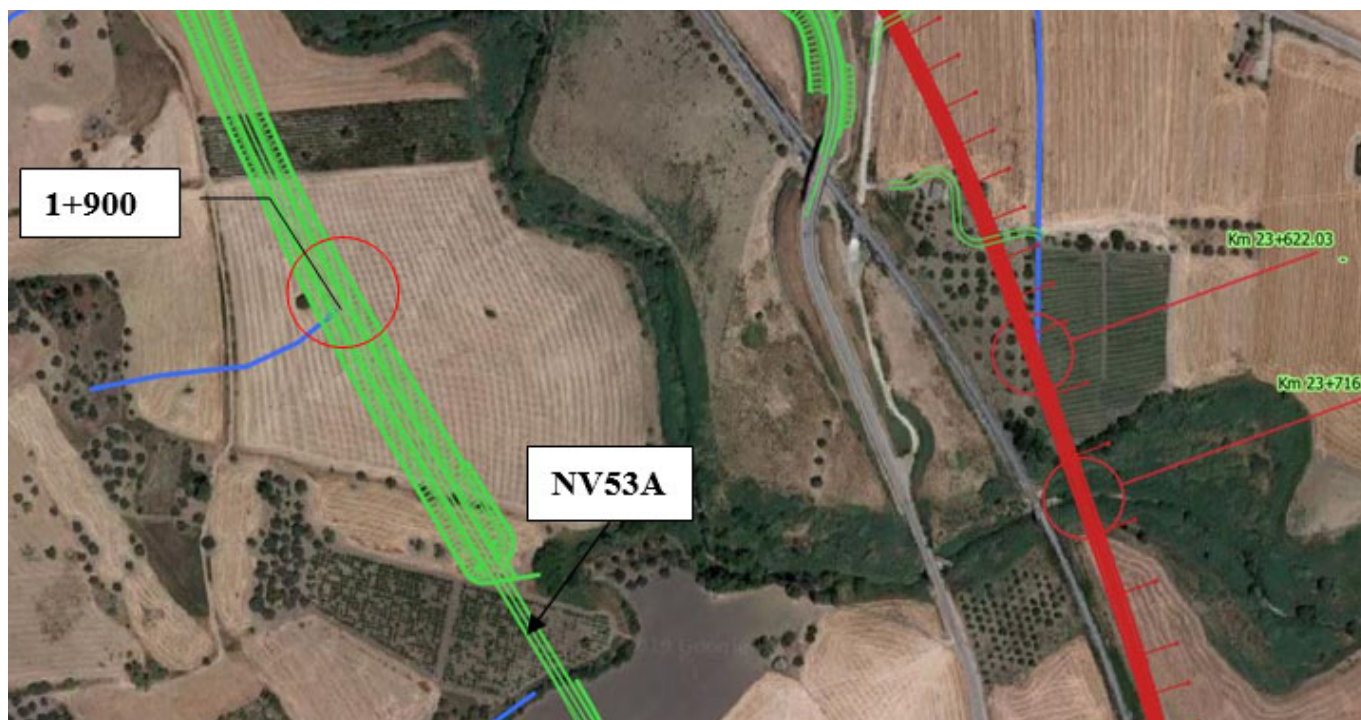


Figura 63: Inquadramento dell'opera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. –CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA E IDROLOGIA					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI – Lotto 3B	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. D

5.12.1 Risultati simulazione idraulica post operam TR 200 anni

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

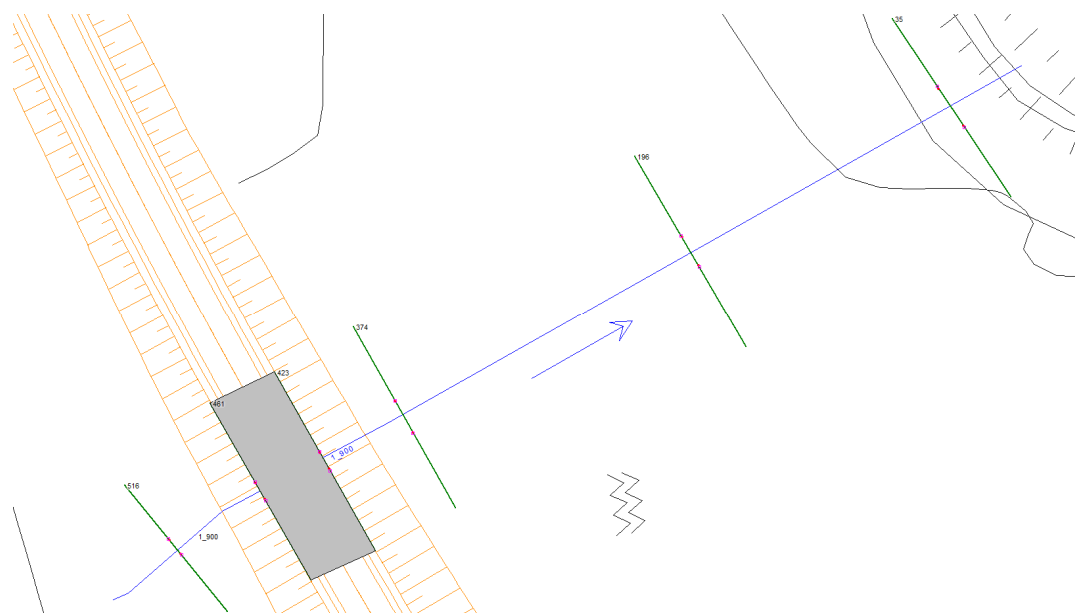


Figura 64: Planimetria sezioni hec ras

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 (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_900	516	PF 1	1.70	371.08	371.66	371.40	371.71	0.000711	0.99	1.72	3.00	0.42
1_900	461	PF 1	1.70	371.00	371.65	371.32	371.69	0.000479	0.86	1.97	3.00	0.34
1_900	460		Culvert									
1_900	423	PF 1	1.70	370.94	371.63	371.26	371.67	0.002219	0.82	2.08	3.00	0.31
1_900	374	PF 1	1.70	370.71	371.64	371.01	371.65	0.000382	0.42	4.09	5.79	0.16
1_900	196	PF 1	1.70	369.94	371.64	370.25	371.64	0.000006	0.09	35.83	36.32	0.02
1_900	35	PF 1	1.70	367.50	371.64	367.80	371.64	0.000000	0.03	101.02	35.09	0.00

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 come esso sia condizionato dal livello nel fiume Belici che comporta un rigurgito importante verso l'opera di progetto.

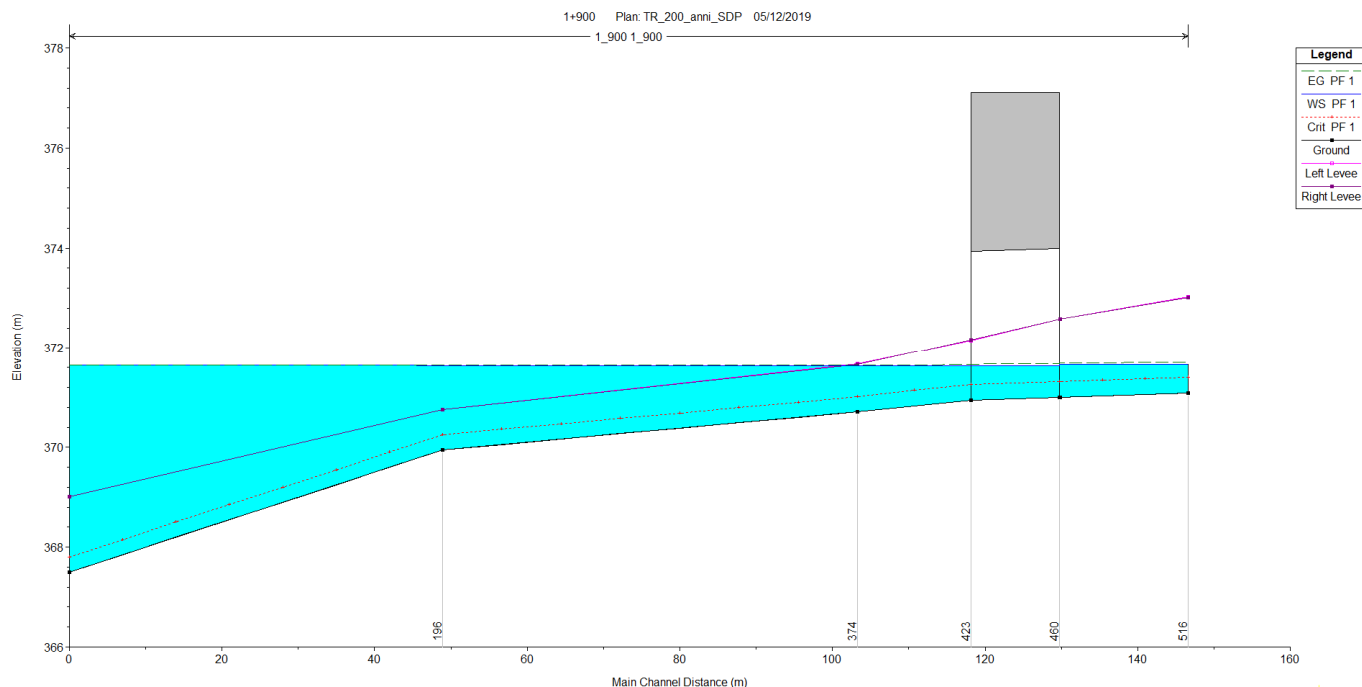


Figura 65: Profilo idrico post operam TR 200 anni

Il rilevato di progetto non è interessato dall' area di esondazione del Belici pertanto non è stata prevista una protezione del rilevato. Il grado di riempimento nel tombino ferroviario è pari al 22%.

Si riporta nella seguente immagine un estratto della planimetria di progetto nella quale sono state evidenziate le aree di esondazione.

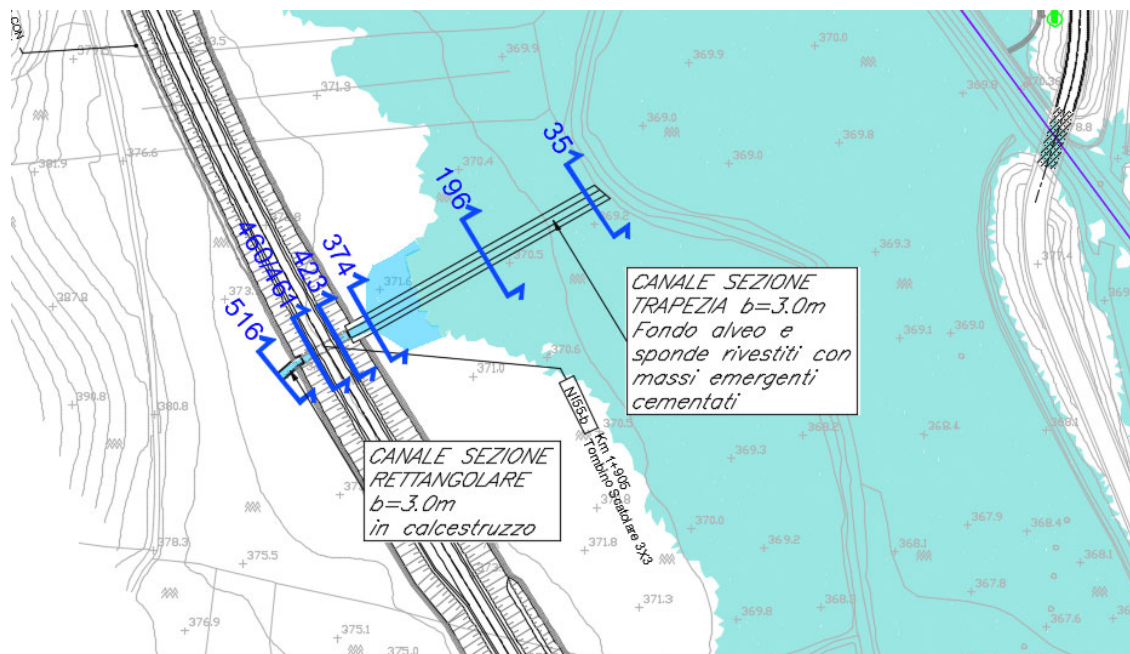


Figura 66: sezioni hec ras su planimetria di progetto

5.12.2 Sistemazione e protezioni dell'alveo

Il tombino è situato in area di esondazione del fiume Belici e il profilo idrico è fortemente rigurgitato anche con un livello del fiume pari ad un tempo di ritorno di 30 anni.

Le velocità sono molto basse e conseguentemente anche la tensione tangenziale al fondo.

È stata comunque prevista una protezione del fondo e delle sponde con massi intasati con calcestruzzo di diametro minimo superiore ai 30 cm al fine di stabilizzare l'alveo.

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]
35	0.2	98.65	2.2	0.21

Tabella 36: Dati verifica stabilità protezioni a monte opera