

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA – TRATTA DA KM 8+290 A KM 22+800 - OPERE MINORI

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 78 RI ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	PROGIN	Dicembre 2019	A. Tortora	Dicembre 2019	F. Sgaracino	Dicembre 2019	Dario Tiberti Dicembre 2019

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Tecnica
UO Infrastrutture Sud
Prof. Ing. Dario Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

INDICE

1	PREMESSA	7
1.1	ELENCO ELABORATI ANNESSI	7
2	INQUADRAMENTO GENERALE	10
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	10
2.2	INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA	10
3	CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA.....	16
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	16
3.2	MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	19
3.3	VERIFICHE A MOTO UNIFORME.....	19
4	DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE.....	20
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE	20
4.2	PORTATE DI PROGETTO	21
4.3	DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI SCABREZZA	22
4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO.....	24
5	VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE INTERMEDIE	25
5.1	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 8+985– OPERA FERROVIARIA IN19A	25
5.1.1	<i>Simulazione numerica ante operam</i>	25
5.1.2	<i>Simulazione numerica post operam</i>	32
5.1.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	36
5.2	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 15+005– OPERA FERROVIARIA IN30A	36
5.2.1	<i>Simulazione numerica ante operam</i>	36
5.2.2	<i>Simulazione numerica post operam</i>	40
5.2.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	44
5.3	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 15+428– OPERA FERROVIARIA IN31A	44
5.3.1	<i>Simulazione numerica ante operam</i>	44
5.3.2	<i>Simulazione numerica post operam</i>	48
5.3.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	51
5.4	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 15+917 – OPERA FERROVIARIA IN33A.....	51
5.4.1	<i>Simulazione numerica ante operam</i>	51
5.4.2	<i>Simulazione numerica post operam</i>	54
5.4.3	<i>Sistemazione e protezione</i>	57
5.5	CORSI D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 17+933 – OPERA FERROVIARIA IN37A	57
5.5.1	<i>Simulazione numerica post operam</i>	57
5.5.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	61
5.6	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 18+050 – OPERA FERROVIARIA IN38A.....	61
5.6.1	<i>Simulazione numerica post operam</i>	61
5.6.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	64
5.7	CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 18+770 – OPERA FERROVIARIA IN41A.....	64
5.7.1	<i>Simulazione numerica post operam</i>	64
5.7.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	68

5.8	CORSI D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 19+150, 19+279 E 19+425 – OPERE FERROVIARIE IN42A, IN43A E IN44A.....	68
5.8.1	<i>Simulazione numerica post operam</i>	69
5.8.2	<i>Sistemazione e protezione</i>	76
6	VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE MINORI	78
7	VERIFICHE IDRAULICHE CANALI	80
8	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI.....	83
8.1	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	83
	BIBLIOGRAFIA.....	84
	APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS	86
	APPENDICE B – SEZIONI HEC-RAS	98

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento linea ferroviaria su ortofoto.....	10
Figura 2 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 1.....	12
Figura 3 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 2.....	13
Figura 4 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 3.....	13
Figura 5 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 4.....	14
Figura 6 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 5.....	14
<i>Figura 7 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 6.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 7.....</i>	<i>15</i>
Figura 9 – Configurazione ante operam Pk 8+985.....	26
Figura 10 – Foto attraversamento ramo di valle nello stato di fatto.....	27
Figura 11 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo ovest”. Tr 200 anni.....	29
Figura 12 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo est”. Tr 200 anni.	30
Figura 13 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo valle”. Tr 200 anni.....	31
Figura 14 – Configurazione post operam Pk 8+985.....	32
Figura 15 – Profilo idraulico post operam Pk 8+985-“ramo valle”. Tr 200 anni.....	35
Figura 16 – Sezione tipo sistemazione Pk 8+985.....	36
Figura 17 – Configurazione ante operam Pk 15+005.....	36
Figura 18 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+005. Tr 200 anni.	39
Figura 19 – Configurazione post operam Pk 15+005.....	40
Figura 20 – Profilo idraulico post operam Pk 15+005. Tr 200 anni.	43
Figura 21 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+005.....	44
Figura 22 – Configurazione ante operam Pk 15+428.....	45
Figura 23 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+428. Tr 200 anni.....	47
Figura 24 – Configurazione post operam Pk 15+428.....	48
Figura 25 – Profilo idraulico post operam Pk 15+428. Tr 200 anni.	50
Figura 26 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+428.....	51
Figura 27 – Configurazione ante operam Pk 15+917.....	52
Figura 28 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+917. Tr 200 anni.....	53
Figura 29 – Configurazione post operam Pk 15+917.....	54
Figura 30 – Profilo idraulico post operam Pk 15+917. Tr 200 anni.....	56
Figura 31 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+917.....	57
Figura 32 – Configurazione post operam Pk 17+933 e 18+050.....	58
Figura 33 – Profilo idraulico post operam Pk 17+933. Tr 200 anni.....	60
Figura 34 – Sezione tipo sistemazione Pk 17+933.....	61
Figura 35 – Profilo idraulico post operam Pk 18+050. Tr 200 anni.....	63
Figura 36 – Sezione tipo sistemazione Pk 18+050.....	64

Figura 37 – Configurazione post operam Pk 18+770	65
Figura 38 – Profilo idraulico post operam Pk 18+770. Tr 200 anni.	67
Figura 39 – Sezione tipo sistemazione Pk 18+770.....	68
Figura 40 – Configurazione post operam Pk 19+150, Pk 19+279 e Pk 19+425	69
Figura 41 – Profilo idraulico post operam Pk 19+150. Tr 200 anni.	73
Figura 42 – Profilo idraulico post operam Pk 19+279. Tr 200 anni.	74
Figura 43 – Profilo idraulico post operam Pk 19+425. Tr 200 anni.	75
Figura 44 – Sezione tipo sistemazione Pk 19+150 e Pk 19+279	76
Figura 45 – Sezione tipo sistemazione Pk 19+425.....	77
Figura 46 – Schema profilo longitudinale tombino/ponticello.	78
Figura 47 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.	86
Figura 48 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.....	87
Figura 49 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.....	89
Figura 50 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale.....	90
Figura 51 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale	91
Figura 52 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	92
Figura 53 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd	93
Figura 54 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	93
Figura 55 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo	94
Figura 56 - Schema di un tombino ponticello	94
Figura 57 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello	95

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.....	11
Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento.....	18
Tabella 3 – Rilievi disponibili.....	20
Tabella 4 – Portate di progetto.....	21
Tabella 5 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959).....	23
Tabella 6 – Condizioni al contorno di valle. Livelli nel fiume Dittaino Tr200.....	24
Tabella 7 – Risultati ante operam Pk 8+985. Tr 200 anni.	27
Tabella 8 – Risultati post operam Pk 8+985. Tr 200 anni.....	33
Tabella 9 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 0+850. Tr 200 anni.....	34
Tabella 10 – Risultati ante operam Pk 15+005. Tr 200 anni.	37
Tabella 11 – Risultati post operam Pk 15+005. Tr 200 anni.....	41
Tabella 12 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 15+005. Tr 200 anni.....	41
Tabella 13 – Risultati ante operam Pk 15+428. Tr 200 anni.	45

Tabella 14 – Risultati post operam Pk 15+428. Tr 200 anni.....	49
Tabella 15 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+300. Tr 200 anni.....	49
Tabella 16 – Risultati ante operam Pk 15+917. Tr 200 anni.	52
Tabella 17 – Risultati post operam Pk 15+917. Tr 200 anni.....	55
Tabella 18 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 15+917. Tr 200 anni.....	57
Tabella 19 – Risultati post operam Pk 17+933. Tr 200 anni.....	59
Tabella 20 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 17+933. Tr 200 anni.....	61
Tabella 21 – Risultati post operam Pk 18+050. Tr 200 anni.....	62
Tabella 22 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 18+050. Tr 200 anni.....	62
Tabella 23 – Risultati post operam Pk 18+770. Tr 200 anni.....	66
Tabella 24 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 18+770. Tr 200 anni.....	68
Tabella 25 – Risultati post operam Pk 19+150. Tr 200 anni.....	71
Tabella 26 – Risultati post operam Pk 19+279. Tr 200 anni.....	71
Tabella 27 – Risultati post operam Pk 19+425. Tr 200 anni.....	71
Tabella 28 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 10+620. Tr 200 anni.....	76
Tabella 29 - Verifica opere minori.....	79

1 PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione definitiva della “Tratta da km 8+920 a km 22+800” nell’ambito del più ampio progetto della “Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo – Catania”.

La tratta della linea ferroviaria interessata dal presente studio si sviluppa per circa 15 km tra il comune di Ramacca e il comune di Catenanuova

La presente relazione descrive lo studio idraulico per la verifica delle opere di attraversamento dei corsi d’acqua maggiori, che verranno realizzate lungo la linea ferroviaria di progetto. I manufatti in oggetto sono in particolare i viadotti ferroviari; per la risoluzione di tali interferenze sono in alcuni casi da prevedersi l’adeguamento/nuova realizzazione di viadotti e tombini in corrispondenza della linea storica, e sua variante di Catenanuova, e delle viabilità complementari al progetto ferroviario. La scelta progettuale relativa al rifacimento di opere sotto la linea storica è limitata ai casi in cui il mantenimento dell’opera esistente comprometterebbe il funzionamento e il rispetto dei criteri progettuali dettati dalle norme dell’opera in progetto.

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

- suddivisione delle interferenze idrauliche con la linea ferroviaria di progetto in: maggiori, intermedie e minori, classificando come “maggiori” i corsi d’acqua caratterizzati da un bacino di estensione superiore a 10 km², “intermedi” i corsi d’acqua caratterizzati da un bacino di estensione inferiore a 10 km² e “minori” i corsi d’acqua caratterizzati da un bacino di estensione inferiore a 10 km² e privi di una evidente incisione sul territorio;
- verifica idraulica delle opere di attraversamento delle interferenze definite intermedie mediante simulazione idraulica su modello matematico monodimensionale in schema di moto permanente;
- verifica idraulica a moto uniforme delle opere di attraversamento delle interferenze definite minori;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere in accordo con le normative vigenti;
- individuazione dei rivestimenti delle sistemazioni dei corsi d’acqua di progetto;
- analisi di compatibilità idraulica.

1.1 Elenco elaborati annessi

Relazione Idrologica – tratta da km 8+920 a km 22+800	–	RS3E50D78RIID0001001C
Relazione idraulica – tratta da km 8+920 a km 22+800 – opere maggiori	–	RS3E50D78RIID0002001A
Relazione idraulica – tratta da km 8+920 a km 22+800 – opere minori	–	RS3E50D78RIID0002002A
Relazione Idraulica drenaggio di piattaforma – tratta da km 8+920 a km 22+800	–	RS3E50D78RIID0002003A
Corografia dei bacini – tratta da km 8+920 a km 22+800 1 di 3	1:25000	RS3E50D78C3ID0001001C
Corografia dei bacini – tratta da km 8+920 a km 22+800 2 di 3	1:10000	RS3E50D78C4ID0001001C
Corografia dei bacini – tratta da km 8+920 a km 22+800 3 di 3	1:10000	RS3E50D78C4ID0001002C
Planimetrie PAI 1 di 2 – tratta da km 8+920 a km 22+800	1:10000	RS3E50D78P4ID0002001B
Planimetrie PAI 2 di 2 – tratta da km 8+920 a km 22+800	1:10000	RS3E50D78P4ID0002002B

Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 8+985 – Tav. 1/2	varie	RS3E50D78BZID0002011A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 8+985 – Tav. 2/2	varie	RS3E50D78BZID0002012A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 15+005 – Tav. 1/2	varie	RS3E50D78BZID0002013A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 15+005 – Tav. 2/2	varie	RS3E50D78BZID0002014A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 15+428	varie	RS3E50D78BZID0002015A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni ante operam corso d'acqua alla progr. 15+917	varie	RS3E50D78BZID0002016A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 8+985	varie	RS3E50D78BZID0002017A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 15+005 – Tav. 1/2	varie	RS3E50D78BZID0002018A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 15+005 – Tav. 2/2	varie	RS3E50D78BZID0002019A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 15+428	varie	RS3E50D78BZID0002020A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 15+917	varie	RS3E50D78BZID0002021A
Opere minori – Pianta e profilo post operam corsi d'acqua alla progr. 17+933 e progr. 18+050	varie	RS3E50D78BZID0002022A
Opere minori – Sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 17+933	varie	RS3E50D78BZID0002023A
Opere minori – Sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 18+050	varie	RS3E50D78BZID0002024A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 18+770 – Tav.1/2	varie	RS3E50D78BZID0002025A
Opere minori – Pianta, profilo e sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 18+770 – Tav.2/2	varie	RS3E50D78BZID0002026A
Opere minori – Pianta post operam corsi d'acqua alla progr. 19+150 – 19+279 – 19+425	varie	RS3E50D78BZID0002027A
Opere minori – Profili post operam corsi d'acqua alla progr. 19+150 – 19+279 – 19+425	varie	RS3E50D78BZID0002028A
Opere minori – Sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 19+150	varie	RS3E50D78BZID0002029A
Opere minori – Sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 19+279	varie	RS3E50D78BZID0002030A
Opere minori – Sezioni post operam corso d'acqua alla progr. 19+425	varie	RS3E50D78BZID0002031A
Sistemazioni Idrauliche -Tipologici - Tav. 1/2	varie	RS3E50D78BZID0002034A
Sistemazioni Idrauliche - Tipologici - Tav. 2/2	varie	RS3E50D78BZID0002035A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 9+950 – 10+050	varie	RS3E50D78BZID0002036A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 13+520	varie	RS3E50D78BZID0002037A

Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 16+300	varie	RS3E50D78BZID0002038A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 12+600 – 12+350 e 16+650 – 17+450	varie	RS3E50D78BZID0002039A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 18+230	varie	RS3E50D78BZID0002040A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni deviazioni alla progr. 19+550 e 20+350 – 20+750	varie	RS3E50D78BZID0002041A
Opere d'arte minori – Pianta, profilo e sezioni opera alla progr. 22+570	varie	RS3E50D78BZID0002042A

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 Inquadramento generale dell'area

L'intervento progettuale in oggetto ricade all'interno del bacino del Fiume Dittaino, nel versante orientale dell'Isola, sviluppandosi principalmente nei territori delle province di Catania ed Enna.

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di: Enna, Assoro, Agira Ramacca, Agira, Regalbuto e Catenanuova.

La tratta ferroviaria di progetto si sviluppa fino a progressiva pk 11+700 circa in destra idrografica e successivamente in sinistra del medesimo corso d'acqua.

Le interferenze con la rete idrografica superficiale maggiore, oltre che con numerosi fossi e valloni minori, sono numerose. Degne di rilievo sono le interferenze con i diversi tributari del fiume Dittaino e, in particolare, il nuovo attraversamento dello stesso Fiume Dittaino.

In Figura 1 è rappresentato l'inquadramento geografico della linea ferroviaria di progetto; la linea indicata in rosso riguarda il lotto di intervento.



Figura 1 - Inquadramento linea ferroviaria su ortofoto.

2.2 Inquadramento manufatti di attraversamento della linea ferroviaria

Come anticipato in premessa, le interferenze dell'idrografia superficiale con la linea ferroviaria di progetto del Lotto 5B sono state suddivise in maggiori, intermedie e minori, classificando come "maggiori" i corsi d'acqua caratterizzati da un bacino di estensione superiore a 10 km², "intermedi" i corsi d'acqua caratterizzati da un bacino di estensione inferiore a 10 km² e "minori" i corsi d'acqua caratterizzati da un bacino di estensione inferiore a 10 km² e privi di una evidente incisione sul territorio.

Tale suddivisione è riportata in Tabella 1, nella quale sono indicate anche la progressiva dell'interferenza, il codice WBS, e la tipologia di opere in progetto previste per risolvere le criticità lungo la linea ferroviaria. In taluni casi queste ultime comprendono anche l'adeguamento e/o la nuova realizzazione di manufatti lungo la linea storica, o la viabilità complementare al progetto ferroviario

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.

Tipologia	ID	Pk	wbs	Opera ferroviaria	Opera stradale	Opera sotto linea storica/variante storica
Intermedia	19	8+985	IN19	Tombino IN19A		Tombino IN19C
Minore	20	9+150	IN20	Tombino IN20A		Tombino IN20C
Maggiore	21	9+600	VI10	Viadotto VI10		Viadotto VI22
Minore	22	9+950	VI11	Viadotto VI11		
Maggiore	23	11+413.74	VI12	Viadotto VI12		
Maggiore	24	12+338.83	VI12	Viadotto VI12		
Minore	25	12+600	IN25	Deviazione sopra Galleria - IN25		
Maggiore	26	13+300	VI13	Viadotto VI13		
Minore	27	13+520	IN27	Tombino IN27A		
Maggiore	28	13+650	VI14	Viadotto VI14		
Maggiore	29	14+340	VI15	Viadotto VI15		
Intermedia	31	15+005	IN30	Tombino IN30A	Tombino IN30B sotto NV12	Tombino IN30D
Intermedia	32	15+428	IN31	Tombino IN31A	Tombino IN31B sotto NV12	Tombino IN31D
Intermedia	34	15+917	IN33	Tombino IN33A	Tombino IN33B sotto NV12	
Minore	35	16+300	IN34	Tombino IN34A	Tombino IN34B sotto NV12	Tombino IN34D
Maggiore	36	16+650	VI16	Viadotto VI16		
Minore	37	16+650	IN36	Inalveazione sopra trincea - IN36		
Intermedia	38	17+933	IN37	Tombino IN37A	Tombino IN37B sotto NV15/Tombino IN37E	Tombino IN37D
Intermedia	39	18+050	IN38	Tombino IN38A	Tombino IN38B sotto NV15	Tombino IN38D
Minore	40	18+230	IN39	Tombino IN39A	Tombino IN39B sotto NV14 e IN39C sotto NV15	Tombino IN39E
Maggiore	41	18+550	VI17	Viadotto VI17	Viadotto IV05	Viadotto VI23
Intermedia	42	18+770	IN41	Tombino IN41A	Tombino IN41D sotto viabilità poderale	Tombino IN41C
Intermedia	44	19+150	IN42	Tombino IN42A	Tombino IN42B sotto NV16	Tombino IN42D
Intermedia	46	19+279	IN43	Tombino IN43A	Tombino IN43B sotto NV16	Tombino IN43D
Intermedia	48	19+425	IN44	Tombino IN44A	Tombino IN44B sotto viabilità esistente	
Minore		19+550	IN45	Deviazione sopra Galleria - IN45A		
Minore		20+350-20+750	IN46	Deviazione sopra Galleria - IN46A		
Maggiore	49	20+725	VI18	Viadotto VI18		Viadotto VI21
Maggiore	51	22+025	VI19	Viadotto VI19		

Maggiore	53	22+200	VI20	Viadotto VI20		
Minore	56	22+570	IN51	Tombino IN51A	Tombino IN51B sotto NV21	

La presente relazione ha per oggetto la verifica idraulica delle interferenze classificate come "intermedie" e "minori".

Nelle figure seguenti è riportato un inquadramento geografico su ortofoto di tali opere, evidenziate rispettivamente in colore arancione e verde.



Figura 2 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 1.



Figura 3 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 2.



Figura 4 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 3.



Figura 5 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 4.

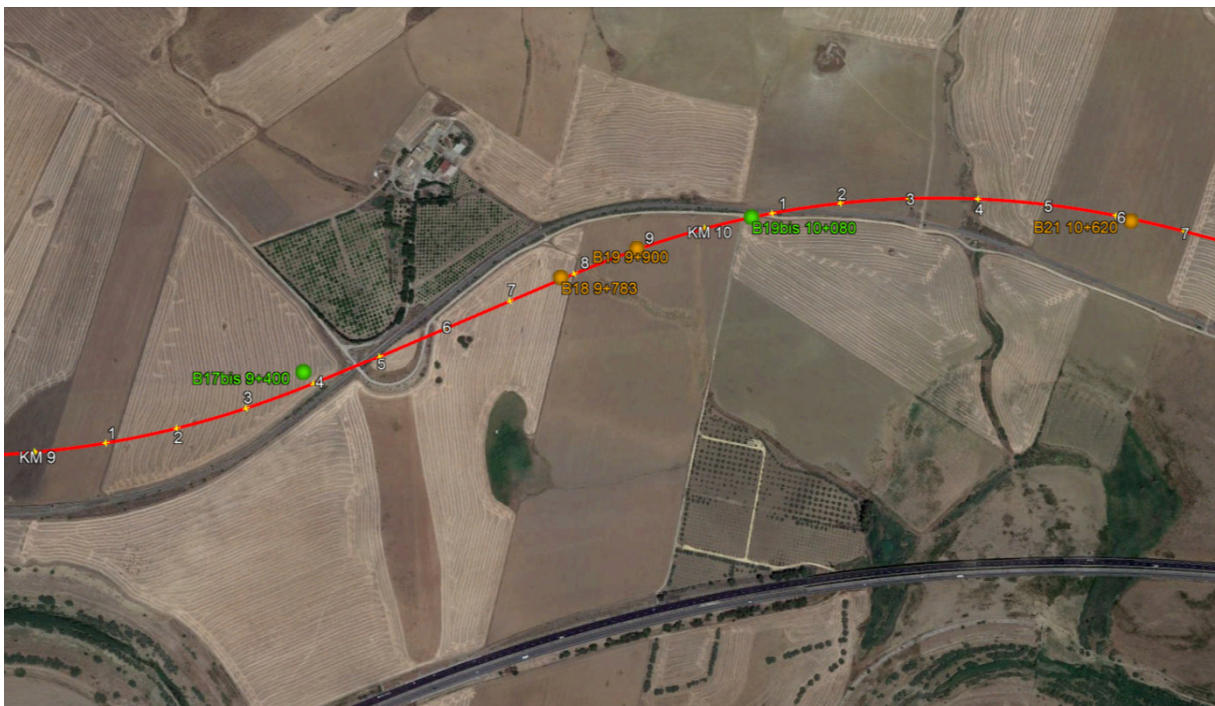


Figura 6 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 5.

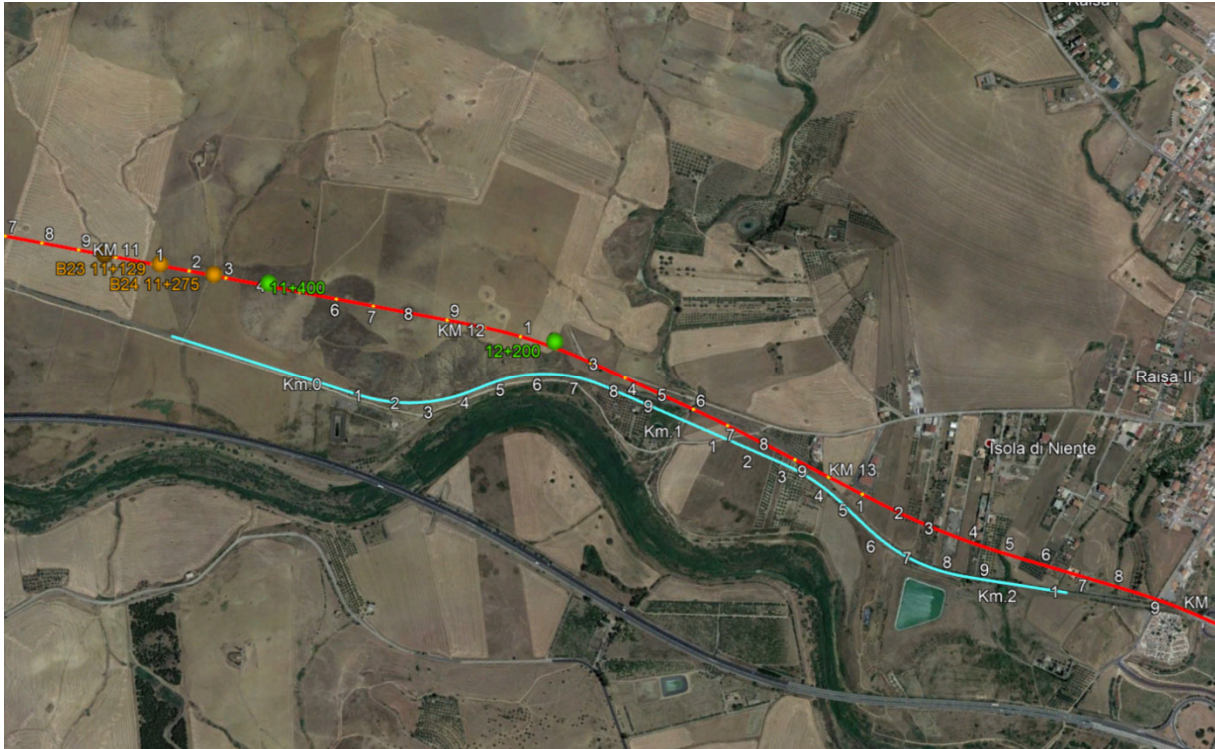


Figura 7 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 6.



Figura 8 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 7.

3 CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA

3.1 Normativa di riferimento

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

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

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

avendo indicato con S la superficie del bacino idrografico sotteso.

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

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

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

"Le tipologie ammesse sono:

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

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

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

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

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

Le opere devono, inoltre, rispondere a quanto previsto dalle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2008) e dalla relativa circolare applicativa del 2 febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008” (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Le NTC 2008 e la relativa Circolare Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 2 febbraio 2009, n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008” (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27) contengono le istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari interessanti corsi d'acqua naturali o artificiali, con particolare riferimento ai tempi di ritorno e ai franchi idraulici da adottare per le verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, al § 5.2.1.2 delle NTC 2008 “Compatibilità idraulica” si prescrive che:

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 della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all'importanza del problema.

Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, 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 dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto riferita ad un periodo di ritorno non inferiore a 200 anni.

Il franco di sottotrave e la distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave dovranno essere assunte tenendo conto del trasporto solido di fondo e del trasporto di materiale galleggiante.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Al § C5.1.2.4 della Circolare applicativa si prescrive inoltre:

Le questioni idrauliche, da trattare con ampiezza e grado di approfondimento commisurati alla natura dei problemi ed al grado di elaborazione del progetto, devono essere oggetto di apposita relazione idraulica, che farà parte integrante del progetto stesso.

....

La quota idrometrica ed il franco devono essere posti in correlazione con la piena di progetto anche in considerazione della tipologia dell'opera e delle situazioni ambientali.

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

....

A titolo di indicazione, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50÷2,00 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto, con l'avvertenza di prevedere valori maggiori per ponti con luci inferiori a 40 m o per ponti posti su torrenti esposti a sovralti d'alveo per deposito di materiali lapidei provenienti da monte o dai versanti.

....

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco previsto deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.

....

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

Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e circolare applicativa NTC2008
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.	<p>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.</p>	<p>Franco minimo tra intradosso opera e L.I. pari a 1,50÷2,00 m</p>
Dislivello tra fondo e sottotrave	-	<p>Non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto</p>
Posizione spalle	<p>Posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena.</p>	<p>Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali.</p>
Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)	<p>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</p>	-

Nel caso di interferenze idrauliche caratterizzate da problematiche di trasporto solido, i tombini sono stati dimensionati è stato assunto un grado di riempimento massimo ammissibile pari a 1/3 della sezione totale.

Tali situazioni sono contraddistinte dal simbolo (*) nell'elenco di Tabella 1 e verranno evidenziate caso per caso nella trattazione delle specifiche interferenze.

3.2 Modello matematico utilizzato

Lo studio idraulico dei corsi d'acqua minori classificati come interferenze "intermedie", nello stato di fatto e nello stato di progetto, è stato effettuato mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico (HEC-RAS) monodimensionale a moto permanente.

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

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

Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

3.3 Verifiche a moto uniforme

Per i corsi d'acqua minori privi di una evidente incisione a monte e a valle del manufatto ferroviario, le verifiche idrauliche sono state condotte in condizioni di moto uniforme, applicando la relazione di Gauckler – Strickler:

$$Q = K_s R_H^{2/3} A \sqrt{i}$$

dove:

Q portata;

A sezione liquida;

K_s coefficiente di Gauckler - Strickler;

R_H raggio idraulico;

i pendenza longitudinale.

Fissati il coefficiente di scabrezza K_s , la pendenza longitudinale i e la geometria del manufatto, si è in grado, con la formula precedente, di determinare l'altezza d'acqua che dà luogo ad una portata Q pari a quella massima di progetto da utilizzare nelle verifiche.

4 DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE

4.1 Caratteristiche geometriche

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

- rilievo LiDAR Italferr (risoluzione 5 punti mq) ;
- rilievo LiDAR del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM);
- sezioni di rilievo trasversali dei corsi d'acqua;
- rilievi celerimetrici;
- prospetti delle opere di scavalco esistenti;
- documentazione fotografica.

In Tabella 3 sono riassunti i rilievi disponibili per ciascuna interferenza considerata nella presente relazione.

Tabella 3 – Rilievi disponibili

ID	PK	WBS	Lidar Italferr	Lidar Ministero	Celerimetric i Sezioni Ante 2018	Celerimetric i Sezioni 2018	Rilievo opere esistenti	Celerimetric o Area Viadotto-Imbocco galleria
19	8+985	IN19	X				X	
20	9+150	IN20	X				X	
22	9+950	IN22	X				X	X
25	12+600	IN25	X					X
27	13+520	IN27	X					
31	15+005	IN30	X				X	
32	15+428	IN31	X		X		X	
34	15+917	IN33	X				X	
35	16+300	IN34	X				X	
37	16+650	IN36	X					
38	17+933	IN37	X	X				
39	18+050	IN38	X	X				
40	18+230	IN39	X					
42	18+770	IN41	X	X			X	
44	19+150	IN42	X	X			X	
46	19+279	IN43	X	X			X	
48	19+425	IN44	X	X			X	X
	19+550	IN45	X	X				X
	20+350-20+750	IN46	X	X				X
56	22+570	IN51	X	X			X	

4.2 Portate di progetto

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto (RS3E50D78RIID0001001C). In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2008 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200.

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

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

Nello studio idrologico le portate di calcolo sono state ottenute dall'applicazione del metodo razionale a partire da altezze di pioggia calcolate con due metodologie diverse (VAPI e Gumbel). Nelle verifiche idrauliche è stata considerata come portata di calcolo per ogni corso d'acqua quella massima tra quelle ottenute applicando le due metodologie.

In Tabella 4 sono riportati i valori delle portate di progetto ottenuti dalle analisi idrologiche.

Tabella 4 – Portate di progetto.

ID	Pk	Sottobacini	S bacino [km ²]	Opera ferroviaria di progetto	Qprogetto Tr =200 anni [m ³ /s]
19	8+985	19	0.48	Tombino IN19A	10.13
20	9+150	20	0.12	Tombino IN20A	4.25
22	9+950	22	0.16	Viadotto VI11	6.02
25	12+600	25	0.11	Deviazione sopra Galleria – IN25A	4.07
27	13+520	27	0.09	Tombino IN27A	3.58
31	15+005	31	0.45	Tombino IN30A	8.51
32	15+428	32	1.72	Tombino IN31A	15.85
34	15+917	34	0.62	Tombino IN33A	9.94
35	16+300	35	0.20	Tombino IN34A	5.85
37	16+650	37	0.32	Inalveazione sopra trincea – IN36A	6.08
38	17+933	38	0.55	Tombino IN37A	7.88
39	18+050	39	0.16	Tombino IN38A	3.63
40	18+230	40	0.07	Tombino IN39A	3.15
42	18+770	42	0.12	Tombino IN41A	2.96
43	18+770	42+43	0.15	Tombino IN41C variante Catenanuova Tombino IN41D sotto NV14	3.26
44	19+150	44	0.69	Tombino IN42A	9.45
46	19+279	46	0.22	Tombino IN43A	5.22
47	19+279	44+45+46+47+48	1.51	Tombino IN44B sotto viabilità esistente	17.98
48	19+425	48	0.54	Tombino IN44A	10.93
	19+550	di pertinenza del 48	0.03	Deviazione sopra galleria – IN45A	1.88

ID	Pk	Sottobacini	S bacino [km ²]	Opera ferroviaria di progetto	Qprogetto Tr =200 anni [m ³ /s]
	20+350-20+750	di pertinenza del 49	0.05	Deviazione sopra galleria – IN46A	2.50
56	22+570	56	0.06	Tombino IN51A	2.93

In bacini in esame presentano estensione < 10 km²; l'evento di piena di riferimento è, dunque, quello caratterizzato da Tr 200 anni.

4.3 Definizione dei coefficienti di scabrezza

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

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

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

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

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

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

Pertanto, i coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono nello stato di fatto (ante operam):

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

Nella modellazione dello stato di progetto, invece, (post operam) in corrispondenza di rilevanti sistemazioni dei corsi d'acqua sono stati assunti i seguenti coefficienti di Manning:

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

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

A.	CORSI D'ACQUA NATURALI			
	<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>			
1.	Corsi d'acqua di pianura			
a.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030	0.033
b.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035	0.040
c.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040	0.045
d.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045	0.050
e.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.040	0.048	0.055
f.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060
g.	Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080
h.	Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150
2.	Aree golenali			
a.	A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050
b.	Aree coltivate	0.020	0.035	0.050
c.	Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160
d.	Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120
3.	Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene			
a.	Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050
b.	Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070
B.	CANALI ARTIFICIALI			
1.	Canali in terra lisciata ed uniforme			
a.	Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020
b.	Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025
c.	Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030
d.	Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033
2.	Canali in terra con ondulazioni o irregolari			
a.	Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030
b.	Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033
c.	Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040
d.	Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035
e.	Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040
f.	Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050
3.	Canali scavati o dragati			
a.	Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033
b.	Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060
4.	Canali in roccia			
a.	Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040
b.	Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040	0.050
5.	Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli			
a.	Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080
b.	Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110
c.	Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120
d.	Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140

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

4.4 Condizioni al contorno

Per i corsi d'acqua che confluiscono nel fiume Dittaino poco a valle della linea ferroviaria di progetto, al fine di operare in sicurezza, per la verifica dei manufatti con modello idraulico monodimensionale a moto permanente è stata assunta la contemporaneità di eventi con i medesimi tempi di ritorno nel singolo corso d'acqua e nel fiume principale.

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

In altri casi è stata imposta una condizione di moto uniforme.

È da precisare che, essendo le superfici dei bacini degli affluenti completamente diverse da quelle del bacino maggiore, lo saranno anche i tempi di formazione delle piene. Non è quindi da escludere che l'evento di progetto dei tributari del Dittaino possa realizzarsi con bassi livelli nel fiume principale. In tal caso i livelli e le velocità che si realizzano effettivamente potrebbero essere diversi da quelli ottenuti considerando il profilo rigurgitato.

La Tabella 6 riporta i livelli, estrapolati dai risultati del modello bidimensionale, imposti nella sezione di valle per i corsi d'acqua che confluiscono nel fiume Dittaino poco a valle della ferrovia.

Tabella 6 – Condizioni al contorno di valle. Livelli nel fiume Dittaino Tr200.

ID	Pk	Livello Idrico TR 200 [m s.m.m.]
19,20	8+985	200.9
31,32	15+005,15+428	164.1
34	15+917	161.8
47	19+279	143.6

5 VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE INTERMEDIE

5.1 Corso d'acqua alla progressiva 8+985– Opera ferroviaria IN19A

5.1.1 Simulazione numerica ante operam

In Figura 9 è riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione ante operam, che risulta caratterizzato da due rami, i quali confluiscono in un unico tronco circa 70 m a monte dell'attraversamento della linea storica.

Il corso d'acqua presenta tre manufatti costituiti da due tombini ed un ponticello: i due tombini attraversano la strada esistente e sono posti sui due rami del corso d'acqua denominati "ramo ovest" e "ramo est", mentre il terzo attraversamento (Figura 10) passa sotto la linea ferroviaria storica (sul tratto denominato "ramo valle"). Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 23
- *N. manufatti* 3
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino esistente sotto la strada-ramo ovest*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 0.8x3.0 m
 - Lunghezza 9.8 m
 - Tombino esistente sotto la strada-ramo est*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 0.6x2.5 m
 - Lunghezza 10.0 m
 - Attraversamento esistente sotto linea storica*
 - Tipologia ponticello
 - Luce 4.35 m
 - Quota intradosso 203.93 m s.m.m.
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica-ramo ovest 5.06 m³/s (Tr200)
 - Portata di verifica-ramo est 5.07 m³/s (Tr200)
 - Portata di verifica-ramo valle 10.13 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte-ramo ovest altezza moto uniforme
 - Condizione monte-ramo ovest altezza moto uniforme
 - Condizione valle-ramo valle livello Dittaino Tr200: 200.9 m s.m.m.
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

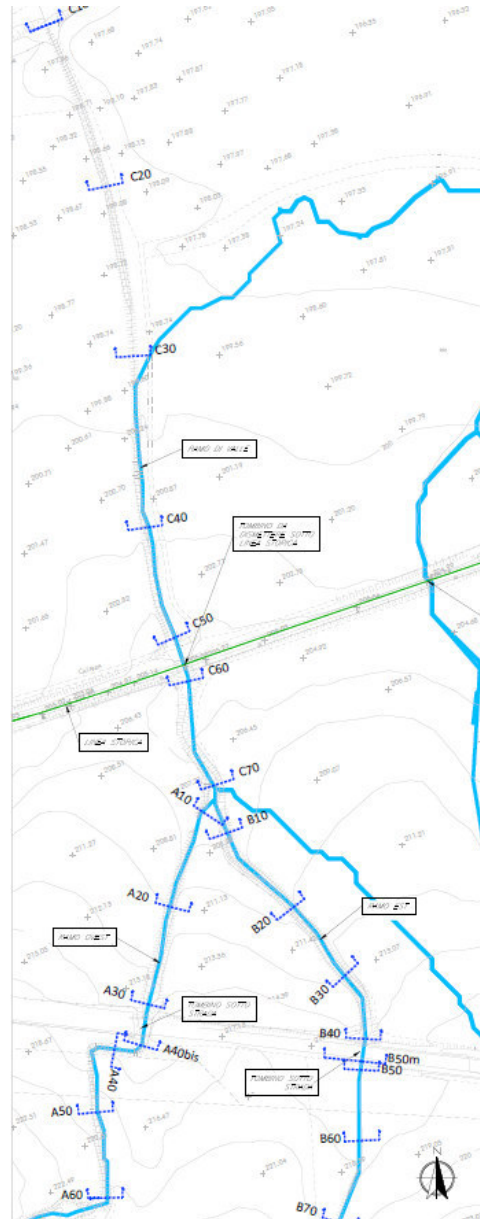


Figura 9 – Configurazione ante operam Pk 8+985.



Figura 10 – Foto attraversamento ramo di valle nello stato di fatto.

Risultati

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

Tabella 7 – Risultati ante operam Pk 8+985. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
A60	5.06	219.14	220.08	220.09	220.37	2.38	1.03
A50	5.06	217.48	218.48	218.51	218.80	2.51	1.06
A40	5.06	215.47	216.35	216.46	216.74	2.76	1.33
monte tombino	5.06	213.59	216.38	214.77	216.39	0.28	0.06
A30	5.06	212.27	213.08	213.08	213.26	2.06	0.80
A20	5.06	209.02	209.65	209.99	210.85	4.86	2.51
A10	5.06	206.29	207.34	207.19	207.48	1.71	0.68
B70	5.07	219.79	220.51	220.57	220.73	2.22	1.05
B60	5.07	218.38	218.67	218.71	218.82	1.70	1.20
B50	5.07	215.45	218.06	217.26	218.06	0.28	0.08
B50 monte opera	5.07	215.48	218.06	216.43	218.06	0.23	0.05
B50 valle opera	5.07	214.39	215.39	215.39	215.68	2.39	1.00
B40	5.07	214.07	214.76	215.00	215.49	3.81	1.77
B30	5.07	210.23	211.15	211.37	211.84	3.68	1.64
B20	5.07	208.11	209.02	209.03	209.33	2.46	1.02
B10	5.07	206.01	207.34	206.81	207.39	1.03	0.32

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
C70	10.13	205.70	206.88	206.88	207.28	2.81	0.99
C60	10.13	203.50	205.28	204.91	205.35	1.31	0.35
C50	10.13	203.34	204.06	204.10	204.33	2.47	0.97
C40	10.13	201.44	202.00	202.09	202.31	2.66	1.28
C30	10.13	199.62	200.90	200.06	200.91	0.37	0.11
C20	10.13	198.46	200.90	198.96	200.90	0.24	0.05
C10	10.13	196.34	200.90	197.39	200.90	0.14	0.02

In Figura 11, Figura 12 e Figura 13 sono riportati i profili idrici di calcolo.

Il manufatto in corrispondenza della linea storica risulta idraulicamente insufficiente e si assiste sormonto della linea ferroviaria.

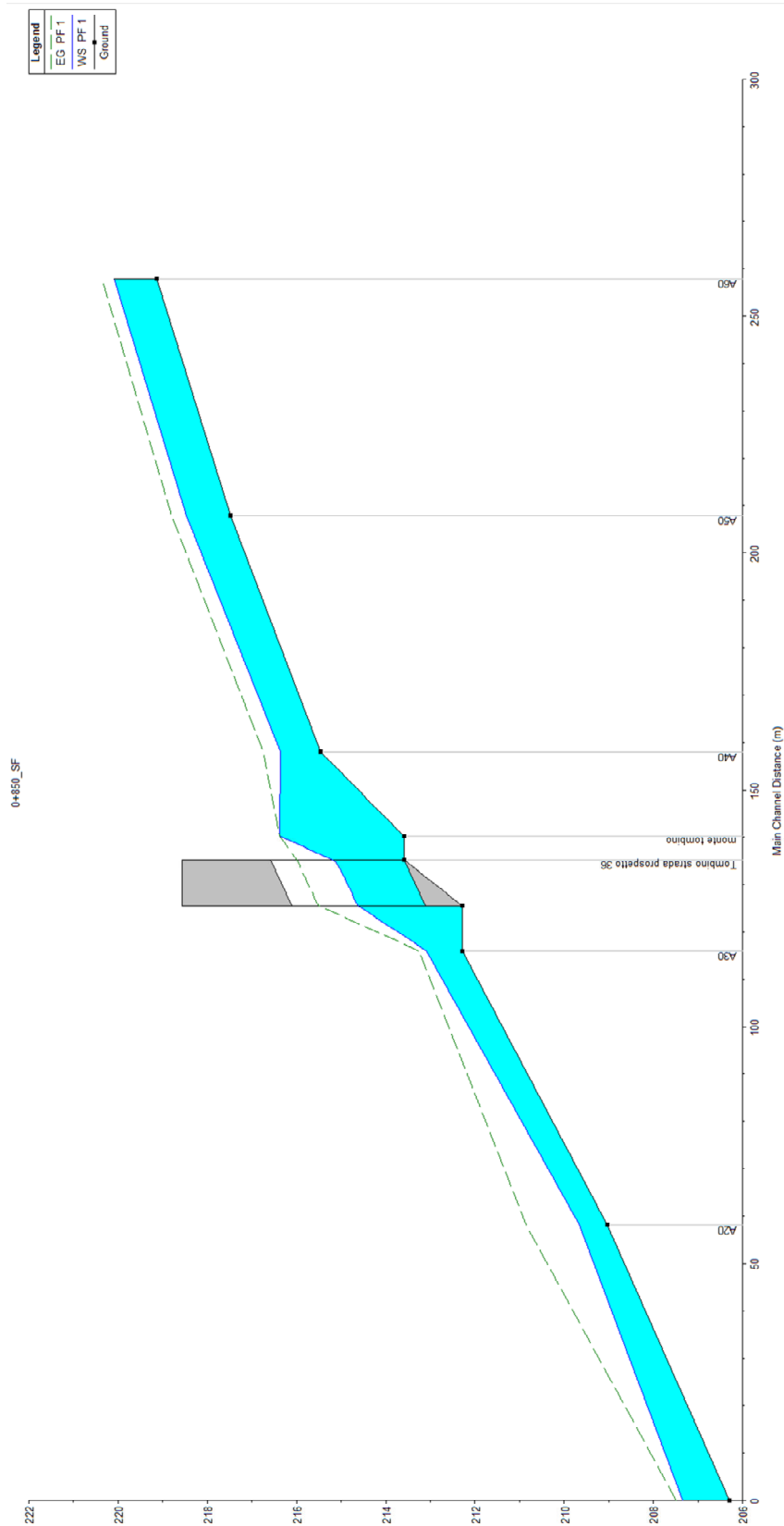


Figura 11 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo ovest”. Tr 200 anni.

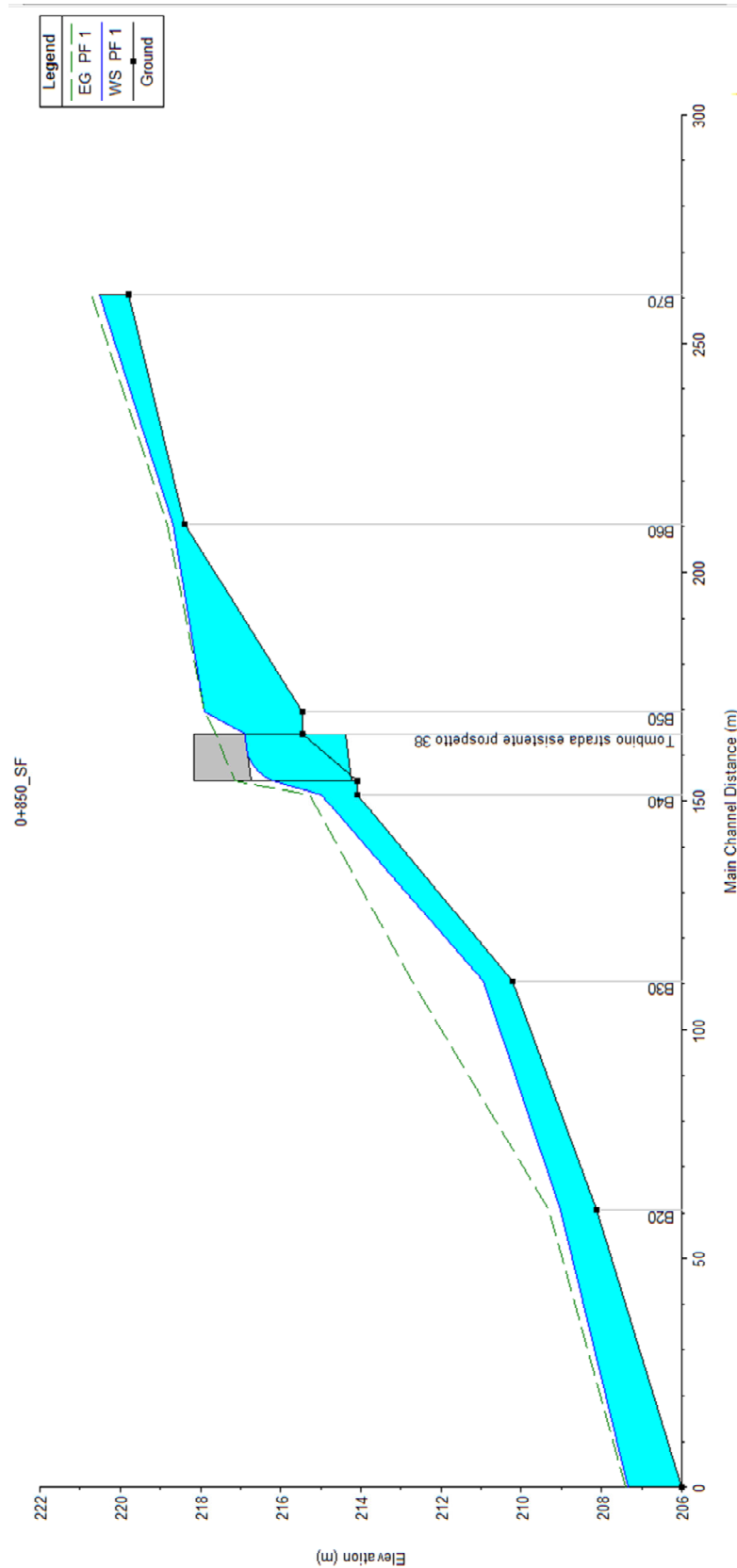


Figura 12 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo est”. Tr 200 anni.

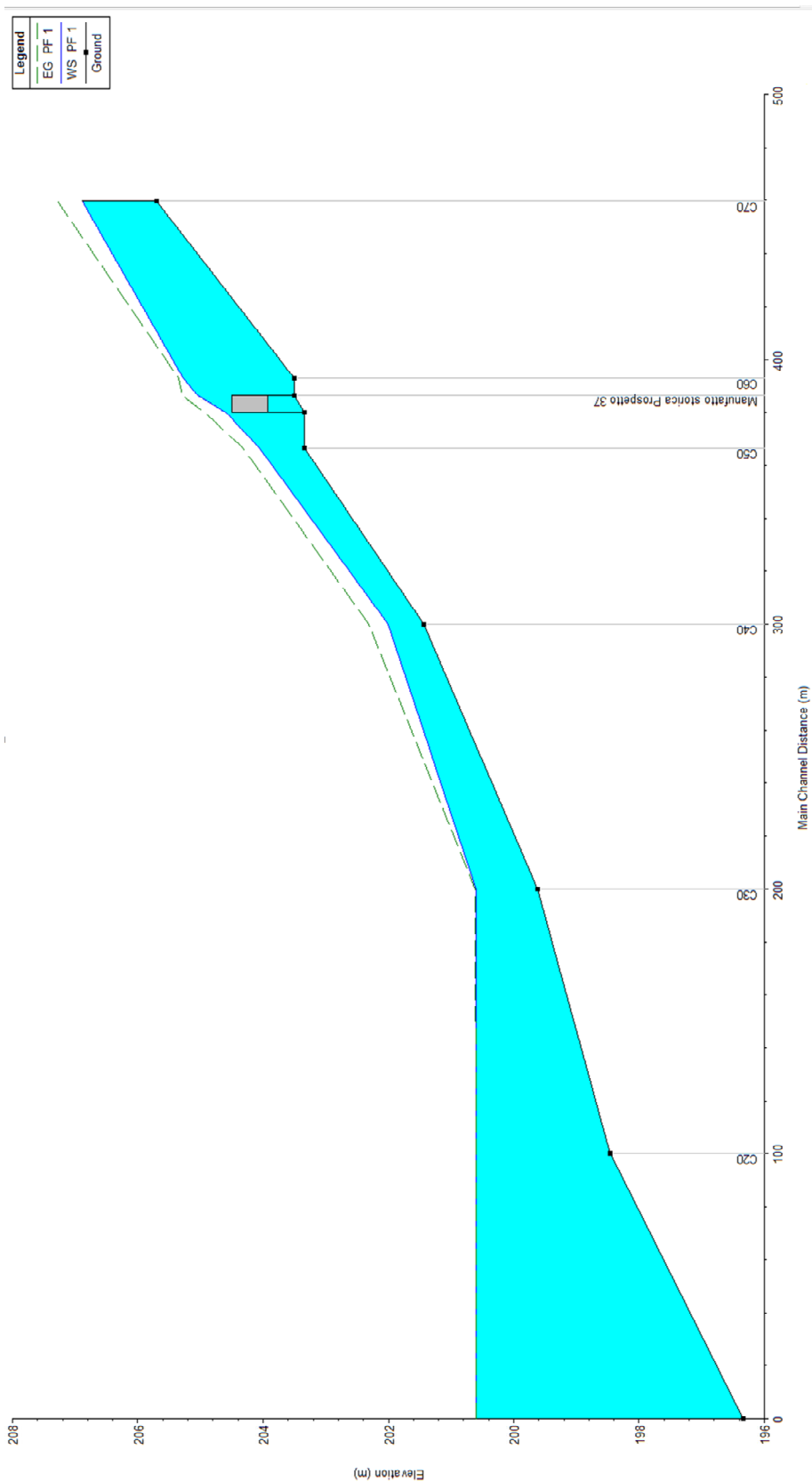


Figura 13 – Profilo idraulico ante operam Pk 8+985-“ramo valle”. Tr 200 anni.

5.1.2 Simulazione numerica post operam

In Figura 14 è rappresentata la configurazione di progetto, che ha per oggetto il solo ramo di valle.

Poiché il manufatto in corrispondenza della linea storica risulta idraulicamente insufficiente ed i livelli che si determinano a monte, dove è prevista la realizzazione della linea ferroviaria di progetto, condizionano il funzionamento idraulico delle opere di progetto in corrispondenza di quest'ultima, è prevista la costruzione di un nuovo tombino, che attraversi sia la ferrovia di progetto che quella esistente.

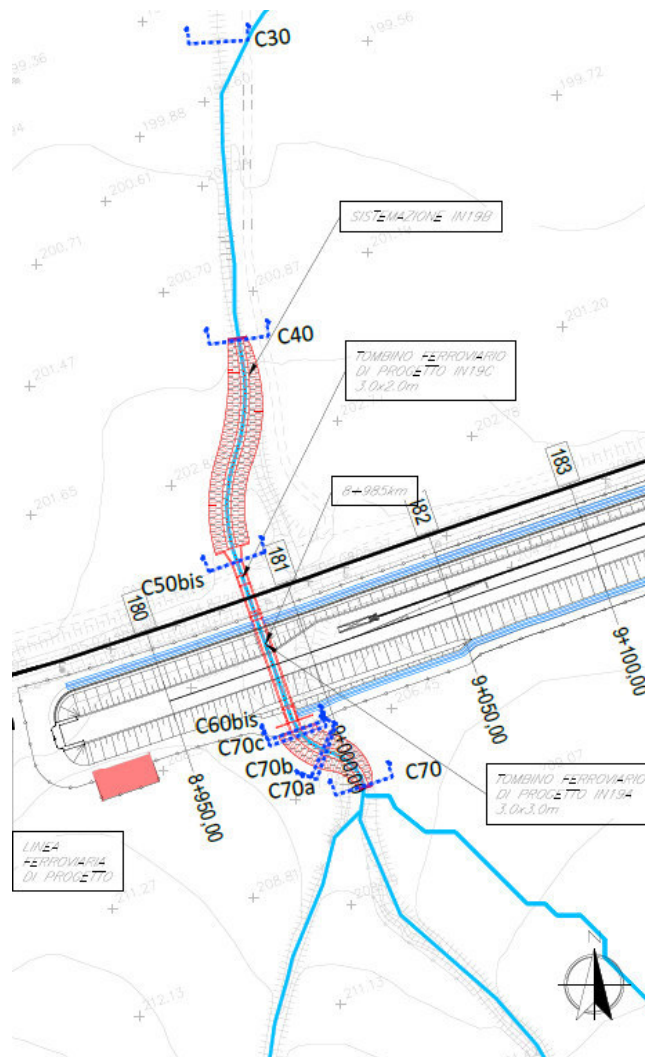


Figura 14 – Configurazione post operam Pk 8+985.

Dati principali per la verifica

Il manufatto di progetto sotto le due linee ferroviarie presenta due tratti caratterizzati da modalità realizzative e altezze diverse (3.0 m sotto la ferrovia di progetto e 2.0 m sotto la linea storica). I due tratti sono stati modellati come un unico tombino di altezza pari, cautelativamente, a quella del minore dei due (quello sotto la linea storica). Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 24
- *N. manufatti* 3
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino esistente sotto la strada-ramo ovest*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 0.8x3.0 m
 - Lunghezza 9.8 m
 - Tombino esistente sotto la strada-ramo est*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 0.6x2.5 m
 - Lunghezza 10.0 m
 - Tombino di progetto IN19A+IN19C*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 2.0X2.0 m
 - Lunghezza 59 m
- I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.*
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica-ramo ovest 5.06 m³/s (Tr200)
 - Portata di verifica-ramo est 5.07 m³/s (Tr200)
 - Portata di verifica-ramo valle 10.13 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte-ramo ovest altezza moto uniforme
 - Condizione monte-ramo ovest altezza moto uniforme
 - Condizione valle-ramo valle livello Dittaino Tr200: 200.9 m s.m.m.
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Alveo inciso di progetto $n=0.030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 8 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 8 – Risultati post operam Pk 8+985. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
A60	5.06	219.14	220.08	220.09	220.37	2.38	1.03
A50	5.06	217.48	218.49	218.50	218.80	2.47	1.04
A40	5.06	215.47	216.38	216.45	216.72	2.58	1.22
monte tombino	5.06	213.59	216.38	214.77	216.39	0.28	0.06
A30	5.06	212.27	213.08	213.08	213.26	2.07	0.80
A20	5.06	209.02	209.86	209.99	210.33	3.03	1.36
A10	5.06	206.29	207.12	207.19	207.46	2.59	1.25

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
B70	5.07	219.79	220.51	220.57	220.73	2.22	1.05
B60	5.07	218.38	218.68	218.71	218.82	1.63	1.13
B50	5.07	215.45	217.91	217.26	217.91	0.36	0.11
B40	5.07	214.07	215.00	215.00	215.27	2.37	0.95
B30	5.07	210.23	211.15	211.37	211.84	3.67	1.63
B20	5.07	208.11	208.93	209.02	209.35	2.85	1.24
B10	5.07	206.01	206.73	206.81	207.07	2.60	1.18
C70 inizio sistemazione	10.13	205.73	206.65	206.79	207.19	3.26	1.29
C70 a monte salto	10.13	204.90	205.50	205.80	206.47	4.37	2.00
C70 b valle salto	10.13	204.34	204.84	205.24	206.33	5.40	2.67
C70 c monte salto	10.13	203.87	204.43	204.77	205.57	4.72	2.23
C60bis monte tombino	10.13	202.69	203.22	203.74	205.32	6.43	2.83
C50bis valle tombino	10.13	201.20	201.90	202.25	203.09	4.82	1.84
C40	10.13	200.73	201.73	201.63	201.99	2.26	0.83
C30	10.13	199.62	200.91	200.06	200.92	0.37	0.11
C20	10.13	198.46	200.90	198.96	200.90	0.24	0.05
C10	10.13	196.34	200.90	197.39	200.90	0.14	0.02

In Figura 15 è riportato il profilo idrico del ramo di valle.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 9 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 9 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 0+850. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino [m]	Grado riempimento
IN19A+IN19C	C60 bis monte tombino	202.69	203.22	0.53	2.00 (*)	26.5%

(*) L'altezza del manufatto IN19A è pari a 3.0. Il grado di riempimento risulta, pertanto, pari a 17.7% per il tratto sotto la ferrovia di progetto.

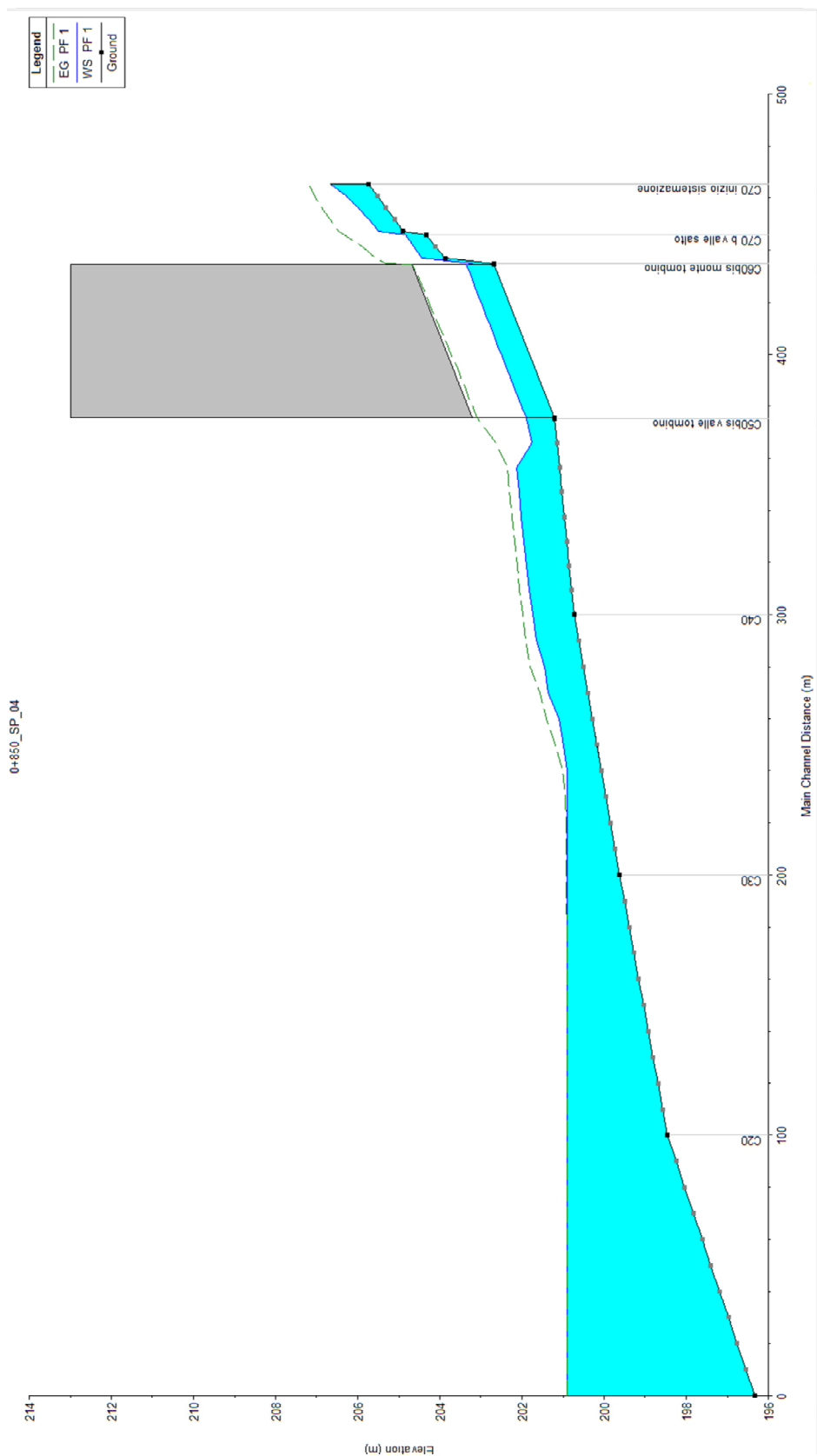


Figura 15 – Profilo idraulico post operam Pk 8+985-“ramo valle”. Tr 200 anni.

5.1.3 Sistemazione e protezione

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

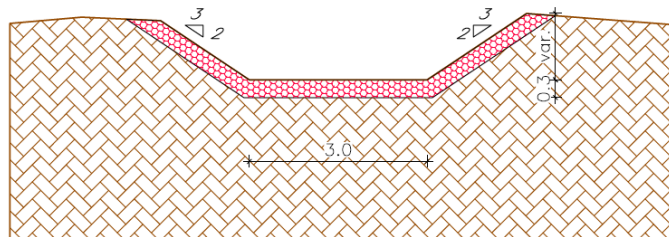


Figura 16 – Sezione tipo sistemazione Pk 8+985

5.2 Corso d'acqua alla progressiva 15+005– Opera ferroviaria IN30A

5.2.1 Simulazione numerica ante operam

Questo tratto presenta due manufatti costituiti da tombini che passano sotto la strada e la linea storica. Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

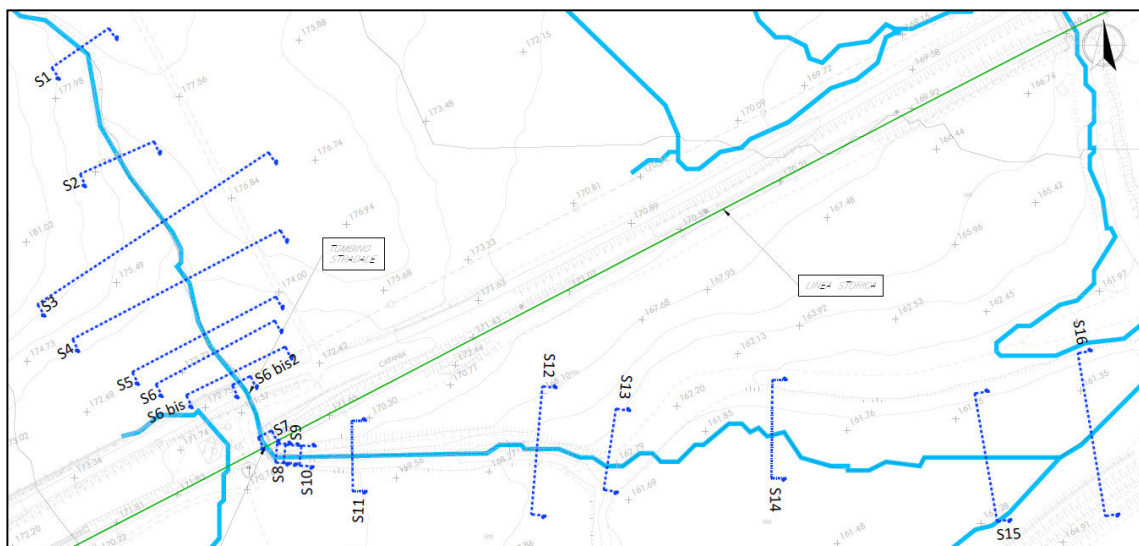


Figura 17 – Configurazione ante operam Pk 15+005

Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 25
- *N. manufatti* 2
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino esistente sotto la strada*
 - Tipologia tombino sez. circolare
 - Diametro 1.0 m
 - Lunghezza 22.8 m
 - Tombino esistente sotto ferrovia*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 0.8x1.2 m
 - Lunghezza 5.8 m
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica 8.51 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle livello Dittaino Tr200: 164.10 m s.m.m.
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 10 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 10 – Risultati ante operam Pk 15+005. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
S1	8.51	176.22	177.13	177.17	177.45	2.52	1.07
S2	8.51	174.48	175.42	175.54	175.77	2.69	1.11
S3	8.51	174.11	174.65	174.63	174.78	1.57	0.92
S4	8.51	173.39	173.70	173.76	173.90	1.91	1.28
S5	8.51	172.90	173.05	173.08	173.18	1.33	1.21
S6	8.51	172.64	172.89	172.84	172.93	0.85	0.54
S6bis	8.51	171.98	172.87	0.00	172.88	0.53	0.20
S6 bis pozzetto	8.51	171.04	172.82	0.00	172.87	1.11	0.27
S6 bis pozzetto 2	8.51	171.04	172.82	171.87	172.87	1.11	0.27
Sez sbocco l clv	8.51	169.13	171.23	0.00	171.30	1.16	0.26
S7 Sez imbocco clv ferrovia	8.51	169.00	171.23	170.73	171.29	1.14	0.24
Sez sbocco clv ferrovia	8.51	168.70	170.42	170.42	171.29	4.12	1.00

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
S8 Sez monte I salto	8.51	168.60	169.06	169.53	171.01	6.19	2.92
Sez valle I salto	8.51	167.50	167.95	168.55	170.88	7.58	3.61
S9 Sez monte II salto	8.51	167.50	167.99	168.55	170.44	6.92	3.15
Sez valle II salto	8.51	166.55	166.97	167.60	170.30	8.08	3.97
S10 Sez monte III salto	8.51	166.55	166.91	167.39	169.26	6.80	3.63
Sez valle III salto	8.51	166.00	166.33	166.84	169.16	7.45	4.17
S11	8.51	165.46	166.79	166.72	167.11	2.48	0.90
S12	8.51	163.45	164.51	164.52	164.84	2.56	0.99
S13	8.51	162.76	164.10	0.00	164.11	0.35	0.11
S14	8.51	162.07	164.10	0.00	164.10	0.07	0.02
S15	8.51	162.20	164.10	0.00	164.10	0.05	0.01
S16	8.51	162.26	164.10	0.00	164.10	0.05	0.01
S17	8.51	160.50	164.10	161.16	164.10	0.18	0.03

In Figura 18 è riportato il profilo idrico di calcolo.

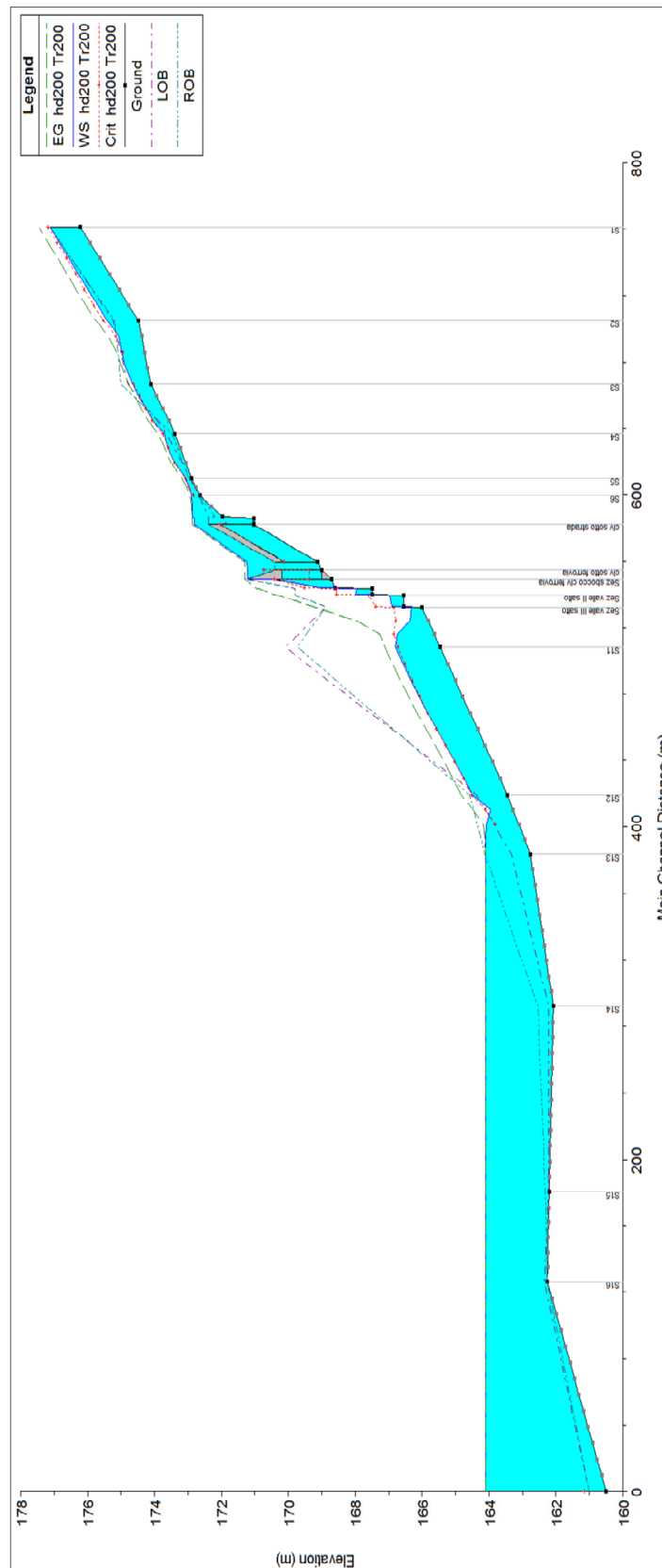


Figura 18 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+005. Tr 200 anni.

5.2.2 Simulazione numerica post operam

Questo tratto presenta tre manufatti costituiti tutti da tombini che passano rispettivamente sotto la strada, la linea di progetto e quella storica; questi tre tombini sono stati modellati come un unico manufatto. Il rifacimento del tombino sotto la linea storica è determinato dall'insufficienza idraulica del manufatto esistente evidenziata dalla simulazione dello stato ante operam.

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

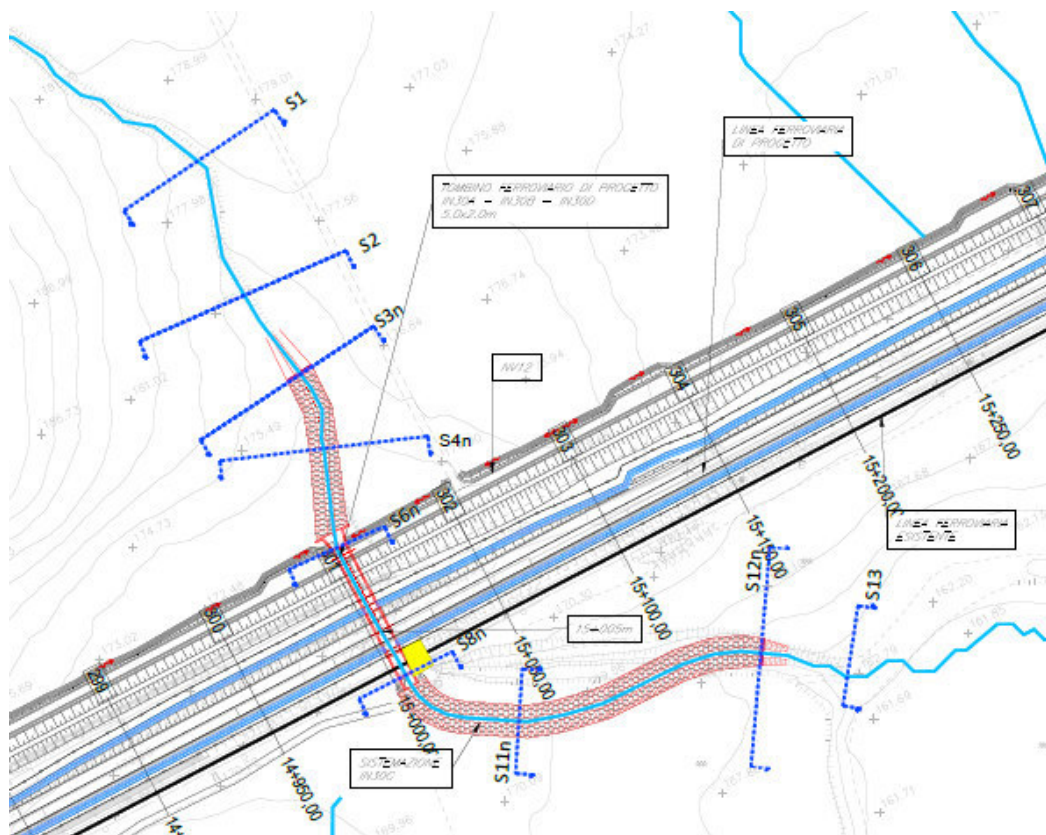


Figura 19 – Configurazione post operam Pk 15+005

Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 13
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombini di progetto IN30A+IN30B+IN30D*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 5.0x2.0 m
 - Lunghezza 53.5 m
 - I 3 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.*
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica 8.51 m³/s (Tr200)

- Condizione monte altezza moto uniforme
- Condizione valle livello Dittaino Tr200: 164.10 m s.m.m.
- **Scabrezza (Manning)**
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

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

Tabella 11 – Risultati post operam Pk 15+005. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
S1	8.51	176.22	177.13	177.17	177.45	2.52	1.07
S2	8.51	174.48	175.42	175.54	175.77	2.69	1.11
S3	8.51	172.10	172.71	172.91	173.36	3.57	1.62
S4n	8.51	171.14	171.72	171.95	172.45	3.79	1.76
S6n monte tombino ferrovia	8.51	170.00	170.60	170.80	171.27	3.62	1.65
S8n valle tombino ferrovia	8.51	167.57	167.97	168.37	169.73	5.86	3.19
S11n	8.51	166.57	167.27	167.38	167.73	3.01	1.29
S12n	8.51	163.30	164.18	164.11	164.44	2.25	0.88
S13	8.51	162.76	164.10	0.00	164.11	0.35	0.11
S14	8.51	162.07	164.10	0.00	164.10	0.07	0.02
S15	8.51	162.20	164.10	0.00	164.10	0.05	0.01
S16	8.51	162.26	164.10	0.00	164.10	0.05	0.01
S17	8.51	160.50	164.10	161.16	164.10	0.18	0.03

In Figura 20 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 12 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 12 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 15+005. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino [m]	Grado riempimento
IN30A+IN30B+IN30D	S6n monte tombino ferrovia	170.00	170.6	0.60	2.00	30.0%



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA

RELAZIONE IDRAULICA - TRATTA DA KM 8+290 A 22+800 - OPERE
MINORI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RI	ID0002 001	A	42 di 98

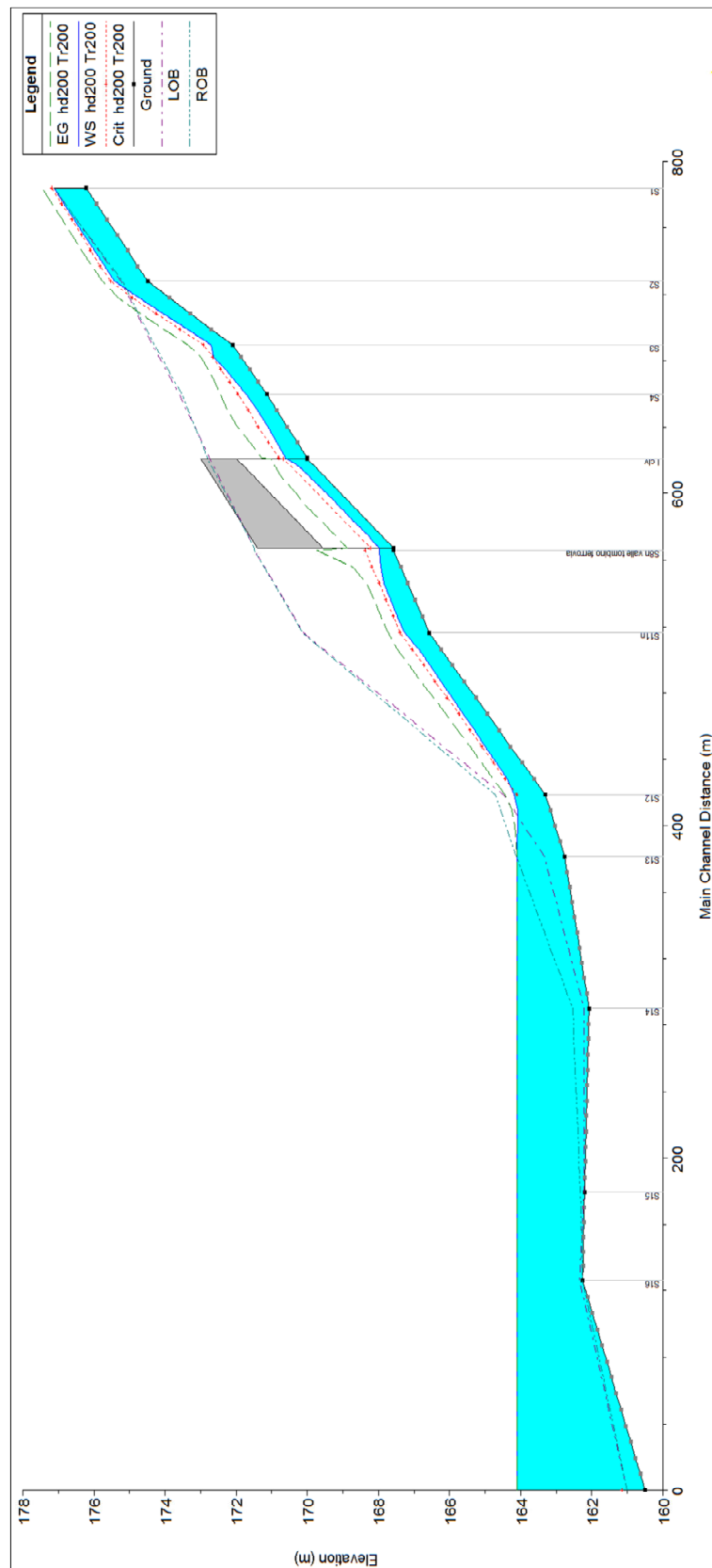


Figura 20 – Profilo idraulico post operam Pk 15+005. Tr 200 anni.

5.2.3 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre la deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3.0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno (Figura 21).

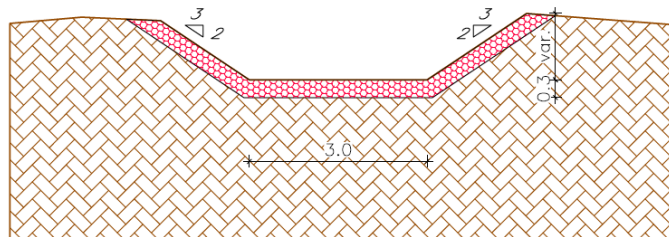


Figura 21 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+005

5.3 Corso d'acqua alla progressiva 15+428– Opera ferroviaria IN31A

5.3.1 Simulazione numerica ante operam

Questo tratto presenta due manufatti costituiti da tombini che passano sotto una strada e la linea storica. Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 14
- *N. manufatti* 2
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino esistente sotto la strada*
 - Tipologia tombino sez. circolare
 - Diametro 1.0 m
 - Lunghezza 22.8 m
 - Tombino esistente sotto ferrovia*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 2.0x3.0 m
 - Lunghezza 5.5 m
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica 15.85 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle livello Dittaino Tr200: 164.10 m s.m.m.
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso esistente n=0.045 m^{-1/3} s
 - Golene n=0.035 m^{-1/3} s

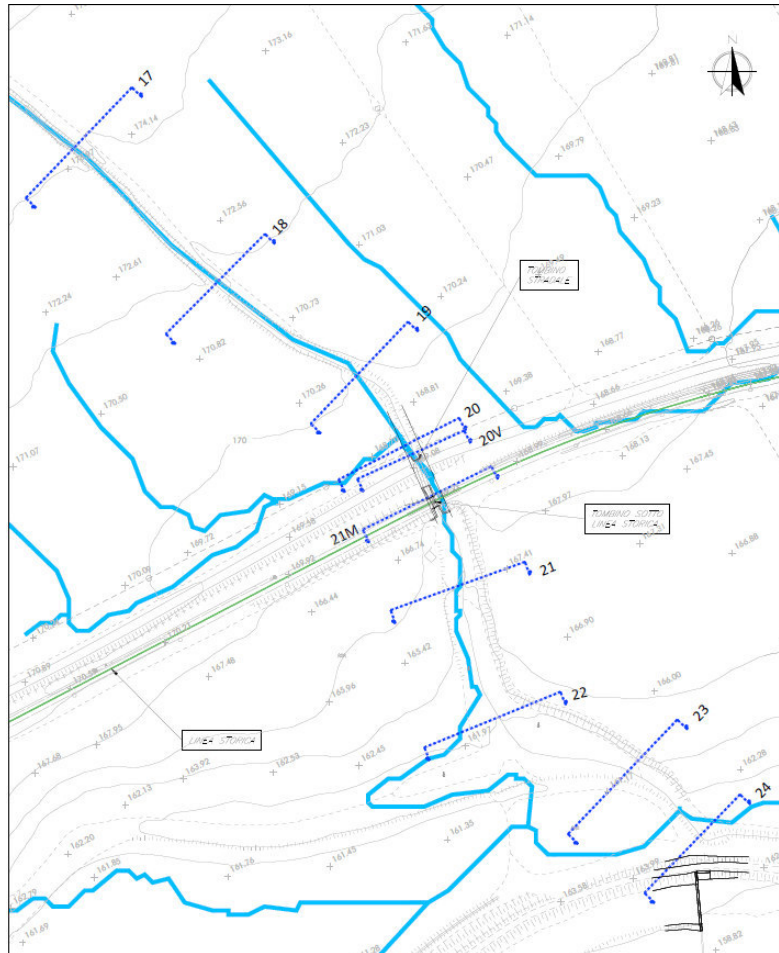


Figura 22 – Configurazione ante operam Pk 15+428

Risultati

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

Tabella 13 – Risultati ante operam Pk 15+428. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 17	15.85	171.02	173.26	172.96	173.70	2.94	0.76
Sez. 18	15.85	169.35	171.14	170.97	171.57	2.91	0.83
Sez. 19	15.85	168.15	169.37	169.50	169.82	3.01	1.04
Sez. 20	15.85	166.27	169.11	168.15	169.12	0.45	0.11
Sez. 20V	15.85	166.07	169.10	167.44	169.11	0.63	0.12
Sez. monte attraversamento stradale	15.85	166.07	169.08	167.53	169.11	0.99	0.19

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdF [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez.valle attraversamento stradale	15.85	164.45	167.11	0.00	167.15	1.06	0.21
Sez.21M monte attraversamento ferroviario	15.85	164.29	166.68	166.05	167.11	2.91	0.63
Sez. valle attraversamento ferroviario	15.85	164.42	165.97	166.21	167.09	4.69	1.25
Sez. 20.5	15.85	164.41	164.88	165.11	165.66	3.92	2.30
Sez. 21	15.85	163.56	164.10	164.12	164.34	2.19	1.06
Sez. 22	15.85	161.80	164.10	162.26	164.10	0.10	0.02
Sez. 23	15.85	161.02	164.10	161.37	164.10	0.08	0.02
Sez. 24	15.85	159.91	164.10	161.30	164.10	0.08	0.01

In Figura 23 è riportato il profilo idrico di calcolo.

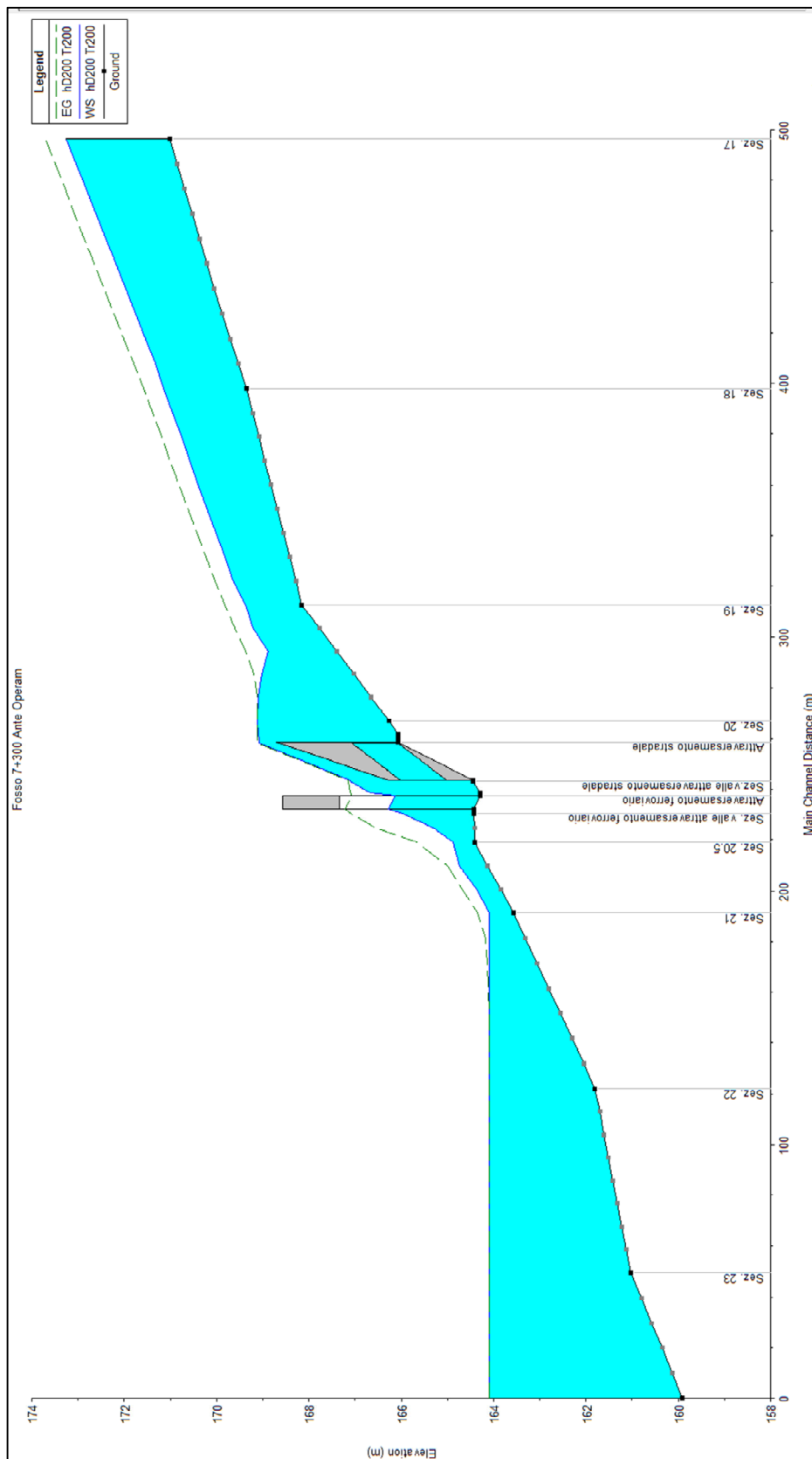


Figura 23 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+428. Tr 200 anni.

5.3.2 Simulazione numerica post operam

La configurazione di progetto è rappresentata in Figura 24.

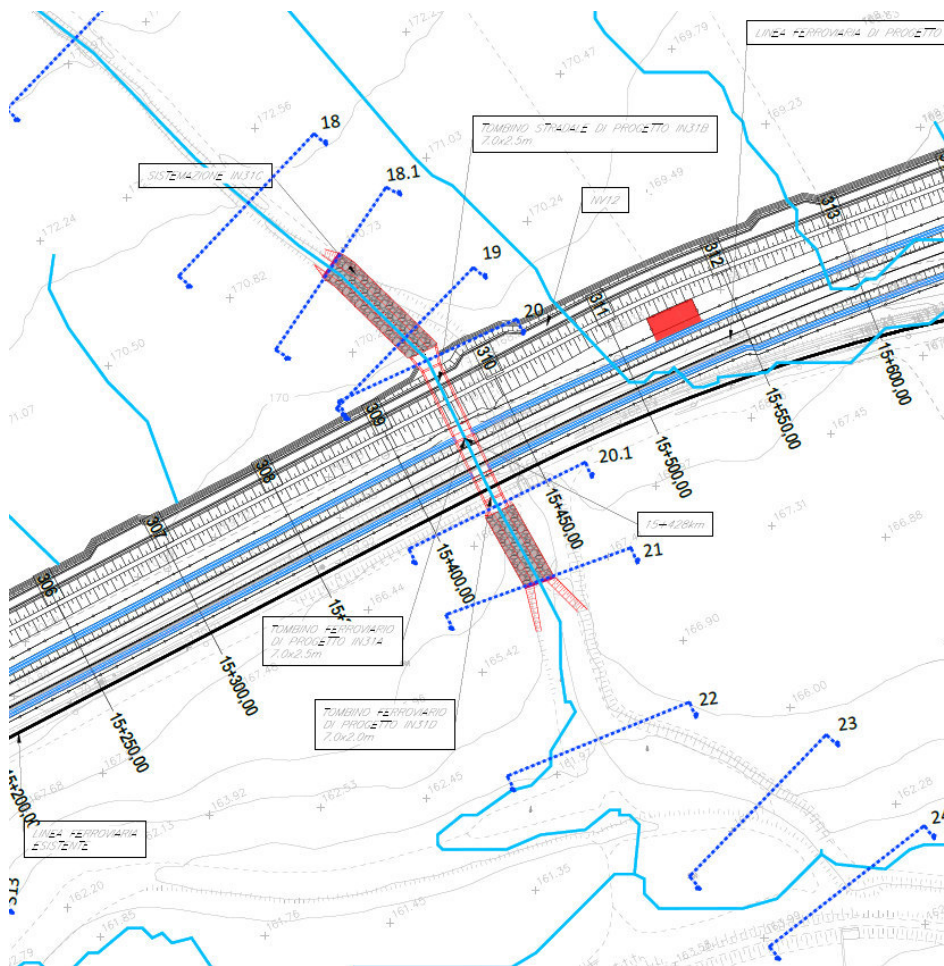


Figura 24 – Configurazione post operam Pk 15+428

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 11
- N. manufatti 1

Questo tratto presenta tre manufatti costituiti tutti da tombini che passano sotto la strada, la linea di progetto e quella storica; questi tre tombini sono stati modellati con un unico tombino avente, cautelativamente, le dimensioni del minore (quello sotto la linea storica). Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche dei manufatti e gli altri dati necessari alla modellazione.

- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombini di progetto IN31A+IN31B+IN31D
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 7.0x2.0 m
 - Lunghezza 63.0 m

I 3 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.

- **Condizioni al contorno**
 - Portata di verifica 15.85 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle livello Dittaino Tr200: 163.6 m s.m.m.

- **Scabrezza (Manning)**
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 14 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 14 – Risultati post operam Pk 15+428. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
Sez. 17	15.85	171.76	172.95	172.94	173.27	2.58	0.9
Sez. 18.0	15.85	170.08	171.2	171.2	171.51	2.5	0.92
Sez. 18.1	15.85	168.73	169.39	169.65	170.21	4	1.7
Sez. 19	15.85	167.44	168.11	168.35	168.91	3.96	1.67
Sez. 20	15.85	167.04	167.71	167.94	168.51	3.96	1.67
Sez. 20.1	15.85	164.99	165.45	165.89	167.33	6.07	3.03
Sez. 21	15.85	163.9	164.57	164.81	165.37	3.97	1.68
Sez. 22.1	15.85	162.42	164.1	163.08	164.1	0.39	0.11
Sez.22	15.85	162.4	164.1	162.81	164.1	0.14	0.03
Sez. 23	15.85	161.45	164.1	161.91	164.1	0.11	0.02
Sez. 24	15.85	160.44	164.1	161.01	164.1	0.07	0.01

In Figura 25 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 15 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 15 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 7+300. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino [m]	Grado riempimento
IN31A+IN31B+IN31D	Sez. 20	167.04	167.71	0.67	2.00	33%

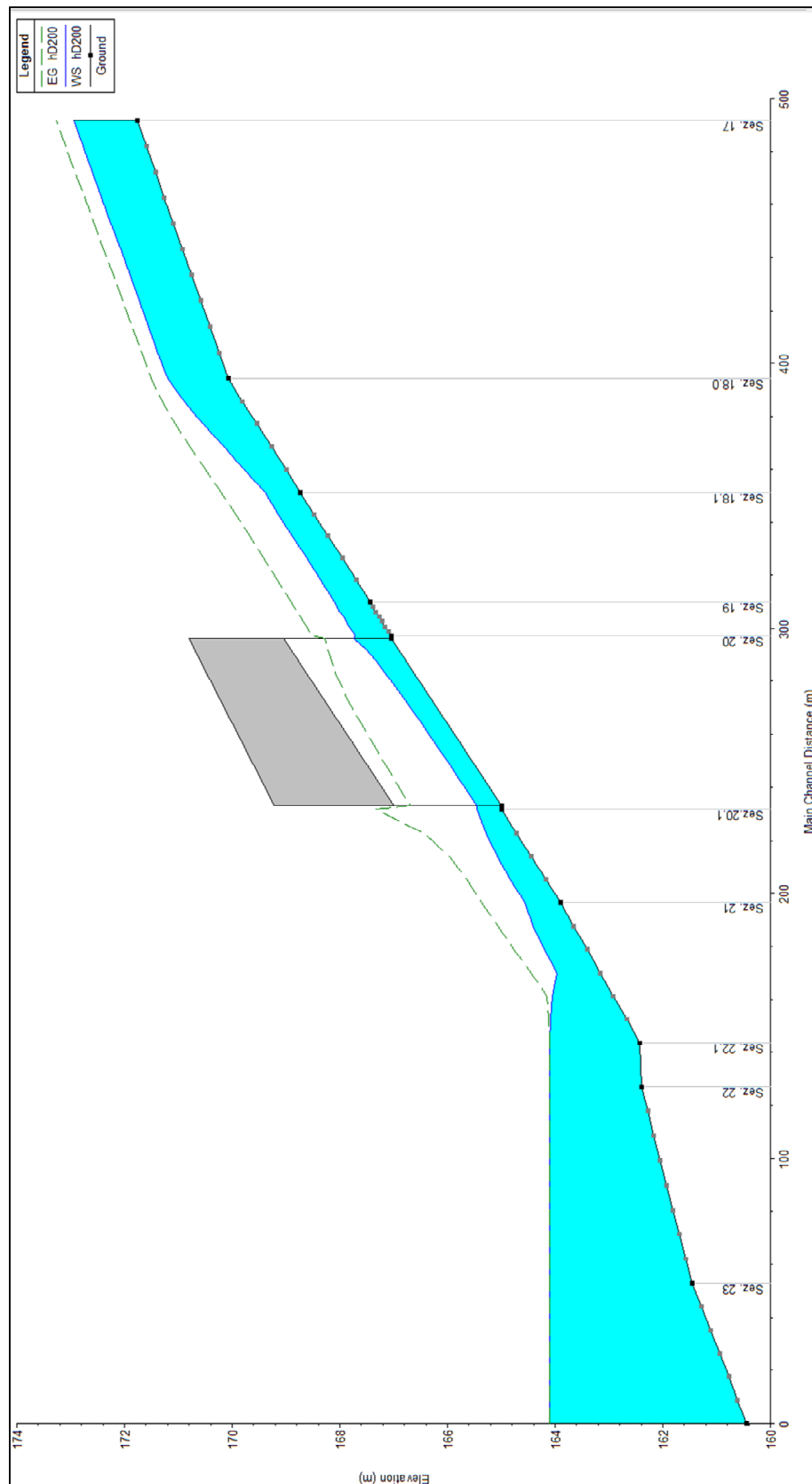


Figura 25 – Profilo idraulico post operam Pk 15+428. Tr 200 anni.

5.3.3 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre alla leggera deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 5.0 m e pendenza delle sponde 2:3.

Poiché il corso d'acqua in oggetto risulta caratterizzato da problematiche legate al trasporto solido, si è scelto di rivestire il canale in c.a. con una finitura superficiale in massi cementati, agevolando con tale soluzione anche le operazioni di manutenzione (Figura 26).

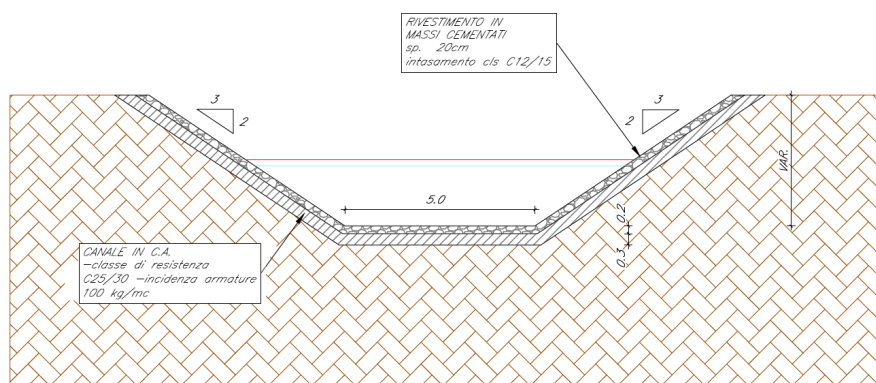


Figura 26 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+428

5.4 Corso d'acqua alla progressiva 15+917 – Opera ferroviaria IN33A

5.4.1 Simulazione numerica ante operam

In Figura 22 è riportata la configurazione ante operam del corso d'acqua in oggetto.

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 12
- N. manufatti 1
 - Tombino esistente sotto ferrovia
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza (max) 1.85x2.0 m
 - Lunghezza 6.3 m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 9.94 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle livello Dittaino Tr200: 162.50 m s.m.m.
- Scabrezza (Manning)
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$



Figura 27 – Configurazione ante operam Pk 15+917

Risultati

In Tabella 16 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 16 – Risultati ante operam Pk 15+917. Tr 200 anni.

Sezione	Portata	Fondo alveo SdF	Livello idrico	Livello altezza critica	Livello energetico	Velocità	Froude
	[m ³ /s]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m/s]	
S100	9.94	171.77	172.61	172.69	172.87	2.53	1.09
S090	9.94	169.83	170.70	170.81	171.02	2.77	1.20
S080	9.94	168.41	169.17	169.23	169.39	2.40	1.08
S070	9.94	167.41	168.21	168.23	168.37	1.94	0.86
S060	9.94	166.24	166.58	166.64	166.81	1.64	1.00
S050	9.94	163.26	165.39	163.96	165.39	0.36	0.09
monte storica	9.94	163.16	165.23	164.26	165.38	1.40	0.31
valle storica	9.94	163.06	164.22	164.22	164.74	3.19	1.00
S040	9.94	163.00	163.54	163.82	164.47	4.27	2.24
S030	9.94	161.55	162.50	162.37	162.61	1.51	0.57
S020	9.94	160.68	162.50	161.32	162.51	0.44	0.11
S010	9.94	159.44	162.50	160.33	162.50	0.24	0.05

In Figura 28 è riportato il profilo idrico di calcolo.

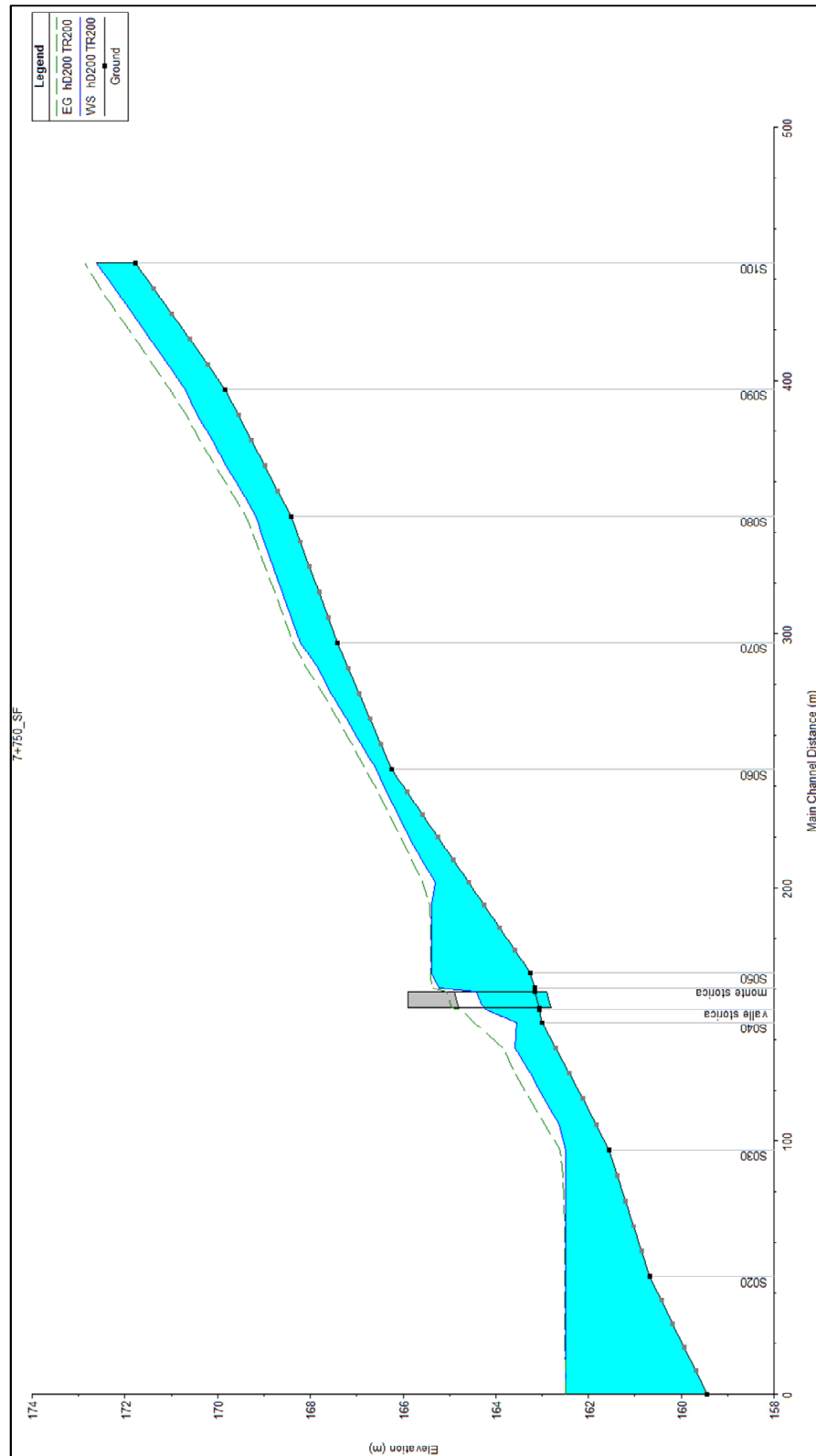


Figura 28 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+917. Tr 200 anni.

5.4.2 Simulazione numerica post operam

La configurazione di progetto è rappresentata in Figura 29.

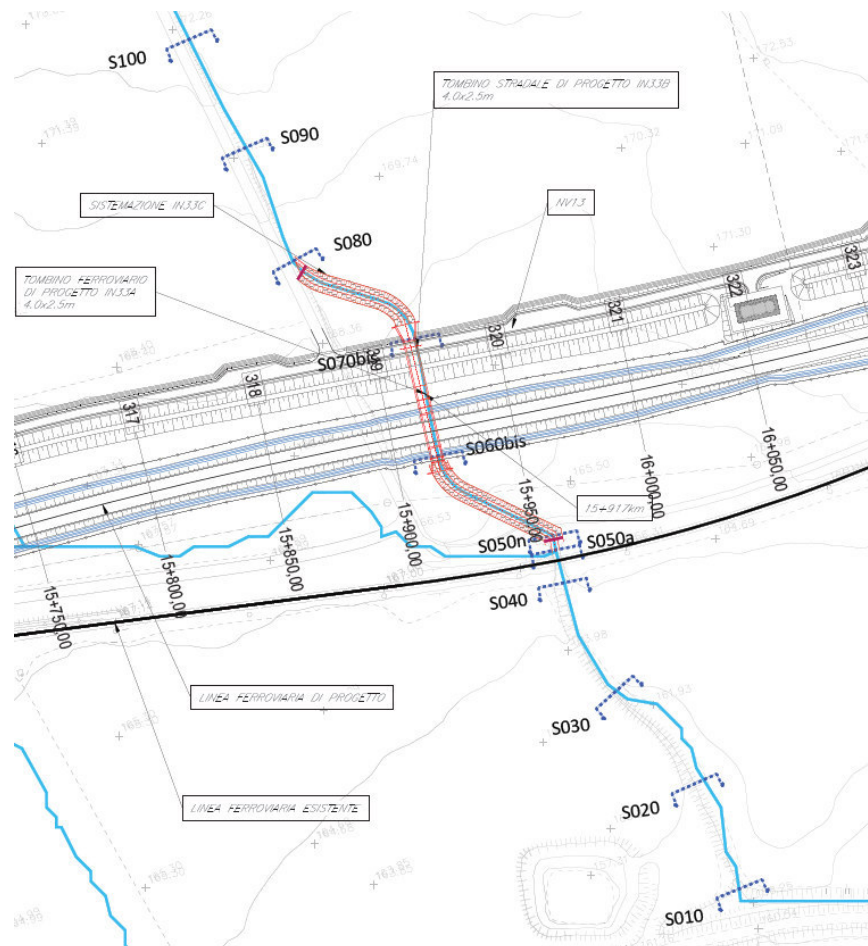


Figura 29 – Configurazione post operam Pk 15+917

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 12
- N. manufatti 2
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto IN33A+IN33B
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 4.0x2.5 m
 - Lunghezza 46m
 - I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.
 - Tombino esistente su linea storica
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 1.85x2.0 m
 - Lunghezza 6.3m
- Condizioni al contorno

- Portata di verifica 9.94 m³/s (Tr200)
- Condizione monte altezza moto uniforme
- Condizione valle livello Dittaino Tr200: 161.8 m s.m.m.

- **Scabrezza (Manning)**
 - Alveo inciso esistente $n=0.045 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

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

Tabella 17 – Risultati post operam Pk 15+917. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
S100	9.94	171.77	172.61	172.69	172.87	2.53	1.09
S090	9.94	169.83	170.70	170.81	171.02	2.77	1.20
S080	9.94	168.41	169.30	169.30	169.43	1.76	0.68
S070bis monte IN33A	9.94	165.41	166.57	166.31	166.82	2.22	0.67
S060bis	9.94	164.44	165.11	165.34	165.90	3.93	1.58
S050	9.94	163.26	165.39	163.96	165.39	0.38	0.09
monte storica	9.94	163.16	165.25	164.24	165.38	1.62	0.36
valle storica	9.94	163.06	164.22	164.22	164.74	3.19	1.00
S040	9.94	163.00	163.54	163.82	164.47	4.27	2.24
S030	9.94	161.55	162.50	162.37	162.61	1.51	0.57
S020	9.94	160.68	162.50	161.32	162.51	0.44	0.11
S010	9.94	159.44	162.50	160.33	162.50	0.24	0.05

In Figura 30 è riportato il profilo idrico di calcolo.

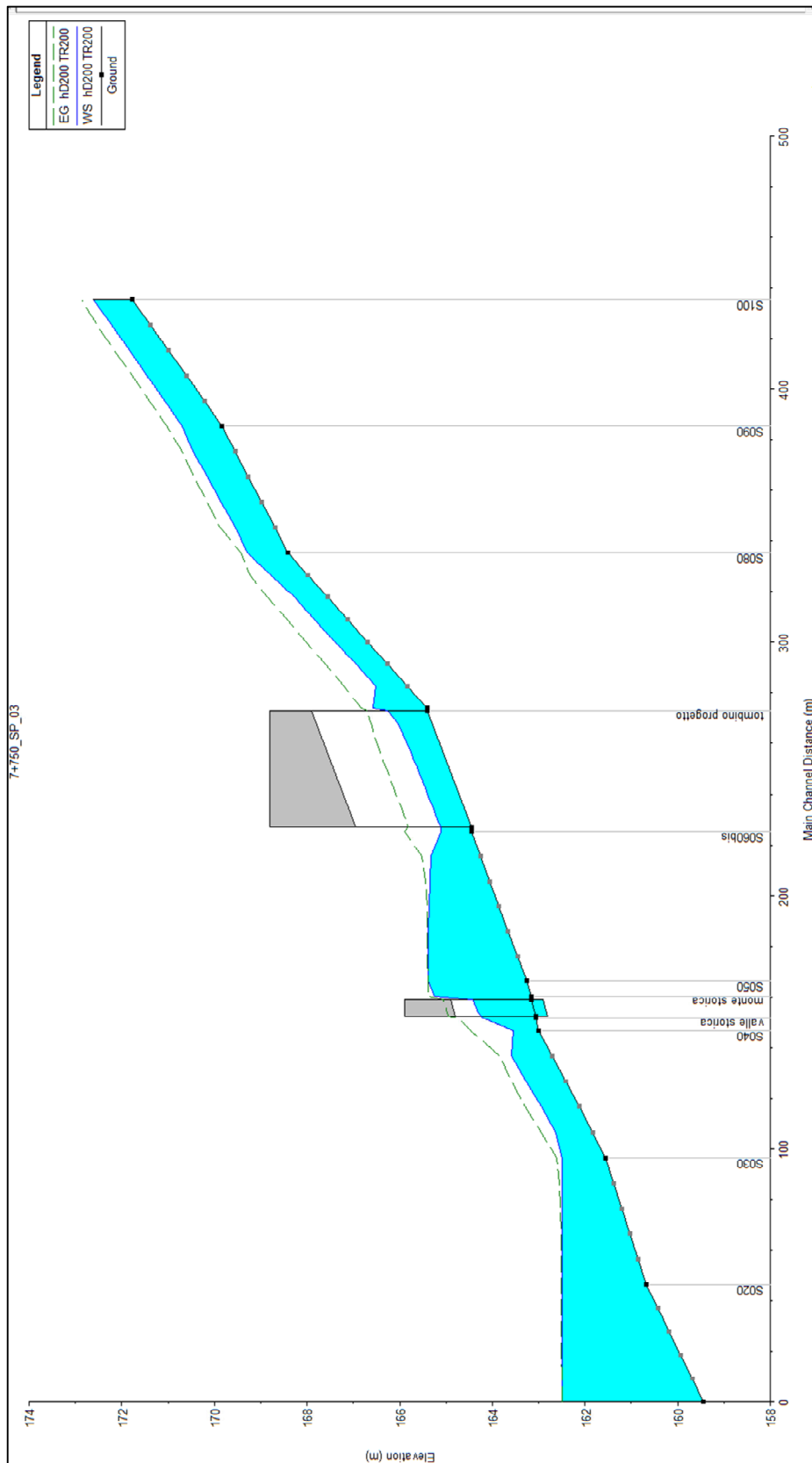


Figura 30 – Profilo idraulico post operam Pk 15+917. Tr 200 anni.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 18 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 18 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 15+917. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN33A+IN33B	S070bis monte IN33A	165.41	166.57	1.16	2.50	46.4%

5.4.3 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre la deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3.0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno (Figura 31).

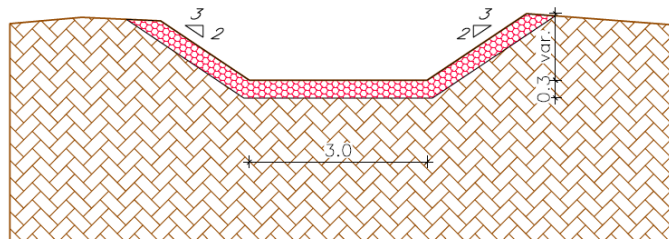


Figura 31 – Sezione tipo sistemazione Pk 15+917

5.5 Corsi d'acqua alla progressiva 17+933 – Opera ferroviaria IN37A

5.5.1 Simulazione numerica post operam

Per questo corso d'acqua l'analisi idraulica si è limitata al solo post operam non essendo presente una vera e propria canalizzazione nello stato di fatto. Nello stato di progetto, inoltre, non è previsto di mantenere attivi manufatti esistenti nel tratto di studio.

In Figura 32 è rappresentata la configurazione di progetto del corso d'acqua in oggetto, unitamente alla sistemazione post operam del corso d'acqua alla progressiva 18+050.

Nella soluzione proposta, infatti, i due corsi d'acqua, dopo aver attraversato entrambi con un tombino la viabilità di progetto NV15, superano la ferrovia di progetto e la variante di Catenanuova, sempre mediante un tombino, e confluiscono più a valle in un unico corso d'acqua.

La confluenza avviene a monte di una viabilità podereale esistente, in corrispondenza della quale è altresì prevista la realizzazione di un tombino di progetto.

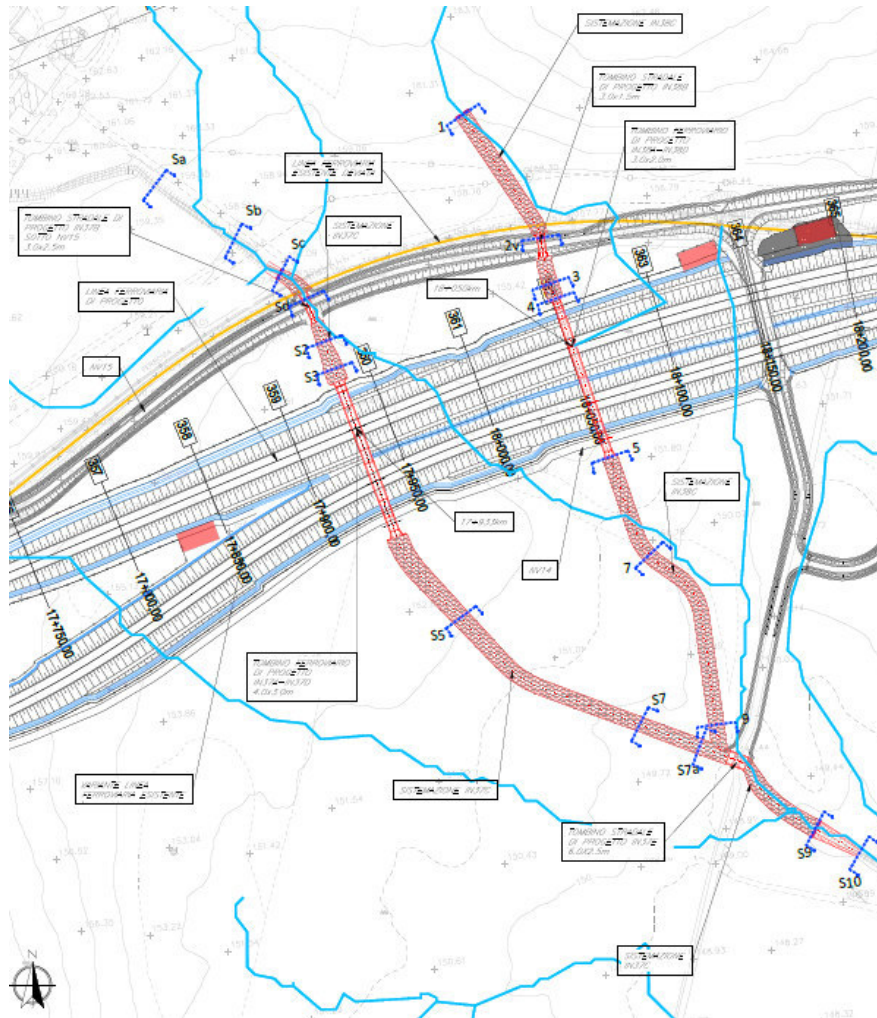


Figura 32 – Configurazione post operam Pk 17+933 e 18+050.

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 16
- N. manufatti 4
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto IN37B sotto viabilità NV15
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x2.5 m
 - Lunghezza 8.0m
 - Tombino di progetto sotto ferrovia IN37A+IN37D
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 4.0x3.0 m
 - Lunghezza 93.52m
 - I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.
 - Tombino di progetto IN37E sotto viabilità esistente
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 6.0x2.5 m
 - Lunghezza 6.0m

- **Condizioni al contorno**
 - Portata di verifica 7.88 m³/s (Tr200)
11.51 m³/s a valle confluenza
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza moto uniforme
- **Scabrezza (Manning)**
 - Alveo inciso di progetto n=0.030 m^{-1/3} s
 - Golene n=0.035 m^{-1/3} s

Risultati

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

Tabella 19 – Risultati post operam Pk 17+933. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
a	7.88	158.91	159.87	159.87	160.02	1.98	0.75
b	7.88	157.18	158.19	158.24	158.57	2.75	1.09
c inizio sistemazione	7.88	156.15	156.87	157.13	157.52	3.59	1.58
d monte tombino NV15	7.88	154.73	155.31	155.68	156.59	5.01	2.21
1 valle tombino NV15	7.88	154.36	154.93	155.25	156.00	4.58	1.93
2	7.88	153.73	154.25	154.51	155.07	4.00	1.94
3 monte tombino IN37	7.88	152.82	153.32	153.60	154.27	4.31	2.04
4	7.88	150.90	151.41	151.68	152.33	4.25	2.00
5	7.88	150.30	151.08	151.08	151.38	2.43	1.00
6	7.88	149.58	150.31	150.35	150.66	2.63	1.11
7	7.88	148.60	149.31	149.38	149.69	2.73	1.16
7a	7.88	148.10	149.14	148.77	149.24	1.36	0.48
7b	11.51	147.93	148.93	148.76	149.17	2.15	0.73
8	11.51	147.83	148.73	148.67	149.03	2.44	0.88
9	11.51	147.20	148.70	148.04	148.78	1.22	0.37
10	11.51	146.89	148.26	148.26	148.68	2.86	1.00

In Figura 33 è riportato il profilo idrico di calcolo.

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

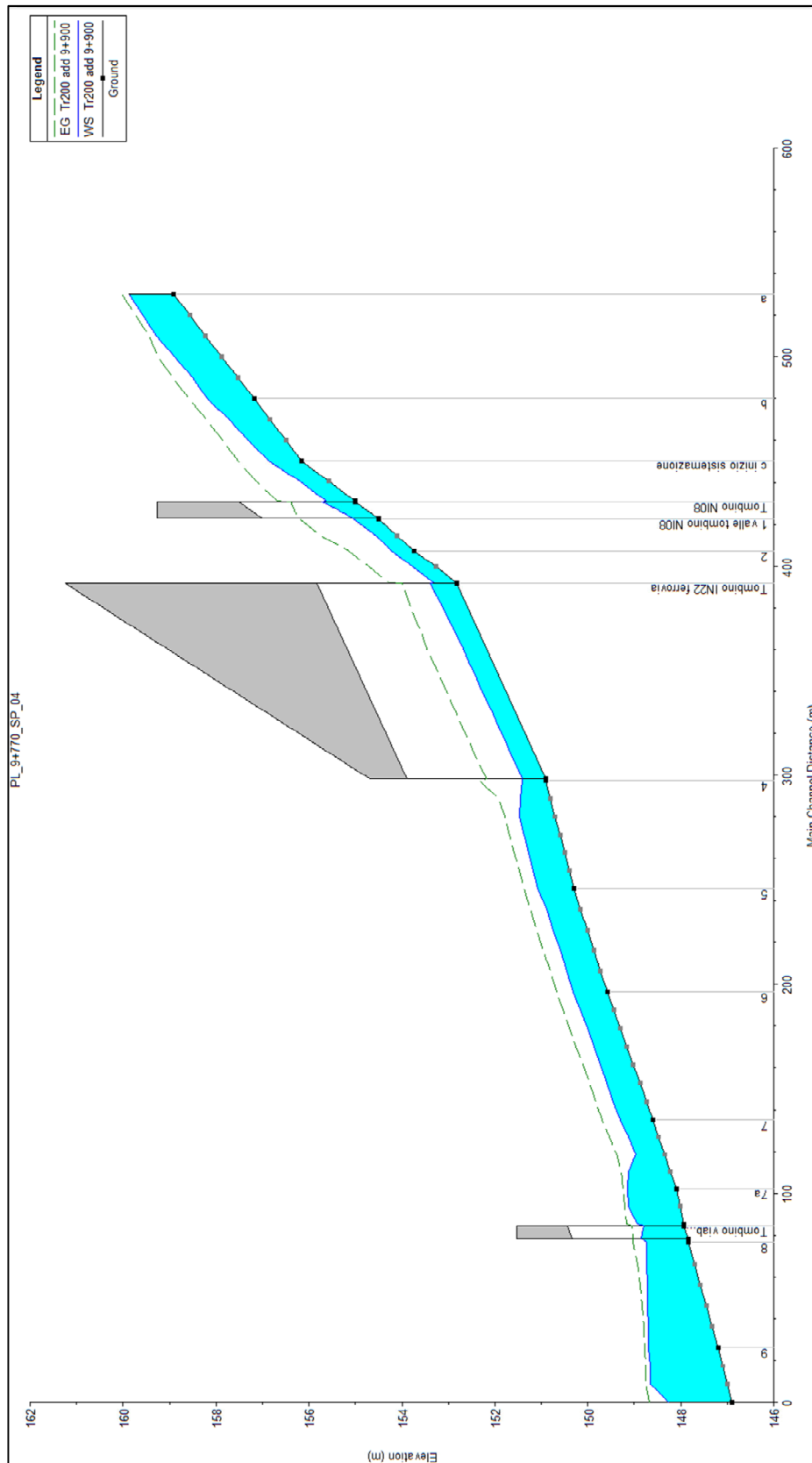


Figura 33 – Profilo idraulico post operam Pk 17+933. Tr 200 anni.

Tabella 20 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 17+933. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN37B	d monte tombino NV15	154.73	155.31	0.58	2.50	23.2%
IN37A+ IN37D	3 monte tombino IN37	152.82	153.31	0.49	3.00	16.3%
IN37E	7b	147.93	148.93	1.00	2.50	40.0%

5.5.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre la deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 2.0÷4.0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno (Figura 34).

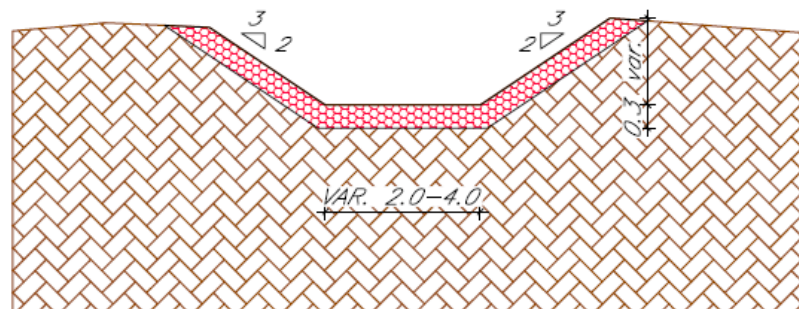


Figura 34 – Sezione tipo sistemazione Pk 17+933

5.6 Corso d'acqua alla progressiva 18+050 – Opera ferroviaria IN38A

5.6.1 Simulazione numerica post operam

Per questo corso d'acqua l'analisi idraulica si è limitata al solo post operam non essendo presente una vera e propria canalizzazione nello stato di fatto. Nello stato di progetto, inoltre, non è previsto di mantenere attivi manufatti esistenti nel tratto di studio.

La configurazione di progetto è rappresentata e descritta al paragrafo precedente.

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 11
- N. manufatti 3
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto IN38B sotto viabilità NV15
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x1.5 m
 - Lunghezza 7.0m
 - Tombino di progetto IN38A +IN38D

- Tipologia tombino
- Larghezza x Altezza 3.0x2.0 m
- Lunghezza 85.8m

I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.

- **Condizioni al contorno**

- Portata di verifica 3.63 m³/s (Tr200)
- Condizione monte altezza moto uniforme
- Condizione valle altezza moto uniforme

- **Scabrezza (Manning)**

- Alveo inciso di progetto $n=0.030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
- Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 21 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 21 – Risultati post operam Pk 18+050. Tr 200 anni.

Sezione	Portata	Fondo alveo SdP	Livello idrico	Livello altezza critica	Livello energetico	Velocità	Froude
	[m ³ /s]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m/s]	
1	3.63	159.00	159.39	159.59	160.06	3.62	2.05
2	3.63	156.25	156.65	156.84	157.28	3.51	1.97
2v	3.63	154.75	155.14	155.34	155.81	3.62	2.00
3m	3.63	154.25	154.55	154.84	155.82	4.99	3.18
3	3.63	153.23	153.61	153.82	154.30	3.66	2.08
4 monte tombino IN38	3.63	152.80	153.20	153.39	153.83	3.50	1.90
5	3.63	149.00	149.29	149.59	150.60	5.07	3.25
6	3.63	148.95	149.35	149.54	149.96	3.46	1.93
7	3.63	148.60	149.37	149.19	149.49	1.48	0.63
8	3.63	148.30	149.22	148.89	149.29	1.17	0.46
9	3.63	148.10	149.13	148.69	149.18	0.99	0.37

In Figura 35 è riportato il profilo idrico di calcolo.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 22 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 22 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 18+050. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico	Tirante	Altezza tombino	Grado riempimento
			[m s.m.m.]	[m]		
IN38B	2v	154.75	155.14	0.39	1.50	26.0%
IN123A+ IN38D	4 monte tombino IN38	152.80	153.20	0.40	2.00	20.0%

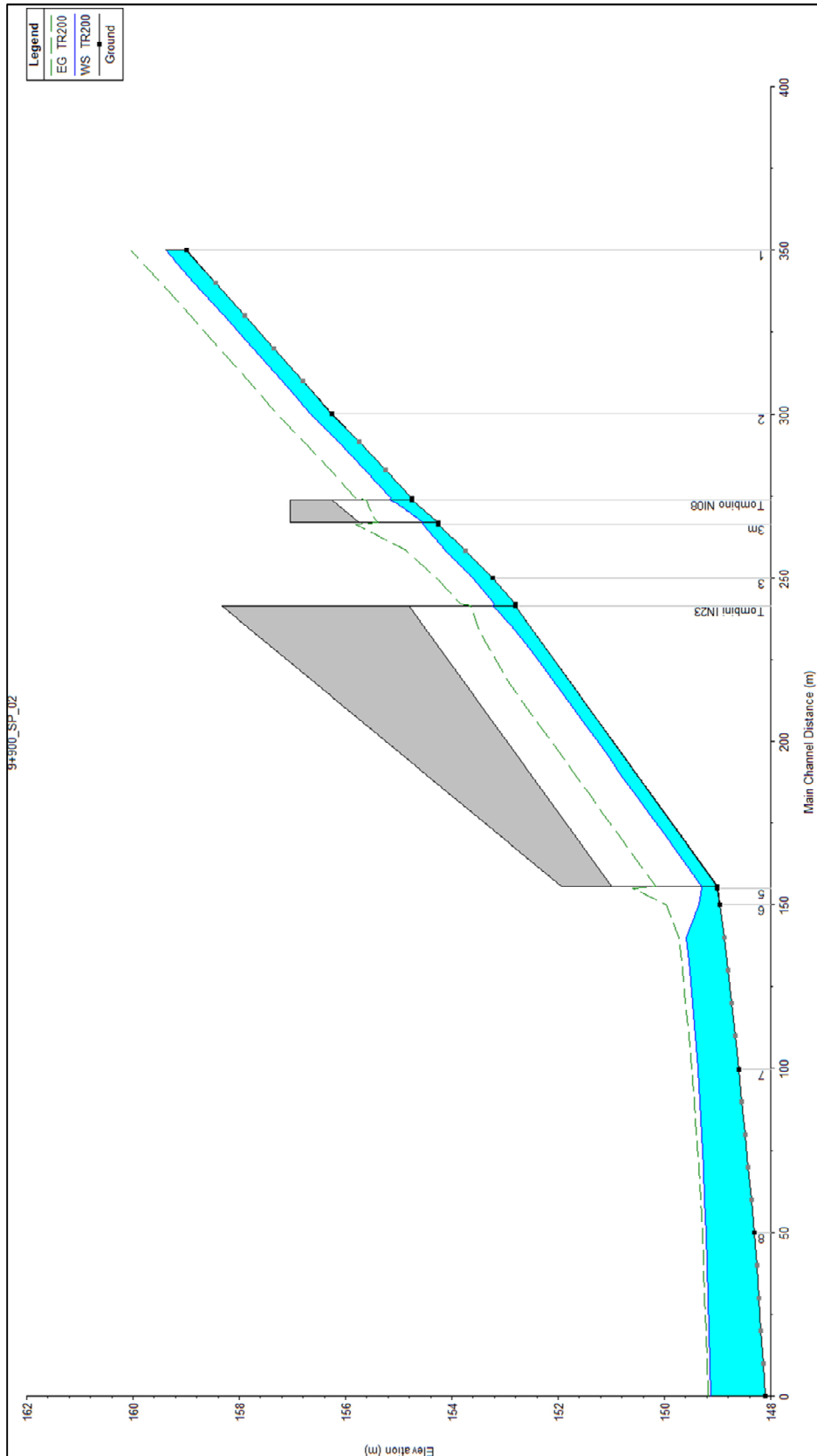


Figura 35 – Profilo idraulico post operam Pk 18+050. Tr 200 anni.

5.6.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre la deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 2.0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno (Figura 36).

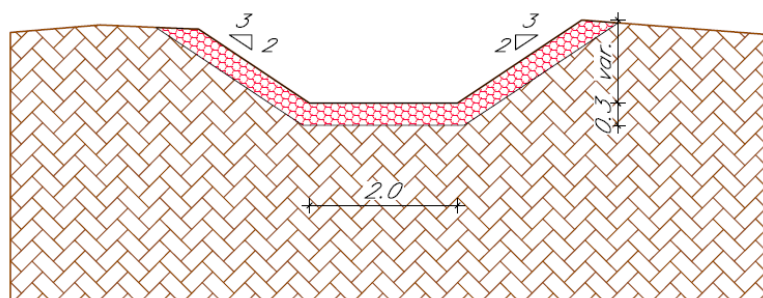


Figura 36 – Sezione tipo sistemazione Pk 18+050

5.7 Corso d'acqua alla progressiva 18+770 – Opera ferroviaria IN41A

5.7.1 Simulazione numerica post operam

Per questo corso d'acqua l'analisi idraulica si è limitata al solo post operam non essendo presente una vera e propria canalizzazione nello stato di fatto. Nello stato di progetto, inoltre, non è previsto di mantenere attivi manufatti esistenti nel tratto di studio.

In Figura 37 è rappresentata la configurazione di progetto del corso d'acqua in oggetto.

La sistemazione ha inizio a monte della ferrovia di progetto, per l'attraversamento della quale è previsto un primo tombino, e prosegue a valle, attraversando la variante di Catenanuova e la viabilità poderalo, in corrispondenza delle quali sono previsto altrettanti tombini.

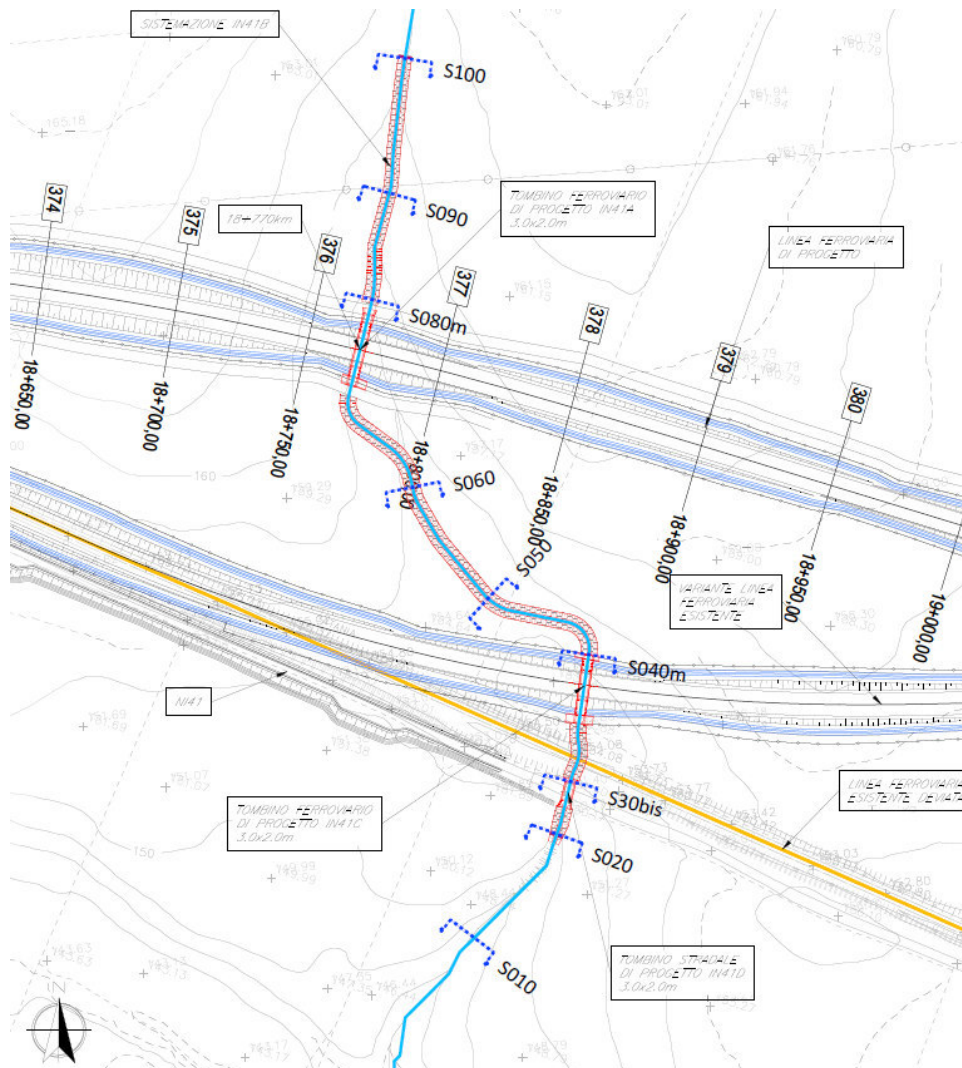


Figura 37 – Configurazione post operam Pk 18+770

Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 15
- N. manufatti 3
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto IN41A opera ferroviaria
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x2.0 m
 - Lunghezza 15.3m
 - Tombino di progetto IN41C variante di Catenanuova
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x2.0 m
 - Lunghezza 11.2m
 - Tombino di progetto IN41D viabilità podereale
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 3.0x2.0 m
 - Lunghezza 8m

- **Condizioni al contorno**
 - Portata di verifica 2.96 m³/s (Tr200)
 - Portata di verifica 3.26 m³/s (Tr200)
 - Il cambio di portata è stato introdotto a monte dell'opera IN41C
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle altezza moto uniforme
- **Scabrezza (Manning)**
 - Alveo inciso di progetto n=0.030 m^{-1/3} s
 - Golene n=0.035 m^{-1/3} s

Risultati

In Tabella 23 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato

Tabella 23 – Risultati post operam Pk 18+770. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
S100	2.96	159.76	160.22	160.36	160.66	2.92	1.57
S090	2.96	158.03	158.49	158.63	158.92	2.90	1.56
S80m	2.96	156.62	157.08	157.22	157.52	2.92	1.57
S080 monte FS progetto	2.96	156.27	156.98	156.73	157.08	1.39	0.52
S070	2.96	155.84	156.19	156.30	156.60	2.84	1.54
S070v	2.96	155.59	156.19	156.19	156.41	2.08	1.01
S060	2.96	154.60	155.11	155.20	155.45	2.59	1.34
S050	2.96	153.56	154.09	154.16	154.39	2.43	1.23
S40m	2.96	152.82	153.36	153.42	153.65	2.38	1.20
S040 monte SP variante	3.26	152.63	153.39	153.12	153.49	1.43	0.52
S030	3.26	152.37	152.76	152.86	153.15	2.77	1.41
S030v	3.26	151.69	152.14	152.32	152.71	3.36	1.84
S030bis	3.26	149.30	149.65	149.93	150.74	4.63	2.81
S020	3.26	149.02	149.65	149.65	149.88	2.12	1.00
S010	3.26	146.95	147.29	147.42	147.70	2.87	1.85

In Figura 38 è riportato il profilo idrico di calcolo.

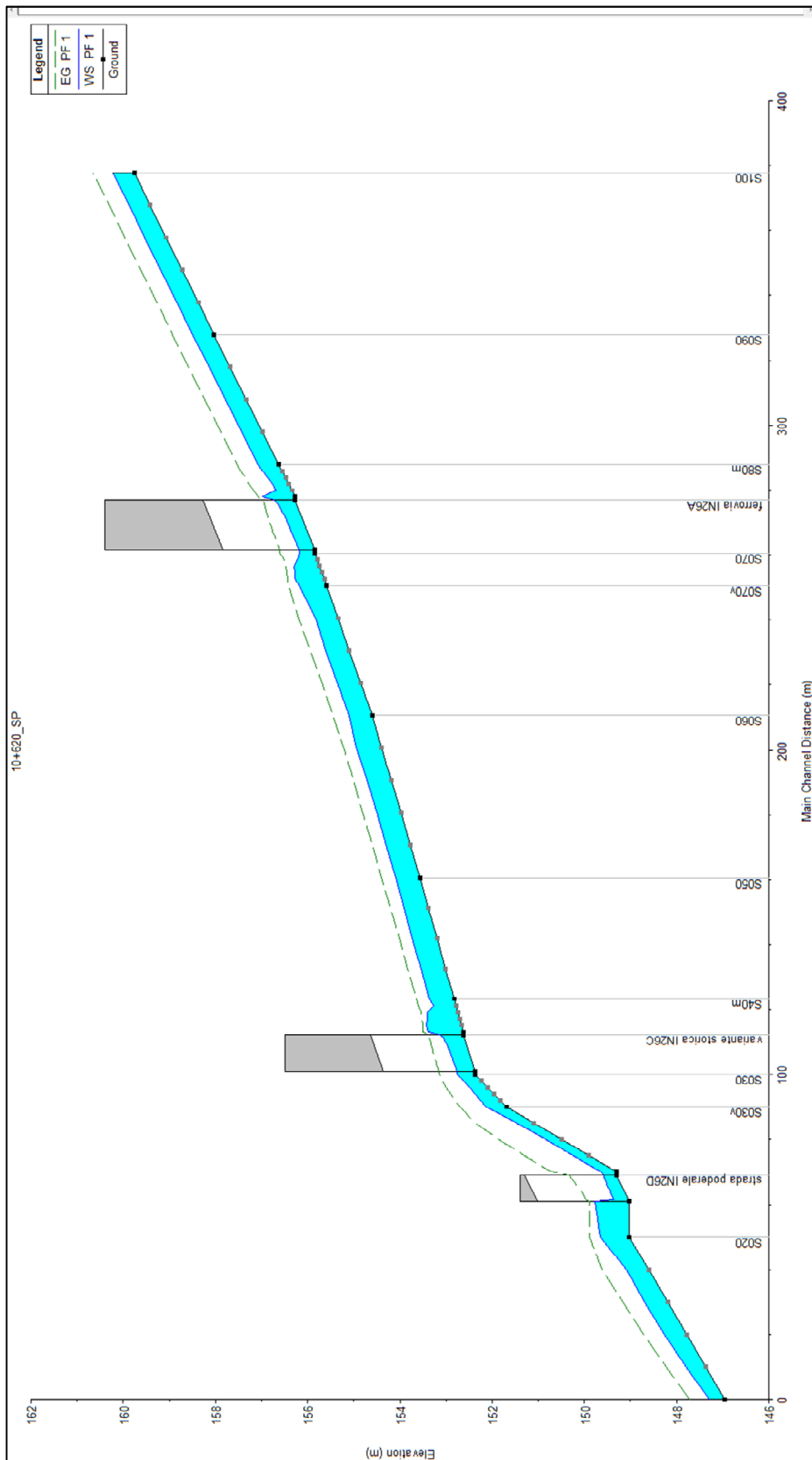


Figura 38 – Profilo idraulico post operam Pk 18+770. Tr 200 anni.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 22 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 24 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 18+770. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN41A	S080 monte FS progetto	156.27	156.98	0.71	2.00	35.5%
IN41C	S040 monte SP variante	152.63	153.39	0.76	2.00	38.0%
IN41D	monte strada poderale	149.30	149.65	0.35	2.00	17.5%

5.7.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre la deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 1.5m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno (Figura 39).

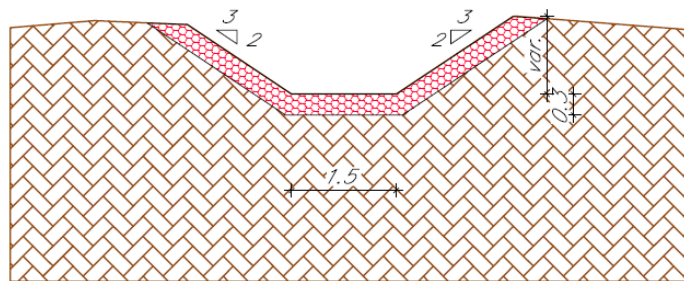


Figura 39 – Sezione tipo sistemazione Pk 18+770

5.8 Corsi d'acqua alla progressiva 19+150, 19+279 e 19+425 – Opere ferroviarie IN42A, IN43A e IN44A

Queste tre interferenze sono state analizzate mediante un unico modello di calcolo HEC-RAS dal momento che confluiscono in uno stesso punto a monte della linea storica.

L'analisi idraulica si è limitata al solo post operam poiché nello stato di progetto non è previsto di mantenere attivi manufatti esistenti nel tratto di studio.

In Figura 40 è rappresentata la configurazione di progetto dei corsi d'acqua in oggetto.

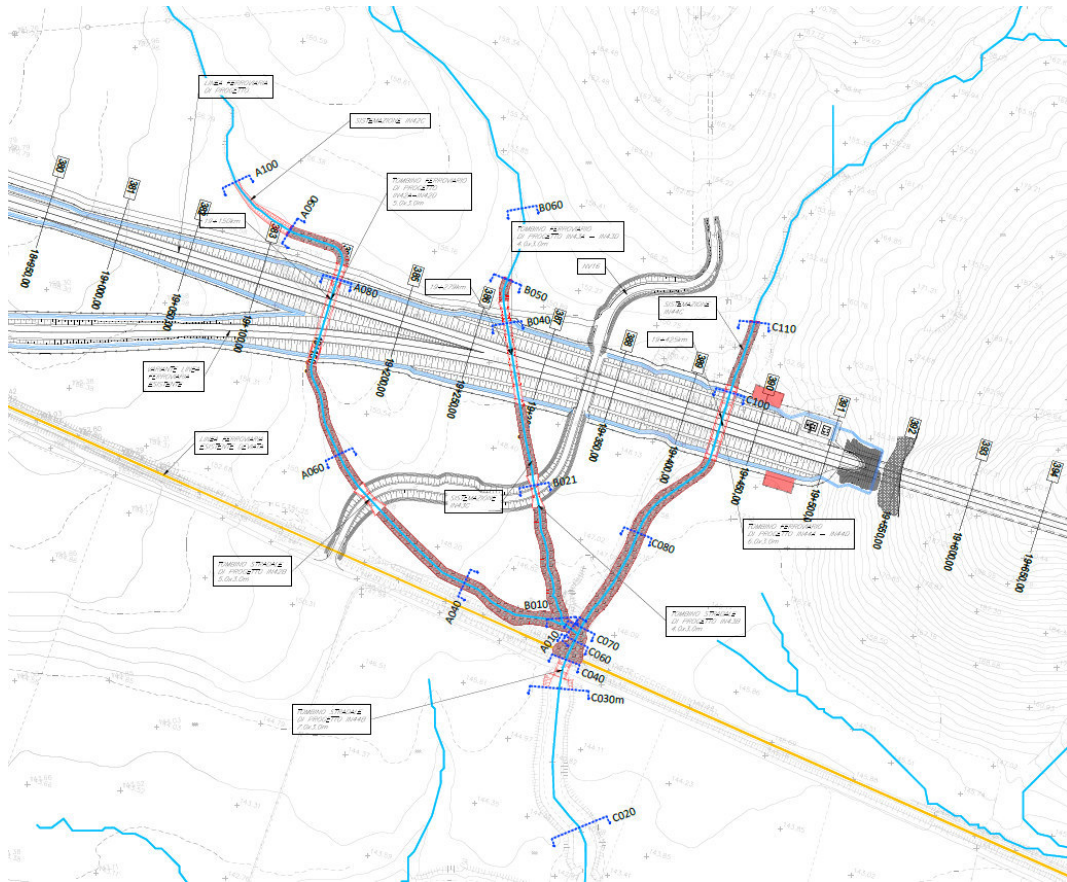


Figura 40 – Configurazione post operam Pk 19+150, Pk 19+279 e Pk 19+425

5.8.1 Simulazione numerica post operam

Dati principali per la verifica corso d'acqua 19+150

- N. sezioni (escluse interpolate) 13
- N. manufatti 3
- Caratteristiche dei manufatti
 - Tombino di progetto IN42A+IN42D opera ferroviaria*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 5.0x3.0 m
 - Lunghezza 51.9m
 - I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.*
 - Tombino di progetto IN42B viabilità NV16*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 5.0x3.0 m
 - Lunghezza 6.0m
- Condizioni al contorno
 - Portata di verifica 9.45 m³/s (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle confluenza con il corso d'acqua
interferenza alla Pk 19+425
- Scabrezza (Manning)

- Alveo inciso di progetto $n=0.030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
- Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Dati principali per la verifica corso d'acqua 11+150

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 7
- *N. manufatti* 3
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino di progetto IN43A+IN43D opera ferroviaria*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 4.0x3.0 m
 - Lunghezza 49m
 - I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.*
 - Tombino di progetto IN43B viabilità NV16*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 4.0x3.0 m
 - Lunghezza 10.0m
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica $5.22 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr200)
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle confluenza con il corso d'acqua
interferenza alla Pk 19+150
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso di progetto $n=0.030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Dati principali per la verifica corso d'acqua 11+250

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 14
- *N. manufatti* 3
- *Caratteristiche dei manufatti*
 - Tombino di progetto IN44A+IN44D opera ferroviaria*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 6.0x3.0 m
 - Lunghezza 51.9m
 - I 2 tombini di progetto sono stati modellati come un unico manufatto.*
 - Tombino di progetto IN44B sotto viabilità esistente*
 - Tipologia tombino
 - Larghezza x Altezza 7.0x3.0 m
 - Lunghezza 6.0m
- *Condizioni al contorno*
 - Portata di verifica $10.93 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr200)
 - Portata di verifica $17.98 \text{ m}^3/\text{s}$ (Tr200)
 - Cambio di portata a valle della confluenza con gli altri due corsi d'acqua*
 - Condizione monte altezza moto uniforme
 - Condizione valle livello Dittaino Tr200: 143.6 m.s.m.m.e
- *Scabrezza (Manning)*
 - Alveo inciso di progetto $n=0.030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
 - Golene $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

Risultati

In Tabella 25, Tabella 26 e Tabella 27 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo i corsi d'acqua analizzati.

Tabella 25 – Risultati post operam Pk 19+150. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
A100	9.45	154.00	154.64	154.71	154.92	2.32	1.26
A090	9.45	152.39	153.05	153.25	153.71	3.59	1.57
A080 monte tombino IN42A	9.45	151.37	152.11	152.22	152.61	3.14	1.29
A070	9.45	150.28	151.13	150.99	151.48	2.64	1.00
A060	9.45	148.85	149.59	149.71	150.09	3.13	1.31
A060m	9.45	147.82	148.47	148.66	149.15	3.67	1.62
A060v	9.45	147.63	148.30	148.47	148.93	3.50	1.52
A050	9.45	146.90	147.60	147.76	148.17	3.33	1.43
A040	9.45	145.62	146.32	146.48	146.89	3.33	1.43
A030	9.45	145.43	145.99	146.19	146.65	3.60	1.65
A020	9.45	143.93	144.65	144.79	145.18	3.21	1.36
A010	9.45	143.69	144.40	144.55	144.95	3.28	1.40
A009	9.45	143.69	144.47	144.55	144.90	2.90	1.19

Tabella 26 – Risultati post operam Pk 19+279. Tr 200 anni.

Sezione	Portata [m ³ /s]	Fondo alveo SdP [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello altezza critica [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	Froude
B060	5.22	151.65	152.30	152.39	152.62	2.52	1.27
B050	5.22	150.27	150.95	151.07	151.38	2.94	1.41
B040 monte t.	5.22	149.07	149.95	149.68	150.05	1.37	0.53
B030	5.22	147.91	148.34	148.52	148.91	3.37	1.79
B021	5.22	146.74	147.28	147.34	147.63	2.61	1.18
B020	5.22	146.58	147.18	0.00	147.46	2.34	1.00
B010	5.22	143.93	144.40	144.53	144.86	3.03	1.55

Tabella 27 – Risultati post operam Pk 19+425. Tr 200 anni.

Sezione	Portata	Fondo alveo SdP	Livello idrico	Livello altezza critica	Livello energetico	Velocità	Froude
---------	---------	--------------------	-------------------	----------------------------	-----------------------	----------	--------

	[m³/s]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[m/s]	
C120	10.93	151.33	152.27	152.42	152.82	3.29	1.32
C110	10.93	149.93	150.85	151.09	151.54	3.69	1.54
C100 monte FS IN44A	10.93	148.47	149.05	149.29	149.82	3.88	1.77
C90	10.93	147.23	147.70	148.05	148.93	4.91	2.45
C80	10.93	145.74	146.44	146.56	146.93	3.10	1.30
C70	10.93	144.26	144.96	145.08	145.45	3.09	1.30
C060	17.98	142.99	143.69	144.09	145.02	5.11	2.15
C050	17.98	142.79	143.56	143.89	144.60	4.50	1.81
C040 monte t. poderale - IN44B	17.98	142.62	143.44	143.71	144.34	4.20	1.65
C040V	17.98	142.30	142.91	143.18	143.81	4.21	1.72
C30m valle poderale	17.98	142.09	143.60	142.80	143.63	0.77	0.23
C030	17.98	141.36	143.60	142.08	143.61	0.55	0.13
C020	17.98	140.51	143.60	141.24	143.61	0.34	0.07
C010	17.98	139.27	143.60	140.10	143.60	0.30	0.05

In Figura 41, Figura 42 e Figura 43 sono riportati i profili idrici di calcolo.

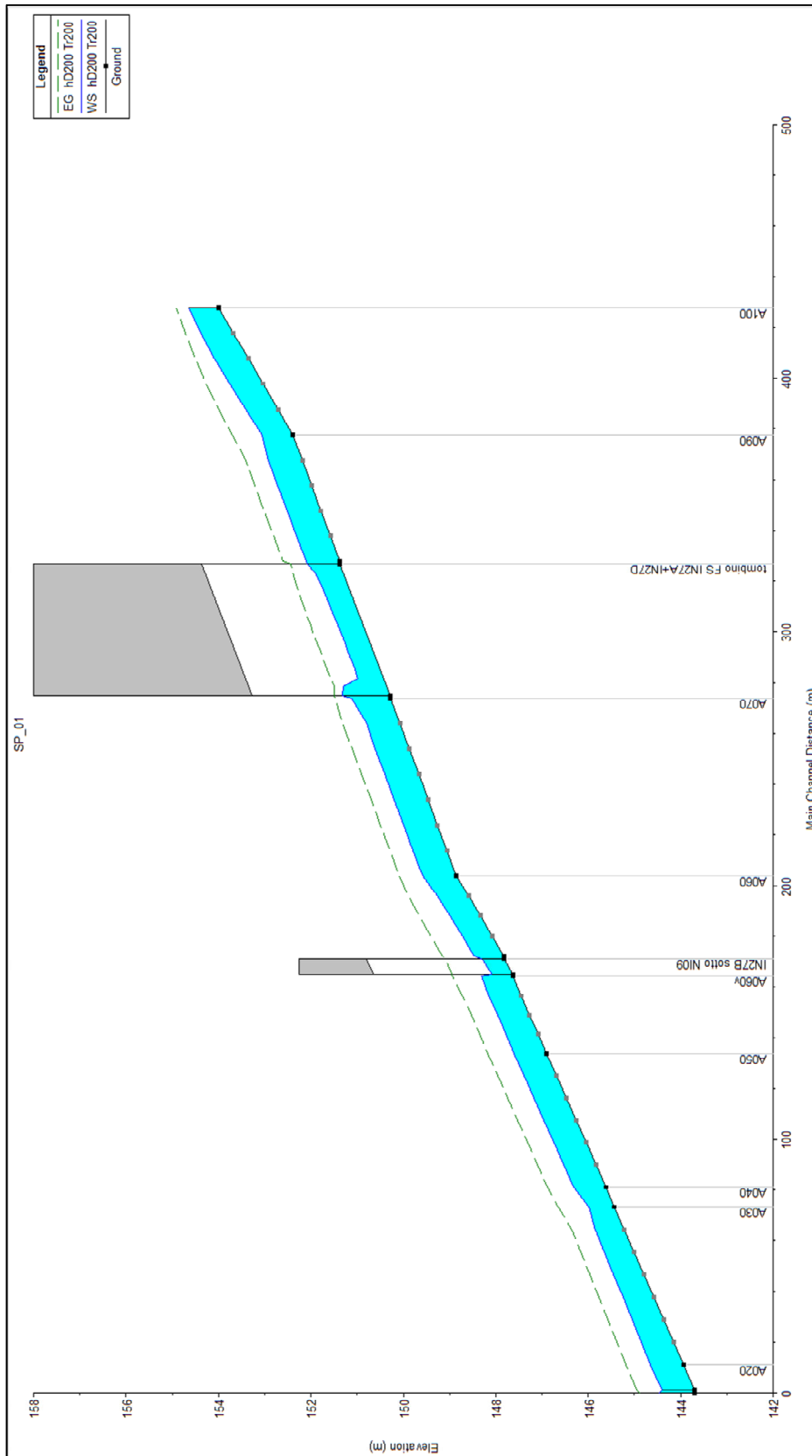


Figura 41 – Profilo idraulico post operam Pk 19+150. Tr 200 anni.

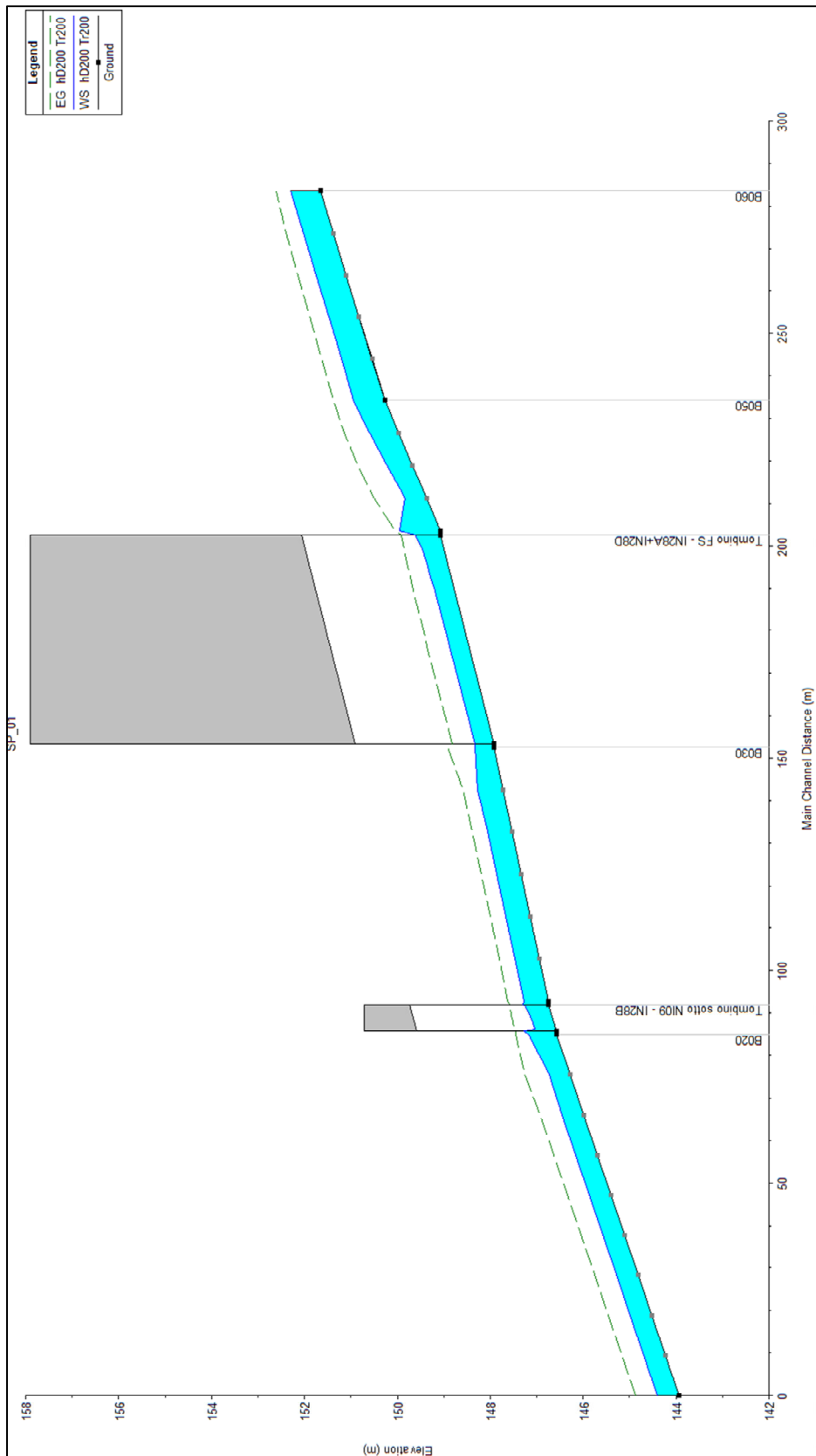


Figura 42 – Profilo idraulico post operam Pk 19+279. Tr 200 anni.

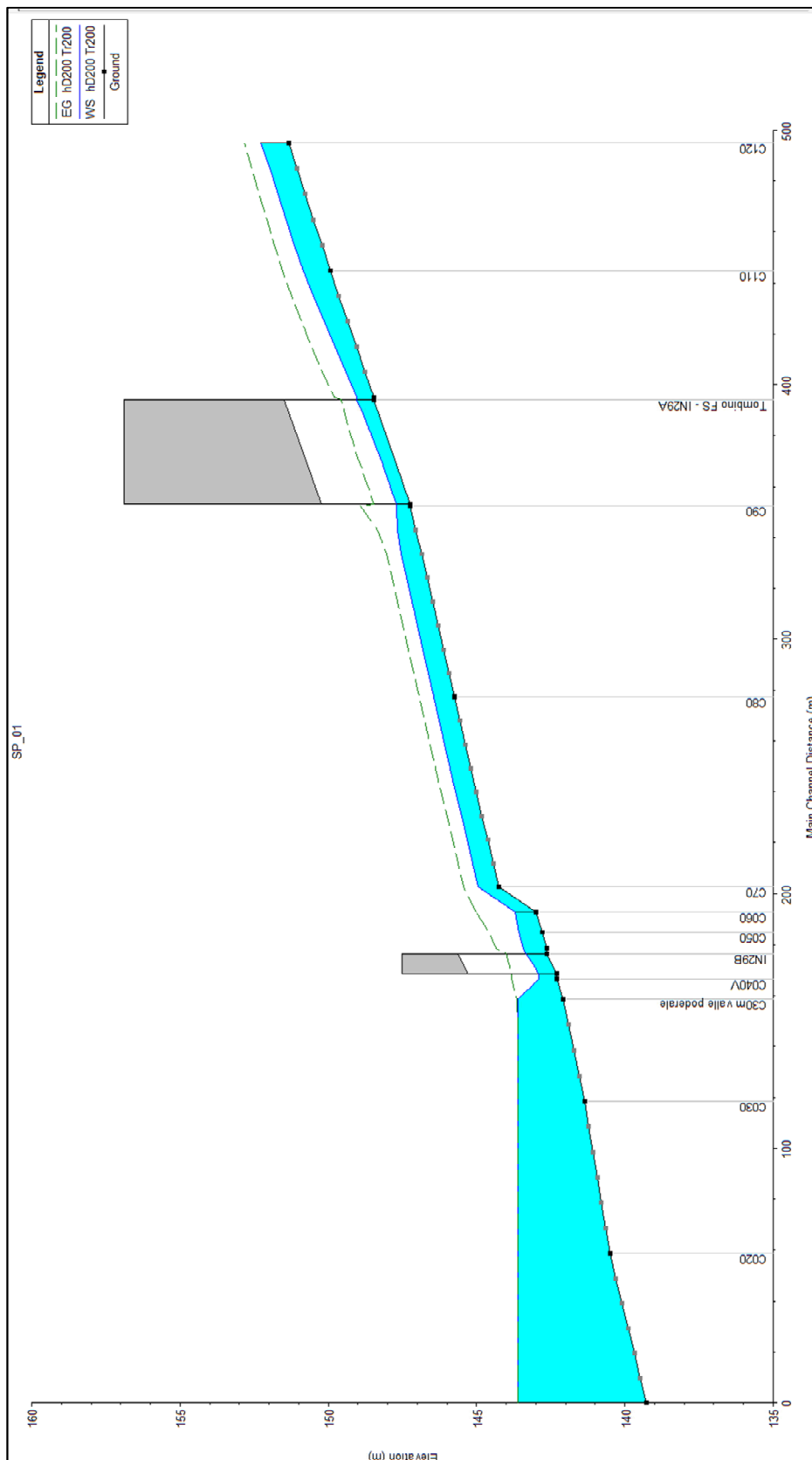


Figura 43 – Profilo idraulico post operam Pk 19+425. Tr 200 anni.

I manufatti in progetto sono caratterizzati dai valori del grado di riempimento riportati in Tabella 28 e soddisfano i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 28 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 10+620. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
IN42A	A080 monte tombino IN42A	151.37	152.11	0.74	3.00	24.7%
IN42B	A060m monte tombino IN42B	147.82	148.47	0.65	3.00	21.7%
IN43A	B040 monte tombino IN43A	149.07	149.95	0.88	2.00	44.0%
IN43B	B021 monte tombino IN43B	146.74	147.28	0.54	2.00	27.0%
IN44A	C100 monte FS IN44A	148.47	149.05	0.58	3.00	19.3%
IN44B	C040 monte t. poderale - IN44B	142.62	143.44	0.82	3.00	27.3%

In particolare, i tombini IN42 e IN44 presentano un grado di riempimento massimo non superiore al 33% come richiesto dalle criticità legate al trasporto solido che caratterizzano questi due corsi d'acqua.

5.8.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre alla deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza variabile per ciascuna corso d'acqua e pendenza delle sponde 2:3.

Poiché le interferenze alla Pk 19+150 e Pk 19+425 risultano caratterizzate da problematiche legate al trasporto solido, si è scelto di rivestire tali canale, e per analogia anche la sistemazione a Pk 19+279, in c.a. con una finitura superficiale in massi cementati, agevolando con tale soluzione anche le operazioni di manutenzione.

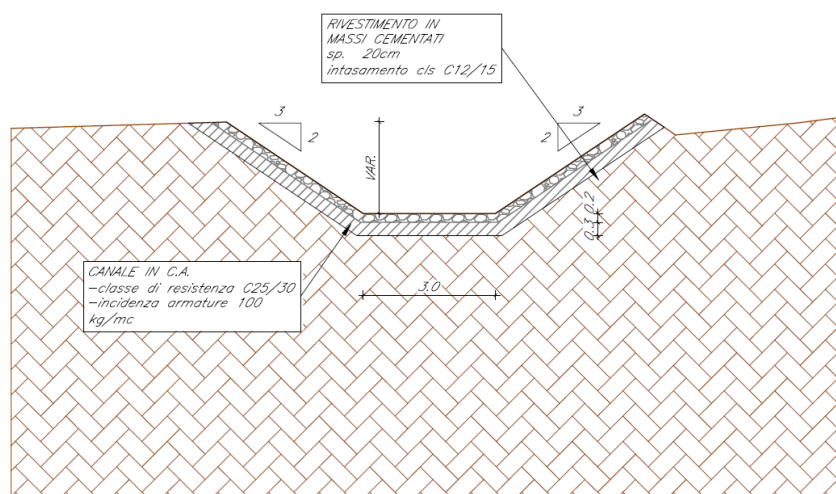


Figura 44 – Sezione tipo sistemazione Pk 19+150 e Pk 19+279

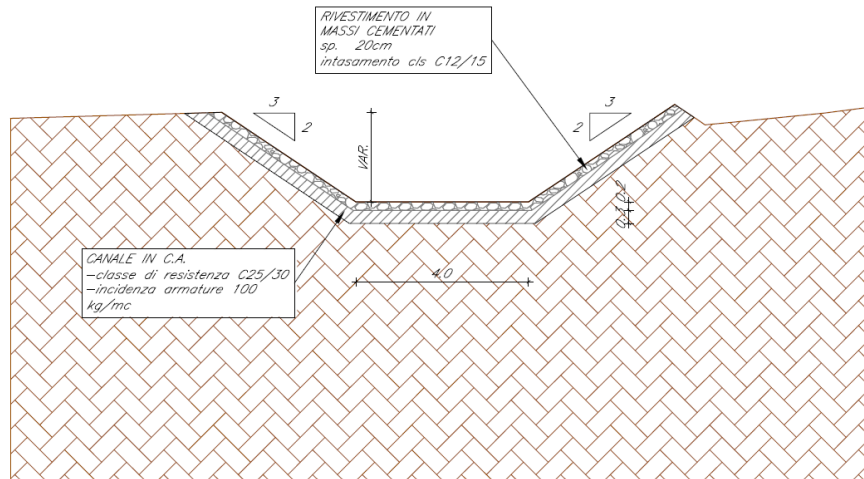


Figura 45 – Sezione tipo sistemazione Pk 19+425

6 VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE MINORI

Per i corsi d'acqua minori privi di una evidente incisione a monte e a valle del manufatto ferroviario, le verifiche idrauliche sono state condotte in condizioni di moto uniforme, applicando la relazione di Gauckler – Strickler (cfr. par. 3.3).

Il valore del coefficiente di scabrezza per le strutture in calcestruzzo è stato assunto pari a $K_s=50\text{m}^{1/3}/\text{s}$ (Manning $n=0.02\text{ s/m}^{1/3}$).

Secondo quanto prescritto dalla normativa, il manufatto idraulico risulta verificato se il grado di riempimento rispetta le condizioni riassunte nella tabella seguente.

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e circolare applicativa NTC2008
Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)	<i>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</i>	-

Considerate queste condizioni e l'approccio semplificato adottato (relazione di moto uniforme), i tombini minori sono stati cautelativamente dimensionati nel rispetto di un grado di riempimento massimo:

$$\frac{y_m}{D} \leq 0.50$$

con D altezza del tombino e y_m livello idrico nella sezione di monte.

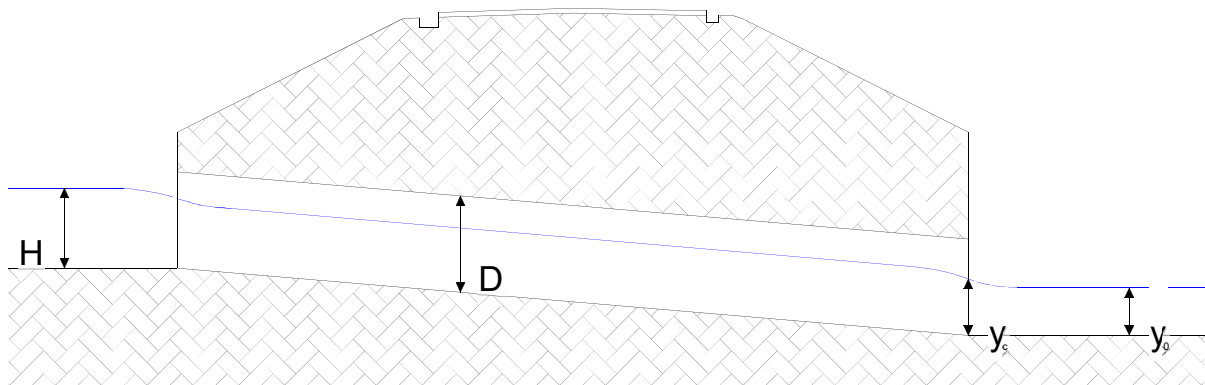


Figura 46 – Schema profilo longitudinale tombino/ponticello.

Nel caso di attraversamenti caratterizzati da problematiche di trasporto solido, che nello specifico interessa il solo manufatto minore IN39 a progressiva 18+230, si è, invece, considerato un grado di riempimento massimo non superiore a 1/3 dell'altezza, D, del tombino.

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

Tabella 29 - Verifica opere minori

PK	WBS	Qprogetto m ³ /s	i	n	base m	D m	y_m m	v m/s	H m	H/D
9+150	IN20A	4.25	0.010	0.02	2.00	2.00	0.75	2.84	1.16	0.37
13+520	IN27A	3.58	0.010	0.02	2.00	2.00	0.66	2.71	1.03	0.33
16+300	IN34A	5.85	0.010	0.02	2.50	2.00	0.77	3.81	1.51	0.38
18+230	IN39A	3.15	0.010	0.02	2.00	2.00	0.60	2.63	0.95	0.30
22+570	IN51A	2.93	0.010	0.02	2.00	2.00	0.57	2.55	0.91	0.29

7 VERIFICHE IDRAULICHE CANALI

Alla pk 12+600, in corrispondenza della trincea TR15 in prossimità dell'imbocco lato PA della Galleria San Filippo, la linea ferroviaria in progetto interferisce con il reticolo idrografico. È prevista dunque una deviazione di tale fosso, che corre parallelamente alla linea ferroviaria tra la pk 12+675 e la pk 12+350 e recapita nell'incisione alla pk 12+338.83.

La deviazione ha sezione trapezia di base 1.5 m, altezza minima 1.5m e pendenza sponde 1/1. Il rivestimento è costituito da massi intasati con malta cementizia.

SEZIONE TIPO IN25A Scala 1:100

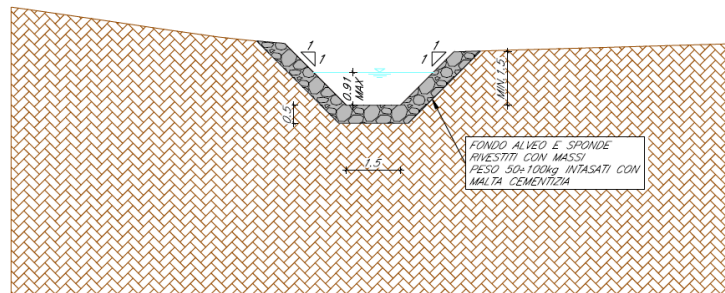


Figura 47 – Sezione tipo Sistemazione idraulica IN25A – pk 12+675-12+350.

Alla pk 19+450, in prossimità dell'imbocco lato PA della Galleria Salvatore, la linea ferroviaria in progetto interferisce con il reticolo idrografico. È prevista dunque una deviazione di tale fosso, che corre parallelamente alla linea ferroviaria tra la pk 19+600 e la pk 19+425 e recapita nell'incisione alla pk 19+425.

La deviazione ha sezione trapezia di base 1.0 m, altezza minima 1.5m e pendenza sponde 1/1. Il rivestimento è costituito da massi intasati con malta cementizia.

Alla pk 20+350, in prossimità dell'imbocco lato CT della Galleria Salvatore, la linea ferroviaria in progetto interferisce con il reticolo idrografico. È prevista dunque una deviazione di tale fosso, che corre parallelamente alla linea ferroviaria tra la pk 20+350 e la pk 20+720 e recapita nell'incisione alla pk 20+750.

La deviazione ha sezione trapezia di base 1.0 m, altezza minima 1.5m e pendenza sponde 1/1. Il rivestimento è costituito da massi intasati con malta cementizia.

SEZIONE TIPO IN45A e IN46A Scala 1:100

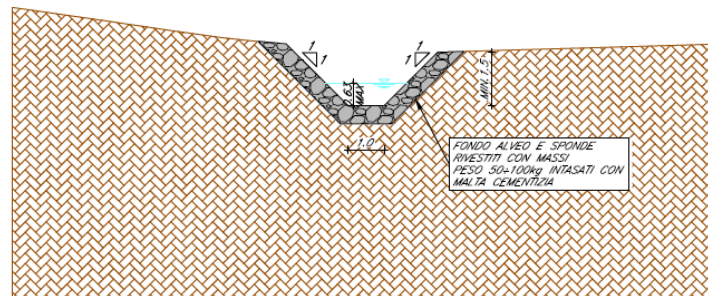


Figura 48 – Sezione tipo Sistemazione idraulica IN45A e IN46A – pk 19+600-19+425 e pk 20+350-20+720.

Tra le pk 16+650 e 17+450 è previsto un canale di gronda per le acque scolanti dal bacino 37 a protezione della trincea TR19. Il canale ha sezione trapezia, con base 3.0m e altezza minima 1.5m, pendenza sponde 3/2. Il rivestimento è da realizzarsi con massi intasati con malta cementizia.

SEZIONE TIPO IN36A Scala 1:100

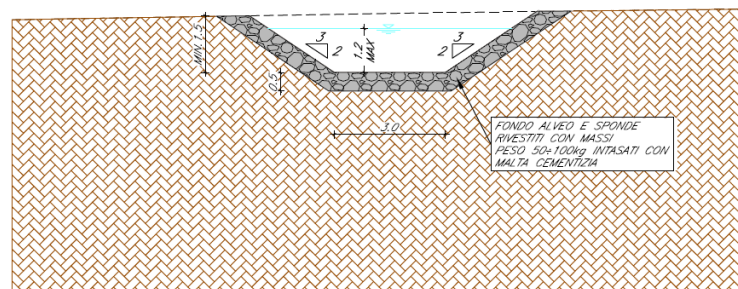


Figura 49 – Sezione tipo Sistemazione idraulica IN36A – pk 16+650-17+450.

Tabella 30 - Verifica Canali

PK	WBS	Qprogetto m ³ /s	i _{min}	n	base m	H _{min} m	Pendenza sponde	y _m m	v m/s	Gr
12+675-12+350	IN25A	4.07	0.009	0.033	1.50	1.50	1/1	0.91	1.85	0.61
19+600-19+425	IN45A	1.88	0.02	0.033	1.00	1.50	1/1	0.57	2.08	0.38
20+350-20+720	IN46A	2.05	0.02	0.033	1.00	1.50	1/1	0.63	2.43	0.42
16+650-17+450	IN36A	6.08	0.002	0.033	3.00	1.50	3/2	1.20	1.08	0.79



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA

RELAZIONE IDRAULICA - TRATTA DA KM 8+290 A 22+800 - OPERE
MINORI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RI	ID0002 001	A	82 di 98

8 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI

8.1 Analisi di compatibilità idraulica

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche riportate nei capitoli precedenti, sono stati verificati i gradi di riempimento massimi richiesti per il transito delle portate con periodo di ritorno di 200 anni, nel rispetto della normativa di riferimento.

Sono, inoltre, stati definiti interventi in alveo utilizzando laddove possibile, opere di protezione di tipo "elastico" quali massi sciolti, gabbioni e materassi tipo Reno, che costituiscono un'affidabile protezione degli stessi dall'azione erosiva della corrente di piena.

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme di attuazione del PAI, in quanto:

- il potenziamento della linea ferroviaria in progetto risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- l'intervento proposto è tale da non aggravare la funzionalità idraulica dell'area;
- gli interventi non aumentano il livello di rischio idraulico non comportando significativo ostacolo al deflusso o riduzione della capacità di invaso delle aree interessate;
- le opere di progetto non precludono la possibilità di eliminare le cause che determinano le attuali condizioni di rischio;
- gli interventi di deviazione presenti in progetto ripropongono le sezioni attuali dei canali e le opere di attraversamento non creano restringimenti e rigurgiti.

Con riferimento alle verifiche idrauliche effettuate, in corrispondenza dei vari attraversamenti si evidenziano franchi idraulici sufficientemente cautelativi e le opere in progetto non modificano significativamente i livelli idrici rispetto alla configurazione ante operam.

Alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Simeto, Area Territoriale tra il bacino del Fiume Simeto e il bacino del Fiume San Leonardo, Lago di Pergusa, Lago di Maletto – Relazione*, 2005.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.

Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso www.osservatorioacque.it.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni"* di cui al D.M. 14 gennaio 2008.



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA-CATANIA-PALERMO

NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA

RELAZIONE IDRAULICA - TRATTA DA KM 8+290 A 22+800 - OPERE
MINORI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 78 RI	ID0002 001	A	85 di 98

DM 14 gennaio 2008, *Nuove norme tecniche per le costruzioni*, Gazzetta Ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2008 - Suppl. Ordinario n. 30.

APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS

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

Caratteristiche del modello matematico

Di seguito vengono esposti i fondamenti teorici alla base della modellazione idraulica monodimensionale, effettuata mediante il codice di calcolo HEC-RAS RIVER 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 computato, nel caso di correnti lente, a partire dalla sezione di valle, risolvendo per via iterativa l'equazione dell'energia, ossia:

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

Dove: Y_1 e Y_2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z_1 e Z_2 rappresentano rispettivamente le elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V_1 e V_2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte, α_1 e α_2 i rispettivi coefficienti di Coriolis, g l'accelerazione di gravità e h_e le perdite di energia tra le due sezioni.

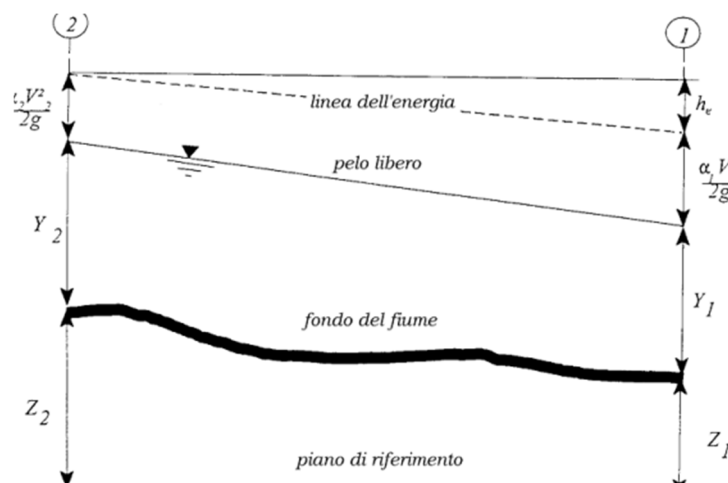


Figura 50 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 50 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 compressive 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 51).

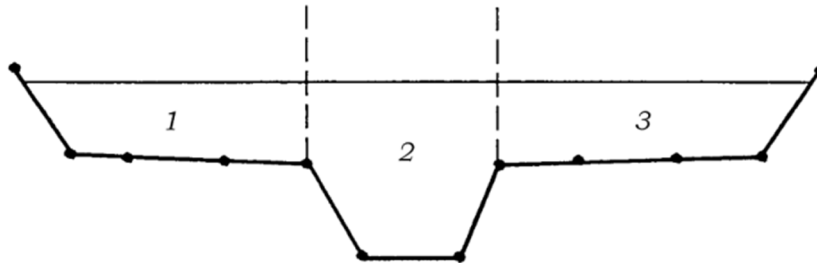


Figura 51 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 51 indicata con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte i -esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning :

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

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

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

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che, per la costanza di J , la portata di ogni singola area $Q_i = K_i \sqrt{J}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che 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 $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 .

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

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

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, sovralzato 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 52.

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.

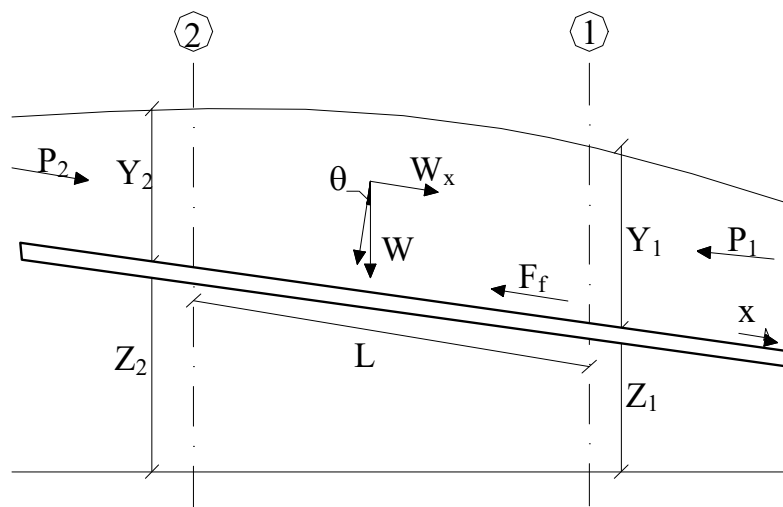


Figura 52 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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

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

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

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

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

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

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

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

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

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 53 e Figura 54, 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.

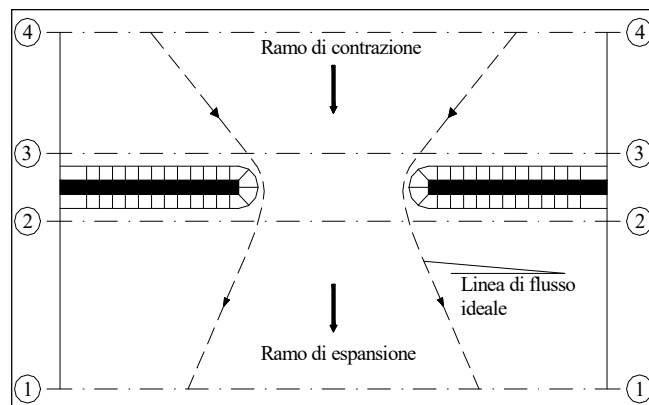


Figura 53 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale

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 54.

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:

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

Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

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

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

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

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

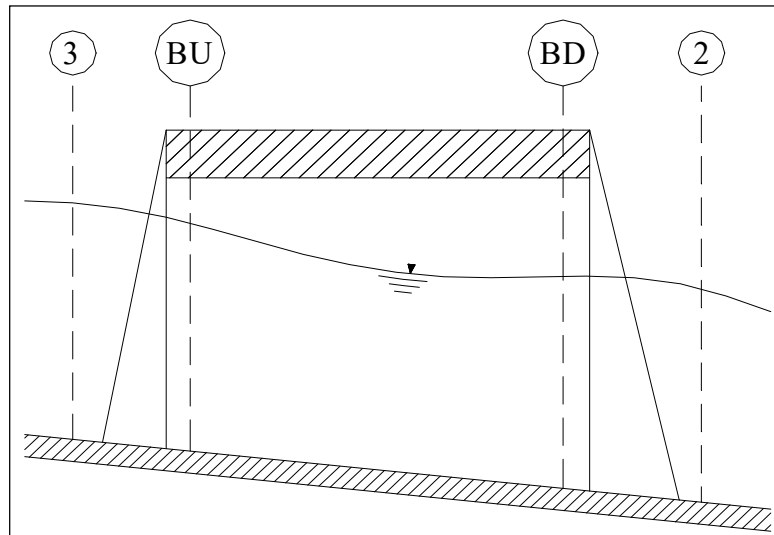


Figura 54 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale

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

Tabella: Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

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

Con riferimento alle Figura 53 e Figura 54, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono valutate nel modo seguente:

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

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K , coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, tab.

2; ω rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V_2 la velocità a valle della sezione.

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

Tabella: 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 56, 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.

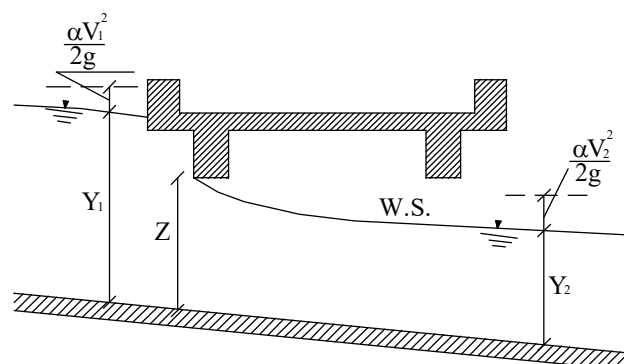


Figura 55 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

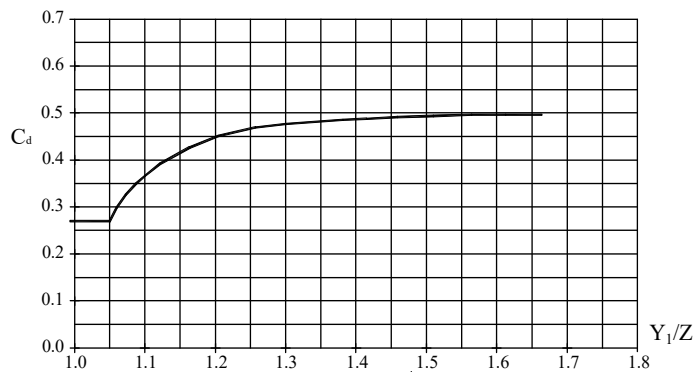


Figura 56 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

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 57.

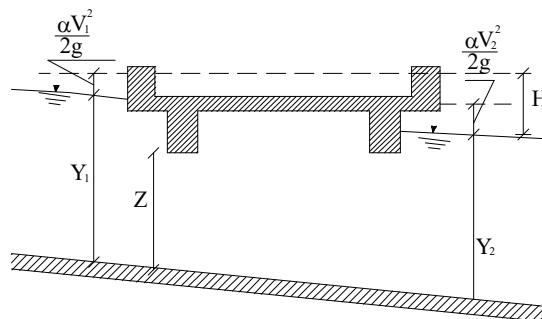


Figura 57 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 58, 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.

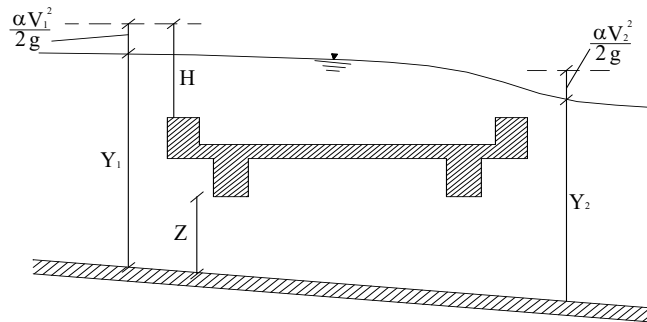


Figura 58 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

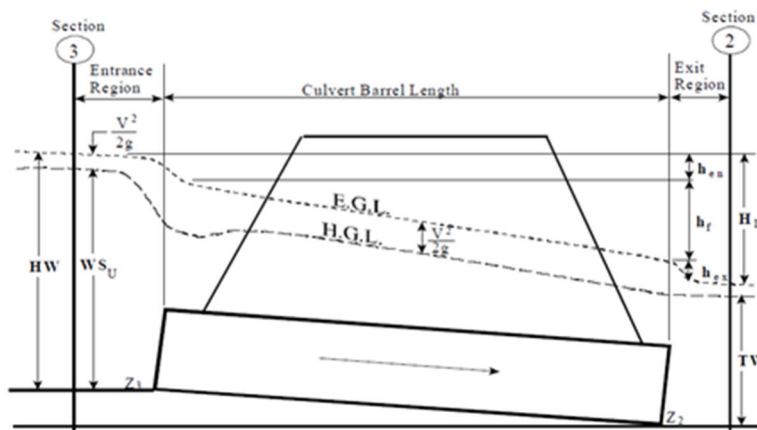


Figura 59 - Schema di un tombino ponticello

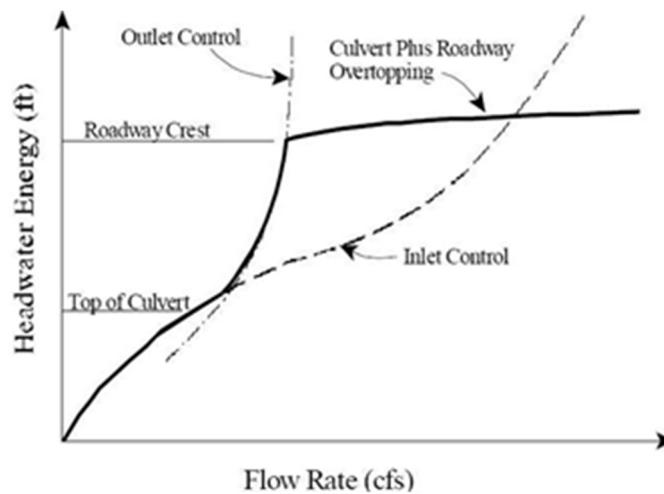


Figura 60 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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

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

Deflusso libero:

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

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

Deflusso rigurgitato:

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

Dove:

HW_i livello dell'energia all'imbocco

D altezza interna del tombino

H_c altezza critica

Q portata

A area della sezione interna del tombino

S pendenza

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

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

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

dove:

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

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

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

g accelerazione di gravità;

H_L perdita di carico attraverso il tombino.

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

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

Dove:

h_{en} perdite in entrata

h_f perdite per attrito

h_{ex} perdite in uscita.

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

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

Dove:

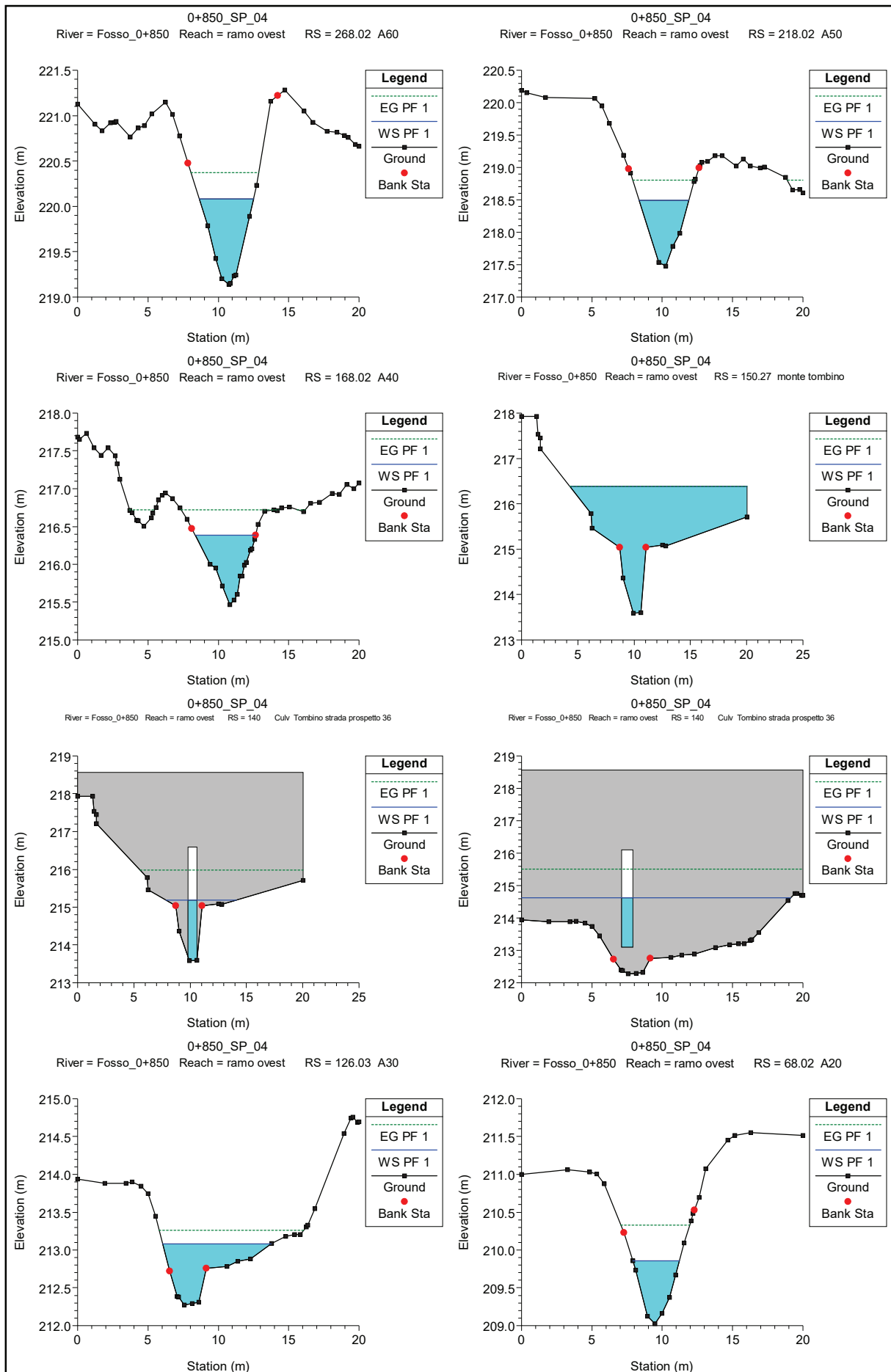
h_f perdite per attrito

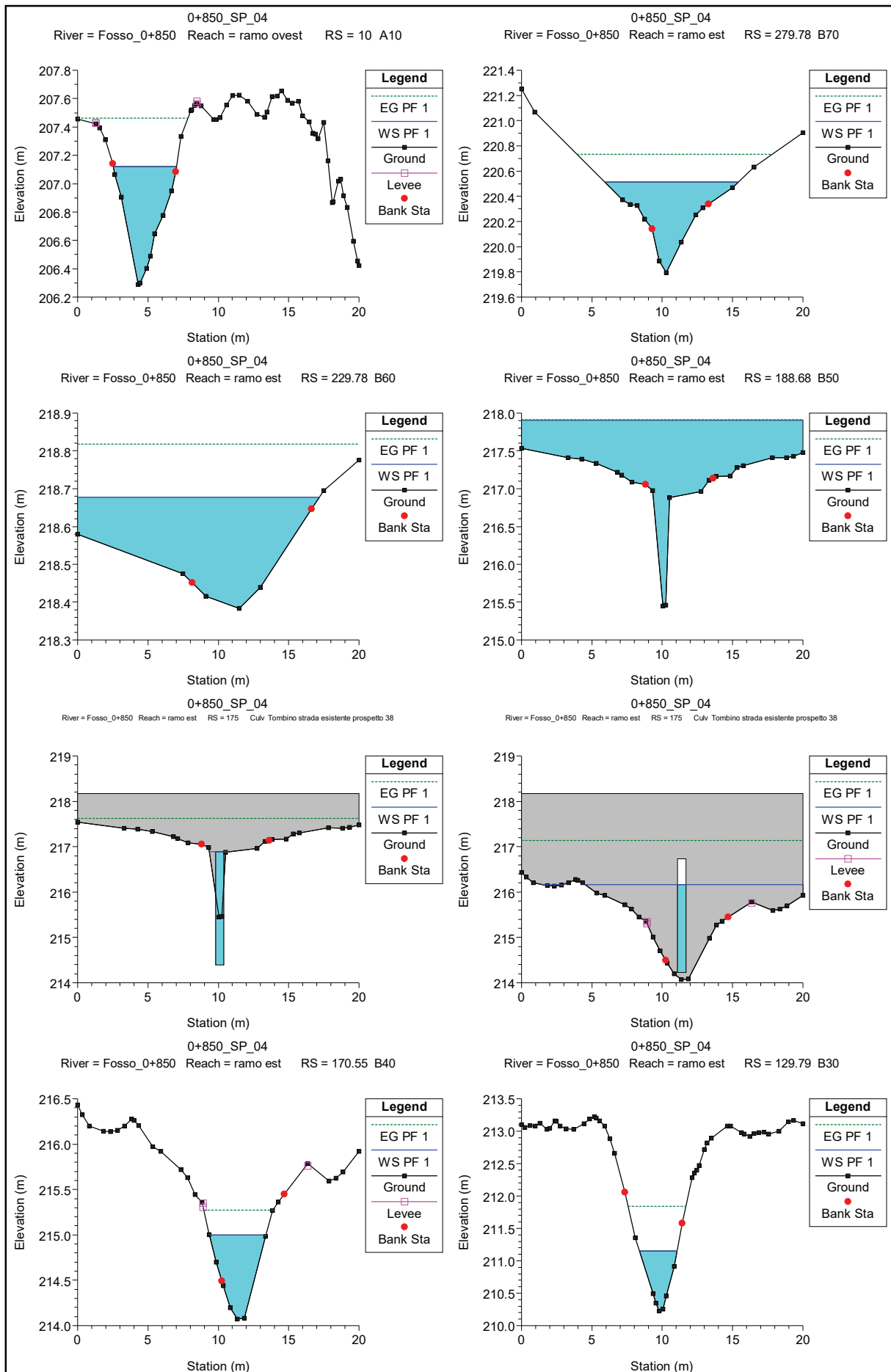
- L lunghezza del tombino
- Q portata
- n coefficiente di scabrezza di Manning
- A area della sezione di flusso
- R raggio idraulico.

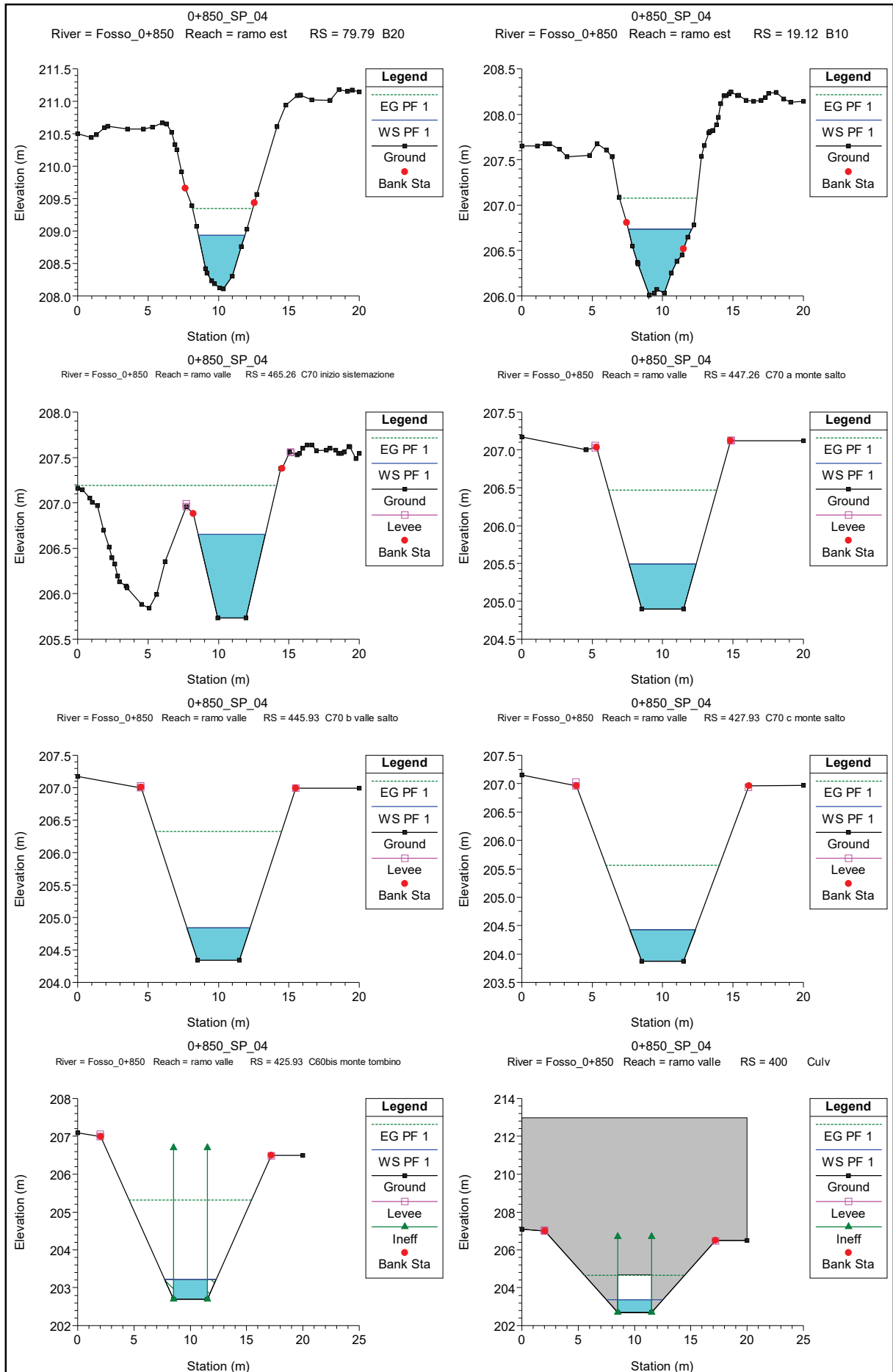
Le perdite di ingresso sono calcolate come frazione del carico cinetico a monte, e analogamente per quelle di uscita, secondo il carico cinetico di valle. Tali coefficienti dipendono fortemente dalla geometria che caratterizza l'imbocco e lo sbocco dell'opera.

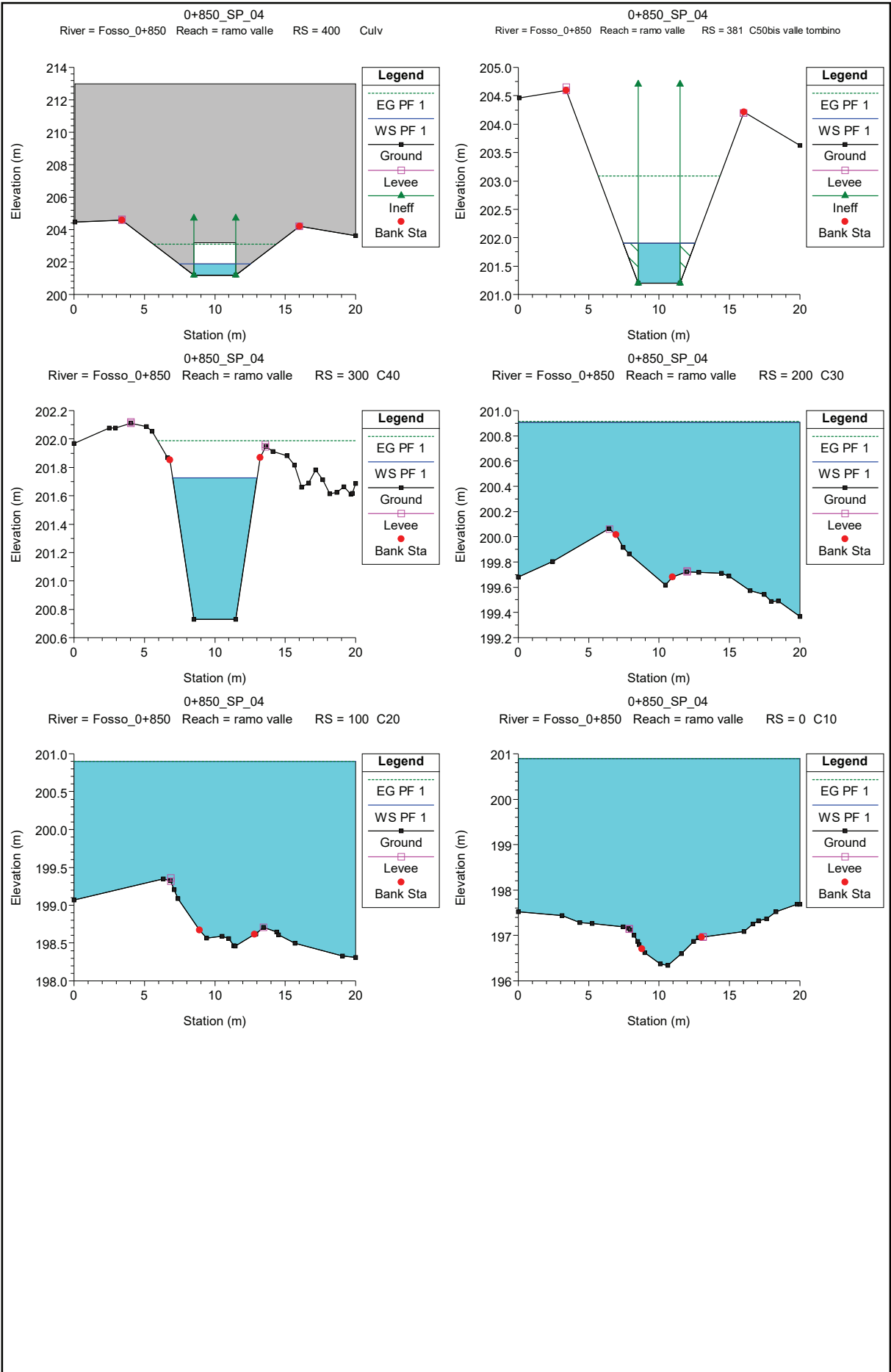
APPENDICE B – SEZIONI HEC-RAS

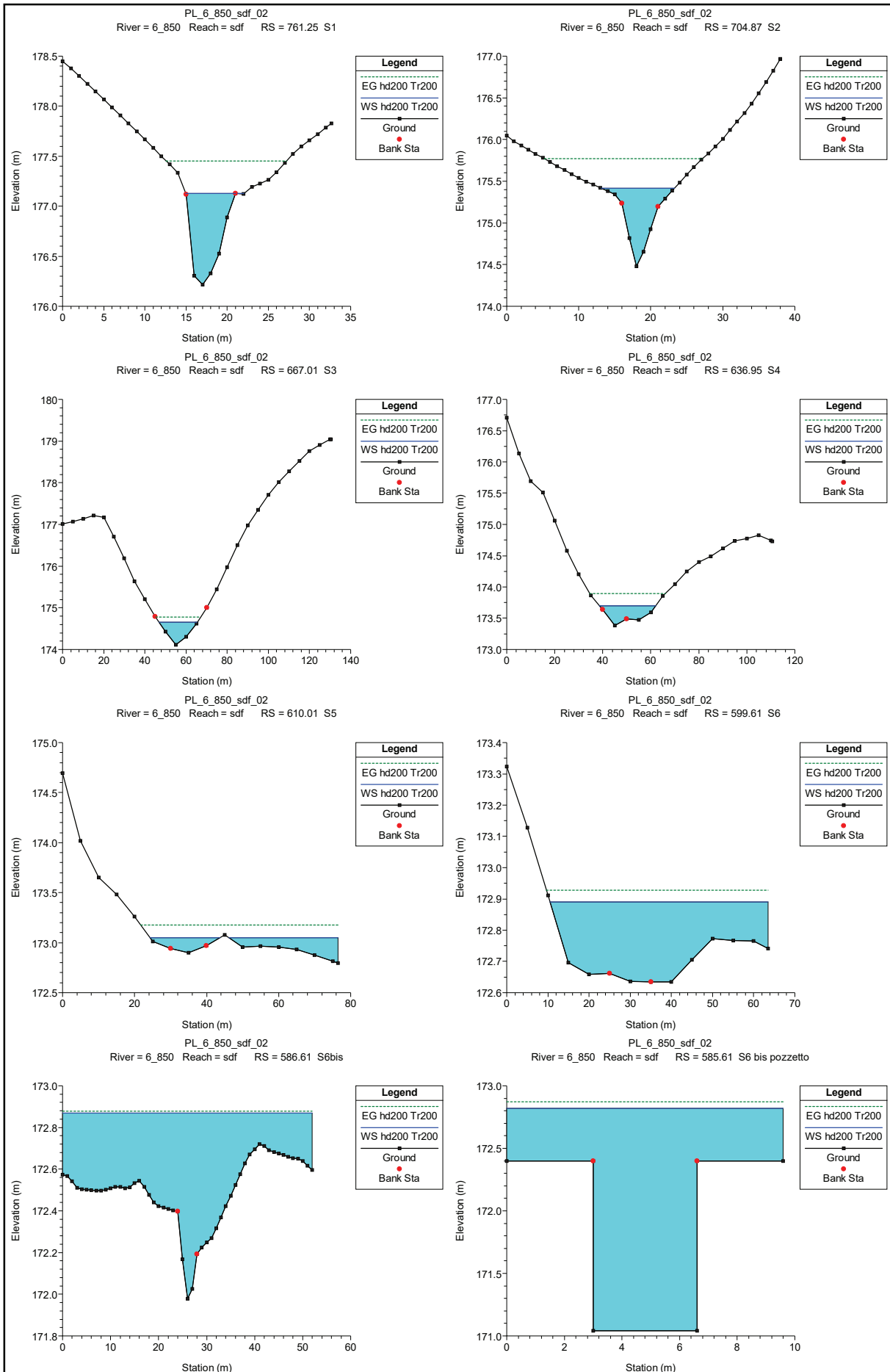
ID	Pk	ID su sez hec-ras
19	8+985	0+850
31	15+005	6+850
32	15+428	7+300
34	15+917	7+750
38	17+993	9+770
39	18+050	9+900
42	18+770	10+620
44	19+150	11+000
46	19+279	11+150
48	19+425	11+250

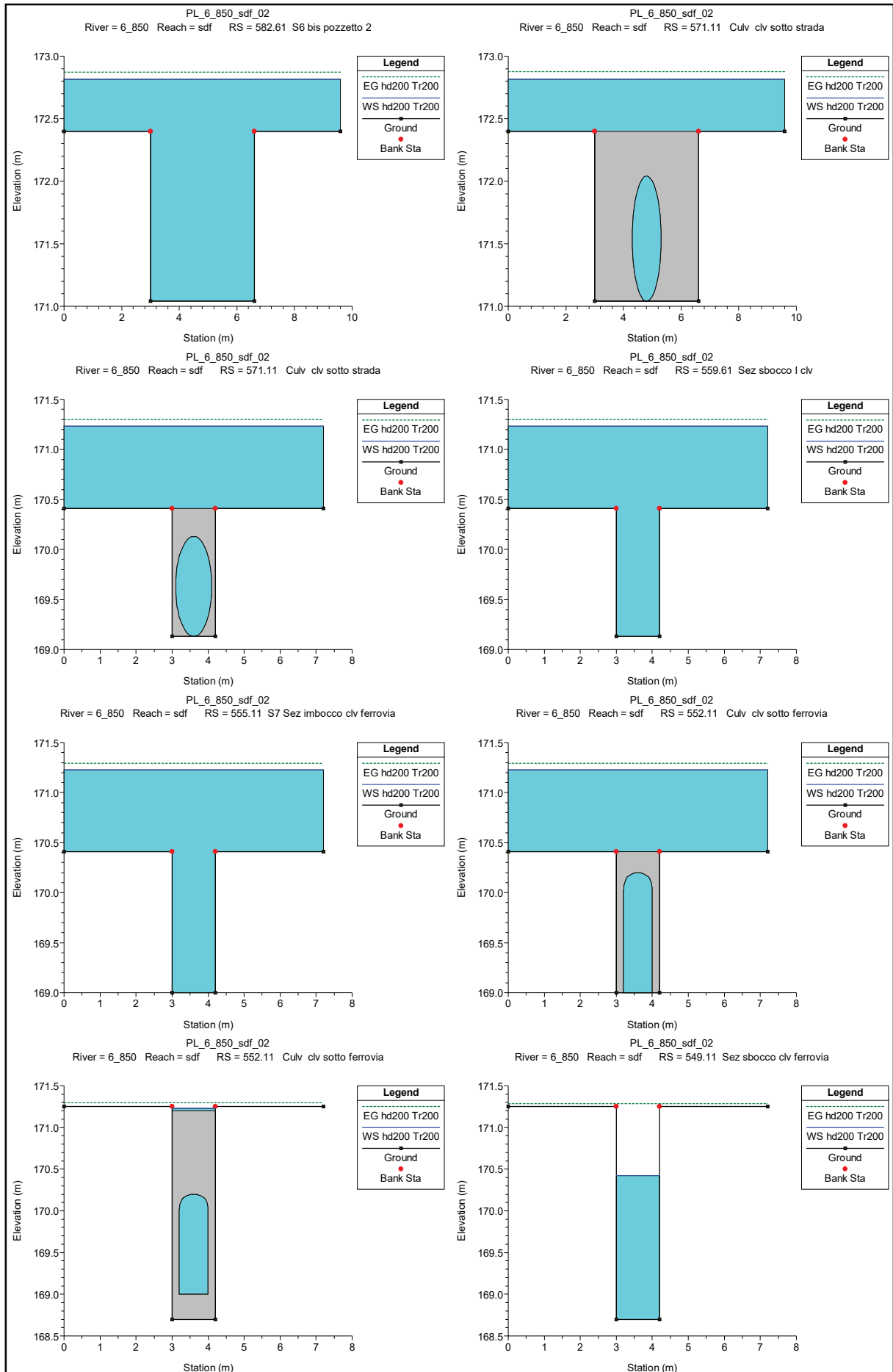


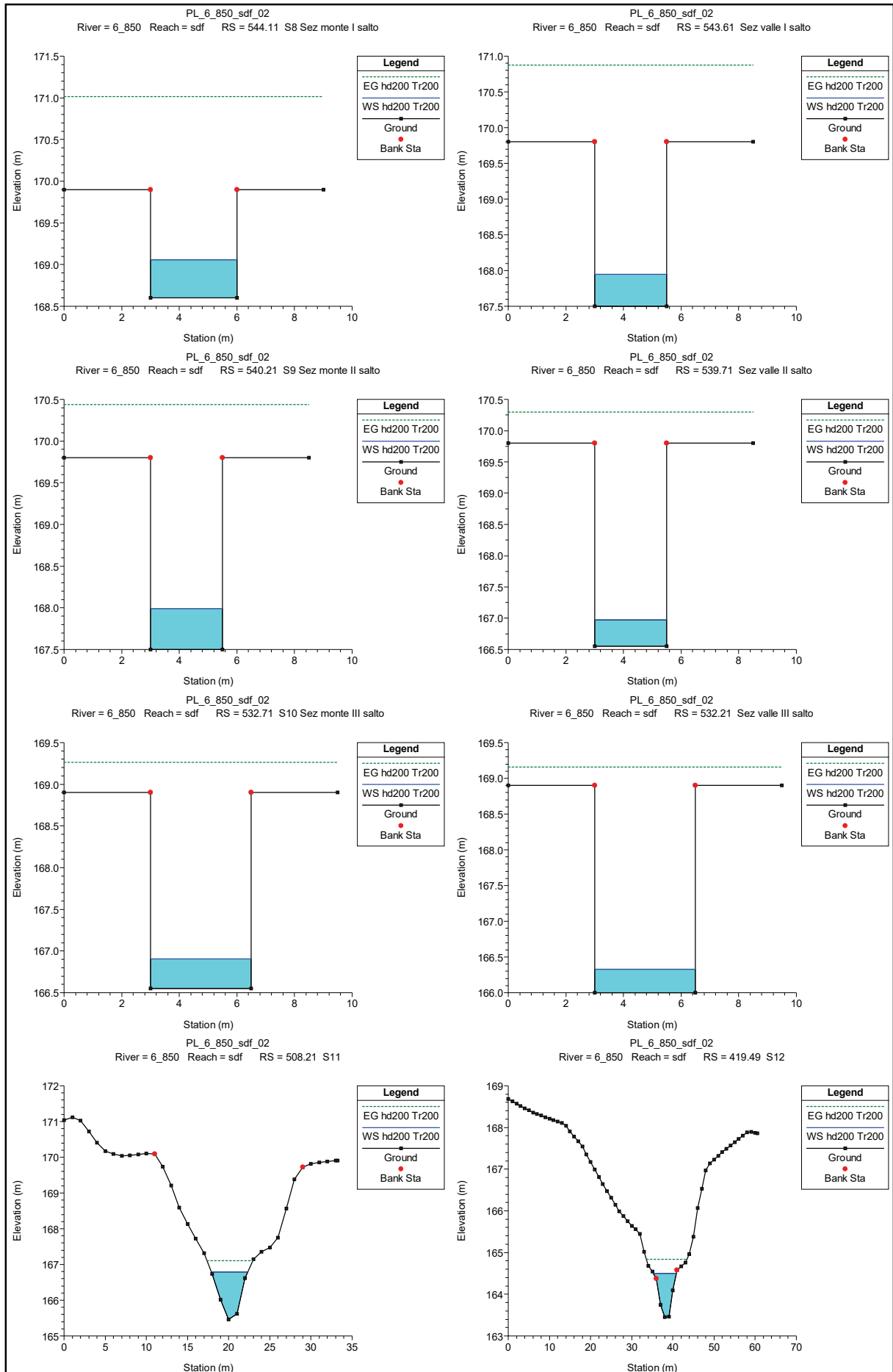


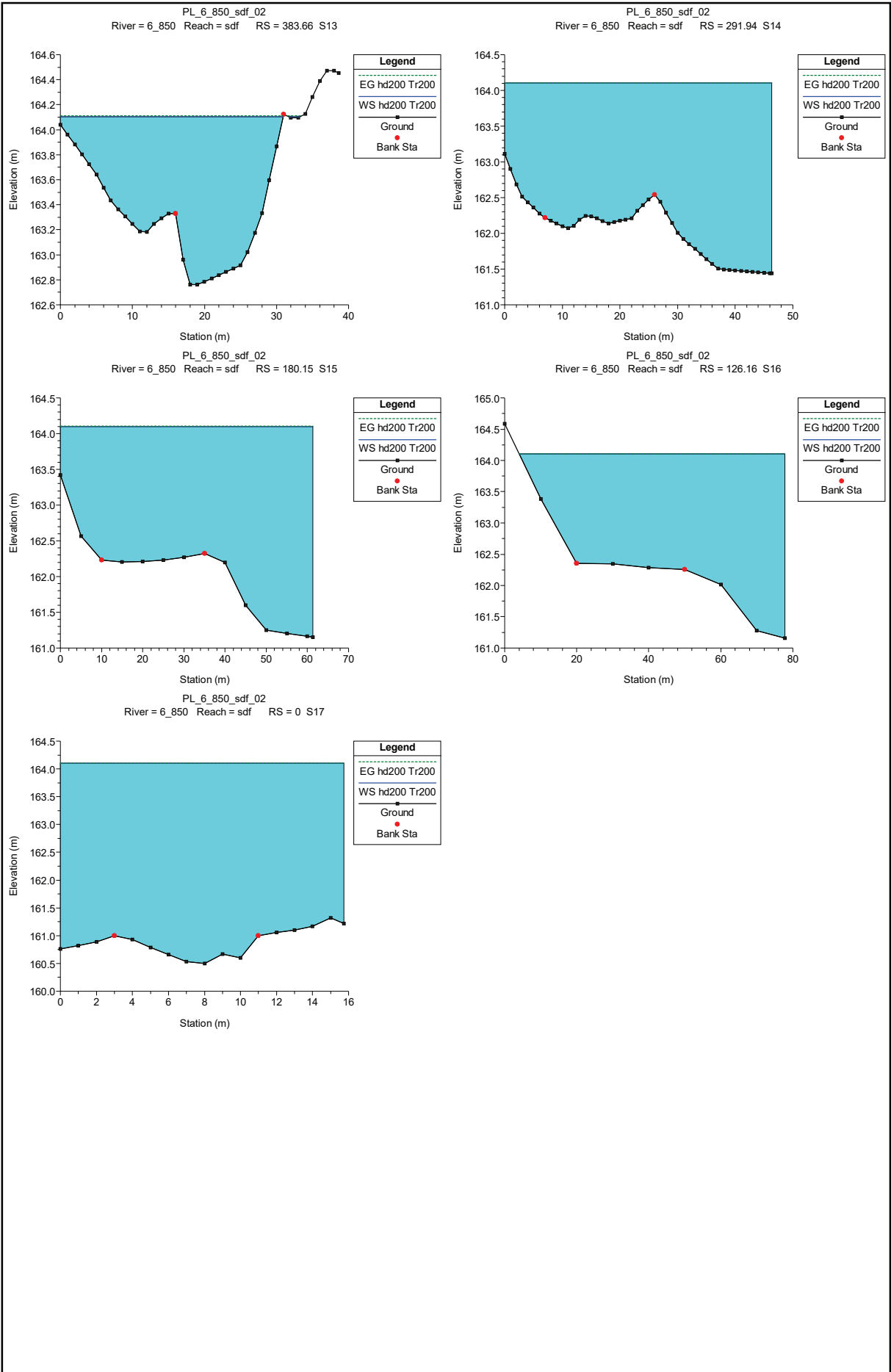


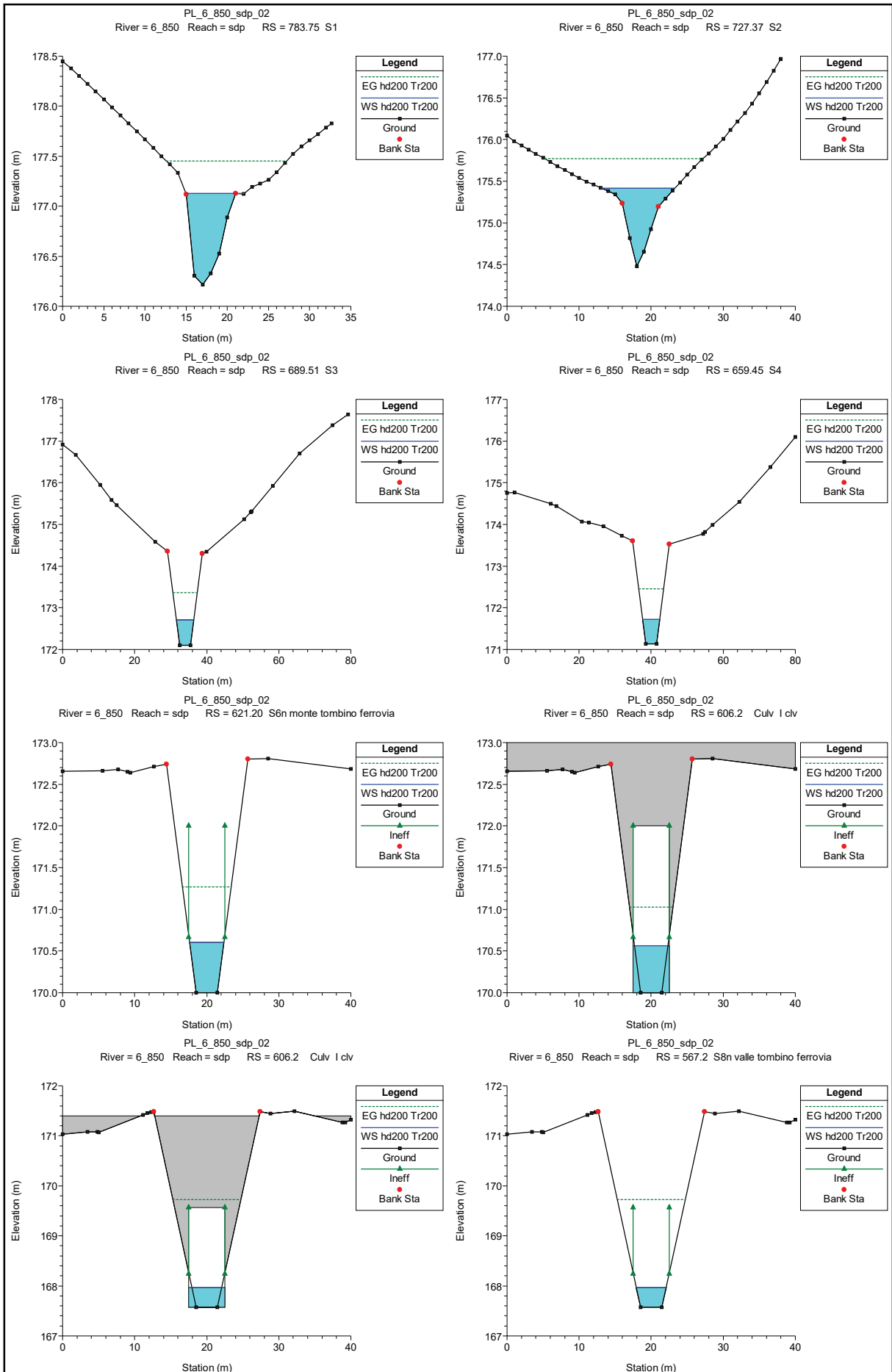


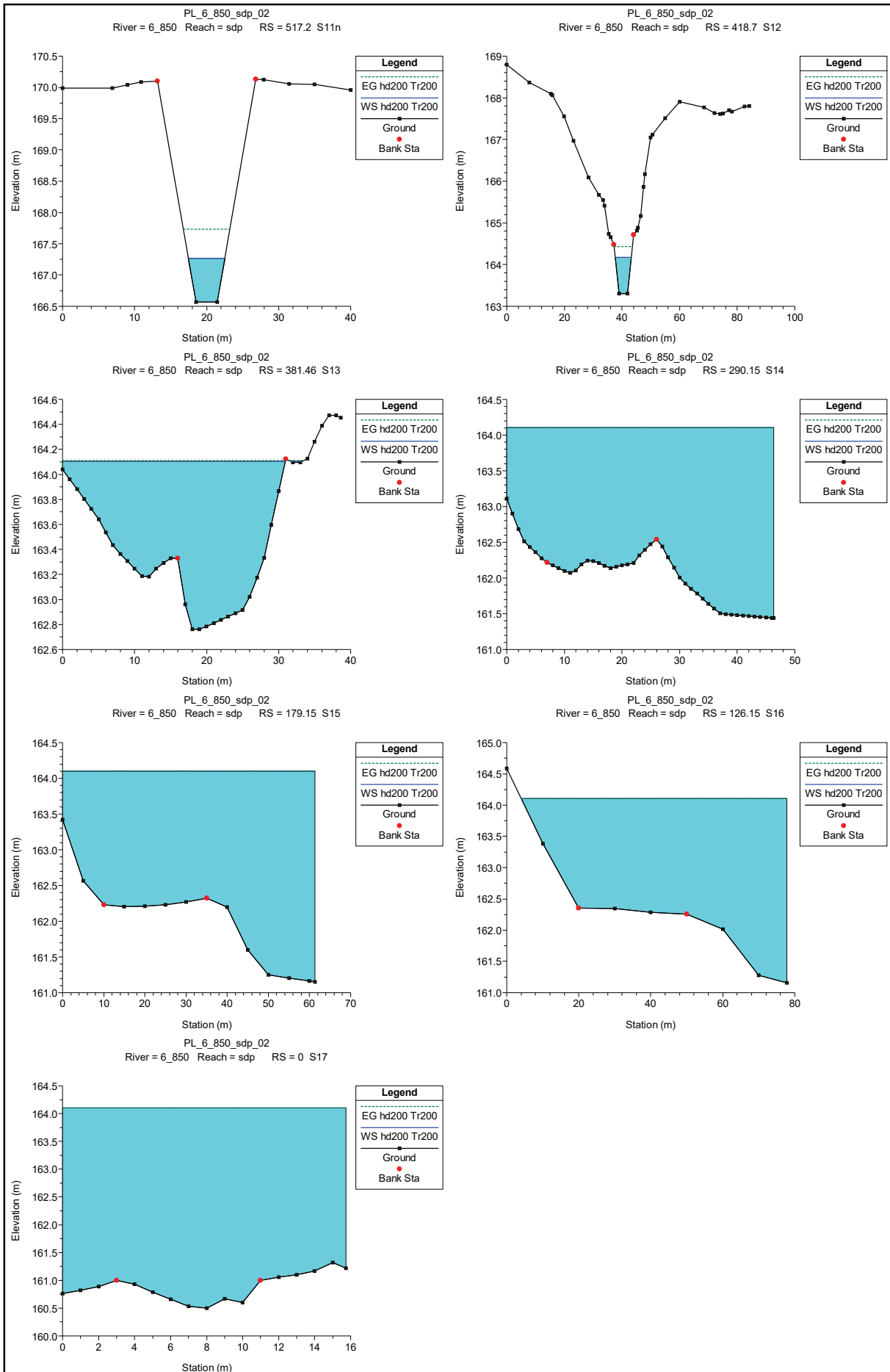


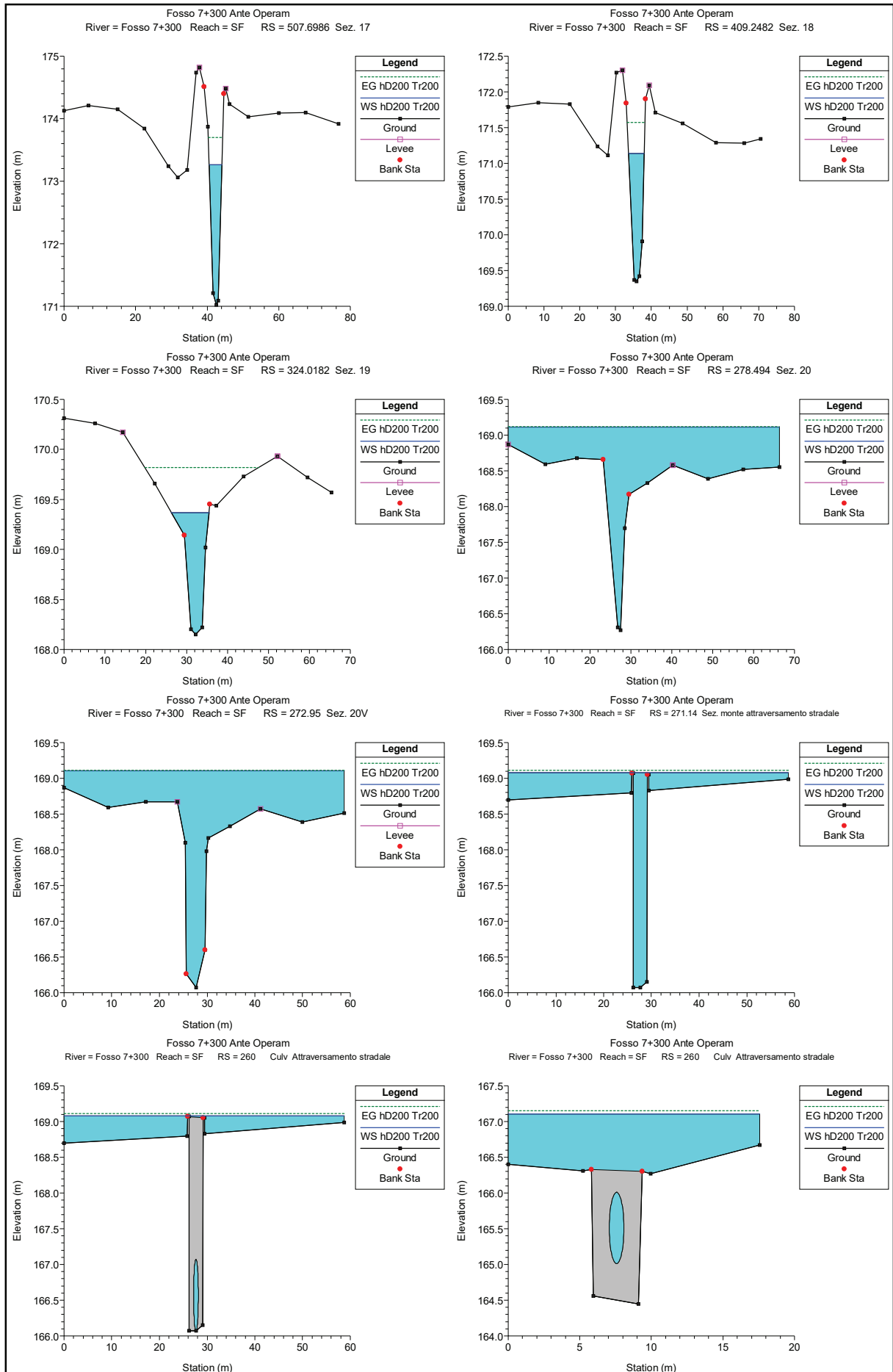


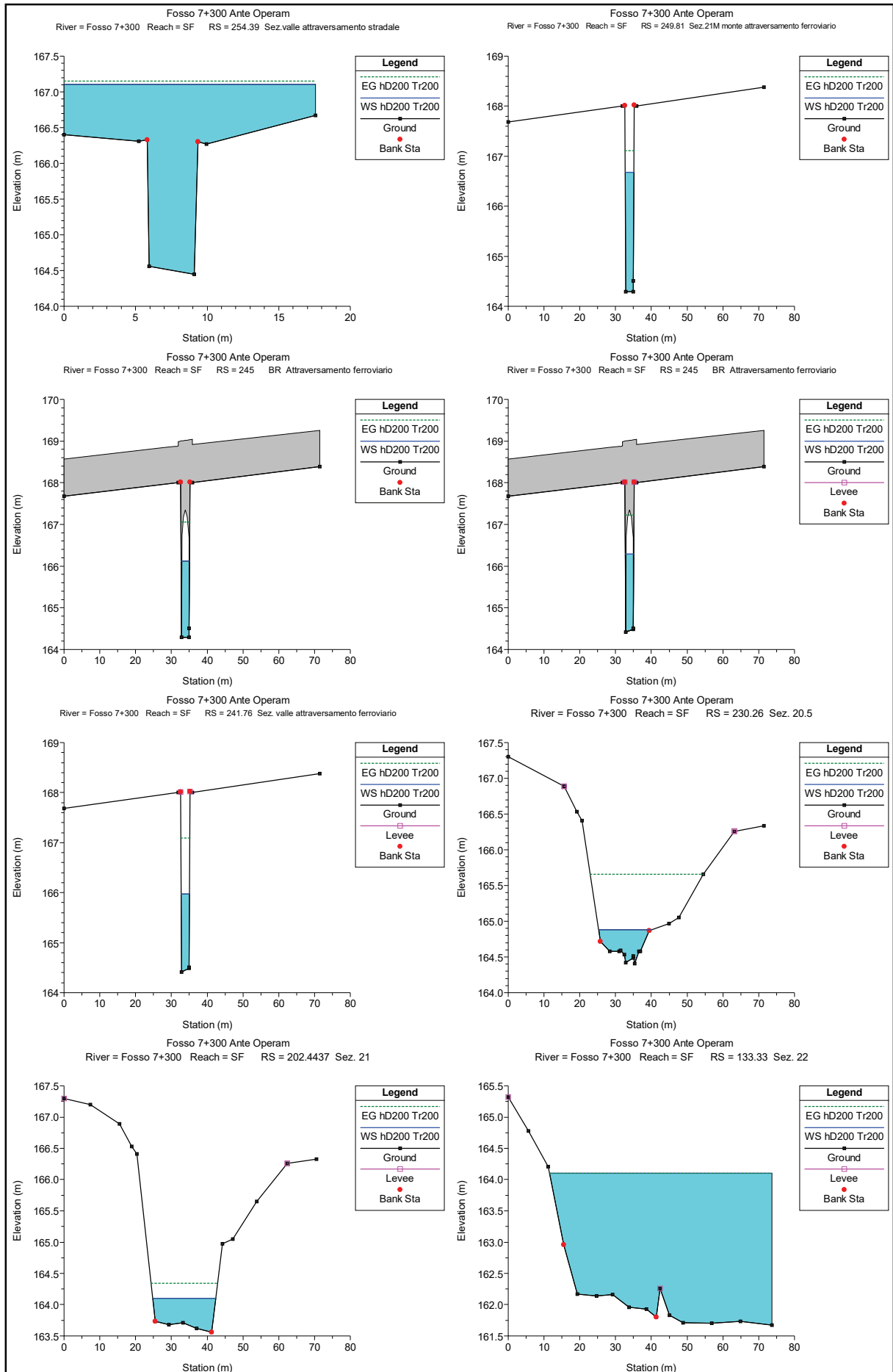




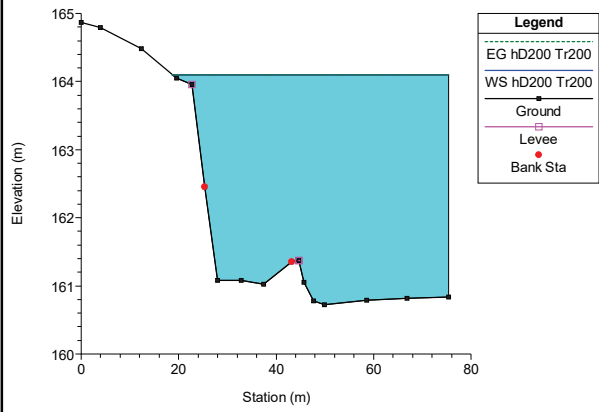








Fosso 7+300 Ante Operam
 River = Fosso 7+300 Reach = SF RS = 60.70889 Sez. 23



Fosso 7+300 Ante Operam
 River = Fosso 7+300 Reach = SF RS = 11.26863 Sez. 24

