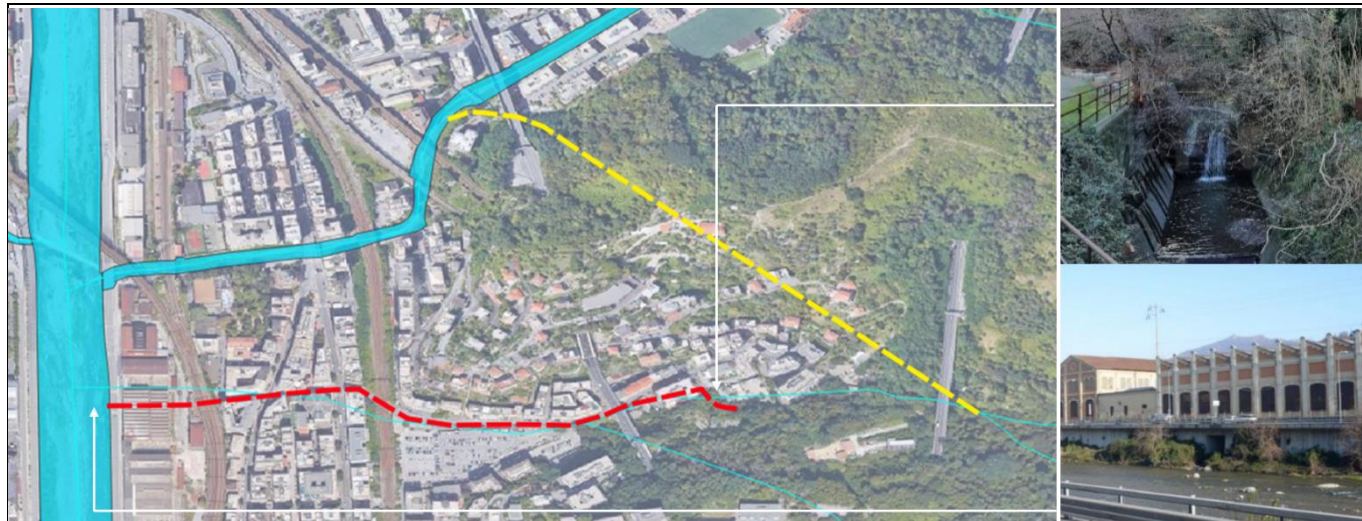




COMUNE DI GENOVA



Servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica e definitiva (per appalto integrato) nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

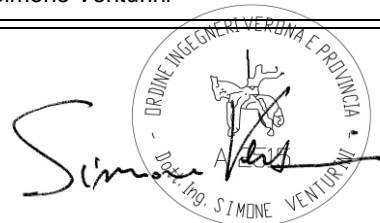


MANDANTE:

Dott.ssa Claudia Pizzinato

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

TITOLO:
**IDROLOGIA E IDRAULICA
RELAZIONE IDRAULICA**



CODICE ESTESO ELABORATO:

II151F-PD-IDR-R002_2

SCALA:

-

DATA:

02/2023

NOME FILE:

II151F-PD-IDR-R002_2.docx

ELABORAZIONE
PROGETTUALE:

Ing. SIMONE VENTURINI
Ordine degli ingegneri
Della Provincia di Verona
N. A2515

REVISIONI

REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	07/2022	Emissione	G.MASSERA	A.CACCIATORI	S.VENTURINI
1	10/2022	Revisione	G.MASSERA	A.CACCIATORI	S.VENTURINI
2	02/2023	Revisione	G.MASSERA	A.CACCIATORI	S.VENTURINI



INDICE

	Pag.
1. Premessa	1
1.1 Criticità evidenziate e normativa di riferimento	2
1.2 Soluzione progettuale individuata	5
1.3 Descrizione della soluzione tecnica prescelta	5
2. Dimensionamento e verifica idraulica della galleria scolmatrice del rio Maltempo	10
2.1 Caratteristiche principali della galleria scolmatrice del rio Maltempo	10
2.2 Opera di presa: dimensionamento idraulico	11
2.2.1 Vasca di sedimentazione e canale d'imbocco	11
2.2.2 Pozzo di caduta a vortice.....	16
2.2.3 Camera di dissipazione	19
2.2.4 Canale Venturi.....	20
2.2.5 Pozzo di ventilazione	20
2.3 Opera di sbocco e manufatto di collegamento con il t. Torbella.....	21
2.4 Galleria scolmatrice: modellazione idraulica	23
2.4.1 Dati di input e geometria del dominio.....	23
2.4.2 Condizioni al contorno	24
2.4.3 Stato di progetto	25
2.5 Analisi e dimensionamento dell'aeroforo intermedio della galleria.....	28
2.5.1 Funzionamento dell'aeroforo intermedio.....	29
3. Sistemazione e verifica idraulica del torrente Torbella	30
3.1 Modellazione idraulica	30
3.1.1 Dati di input e geometria del dominio.....	30
3.1.2 Condizioni al contorno	32
3.1.3 Scenario 1	35
3.1.4 Scenario 2	37
3.1.5 Valutazione sugli effetti indotti dalla presenza della passerella privata di via Passo Torbella n. 2	38
3.2 Rappresentazione dell'intervento di sistemazione idraulica previsto	42
4. Analisi del trasporto solido nel torrente Torbella	45
4.1 Analisi granulometrica del torrente Torbella	45
4.2 Documentazione fotografica del sito	48
4.3 Confronto dei profili del fondo del corso d'acqua.....	58
4.4 Valutazione del profilo di equilibrio	60
5. Adeguamento e verifica idraulica del rio Maltempo (artificiale)	65
5.1 Descrizione del modello idraulico.....	65
5.1.1 Dati di input e geometria del dominio.....	65
5.1.2 Condizioni al contorno	66
5.1.3 Stato di fatto	67
5.1.4 Stato di fatto con portata di progetto.....	67
5.1.5 Stato di progetto	68
5.1.6 Risultati	69
6. Conclusioni	71
7. Bibliografia	74
8. Allegati	75
8.1 Parere di compatibilità idraulica favorevole sul PFTE con prescrizioni della Regione Liguria	75
8.2 Risultati della modellazione idraulica del torrente Torbella	75



INDICE DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e artificiale (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice	1
Figura 1-2: PDB - Carta dei Sottobacini – Tavola 213150.....	3
Figura 1-3: Rio Maltempo – Morfologia del bacino	3
Figura 1-4: Restringimento di sezione in via Piombelli	4
Figura 1-5: Restringimento di sezione in via Canepari	4
Figura 1-6: Ostruzione della tombinatura al di sotto di via Canepari, vista da monte	4
Figura 1-7: Ostruzione della tombinatura al di sotto di via Canepari, vista da valle	4
Figura 1-8: Percorso schematico (in rosso: tratto tombato Rio Maltempo; in giallo: nuova galleria scolmatrice)	5
Figura 1-9: Colmata della valle del Maltempo	6
Figura 1-10: Vista verso monte dalla confluenza delle due aste di monte	6
Figura 1-11: Vista verso valle dalla confluenza delle due aste di monte.....	7
Figura 1-12: Sbarramento dell'alveo ed inizio strada privata.....	7
Figura 1-13: Percorso galleria scolmatrice (in rosso: tratti tombinati esistenti; in giallo: galleria scolmatrice)	8
Figura 2-1: Planimetria generale dello scolmatore del rio Maltempo	11
Figura 2-2: Mappa chiave documentazione fotografica riportata di seguito	12
Figura 2-3: Vista verso monte dalla confluenza delle due aste di monte	13
Figura 2-4: Vista verso valle dalla confluenza delle due aste di monte	13
Figura 2-5 – Planimetria generale di progetto dell’opera di presa	14
Figura 2-6: Curve di efflusso dallo sfioro laterale della vasca di sedimentazione verso il canale d’imbocco	15
Figura 2-7: Curve di efflusso dalla paratoia di valle della vasca di sedimentazione.....	16
Figura 2-8: Geometria della camera del vortice (Hager,1985)	17
Figura 2-9: Sezione di scavo del pozzo di caduta	19
Figura 2-10: Schema della camera di dissipazione (Hager, 1985).....	19
Figura 2-11: Sezione di scavo del pozzo di aerazione	21
Figura 2-12: Planimetria di dettaglio dello sbocco della galleria e la connessione con lo scatolare di connessione con il t. Torbella.....	22
Figura 2-13: Dettaglio del profilo longitudinale dell’opera di collegamento tra la galleria e lo scatolare	23
Figura 2-14: Sezioni tipo della camera di dissipazione ($D_{cam} = 9\text{ m}$) e della galleria di collegamento ($D_{gal} = 3.20\text{ m}$)	24
Figura 2-15: Sezione generica della galleria scolmatrice. Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).	26
Figura 2-16: Profilo idraulico nel tratto di connessione tra la camera di dissipazione (a destra) e l’inizio della galleria scolmatrice (a sinistra). Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).	27
Figura 2-17: Profilo idraulico nel tratto di connessione tra la parte terminale della galleria scolmatrice (a destra) e lo scatolare di collegamento al Torbella (a sinistra). Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).....	27
Figura 3-1: Planimetria dell’intervento con la rappresentazione delle sezioni per la modellazione idraulica (tratto di monte, II151F-PD-IDR-D001_0)	30



Figura 3-2: Planimetria dell'intervento con la rappresentazione delle sezioni per la modellazione idraulica (tratto di valle, II151F-PD-IDR-D002_0).....	31
Figura 3-3: Profili di piena del torrente Polcevera e tabella con i relativi livelli nel tratto in cui è compresa la foce del torrente Torbella (linea continua blu, portata Tr200 anni del torrente Polcevera). Fonte: Piano di Bacino torrente Polcevera, allegato “Verifiche idrauliche”.	33
Figura 3-4: Inquadramento planimetrico del nodo in cui il torrente Torbella e Fegino sfociano nel torrente Polcevera.....	33
Figura 3-5: Inquadramento planimetrico del nodo in cui il torrente Torbella e Fegino sfociano nel torrente Polcevera e definizione delle portate degli affluenti per gli eventi di piena definiti per il torrente Polcevera con Tr200 anni e Tr 50 anni.	34
Figura 3-6: Profilo idraulico per lo stato di fatto nello Scenario 1. Linea ciano e blu continua: quota pelo libero Tr 200 e Tr 50. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx.	36
Figura 3-7: Profilo idraulico per lo stato di progetto nello Scenario 1. Linea ciano e blu continua: quota pelo libero Tr 200 e Tr 50. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx.	36
Figura 3-8: Confronto tra il profilo idraulico dello stato di fatto (linea blu continua) e lo stato di progetto (linea ciano continua) nello Scenario 1, per Tr 200. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero.....	37
Figura 3-9: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea ciano continua) e Scenario 2 (linea blu continua) per Tr 200 anni (linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx)	38
<i>Figura 3-10: Sezione della passerella privata nello stato di progetto senza la passerella e la pila.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 3-11: Sezione della passerella privata nello stato di progetto (con pila sottomurata)</i>	<i>39</i>
Figura 3-12: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua) per Tr 200 anni.	40
Figura 3-13: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua): tiranti idrici Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero. La posizione della passerella è evidenziata dal cerchio in rosso	41
Figura 3-14: Sezione della passerella privata nello stato attuale	41
Figura 3-15: Esempio di una sezione ubicata nel primo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-5, II151F-PD-STR-D053_2).....	42
Figura 3-16: Esempio di una sezione ubicata nel secondo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-16, II151F-PD-STR-D055_2).....	43
Figura 3-17: Esempio di una sezione ubicata nel terzo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-16, II151F-PD-STR-D056_2).....	43
Figura 4-1: Analisi granulometrica del campione di grande volume prelevato tra le profondità di 0 – 1 m nel t. Torbella.....	46
<i>Figura 4-2: Analisi granulometrica del campione prelevato dal sondaggio S05 tra le profondità di 1 – 2 m nel t. Torbella.....</i>	<i>47</i>
Figura 4-3: Inquadramento del tratto di t. Torbella considerato con posizione fotografie ed attraversamenti.....	50
Figura 4-4: Confluenza del Torbella nel Polcevera e impalcato del ponte stradale di via Lungo Argine Polcevera.....	51
Figura 4-5: Salto del fondo in prossimità della confluenza del Torbella nel Polcevera. Sullo sfondo la passerella carrabile. In primo piano a destra la spalla del ponte della Linea Succursale dei Giovi ...	51
Figura 4-6: Ponte della linea ferroviaria Genova - Busalla che attraversa il Torbella, a partire da valle. Sullo sfondo il ponte di via Canepari, di cui si progetta la demolizione e ricostruzione a campata unica.	52
Figura 4-7: Torbella a monte del salto di fondo, attraversato dalla passerella carrabile. Sullo sfondo il ponte ferroviario della linea Succursale dei Giovi.	52
<i>Figura 4-8: Ponte ferroviario della linea Genova – Busalla, visto da monte.....</i>	<i>53</i>



Figura 4-9: Muro di sponda in destra idraulica a monte del ponte ferroviario della linea Genova – Busalla.	53
Figura 4-10: Torrente Torbella nel tratto tra il Ponte stradale di via Canepari e il ponte ferroviario della linea Genova - Busalla	54
Figura 4-11: Ponte di via Canepari, vista da valle	54
Figura 4-12: Ponte di via Canepari, vista da monte	55
Figura 4-13: Ponte ferroviario della futura estensione della metropolitana e rampa di accesso all'alveo	55
Figura 4-14: Curva del t. Torbella tra il ponte ferroviario della linea Bersaglio e quello della futura estensione della metropolitana. In questa area sono stati effettuati i campionamenti granulometrici dell'alveo	56
Figura 4-15: Alveo in prossimità dei campionamenti granulometrici effettuati. In secondo piano il ponte ferroviario della linea Bersaglio e sullo sfondo quello della linea dei Giovi	56
Figura 4-16: Ponte ferroviario della linea dei Giovi	57
Figura 4-17: Campata di destra del ponte ferroviario della linea dei Giovi. Sullo sfondo il ponte stradale di via Fasciotti, a valle del quale ha inizio l'intervento di sistemazione del Torbella	57
Figura 4-18: Vista del t. Torbella dal ponte stradale di via Fasciotti verso valle. Sullo sfondo il ponte ferroviario della linea dei Giovi	58
Figura 4-19: Confronto tra i profili del thalweg del t. Torbella nei rilievi di: PdB (in nero), presente progetto (in rosso). In nero tratteggiato il profilo di progetto. Si riportano le ubicazioni degli attraversamenti come definiti in precedenza	59
Figura 4-20: Confronto tra pendenze del thalweg del t. Torbella in: PdB (in nero), presente progetto (in rosso). In nero tratteggiato la pendenza di progetto. Si riportano le ubicazioni degli attraversamenti come in precedenza	59
Figura 4-21: ASTo "Tipo dimostrativo della sponda della Polcevera, dal Boschetto al Mare.." 1817 (Sezione Corte- carte topografiche e disegni - 339/1)	60
Figura 4-22: ASGe. 1887-1889. "Rivarolo – Deposito locomotive di Sampierdarena" (www.Topographia.it, "officine di Rivarolo" Foglio I/1/271)	61
Figura 4-23: Valori del diametro critico per ogni sezione e per ogni tempo di ritorno considerato lungo il profilo del t. Torbella considerato (linee con indicatore tondo). La progr. 0 m corrisponde alla foce nel Polcevera. La linea rossa con l'indicatore triangolare rappresenta il valore del d50 rilevato in campo.	63
Figura 5-1: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata (Tr 50 anni) è cumulato e presenta il pedice della sezione in cui avviene l'incremento	66
Figura 5-2: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata (Tr 200 anni) è cumulato e presenta il pedice della sezione in cui avviene l'incremento	67
Figura 5-3: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)	67
Figura 5-4: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)	68
Figura 5-5: Profilo idraulico per lo stato di progetto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)	68
Figura 5-6: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 200	69
Figura 5-7: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 50	69
Figura 5-8: Schema di esempio per il confronto tra lo stato di fatto e di progetto nelle sezioni dove è presente l'interferenza	70



1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato alla Scrivente la Progettazione Definitiva delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”. Una delle soluzioni che hanno mostrato più interesse della Stazione Appaltante è stata quella che consentirebbe la risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo tramite la realizzazione di una galleria scolmatrice, la quale raccoglierebbe tutte le acque provenienti dalla parte non antropizzata e di monte del bacino, collettandole nel tratto terminale del t. Torbella.

Dal momento che tale corso d’acqua soffre già di per sé di problematiche di insufficienza idraulica delle sponde, nell’ambito del presente progetto viene studiato un intervento di sistemazione idraulica dello stesso, data la previsione dell’incremento della portata di progetto a causa dell’immissione della galleria scolmatrice. Tale intervento si basa sull’abbassamento e riprofilatura del fondo dell’alveo del t. Torbella, aumentandone la pendenza media di questo tratto in modo da eliminarne la tendenza al sovralluvionamento sulla base di un’analisi che valuta anche gli effetti che la nuova configurazione determina sul trasporto solido. Inoltre, per risolvere criticità locali dovute all’effetto di rigurgito a monte di ponti con pila centrale in alveo, si prevede contestualmente la sostituzione di alcune opere che è possibile ricostruire con un’unica campata e senza disturbare il deflusso delle portate in alveo. In questo modo, risulterebbe possibile, dunque, contenere nell’alveo la portata di progetto incrementata dalla galleria scolmatrice del rio Maltempo.

La risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo per mezzo della realizzazione della galleria scolmatrice e la verifica che un adeguato intervento di sistemazione idraulica risolva le criticità anche del t. Torbella consentirebbe di prevedere interventi locali e poco invasivi per adeguare idraulicamente il tratto tombato di valle del rio Maltempo, il quale sarebbe sgravato delle portate prodotte nella parte di monte del bacino e sarebbe in grado di far defluire la portata di progetto prodotta in quello di valle.

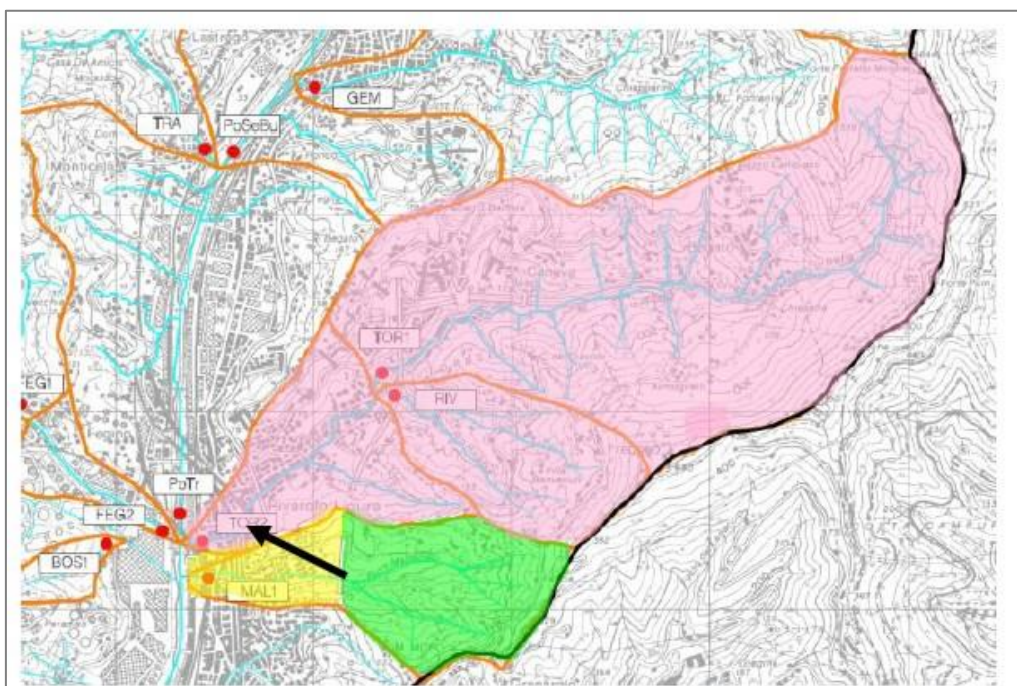


Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e artificiale (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice



La presente Relazione idraulica ha lo scopo di valutare:

- Le condizioni di deflusso nello scolmatore delle portate del rio Maltempo, soffermandosi nel dettaglio a valutare il moto nella galleria e nella zona di confluenza di tale opera con il t. Torbella;
- le condizioni di deflusso del rio Torbella nel suo tratto terminale prima della foce nel t. Polcevera. In particolare, vengono analizzati gli effetti indotti dall'immissione nel t. Torbella delle portate provenienti dalla galleria scolmatrice della porzione naturale del bacino del rio Maltempo e dall'abbassamento del fondo del t. Torbella. In questo modo, vengono illustrate le differenze che si manifestano tra lo stato di fatto e quello di progetto, evidenziandone in quest'ultimo i miglioramenti indotti;
- Le condizioni di deflusso nel tratto tombato del rio Maltempo, confrontando lo stato di fatto che presenta interferenze con sottoservizi che attraversano alcune sezioni con uno stato di progetto in cui tali interferenze sono rimosse.

1.1 Criticità evidenziate e normativa di riferimento

Già nell'ambito degli Studi e delle Indagini a supporto delle attività di progettazione definitiva delle opere di prolungamento della Metropolitana di Genova – tratta fra le fermate Brin e Canepari – il Comune di Genova aveva fatto redigere uno Studio Idraulico sul rio Maltempo, evidenziando importanti criticità in merito alla capacità idraulica nel tratto tombinato del rio stesso ed in particolare l'insufficienza dell'attuale sezione a convogliare la portata avente tempo di ritorno 200 anni.

Nell'ambito del PFTE del presente progetto, è stato realizzato un nuovo modello idraulico del rio Maltempo, che ha consentito di aggiornare questo tipo di analisi, sulla base dei sopralluoghi e di un'ispezione condotta all'interno della tombinatura del corso d'acqua e sulla base dello studio idrologico redatto dallo Scrivente progettista. Tali risultati sono riassunti nei capitoli successivi che trattano la tematica relativa all'idrologia e idraulica.

Il rio Maltempo è un affluente del t. Polcevera, sito in sinistra idraulica e prossimo alla foce del torrente. Negli elaborati del Piano di Bacino (**PdB**) (*Approvati con DCP n. 14 del 02/04/2003; Ultima variante approvata: DDG n. 88 del 10/04/2017 entrata in vigore il 03/05/2017; Variante in corso: DDG n.6765 del 02/11/2020*), il bacino idrografico risulta avere una superficie totale di 0.92 km², mentre la sua porzione naturale di monte, le cui portate saranno deviate attraverso lo scolmatore in progetto, ha una superficie di 0.65 km². In Tabella 1-1 sono riportati i valori delle portate da PdB, in questo caso adattate alla porzione di bacino considerata.

Il torrente Torbella è anch'esso un affluente del t. Polcevera e il suo bacino è confinante a sud con quello del rio Maltempo. Anche per questo caso in Tabella 1-1 sono riportati i valori delle portate da PdB.

Nell'analisi idrologica del presente progetto sono state calcolate le portate al colmo per entrambi i corsi d'acqua e i valori risultanti sono stati confrontati con metodologie utilizzate a livello regionale, quali il metodo CIMA e quello ex DGR 357/2008. In Tabella 1-1 si riassumono i risultati e si evidenzia il valore scelto in questa analisi idrologica per la successiva analisi idraulica.



Tabella 1-1: Risultati del presente studio idrologico per il rio Maltempo e il torrente Torbella e confronti con le metodologie di calcolo

		rio Maltempo (naturale)						
		Tr (anni)						
		2	5	10	20	50	100	200
$Q_c[m^3/s]$	Piano di bacino (adattato da bacino totale)	-	-	-	-	18.0	-	26.1
	Analisi idrologica	5	9.2	12.2	15.3	19.6	22.7	26
	Metodo CIMA	-	6.7	9.3	18.0	22.1	-	26.1
	Metodo ex DGR 357/2008	4.1	6.9	9.4	12.3	16.9	21.3	26.6
			torrente Torbella					
		Tr (anni)						
		2	5	10	20	50	100	200
$Q_c[m^3/s]$	Piano di bacino	-	-	-	-	115	-	145
	Analisi idrologica	32	56.8	74.2	90.4	112.6	128.4	145
	Metodo ex DGR 357/2008	20.4	34.8	47.1	61.6	85.1	107.1	133.8

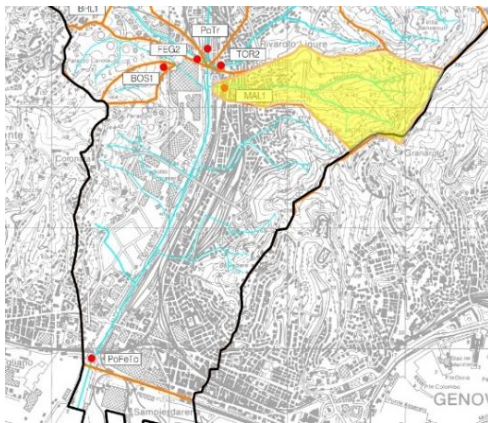


Figura 1-2: PDB - Carta dei Sottobacini – Tavola 213150



Figura 1-3: Rio Maltempo – Morfologia del bacino

In Figura 1-3 si può osservare come nel tempo la morfologia del bacino nella zona di fondo valle sia stata completamente alterata e trasformata in un comparto fortemente urbanizzato. Tale modificazione ha portato alla canalizzazione dell'alveo del rio ed alla successiva tombinatura fino alla confluenza con il T. Polcevera, per dare spazio ad opere viabilistiche, impiantistiche ed alle infrastrutture viarie e ferroviarie necessarie allo sviluppo del comparto. Il tratto tombinato (tratteggiato in rosso) è lungo circa 600 metri. L'urbanizzazione ha portato non solo ad una riduzione di capacità rispetto al preesistente alveo naturale, ma anche alla formazione di numerose interferenze che hanno portato ad ulteriori criticità idrauliche e quindi all'aumento del rischio di insufficienza della tombinatura. Dai rilievi topografici del tratto tombinato eseguiti nell'ambito dello Studio citato, sono emersi significativi restringimenti della sezione idraulica, in particolare in corrispondenza degli attraversamenti delle vie Piombelli (Figura 1-4) e Canepari (Figura 1-5).

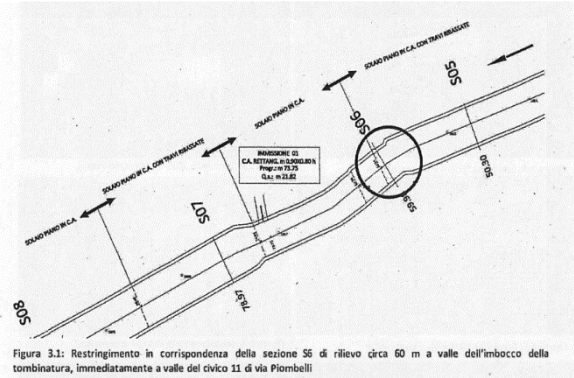
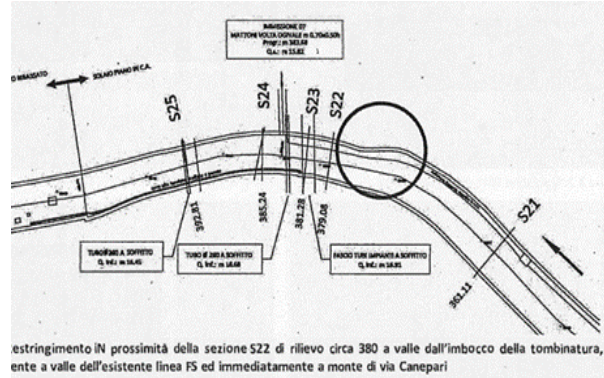


Figura 3.1: Restringimento in corrispondenza della sezione S6 di rilievo circa 60 m a valle dell'imbocco della tombinatura, immediatamente a valle del civico 11 di via Piombelli



Restringimento IN prossimità della sezione S22 di rilievo circa 380 a valle dall'imbocco della tombinatura, ente a valle dell'esistente linea FS ed immediatamente a monte di via Canepari

Figura 1-4: Restringimento di sezione in via Piombelli

Figura 1-5: Restringimento di sezione in via Canepari

L'ispezione interna alla tombinatura, effettuata in data 10 marzo 2022 e descritta dalla documentazione fotografica negli elaborati relativi alle interferenze (si veda II151F-PD-INT-R001), ha messo in evidenza l'attuale stato di degrado formatosi in particolare nel tratto al di sotto di via Canepari, anche a causa della presenza di sottoservizi interferenti. Tali sottoservizi, costituiti da tubazioni di vario genere e gestite da vari enti, hanno ridotto la sezione idraulica e provocano in occasione degli eventi più intensi non solo importanti effetti di rigurgito della corrente, ma anche depositi di materiale trasportato (ghiaia e ciottoli, tronchi, altro materiale vario), con l'effetto di ridurre ulteriormente la sezione idraulica, rendendo quindi necessario effettuare frequenti lavori di manutenzione allo scopo di rimuovere tali materiali e ripristinare al meglio la funzionalità idraulica (vedasi Figura 1-6 e Figura 1-7 qui sotto). In particolare, a seguito di questo sopralluogo è stato eseguito un intervento urgente di pulizia della tombinatura da parte dell'ente gestore Ireti.



Figura 1-6: Ostruzione della tombinatura al di sotto di via Canepari, vista da monte



Figura 1-7: Ostruzione della tombinatura al di sotto di via Canepari, vista da valle



1.2 Soluzione progettuale individuata

La soluzione progettuale individuata prevede, oltre alla risoluzione delle principali interferenze riscontrate lungo il tratto terminale del Rio Maltempo (cfr. studio Italferr), la realizzazione di un'opera di presa ①, un pozzo di dissipazione del salto ②, una **galleria scolmatrice** ③ dotata di pozzo/i di aerazione, l'opera di confluenza nel T. Torbella ④ e la risistemazione idraulica del tratto terminale del rio fino alla confluenza con il Polcevera ⑤.

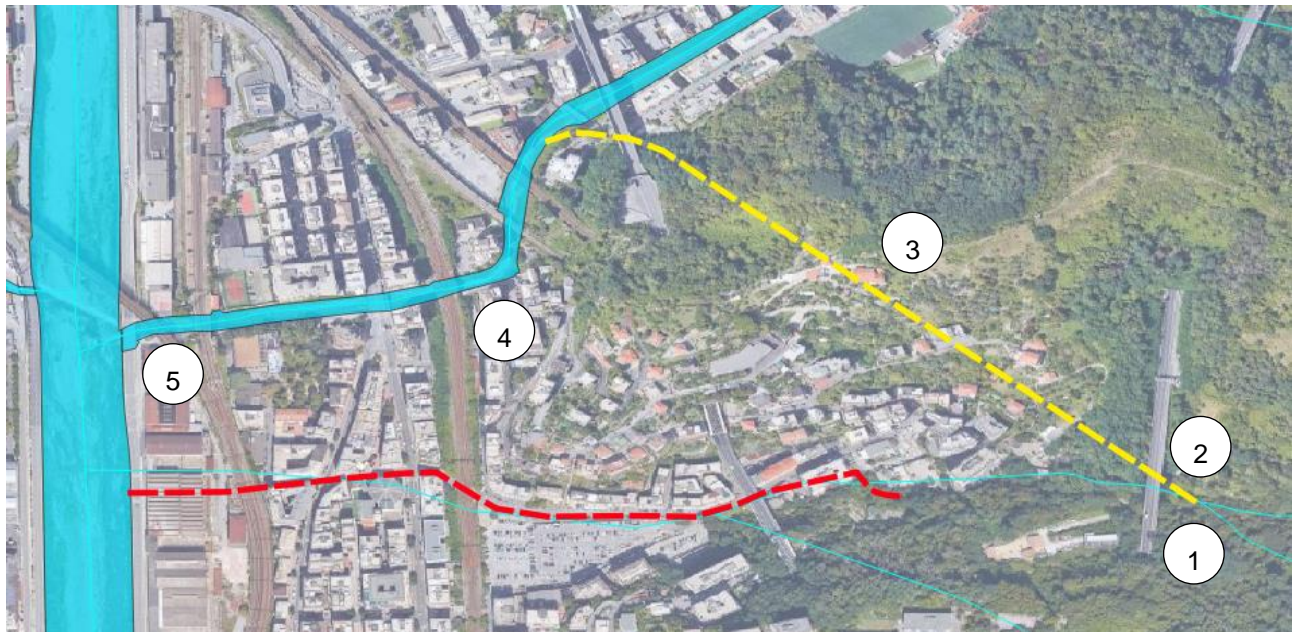


Figura 1-8: Percorso schematico (in rosso: tratto tombato Rio Maltempo; in giallo: nuova galleria scolmatrice)

1.3 Descrizione della soluzione tecnica prescelta

Per risolvere le criticità di sicurezza idraulica del rio Maltempo si prevede di realizzare una galleria scolmatrice che consenta la deviazione verso il T. Torbella di tutte le portate in eccesso rispetto alla capacità idraulica attuale della tombinatura esistente rimosse le interferenze, valutata pari a 11 m³/s nello Studio Idraulico di gara, ma con nodo di immissione collocato più a monte. Durante il sopralluogo è stato riscontrato che durante la realizzazione dell'autostrada A7, e nella fattispecie del viadotto di attraversamento della valle del rio Maltempo, il fondovalle è stato colmato evidentemente per limitare l'altezza delle pile (Figura 1-9). Le acque di tutto l'impalcato autostradale vengono raccolte e coltate a monte della colmata.

Tabella 1-2: Sintesi dei vantaggi e svantaggi della soluzione progettuale individuata

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> • mantenimento dell'attuale sezione idraulica nel tratto tombinato; • possibilità di anticipare la messa in sicurezza idraulica e comprimere la durata dei lavori; • intercettazione a monte del tratto tombato del materiale solido ed agevole manutenzione; • cantierizzazioni limitate e puntuali per il tratto tombato; • agevole manutenzione di tutte le opere; • agevole manutenzione della vasca di deposito, raggiungibile con rampa carrabile; • adeguamento della sezione idraulica del T. Torbella nel tratto di valle 	<ul style="list-style-type: none"> • necessario rivalutare la pericolosità idraulica del T. Torbella e la compatibilità delle nuove opere.



Figura 1-9: Colmata della valle del Maltempo

L'alveo del Maltempo, molto inciso, è intubato per attraversare la colmata. Il rio Maltempo è costituito da due aste fluviali distinte nella porzione di monte del bacino, denominato “rio Maltempo I” e “rio Maltempo II”, provenienti rispettivamente dalla sinistra e destra idrografica. Esse confluiscono in un'unica asta circa 30 m a monte dell'ingresso nella tombinatura esistente al di sotto del viadotto autostradale. Dal punto di vista morfologico sia le due aste di monte che il tratto a valle della confluenza presentano un andamento a *step & pools* (Figura 2-3 e Figura 2-4).



Figura 1-10: Vista verso monte dalla confluenza delle due aste di monte

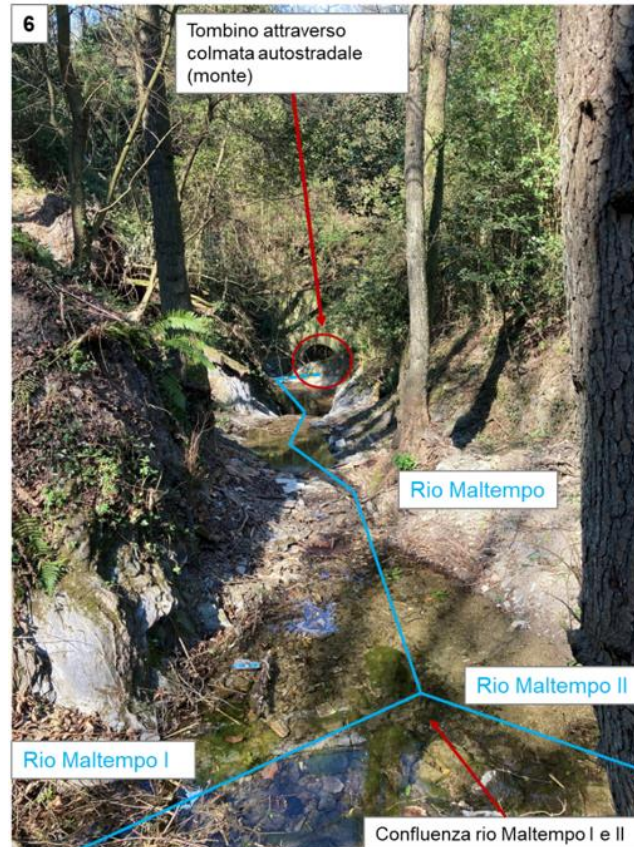


Figura 1-11: Vista verso valle dalla confluenza delle due aste di monte

Proseguendo verso monte lungo la strada sterrata sita in sponda sinistra del ramo sinistro del rio (che origina dal M. Moro – detto Maltempo 2), si è notato lo stato di degrado dell'alveo, utilizzato in più punti come discarica di inerti. Qualche centinaio di metri più a monte, la strada è sbarrata e diventa privata. All'altezza della sbarra la strada attraversa l'alveo di fatto sbarrando il percorso idraulico. Sul fondo dello sbarramento in pietrame si riscontra una trafilatura di acqua al piede ed a monte dello stesso si nota un accumulo di sedimenti ghiaiosi / ciottolosi (Figura 1-12).



Figura 1-12: Sbarramento dell'alveo ed inizio strada privata

Dato che la presenza della colmata costituisce un ostacolo al naturale deflusso, si è previsto di definire l'ubicazione dell'opera di presa della galleria scolmatrice a monte della colmata.

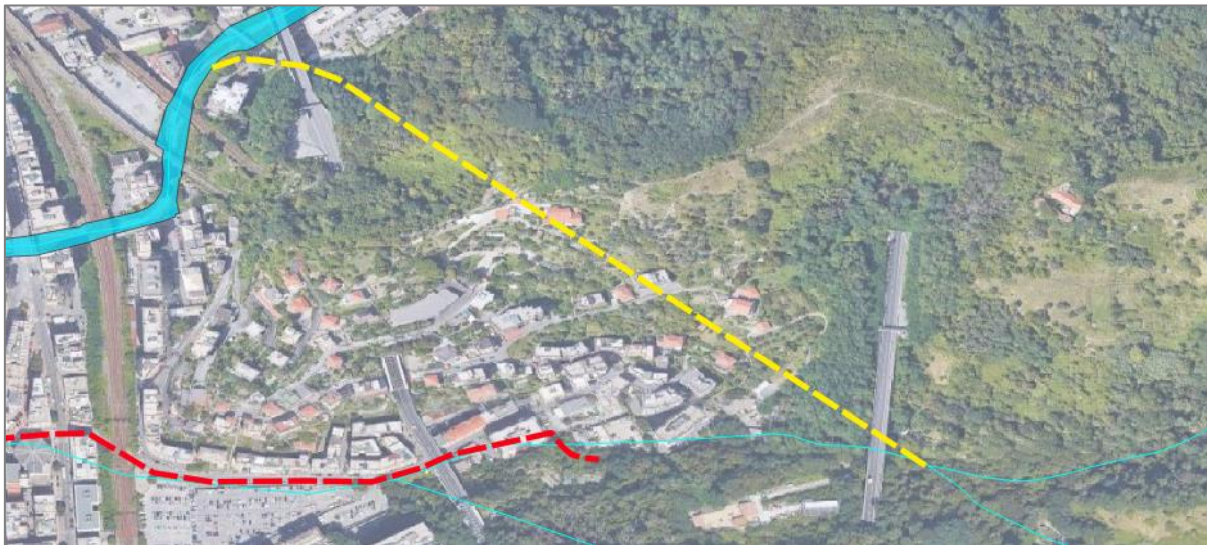


Figura 1-13: Percorso galleria scolmatrice (in rosso: tratti tombinati esistenti; in giallo: galleria scolmatrice)

Questa soluzione progettuale comprende, dunque, le seguenti opere:

- Un'opera di presa, costituita da una vasca di sedimentazione con sfioro laterale in destra per la derivazione delle portate verso un manufatto di imbocco alla camera a vortice e al pozzo di caduta. Sulla base della definizione della portata di progetto pari a $Q = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ a seguito dei risultati dell'analisi idrologica del PFTE, si descrivono in seguito le caratteristiche geometriche di questi manufatti. La lunghezza e profondità dell'opera sono state studiate in modo da consentire la sedimentazione di materiale solido e la sua agevole rimozione. Il materiale flottante di grosse dimensioni verrà intercettato da un manufatto che si prevederà a monte della vasca. Sul lato di valle della vasca sono state previste due paratoie per la restituzione delle portate a valle, in modo da mantenere la connessione longitudinale dell'alveo naturale in termini di portate minime;
- il manufatto d'imbocco termina con una vasca elicoidale, in cui è inserito un pozzo di caduta per le portate derivate, che entra dall'alto in una camera di dissipazione dopo un salto totale pari a 13.30 m, di cui 4.30 m di pozzo verticale. Tale camera di dissipazione, il cui dimensionamento idraulico viene riportato nella relazione idraulica II151F-PD-IDR-R002, si prevede sia fornita di un pozzo di ventilazione, posizionato in asse con quello di caduta e poco più a valle, che, a partire dal cielo della camera di dissipazione, risale per circa 9.00 m fino alla superficie del terreno esistente. In questo modo, è possibile minimizzare i fenomeni di cavitazione e di *choking* della vena fluida nella galleria;
- una galleria idraulica di collegamento lunga circa 521 m con pendenza pari al 0.4%, nella quale si instaura un moto a pelo libero in corrente lenta. La galleria si prevede accessibile da valle in modo da consentirne la agevole manutenzione e si prevede, inoltre, la realizzazione di un pozzo aeroforo intermedio;
- Un'opera di collegamento di tipo scatolare interrata tra la fine della galleria scolmatrice e lo sbocco nel t. Torbella. Dal momento che essa si presenta a monte di un tratto in curva del t. Torbella, si è prestata attenzione all'idraulica alla confluenza, ottimizzando l'asse dello scatolare in modo da ridurre il più possibile l'angolo con l'asse del corso d'acqua recettore in quel tratto;



- Sistemazione idraulica del t. Torbella, che prevede:
 - riprofilatura dell'alveo del corso d'acqua, a partire dal ponte di via Carlo Fasciotti (circa 20 m a monte dello sbocco dello scolmatore) fino alla foce nel t. Polcevera. In questo intervento sono incluse opere di protezione del fondo del t. Torbella, consistenti in un rivestimento in massi non legati di 2° categoria. A partire da inizio intervento fino al ponte di via Canepari e nel tratto terminale di valle la riprofilatura dell'alveo si prevede costituita da una sezione tipo rettangolare, mentre tra il ponte di via Canepari ed il successivo ponte ferroviario a valle (linea "Genova – Busalla") è costituita da una savanella centrale;
 - demolizione e adeguamento idraulico mediante intervento di ricostruzione del ponte di via Canepari a campata unica;
 - muro a U per la riprofilatura dell'alveo intorno alla pila del ponte ferroviario della linea "Genova – Busalla".

A questa soluzione progettuale dovrà essere affiancato un intervento per adeguare la tombinatura esistente del rio Maltempo, in modo da rimuovere tutte le interferenze dei sottoservizi qui presenti ed indicati negli elaborati di progetto II151F-PD-INT-R001 e -D001, in modo da garantire il ripristino completo della sezione idraulica. Gli elaborati del progetto di rimozione e risoluzione delle interferenze risultano allegati al presente progetto definitivo nella sezione relativa alla disciplina Interferenze ("010-INT").

Inoltre, il gestore IRETI ha già eseguito la pulizia e la manutenzione straordinaria della superficie interna della tombinatura nel tratto che è stato riscontrato essere ostruito durante il sopralluogo condotto dal progettista (si vedano Figura 1-6 e Figura 1-7), proprio a causa delle interferenze determinate dalle condotte.



2. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IDRAULICA DELLA GALLERIA SCOLMATRICE DEL RIO MALTEMPO

La soluzione individuata per risolvere le criticità legate alla sicurezza idraulica del rio Maltempo si basa sulla realizzazione di uno scolmatore, che ha come scopo quello di derivare l'eccedenza delle portate prodotte nella parte alta del bacino di questo corso d'acqua, fino alla sezione di chiusura definita a monte del viadotto autostradale che attraversa la valle.

Nel presente capitolo vengono descritte le caratteristiche principali della galleria scolmatrice delle portate del rio Maltempo, il dimensionamento idraulico e la verifica del suo funzionamento.

2.1 Caratteristiche principali della galleria scolmatrice del rio Maltempo

La galleria scolmatrice si può suddividere nelle seguenti componenti:

- **Opera di presa**, costituita da:
 - **Manufatto di imbocco** sul rio Maltempo: si prevede la realizzazione di un canale scatolare a sezione rettangolare nell'alveo del corso d'acqua, al fine di derivare la portata di progetto verso il pozzo a vortice, posizionato in destra idraulica. Per garantire il minimo deflusso delle portate verso valle si prevede di praticare una luce di piccola dimensione sul fondo di questo canale d'imbocco. Le portate minime che defluiscono attraverso tale luce, nell'ordine di 0.1 m³/s, percorrono una breve condotta di bypass e sono trasferite a valle del manufatto d'imbocco. In questo modo, il deflusso verso valle in caso di evento di piena non compromette il tratto tombato a valle in caso di evento estremo e allo stesso tempo possono proseguire liberamente verso valle nel corso d'acqua naturale, mantenendo una continuità del deflusso nello stesso;
 - **Pozzo a vortice**: è una condotta circolare verticale introdotta da un invito a forma di vortice, posta al termine del canale di derivazione, e consente di far superare alla portata derivata gran parte del dislivello esistente tra l'opera di presa e l'opera di sbocco nel t. Torbella;
 - **Camera di dissipazione**: è lo spazio in cui la portata giunge dopo il salto nel pozzo a vortice e ha lo scopo, innanzitutto, di dissipare l'energia della corrente in caduta e, in secondo luogo, di inviare la portata all'imbocco della galleria vera e propria;
- **Galleria scolmatrice**: condotta che permette di trasferire la portata attraverso la collina che separa il bacino del rio Maltempo e quello del t. Torbella.
- **Opera di sbocco e manufatto di collegamento con il t. Torbella**: dal momento che la galleria, per esigenze progettuali, non può terminare direttamente in prossimità dell'alveo del t. Torbella, si prevede un canale che permette il collegamento tra la fine della galleria e lo sbocco nel corpo idrico ricettore. Si prevederà nella successiva fase progettuale la possibilità di inserire elementi di dissipazione in corrispondenza dello sbocco.



Figura 2-1: Planimetria generale dello scolmatore del rio Maltempo

2.2 Opera di presa: dimensionamento idraulico

L'opera è costituita essenzialmente da una vasca di sedimentazione e da un canale di imbocco alla camera a vortice, da cui parte il pozzo di caduta, dal pozzo stesso ad asse verticale e dalla camera di dissipazione posta al termine del pozzo.

Il collegamento principale tra l'opera di presa e la galleria scolmatrice avviene, dunque, attraverso questo pozzo verticale, manufatto che viene utilizzato per superare il notevole dislivello tra la quota del corso d'acqua alla presa e l'imbocco della galleria di progetto (a sua volta dipendente dalla quota del corso d'acqua ricettore), garantendo al contempo efficienza idraulica e dissipazione dell'energia. Il comportamento idraulico del pozzo è governato dalla configurazione della zona di imbocco, che definisce la natura della corrente nello stesso. Nella struttura con imbocco a vortice l'acqua aderisce alle pareti e scorre verso il basso assumendo la conformazione di un getto anulare, per via del momento angolare impresso alla corrente dalla struttura vorticoso d'imbocco. Al centro del pozzo, invece, si sviluppa una zona aerata all'interno della quale la pressione è pressoché pari a quella atmosferica. A differenza dei pozzetti di salto, il pozzo a vortice induce una notevole dissipazione energetica per effetto delle resistenze al moto esercitate dalle pareti. A completamento del manufatto di presa è stato previsto l'inserimento, al termine del pozzo verticale di caduta, di una camera atta a dissipare quella quota parte di energia ancora in possesso della corrente e rilasciare l'aria trascinata verso il basso dalla corrente, onde evitare anomali funzionamenti che si avrebbero qualora questa si liberasse repentinamente con conseguente rischio di danneggiamento delle strutture.

2.2.1 Vasca di sedimentazione e canale d'imbocco

Grazie al rilievo topografico effettuato nell'area in cui si prevede di realizzare l'opera di presa è stato possibile definire la conformazione della stretta valle del rio Maltempo a monte del viadotto autostradale.



In Figura 2-2 è riportata una pianta chiave per l'ubicazione dell'area e della documentazione fotografica prodotta in fase di sopralluogo in quest'area.



Figura 2-2: Mappa chiave documentazione fotografica riportata di seguito

Il rio Maltempo è costituito da due aste fluviali distinte nella porzione di monte del bacino, denominato “rio Maltempo I” e “rio Maltempo II”, provenienti rispettivamente dalla sinistra e destra idrografica. Esse confluiscono in un'unica asta circa 30 m a monte dell'ingresso nella tombinatura esistente al di sotto del viadotto autostradale. Dal punto di vista morfologico sia le due aste di monte che il tratto a valle della confluenza presentano un andamento a *step & pools* (Figura 2-3 e Figura 2-4).



Figura 2-3: Vista verso monte dalla confluenza delle due aste di monte



Figura 2-4: Vista verso valle dalla confluenza delle due aste di monte



L'opera di presa dello scolmatore del rio Maltempo si colloca nell'area a valle della confluenza. Le componenti di quest'opera sono le seguenti (Figura 2-5):

- Canale d'imbocco che trasferisce la portata da scolmare verso il pozzo di caduta a vortice;
- Vasca di sedimentazione, che include un'opera di derivazione laterale delle portate verso il canale d'imbocco ed un'opera di restituzione delle portate minime nell'alveo a valle;

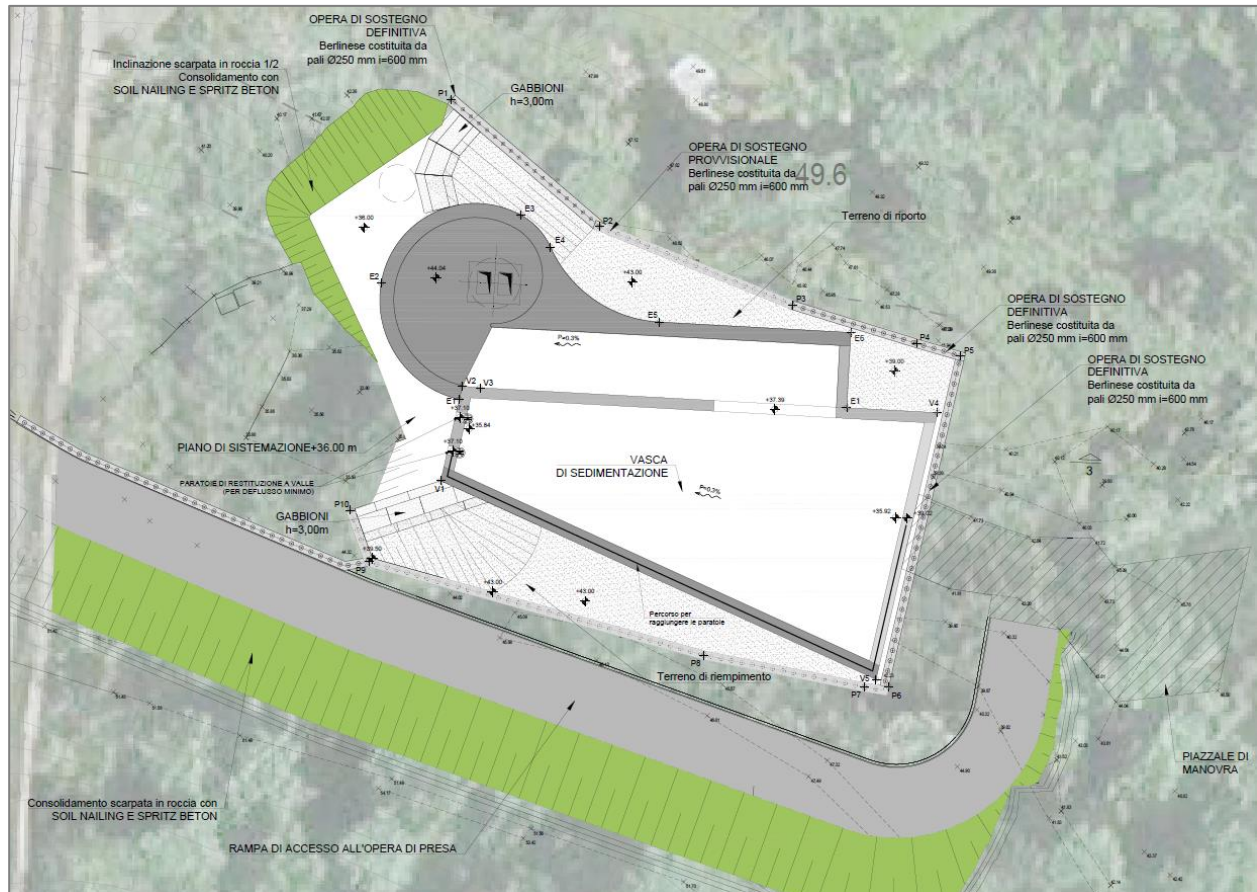


Figura 2-5 – Planimetria generale di progetto dell'opera di presa

Nel tratto che comprende gli ultimi 10 m circa delle due aste di monte del rio Maltempo e i primi 15 m a valle della loro confluenza si prevede di realizzare una vasca di sedimentazione, allo scopo di trattenere i sedimenti più grossolani trasportati dal corso d'acqua durante gli eventi di piena ed evitare che vengano anch'essi convogliati all'interno dello scolmatore. Tale vasca presenta una quota del fondo pari a 36.00 m s.m.m., che corrisponde ad una profondità che tra 1 e 2 m rispetto all'alveo attuale, ed una superficie di circa 240 m². La vasca consente, da monte, l'ingresso in destra e sinistra delle portate provenienti dalle due aste di monte del rio Maltempo: tali ingressi vengono posizionati in modo da sfruttare cambi di pendenza dovuti alla presenza di salti del fondo delle due aste e su entrambi si prevede l'inserimento di manufatti di intercettazione del materiale solido galleggiante. Inoltre, si prevede l'inserimento di uno scivolo di raccordo tra l'alveo a monte degli ingressi e la vasca stessa.

In destra idraulica viene realizzato un muro in cemento armato per la separazione della vasca dal canale d'imbocco, il cui fondo si realizza ad una quota attorno a 35.90 m s.m.m.; la derivazione delle portate avviene con una luce posizionata lungo questo muro, che è caratterizzata da una lunghezza di sfioro pari a 7 m ed un'altezza di 2.1 m. Le curve di efflusso delle portate attraverso questa luce sono riportate in



Figura 2-6. Quella che è stata scelta con la geometria definita è di colore ciano, corrispondente ad una larghezza $B = 7 \text{ m}$, che consente con un carico sullo sfioro di 1.6 m di derivare $26 \text{ m}^3/\text{s}$.

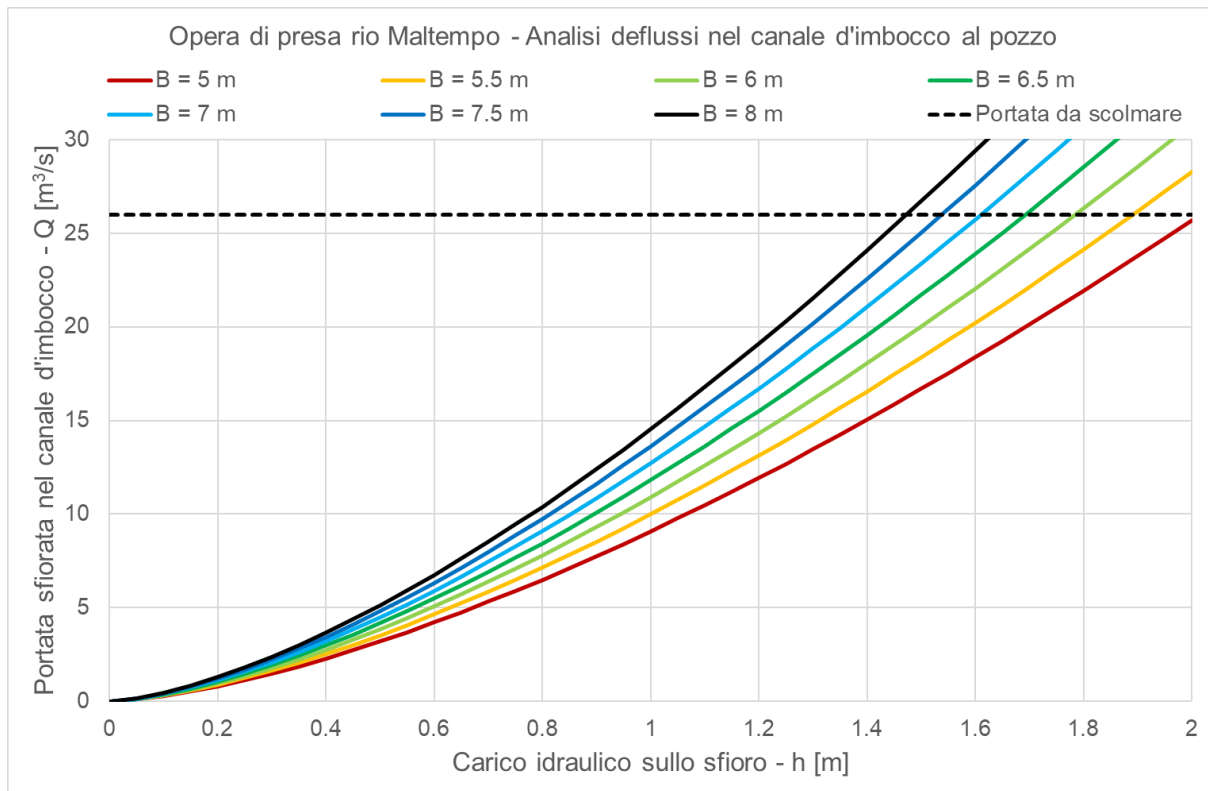


Figura 2-6: Curve di efflusso dallo sfioro laterale della vasca di sedimentazione verso il canale d'imbocco

L'estremo di valle della vasca di sedimentazione è costituito da un manufatto di restituzione delle portate minime in alveo, grazie alla presenza di due paratoie che permettono di regolare il deflusso e di mantenere un certo livello a monte nella vasca durante gli eventi di piena. In particolare, si prevede il funzionamento di una sola delle due paratoie, da mantenersi sollevata per garantire una luce di larghezza pari a 0.5 m ed altezza di 0.15 m , mentre l'altra rimane chiusa e viene messa in funzione in caso di malfunzionamento della prima.

La geometria della luce di derivazione laterale dalla vasca verso il canale d'imbocco è stata valutata in modo da consentire la derivazione massima in caso di piena della portata di $26 \text{ m}^3/\text{s}$ verso lo scolmatore. La geometria della luce determinata dalla paratoia di valle è stata valutata per consentire sia il mantenimento del deflusso minimo in condizioni ordinarie nel rio Maltempo sia per evitare che in condizioni di piena defluiscano portate superiori ai circa $0.2\text{-}0.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 2-7), che sommate al contributo del bacino di valle metterebbero in crisi la tombinatura del Maltempo.

Il canale d'imbocco si prevede essere costituito da uno scatolare in cls a cielo aperto e da una camera d'imbocco a vortice, che ha lo scopo di inviare la portata nel pozzo di caduta. Tale canale presenta una larghezza pari a $b = 3.50 \text{ m}$ e pendenza pari allo $i = 0.3 \%$, con un'altezza dei muri di sponda pari a $H_{sponda} = 3.5 \text{ m}$ rispetto al fondo, in modo da garantire un adeguato franco rispetto al tirante di moto uniforme $h_0 = 2.09 \text{ m}$ in corrispondenza della portata di progetto duecentennale $Q_{200} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$.

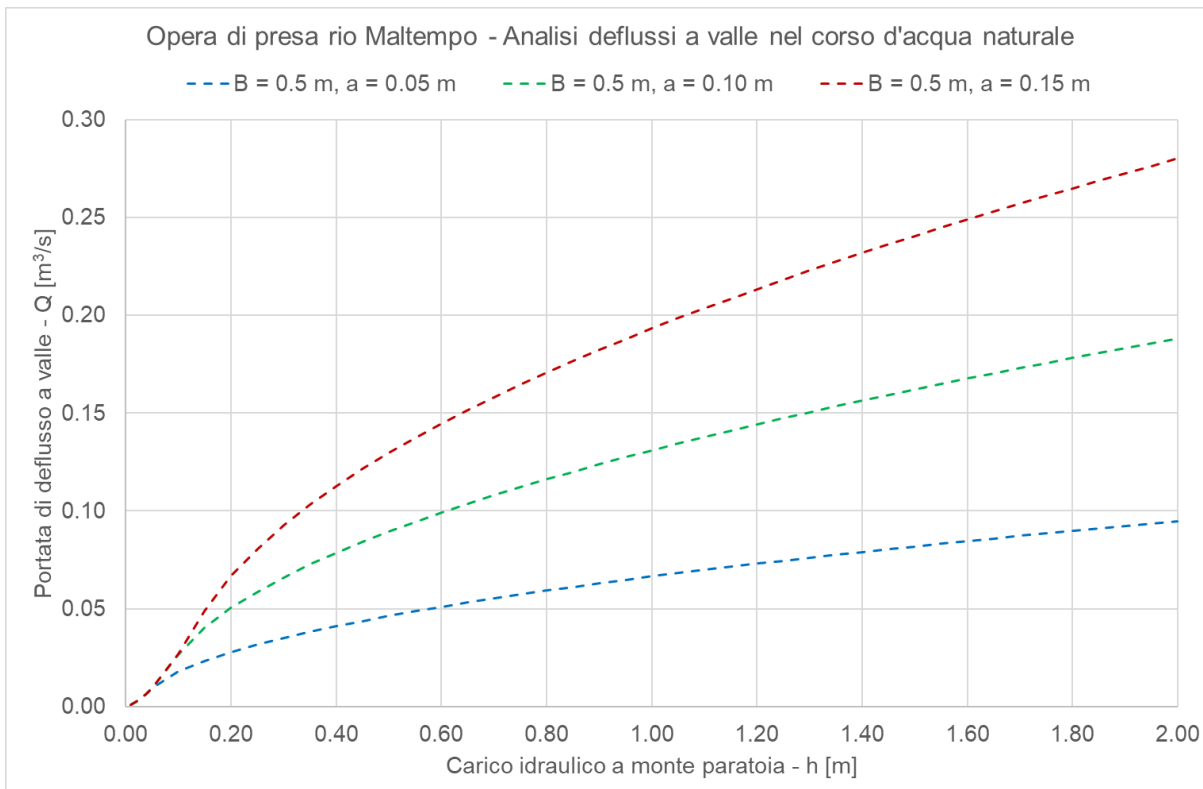


Figura 2-7: Curve di efflusso dalla paratoia di valle della vasca di sedimentazione

La geometria del canale d'imbocco è stata determinata con lo scopo di instaurare con la portata di progetto un moto a pelo libero in corrente lenta che si trasferisce verso la camera a vortice da cui ha inizio il pozzo di caduta verticale. In linea generale il canale di imbocco al pozzo a vortice può essere dimensionato in modo tale che la corrente imbocchi la chiocciola in condizioni di corrente lenta oppure di corrente veloce, ciascuna delle due metodologie risulta caratterizzata da una propria geometria e conseguenti formule di dimensionamento. Esperienze di laboratorio (Viparelli, 1950) hanno evidenziato come nei manufatti di imbocco al pozzo a vortice con fondo a debole pendenza, il deflusso avesse carattere molto regolare e con piccole pulsazioni che non producevano la chiusura del foro per l'aria. Per questo motivo, ci si è orientati a progettare tale canale con fondo a debole pendenza e, quindi, con corrente lenta in arrivo al vortice.

2.2.2 Pozzo di caduta a vortice

In linea generale il canale di imbocco al pozzo di caduta a vortice può essere dimensionato in modo tale che la corrente imbocchi la chiocciola in condizioni di corrente lenta oppure di corrente veloce, ciascuna delle due metodologie risulta caratterizzata da una propria geometria e conseguenti formule di dimensionamento.

Esperienze di laboratorio (Viparelli, 1950) hanno evidenziato come nei manufatti di imbocco al pozzo a vortice con fondo a debole pendenza, il deflusso avesse carattere molto regolare e con piccole pulsazioni che non producevano la chiusura del foro per l'aria. Ci si è pertanto orientati a progettare manufatti con canali di imbocco con fondo a debole pendenza e quindi con corrente lenta in arrivo al vortice.

In questo caso la relazione fra la portata e il tirante idrico a monte è data da (Hager, 1985):



$$q = \frac{\pi\sqrt{2h}}{\sqrt{\frac{1}{\mu^2} + \left(\frac{\pi R}{ha}\right)^2}}$$

in cui:

$$\mu = 0.95 - \left(1 - \left(\frac{2h}{9\pi}\right)^{2/3}\right)^2$$

$$h = \frac{bh_0}{aR}$$

$$q = \frac{Q\sqrt{b}}{\sqrt{gaR^5}}$$

Definiti i parametri:

- b [m] = larghezza del canale in arrivo;
- h_0 [m] = tirante indisturbato nel canale d'imbocco;
- a [m] = distanza tra la mezzeria del canale in arrivo e l'asse del pozzo;
- R [m] = raggio del pozzo;

la portata adimensionalizzata q è quindi funzione dell'altezza idrica h a monte del vortice e del parametro R/a .

Al fine di evitare che l'asse del vortice risulti obliquo ed eccentrico rispetto l'asse del pozzo deve essere soddisfatta la relazione (Viparelli, 1950):

$$\frac{a - \frac{b}{2}}{R} = 1.62 > 1.3$$

mentre per garantire l'aerazione della vena all'interno del pozzo devono verificarsi le seguenti relazioni:

$$h = 1.24 < 4 \quad q = 1.91 < 5.7 \quad \mu = 0.41 < 0.626$$

La figura di seguito riportata mostra la struttura della camera del vortice nel caso in cui la corrente in arrivo sia lenta; il diametro del pozzo è stato indicato con $D_s = 2R$, mentre con R_i sono stati indicati i raggi dei quadranti delle pareti interne del vortice. Il fondo della camera è orizzontale.

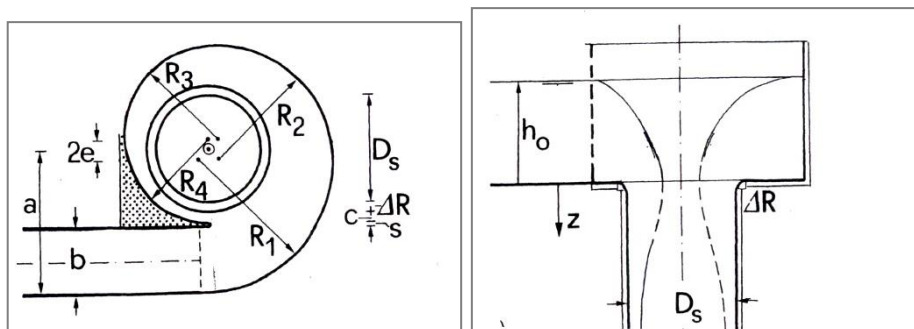


Figura 2-8: Geometria della camera del vortice (Hager, 1985)

In particolare, i parametri caratteristici della geometria della suddetta camera sono definiti come segue (Drioli, 1969):



$$a = \frac{Ds}{2} + \Delta R + c + s + \frac{b}{2}, \quad e = \frac{b+s}{7},$$

$$R_4 = \frac{Ds}{2} + \Delta R + c + e, \quad R_3 = R_4 + e, \quad R_2 = R_4 + 3e, \quad R_1 = R_4 + 5e$$

Infine, da analisi sperimentali, è risultato che il rapporto ottimale tra il raggio del pozzo R e la distanza a tra il centro del pozzo e la mezzeria del canale di imbocco deve essere prossimo a 0.4 – 0.5:

$$\frac{R}{a} = 0.35 \cong 0.4 - 0.5$$

I parametri di dimensionamento scelti per verificare le condizioni sopra esplicitate sono risultati essere i seguenti:

- b = larghezza del canale di immissione = 3.50 m;
- i = pendenza del canale di immissione = 0.3%;
- R = raggio del pozzo a vortice = 1.45 m;
- D_s = diametro del pozzo a vortice = 2.90 m;
- ΔR = spessore della corona circolare = 0.25 m;
- R_4 = raggio di tracciamento della chiocciola = 2.71 m;
- R_3 = raggio di tracciamento della chiocciola = 3.13 m;
- R_2 = raggio di tracciamento della chiocciola = 3.96 m;
- R_1 = raggio di tracciamento della chiocciola = 4.79 m;
- s = spessore del muro in corrispondenza dello stacco della chiocciola = 0.20 m;
- c = distanza tra il muro e la corona circolare della chiocciola = 0.65 m;
- e = semilato del quadrato dai cui vertici si staccano i raggi di tracciamento della chiocciola = 0.414 m;
- a = distanza tra la mezzeria del canale in arrivo e l'asse del pozzo = 4.1 m.

La portata si immetterà nel canale d'imbocco grazie alla luce posizionata nella parete di destra della vasca di sedimentazione. La sezione iniziale di monte del canale presenta una quota del fondo pari a 35.90 m s.m.m. e la quota terminale in corrispondenza della camera a vortice, dopo un'estensione del canale di 20.50 m, si trova a 35.84 m s.m.m..

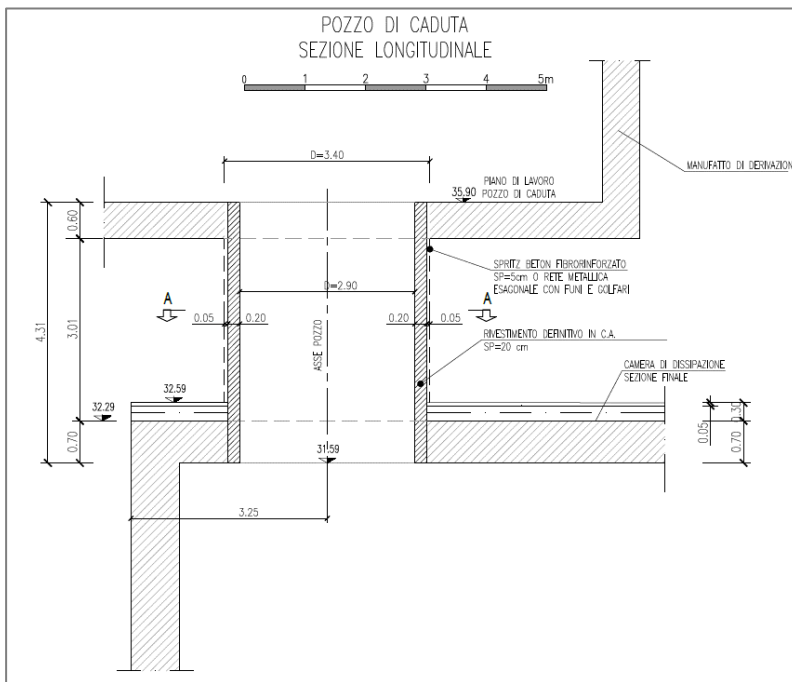


Figura 2-9: Sezione di scavo del pozzo di caduta

2.2.3 Camera di dissipazione

La camera posta al piede del pozzo a vortice (Figura 2-10) permette:

- la deareazione della corrente idrica,
- la dissipazione dell'energia residua della portata idrica in ingresso, favorendo l'instaurarsi di una corrente subcritica al piede del pozzo senza che insorgano zone ad elevata capacità di deflusso
- il cambiamento di direzione del flusso da verticale ad orizzontale.

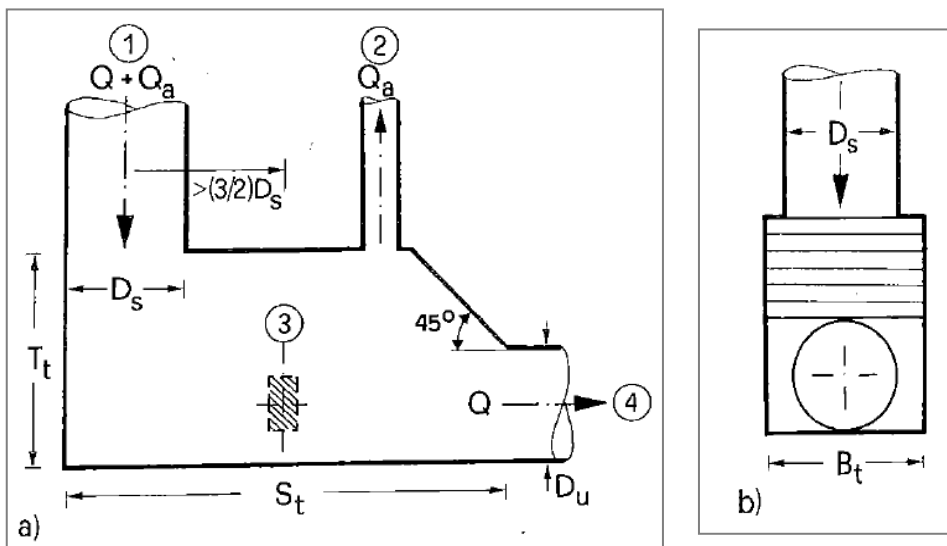


Figura 2-10: Schema della camera di dissipazione (Hager, 1985)

Per il dimensionamento si è fatto riferimento alle formulazioni proposte da Hager (1985) e riportate di seguito:



$$\frac{S_t}{\bar{D}} \cong 4, \quad 1 \leq \frac{B_t}{\bar{D}} \leq 1.2, \quad \frac{T_t}{\bar{D}} \cong 2$$

in cui \bar{D} è il maggiore tra il diametro in ingresso (diametro del pozzo a vortice) e quello in uscita (diametro della galleria), S_t è la lunghezza della camera T_t l'altezza e B_t la larghezza.

Per il caso in oggetto \bar{D} coincide con il diametro in uscita e risulta pari a 3.20 m (il D in ingresso è pari a 2.90 m), da cui ne consegue:

$$T_t = 2 \cdot \bar{D} = 2 \cdot 3.20 = 6.40 \text{ m approssimato quindi per eccesso a } \mathbf{9.00 \text{ m}};$$

$$S_t = 4 \cdot \bar{D} = 4 \cdot 3.20 = 12.80 \text{ m approssimato quindi per eccesso a } \mathbf{15.00 \text{ m}}.$$

Per il calcolo della larghezza della camera, B_t , non si è utilizzata la formulazione sopra proposta, dal momento che si prevede di adottare una sezione policentrica $B_t = T_t$ e, quindi, pari anch'essa a **9.00 m**.

Per evitare l'accumulo di deposito sul fondo della camera si è optato per un profilo di fondo con inclinazione pari allo 0.4%. La fuoriuscita dell'aria trascinata dalla corrente in caduta dal pozzo sarà garantita mediante la realizzazione di un ulteriore pozzo (di diametro pari a 1.50 m), per il cui dimensionamento si rimanda al Paragrafo 2.2.5).

2.2.4 Canale Venturi

Per meglio controllare le condizioni di deflusso nella camera di dissipazione verso valle nonché per proteggere la platea del manufatto dall'impatto del getto proveniente dal pozzo di caduta, in letteratura (*Hager, 1985*) viene raccomandata la realizzazione di un dispositivo che garantisca la formazione di un cuscino d'acqua. Seguendo l'approccio del citato riferimento di letteratura, si prevede la realizzazione di un canale Venturi, a valle dell'area in cui cade la corrente proveniente dal pozzo: grazie alla contrazione laterale della sezione indotta da questo dispositivo, viene creato un cuscino d'acqua permanente, che consente la protezione della platea della camera.

Una condizione da rispettare, in conformità a quanto stabilito da *Hager*, l'altezza del cuscino d'acqua che si genera deve essere pari a $0.1H$, con H pari alla differenza di quota tra l'imbocco del pozzo a vortice ed il fondo della camera di dissipazione. Il restringimento "Venturi" viene dimensionato, dunque, con le seguenti caratteristiche:

- sezione ristretta b di larghezza pari a 3.00 m, rispettando perfettamente quanto previsto in Letteratura ($b = \frac{B_t}{3}$);
- posizionamento della sezione ristretta ad una distanza maggiore di $1.5D_s$, ovvero: $1.5 \cdot 2.90 = 4.35 \text{ m}$, approssimata a 6.00 m;
- altezza del Venturi pari a 3.00 m, ovvero superiore a quella del cuscino d'acqua previsto e pari a circa 2.74 m ovvero $0.1H$ (ovvero $0.1 \cdot H = 50.00 - 22.62 = 27.38 \text{ m s. m. m.}$).

2.2.5 Pozzo di ventilazione

Anche per il pozzo di ventilazione, che è un dispositivo funzionale al corretto funzionamento idraulico della presa, è stato seguito un approccio basato su formula da Letteratura (*Hager e Gisonni*), proprie dell'*air demand* per i pozzi a vortice. In particolare, la portata d'aria in uscita in funzione di quella idrica in ingresso risulta:

$$Q_a = Q \cdot \beta$$

Dove:



- Q è la portata idrica di progetto (pari a $26 \text{ m}^3/\text{s}$);
- $\beta = \sqrt{\frac{q_e}{q_s}} - 1$ è il coefficiente di aerazione, dove a sua volta:
 - $q_e = 0.018 \sqrt[3]{\frac{L_S}{D_S}}$, con D_S il diametro del pozzo e L_S la differenza tra la quota di imbocco del pozzo e la quota di sommità della camera di dissipazione;
 - $q_s = \frac{Q}{k \cdot 3.14 \cdot D_S^{(8/3)}}$ è portata idrica relativa.

I valori in gioco nel presente caso sono:

$$L_S = 50.00 - 31.62 = 18.38 \text{ m}, \quad q_e = 0.287, \quad q_s = 0.068, \quad \beta = 1.05, \quad Q_a = 27.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Una volta determinata la portata d'aria risulta immediato, ipotizzando una velocità dell'aria pari a $v_a = 25 \text{ m/s}$, definire il diametro minimo da assegnare al pozzo di aerazione, in questo caso risultato pari a 1.18 m , quindi approssimato a 1.50 m .

La sezione longitudinale dell'opera composta dalle varie parti sopra descritte è illustrata in Figura 2-11.

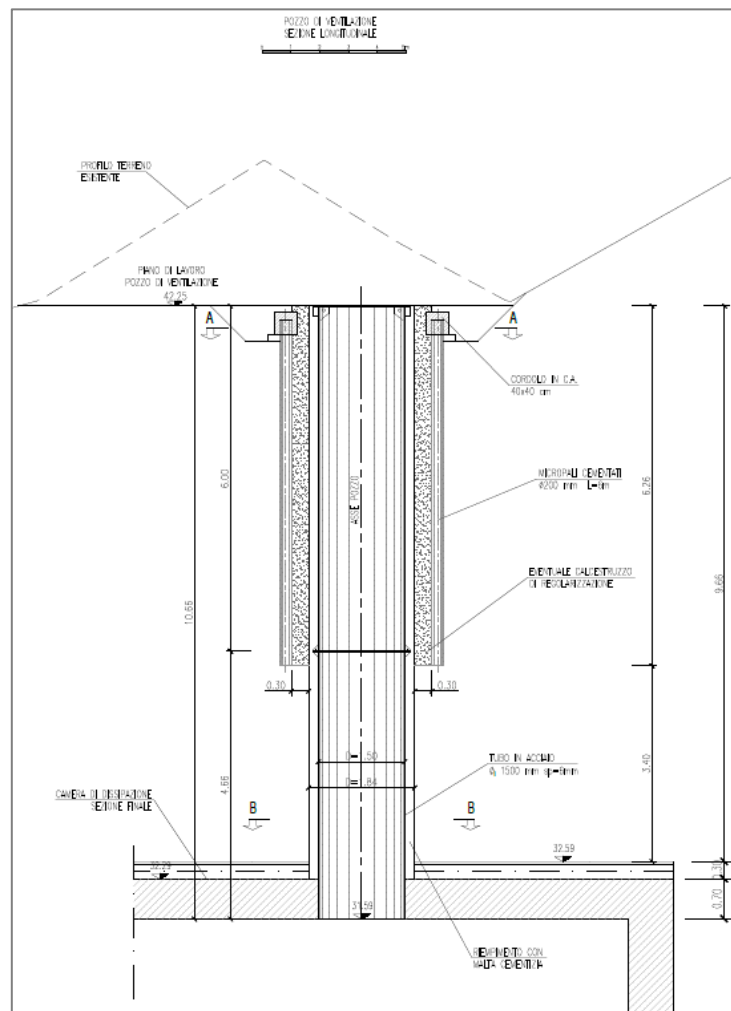


Figura 2-11: Sezione di scavo del pozzo di aerazione

2.3 Opera di sbocco e manufatto di collegamento con il t. Torbella

Il manufatto di collegamento tra la galleria scolmatrice ed il torrente Torbella è costituito da uno scatolare che verrà realizzato al di sotto del piano stradale dell'area in sinistra idraulica del corso d'acqua. Al fine di



evitare fenomeni di rigurgito in galleria e raccordare la sezione policentrica della stessa con la sezione rettangolare dello scolare, si prevede la realizzazione di un salto di 1 m a valle dell'ultima sezione della galleria di collegamento e di una vasca di dissipazione di lunghezza pari a 15 m. A valle di tale vasca si sviluppa lo scolare di lunghezza pari a 95 m, che consente la connessione con il torrente Torbella e lo sbocco delle portate scolmate dal rio Maltempo (Figura 2-12 e Figura 2-13).

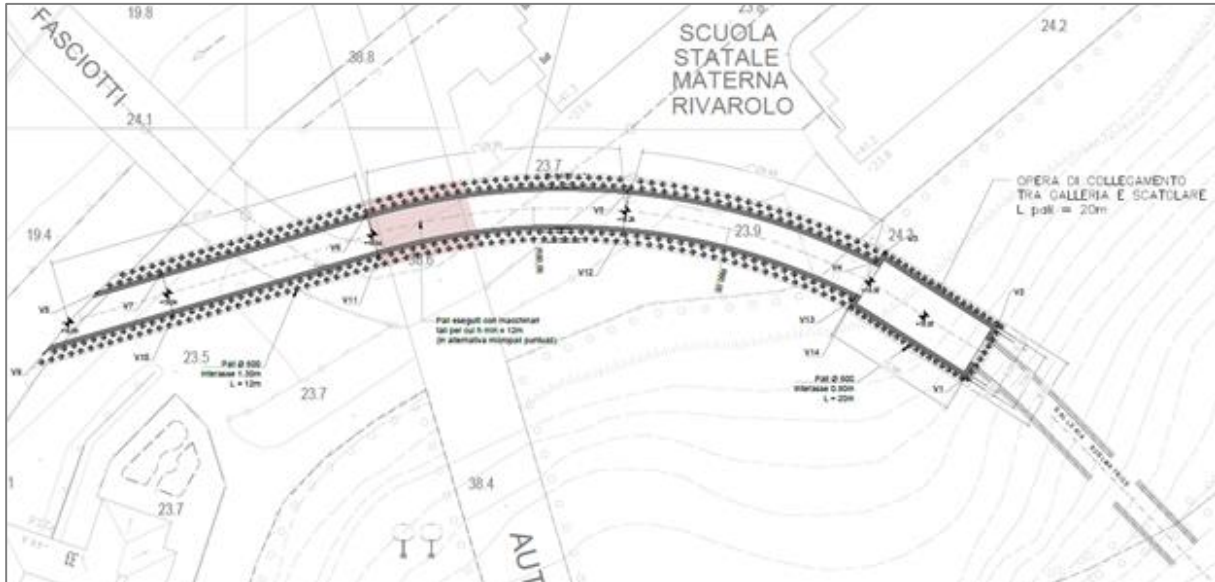


Figura 2-12: Planimetria di dettaglio dello sbocco della galleria e la connessione con lo scolare di connessione con il t. Torbella

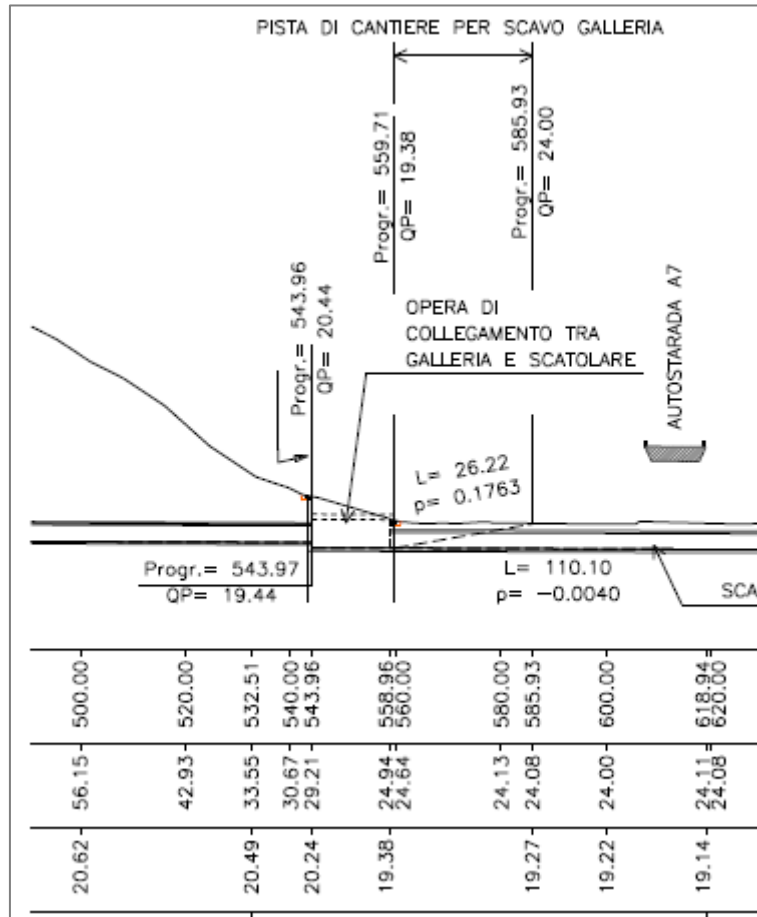


Figura 2-13: Dettaglio del profilo longitudinale dell'opera di collegamento tra la galleria e lo scatolare

2.4 Galleria scolmatrice: modellazione idraulica

Vengono di seguito descritte le simulazioni condotte per valutare le condizioni di deflusso nella galleria scolmatrice del rio Maltempo, a partire dalla camera di dissipazione fino allo sbocco, in particolare per verificare il moto nella galleria scolmatrice e nella sua zona di imbocco e sbocco, in modo che il dimensionamento di questa parte dell'opera non provochi un funzionamento in pressione. Per la presente analisi idraulica si ricorre al modello idraulico HEC-RAS, al fine di valutare il comportamento della corrente monodimensionale a moto stazionario e a pelo libero del t. Torbella e seguire la metodologia utilizzata nel Piano di Bacino del t. Polcevera.

2.4.1 Dati di input e geometria del dominio

La geometria del dominio è la seguente:

- La camera di dissipazione presenta una sezione policentrica di diametro $D_{cam} = 9 \text{ m}$ e una lunghezza longitudinale di $L_{cam} = 15 \text{ m}$;
- La galleria scolmatrice presenta una sezione policentrica di diametro $D_{gal} = 3.20 \text{ m}$ e una lunghezza longitudinale di $L_{gal} = 526.61 \text{ m}$. Viene preceduta da un breve tratto di raccordo con la sezione più ampia della camera di dissipazione;

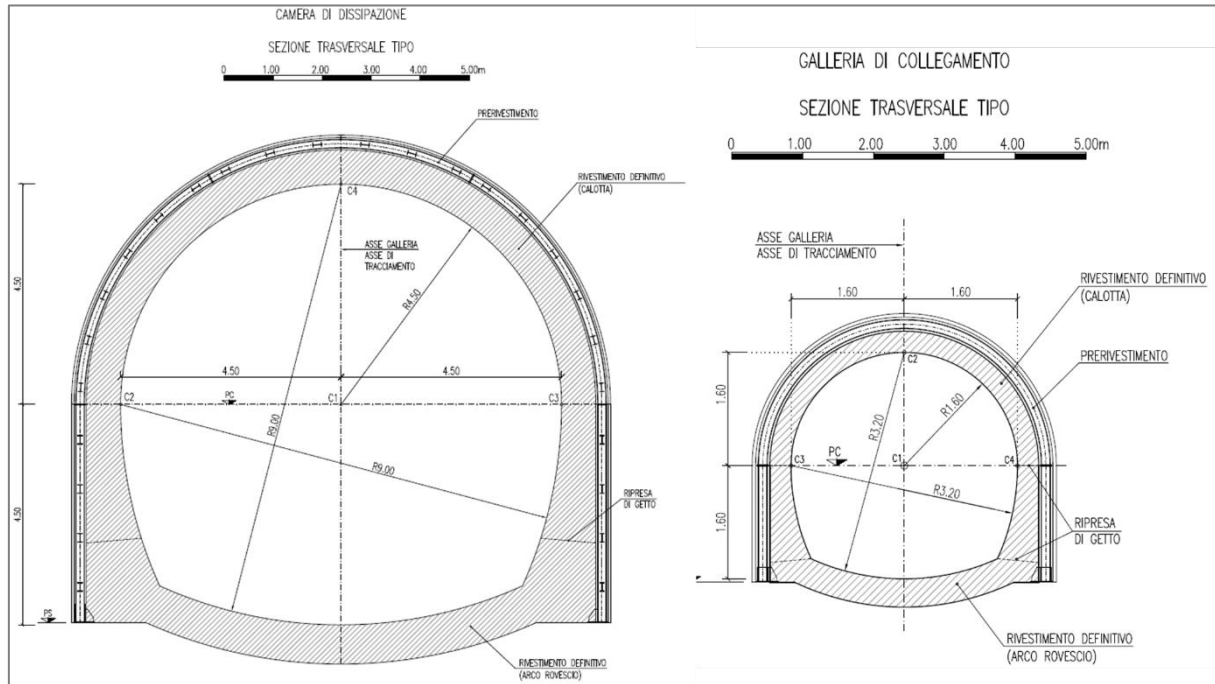


Figura 2-14: Sezioni tipo della camera di dissipazione ($D_{cam} = 9\text{ m}$) e della galleria di collegamento ($D_{gal} = 3.2\text{ m}$)

- Il canale di restituzione presenta una sezione rettangola di diametro $B_{can,rest} = 4\text{ m}$ e una lunghezza longitudinale di $L_{can,rest} = 110\text{ m}$. Il raccordo con la sezione finale della galleria avviene attraverso uno scivolo che copre un dislivello di 1 m in una distanza di 5 m .

La scabrezza è considerata uniforme e pari a quella che il fondo in calcestruzzo può presentare a fine vita utile, rappresentata dal coefficiente di Strickler $K_S = 66.67\text{ m}^{1/3}/s$ ($n = 0.015\text{ m}^{-1/3}s$).

2.4.2 Condizioni al contorno

Per valutare le condizioni di deflusso nello scolmatore, si considera la confluenza dello stesso nel t. Torbella attraverso il metodo che utilizza la conservazione della quantità di moto, in modo da valutare l'effetto del rigurgito nel t. Torbella causato dal corso d'acqua principale. L'angolo d'immissione, data la planimetria della confluenza, è stato imposto pari a 30° . Vengono, dunque, verificati n.2 differenti Scenari di piena per valutare il funzionamento dello scolmatore del rio Maltempo e della sua interazione con il t. Torbella:

- **Scenario 1S:** si assumono come portate quelle definite dal cosiddetto Evento 1 nella relazione idrologica, ovvero quelle prodotte da un evento meteorico di durata critica per il bacino del rio Maltempo (naturale). In questo modo vengono valutate le condizioni di deflusso nello scolmatore con la più elevata portata che può essere derivata;
- **Scenario 2S:** si assumono come portate quelle definite dal cosiddetto Evento 2 nella relazione idrologica, ovvero quelle prodotte da un evento meteorico di durata critica per il bacino del t. Torbella. In questo modo vengono valutate le condizioni di deflusso nello scolmatore con una portata leggermente inferiore, ma con un effetto di rigurgito da valle più intenso, dovuto alla condizione di piena più gravosa che può instaurarsi nel Torbella

Scolmatore	Tr (anni)	Monte	Valle
Scenario 1S	200	$Q = 26\text{ m}^3/s$	$H_v = 20.99\text{ m s. m.}$
	50	$Q = 19.8\text{ m}^3/s$	$H_v = 21.16\text{ m s. m.}$



	2	$Q = 5 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_v = 19.70 \text{ m s. m. m.}$
Scenario 2S	200	$Q = 24.8 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_v = 21.93 \text{ m s. m. m.}$

Nella camera di dissipazione si prevede una larghezza costante, senza valutare la presenza del restringimento indotto dal canale Venturi, dal momento che ci si è soffermati a verificare i profili tra

2.4.3 Stato di progetto

I profili idraulici in riferimento agli Scenari considerati sono riportati in:

- Figura 2-15 → sezione generica della galleria scolmatrice;
- Figura 2-16 → profilo longitudinale nel tratto di connessione tra la camera di dissipazione e l’inizio della galleria scolmatrice;
- Figura 2-17 → profilo longitudinale nel tratto di connessione tra la parte terminale della galleria scolmatrice e lo scatolare di collegamento al Torbella.

Si nota che la vasca di dissipazione di valle, inserita al termine della galleria scolmatrice e prima dell’inizio dello scatolare di collegamento, consente in tutti i casi di contenere il risalto. Tale vasca ha lo scopo di disconnettere idraulicamente il deflusso proveniente dalla galleria e il profilo di rigurgito dovuto al torrente Torbella.

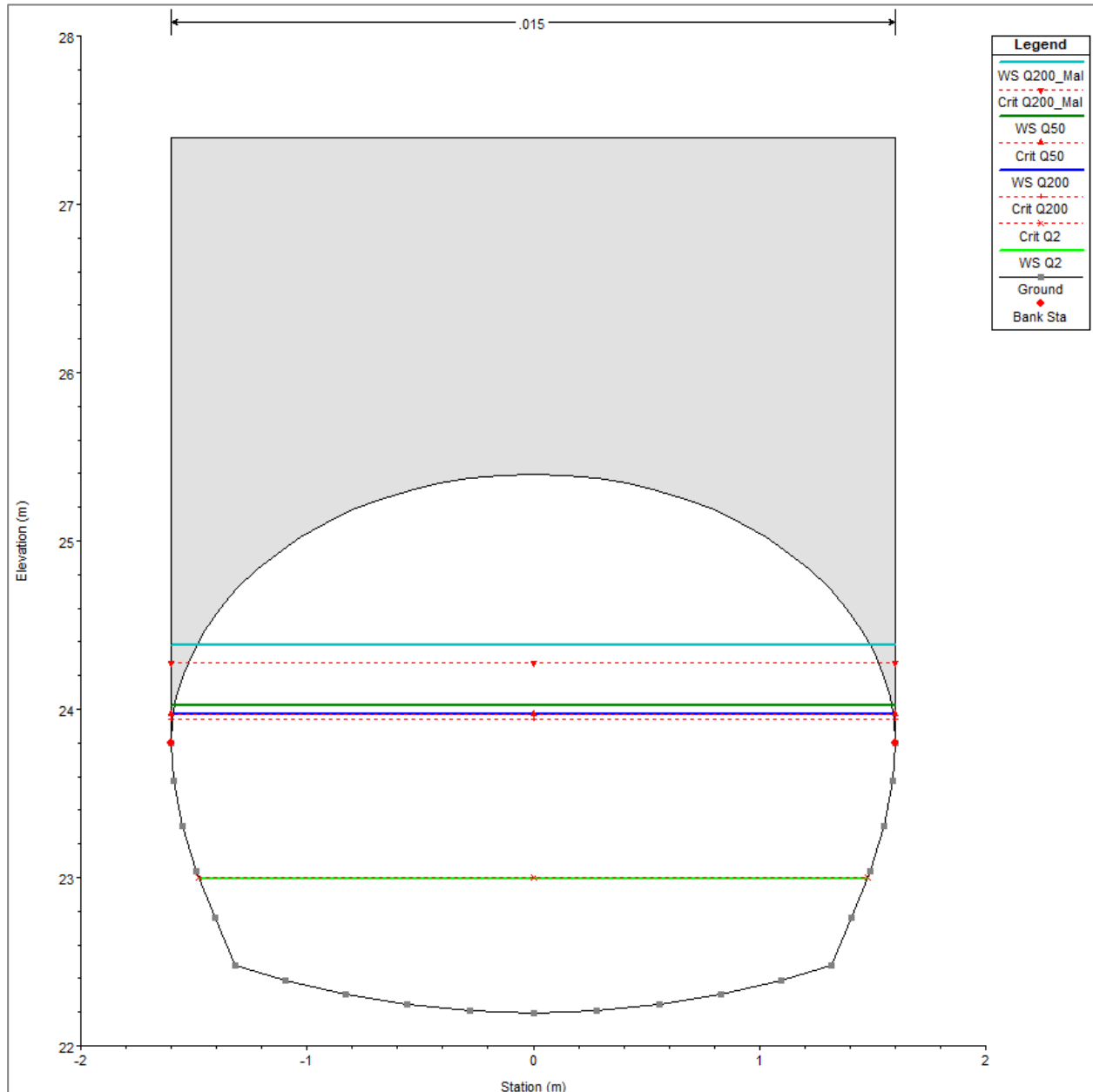


Figura 2-15: Sezione generica della galleria scolmatrice. Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).

Il grado di riempimento per la sezione della galleria scolmatrice è:

- 68% per il Tr 200 – Scenario 1S;
- 55% per il Tr 200 – Scenario 2S;
- 56 % per il Tr 50 – Scenario 2S;
- 25 % per il Tr 2 – Scenario 2S.

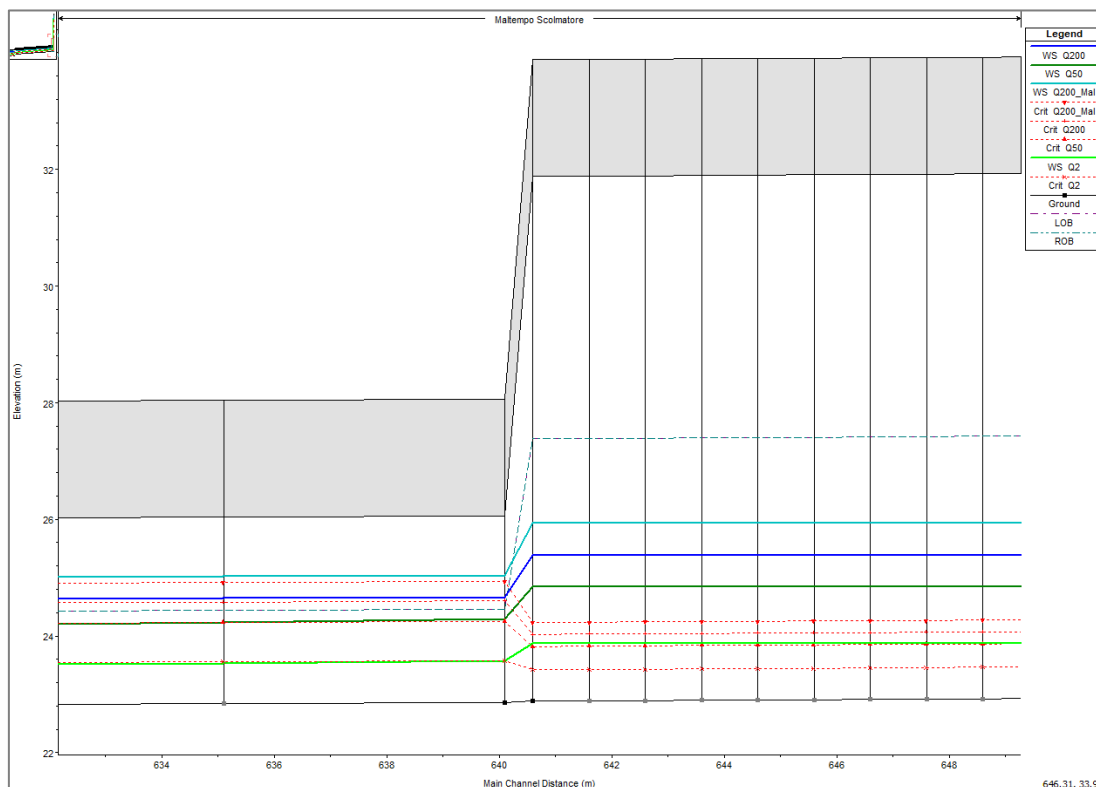


Figura 2-16: Profilo idraulico nel tratto di connessione tra la camera di dissipazione (a destra) e l’inizio della galleria scolmatrice (a sinistra). Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).

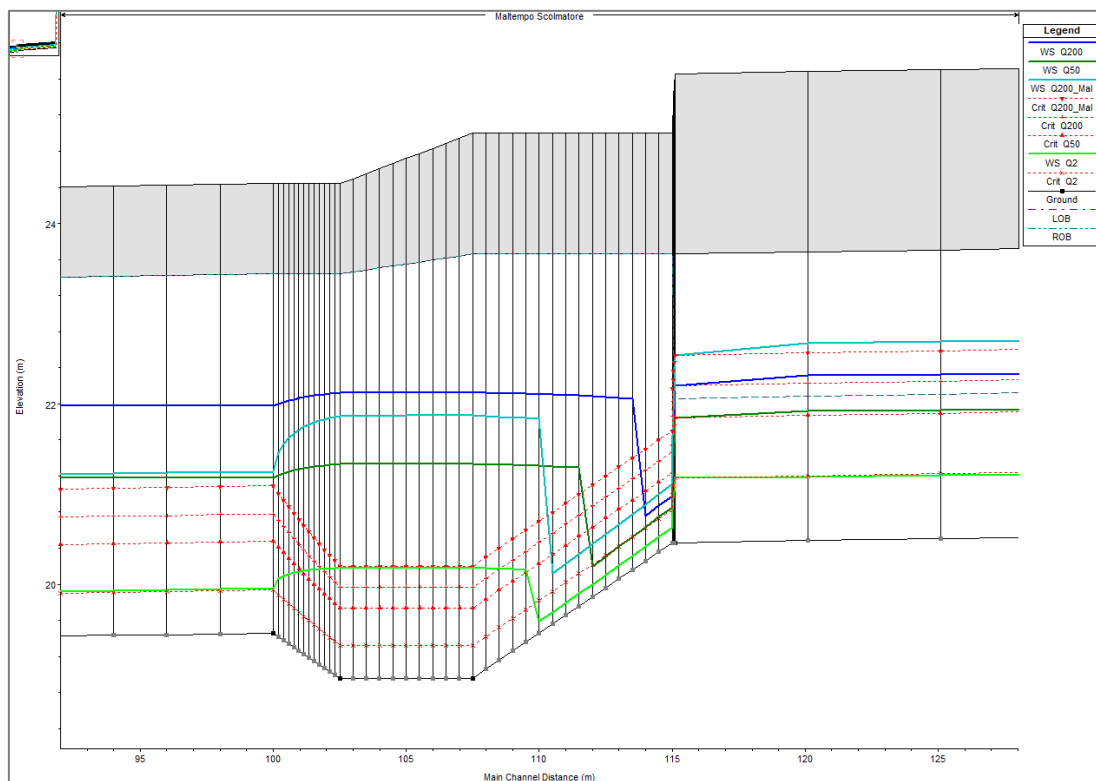


Figura 2-17: Profilo idraulico nel tratto di connessione tra la parte terminale della galleria scolmatrice (a destra) e lo scatolare di collegamento al Torbella (a sinistra). Il pelo libero è rappresentato per il Tr 200 – Scenario 1S (blu), Tr 200 – Scenario 2S (ciano), Tr 50 – Scenario 1S (verde scuro), Tr 2 – Scenario 1S (verde chiaro).



Il dimensionamento idraulico della galleria si è basato, come già esplicitato, sulla scelta di un diametro della sezione policentrica ed una pendenza tale da permettere l'instaurazione di un moto a pelo libero in corrente lenta di adeguato grado di riempimento nelle condizioni più gravose di progetto e tale, inoltre, da consentirne la agevole manutenzione da valle.

La proposta di allestimento di un modello fisico dell'opera di presa dello scolmatore del rio Maltempo è stata avanzata in sede di redazione del progetto di fattibilità tecnico ed economica, quando ancora non erano state svolte le attività di dimensionamento idraulico eseguite invece in sede di progettazione definitiva. Considerato che la scrivente Società di progettazione ha svolto dimensionamenti di opere del tutto analoghe nel contesto genovese riferite agli scolmatori Fereggiano, Rovare e Noce, anche mediante l'ausilio di modelli fisici, è stato possibile constatare una sostanziale analogia dell'opera prevista nel presente progetto rispetto a quella prevista per il rio Rovare.

I criteri di letteratura considerati (Hager) hanno perciò consentito di dimensionare in modo corretto e cautelativo l'opera di presa. Si precisa inoltre che le modellazioni fisiche precedentemente svolte hanno consentito di testare positivamente l'efficacia dei modelli di letteratura (Cfr. Hager) di dimensionamento che per questa ragione sono stati applicati anche in questo caso con ottima e testata affidabilità previsionale.

Se a ciò si aggiunge che motivazioni stringenti legate alle tempistiche di finanziamento dell'opera non hanno consentito di dedicare il tempo tecnico necessario per l'allestimento e lo sviluppo delle prove su modello fisico, si comprende come la scelta effettuata di procedere secondo dimensionamenti di letteratura appaia accettabile e opportuna.

2.5 Analisi e dimensionamento dell'aeroforo intermedio della galleria

La galleria scolmatrice del rio Maltempo, come descritto nel precedente capitolo, ha un funzionamento a pelo libero. Con questo tipo di funzionamento potrebbe comunque verificarsi la situazione in cui piccole sacche di depressione possano incollare il profilo della corrente al soffitto della galleria. Tale fenomeno può portare al pericolo di cavitazione e causare danni al rivestimento: per questo motivo, è stato ritenuto necessario garantire un corretto reintegro d'aria attraverso la previsione di un aeroforo intermedio.

Tale opera è stata ubicata alla progressiva 248.36 m (cfr. si veda elaborato: II151F-PD-STR-D001) e lo sfiato in superficie si trova a fianco di via Piombelli, in prossimità del civico n. 58.

L'aeroforo è costituito da:

Gli aerofori/sfiati sono costituiti da (Cfr. Fig. 6.2):

- perforazione in roccia $D = 700$ mm;
- rivestimento del foro con tubo camicia in acciaio $s = 6$ mm $D = 500$ mm;
- intasamento dell'intercapedine tubo-roccia con magrone Rck150;
- finitura di estremità superiore con manufatto fuori terra, altezza 2,50 m in calcestruzzo e rivestimento in mattoni e copertura con grigliato in acciaio inox a maglia 5x5 cm resistenza 400 Kg/m²;
- raccordo con la calotta della galleria, all'estremo inferiore, con corona circolare saldata al piede del tubo e bullonatura alla struttura della galleria, previo inghisaggio nella calotta della galleria di una pista di acciaio di rinforzo con ringrosso locale dello spessore del getto.

Dal punto di vista geometrico le principali caratteristiche sono:

- Quota piano campagna: 69.70 m s.m.m.;



- Quota galleria cielo della galleria: $21.68 + 3.20 = 24.88$ m s.m.m.;
- Lunghezza: 44.82 m.

2.5.1 Funzionamento dell'aeroforo intermedio

I criteri di dimensionamento dell'aeroforo si basano sulla valutazione della portata d'aria in grado di transitare all'interno dello stesso verso l'alto. Durante il funzionamento a pelo libero della corrente in galleria l'aeroforo consente il reintegro d'aria e per valutare la sezione minima utile per l'aeroforo è necessario rifarsi alla seguente espressione:

$$Q_a = 0.03 Q (Fr - 1)^{1.06}$$

Dove:

- Q è la portata idrica di progetto che transita nella galleria (pari a $26 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Fr è il numero di Froude.

Tale formulazione richiede però che la corrente sia veloce, con un numero di Froude maggiore di 1, mentre la presente galleria è stata dimensionata per un funzionamento in corrente lenta, per le ragioni di sopra citate. Soltanto in condizioni di portate molto basse si verifica un funzionamento in corrente veloce, con un numero di Froude di molto poco superiore a 1: questo è il caso della portata che si ottiene in transito nella galleria con un tempo di ritorno di 2 anni ($4.1 \text{ m}^3/\text{s}$), che risulta pari a circa 1.04. Con questi dati la portata d'aria $Q_a = 4 \text{ l/s}$. La velocità dell'aria si ottiene, quindi, valutando la sezione della condotta d'aerazione e un criterio utilizzato in questi casi è che non si arrivi a raggiungere i 50 m/s. Assumendo anche una sezione molto piccola, attorno ai 0.1 m, questo criterio risulta verificato, poiché la velocità che si ottiene è dell'ordine del 0.1 m/s.

Considerando comunque che per portate superiori, inclusa quella di progetto della galleria, il funzionamento è in corrente lenta e l'integrazione di aria non è facilitata dall'effetto Venturi di aspirazione prodotto dalla corrente in passaggio sotto l'aeroforo, la sezione è stata assunta più grande, con un diametro di 0.5 m.



3. SISTEMAZIONE E VERIFICA IDRAULICA DEL TORRENTE TORBELLA

Nel presente capitolo vengono descritte le simulazioni condotte per valutare la sicurezza idraulica sulla base della nuova portata di piena transitante nel t. Torbella nel tratto terminale a valle della confluenza con la galleria scolmatrice del Rio Maltempo.

3.1 Modellazione idraulica

Per la presente analisi idraulica si ricorre al modello idraulico HEC-RAS, al fine di valutare il comportamento della corrente monodimensionale a moto stazionario e a pelo libero del t. Torbella e seguire la metodologia utilizzata nel Piano di Bacino del t. Polcevera. Le verifiche idrauliche sono state condotte valutando il tempo di ritorno duecentennale, da assumersi come riferimento progettuale, e cinquantennale, e considerando cautelativamente la concomitanza degli eventi di piena del t. Torbella e del t. Polcevera.

3.1.1 Dati di input e geometria del dominio

La geometria monodimensionale del dominio di calcolo è stata definita utilizzando sezioni ubicate nella posizione di quelle del Piano di Bacino del torrente Torbella, alle quali sono state aggiunte ulteriori sezioni che sono state ritenute significative per la modellazione idraulica del tratto oggetto di intervento.

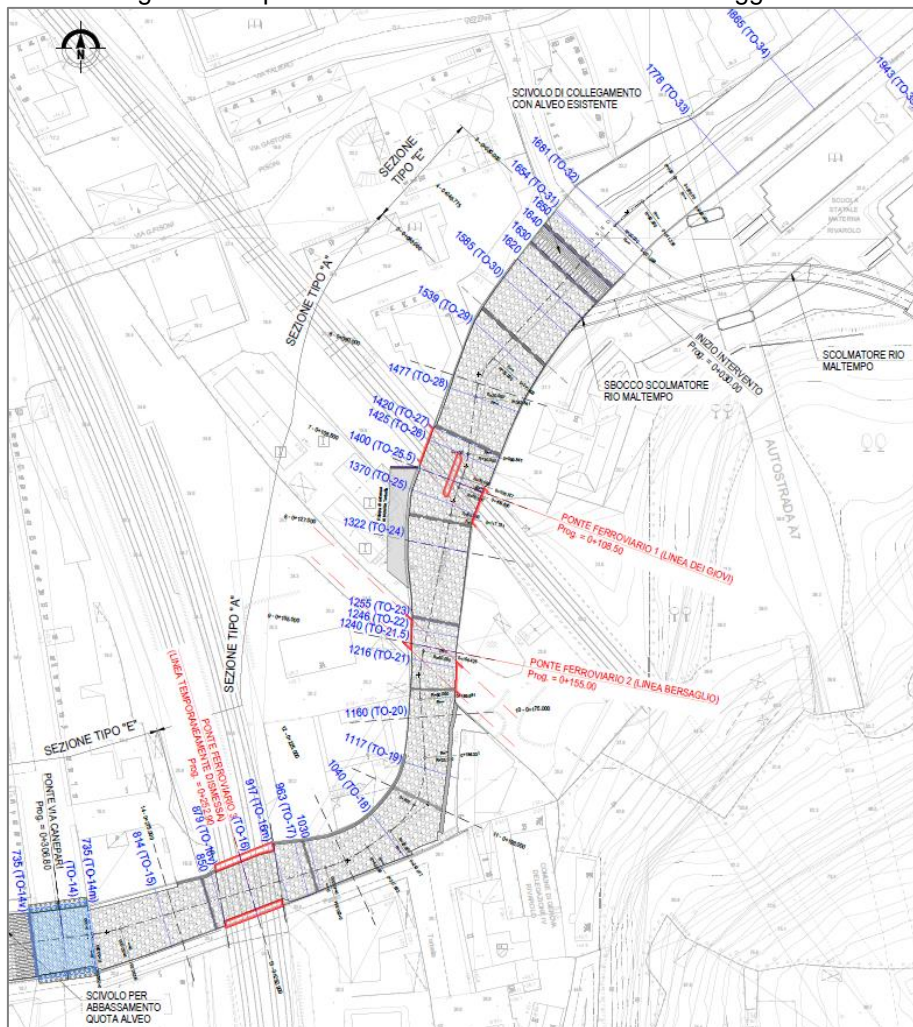


Figura 3-1: Planimetria dell'intervento con la rappresentazione delle sezioni per la modellazione idraulica (tratto di monte, II151F-PD-IDR-D001_0)

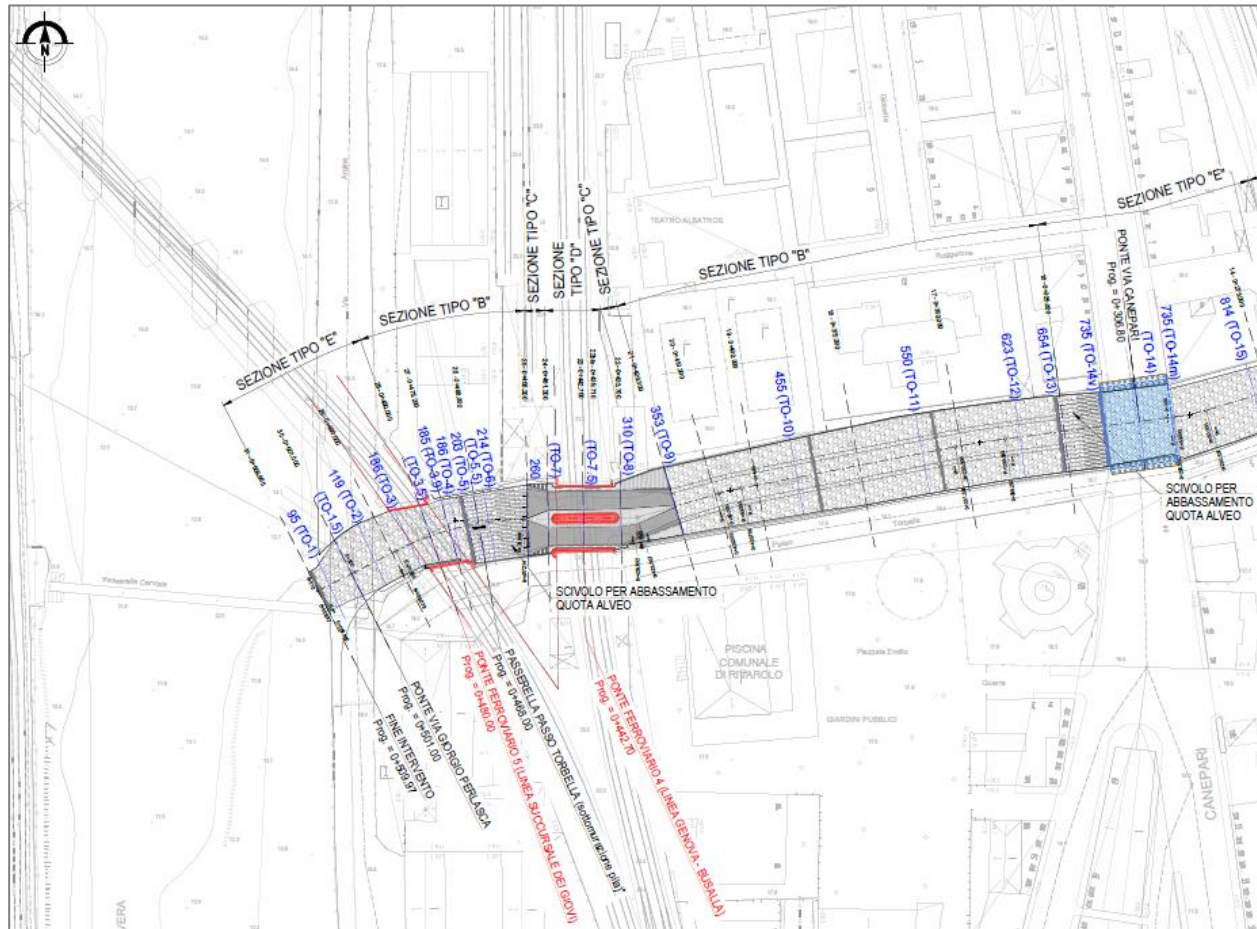


Figura 3-2: Planimetria dell'intervento con la rappresentazione delle sezioni per la modellazione idraulica (tratto di valle, II151F-PD-IDR-D002_0)

La geometria è stata rappresentata con le quote delle sezioni nello stato di fatto e nello stato di progetto (Figura 3-1 e Figura 3-2). Il dominio si estende a partire da circa 100 m a monte del ponte di via Carlo Fasciotti, a valle del quale ha inizio l'intervento in progetto. Lo stato di progetto si basa sulla definizione dell'intervento che proviene dalla valutazione delle alternative effettuata nella precedente fase progettuale, che ha consentito di definire come pendenza media di equilibrio $i = 1.1 \%$, e sulla base delle soluzioni progettuali definite per garantire il mantenimento della stabilità delle opere spondali esistenti lungo il corso d'acqua.

Le principali caratteristiche da evidenziare per lo stato di progetto sono:

- N. 3 scivoli di raccordo del profilo longitudinale del corso d'acqua, definiti in modo tale da distribuire lungo il tratto il dislivello ottenuto dalla rimozione del salto di fondo presente allo stato attuale a valle della passerella privata e, allo stesso tempo, garantire la pendenza di equilibrio dell'1.1%;
- Immissione dello scolmatore del rio Maltempo a valle del primo scivolo di raccordo del profilo a partire da monte, circa 20 m a valle dell'inizio dell'intervento;
- Rivestimento con massi non legati di 2° categoria dell'intero tratto oggetto di intervento, allo scopo di evitare nei tratti con velocità più elevate l'erosione del fondo e garantire maggiore stabilità al piede delle opere spondali a seguito dello scavo dell'alveo. Per garantire la tenuta del rivestimento, la taglia dei massi è stata opportunamente scelta per resistere allo sforzo al fondo massimo della corrente e questo strato viene realizzato con un sottofondo in ghiaia di 0.2 m;
- Demolizione e adeguamento idraulico mediante intervento di ricostruzione del ponte di via Canepari,



che verrà realizzato a campata unica;

- Riprofilatura attorno alla pila del ponte ferroviario n. 4 a partire da monte (Linea "Genova – Busalla") costituita da un muro a "U" in c.a., in modo da proteggere la pila e le spalle dell'opera di attraversamento esistente.
- Interventi mirati di sottomurazione di alcuni tratti dei muri di sponda, nei casi in cui le indagini hanno mostrato che le quote delle fondazioni non raggiungono una sufficiente profondità in relazione allo scavo previsto in progetto. Tale intervento si basa sulla realizzazione di una paratia di micropali al piede dell'attuale muro e di un tratto di muro addossato all'attuale fino alla sua sommità. In corrispondenza dell'attuale accesso all'alveo, a monte del ponte ferroviario n. 3 (linea momentaneamente dismessa), si prevede che la porzione di muro a protezione dell'esistente si elevi fino a 1 m rispetto all'attuale piano campagna, in modo da chiudere questa "finestra" di accesso.

La scabrezza è definita dal coefficiente di Strickler, con le seguenti differenze:

- $K_S = 33 \text{ m}^{1/3}/s$ ($n = 0.03 \text{ m}^{-1/3}s$) nel tratto a monte dell'intervento, dove il fondo è costituito dai depositi fluviali del torrente Torbella;
- $K_S = 40 \text{ m}^{1/3}/s$ ($n = 0.025 \text{ m}^{-1/3}s$) nei tratti con rivestimento in massi non legati come le rampe previste nello stato di progetto, coerentemente al PdB, sia nello stato di fatto che in quello di progetto.
- $K_S = 67 \text{ m}^{1/3}/s$ ($n = 0.015 \text{ m}^{-1/3}s$) nel tratto con il muro a "U" attorno alla pila del ponte ferroviario n. 4 a partire da monte (Linea "Genova – Busalla").

3.1.2 Condizioni al contorno

Nello scenario di progetto con la geometria definita come sopra, la condizione al contorno di monte del tratto oggetto di intervento è definita dalla portata calcolata nell'analisi idrologica realizzata per il presente progetto. In particolare, vengono considerati gli eventi con tempo di ritorno T_r 200 anni (quello di riferimento da normativa per gli interventi di sistemazione idraulica) e con il tempo di ritorno T_r 50 anni. Nello stato di progetto alla portata idrologica del torrente Torbella immessa nella sezione di monte del dominio ("TO-40") viene sommata la portata in uscita dallo scolmatore del rio Maltempo nella sezione dello sbocco di tale opera (sezione "1620", a monte della "TO-30"). Tale portata è quella che è stata calcolata per l'evento critico per il bacino del torrente Torbella nell'analisi idrologica.

Per quanto riguarda la condizione al contorno di valle, viene definiti due scenari, in modo da valutare i livelli nella sezione terminale del modello idraulico del torrente Torbella, che sono condizionati dal comportamento idrodinamico del torrente Polcevera. Tali livelli sono stati ricavati a partire dai valori dichiarati all'interno del Piano di Bacino (PdB) del torrente Polcevera (allegato "Verifiche idrauliche"), con riferimento alla sezione posta immediatamente a valle della confluenza con il torrente Torbella, denominata "POL-35" (Figura 3-3). Tali verifiche idrauliche, come si descrive in seguito, sono state effettuate per eventi con T_r 50, 200 e 500 anni, tra i quali vengono qui considerati esclusivamente i valori per T_r 50 e 200 anni.

Si sottolinea che, nell'ambito di queste verifiche contenute nel PdB del torrente Polcevera, non sono state modellate le confluenze con gli affluenti, tra i quali il torrente Torbella ed anche il torrente Fegino, che sfocia sulla sponda opposta (destra) rispetto al torrente Torbella (Figura 3-4).

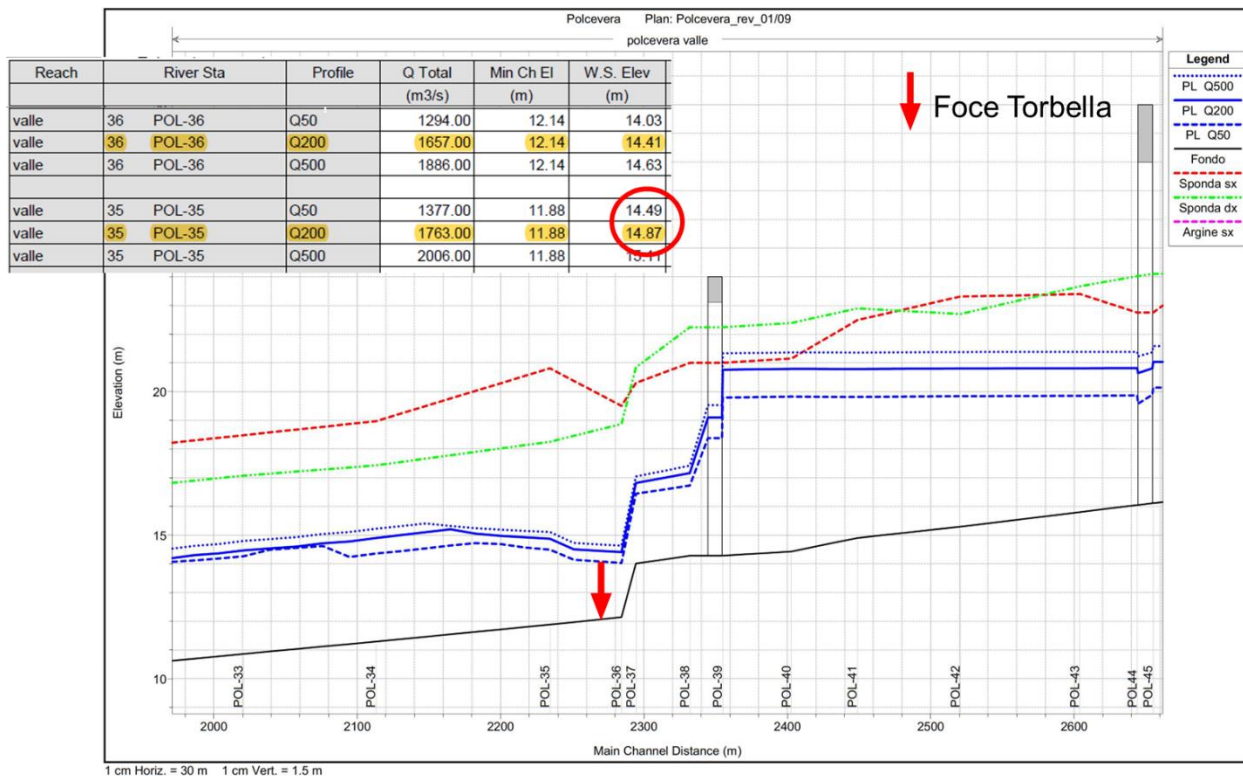


Figura 3-3: Profili di piena del torrente Polcevera e tabella con i relativi livelli nel tratto in cui è compresa la foce del torrente Torbella (linea continua blu, portata Tr200 anni del torrente Polcevera). Fonte: Piano di Bacino torrente Polcevera, allegato "Verifiche idrauliche".

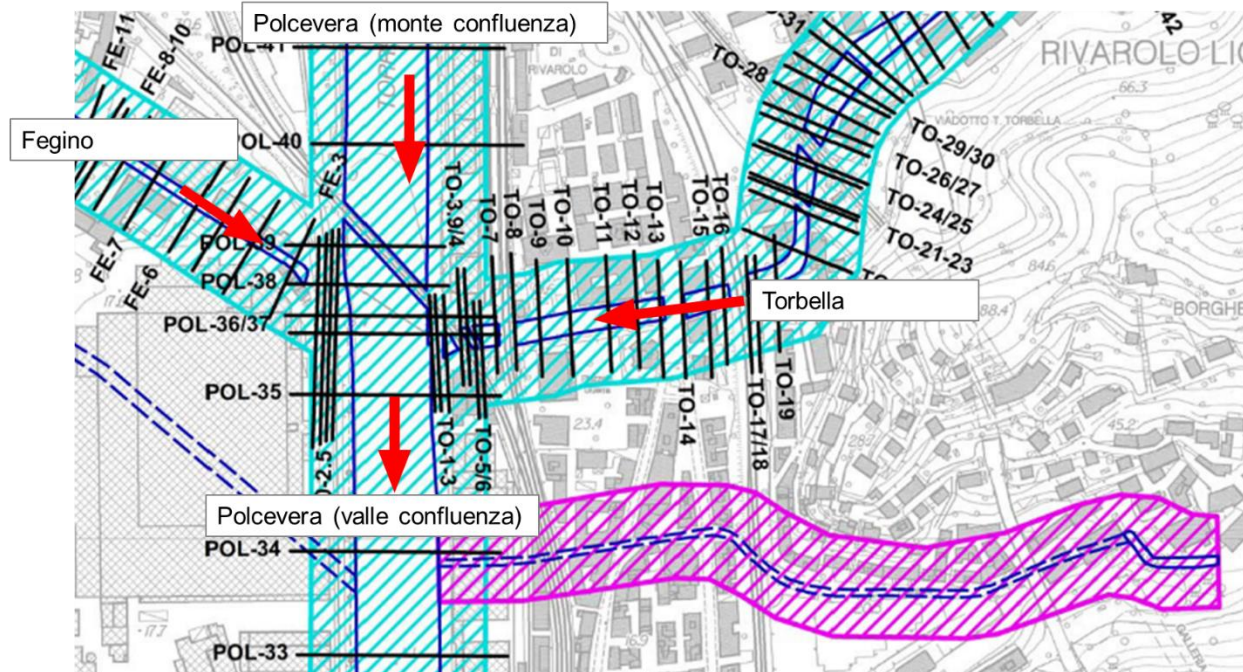


Figura 3-4: Inquadramento planimetrico del nodo in cui il torrente Torbella e Fegino sfociano nel torrente Polcevera.

Nell'analisi idraulica del torrente Polcevera tra la sezione a monte e valle della confluenza con il torrente Torbella ed il torrente Fegino la portata per Tr200 del t. Polcevera passa da 1657 m³/s a 1763 m³/s, con la differenza di 106 m³/s, mentre la portata per Tr50 del t. Polcevera passa da 1294 m³/s a 1377 m³/s, con la differenza di 83 m³/s (Figura 3-5).



Questa differenza va ripartita tra il torrente Torbella (area bacino 5 km²) ed il torrente Fegino (area bacino 2.5 km²): la portata per questo scenario nel torrente Torbella è dunque il doppio di quella del torrente Fegino ed è pari a 70,67 m³/s.

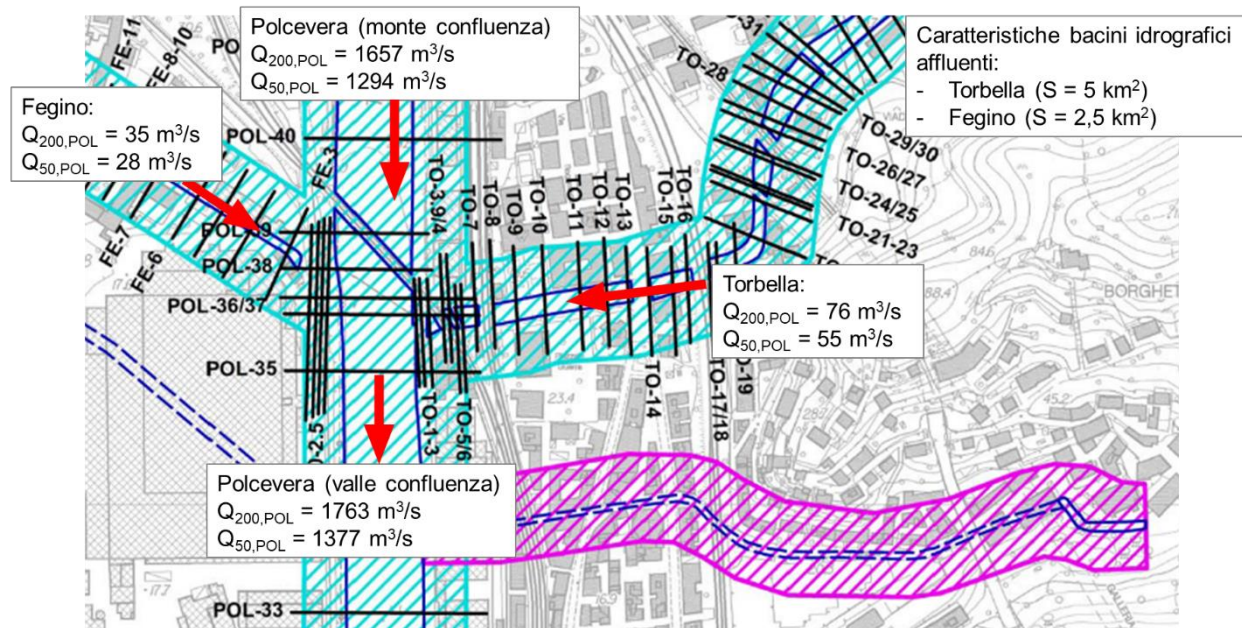


Figura 3-5: Inquadramento planimetrico del nodo in cui il torrente Torbella e Fegino sfociano nel torrente Polcevera e definizione delle portate degli affluenti per gli eventi di piena definiti per il torrente Polcevera con Tr200 anni e Tr 50 anni.

La piena del torrente Torbella può essere così analizzata in modo disgiunto da quella del torrente Polcevera, con lo scopo di determinare quale sia il livello della corrente più elevato nel tratto terminale del torrente Torbella e calcolare i franchi idraulici rispetto alle sponde ed alle opere di attraversamento presenti. Sulla base di queste condizioni al contorno (portate idrologiche del Torbella nella sezione di monte e livelli del Polcevera nella sezione di valle), sono stati valutati i seguenti scenari:

- **Scenario 1:** Piena del torrente Torbella (Tr 200 anni e Tr 50 anni) per la valutazione della sicurezza idraulica del corso d'acqua a seguito dell'intervento in progetto. In queste condizioni viene assunta la concomitanza della piena Tr50 anni torrente Polcevera ed il relativo livello alla confluenza, che appare cautelativa considerando le differenti caratteristiche dei bacini dei due corsi d'acqua. Si impone nella sezione di valle del torrente Torbella il livello del torrente Polcevera corrispondente alla piena con Tr50 anni. Nella sezione immediatamente a valle della confluenza con il Torbella il livello nel Polcevera è $H_{50} = 14.49$ m s.m.m.;
- **Scenario 2:** Piena Tr 200 anni del torrente Polcevera con concomitante portata di piena affluente dal torrente Torbella, calcolata sulla base della differenza nel torrente Polcevera tra monte e valle confluenza ($Q = 76$ m³/s). Tale scenario serve per la definizione dei livelli nel tratto terminale del torrente Torbella, mentre non ha significatività per il restante tratto oggetto di intervento, dal momento che le portate del torrente Torbella sono circa la metà di quelle dello Scenario 1. Si impone nella sezione di valle del torrente Torbella il livello del torrente Polcevera corrispondente alla piena con Tr200 anni. Nella sezione immediatamente a valle della confluenza con il Torbella il livello nel Polcevera è $H_{200} = 14.87$ m s.m.m..



Tabella 3-1: Definizione degli scenari delle analisi idrauliche effettuate

Scenario	Tr (anni)	Monte (TO-40)	In. Scolmatore (TO-30)	Valle (TO-1, confluenza Torbella - Polcevera)
Scenario 1	200	$Q = 145 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 164 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_{valle} = 14.49 \text{ m s. m. m.}$
	50	$Q = 115 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 125 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_{valle} = 14.49 \text{ m s. m. m.}$
Scenario 2	200	$Q = 76 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 76 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_{valle} = 14.87 \text{ m s. m. m.}$
	50	$Q = 55 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 55 \text{ m}^3/\text{s}$	$H_{valle} = 14.87 \text{ m s. m. m.}$

Si sottolinea che la sezione di valle del modello idraulico del Torbella è stata estesa a 40 m dalla effettiva sezione in corrispondenza della sponda sinistra del Polcevera. Questa scelta è stata ritenuta necessaria, al fine di consentire nello Scenario 1 il raccordo tra il livello imposto a valle ed il profilo di corrente, che risulta caratterizzato da un'energia superiore del livello stesso.

Ciò comporta dal punto di vista idraulico la formazione di un risalto idraulico alla confluenza, che l'imposizione del livello del Polcevera in corrispondenza della sponda sinistra forzerebbe in maniera artificiosa all'interno dell'alveo del Torbella stesso.

L'imposizione invece della condizione al contorno 40 m più a valle, all'interno dell'alveo del torrente Polcevera, consente di modellare in maniera più corretta la formazione del risalto e i tiranti in condizioni supercritiche del torrente Torbella nel tratto di foce.

Si premette che i risultati di queste analisi, descritti e rappresentati nel capitolo seguente, sono riportati con allegati grafici alla fine della presente relazione.

3.1.3 Scenario 1

La prima simulazione dello Scenario 1 è stata eseguita sulla geometria dello stato di fatto, con l'immissione della portata duecentennale e cinquantennale nel torrente Torbella ($Q_{200} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{50} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$), nelle condizioni attuali. Il profilo ottenuto è mostrato in Figura 3-6.

Si nota come in vari tratti la quota del pelo libero supera la quota delle sponde destra e sinistra, in entrambi gli eventi; in particolare, ciò accade nell'evento duecentennale, con l'esempio più evidente a monte ed in corrispondenza del ponte di via Canepari, dove il forte restringimento dovuto alla geometria dell'opera determina un raggiungimento di un livello superiore di circa 1 m rispetto al piano di campagna. Inoltre, si hanno superamenti della quota delle sponde nel tratto compreso tra i due ponti della ferrovia di monte (linea dei Giovi e linea Bersaglio) e nel tratto a monte del salto di fondo, posizionato a valle della passerella privata, in prossimità della foce nel torrente Polcevera.

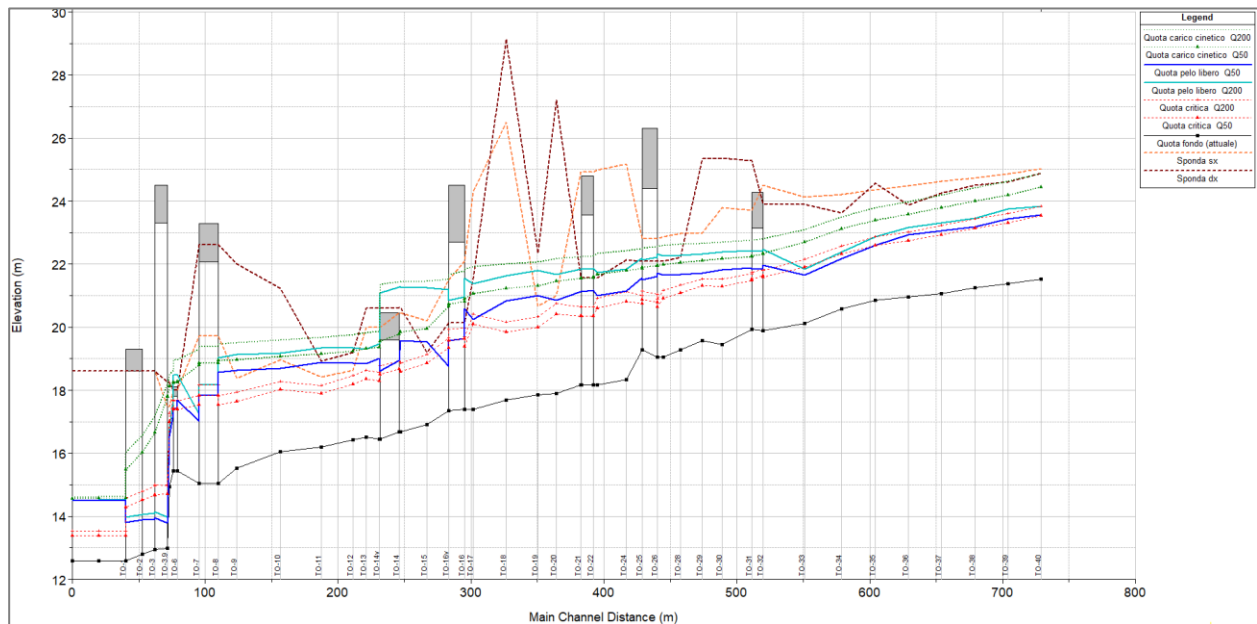


Figura 3-6: Profilo idraulico per lo stato di fatto nello Scenario 1. Linea ciano e blu continua: quota pelo libero Tr 200 e Tr 50. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx.

La seconda simulazione mostra i risultati dello stato di progetto nello Scenario 1, in cui il profilo segue l'intervento in progetto e si considera l'immissione della portata proveniente dallo scolmatore del rio Maltempo, che determina a valle di tale immissione l'aumento delle portate nel torrente Torbella fino a raggiungere $Q_{200} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{50} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$.

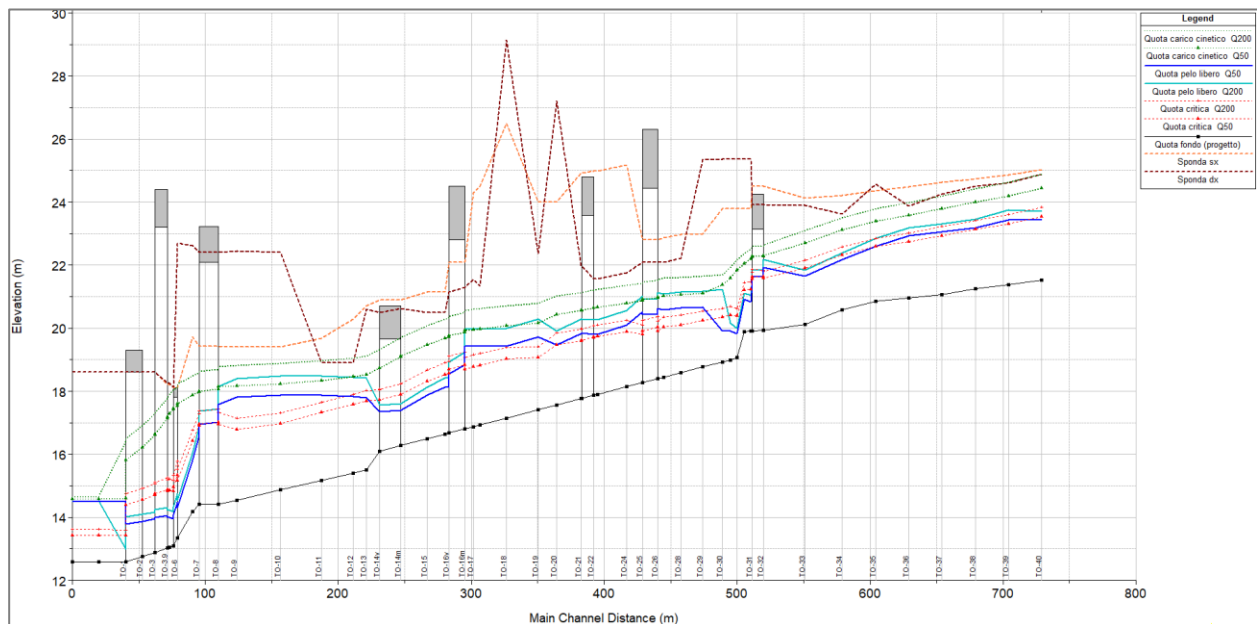


Figura 3-7: Profilo idraulico per lo stato di progetto nello Scenario 1. Linea ciano e blu continua: quota pelo libero Tr 200 e Tr 50. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx.

I principali risultati sono i seguenti:

- la quota del pelo libero associata alla portata duecentennale non supera in nessun tratto la quota delle sponde. Il franco minimo risulta essere pari a circa 0.43 m nel tratto a monte del ponte ferroviario n. 4 (linea Genova – Busalla), in sponda destra, per uno sviluppo longitudinale di circa



20 m. In corrispondenza del ponte ferroviario più a monte (Linea dei Giovi) il franco idraulico rispetto alla sommità della sponda destra risulta pari a 1 m. Negli altri tratti invece il franco è sempre superiore al metro.

- il sormonto del ponte Canepari viene risolto. La realizzazione della nuova opera di attraversamento a campata unica e la contestuale riprofilatura dell'alveo consentono di garantire un franco idraulico di 1.81 m rispetto all'intradosso dell'opera.

Nella seguente Figura 3-8 si riporta il confronto della quota del pelo libero tra lo stato attuale e quello di progetto, evidenziando le considerazioni descritte sopra.

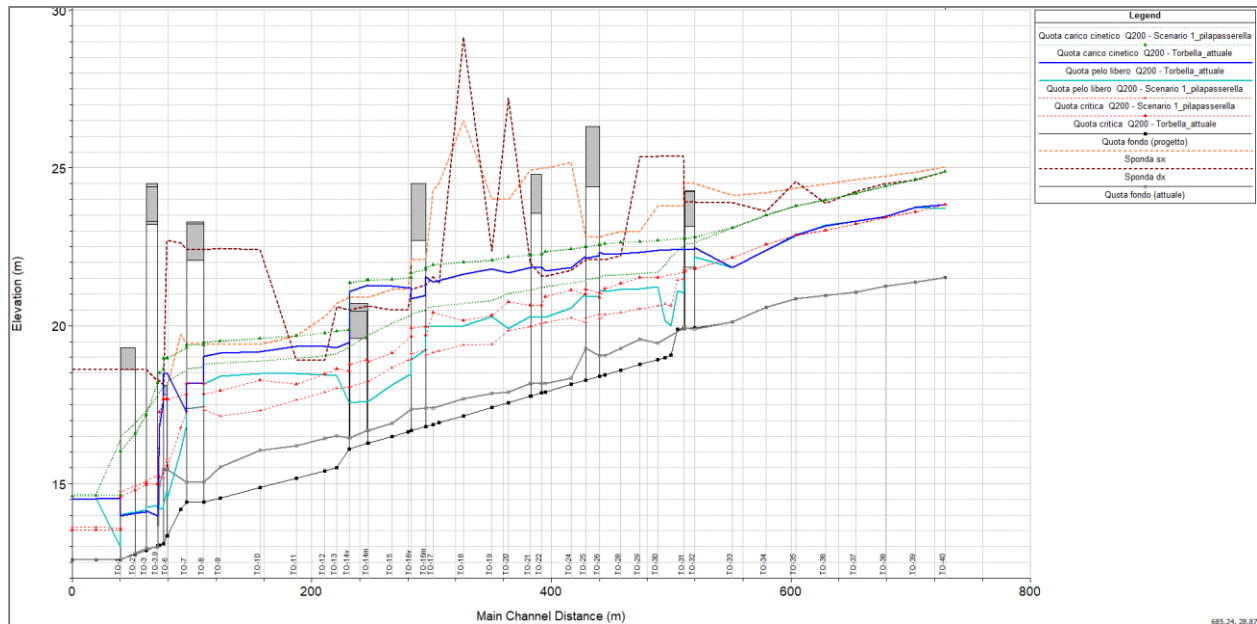


Figura 3-8: Confronto tra il profilo idraulico dello stato di fatto (linea blu continua) e lo stato di progetto (linea ciano continua) nello Scenario 1, per Tr 200. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero.

3.1.4 Scenario 2

I risultati dello scenario 2 vengono rappresentati con un dettaglio sul tratto di valle del torrente Torbella, in prossimità della foce nel torrente Polcevera. Tale Scenario serve per la definizione dei livelli nel tratto terminale del torrente Torbella, mentre non ha significatività per il restante tratto oggetto di intervento, dal momento che le portate sono circa la metà di quelle dello Scenario 1.

Si sottolinea che il ponte ferroviario n. 4 (linea Genova – Busalla) comporta il passaggio della corrente in condizione critiche con transizione a causa del forte restringimento di sezione determinato dalla pila centrale in alveo. Pertanto, la sezione del ponte è una sezione di controllo, che rende indipendenti le condizioni idrauliche di monte da quelle che si stabiliscono a valle del ponte.

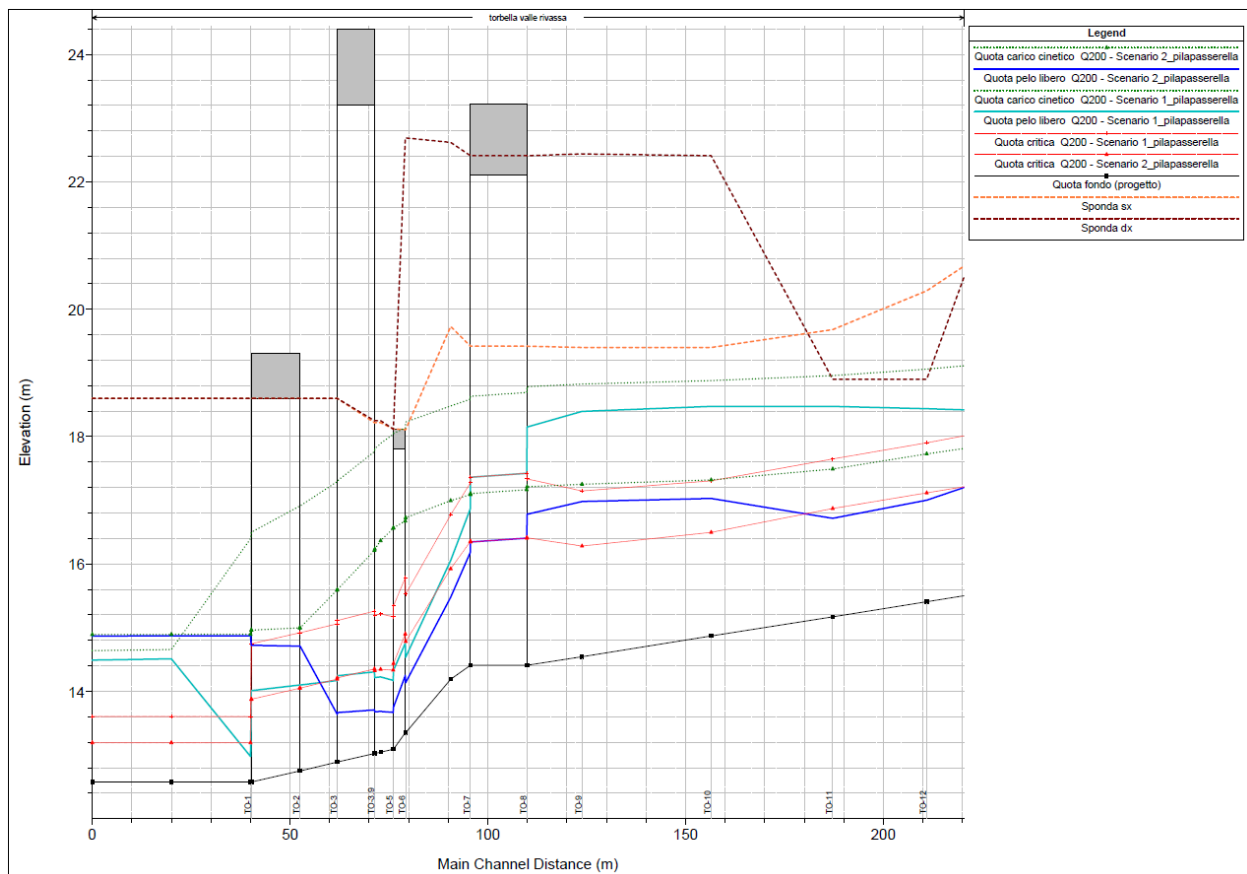


Figura 3-9: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea ciano continua) e Scenario 2 (linea blu continua) per Tr 200 anni (linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx)

Questa analisi mostra come il livello più elevato nella sezione di valle sia determinato dall’evento per Tr200 anni del torrente Polcevera, pari a $H_{valle} = 14.87 \text{ m s. m. m.}$. Tale livello risale fino alla sezione di monte del ponte stradale di via Giorgio Perlasca (attraversamento del torrente Torbella alla foce). Di conseguenza, nello Scenario 2 il risalto si posiziona immediatamente a monte di tale ponte stradale, a circa 15 m dalla foce del Torbella nel Polcevera. Nello Scenario 1 il risalto si posiziona, invece, all’interno dell’alveo del Polcevera, come avviene anche nello stato di fatto.

Nelle sezioni a monte del ponte ferroviario n. 4 (linea Genova – Busalla) il livello della corrente più elevato risulta essere invece quello dello Scenario 1, dal momento che la portata per Tr200 anni del Torbella è maggiore rispetto a quella dello Scenario 2.

3.1.5 Valutazione sugli effetti indotti dalla presenza della passerella privata di via Passo Torbella n. 2

La passerella privata di via Passo Torbella n. 2 presenta allo stato attuale una pila in alveo, che, sulla base delle indagini eseguite per il presente progetto, ha una fondazione con una quota d’imposta a 14.08 m s.m.m., più bassa della attuale quota di talweg. La riprofilatura dell’alveo prevede in questo tratto la realizzazione dello scivolo di raccordo più a valle, che determina in corrispondenza della passerella una quota del fondo di 13.29 m s.m.m. ed una quota di fondo scavo provvisoria di 12.09 m s.m.m..

Viene valutato nello stato di progetto se tale passerella influenzi o meno le condizioni idrodinamiche del torrente Torbella, allo scopo di comprendere se essa condizioni la pericolosità idraulica del Torbella nel suo alveo e nelle aree contermini. Viene, quindi, riportato un confronto tra due situazioni nello stato di



progetto: nella prima si ipotizza la completa demolizione della passerella e della pila in alveo e nella seconda si ipotizza la realizzazione di una nuova pila, con una fondazione realizzata ad una quota sufficientemente bassa da essere inglobata nel rivestimento dell'alveo in progetto.

Si vuole in questo modo verificare se il mantenimento della passerella e della relativa nuova pila comporti modificazioni delle condizioni idrodinamiche e di pericolosità rispetto all'ipotesi di completa rimozione della stessa.

Con riferimento alla sezione TO-6, che rappresenta la sezione immediatamente a monte della passerella, si può notare che:

- Se la passerella e la relativa pila venissero demolite, la quota del pelo libero per Tr 200 anni risulta pari a 14.45 m s.m.m. (Figura 3-10);
- se si mantenesse la passerella privata esistente e la relativa nuova pila, la quota del pelo libero per Tr 200 anni risulta pari a 14.62 m s.m.m. (Figura 3-11).

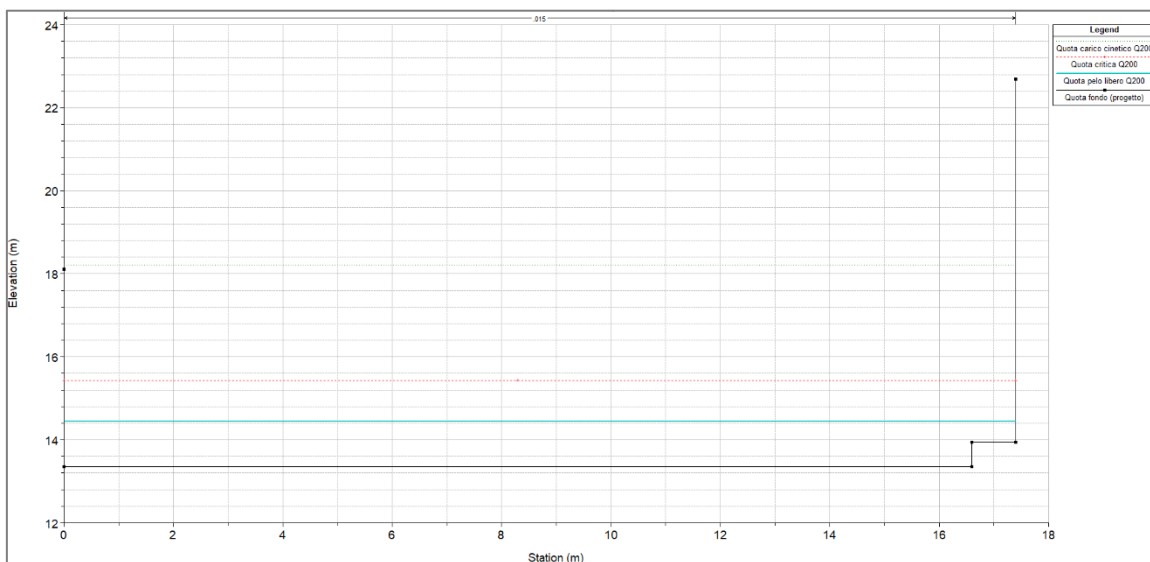


Figura 3-10: Sezione della passerella privata nello stato di progetto senza la passerella e la pila

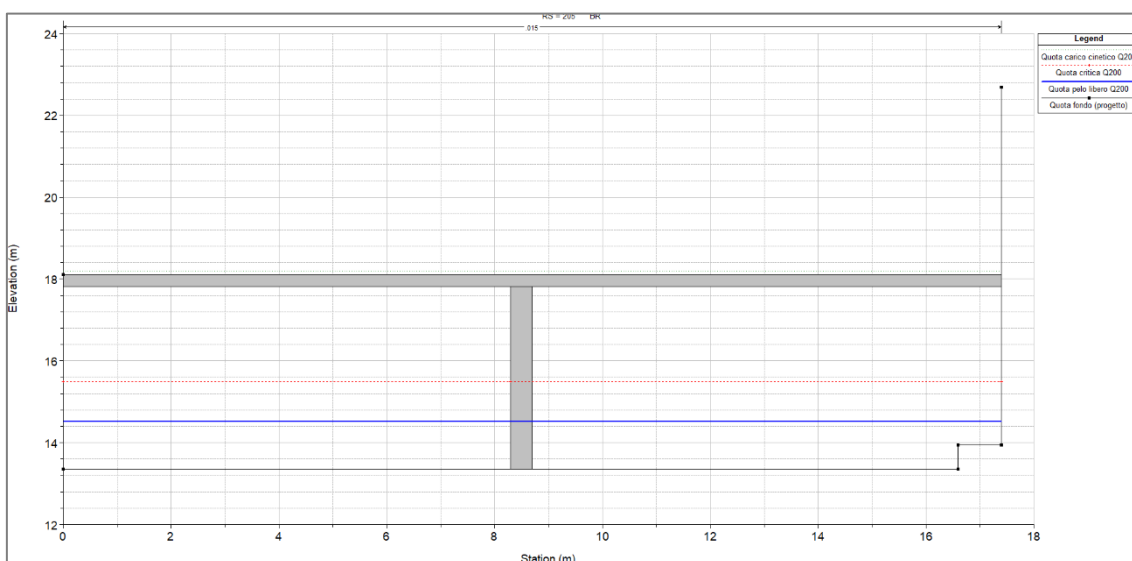


Figura 3-11: Sezione della passerella privata nello stato di progetto (con nuova pila)



La differenza di quota risulta essere pari a 0.17 m. Questo mostra come il mantenimento della passerella esistente e della sua nuova pila centrale non influenzi in modo significativo la condizione idrodinamica del torrente Torbella e garantisca un franco molto ampio (pari a circa 3.5 m, Figura 3-12).

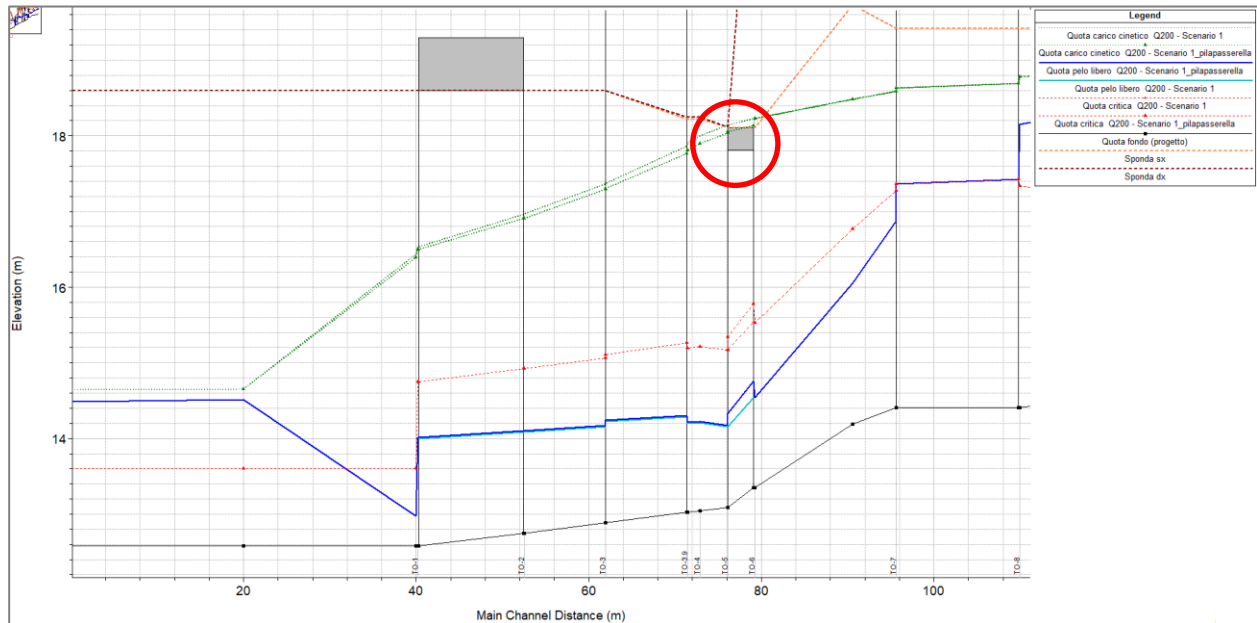


Figura 3-12: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua) per Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero. La posizione della passerella è evidenziata dal cerchio in rosso

Inoltre, il confronto con l'analisi idraulica dello stato attuale del fondo del torrente Torbella nel medesimo Scenario 1 mostra come la riprofilatura dell'alveo apporti un evidente beneficio in termini di livelli idrici (Figura 3-13). Nello stato attuale, infatti, la presenza del salto di fondo subito a valle della passerella mantiene la quota del pelo libero più elevata, la quale, a causa della presenza stessa della passerella, supera la quota della sponda sinistra, corrispondente a via Passo Torbella e provoca un allagamento (Figura 3-14).

Si ritiene, quindi, che la soluzione ottimale sia il mantenimento della passerella esistente con la nuova pila.

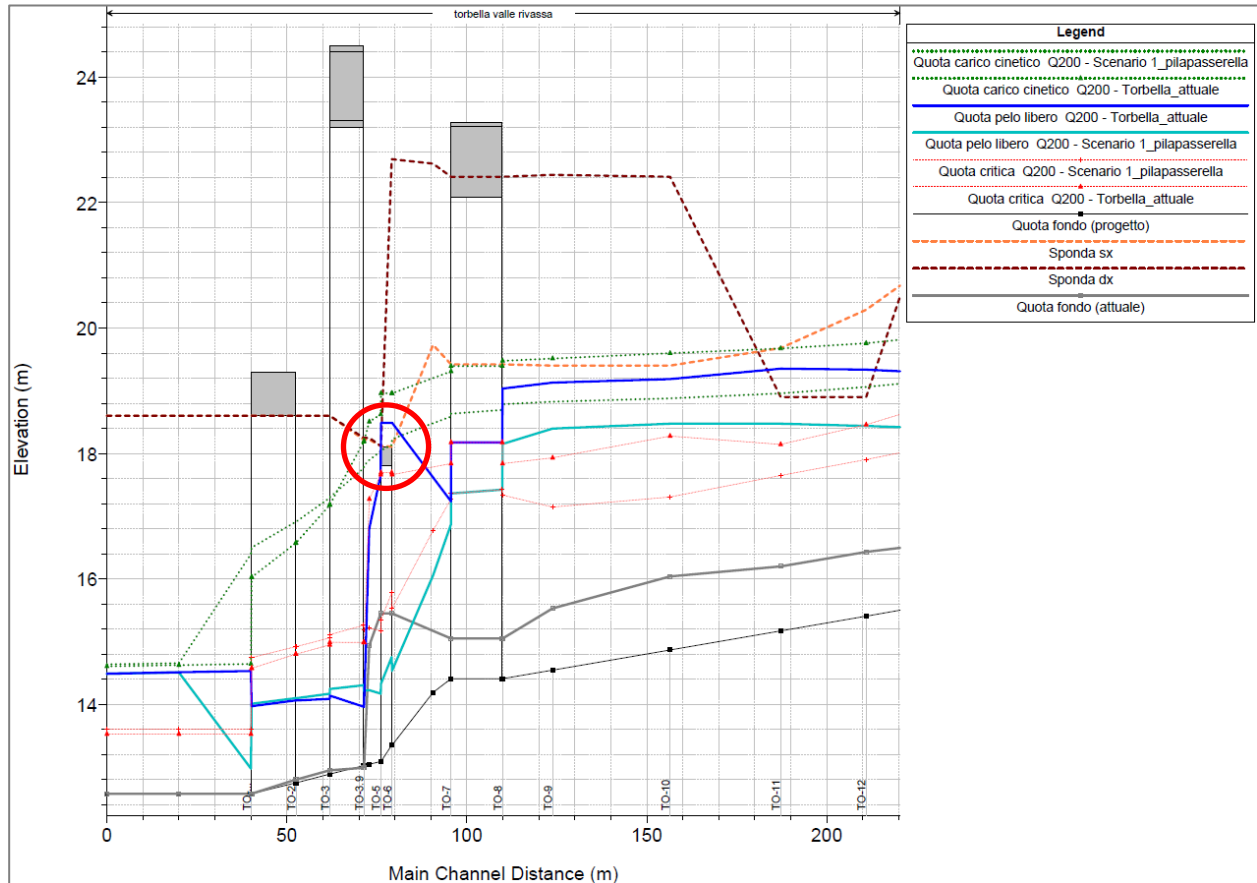


Figura 3-13: Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua): tiranti idrici Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero. La posizione della passerella è evidenziata dal cerchio in rosso

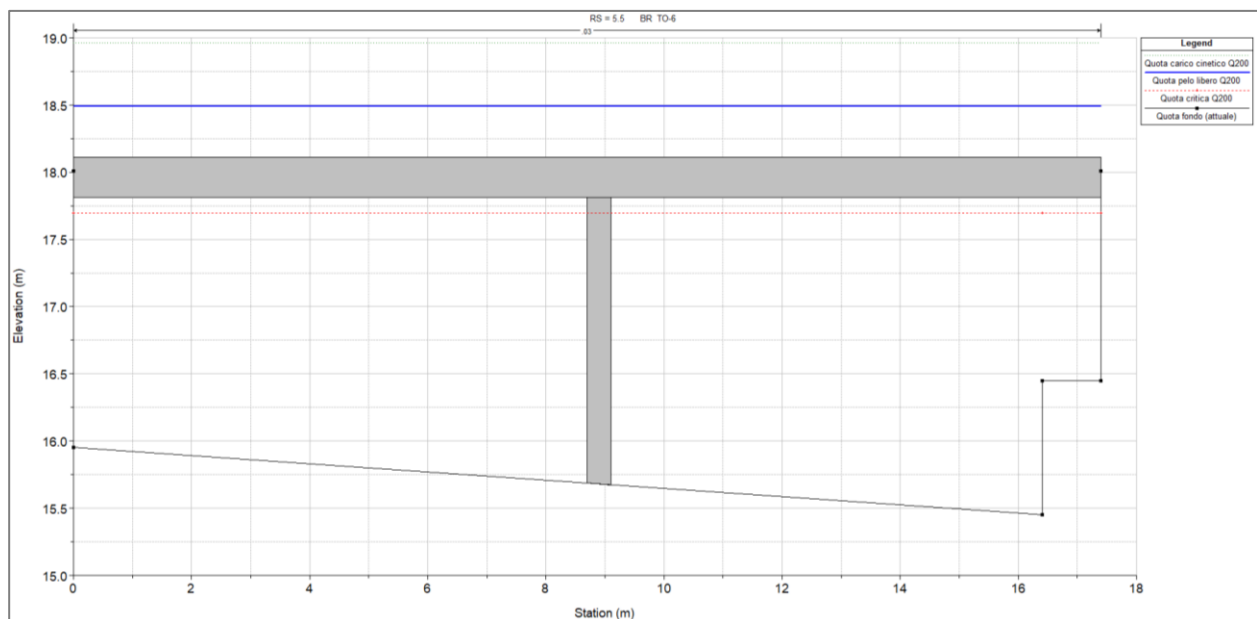


Figura 3-14: Sezione della passerella privata nello stato attuale



3.2 Rappresentazione dell'intervento di sistemazione idraulica previsto

L'intervento di sistemazione del torrente Torbella si basa sull'abbassamento ed il rivestimento dell'alveo in massi non legati di 2° categoria, suddiviso in due parti principali in funzione del tipo di riprofilatura e configurazione da assegnare all'alveo:

- Nel primo tratto a partire da monte, a partire dal previsto sbocco dello scolmatore del rio Maltempo fino al nuovo ponte di via Canepari, si prevede uno scavo generalizzato dell'alveo ed il suo successivo rivestimento con massi non legati di 2° categoria (spessore di 1 m più un sottofondo in ghiaia di 0.2 m), che determina un abbassamento del profilo di scorrimento di circa 0.5 m rispetto al livello attuale.

In Figura 3-15 si riporta una sezione caratteristica di questo tratto, in cui l'area con sfondo giallo rappresenta l'intervento di scavo, il retino con massi in rosso è il rivestimento di massi non legati di 2° categoria di spessore 1 m ed il retino sottostante rappresenta il sottofondo in ghiaia di 0.2 m.

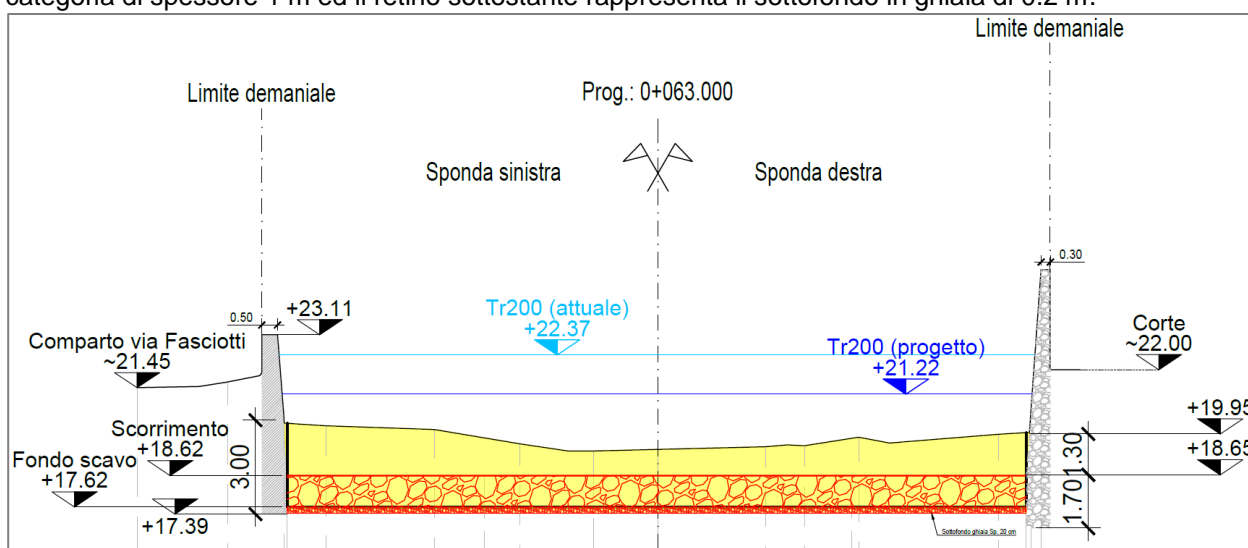


Figura 3-15: Esempio di una sezione ubicata nel primo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-5, II151F-PD-STR-D053_2)

- Nel secondo tratto a partire da monte, a valle del ponte di via Canepari e fino al ponte ferroviario n. 4 a partire da monte (Linea "Genova – Busalla"), si prevede di realizzare una savanella centrale e mantenere due banche laterali ad una quota più elevata. In questo modo è possibile evitare di arrecare danno alle opere spondali con uno scavo eccessivo dell'alveo e di comprometterne la stabilità. In questo tratto si prevede, inoltre, il rifacimento senza pile in alveo del ponte di via Canepari e della passerella pedonale a monte della confluenza. Tali interventi verranno realizzati prima dell'abbassamento dell'alveo, in modo da poter poi realizzare la configurazione definita senza questo tipo di ostacolo. In riferimento al ponte stradale si prevede la realizzazione dell'intervento considerando le seguenti fasi: innanzitutto, verrà effettuata la demolizione dell'impalcato e della pila, inserendo immediatamente un ponte Bailey, per garantire il transito nella via almeno a senso unico alternato durante la fase di costruzione del nuovo ponte; a quel punto si procederà nella realizzazione del nuovo ponte, costituito da una sola campata di luce pari a circa la larghezza dell'alveo, ovvero 20 m. In Figura 3-17 si riporta la sezione tipo del tratto.

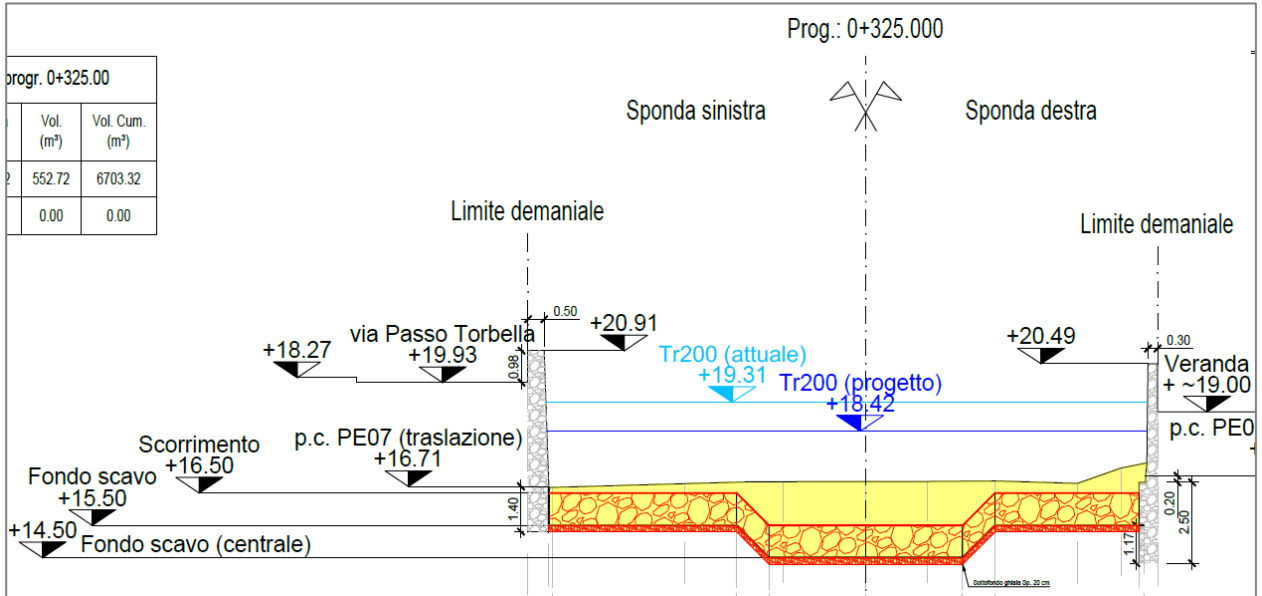


Figura 3-16: Esempio di una sezione ubicata nel secondo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-16, II151F-PD-STR-D055_2)

- Dal momento che in prossimità della confluenza nel t. Polcevera rimane la presenza della pila in alveo del ponte ferroviario n. 4 a partire da monte (Linea "Genova – Busalla"), si prevede nel terzo tratto un adattamento della sezione definita nel secondo tratto, in modo da convogliare la portata ai lati della pila centrale e garantire la stabilità dell'opera, fino a raggiungere la sezione in corrispondenza di questa opera. Si illustra questa parte dell'intervento di sistemazione del t. Torbella con una delle sezioni ubicate in questo tratto, riportata in Figura 3-17.

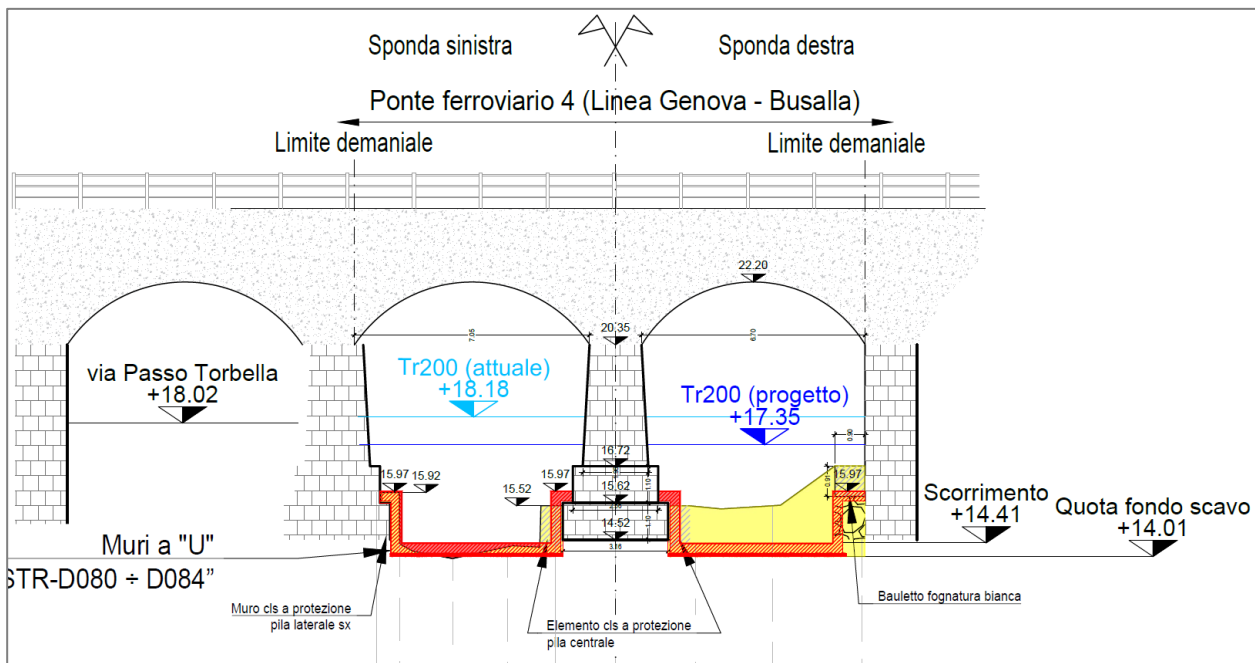


Figura 3-17: Esempio di una sezione ubicata nel terzo tratto oggetto di intervento (Sez. Torbella-16, II151F-PD-STR-D056_2)

Infine, a valle dell'ultimo scivolo di raccordo, si raggiunge la quota del fondo del torrente Torbella esistente in prossimità della foce nel torrente Polcevera. La sezione in questo quarto tratto è caratterizzata allo stesso



modo dal rivestimento massi non legati di 2° categoria come nei precedenti tratti, ma la quota di scorrimento definitiva non si discosta da quella attuale, se non per piccole variazioni locali dovute alla variabilità trasversale dell'attuale sezione.



4. ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO NEL TORRENTE TORBELLA

L'analisi del trasporto solido è importante per valutare l'evoluzione morfologica del tratto di t. Torbella oggetto di intervento e supporta la valutazione degli eventuali interventi di manutenzione a medio-lungo termine da prevedersi per mantenere la funzionalità delle opere. L'intervento principale che caratterizza la riprofilatura dell'alveo del Torbella è la rimozione del salto di fondo presente allo stato attuale in prossimità della foce nel Polcevera. Tale salto, di altezza tra i 2 e i 2.5 m, ha influenzato tutto il tratto a monte dello stesso e l'intervento in progetto prevede di sfruttare l'altezza che si recupera dalla sua demolizione, per abbassare in modo generalizzato la quota del thalweg, così da aumentare la sezione di deflusso e garantire la sicurezza idraulica.

Per svolgere questa analisi, è necessario conoscere le principali caratteristiche del corso d'acqua, a partire dalla granulometria presente sul fondo, che è stata caratterizzata durante la campagna di indagini ed analisi di laboratorio svolte per questo progetto. Durante sopralluoghi svolti lungo questo tratto del t. Torbella è stato poi possibile scattare una serie di fotografie, con lo scopo di analizzare visivamente i sedimenti presenti sul fondo del corso d'acqua, anche in corrispondenza delle varie opere che interferiscono con il corso d'acqua. L'evoluzione morfologica del tratto a seguito dell'intervento in progetto viene influenzata inoltre dalla pendenza del profilo previsto: per questo, vengono confrontati i profili del fondo dello stato attuale, rilevato durante la campagna di indagini, e quello di progetto, in modo da evidenziare i miglioramenti indotti dall'intervento. Alla luce di tutto ciò viene valutato il profilo di equilibrio dell'alveo in relazione all'intervento previsto.

4.1 Analisi granulometrica del torrente Torbella

Per valutare compiutamente quali siano gli effetti indotti sul trasporto solido di un corso d'acqua da un intervento di sistemazione, risulta fondamentale caratterizzare la granulometria del fondo dell'alveo. Le dimensioni dei sedimenti che si trovano sul fondo di un corso d'acqua sono il risultato di una serie di eventi di piena che li hanno mobilitati nel tempo, con diversa intensità in funzione delle diverse portate.

La conoscenza delle caratteristiche granulometriche del fondo del torrente Torbella consente di comprendere quali siano le portate e, di conseguenza gli eventi di piena, che inducono una mobilità del fondo e variazioni della morfologia dell'alveo.

L'analisi granulometrica del sito è stata condotta durante la campagna di indagini svolta nei mesi di febbraio e marzo 2022. Nel torrente Torbella è stato campionato il materiale in corrispondenza del sondaggio denominato S05, situato in prossimità della curva del t. Torbella tra il ponte ferroviario della linea Bersaglio e quello della futura estensione della metropolitana (Figura 4-14). In particolare, la granulometria dell'alveo è stata determinata dall'analisi svolta su un campione di grande volume escavato tra le profondità 0.00 - 1.00 m, che permette di valutare le dimensioni dei sedimenti nella porzione più superficiale dell'alveo. Inoltre, è disponibile l'analisi granulometrica di un campione prelevato dal sondaggio S05 tra le profondità di 1.00 – 2.00 m, che rappresenta al contrario le caratteristiche del sub-alveo (per approfondimenti vedere elaborato II151F-PD-IND-R002_0, da pagina 213). In Figura 4-1 e Figura 4-2 sono riportate le distribuzioni granulometriche dei campioni prelevati.



		LABORATORIO PROVE SUI TERRENI Conc.Min.LL.PP. N° 53363 del 06-05-05 ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-07)		AZIENDA CON SISTEMA QUALITA' CERTIFICATO DAL RINA ISO 9001 - ISO 14001	
Foglio 1 di 1					
Acc. n°	053/22	del	16/03/22	Certificato n°:	1988/22
Committente:	Technital S.p.A.			Commessa n°	357/21
Cantiere:	Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del Rio Maltempo - Indagini geognostiche della galleria scolmatrice del Rio Maltempo				
Località:	Rio Torbella-Genova				
Campione:	PZ1_CR01			Profondità (m):	0,00-1,00
Sigla di laboratorio	T.400/22	Data di inizio prova	12/04/2022	Data di emissione:	15/04/2022

Analisi granulometrica per setacciatura (frazione ritenuta al setaccio N. 200 ASTM, 0,075 mm)			
Massa secca iniziale (g):	32214,10	Massa secca dopo lavaggio (g):	32214,10
Setaccio		Massa tara (g):	100,00
ASTM	mm	Massa ritenuta cumulativa + tara (g)	Percentuale passante (%)
4"	100,000	100,00	100,00
3"	75,000	2503,50	92,52
2 1/2"	63,000	3442,00	89,59
2"	50,000	5123,50	84,36
1 1/2"	37,500	10378,50	67,99
1"	25,400	17605,00	45,49
3/4"	19,000	19941,00	38,22
1/2"	12,500	23190,00	28,10
3/8"	9,500	24251,00	24,80
N. 4	4,750	26139,50	18,92
N. 8	2,360	26916,50	16,50
N. 16	1,180	27748,95	13,90
N. 40	0,425	28970,40	10,10
N. 50	0,300	29376,77	8,84
N.100	0,150	29856,89	7,34
N. 200	0,075	30203,60	6,26

Distribuzione granulometrica

TECNO IN S.p.A.
 LABORATORIO AUTORIZZATO
 ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. 380/2001
 con decreto n. 53363 per Prove

Lo Sperimentatore: Dott.ssa Geol. Giuseppina Pascariello
 Il Direttore del Laboratorio: Dott. Geol. Giovanni Patricelli

TECNO IN S.P.A. - Sede Legale: 20097 San Donato Milanese (MI) - Via Marcora,52 - Tel. 02.496.80.50/Fax 02.496.80.502 - Sede Amministrativa e Laboratori: 80142 Napoli - III Trav. trettola S. Anna alle Paludi, 11 - Tel. 081.563.45.20/Fax 081.563.39.70 - Ema

029.LAB.T.RP.Gran.ASTM.422.Rev.7

Figura 4-1: Analisi granulometrica del campione di grande volume prelevato tra le profondità di 0 – 1 m nel t. Torbella



LABORATORIO PROVE SUI TERRENI Conc.Min.LL.PP. N° 53363 del 06-05-05 ANALISI GRANULOMETRICA (ASTM D 422-07)		AZIENDA CON SISTEMA QUALITA' CERTIFICATO DAL RINA ISO 9001 - ISO 14001																																																																																																																
Foglio 1 di 1																																																																																																																		
Acc. n°	053/22	del 16/03/2022																																																																																																																
Committente:	Technital S.p.A.																																																																																																																	
Cantiere:	Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del Rio Maltempo - Indagini geognostiche della galleria scolmatrice del Rio Maltempo																																																																																																																	
Località:	Alveo Rio Torbella - Genova																																																																																																																	
Campione:	S05-CR01	Profondità: 1,00-2,00																																																																																																																
Sigla di laboratorio	T.398/22	Data di inizio prova 24/03/2022																																																																																																																
		Data di emissione: 15/04/2022																																																																																																																
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4">Analisi granulometrica per setacciatura (frazione ritenuta al setaccio N. 40 ASTM, 0,425 mm)</th> <th colspan="4">Analisi granulometrica per setacciatura (frazione passante al N. 40 ASTM)</th> </tr> <tr> <td>Massa secca iniziale (g):</td> <td>541,01</td> <td>Massa secca dopo lavaggio (g):</td> <td>445,69</td> <td>Massa secca iniziale (g):</td> <td>50,02</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Massa tara (g):</td> <td>7,83</td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Massa ritenuta cumulativa + tara (g)</td> <td></td> <td colspan="2"></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ASTM</td> <td>mm</td> <td></td> <td>Percentuale passante (%)</td> <td>ASTM</td> <td>mm</td> <td></td> <td>Percentuale passante (%)</td> </tr> <tr> <td>2"</td> <td>50,800</td> <td>7,83</td> <td>100,00</td> <td>N.40</td> <td>0,425</td> <td>13,95</td> <td>24,57</td> </tr> <tr> <td>1"</td> <td>25,400</td> <td>7,83</td> <td>100,00</td> <td>N.50</td> <td>0,300</td> <td>18,60</td> <td>22,28</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19,050</td> <td>89,64</td> <td>84,66</td> <td>N.100</td> <td>0,150</td> <td>29,00</td> <td>17,18</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,700</td> <td>128,62</td> <td>77,35</td> <td>N. 200</td> <td>0,075</td> <td>37,50</td> <td>13,00</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,525</td> <td>161,52</td> <td>71,17</td> <td colspan="2"></td> <td>Massa tara (g)</td> <td>13,95</td> </tr> <tr> <td>N. 4</td> <td>4,750</td> <td>246,79</td> <td>55,18</td> <td colspan="4">Peso specifico della soluzione : 1,001</td> </tr> <tr> <td>N. 8</td> <td>2,360</td> <td>312,76</td> <td>42,81</td> <td colspan="4">Diametro max della frazione sottoposta a decantazione (mm): 0,425</td> </tr> <tr> <td>N. 16</td> <td>1,180</td> <td>359,56</td> <td>34,03</td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>N. 40</td> <td>0,425</td> <td>410,02</td> <td>24,57</td> <td colspan="4"></td> </tr> </table>			Analisi granulometrica per setacciatura (frazione ritenuta al setaccio N. 40 ASTM, 0,425 mm)				Analisi granulometrica per setacciatura (frazione passante al N. 40 ASTM)				Massa secca iniziale (g):	541,01	Massa secca dopo lavaggio (g):	445,69	Massa secca iniziale (g):	50,02					Massa tara (g):	7,83							Massa ritenuta cumulativa + tara (g)						ASTM	mm		Percentuale passante (%)	ASTM	mm		Percentuale passante (%)	2"	50,800	7,83	100,00	N.40	0,425	13,95	24,57	1"	25,400	7,83	100,00	N.50	0,300	18,60	22,28	3/4"	19,050	89,64	84,66	N.100	0,150	29,00	17,18	1/2"	12,700	128,62	77,35	N. 200	0,075	37,50	13,00	3/8"	9,525	161,52	71,17			Massa tara (g)	13,95	N. 4	4,750	246,79	55,18	Peso specifico della soluzione : 1,001				N. 8	2,360	312,76	42,81	Diametro max della frazione sottoposta a decantazione (mm): 0,425				N. 16	1,180	359,56	34,03					N. 40	0,425	410,02	24,57				
Analisi granulometrica per setacciatura (frazione ritenuta al setaccio N. 40 ASTM, 0,425 mm)				Analisi granulometrica per setacciatura (frazione passante al N. 40 ASTM)																																																																																																														
Massa secca iniziale (g):	541,01	Massa secca dopo lavaggio (g):	445,69	Massa secca iniziale (g):	50,02																																																																																																													
		Massa tara (g):	7,83																																																																																																															
		Massa ritenuta cumulativa + tara (g)																																																																																																																
ASTM	mm		Percentuale passante (%)	ASTM	mm		Percentuale passante (%)																																																																																																											
2"	50,800	7,83	100,00	N.40	0,425	13,95	24,57																																																																																																											
1"	25,400	7,83	100,00	N.50	0,300	18,60	22,28																																																																																																											
3/4"	19,050	89,64	84,66	N.100	0,150	29,00	17,18																																																																																																											
1/2"	12,700	128,62	77,35	N. 200	0,075	37,50	13,00																																																																																																											
3/8"	9,525	161,52	71,17			Massa tara (g)	13,95																																																																																																											
N. 4	4,750	246,79	55,18	Peso specifico della soluzione : 1,001																																																																																																														
N. 8	2,360	312,76	42,81	Diametro max della frazione sottoposta a decantazione (mm): 0,425																																																																																																														
N. 16	1,180	359,56	34,03																																																																																																															
N. 40	0,425	410,02	24,57																																																																																																															
Decantazione																																																																																																																		
Massa iniziale secca (g): 50,02			Peso specifico dei granuli: 2,60																																																																																																															
Tempo (min)	Lettura al densimetro 151 H ASTM	Temperatura della soluzione (°C)	Correzione per temperatura e menisco	Lettura corretta per temperatura e menisco	Percentuale passante (%)	L (cm)	K	Diametro (mm)																																																																																																										
0,50	1,0190	18	-0,0020	1,0170	12,78	11,80	0,01421	0,069																																																																																																										
1	1,0175	18	-0,0020	1,0155	11,58	12,20	0,01421	0,050																																																																																																										
2	1,0150	18	-0,0020	1,0130	9,58	12,90	0,01421	0,036																																																																																																										
5	1,0130	18	-0,0020	1,0110	7,99	13,40	0,01421	0,023																																																																																																										
15	1,0110	18	-0,0020	1,0090	6,39	13,90	0,01421	0,014																																																																																																										
30	1,0095	18	-0,0020	1,0075	5,19	14,30	0,01421	0,010																																																																																																										
60	1,0075	18	-0,0020	1,0055	3,59	14,85	0,01421	0,007																																																																																																										
250	1,0055	18	-0,0020	1,0035	2,00	15,35	0,01421	0,004																																																																																																										
1440	1,0040	18	-0,0020	1,0020	0,80	15,80	0,01421	0,001																																																																																																										

| | | |
| Distribuzione granulometrica: ghiaia (59,50%) con sabbia (28,50%) limosa (11,00%) | | |

029.LAB.T.RP.Gran.ASTM.422.Rev.9

Figura 4-2: Analisi granulometrica del campione prelevato dal sondaggio S05 tra le profondità di 1 – 2 m nel t. Torbella



I diametri caratteristici delle due distribuzioni granulometriche sono riportati nella seguente tabella Tabella 4-1.

Tabella 4-1: Principali diametri caratteristici dell'alveo del t. Torbella

Diametro caratteristico	Profondità 0.00 – 1.00 m	Profondità 1.00 – 2.00 m
	<i>d</i> [mm]	<i>d</i> [mm]
d_5	-	0.01
d_{16}	2.06	0.12
d_{25}	9.66	0.44
d_{50}	27.50	3.54
d_{84}	49.68	18.36
d_{90}	64.55	21.57

Da questi risultati si riscontra una notevole differenza di diametri dei sedimenti tra lo strato superficiale (più grossolano) e quello sub-superficiale (più fine), quantificabile in un ordine di grandezza circa. Nel primo, infatti, si trovano sedimenti che hanno una distribuzione granulometrica che spazia dal limite tra sabbie e ghiaie fino a quello tra ghiaie e ciottoli, caratterizzata da un $d_{50} = 27.50 \text{ mm}$ che fa parte delle ghiaie grossolane. Lo strato sub-superficiale, invece, presenta una distribuzione che va dalla sabbia molto fine fino alle ghiaie grossolane, con un $d_{50} = 3.54 \text{ mm}$ che fa parte delle ghiaie molto fini.

4.2 Documentazione fotografica del sito

Nel tratto di t. Torbella considerato si nota per quanto riguarda le opere presenti che i muri di sponda sono pressoché permanenti lungo tutto il suo sviluppo longitudinale. L'opera che caratterizza questo tratto è, in prossimità della foce con il t. Polcevera, un netto salto di fondo, dell'altezza di circa 2.5 m, realizzato con una gettata di calcestruzzo in alveo, verosimilmente realizzata nel periodo successivo alla Seconda Guerra Mondiale, come si evince dalla cartografia storica raccolta nell'ambito degli elaborati archeologici del presente progetto (si veda per maggiori dettagli: II151F-PD-ARC-R001_0). Tale salto di fondo, attualmente in precarie condizioni di manutenzione, contribuisce a sostenere la quota di fondo dell'intero tratto a monte.

Inoltre, in questo tratto sono presenti attraversamenti ferroviari (5 in totale) e stradali/carrabili (4 in totale). Alcuni di essi presentano una pila centrale in alveo, che provoca quasi sempre un notevole restringimento della sezione di deflusso. Dato il numero elevato di queste opere, si elencano nel seguito, assegnando una numerazione utile a definirle univocamente:

- Ponti ferroviari:
 - Linea Succursale dei Giovi (1)
 - Linea Genova - Busalla (2)
 - Linea futura estensione metropolitana Genova (3)
 - Linea Bersaglio (4)
 - Linea dei Giovi (5)
- Ponti stradali/carrabili:
 - Via Lungo Argine Polcevera [1]
 - Passerella carrabile Passo Torbella n. 2 [2]
 - Ponte via Canepari [3]
 - Ponte via Fasciotti [4]



In Figura 4-3 vengono anche localizzati i punti da cui sono state scattate le fotografie riportate da Figura 4-4 a Figura 4-18 ed indicate le direzioni di presa (cono di visuale) di ogni fotografia. Da un punto di vista qualitativo, dalla documentazione fotografica risulta evidente che la dimensione dei sedimenti costituiscono il fondo del torrente è sostanzialmente omogenea in tutto il tratto considerato, tranne in prossimità dei ponti che presentano una pila in alveo, nei quali la dimensione dei sedimenti risulta modificata rispetto agli altri tratti. Questo fenomeno si spiega con l'accelerazione che la corrente subisce in prossimità di questi manufatti.

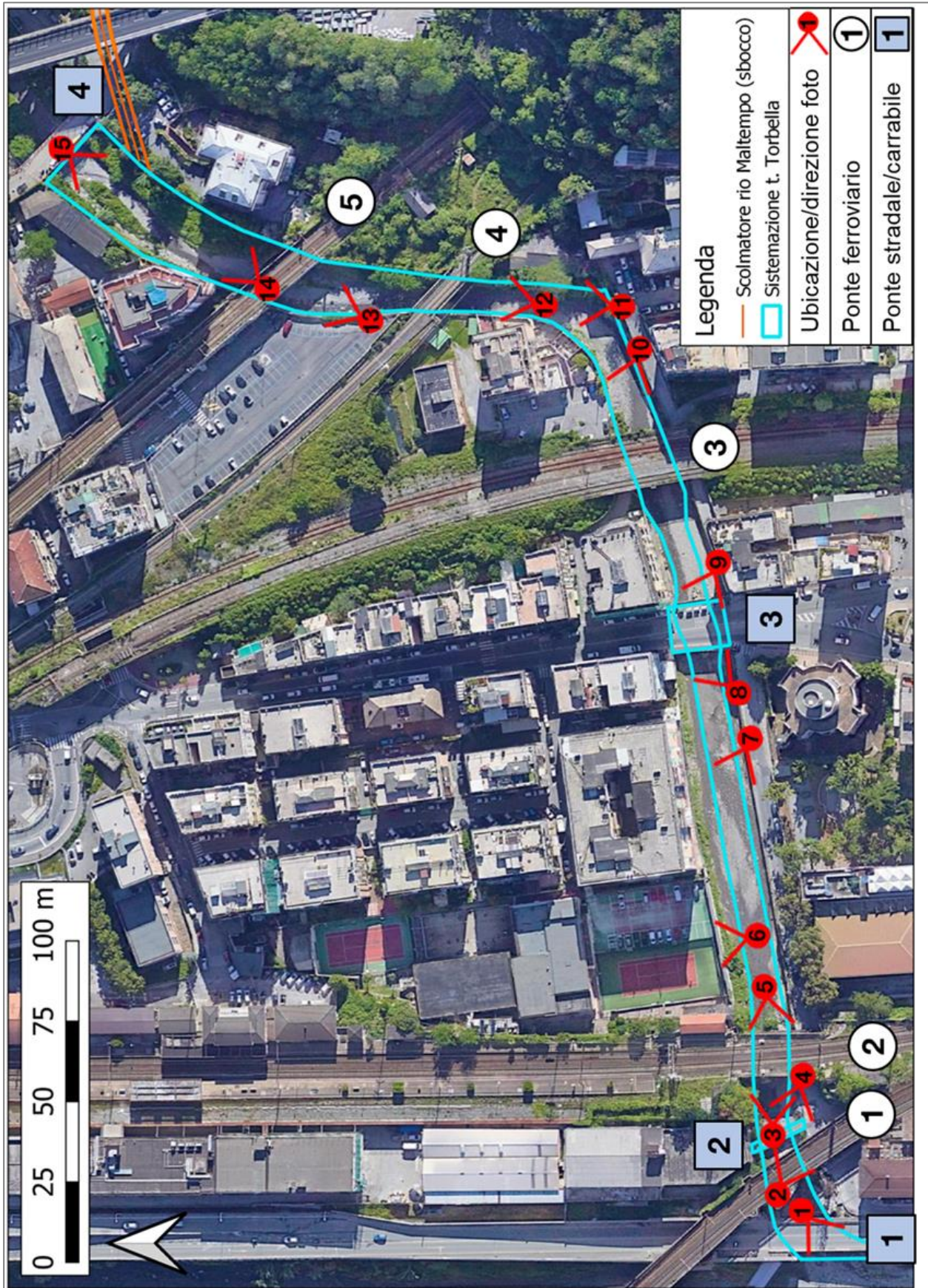


Figura 4-3: Inquadramento del tratto di t. Torbella considerato con posizione fotografie ed attraversamenti.



Figura 4-4: Confluenza del Torbella nel Polcevera e impalcato del ponte stradale di via Lungo Argine Polcevera.



Figura 4-5: Salto del fondo in prossimità della confluenza del Torbella nel Polcevera. Sullo sfondo la passerella carrabile. In primo piano a destra la spalla del ponte della Linea Succursale dei Giovi



Figura 4-6: Ponte della linea ferroviaria Genova - Busalla che attraversa il Torbella, a partire da valle. Sullo sfondo il ponte di via Canepari, di cui si progetta la demolizione e ricostruzione a campata unica.



Figura 4-7: Torbella a monte del salto di fondo, attraversato dalla passerella carrabile. Sullo sfondo il ponte ferroviario della linea Succursale dei Giovi.



Figura 4-8: Ponte ferroviario della linea Genova – Busalla, visto da monte.



Figura 4-9: Muro di sponda in destra idraulica a monte del ponte ferroviario della linea Genova – Busalla.



Figura 4-10: Torrente Torbella nel tratto tra il Ponte stradale di via Canepari e il ponte ferroviario della linea Genova - Busalla



Figura 4-11: Ponte di via Canepari, vista da valle



Figura 4-12: Ponte di via Canepari, vista da monte



Figura 4-13: Ponte ferroviario della futura estensione della metropolitana e rampa di accesso all'alveo



Figura 4-14: Curva del t. Torbella tra il ponte ferroviario della linea Bersaglio e quello della futura estensione della metropolitana. In questa area sono stati effettuati i campionamenti granulometrici dell'alveo



Figura 4-15: Alveo in prossimità dei campionamenti granulometrici effettuati. In secondo piano il ponte ferroviario della linea Bersaglio e sullo sfondo quello della linea dei Giovi



Figura 4-16: Ponte ferroviario della linea dei Giovi

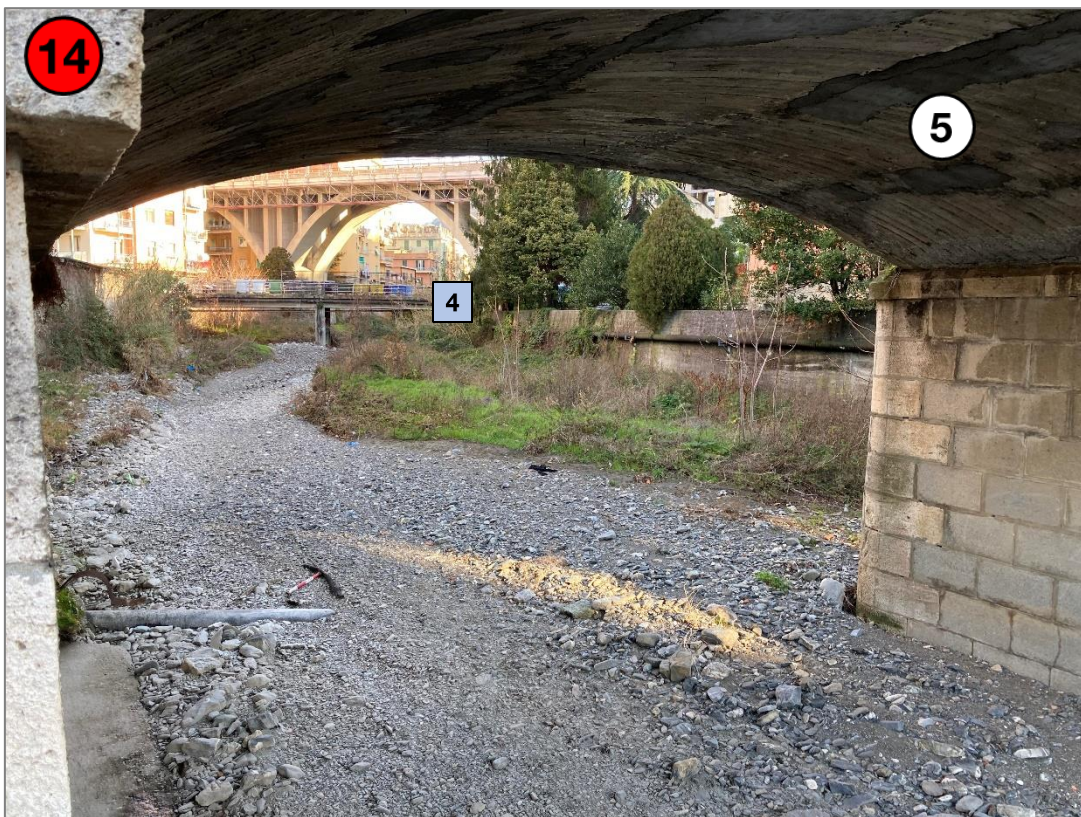


Figura 4-17: Campata di destra del ponte ferroviario della linea dei Giovi. Sullo sfondo il ponte stradale di via Fasciotti, a valle del quale ha inizio l'intervento di sistemazione del Torbella



Figura 4-18: Vista del t. Torbella dal ponte stradale di via Fasciotti verso valle. Sullo sfondo il ponte ferroviario della linea dei Giovi

4.3 Confronto dei profili del fondo del corso d'acqua

Per valutare l'evoluzione temporale della morfologia del corso d'acqua e comprendere se ci sono in atto fenomeni di evoluzione del fondo, risulta molto importante un confronto tra i profili del thalweg misurati in diversi periodi.

Nel presente caso si ha a disposizione il rilievo del t. Torbella effettuato per svolgere le verifiche idrauliche nel Piano di Bacino, che risale all'anno 2004, ed il rilievo topografico realizzato durante il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica del presente progetto, nell'autunno 2021. Il rilievo del 2004 fornisce esclusivamente i valori delle quote misurate lungo le sezioni trasversali principali che sono state utilizzate nella modellazione idraulica, mentre quello realizzato per il presente progetto si è basato sul rilevare un numero di punti in alveo sufficientemente elevato da fornire poi un modello digitale del terreno (DTM) dello stesso, interpolando i valori delle quote più prossime tra loro.

Il confronto tra i due rilievi è stato condotto quindi sovrapponendo le sezioni rilevate per il PdB sul DTM ottenuto dal più recente rilievo e valutando il profilo del thalweg, come visibile in Figura 4-19.

Un aspetto che si può facilmente notare è che le differenze non risultano essere sostanziali tra i due profili, in quanto si notano solo piccole differenze di quota, che se valutate in termini di pendenza non determinano rilevanti differenze (Figura 4-20). Le pendenze, infatti, si aggirano intorno a valori di poco superiori allo 1%, con una leggera diminuzione che si legge nel profilo rilevato più di recente rispetto al passato.

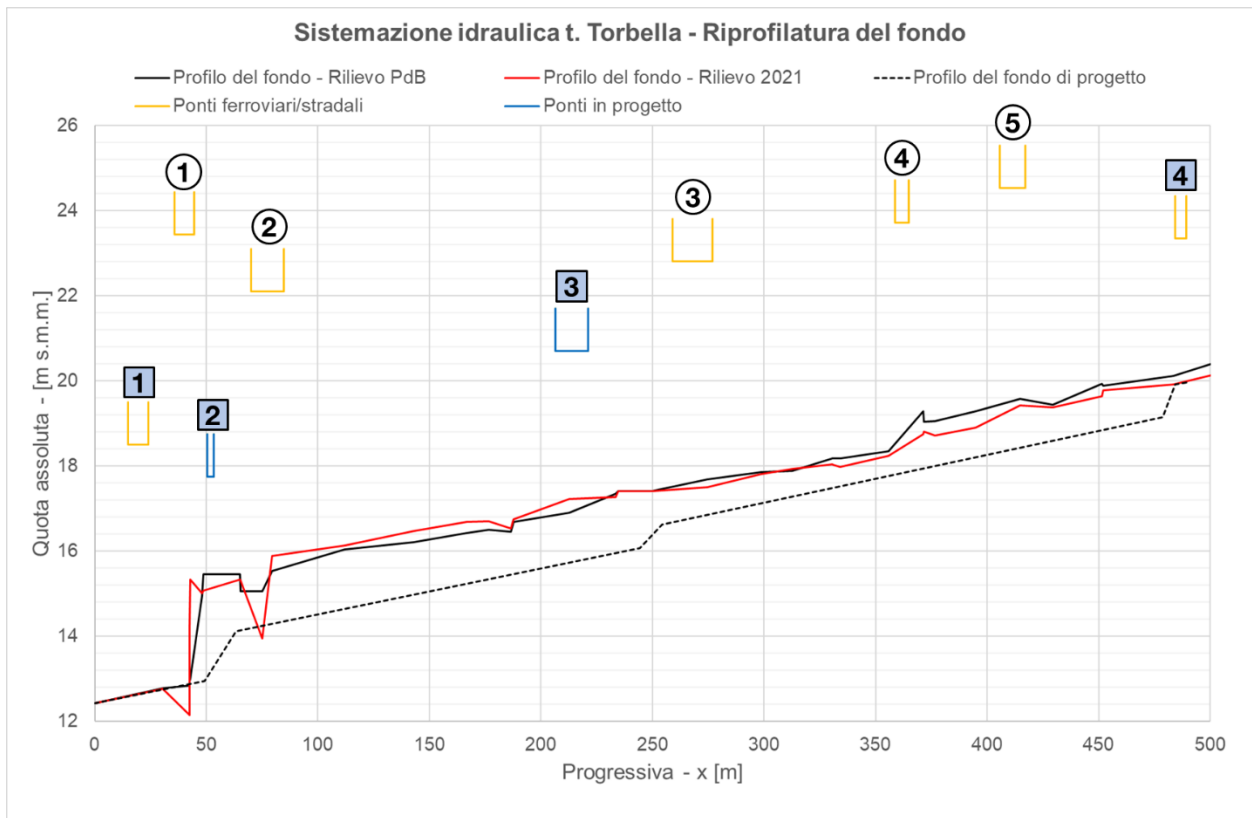


Figura 4-19: Confronto tra i profili del thalweg del t. Torbella nei rilievi di: PdB (in nero), presente progetto (in rosso). In nero tratteggiato il profilo di progetto. Si riportano le ubicazioni degli attraversamenti come definiti in precedenza

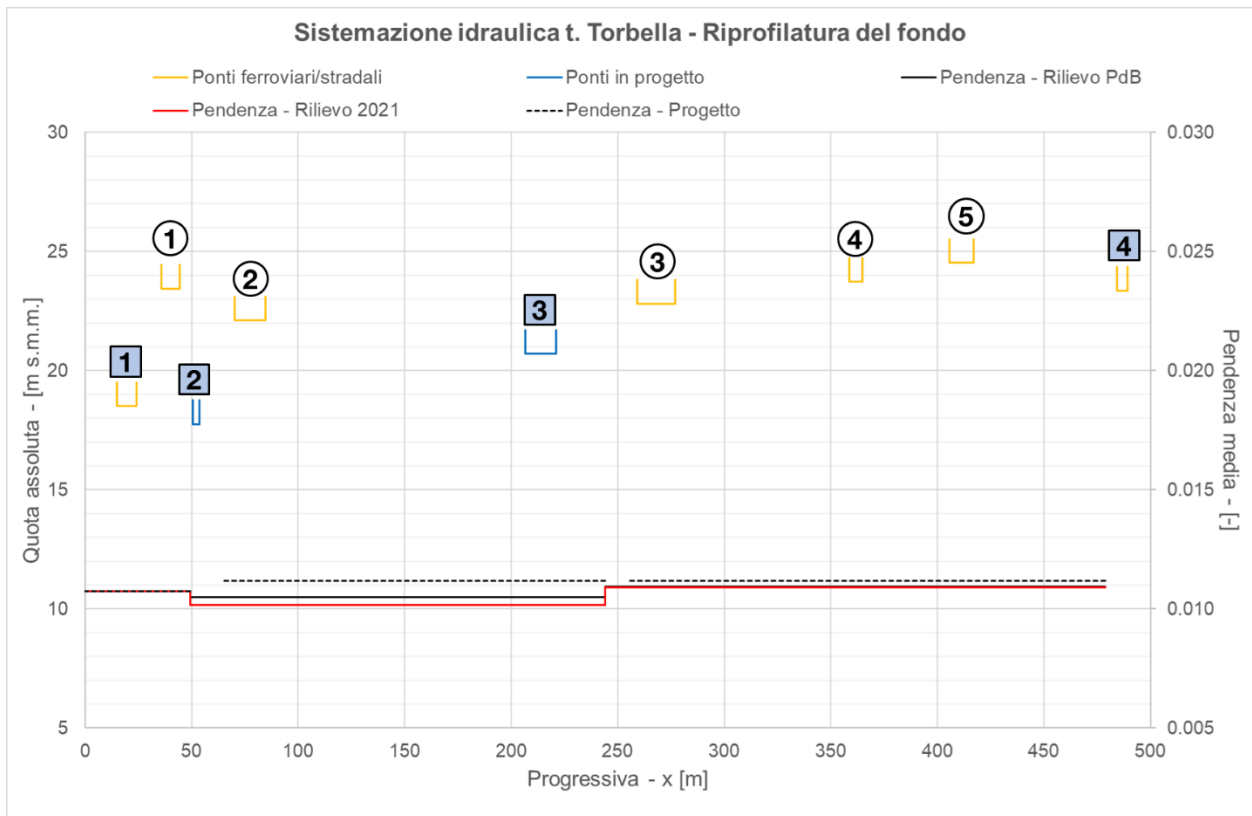


Figura 4-20: Confronto tra pendenze del thalweg del t. Torbella in: PdB (in nero), presente progetto (in rosso). In nero tratteggiato la pendenza di progetto. Si riportano le ubicazioni degli attraversamenti come in precedenza



4.4 Valutazione del profilo di equilibrio

Per la valutazione del profilo di equilibrio viene descritto un modello concettuale, basato su considerazioni che provengono dall'analisi dei dati raccolti nella campagna di indagini illustrata in precedenza e sulla storia del corso d'acqua.

L'analisi storica effettuata sul contesto territoriale in cui ricade l'area di intervento ha mostrato alcuni interessanti aspetti della zona in prossimità della foce del Torbella nel Polcevera.



Figura 4-21: ASTo “Tipo dimostrativo della sponda della Polcevera, dal Boschetto al Mare..” 1817 (Sezione Corte-carte topografiche e disegni - 339/1)

Mentre storicamente il greto del Polcevera occupava gran parte della valle (Figura 4-21), a fine Ottocento la creazione della ferrovia comporta uno stravolgimento parziale del quartiere. Nella carta “Rivarolo – Deposito locomotive di Sampierdarena” si può apprezzare la riduzione dell'alveo del Polcevera, la creazione dei nuovi argini e la creazione dei ponti per il passaggio della linea ferroviaria sul Torbella e sul rio Maltempo ancora parzialmente a cielo aperto (Figura 4-22). In questa epoca non era presente con certezza il salto di fondo che è presente allo stato attuale in prossimità con la foce del Polcevera. Inoltre, si nota come il ponte della Linea Succursale dei Giovi presenti una pila al centro dell'alveo, mentre allo stato quella pila risulta essere parte della sponda sinistra: ciò significa chiaramente in questo ultimo tratto il torrente avesse una larghezza maggiore rispetto all'attuale.



Figura 4-22: ASGe. 1887-1889. “Rivarolo – Deposito locomotive di Sampierdarena” (www.Topographia.it, “officine di Rivarolo” Foglio I/1/271)

Questi aspetti risultano molto importanti per la valutazione del profilo di equilibrio dell’alveo, in quanto l’inserimento del salto di fondo di altezza così rilevante (2 - 2.5 m) ha determinato un progressivo sovralluvionamento dell’alveo a monte. Tuttavia, la data di realizzazione di questa opera non risulta essere reperibile, sebbene si possa ipotizzare faccia parte degli interventi che hanno permesso la costruzione della strada lungo l’argine del Polcevera e la connessione di questa con via Passo Torbella in sinistra idraulica del torrente. È probabile, dunque, che la configurazione del corso d’acqua sia così da un tempo indicativamente attorno ai 50 anni e che, in una tale durata, si siano succeduti una serie di eventi di piena di caratteristiche molto differenti. La configurazione attuale del fondo e la sua granulometria sono, quindi, figlie di tutti questi eventi e di conseguenza si può dire che il profilo del thalweg del Torbella si trovi in una condizione di equilibrio con le attuali opere. Ciò risulta anche dal confronto tra gli unici due rilievi del fondo che sono disponibili: quello del piano di bacino e quello effettuato per il presente progetto (Figura 4-19).

Alla luce di tutto ciò, la necessità di aumentare la sicurezza idraulica del corso d’acqua ha determinato la scelta del profilo di progetto presentato in precedenza, che consente un aumento della sezione di deflusso grazie alla riprofilatura dell’alveo. La pendenza del profilo di progetto viene aumentata leggermente rispetto a quella dello stato attuale, passando da poco più dell’1% all’1.1%, con una variazione quindi che la mantiene dello stesso ordine di grandezza. L’aumento della pendenza determina, in ogni caso, un aumento della capacità di trasporto solido nel tratto considerato, che aiuta ad evitare fenomeni di sedimentazione come quello avvenuto a monte del salto di fondo attuale.



Un altro aspetto importante è la realizzazione del rivestimento dell'alveo: l'erosione dell'alveo non sarà possibile e il trasporto solido, anche grazie all'aumento della capacità di trasporto, sarà agevolato nel transitare verso valle fino ad essere scaricato nel Polcevera. Gli scivoli previsti consentiranno, inoltre, di mantenere la continuità del trasporto, evitando salti netti del fondo.

In questo sistema, rispetto allo stato attuale viene aggiunta la portata proveniente dal rio Maltempo attraverso lo scolmatore, che risulta comunque essere una frazione minima di quella del Torbella (attorno al 10%) e il cui picco si manifesta in tempi diversi da quelli della piena di quest'ultimo. Tale portata è stata comunque verificata nell'analisi idraulica, in modo da garantire che questo incremento non determini criticità in termini di esondazioni. Dal punto di vista del trasporto solido questo contributo si ritiene che non sia significativo, in quanto l'acqua che entra in galleria proviene da un bacino con un trasporto solido molto basso soprattutto in termini di sedimenti grossolani, i quali comunque si possono depositare prima dell'ingresso nel canale dell'opera di presa e nel pozzo di caduta nella galleria.

Per integrare questo modello concettuale, a partire dai risultati delle simulazioni idrauliche condotte e riportate nel precedente capitolo è stata condotta una analisi indiretta del trasporto solido lungo il tratto d'intervento nel t. Torbella a partire dalle variabili del moto e calcolando gli sforzi tangenziali al fondo. Lo scopo di questa analisi è quello di ottenere per ogni sezione e per ogni portata al colmo un diametro critico a partire da quale si ha mobilità del fondo. Le simulazioni sono state condotte valutando la non concomitanza della piena del t. Torbella con quella del t. Polcevera. Le portate che defluiscono nel t. Torbella sono pari a quelle calcolate dall'analisi idrologica per l'evento critico per il t. Torbella (Tabella 4-2).

Tabella 4-2: Portate nel t. Torbella utilizzate nelle presenti simulazioni

$Q_c [m^3/s]$	Torrente Torbella							
	Tr (anni)							
	2	5	10	20	50	100	200	
Monte sbocco scolmatore	27.2	49.5	64.5	79.8	101	116	145	
Valle sbocco scolmatore	30.1	55.4	73.5	90.5	113.8	130.5	164	

A partire dai risultati ottenuti, sono stati estratti i valori degli sforzi tangenziali nelle sezioni definite lungo il dominio di valle, a partire dalla sezione in cui inizia il presente intervento.

Per calcolare il diametro critico mobile in ciascuna sezione e per ciascuna portata, viene utilizzata la formula di Shields. Tale formula si basa sul fatto che la corrente esercita sul materiale solido un'azione dinamica che tende a rimuovere il materiale e a trasportarlo verso valle, la soglia di innesco del moto per i sedimenti di data granulometria dipende, oltre che dalla natura del materiale stesso, dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

Il trasporto di fondo ha inizio quando lo sforzo al fondo (τ) oltrepassa lo sforzo resistente limite (τ_c), che dipende in larga misura dalle dimensioni dei grani posti sul contorno ($\tau > \tau_c$).

Nel caso in esame lo sforzo tangenziale τ è fornito dalla modellazione idrodinamica precedentemente illustrata. Nell'ipotesi di trovarsi nelle condizioni di mobilità critiche ed inserendo quindi nella formula il valore del parametro critico di Shields, è possibile calcolare il diametro critico con la seguente formula:

$$d_{cr} = \frac{\tau}{(\gamma_s - \gamma_w)\theta_{cr}}$$

Dove:



- $\tau [N/m^2]$ è lo sforzo tangenziale al fondo nella generica sezione;
- $\gamma_s [kg/m^3]$ è peso specifico del materiale d'alveo;
- $\gamma_w [kg/m^3]$ è il peso specifico dell'acqua;
- $\theta_{cr} [-]$ sforzo tangenziale critico adimensionale, che si può assumere pari a 0.047 secondo Meyer-Peter & Mueller (1948).

In Figura 4-23 sono riportati i valori del diametro critico in ogni sezione lungo il dominio di calcolo considerato. I diversi colori fanno riferimento ai differenti tempi di ritorno. La linea orizzontale in rosso e con gli indicatori triangolari rappresenta il valore del d_{50} del fondo del t. Torbella. Per inquadrare meglio le varie sezioni, si riportano come in alcune immagini precedenti le posizioni e le quote dei ponti presenti lungo il tratto considerato.

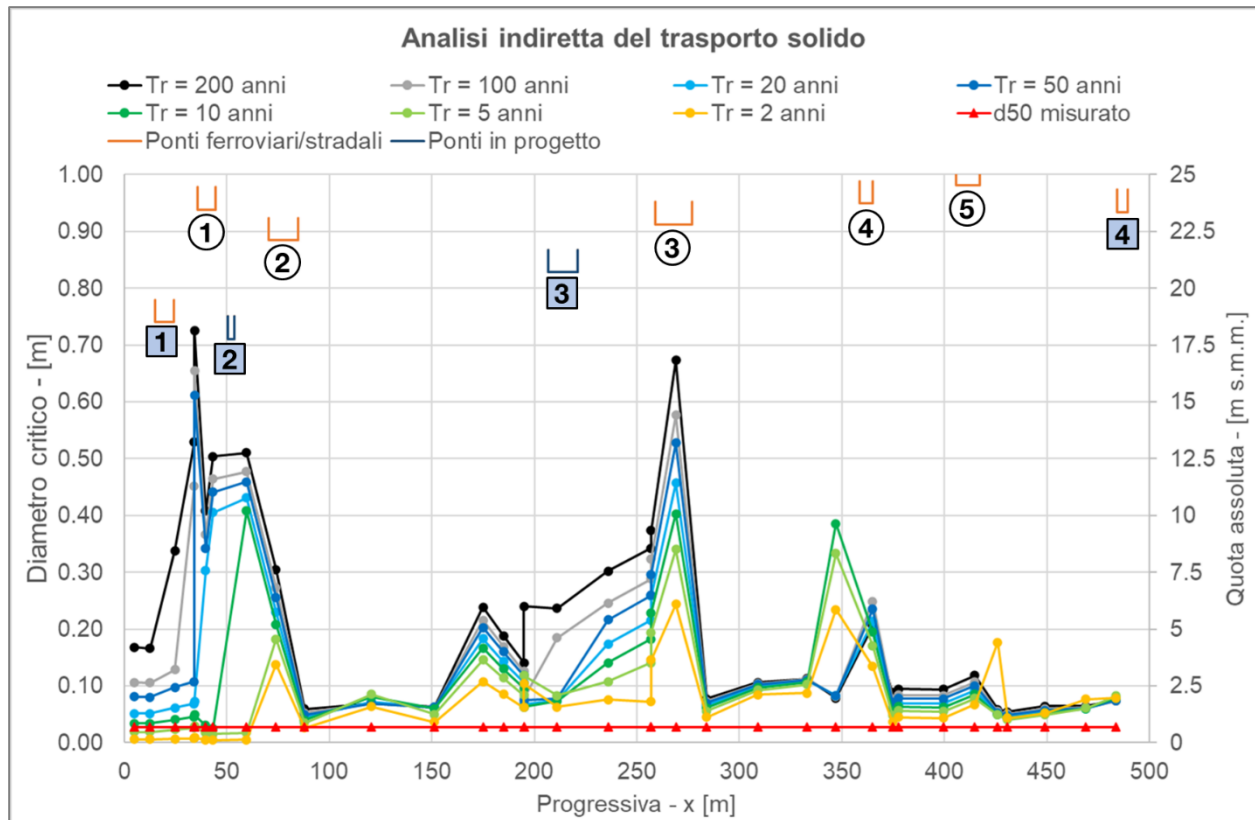


Figura 4-23: Valori del diametro critico per ogni sezione e per ogni tempo di ritorno considerato lungo il profilo del t. Torbella considerato (linee con indicatore tondo). La progr. 0 m corrisponde alla foce nel Polcevera. La linea rossa con l'indicatore triangolare rappresenta il valore del d_{50} rilevato in campo.

Il risultato ottenuto e mostrato dimostra che i diametri critici mobilitati dalle portate al colmo degli eventi di piena, anche relativamente frequenti come quello con tempo di ritorno biennale, risultano essere in quasi tutto il tratto superiori al d_{50} misurato nel t. Torbella. Nel tratto terminale, influenzato dall'effetto di rigurgito del Polcevera, si riscontrano valori del diametro critico degli eventi più frequenti (Tr = 2, 5, 10 anni) inferiori al d_{50} .

Questi risultati mostrano come nello stato di progetto lungo tutto il tratto i sedimenti di dimensioni almeno pari ed inferiori a quelle del d_{50} del fondo vengono mobilitati dalla portata al colmo della gran parte degli eventi di piena che possono verificarsi nel Torbella e vengono trasportati verso la foce del corso d'acqua



nel Polcevera, mentre l'apporto solido proveniente da monte, che l'intervento non modifica, consente di mantenere in equilibrio il fondo del corso d'acqua.

Ciò implica che sul medio-lungo termine si ritiene che non si dovrebbero presentare variazioni morfologiche rilevanti su questo tratto e che il profilo di progetto è prossimo a quello d'equilibrio del corso d'acqua.



5. ADEGUAMENTO E VERIFICA IDRAULICA DEL RIO MALTEMPO (ARTIFICIALE)

Nell'ipotesi di far confluire la portata scolmata del rio Maltempo la portata duecentennale di competenza del tratto tombato del rio diventa quella del bacino residuo di superficie pari a 0.27 km² (sottobacino “MAL2”, a valle del viadotto autostradale). Nella Relazione idrologica redatta per il presente progetto è stato utilizzato il “Metodo CIMA” per calcolare le portate al colmo per un evento duecentennale e cinquantennale, coerentemente all'approccio del PdB. Tali portate possono, dunque assumersi pari a:

- Portata al colmo (Tr 200 anni): $Q_{200,MAL2} = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$
- Portata al colmo (Tr 50 anni): $Q_{50,MAL2} = 7.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Secondo quanto riportato nello studio prodotto da Italferr, la portata che il tratto tombato del Maltempo riesce a convogliare a pelo libero, eliminando le principali interferenze con i sottoservizi, risulta pari $Q_{MAX} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$.

In particolare, il rio Maltempo in questo tratto si articola in:

- una breve parte iniziale, di lunghezza pari a 30 m, in cui il deflusso avviene a cielo aperto;
- la successiva parte principale, di lunghezza pari a 565 m, in cui il deflusso avviene all'interno del tombino, che termina in corrispondenza della foce del rio Maltempo nel torrente Polcevera.

In questo tratto tombinato sono presenti n. 7 immissioni laterali, che convogliano le portate prodotte dagli afflussi meteorici nel bacino antropizzato del rio Maltempo.

5.1 Descrizione del modello idraulico

Vengono di seguito descritte le simulazioni condotte per valutare le condizioni di deflusso nel tratto tombato del Rio Maltempo, che si trova a valle dell'imbocco della galleria scolmatrice in progetto. L'obiettivo è quello di valutare lo stato di fatto di questo tratto di corso d'acqua, imponendo il transito della portata duecentennale prodotta nel bacino antropizzato del rio Maltempo, situato a valle dell'imbocco della galleria scolmatrice in progetto. Per la presente analisi idraulica si ricorre al modello idraulico HEC-RAS, al fine di valutare il comportamento della corrente monodimensionale a pelo libero del tratto considerato del rio Maltempo.

5.1.1 Dati di input e geometria del dominio

Si considerano i seguenti Scenari:

- **Stato di fatto:** le sezioni sono state definite sulla base delle quote delle sezioni provenienti dal rilievo Italferr e la portata è quella definita senza la realizzazione dello scolmatore;
- **Stato di fatto con portata di progetto:** le sezioni sono state definite sulla base delle quote delle sezioni provenienti dal rilievo Italferr. Sono presenti n.7 immissioni laterali, che consentono l'ingresso nel tratto tombato delle portate prodotte sulla superficie antropizzata del bacino e che vengono raccolte dalla rete di drenaggio delle acque meteoriche. Nelle sezioni n. 13 e 16 sono presenti, inoltre, interferenze con sottoservizi che provocano la riduzione della sezione e risultano essere un ostacolo al deflusso.
- **Stato di progetto:** le sezioni sono in termini di quote le stesse dello stato di fatto, con la differenza che vengono rimosse le interferenze con i sottoservizi che attraversano le sezioni sopra definite.

La scabrezza è considerata uniforme e rappresentata dal coefficiente di Strickler $K_s = 40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.



5.1.2 Condizioni al contorno

Nello Scenario dello Stato di fatto si considerano come condizioni al contorno di monte le portate definite dallo studio idrologico per i $Tr = 200, 50$ anni, in accordo con quanto espresso dal PdB. Perciò, i valori sono $Q_{200} = 37 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{50} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$.

Negli scenari successivi la verifica idraulica viene condotta valutando il deflusso nel tratto tombato del rio Maltempo della portata di progetto, considerando il funzionamento a monte della galleria scolmatrice in progetto, che consente di rimuovere tutto il contributo del bacino di monte. La restante portata, definita all'inizio del presente capitolo, viene inoltre distribuita considerando la posizione delle immissioni laterali che caratterizzano questo tratto. In questo modo, è possibile tenere in considerazione il fatto che questo piccolo bacino urbanizzato scarico nel corso d'acqua tombato le portate in modo distribuito lungo la tombinatura, in modo proporzionato alla sua estensione. A valle, invece, vengono imposte le quote del pelo libero che si instaurano nel t. Polcevera in corrispondenza dell'immissione del rio Maltempo. Dunque, si espongono nella Tabella 5-1 le condizioni al contorno del rio Maltempo nel suo tratto tombato:

Tabella 5-1: Condizioni al contorno adottate nella verifica idraulica del tratto tombato del rio Maltempo

Rio maltempo	Tr 200 anni		Tr 50 anni	
	$Q_{parziale} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{totale} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{parziale} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{totale} [\text{m}^3/\text{s}]$
Sez. 39 (monte)	2.8	2.8	1.7	1.7
Sez. 34	2.8	5.6	1.7	3.4
Sez. 31	2.8	8.4	1.7	5.1
Sez. 28	0.48	8.88	0.48	5.58
Sez. 27	0.48	9.36	0.48	6.06
Sez. 23	0.48	9.84	0.48	6.54
Sez. 22	0.48	10.32	0.48	7.02
Sez. 16	0.48	10.8	0.48	7.5
	$H_{valle} [m \text{ s. m. m.}]$		$H_{valle} [m \text{ s. m. m.}]$	
Sez. 0 (Valle)	14.89		14.36	

In Figura 5-1 e Figura 5-2 viene riportato lo schema planimetrico del tratto di corso d'acqua qui analizzato, illustrando i contributi e le ubicazioni delle immissioni di portata, rispettivamente per il tempo di ritorno cinquantennale e duecentennale.

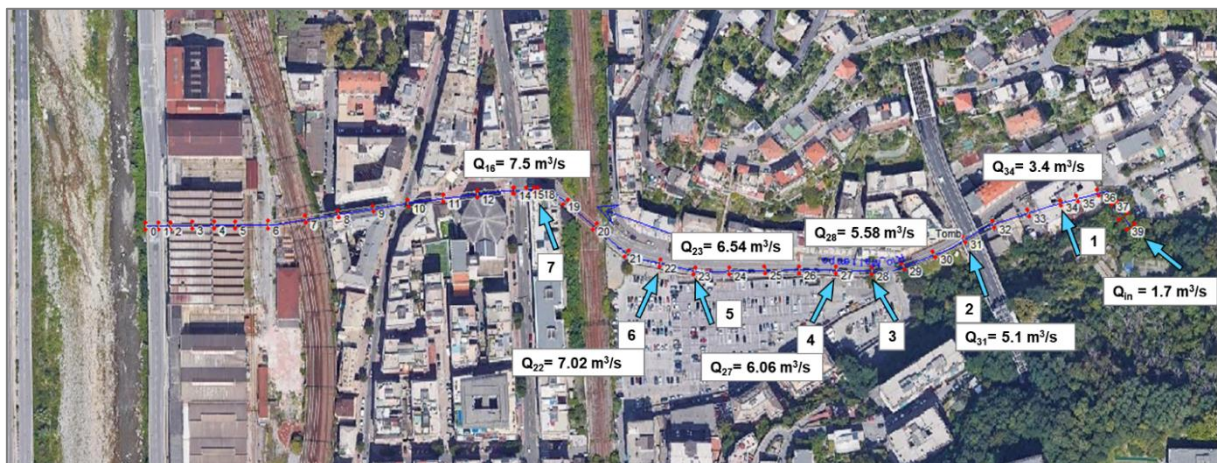


Figura 5-1: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata



(Tr 50 anni) è cumulato e presenta il pedice della sezione in cui avviene l'incremento

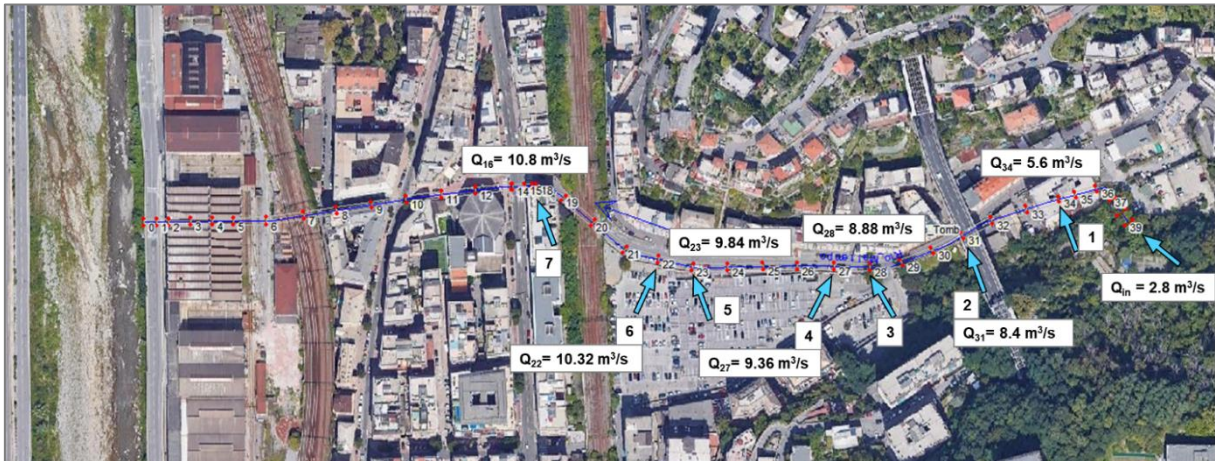


Figura 5-2: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata (Tr 200 anni) è cumulato e presenta il pedice della sezione in cui avviene l'incremento

5.1.3 Stato di fatto

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 5-3.

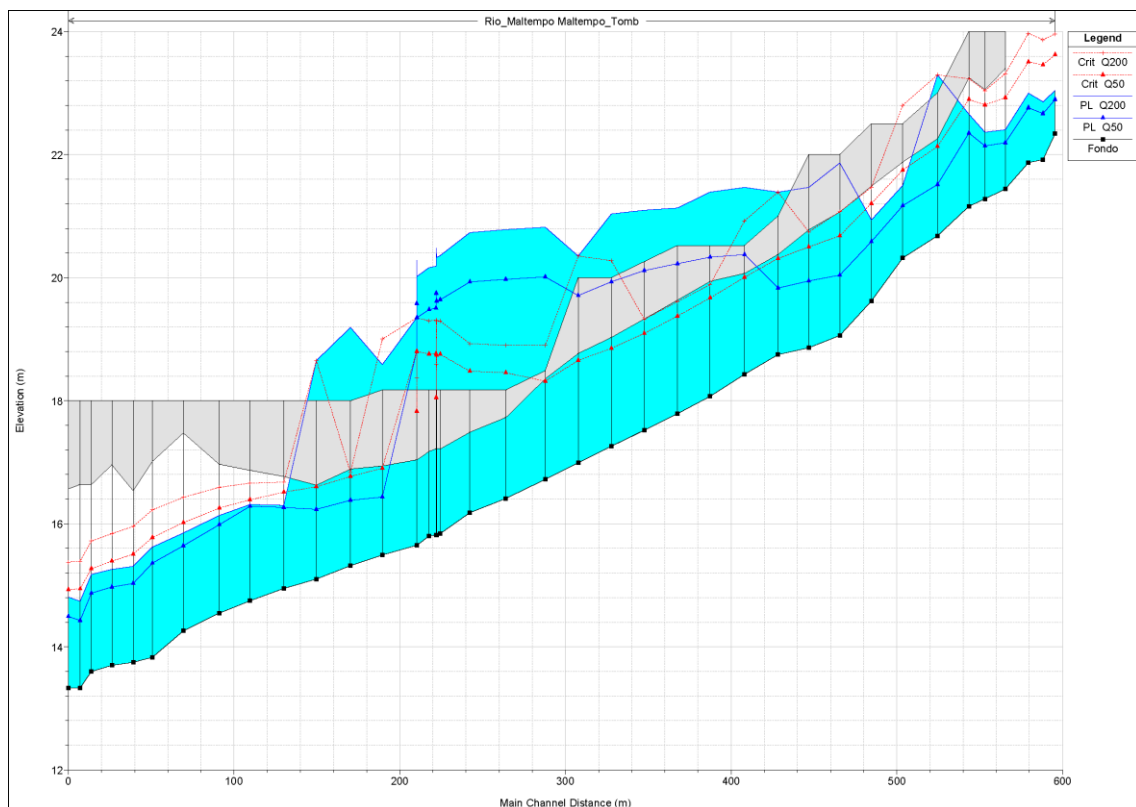


Figura 5-3: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)

Si nota, come già evidenziato dallo studio Italferr, il generalizzato funzionamento in pressione in concomitanza sia del deflusso cinquantennale che duecentennale.

5.1.4 Stato di fatto con portata di progetto

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 5-4.

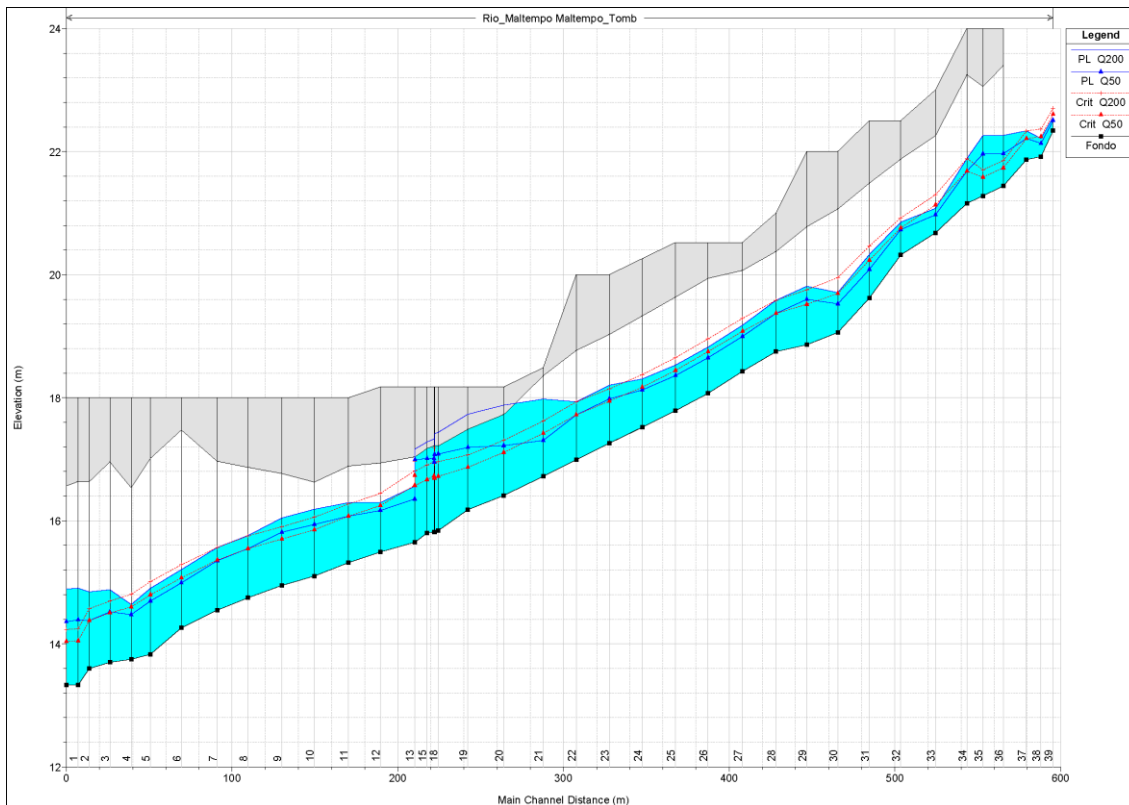


Figura 5-4: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)

5.1.5 Stato di progetto

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 5-5.

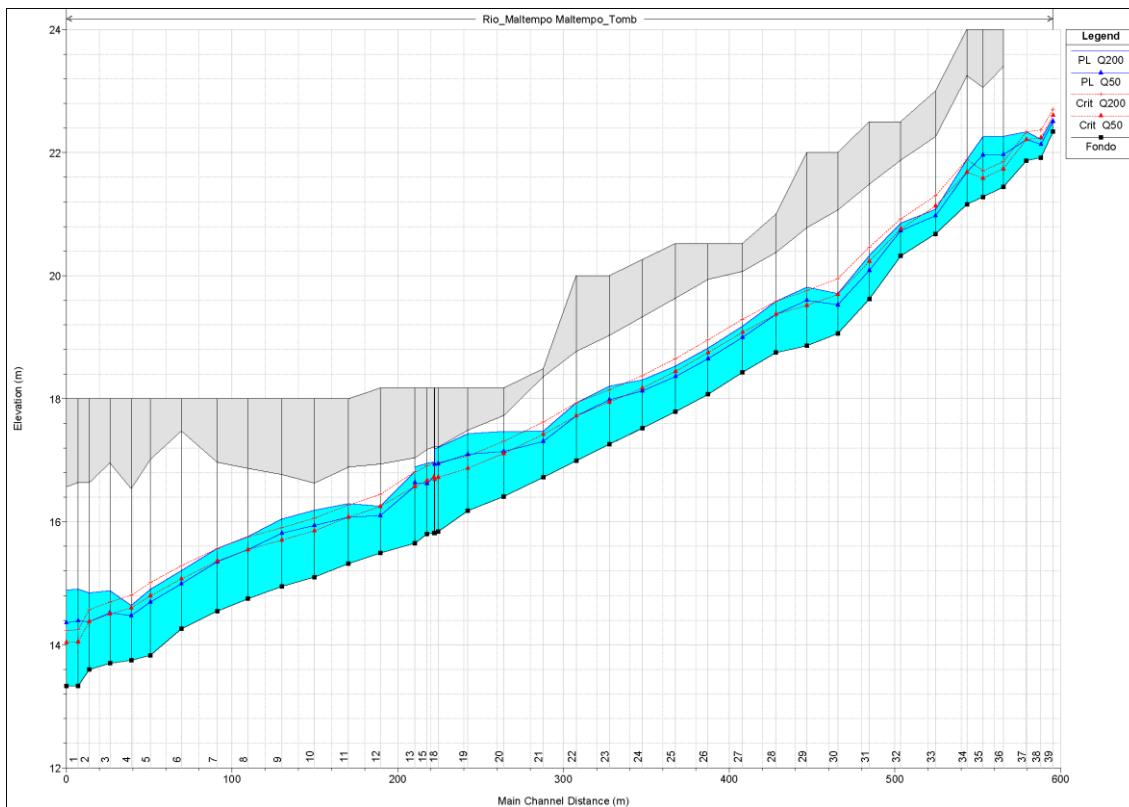


Figura 5-5: Profilo idraulico per lo stato di progetto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)



5.1.6 Risultati

Le differenze tra stato di fatto con la portata di progetto e lo stato di progetto per Tr 200 e 50 anni sono riportate in Figura 5-6 e Figura 5-7.

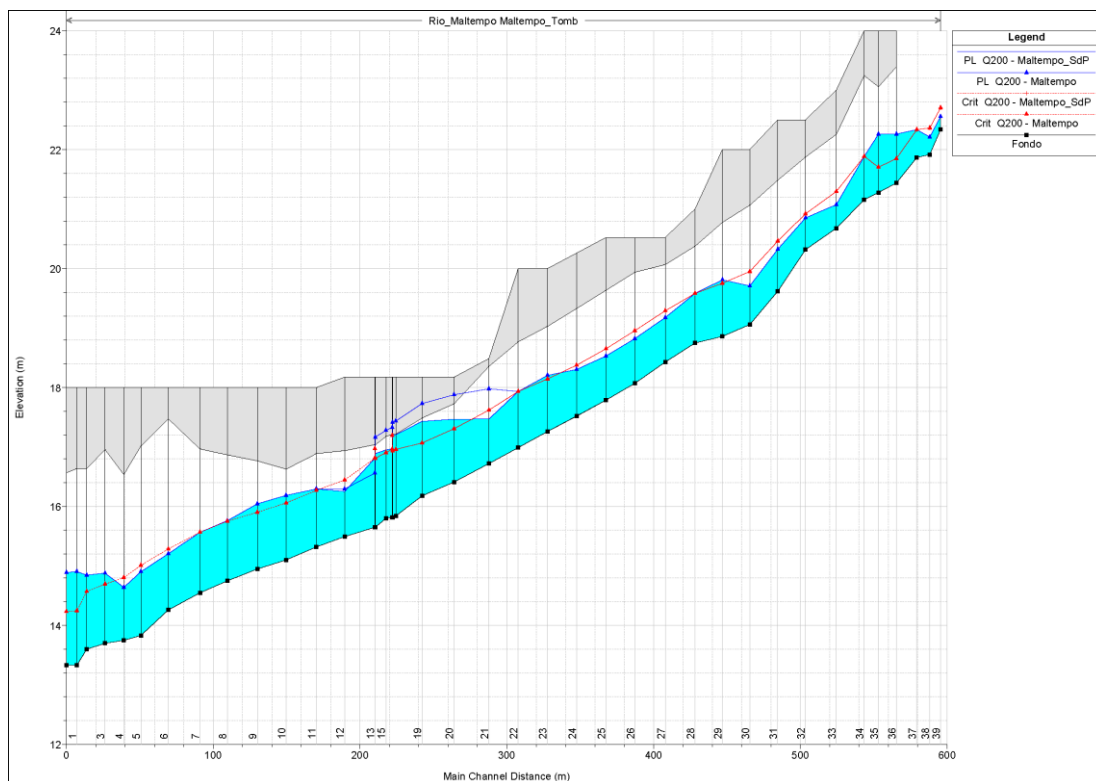


Figura 5-6: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 200

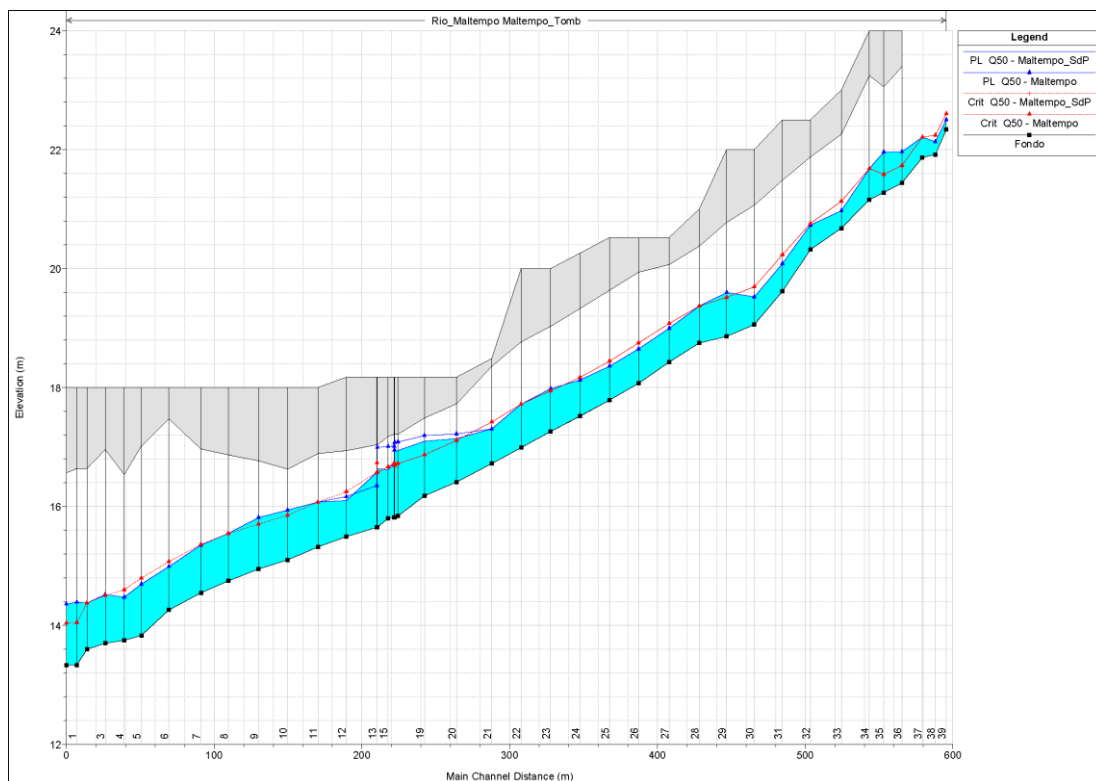


Figura 5-7: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 50



Si illustra in Figura 5-8 una delle due sezioni in cui grazie a questo intervento viene rimossa l'interferenza nella tombinatura.

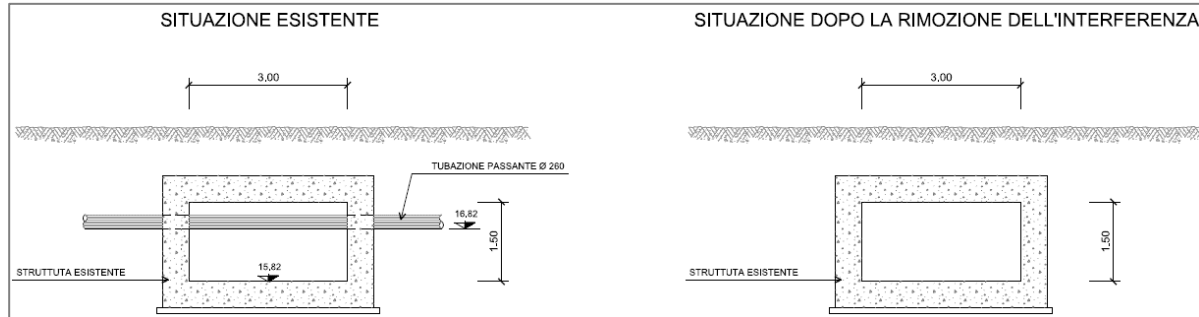


Figura 5-8: Schema di esempio per il confronto tra lo stato di fatto e di progetto nelle sezioni dove è presente l'interferenza

Grazie a questo intervento, oltre al funzionamento in pressione generalizzato che si verificherebbe con la portata di progetto duecentennale e cinquantennale senza la realizzazione dello scolmatore, si risolvono quasi totalmente anche le criticità che determinavano il funzionamento in pressione del manufatto con la configurazione attuale e la portata di progetto. L'unica criticità rimasta rimane l'annullamento del franco a monte della sezione in cui è presente il restringimento al di sotto di via Canepari. Ad ogni modo, si sottolinea che la rimozione delle interferenze riduce notevolmente il problema: con il deflusso della portata cinquantennale si ottiene un franco minimo tra 0.30 m e 0.50 m nelle sezioni dove esso si annullerebbe, mentre con la portata duecentennale si elimina un lungo tratto in pressione di lunghezza non trascurabile pari a circa 50 m.



6. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Progetto Definitivo per le "Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera" la presente Relazione Idraulica raccoglie l'individuazione della soluzione progettuale per risolvere le criticità legate alla sicurezza idraulica del rio Maltempo e, contestualmente, quelle del torrente Torbella.

La soluzione scelta per risolvere le criticità idrauliche del rio Maltempo è stata quella che si basa sulla realizzazione di una galleria scolmatrice. Per mezzo dell'opera di presa prevista a monte del viadotto autostradale "Maltempo" e composta da un manufatto scatolare d'imbocco, un pozzo di caduta ed una camera di dissipazione, è possibile convogliare le portate di piena eccedenti della porzione alta del bacino di questo corso d'acqua in una galleria di collegamento della lunghezza di circa 521 m. Questa galleria attraversa il rilievo che separa il bacino del rio Maltempo da quello del t. Torbella e termina nell'opera di sbocco, situata nell'area in sinistra idraulica di quest'ultimo corso d'acqua, sottostante il viadotto autostradale "Torbella". Nel dettaglio, la galleria di collegamento sfocia in un'apposita vasca di dissipazione, la quale a sua si connette ad un manufatto scatolare chiuso, che permette il trasferimento delle portate verso l'immissione nel t. Torbella.

La risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo seguendo questa soluzione progettuale determina l'incremento delle portate di piena nel t. Torbella, il quale già di per sé soffre di una distribuita insufficienza idraulica delle sponde, soprattutto a causa degli effetti di rigurgito di alcuni ponti che presentano pile in alveo. Per questo motivo, è stata colta l'occasione per progettare contestualmente alla galleria scolmatrice un intervento di sistemazione idraulica del t. Torbella, considerando l'aggiornamento della portata di progetto, dovuto all'incremento previsto dall'immissione dello scolmatore. Dal momento che non è possibile prevedere interventi di allargamento del corso d'acqua e, in generale, di laminazione delle portate di piena a causa del denso tessuto urbanistico, la soluzione progettuale scelta per risolvere le criticità idrauliche del t. Torbella si è basata su due aspetti essenziali:

1. Abbassamento e riprofilatura del fondo alveo a partire dal salto di fondo alto circa 2.5 m a monte della foce nel Polcevera, risalendo fino alla sezione prevista come immissione dello scolmatore;
2. Rifacimento del Ponte Canepari, che è un'opera di attraversamento costituita da una pila centrale in alveo che riduce sensibilmente la sezione.

L'intervento di abbassamento e riprofilatura del fondo alveo del t. Torbella si è basato sull'aumentare la pendenza media di questo tratto del corso d'acqua, che, dopo la realizzazione del salto di fondo in prossimità della confluenza con il t. Polcevera, è stato caratterizzato da un fenomeno di sovralluvionamento. Inoltre, è stata scelta una soluzione che considerasse i possibili danneggiamenti alle opere spondali e le rimanenti porzioni di opere in alveo, quali ad esempio le pile dei ponti ferroviari: è stato, infatti, previsto uno scavo generalizzato dell'alveo dove, nella zona di monte, l'entità di questo scavo è dell'ordine del 0.5 m. È stato, invece, previsto uno scavo distribuito al centro della sezione trasversale dove, nel tratto di valle, lo scavo assume entità nell'ordine del 1.0 - 1.2 m, prevedendo l'inserimento di una savanella, che consenta di mantenere due banche laterali in prossimità dei muri di sponda. Il tutto ha determinato anche la necessità di prevedere in tutto il tratto di intervento un rivestimento dell'alveo con massi non legati di 2° categoria, le cui dimensioni sono sufficienti a rimanere immobile durante l'evento di piena di progetto.



L'aumento della pendenza media è stato valutato considerando diversi scenari di progetto alternativi, in modo da avvicinarsi il più possibile a quella che è definita pendenza d'equilibrio, ovvero la pendenza di un corso d'acqua che risulta essere in equilibrio con determinate condizioni di moto proprie del corso d'acqua, in grado di trasportare il materiale d'alveo senza apportare nel tempo modifiche sostanziali nella quota del fondo. Sono state analizzate in modo indiretto le condizioni di trasporto solido del corso d'acqua attraverso gli sforzi tangenziali al fondo. Grazie a questa analisi è stato verificato che, nelle condizioni di piena più gravose corrispondenti al deflusso della portata di piena duecentennale, il diametro mobile critico del materiale d'alveo si trova in equilibrio con una pendenza dell'alveo che risulta essere pari a quella definita nella riprofilatura dell'alveo.

I principali risultati sono i seguenti:

- la quota del pelo libero associata alla portata duecentennale non supera in nessun tratto la quota delle sponde. Il franco minimo risulta essere pari a circa 0.43 m nel tratto a monte del ponte ferroviario n. 4 (linea Genova – Busalla), in sponda destra, per uno sviluppo longitudinale di circa 20 m. In corrispondenza del ponte ferroviario più a monte (Linea dei Giovi) il franco idraulico rispetto alla sommità della sponda destra risulta pari a 1 m. Negli altri tratti invece il franco è sempre superiore al metro.
- il sormonto del ponte Canepari viene risolto. La realizzazione della nuova opera di attraversamento a campata unica e la contestuale riprofilatura dell'alveo consentono di garantire un franco idraulico di 1.81 m rispetto all'intradosso dell'opera.

È stato valutato nello stato di progetto se la passerella privata con pila in alveo di via Passo Torbella n. 2 influenzi o meno le condizioni idrodinamiche del torrente Torbella, allo scopo di comprendere se essa condizioni la pericolosità idraulica del Torbella nel suo alveo e nelle aree contermini. È stato, quindi, riportato un confronto tra due situazioni nello stato di progetto: nella prima si ipotizza la completa demolizione della passerella e della pila in alveo e nella seconda si ipotizza la realizzazione di una sottomurazione della pila, costituita da un dado di fondazione che scenda ad una quota sufficiente da essere inglobata nel rivestimento dell'alveo.

La differenza di quota tra questi due scenari risulta essere pari a 0.17 m. Questo mostra come il mantenimento della passerella esistente e della sua pila centrale sottomurata non influenzi in modo significativo la condizione idrodinamica del torrente Torbella e garantisca un franco molto ampio (pari a circa 3.5 m). Si ritiene, quindi, che la soluzione ottimale sia il mantenimento della passerella esistente con la pila sottomurata.

Considerando questo intervento, la portata prodotta nella porzione di bacino di valle del rio Maltempo, calcolata nello studio idrologico con la metodologia "CIMA" utilizzata per i piccoli bacini nel PdB del t. Polcevera, risulta essere infatti pari a $Q_{200, Mal2} = 10.8 \text{ m}^3/\text{s}$, di poco inferiore alla capacità idraulica della tombinatura, definita in $Q_{max, tomb} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$. Senza la realizzazione della galleria scolmatrice, invece, la portata duecentennale di valle è pari a $Q_{200, Mal, tot} = 36.9 \text{ m}^3/\text{s}$ e, anche per tempi di ritorno sensibilmente minori, la tombinatura non è in grado di far defluire la portata, provocando rigurgito ed allagamenti a partire dall'ingresso dello scatolare verso valle.

Perciò, si sono potuti definire ulteriori locali interventi di adeguamento della tombinatura in cui scorre il tratto di valle del rio Maltempo, prima della sua confluenza nel t. Polcevera. Per verificare che la nuova portata



di progetto di questa parte di bacino è in grado di transitare nella tombinatura, è stata implementata un'analisi monodimensionale della corrente nel tratto tombinato del rio Maltempo: dopo aver nuovamente constatato che allo stato attuale e senza scolmatore le piene duecentennali e cinquantennali determinano un funzionamento in pressione generalizzato, è stato considerato uno scenario con la medesima configurazione dello stato di fatto (ovvero con le interferenze dovute all'attraversamento di due sezioni da parte di due condotte), in cui risulta che il tratto a monte di tali interferenze va in pressione con la portata duecentennale di progetto. Nello scenario, invece, che considera lo stato di progetto, con l'eliminazione delle interferenze, risulta che la corrente va soltanto a lambire il cielo della tombinatura nell'unico tratto dove si verifica un restringimento della sezione (da 4 a 3 m).

Questo risultato permette di dire che l'intervento previsto consente di eliminare per un vasto tratto la principale criticità della tombinatura del rio Maltempo, senza dover realizzare interventi più invasivi, quali un rifacimento ed allargamento della tombinatura, rispetto alla scoperchiatura dell'opera ed alla rimozione delle condotte interferenti.



7. BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale, Regione Liguria, “Piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico – Torrente Polcevera. Relazione generale e Verifiche idrauliche”, Aggiornamento 2021
- “Criteri e direttive in materia di asportazione di materiali litoidi dai corsi d’acqua dei bacini idrografici regionali”, Documento approvato con DGR 226/2009, Autorità di Bacino Regionale, 2009
- “Manuale di morfodinamica fluviale. La valutazione degli impatti morfodinamici negli studi e nelle progettazioni idrauliche”, Università di Genova – Dipartimento di Ingegneria delle Costruzioni, dell’Ambiente e del Territorio (DICAT) in collaborazione con la Regione Liguria – Dipartimento Ambiente, 2009
- Hager, W. H., Sinniger, R., “Flow characteristics of the hydraulic jump in a stilling basin with an abrupt bottom rise”, Journal of Hydraulic Research, 1985
- USACE, “River Analysis System HEC-RAS. Users Manual”, 2016
- USACE, “River Analysis System HEC-RAS. Reference Manual”, 2016
- Technital S.p.A., Studio Majone Ingegneri Associati, SGI Studio Galli Ingegneria S.p.A., Artelia Group S.A., “Scolmatore del Torrente Bisagno in Comune di Genova, Primo Lotto: Realizzazione delle opere per la messa in sicurezza idraulica del Torrente Fereggiano (e rivi Rovare e Noce)”, Progetto Definitivo, 2013
- Technital S.p.A., SGI Studio Galli Ingegneria S.p.A., Studio Majone Ingegneri Associati, “Scolmatore del Torrente Bisagno in Comune di Genova, Primo Lotto: Realizzazione delle opere per la messa in sicurezza idraulica del Torrente Fereggiano (e rivi Rovare e Noce) – Secondo Stralcio: Rivi Rovare e Noce”, Progetto Esecutivo, 2019



8. ALLEGATI

8.1 Parere di compatibilità idraulica favorevole sul PFTE con prescrizioni della Regione Liguria

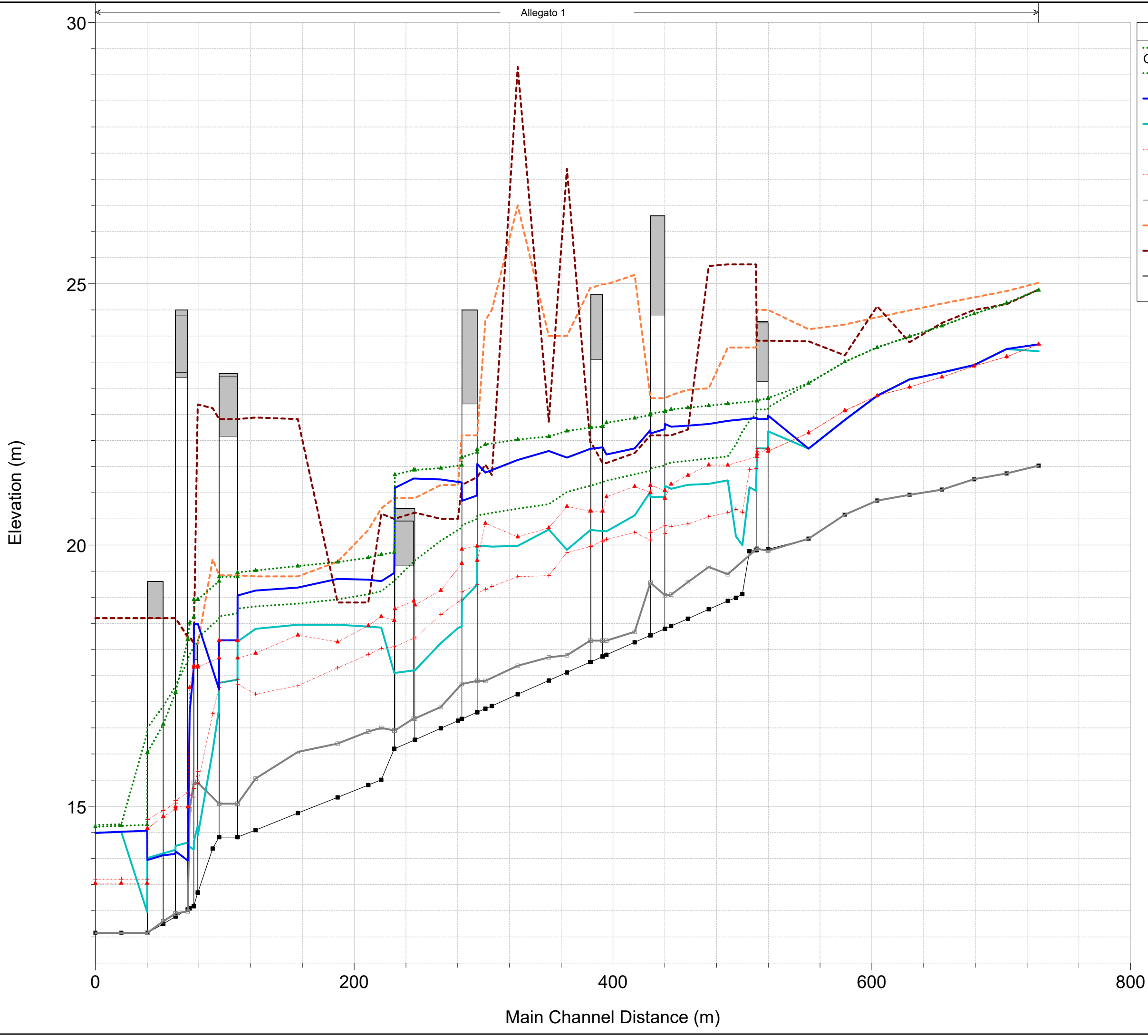
A seguito della trasmissione del PFTE del presente progetto e, in particolare, della Relazione Idraulica che precedeva il presente elaborato, il Dipartimento ambiente e protezione civile – Settore Assetto del Territorio della Regione Liguria, con Prot. 12/04/2022.0139493, si è espressa in nome e per conto dell’Autorità di Bacino distrettuale dell’Appennino Settentrionale, in applicazione dell’Accordo di cui alla DGR 86/2022, ai sensi dell’art. 17 c. 2 della normativa del Piano di Bacino, parere di compatibilità favorevole sul “Progetto di fattibilità tecnico ed economica delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”, con le prescrizioni indicate, da attuarsi in fase di progettazione definitiva, le quali sono state in questo elaborato recepite e che dovranno essere nuovamente assoggettata a parere ex art. 17 c. 2 delle NTA del PAI.

Si allega di seguito il citato parere con nota emessa.

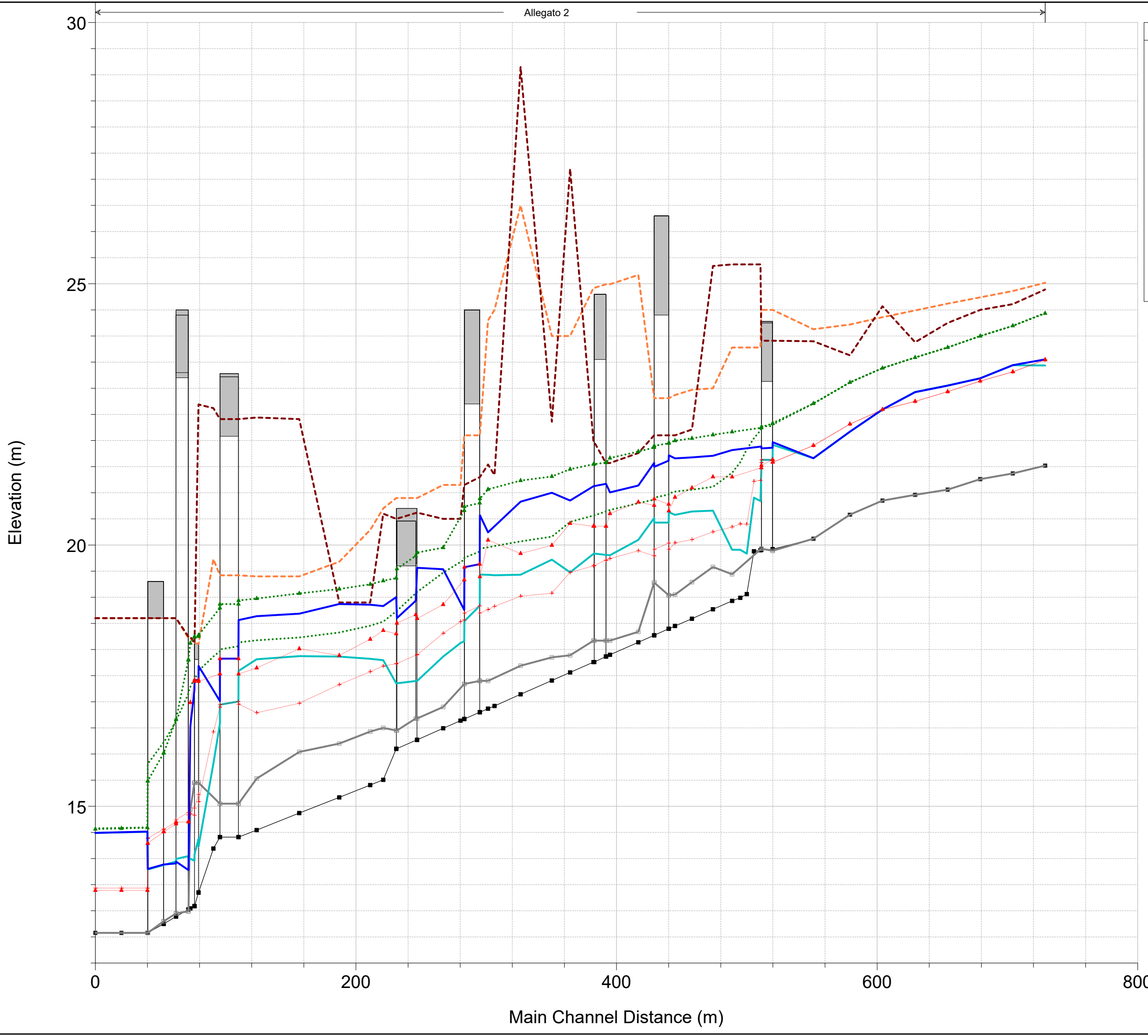
8.2 Risultati della modellazione idraulica del torrente Torbella

Si riportano di seguito i seguenti allegati:

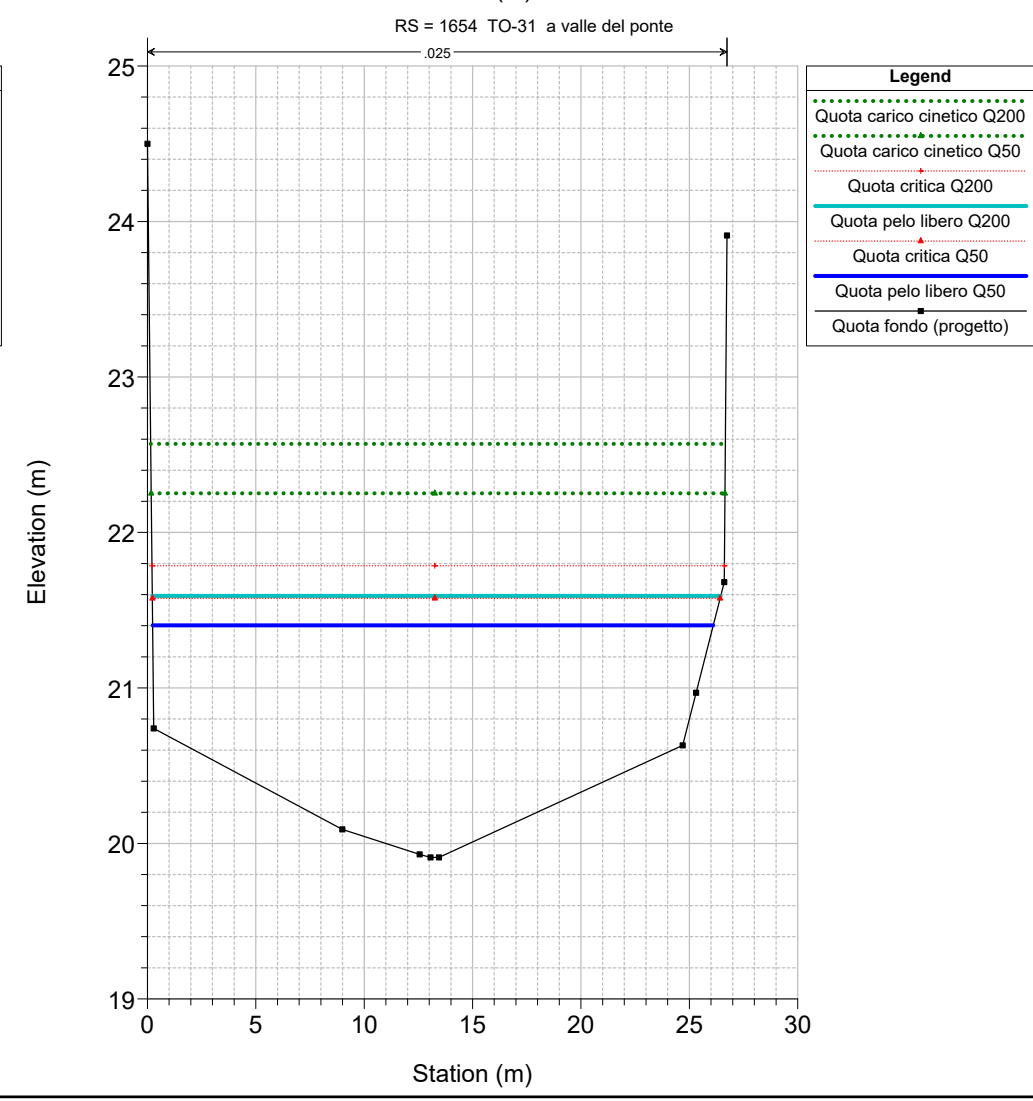
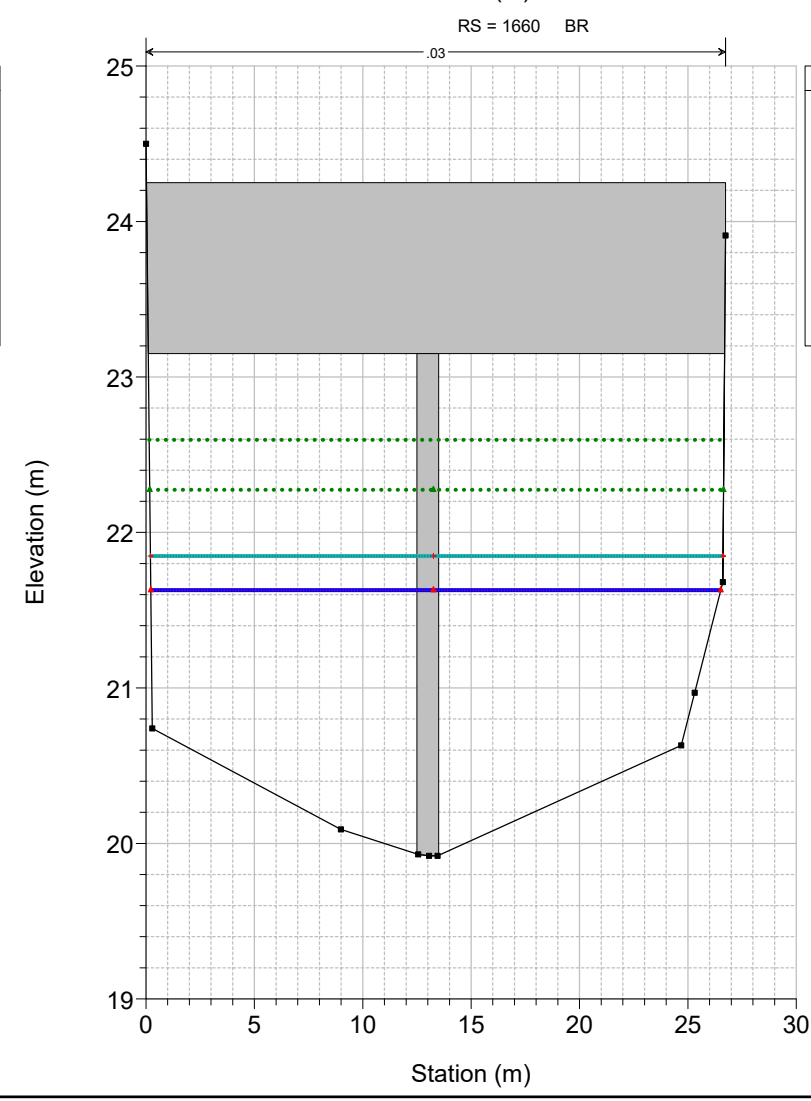
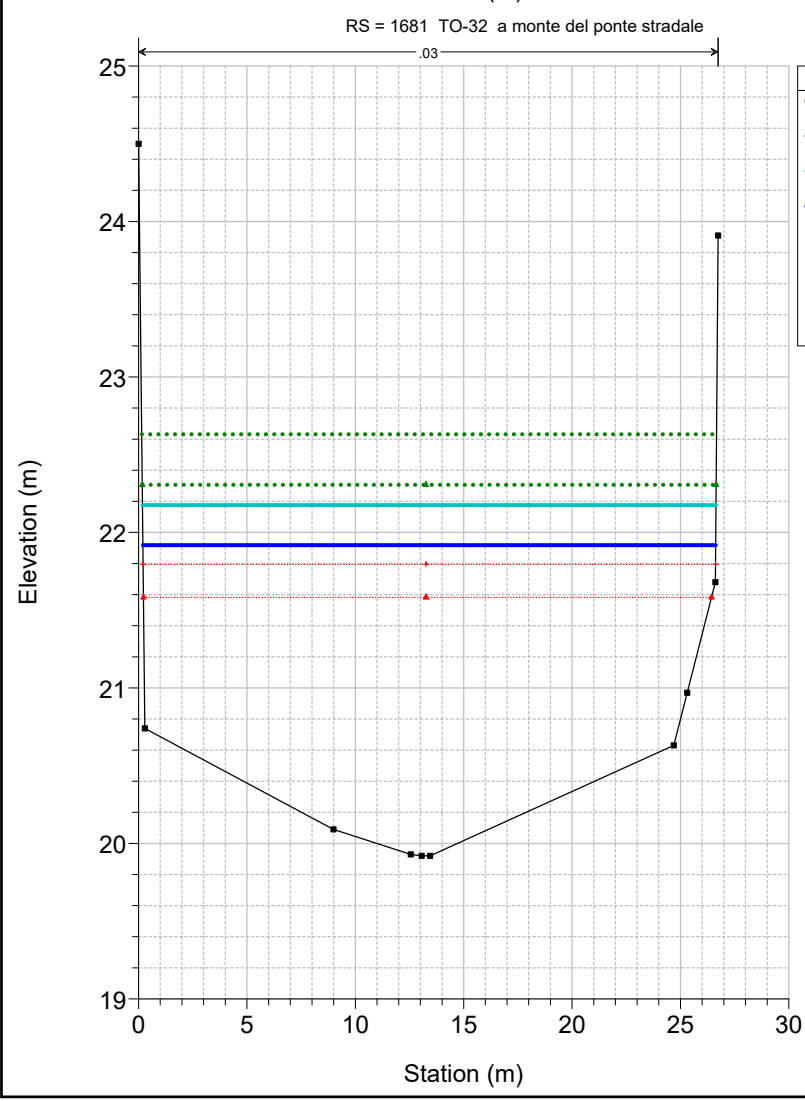
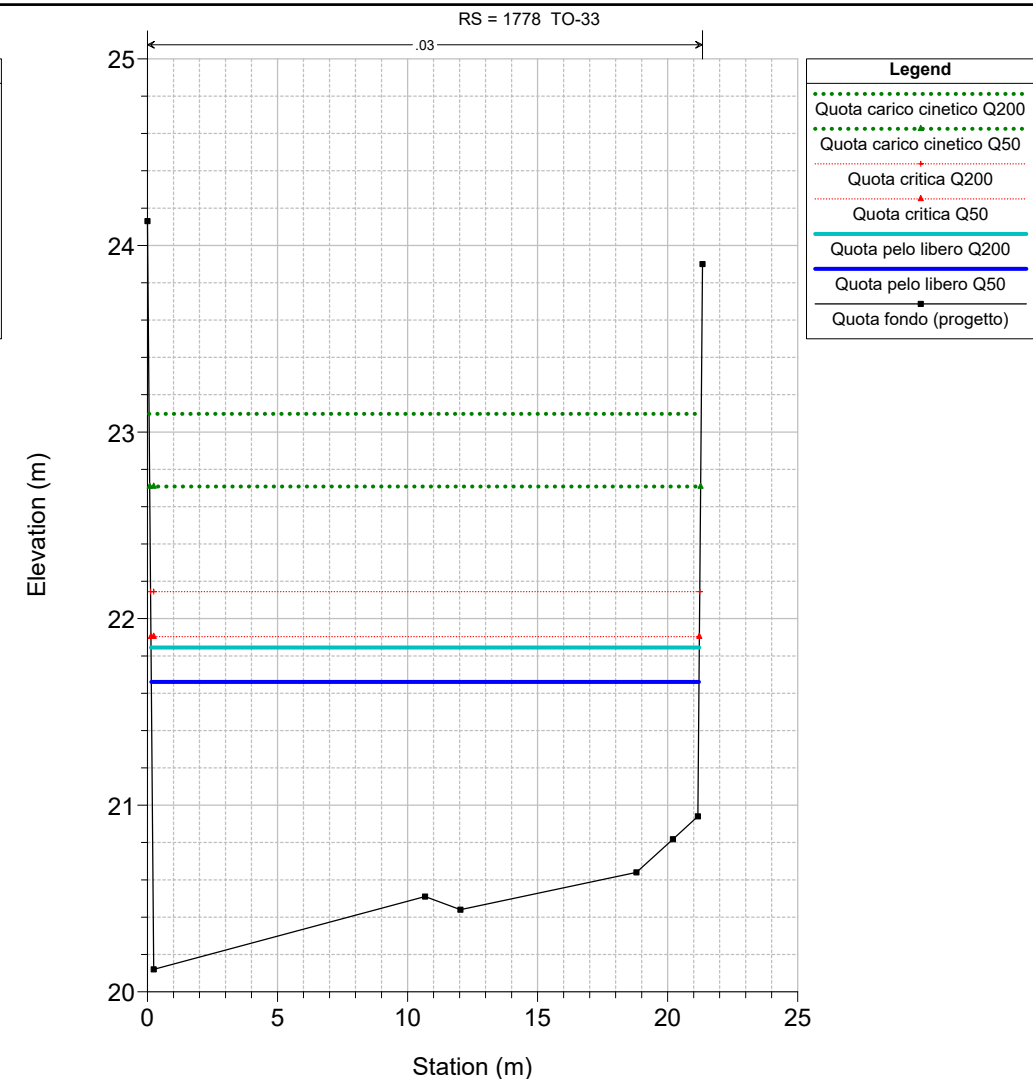
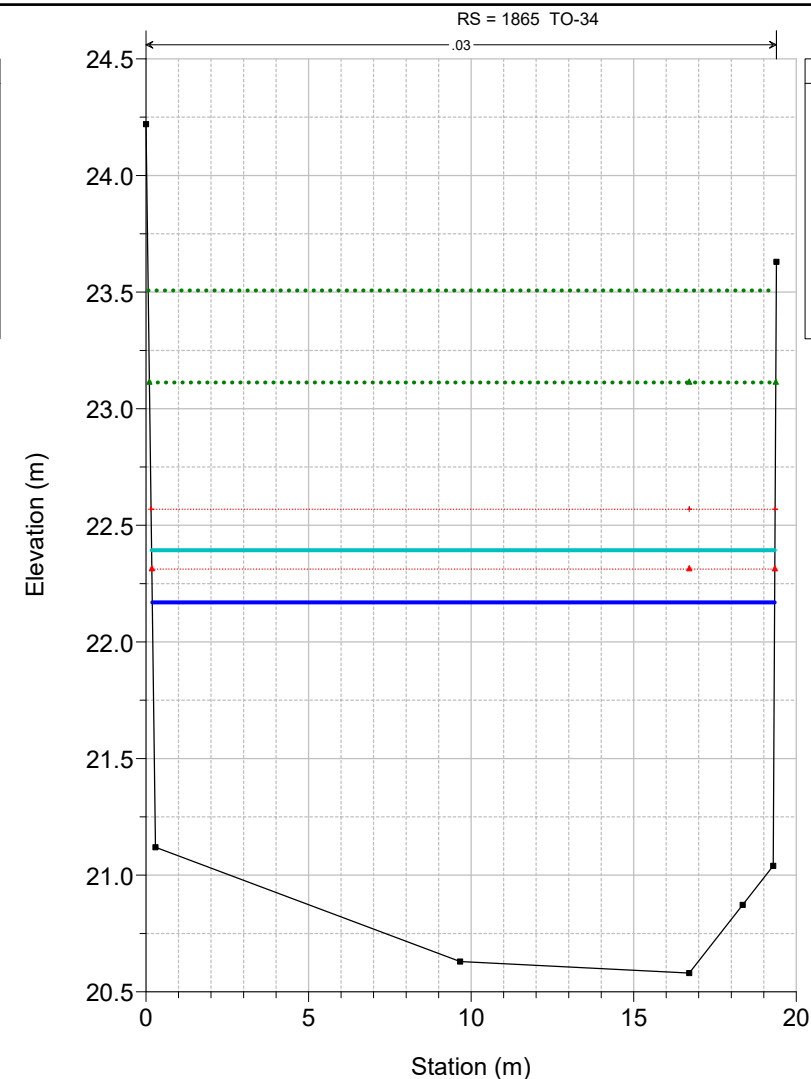
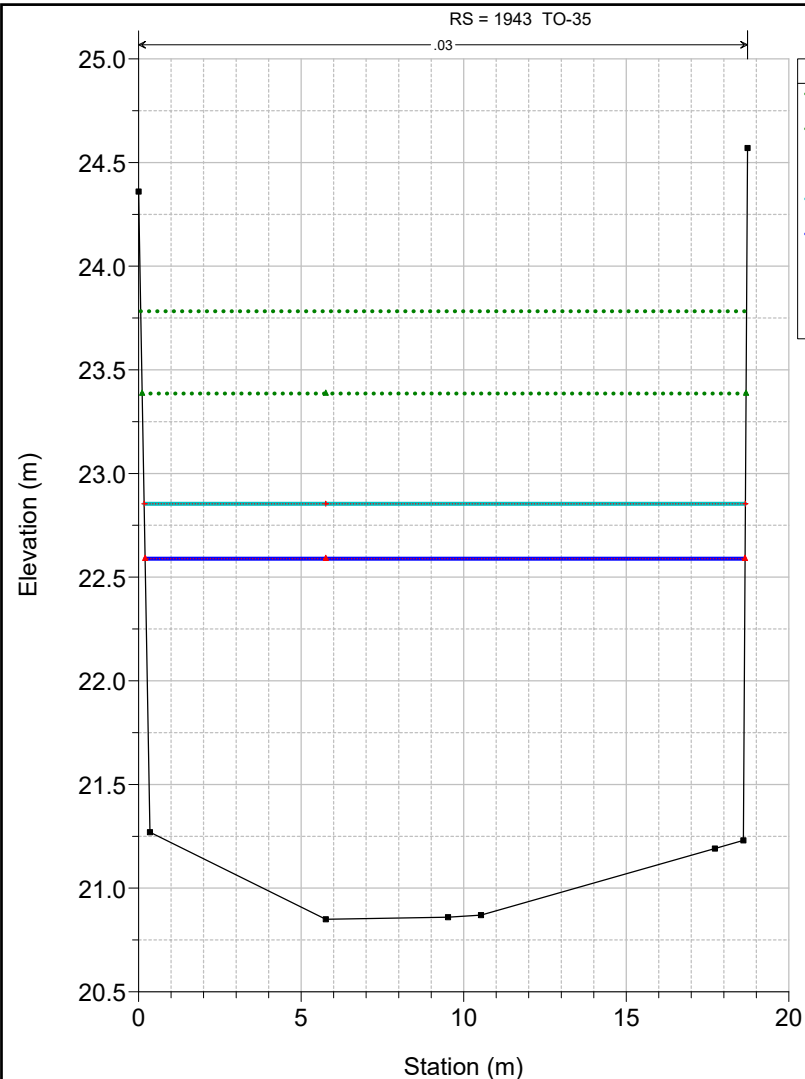
1. Confronto tra il profilo idraulico dello stato di fatto (linea blu continua) e lo stato di progetto (linea ciano continua) nello Scenario 1, per Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero (rif. Figura 3-8);
2. Confronto tra il profilo idraulico dello stato di fatto (linea blu continua) e lo stato di progetto (linea ciano continua) nello Scenario 1, per Tr 50 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero;
3. Rappresentazioni delle sezioni idrauliche di progetto con il livello dell’evento per Tr 200 anni (linea ciano continua) e Tr 50 anni (linea blu continua);
4. Tabella con i valori delle principali variabili calcolate su ciascuna delle sezioni idrauliche dell’evento per Tr 200 anni e Tr 50 anni.
5. Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea ciano continua) e Scenario 2 (linea blu continua) per Tr 200 anni (linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx). Rif. Figura 3-9;
6. Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua) per Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero (rif. Figura 3-12);
7. Dettaglio alla foce del confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 dello stato di progetto del torrente Torbella (linea ciano continua) e del medesimo scenario nello stato attuale (linea blu continua): tiranti idrici Tr 200 anni. Linee tratteggiate arancione e rosso scuro: quota sponda sx e dx. Quota del fondo attuale in grigio e di progetto in nero (rif. Figura 3-13).

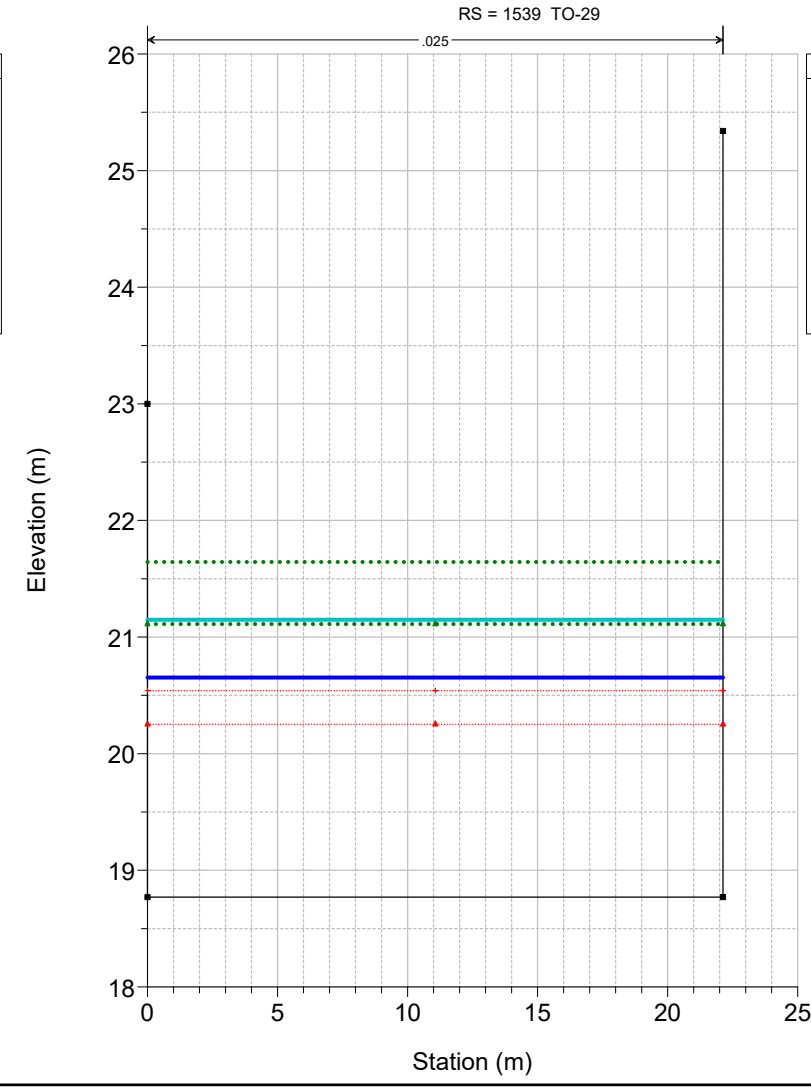
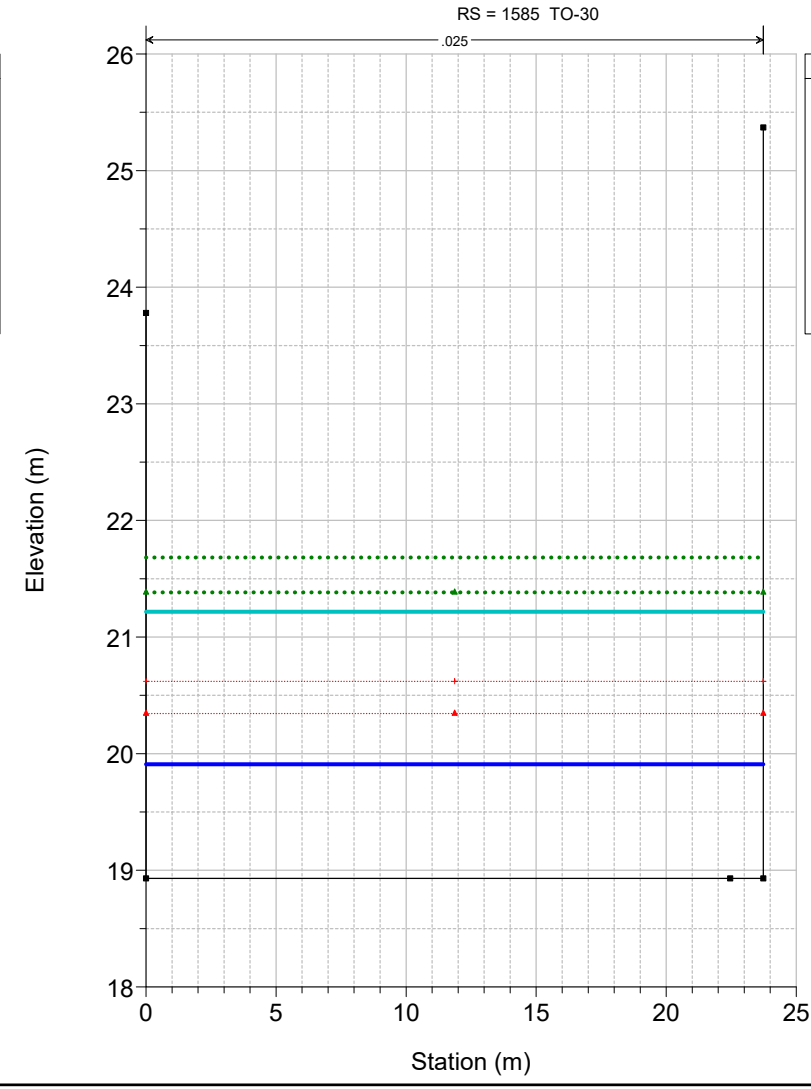
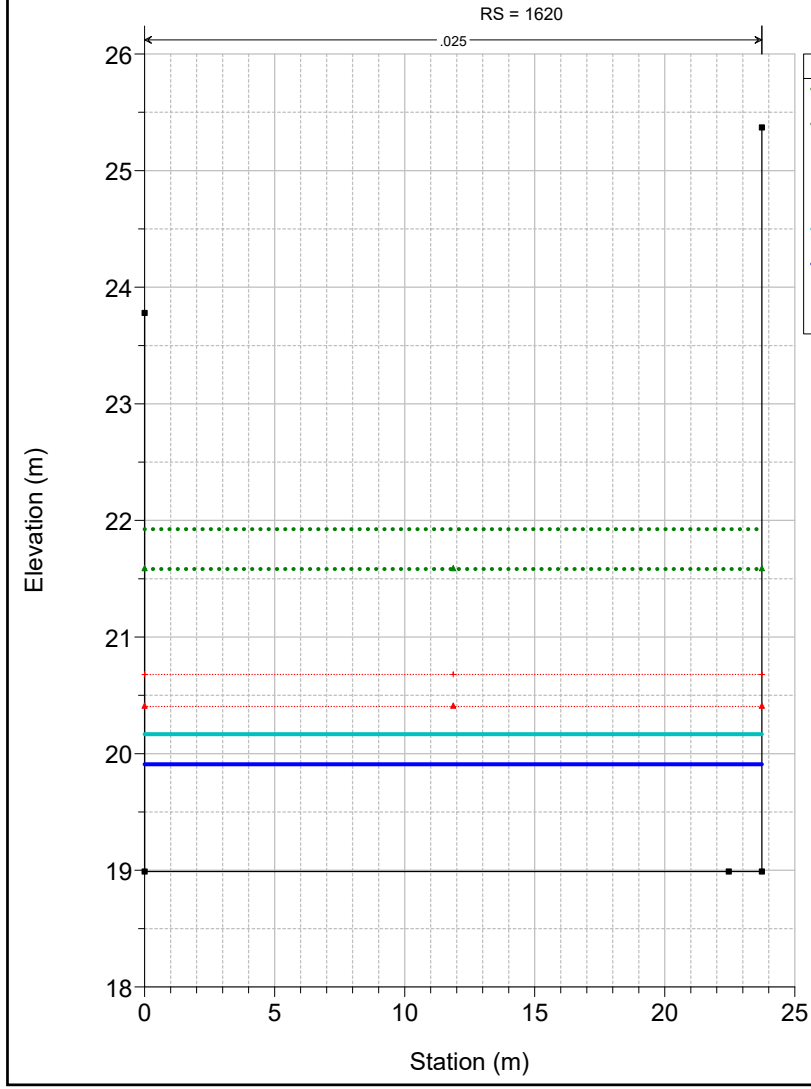
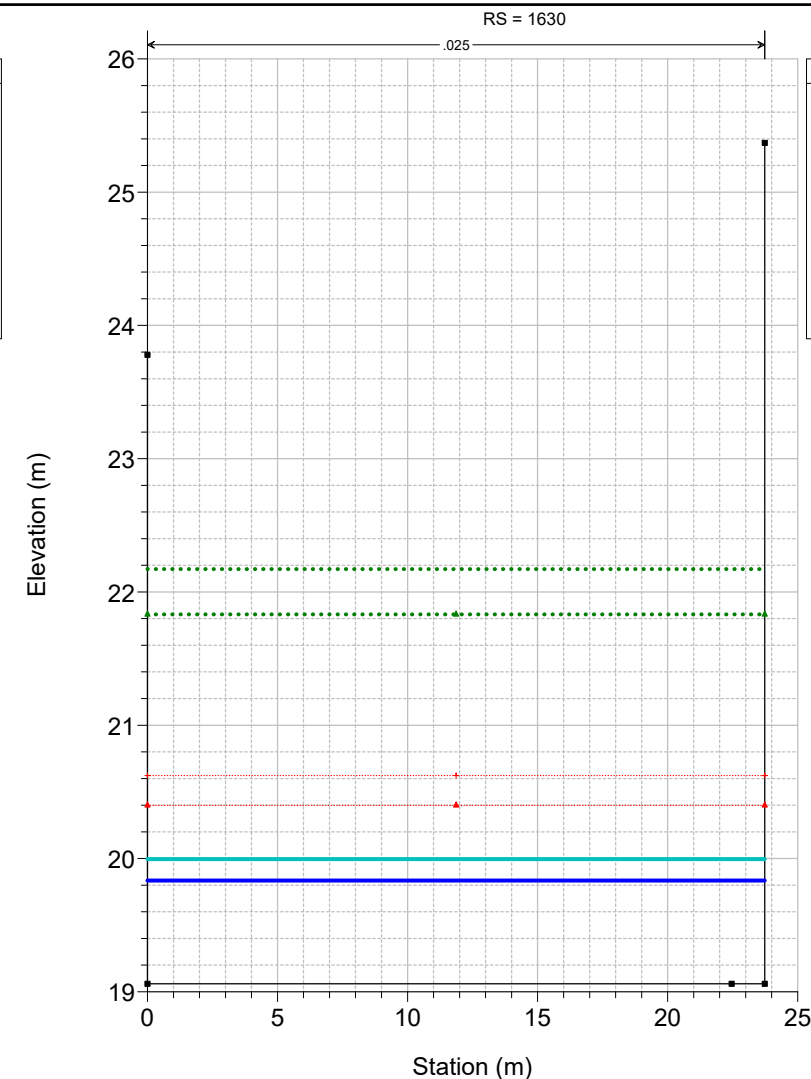
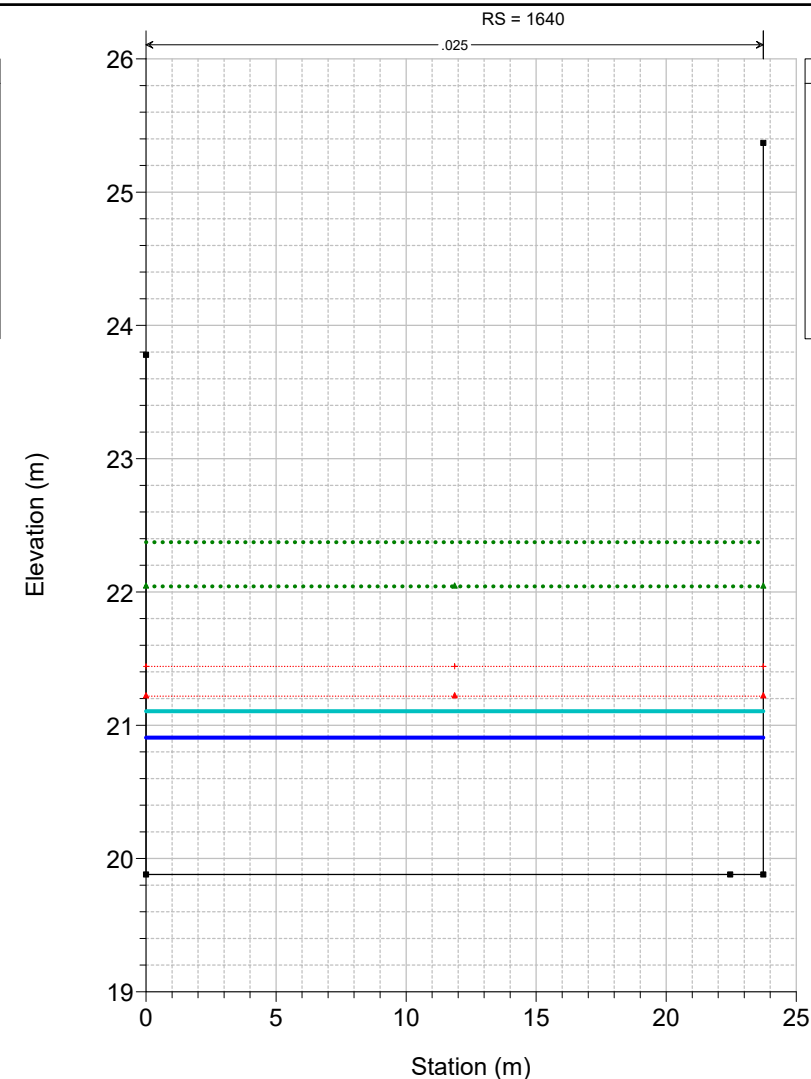
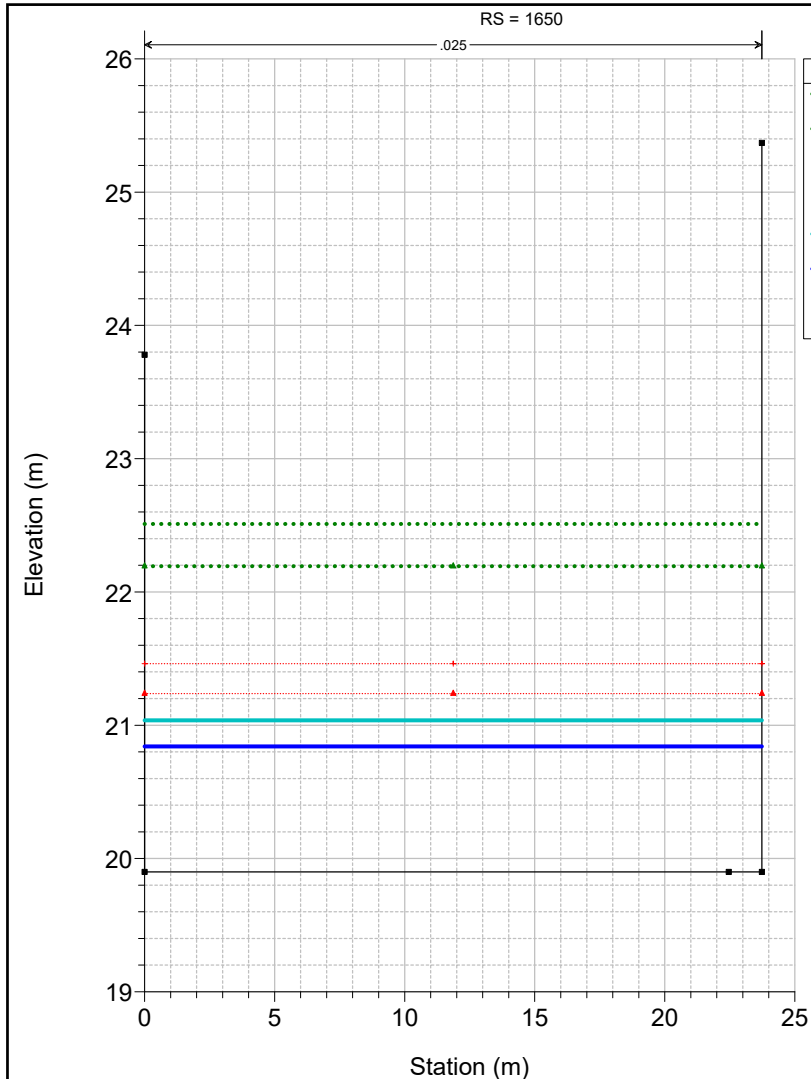


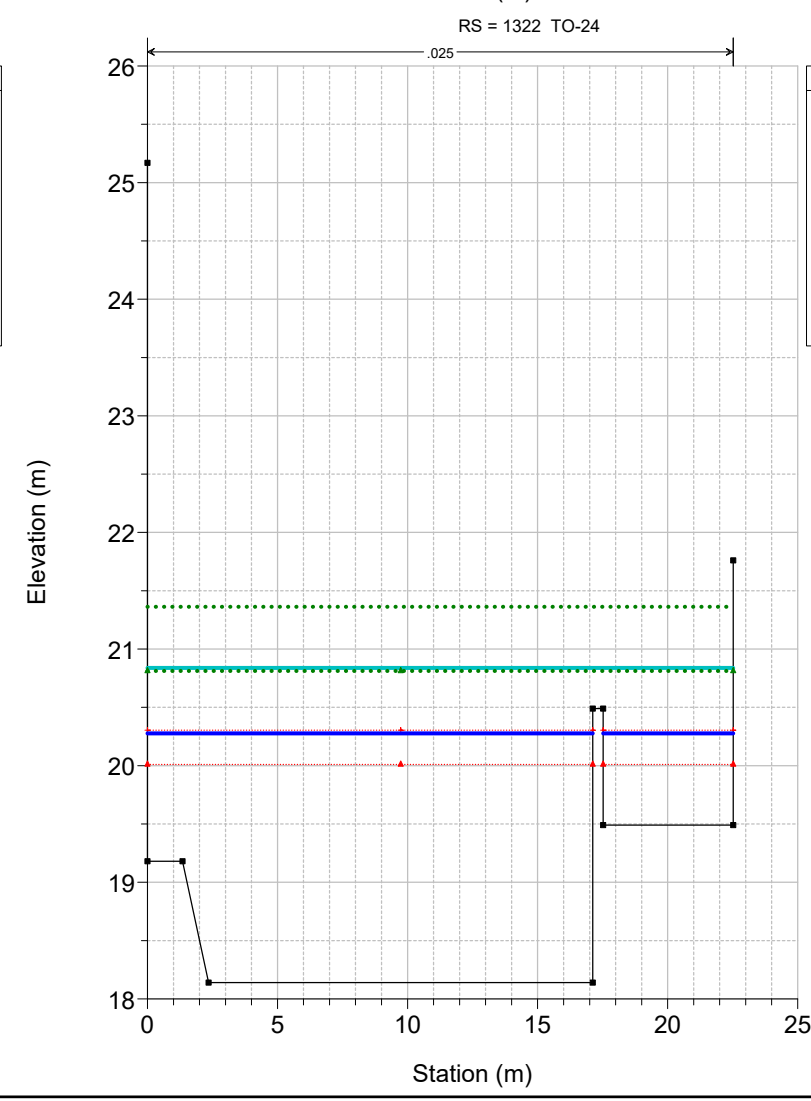
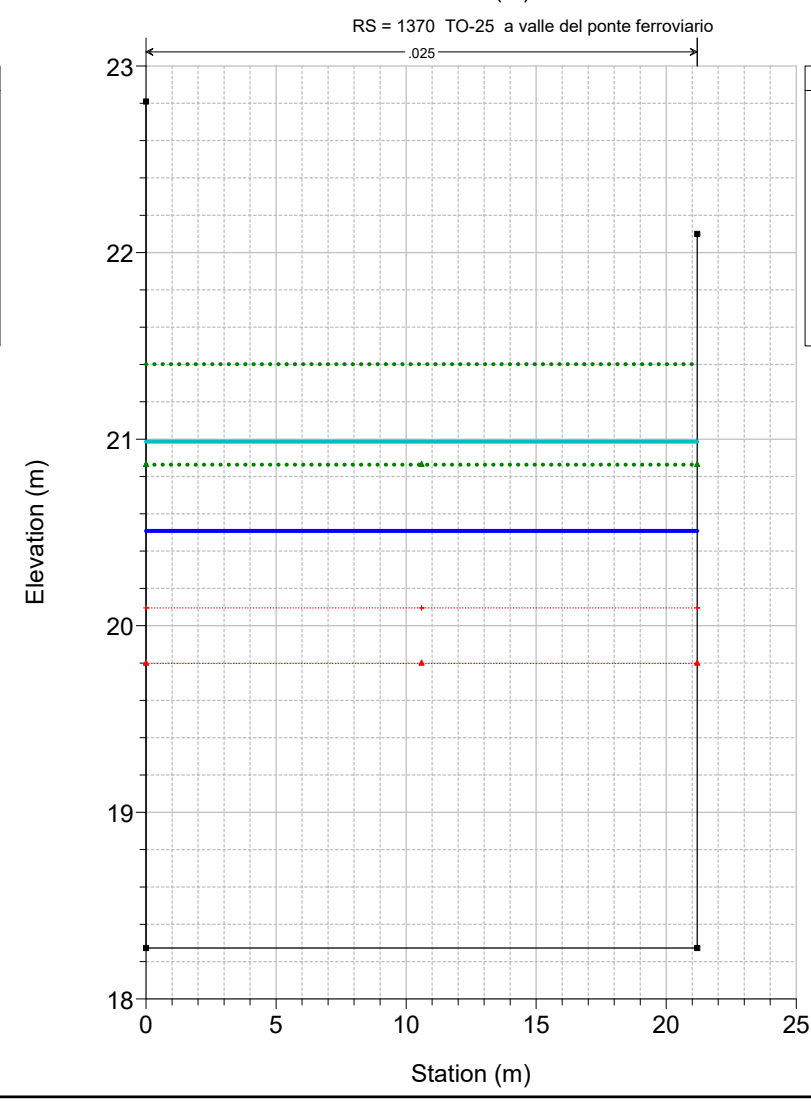
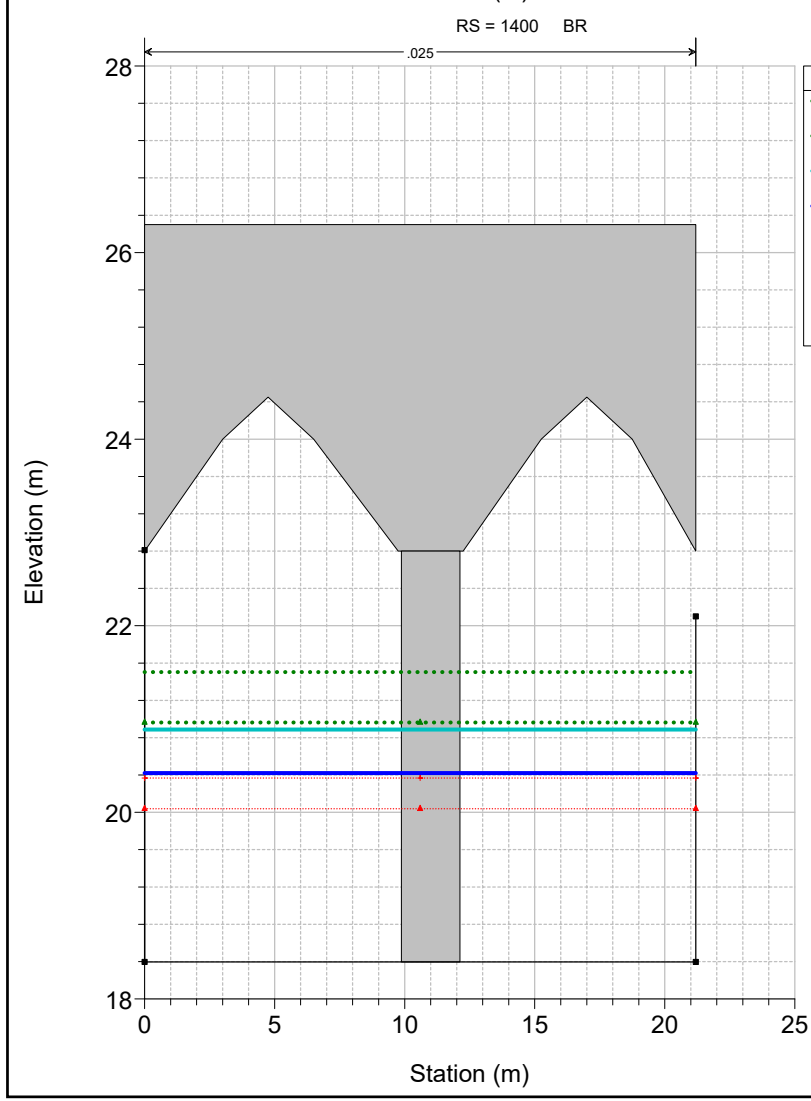
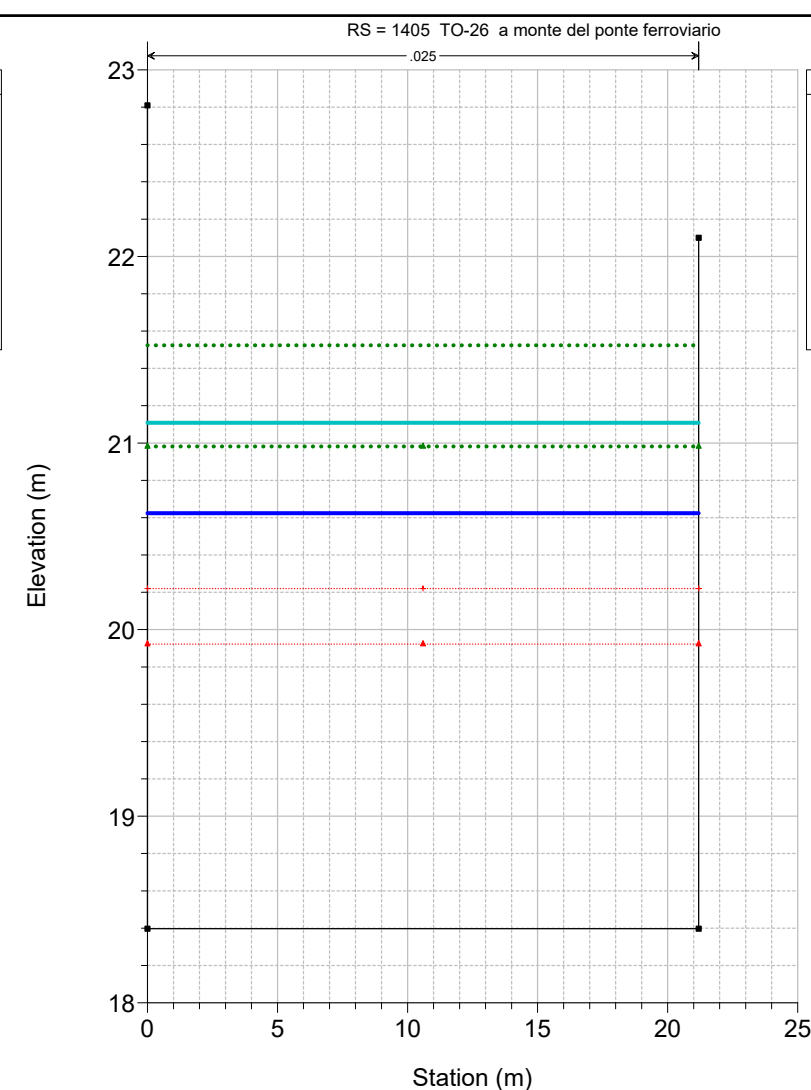
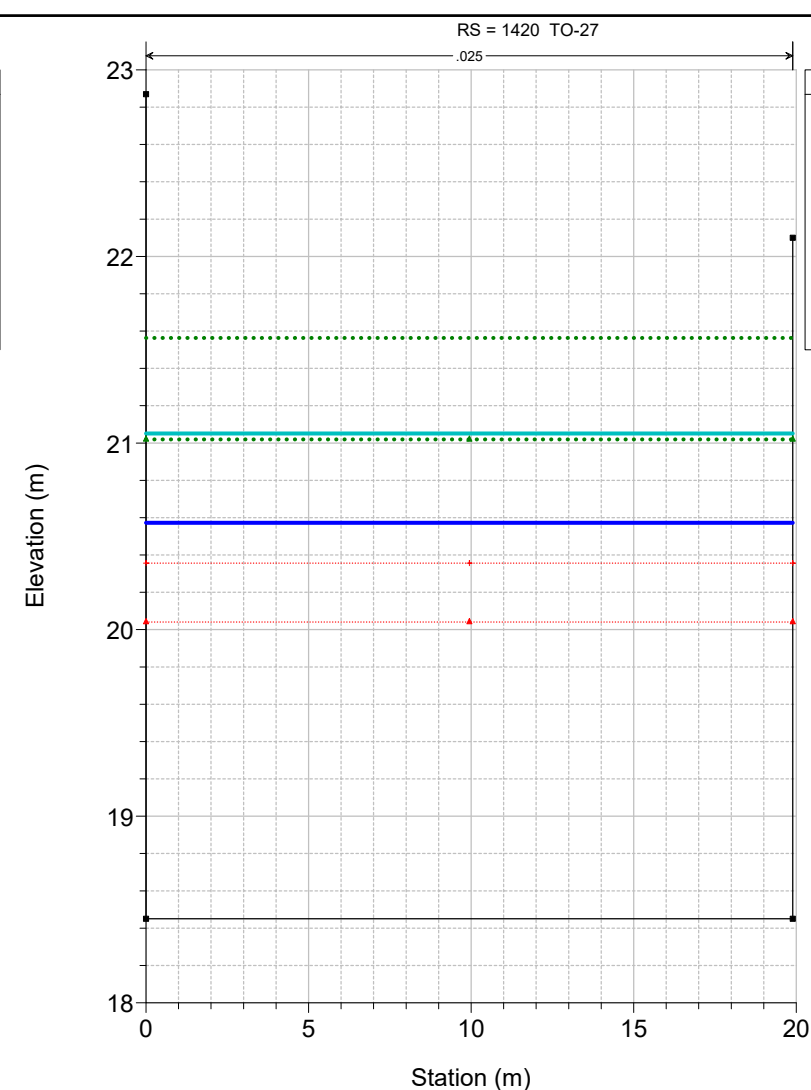
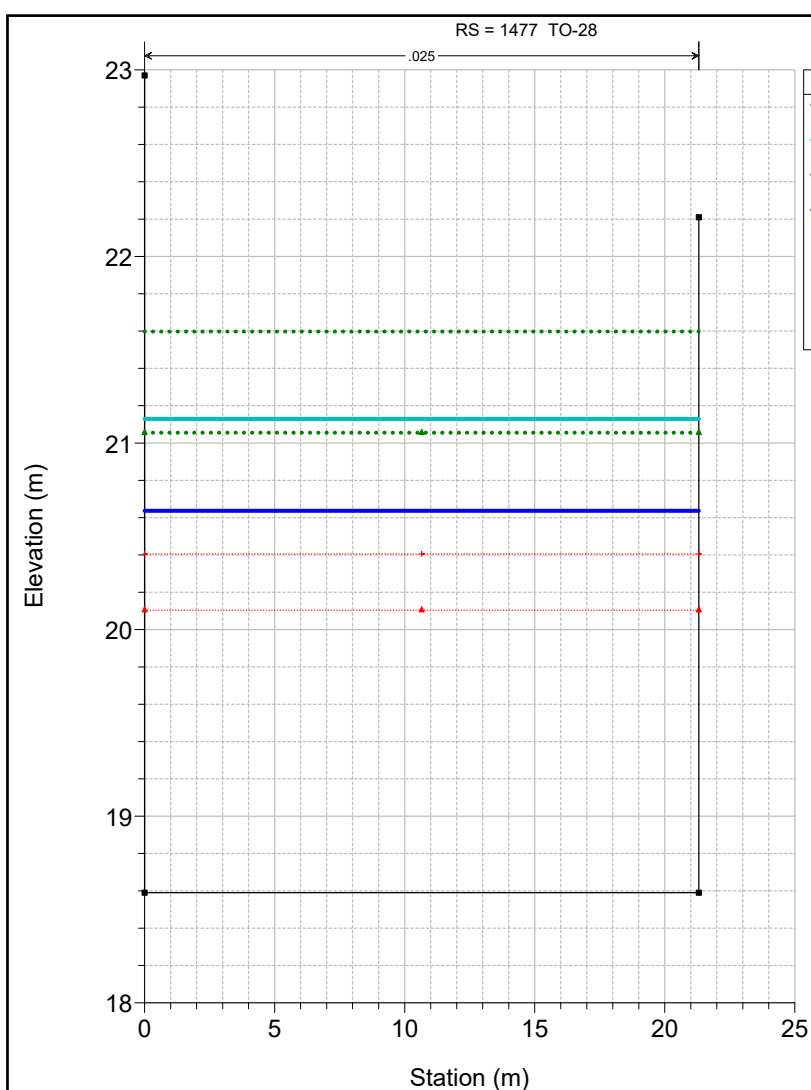
Legend	
.....	Quota carico cinetico Q200 - Scenario 1_pilapasserella
.....▲	Quota carico cinetico Q200 - Torbella_attuale
—————	Quota pelo libero Q200 - Torbella_attuale
—————	Quota pelo libero Q200 - Scenario 1_pilapasserella
.....▲	Quota critica Q200 - Scenario 1_pilapasserella
.....■	Quota critica Q200 - Torbella_attuale
—————■	Quota fondo (progetto)
-----	Sponda sx
-----	Sponda dx
—————□	Quota fondo (attuale)

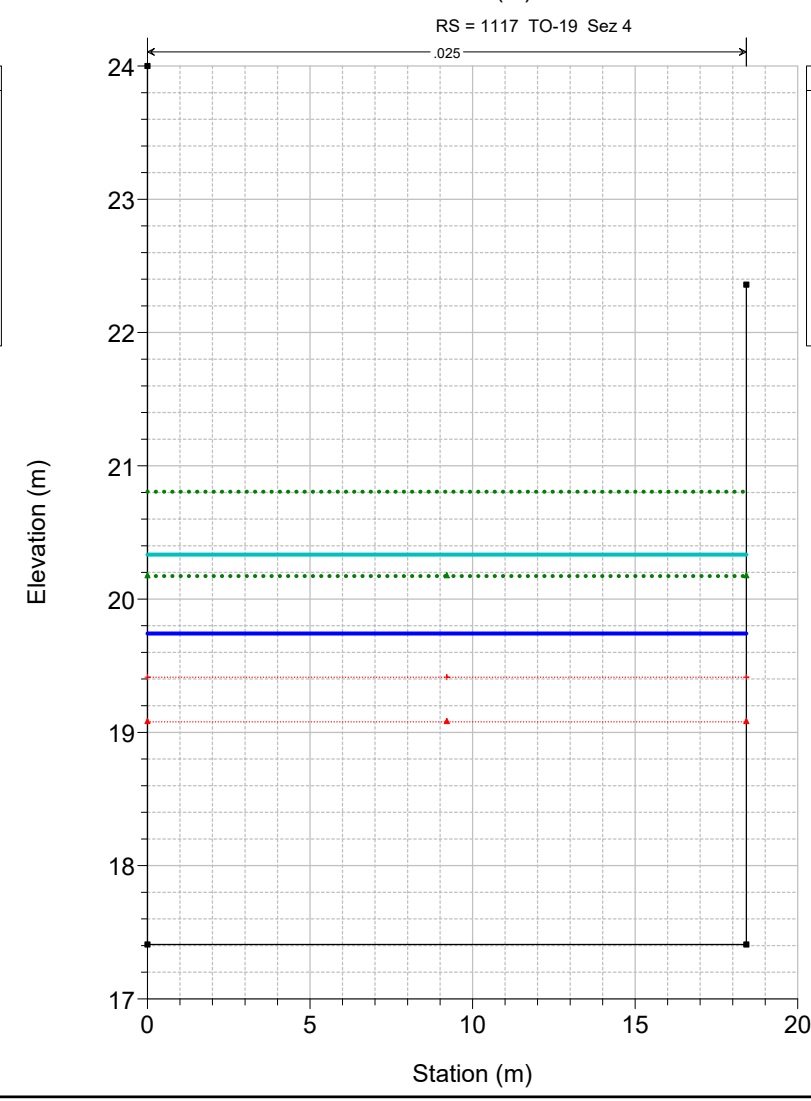
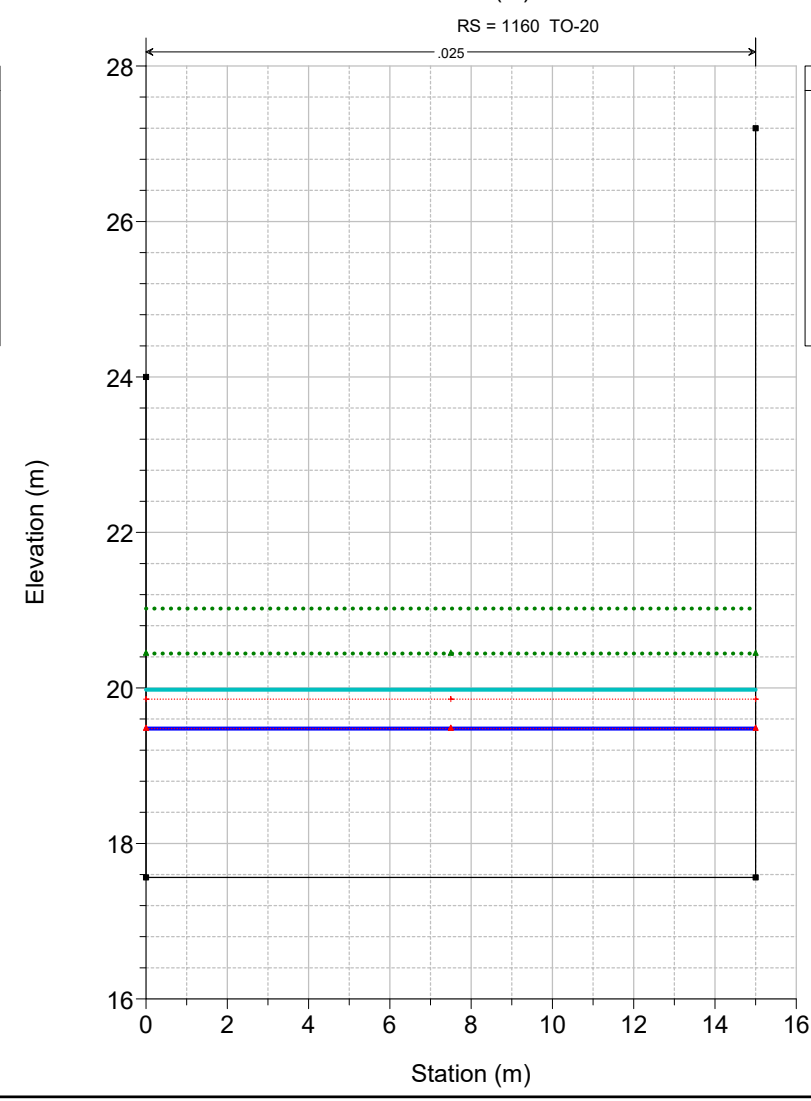
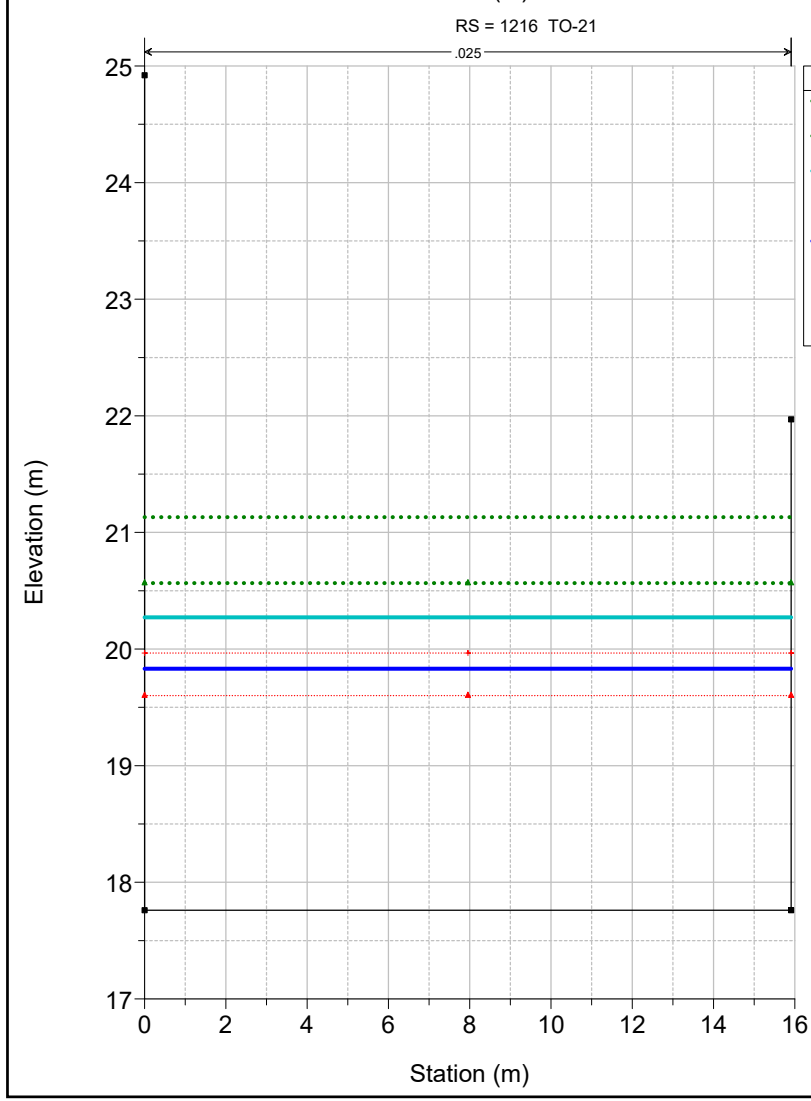
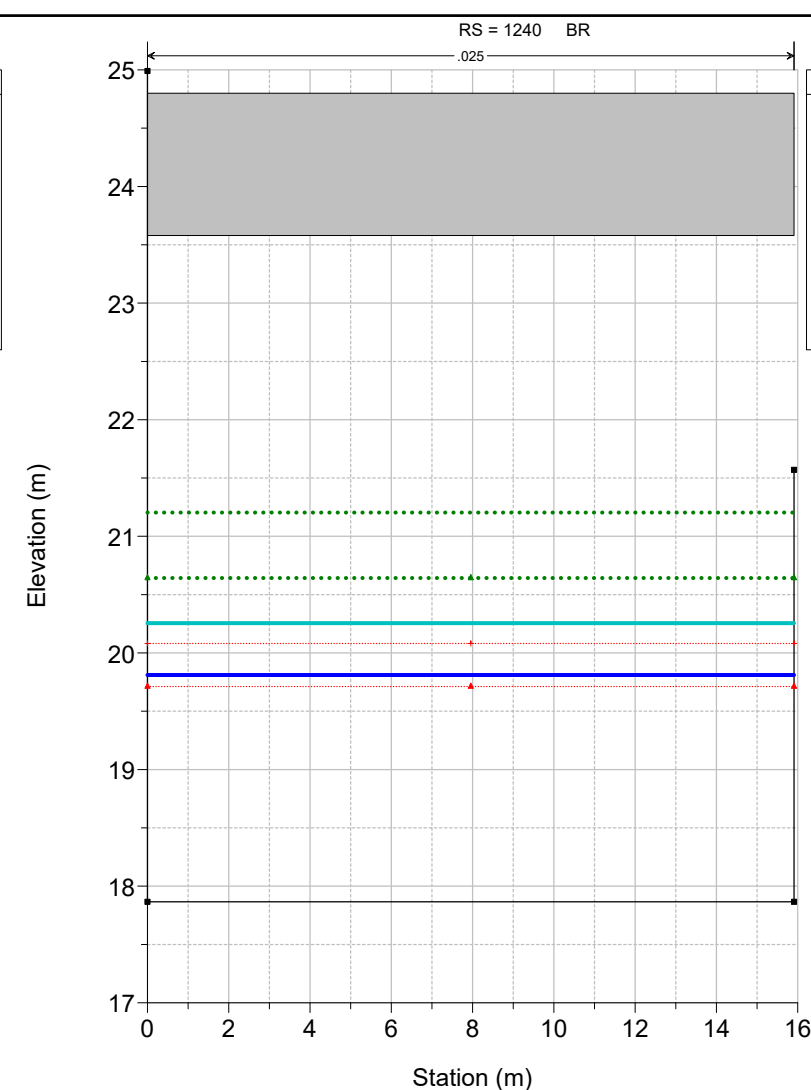
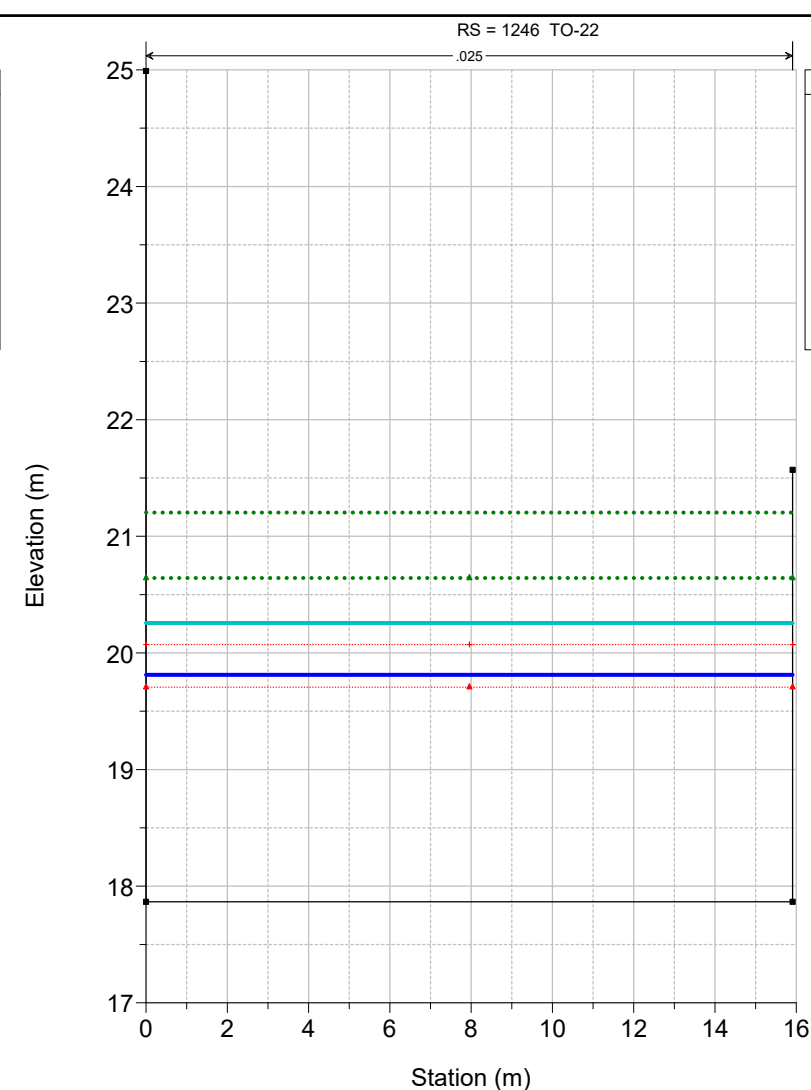
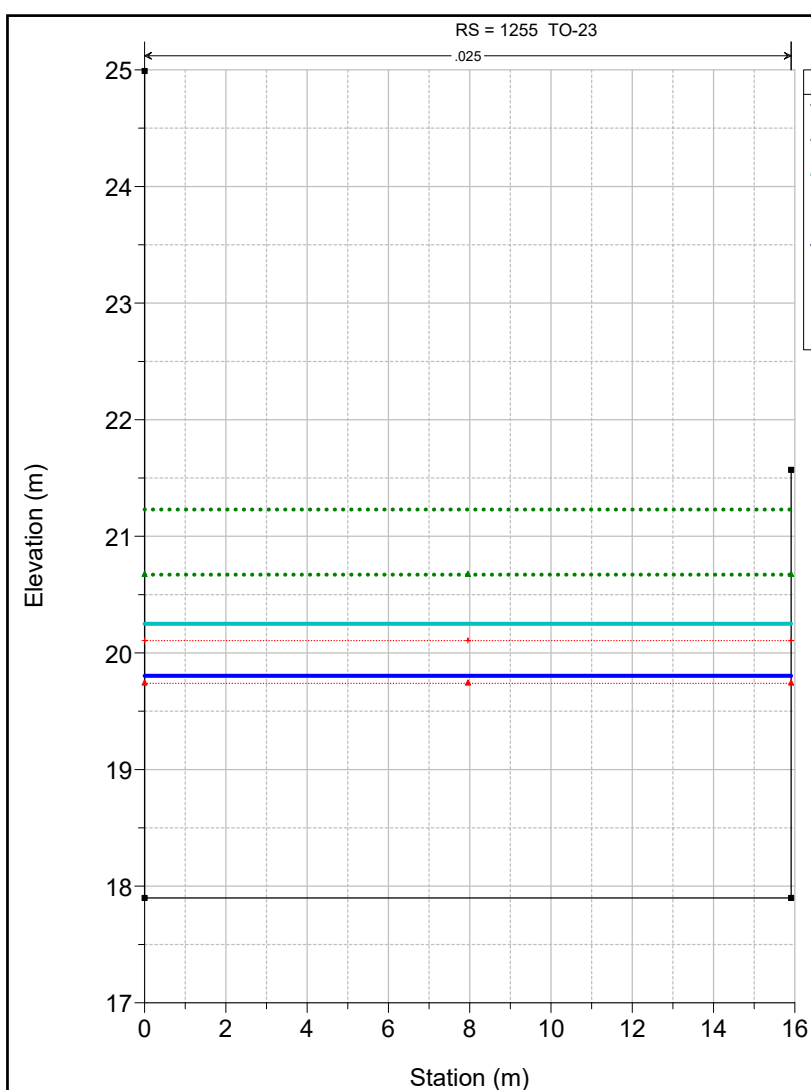


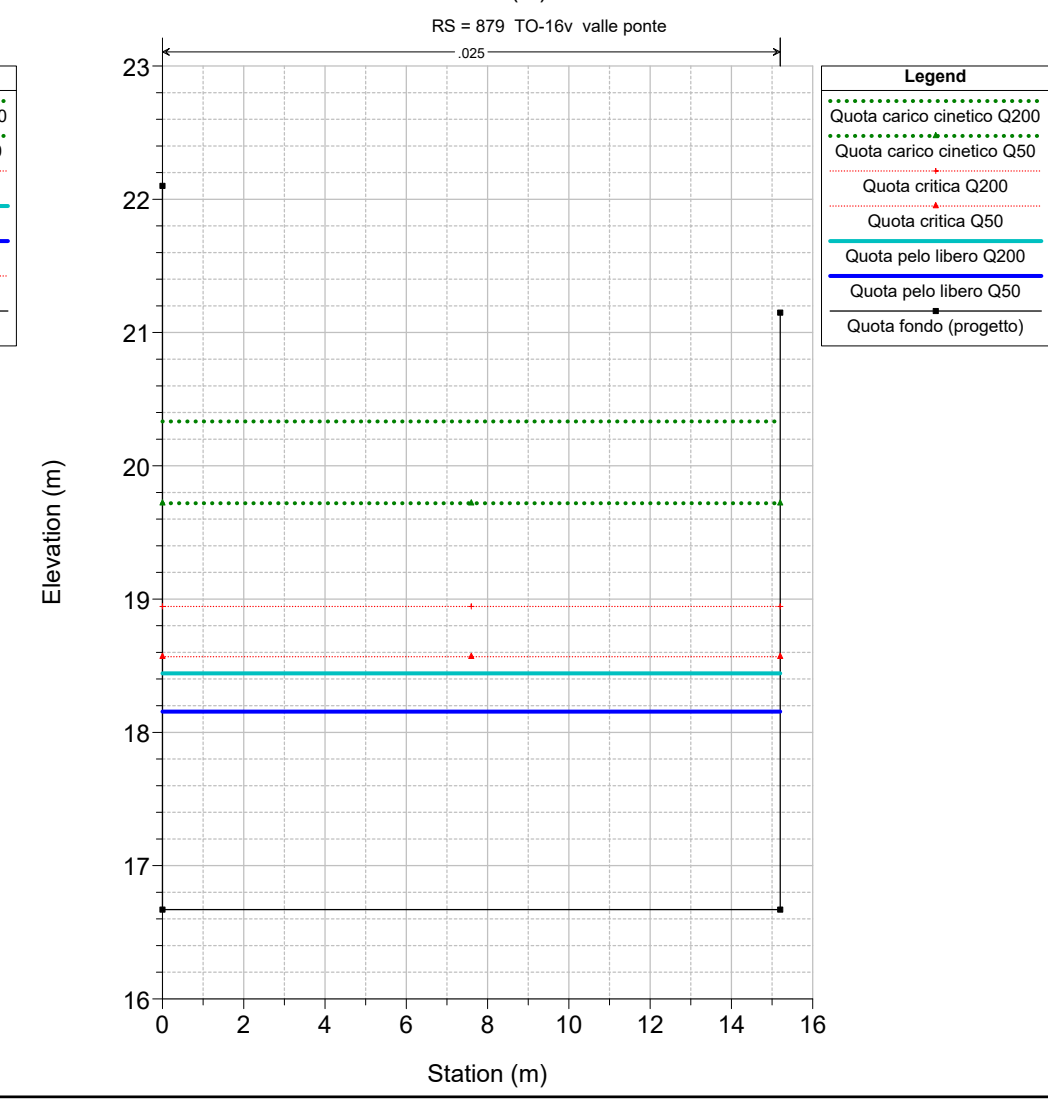
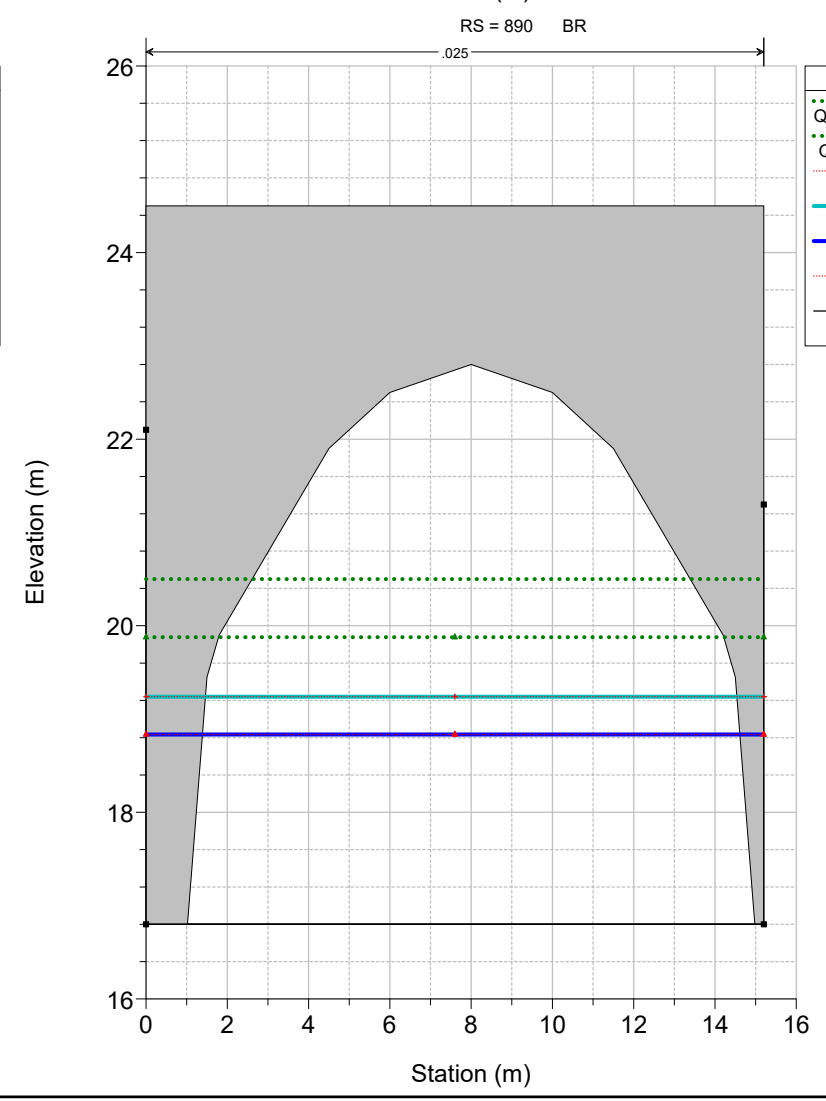
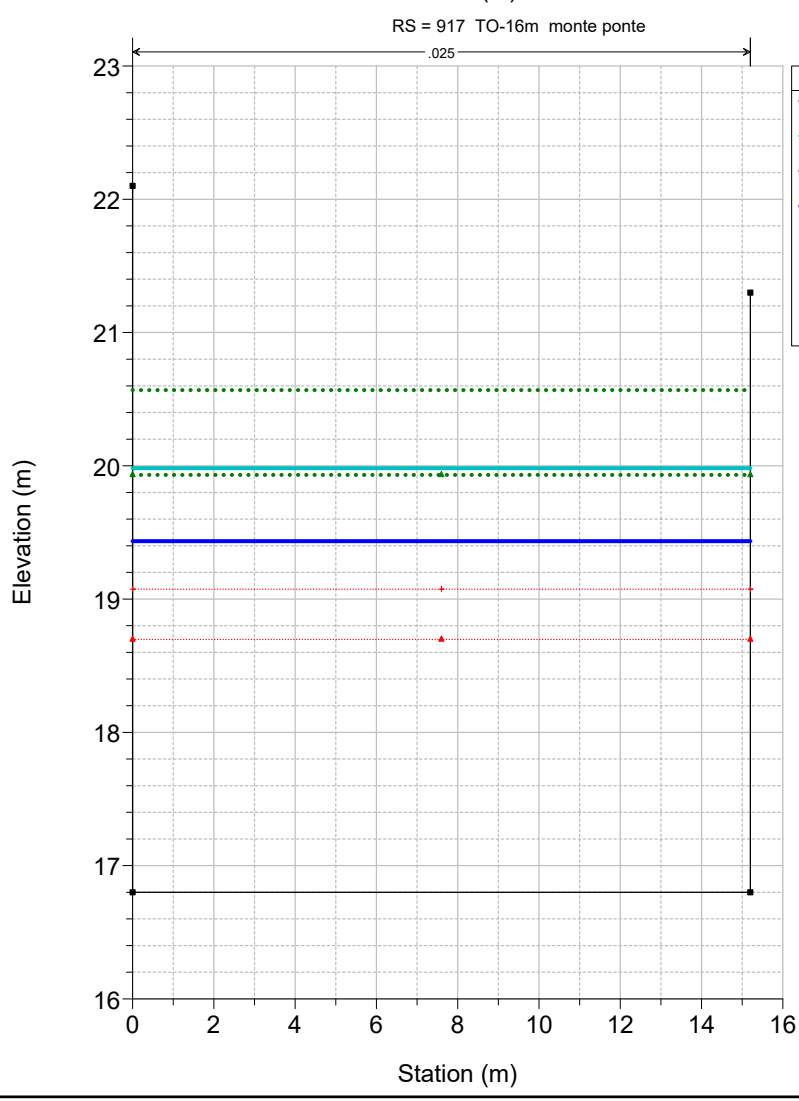
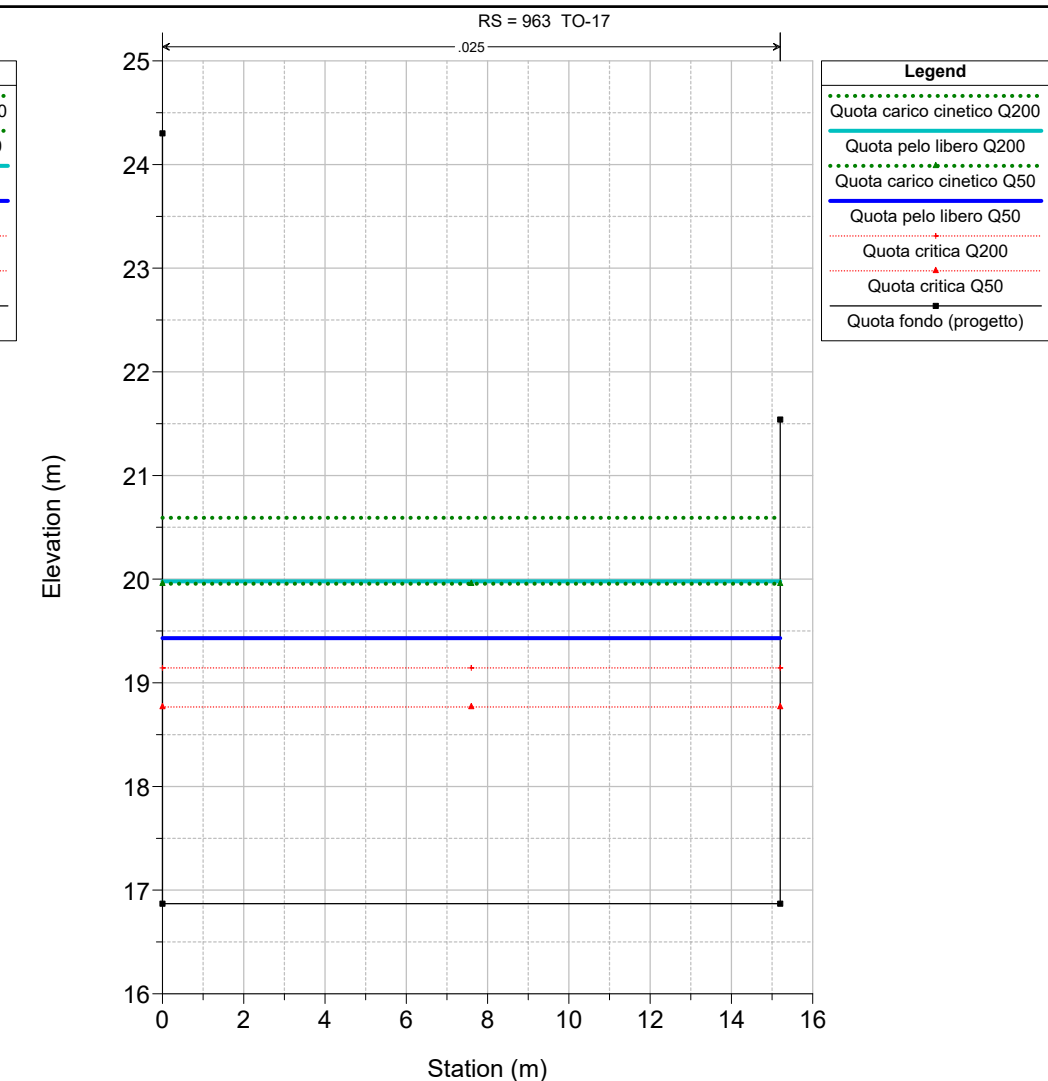
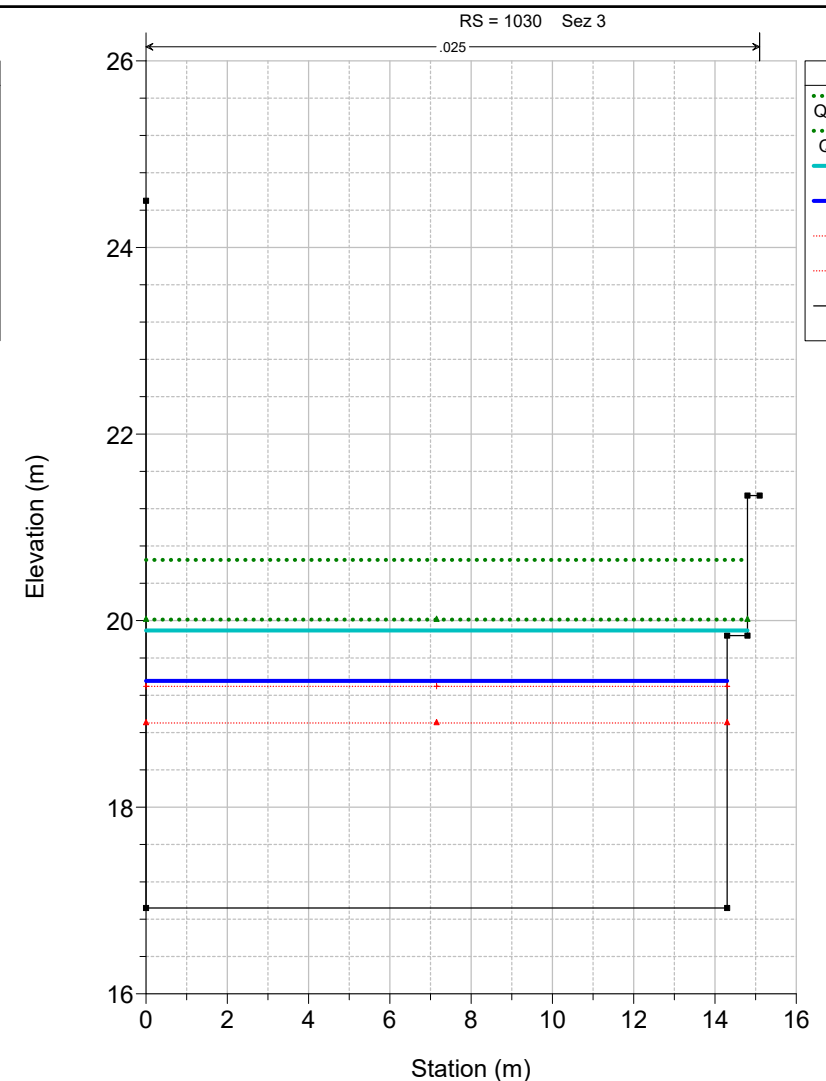
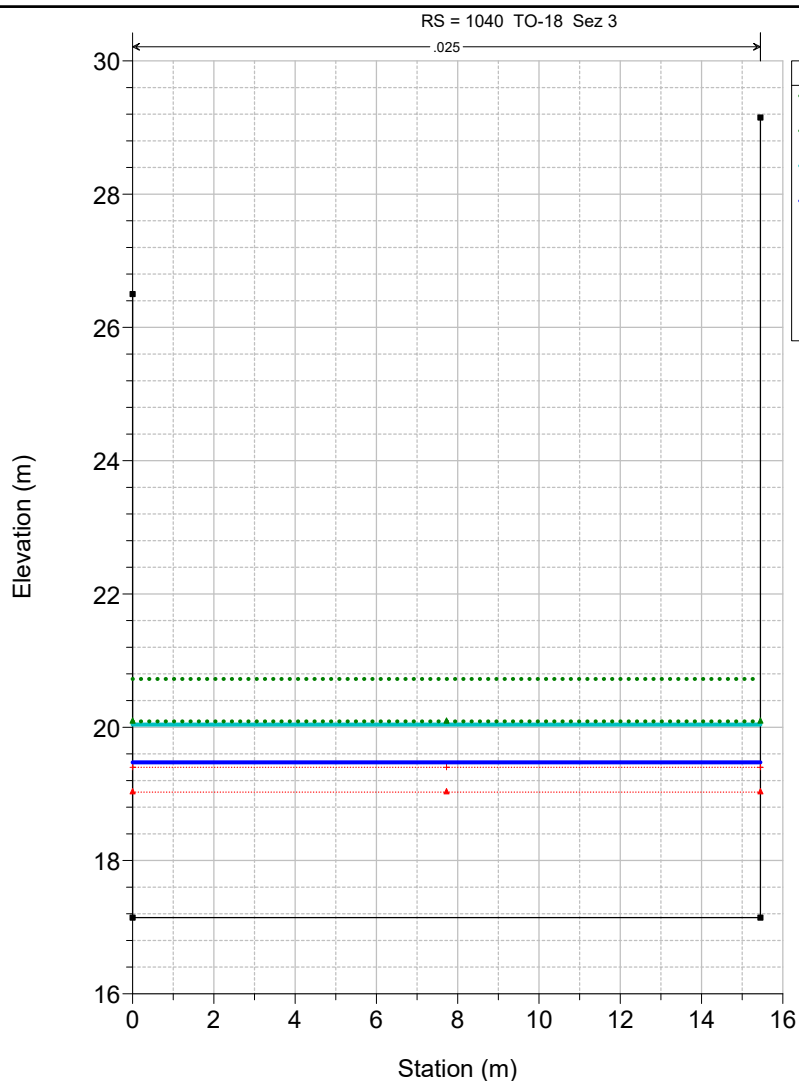
Legend	
.....	Quota carico cinetico Q50 - Scenario 1_pilapasserella
.....	Quota carico cinetico Q50 - Torbella_attuale
————	Quota pelo libero Q50 - Torbella_attuale
————	Quota pelo libero Q50 - Scenario 1_pilapasserella
.....+	Quota critica Q50 - Scenario 1_pilapasserella
.....▲	Quota critica Q50 - Torbella_attuale
——■	Quota fondo (progetto)
-----	Sponda sx
-----	Sponda dx
——□	Quota fondo (attuale)

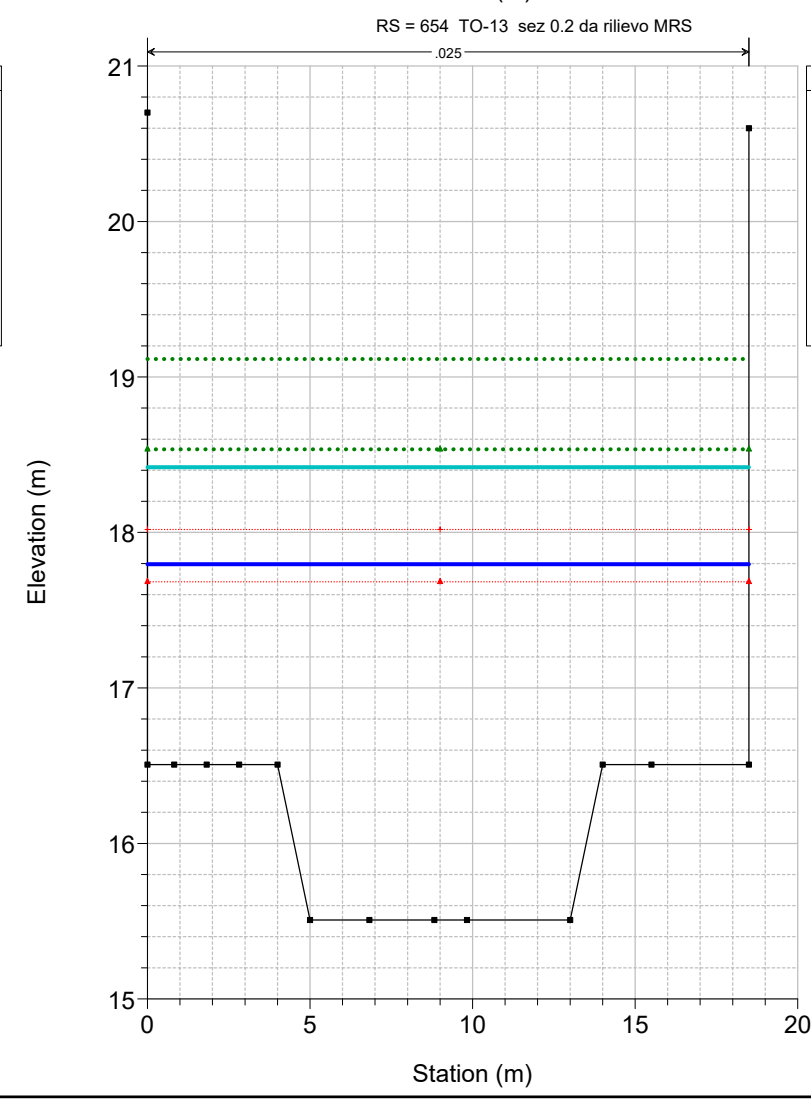
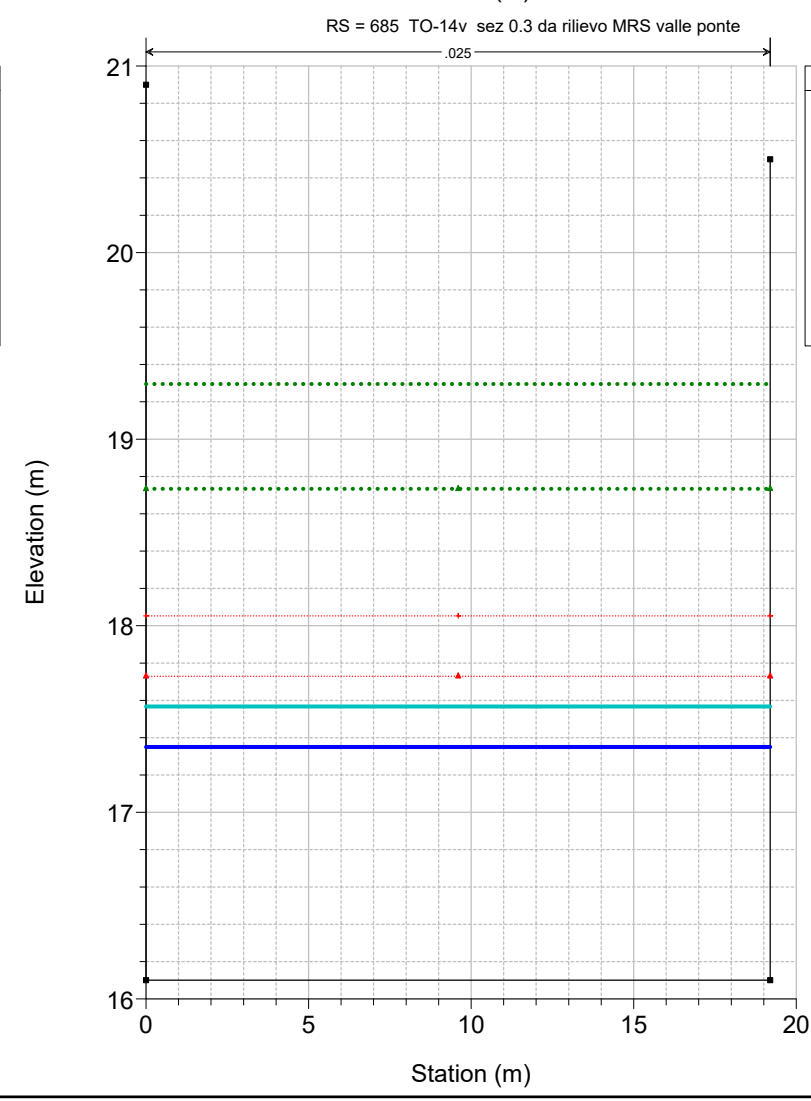
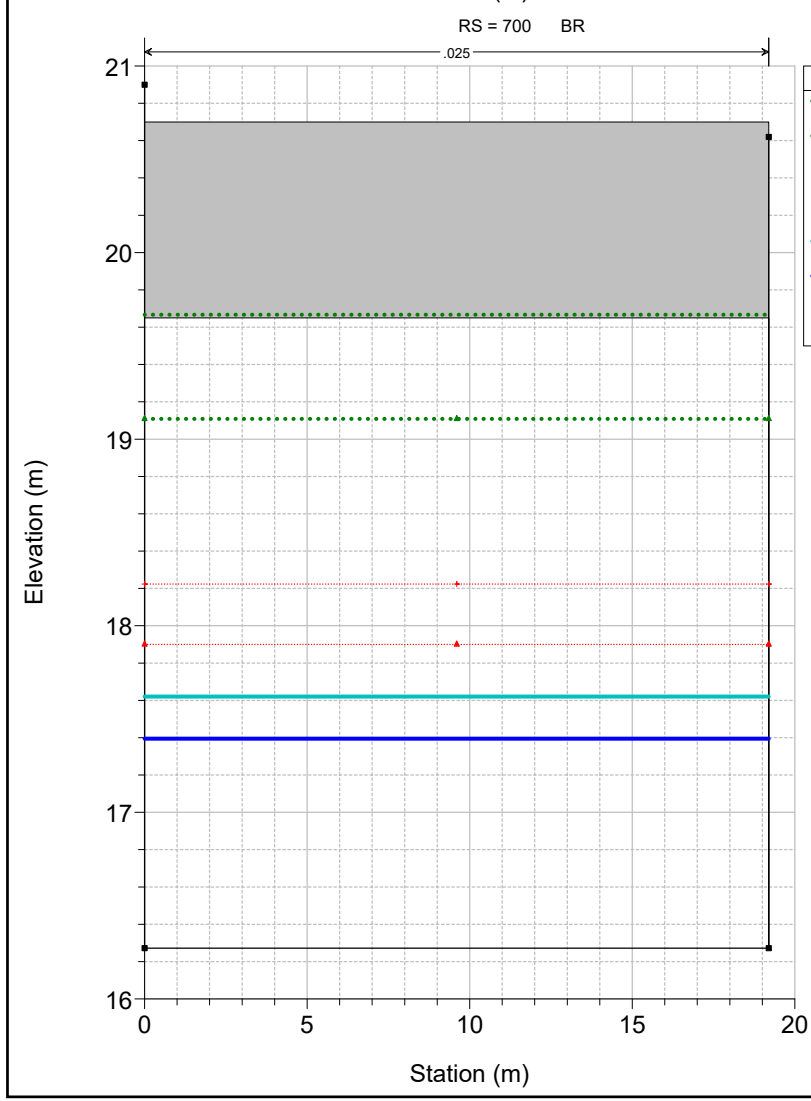
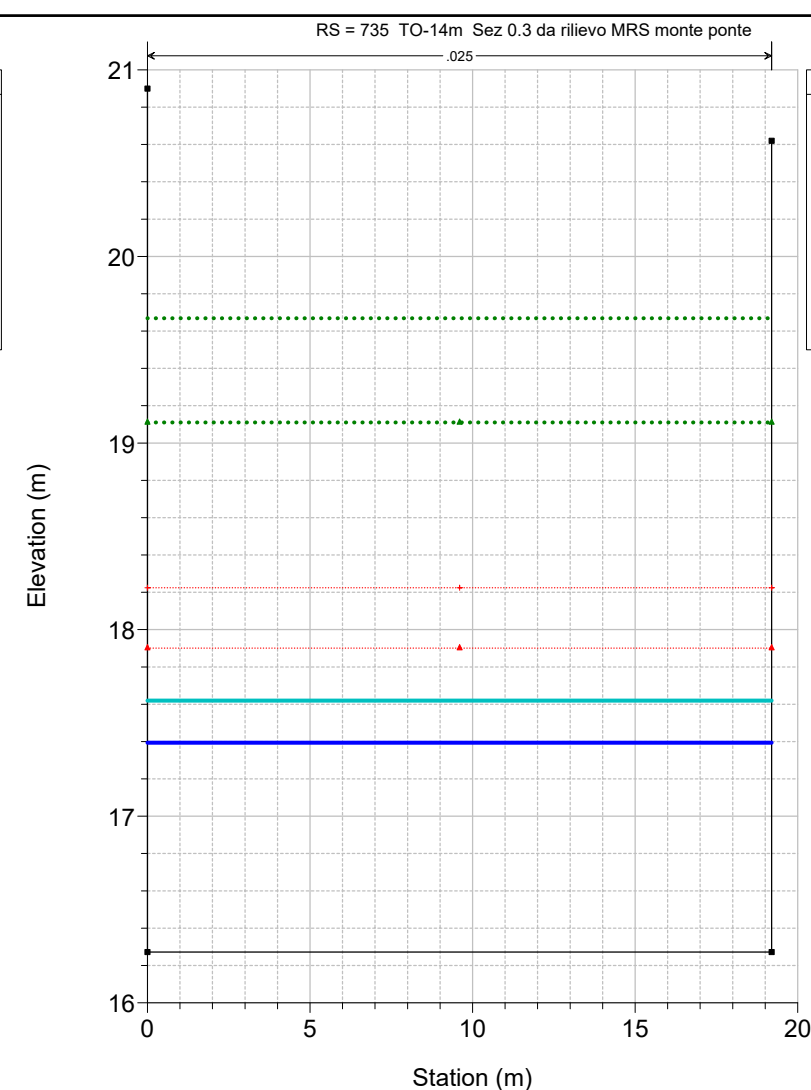
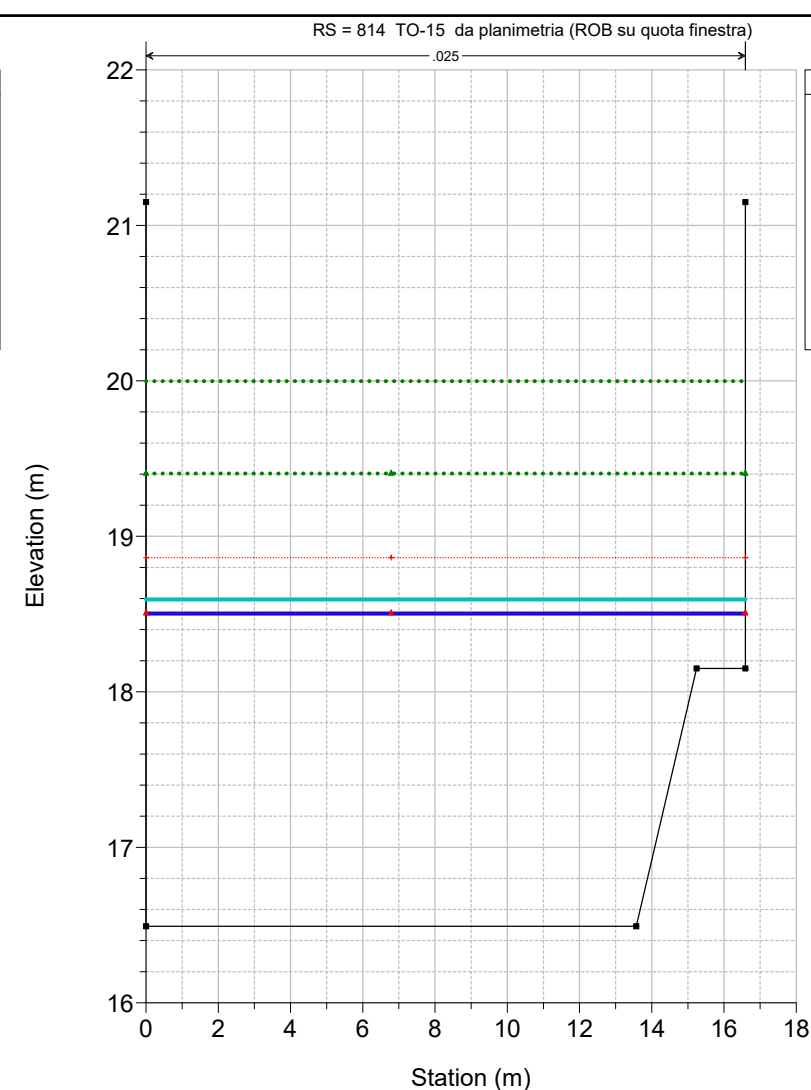
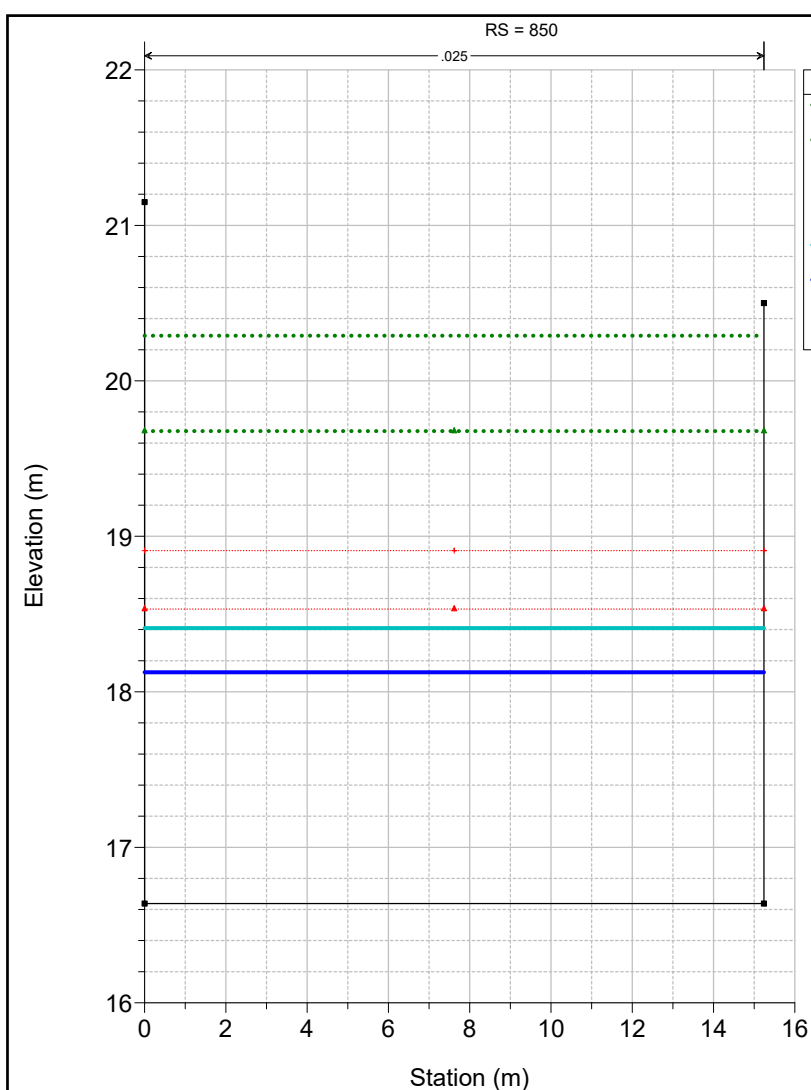


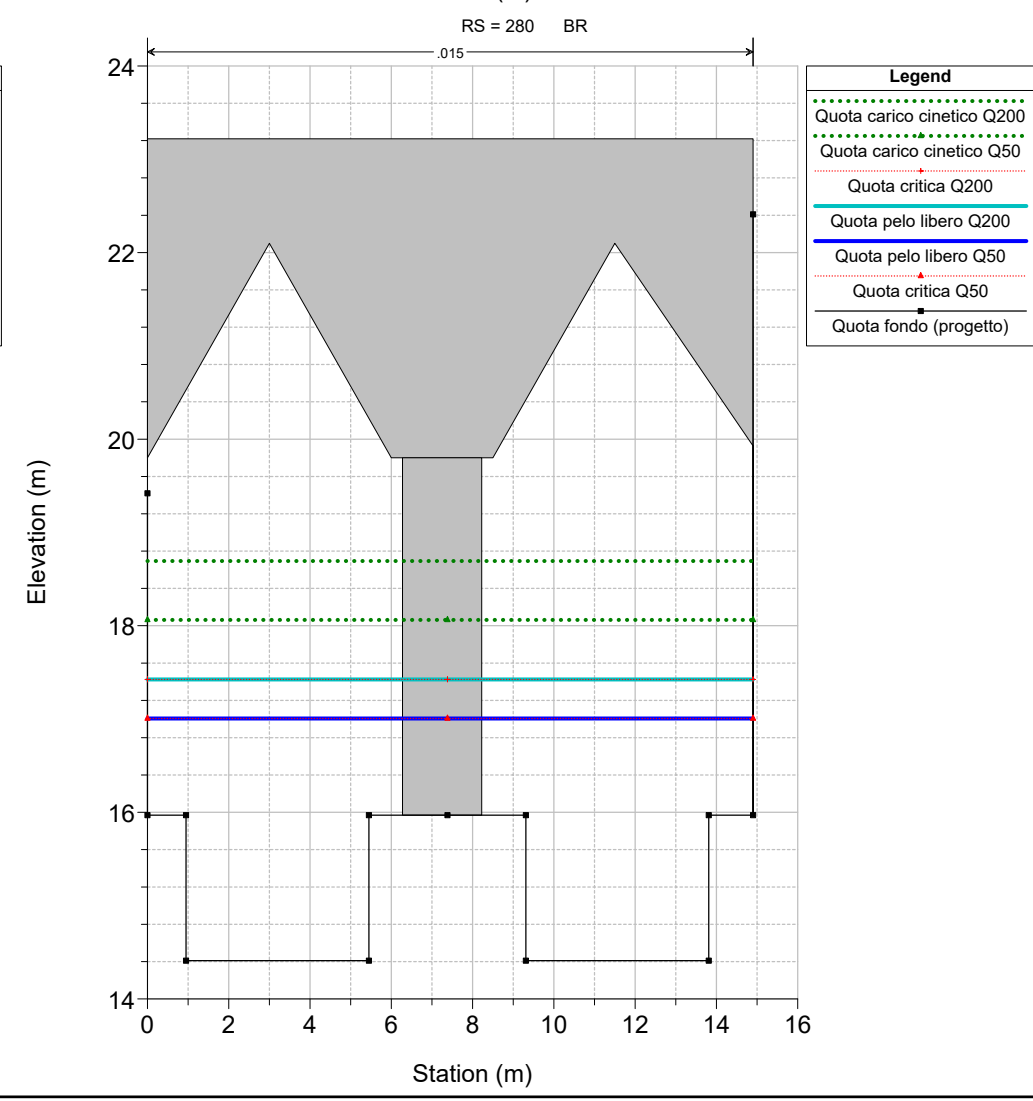
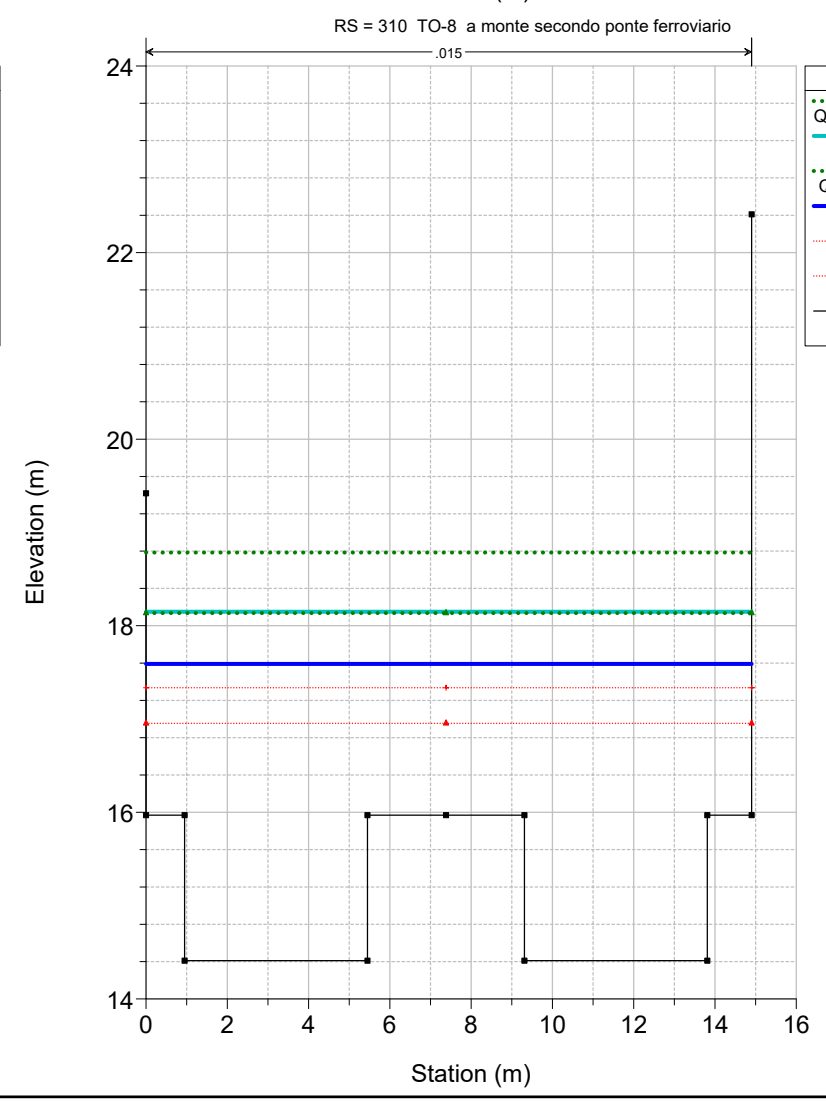
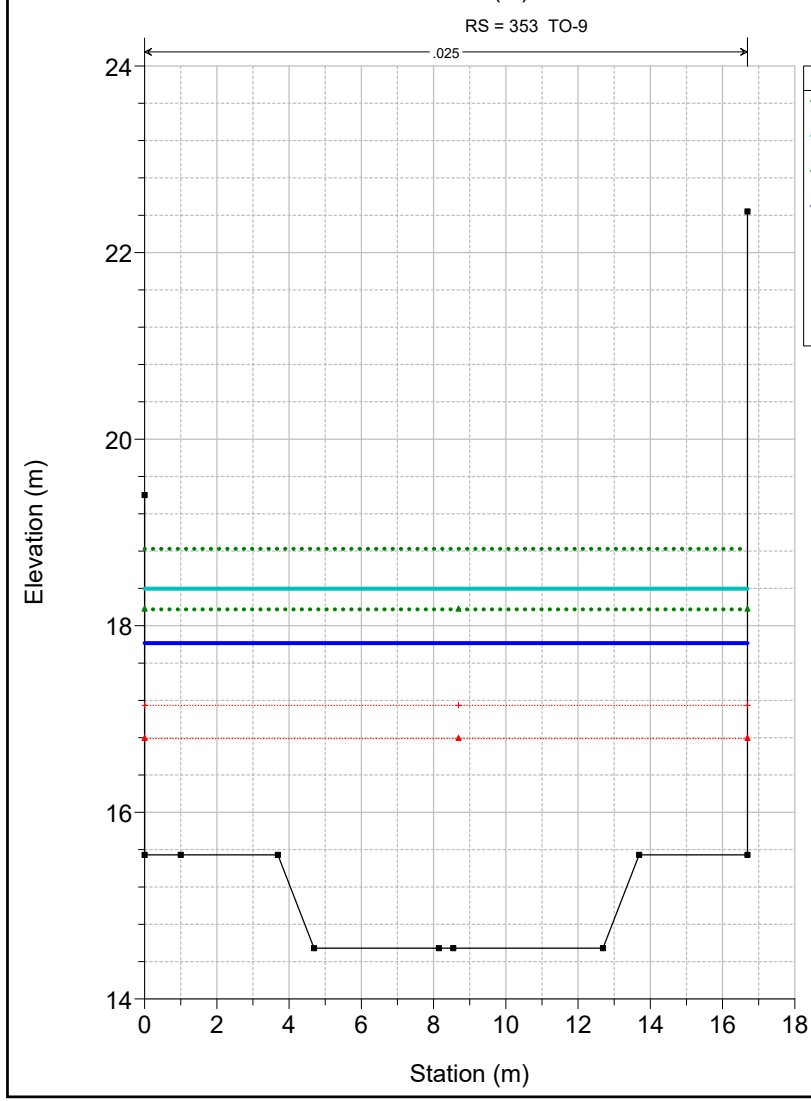
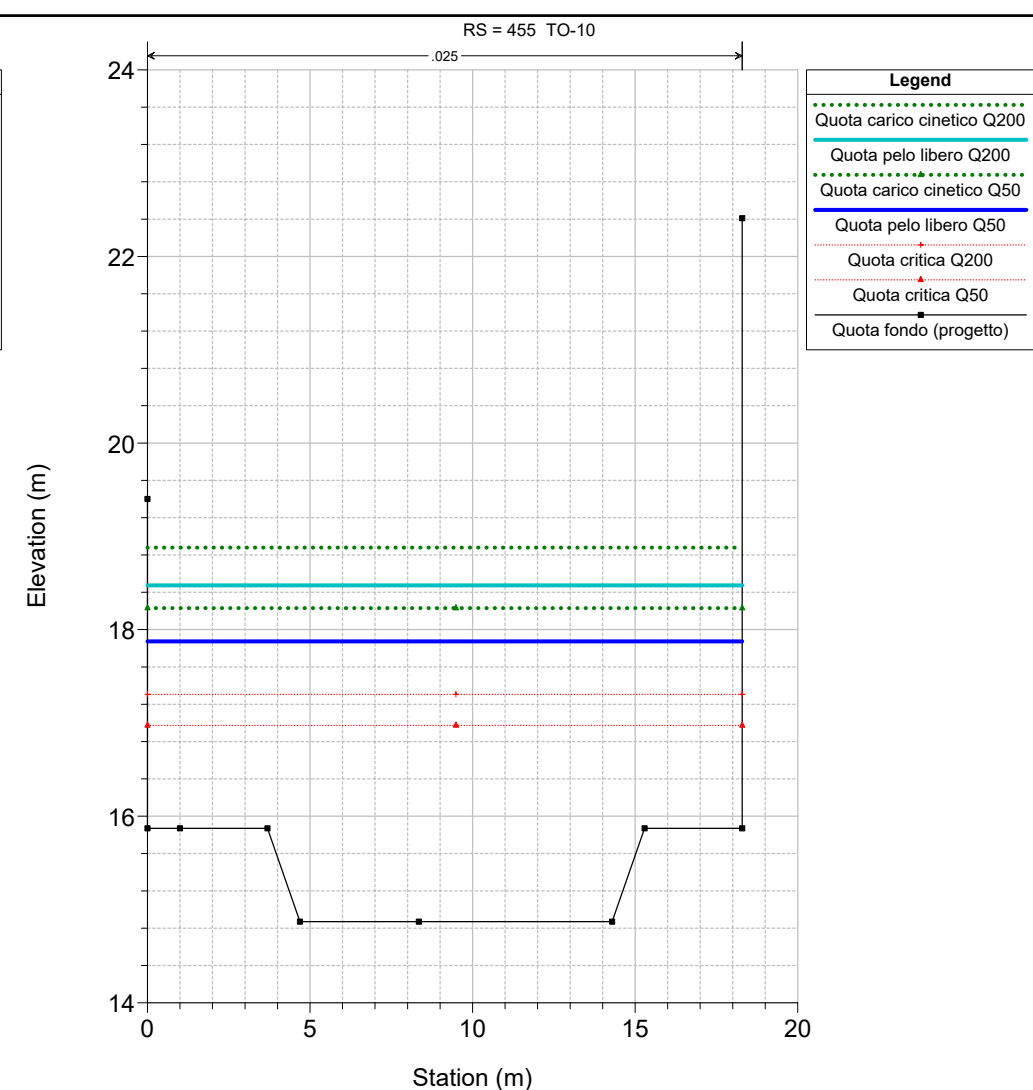
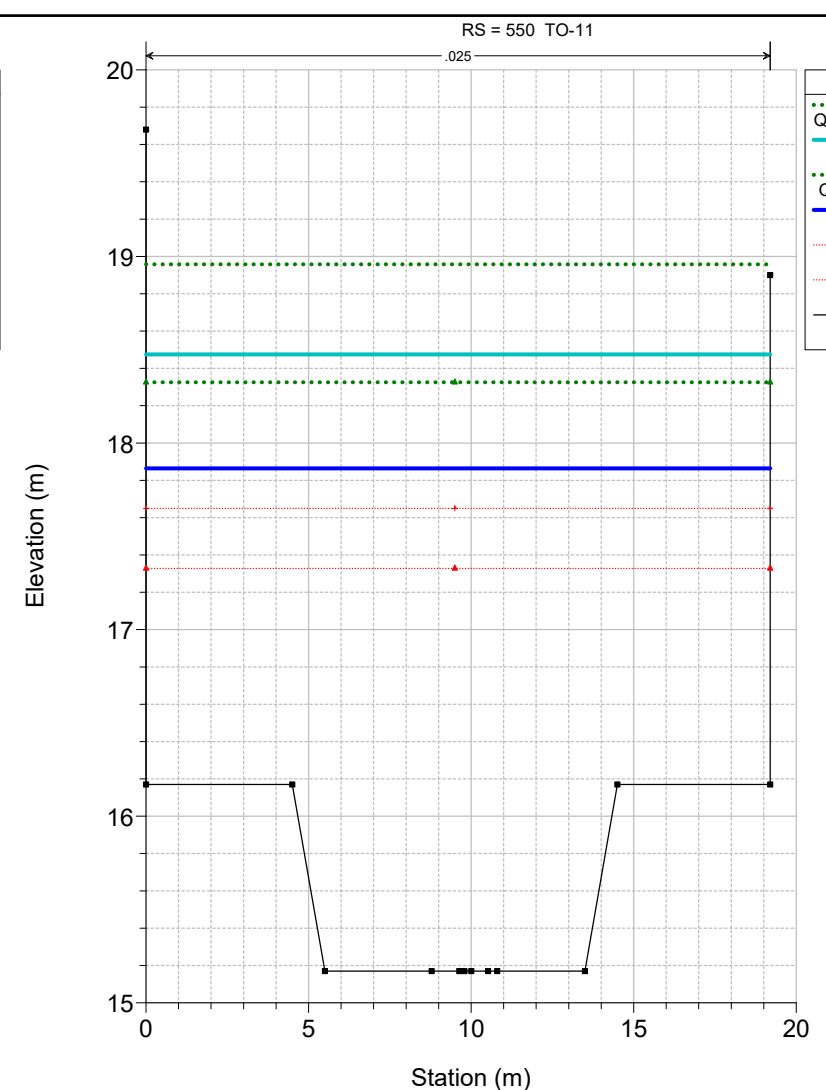
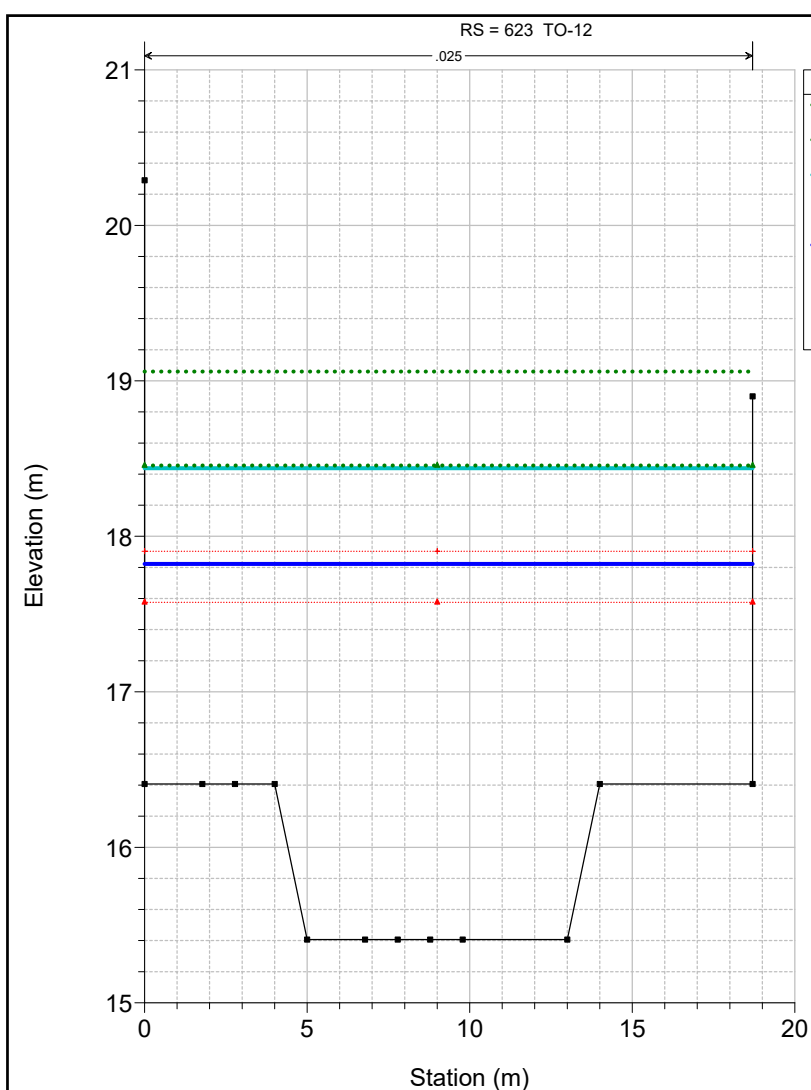


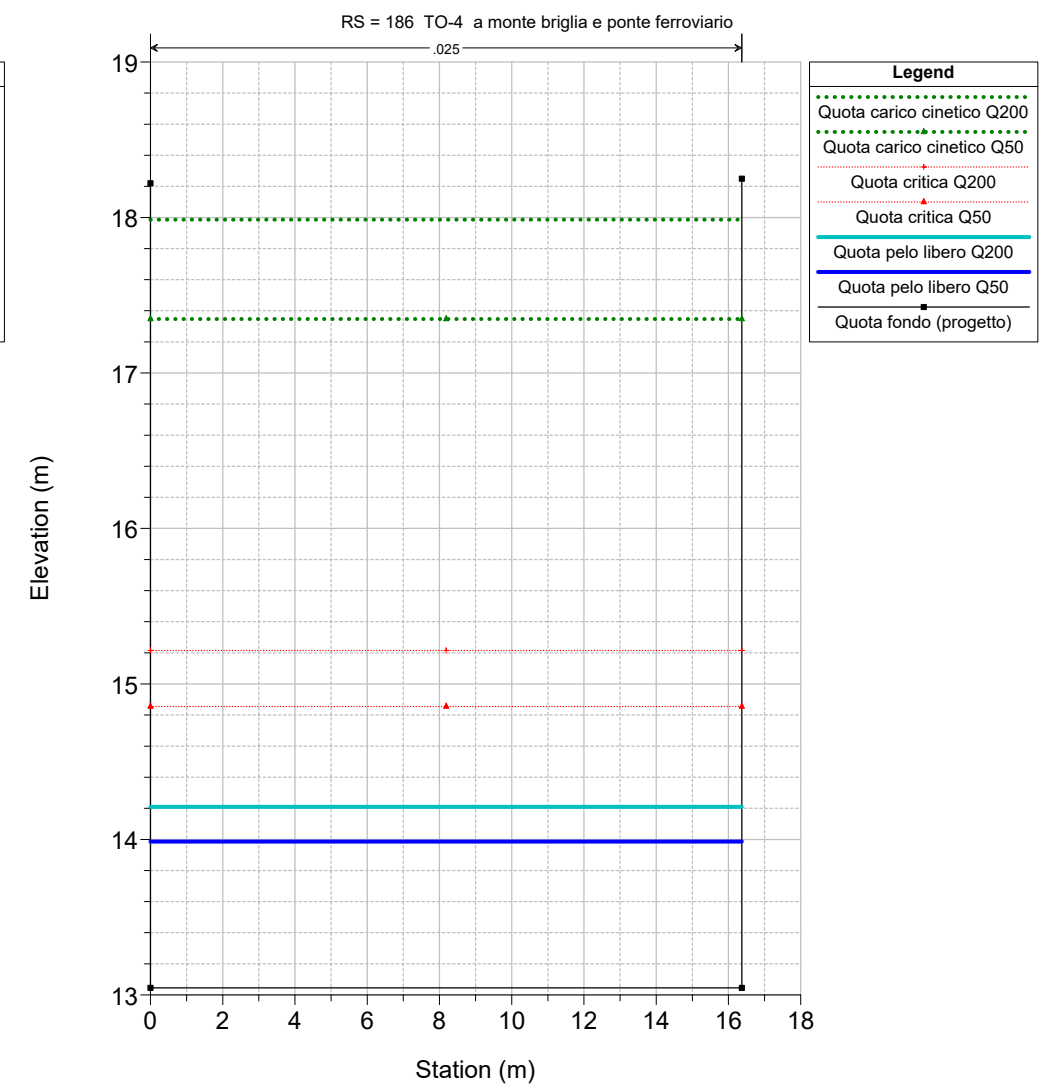
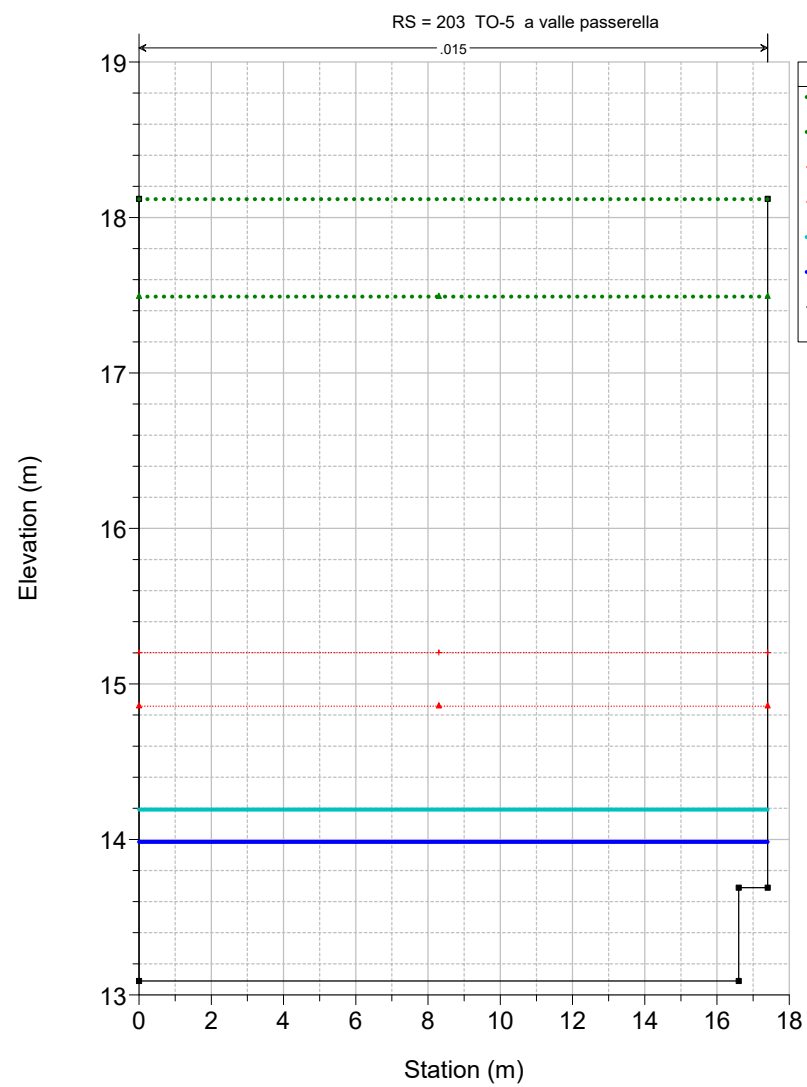
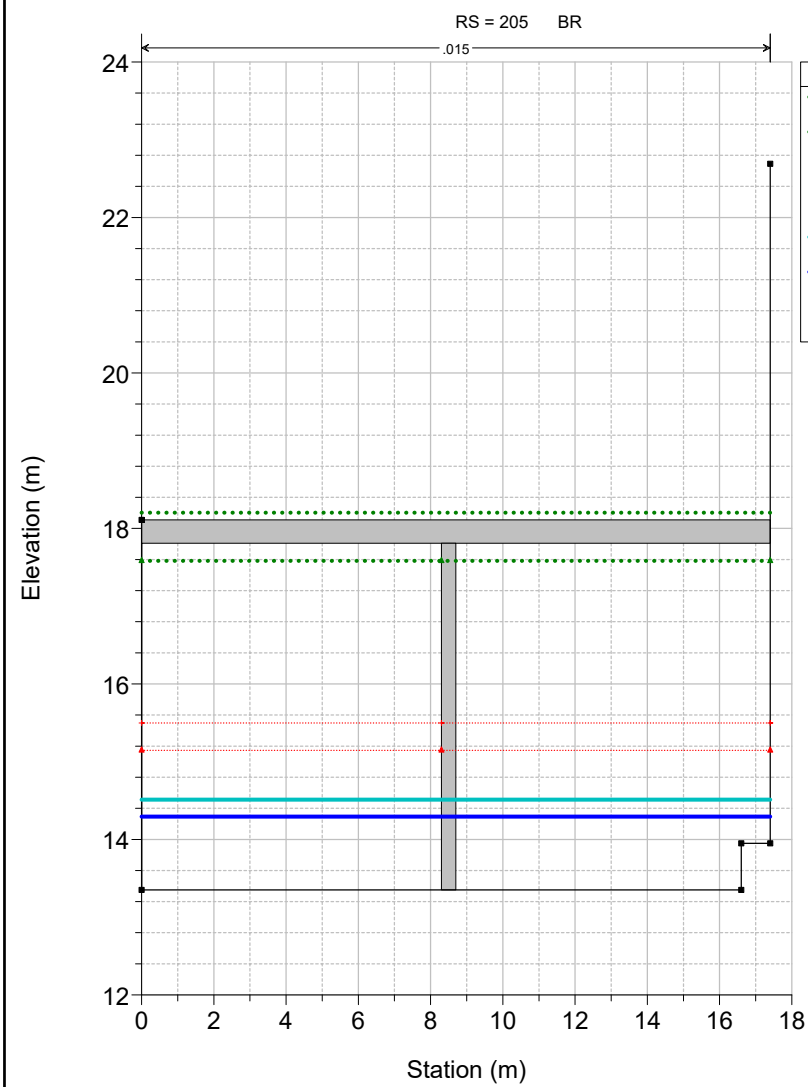
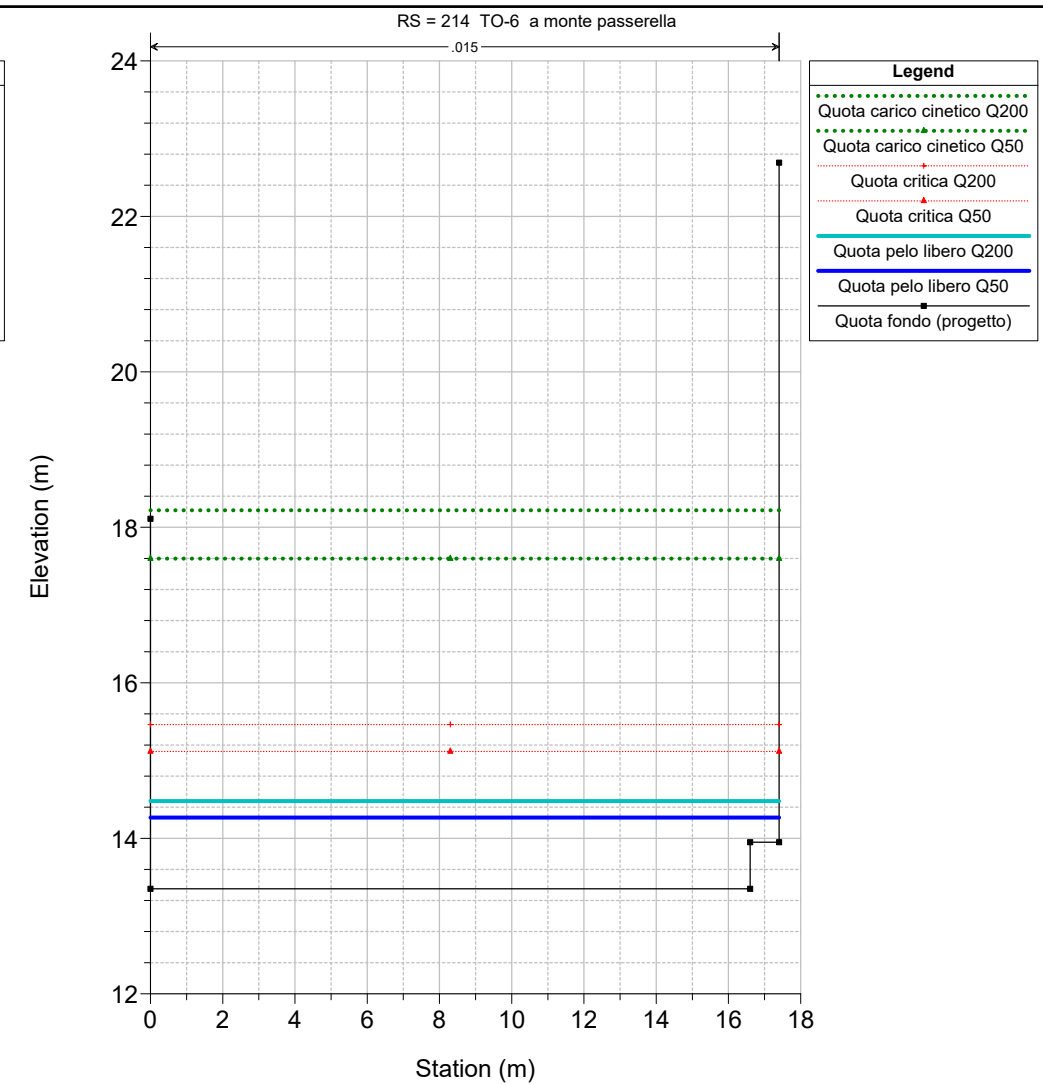
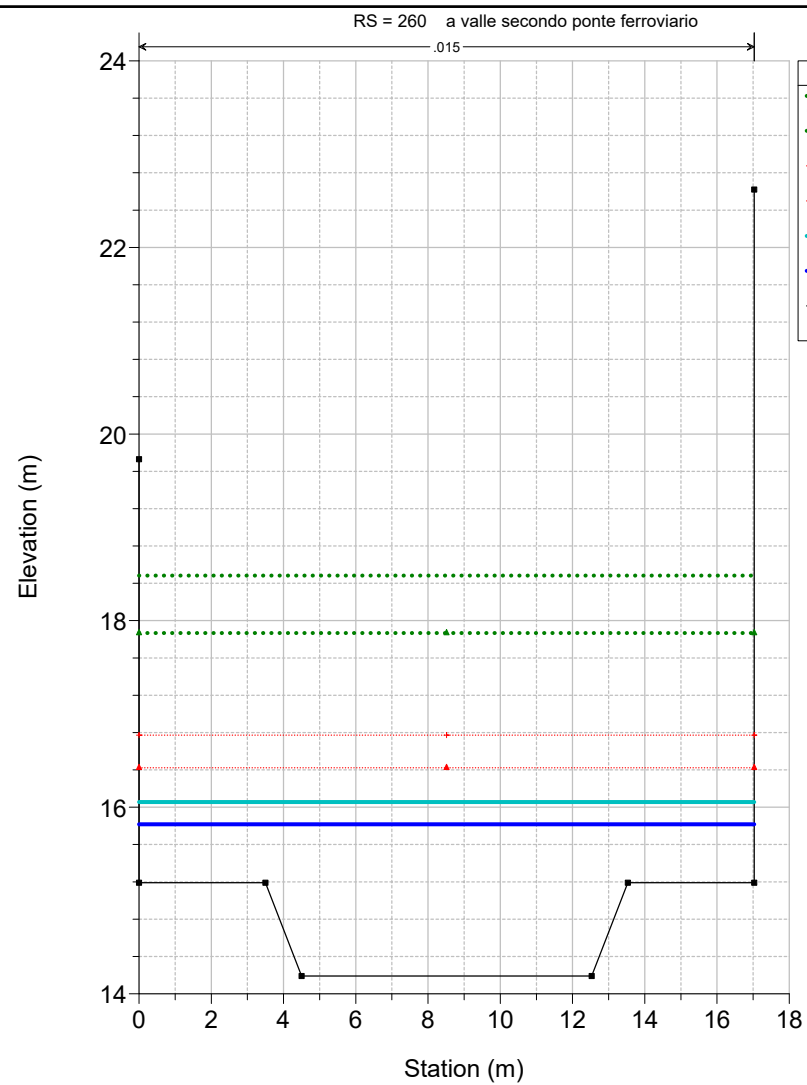
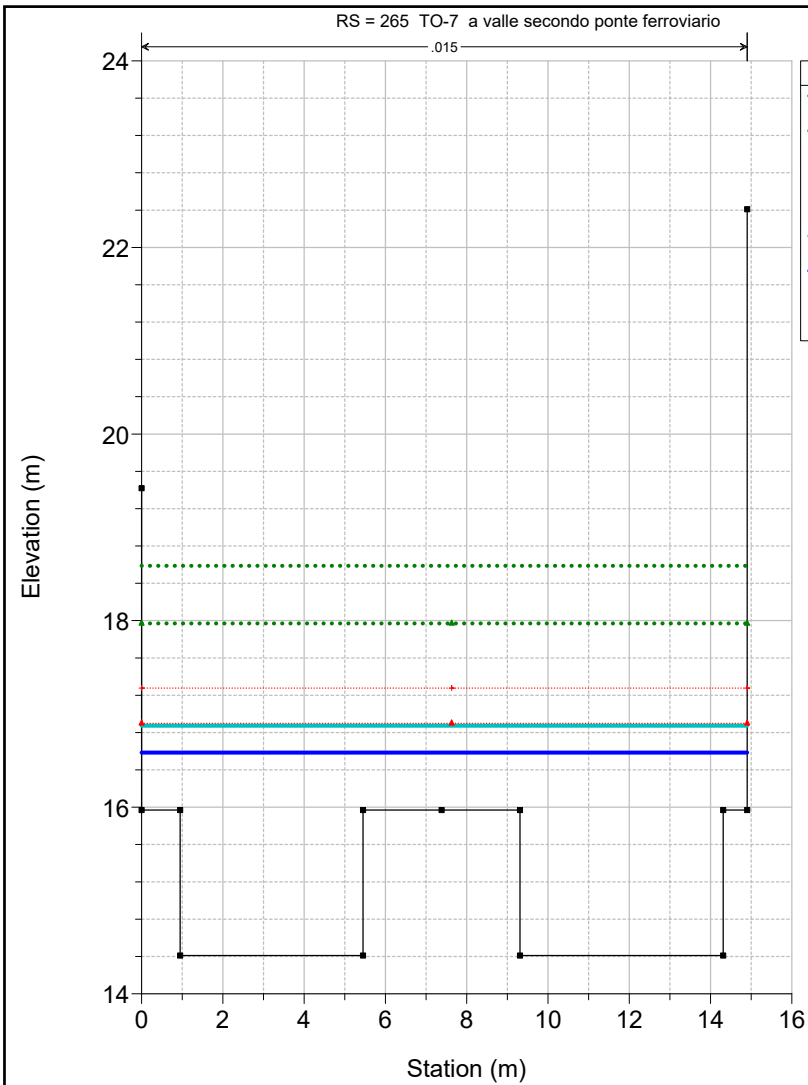


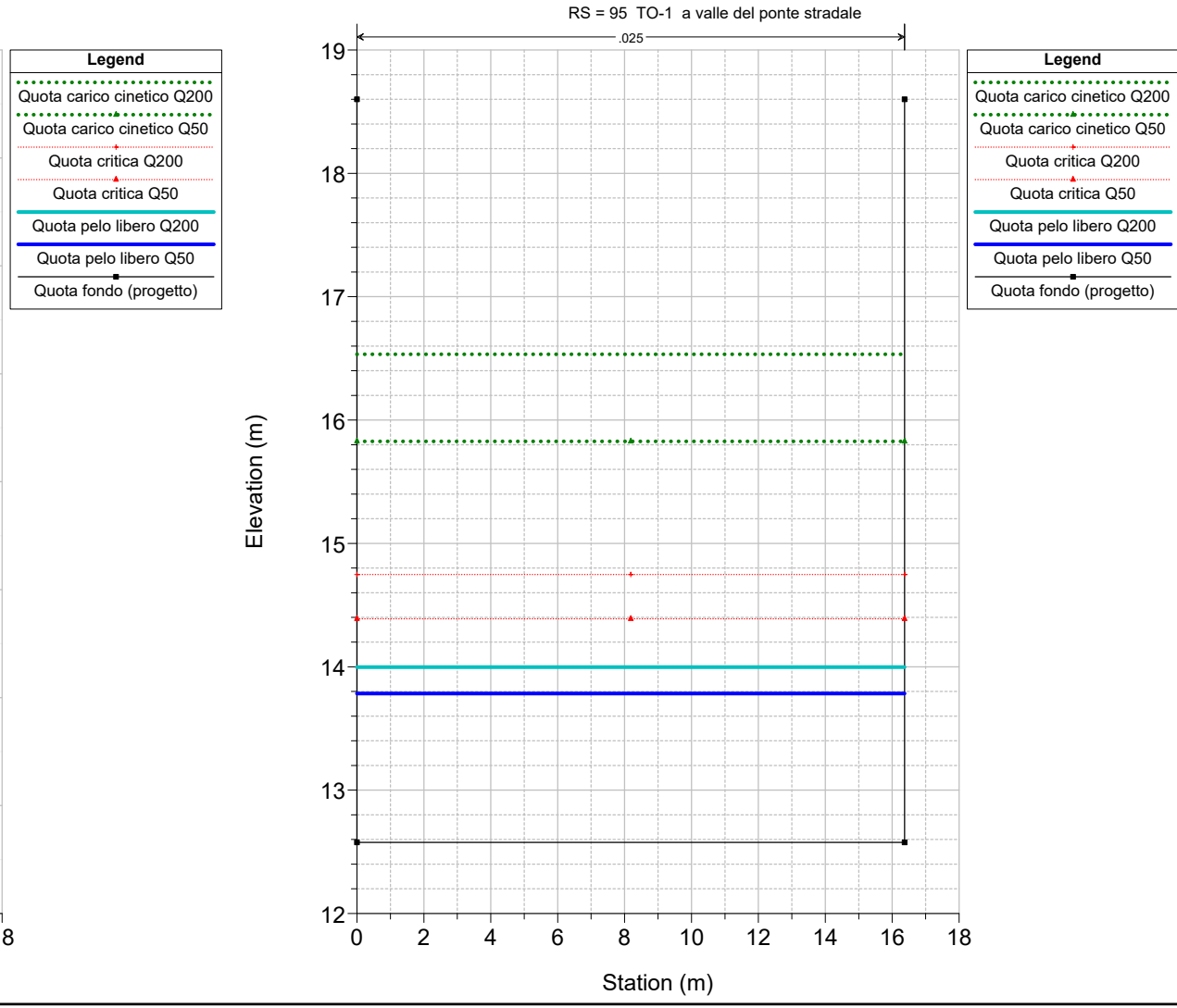
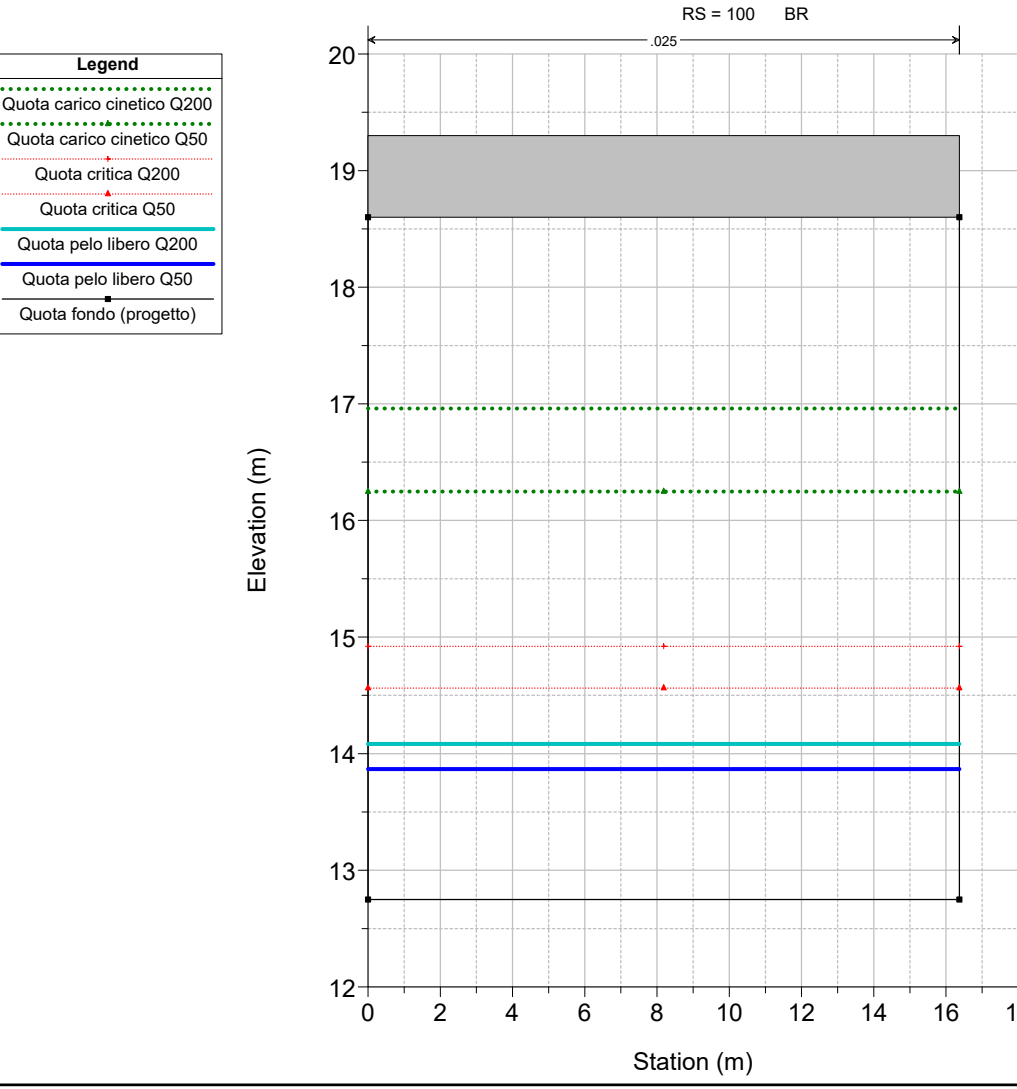
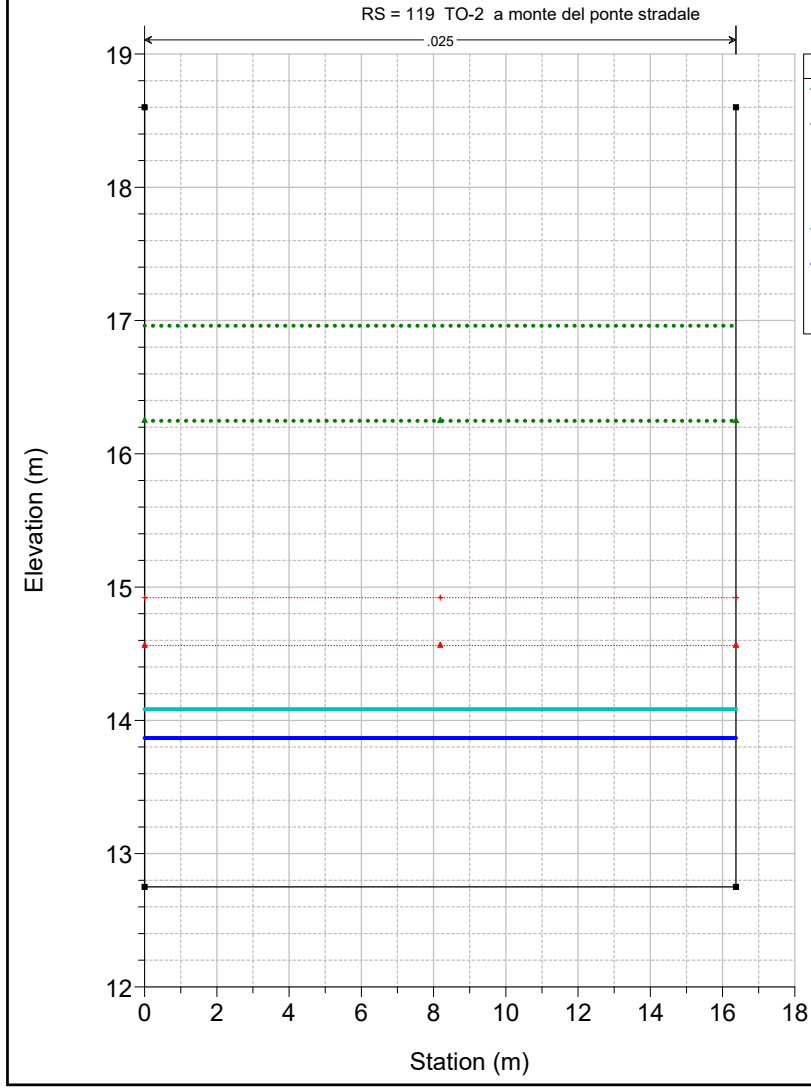
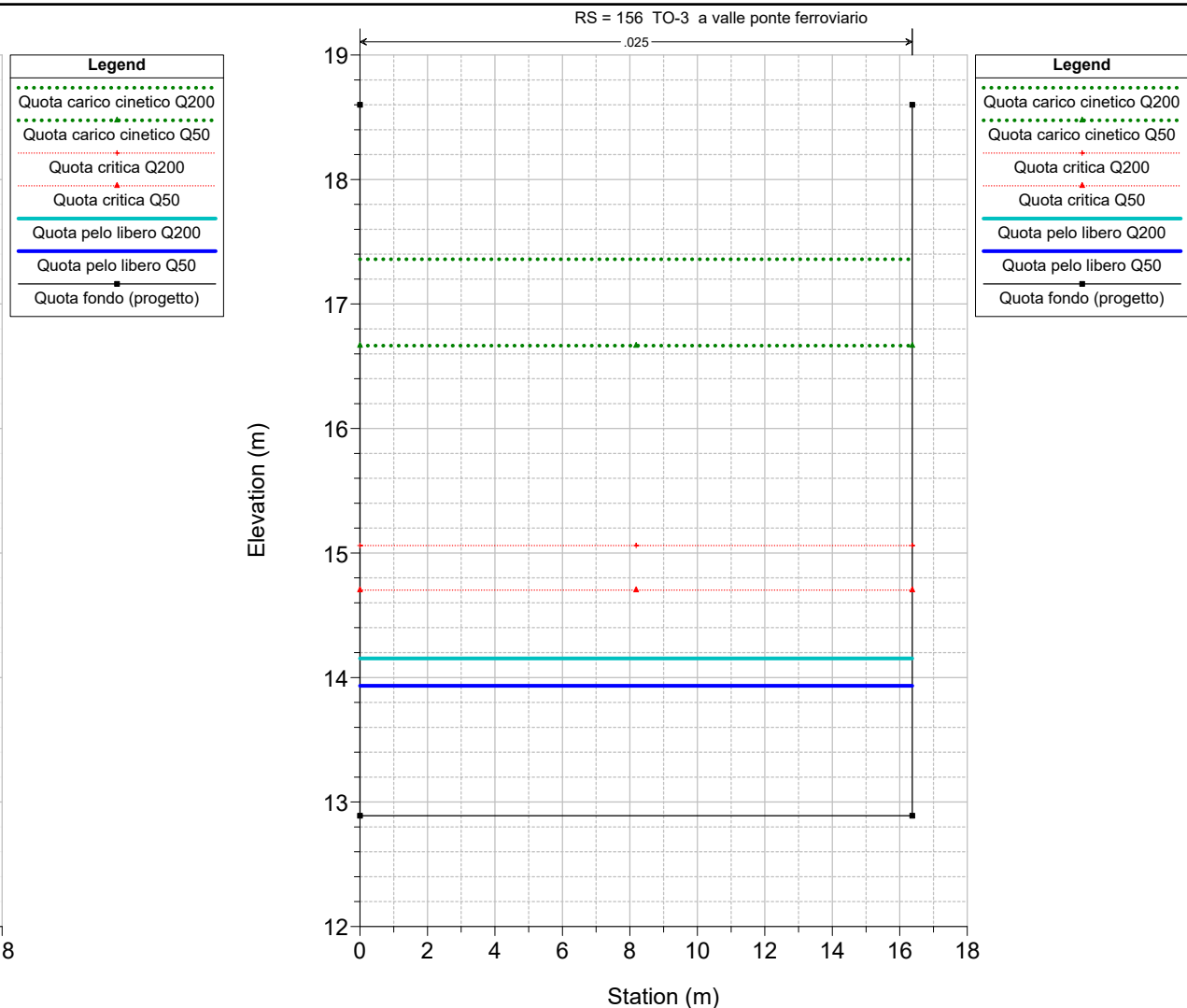
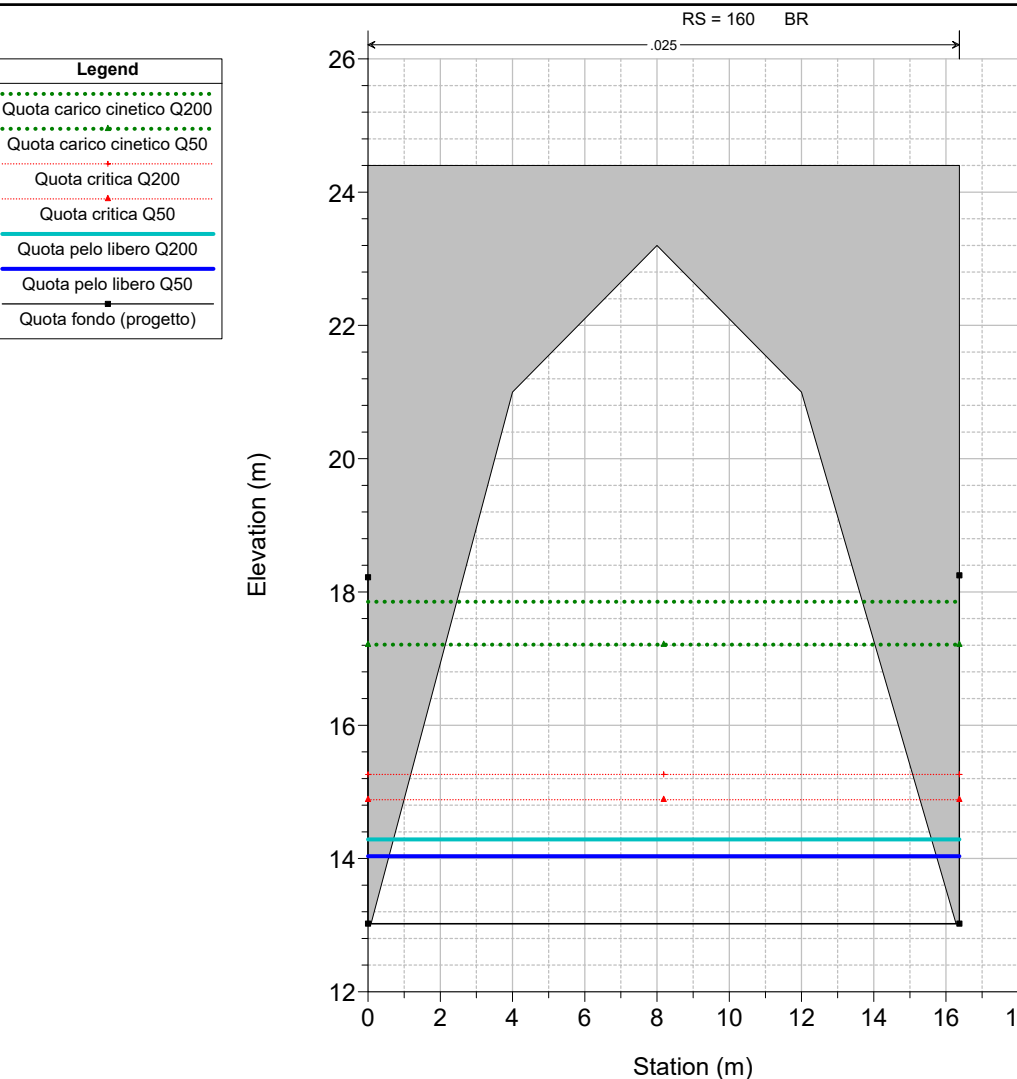
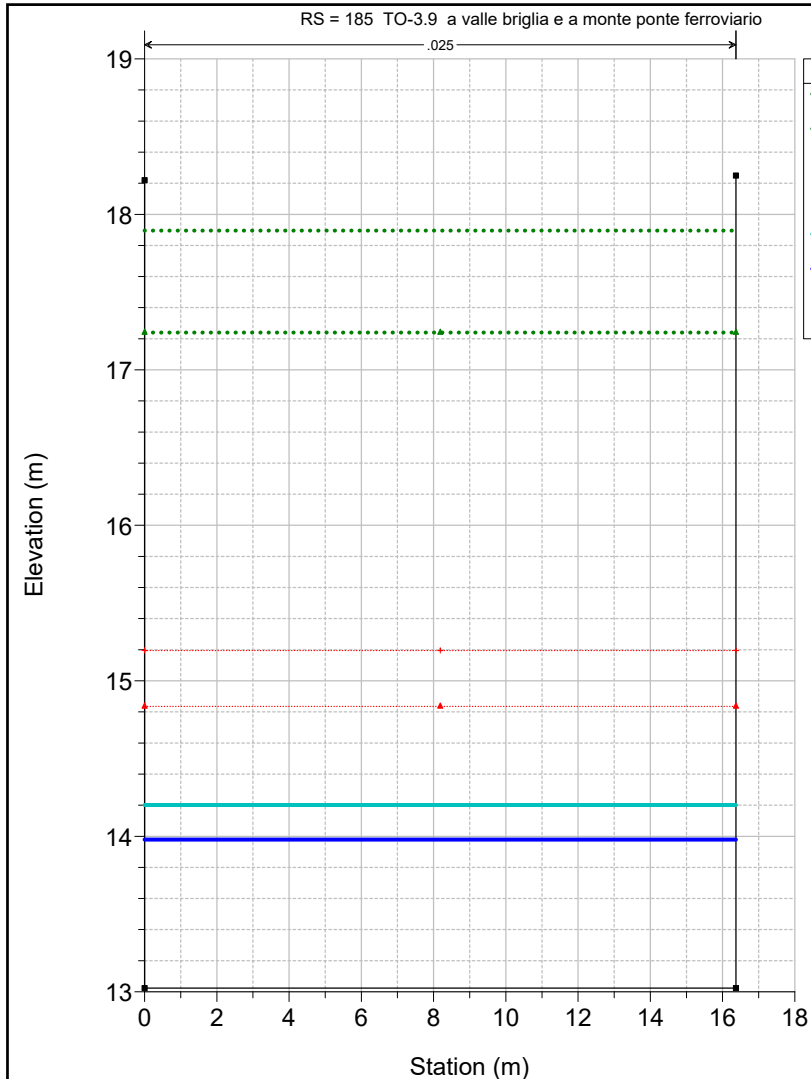


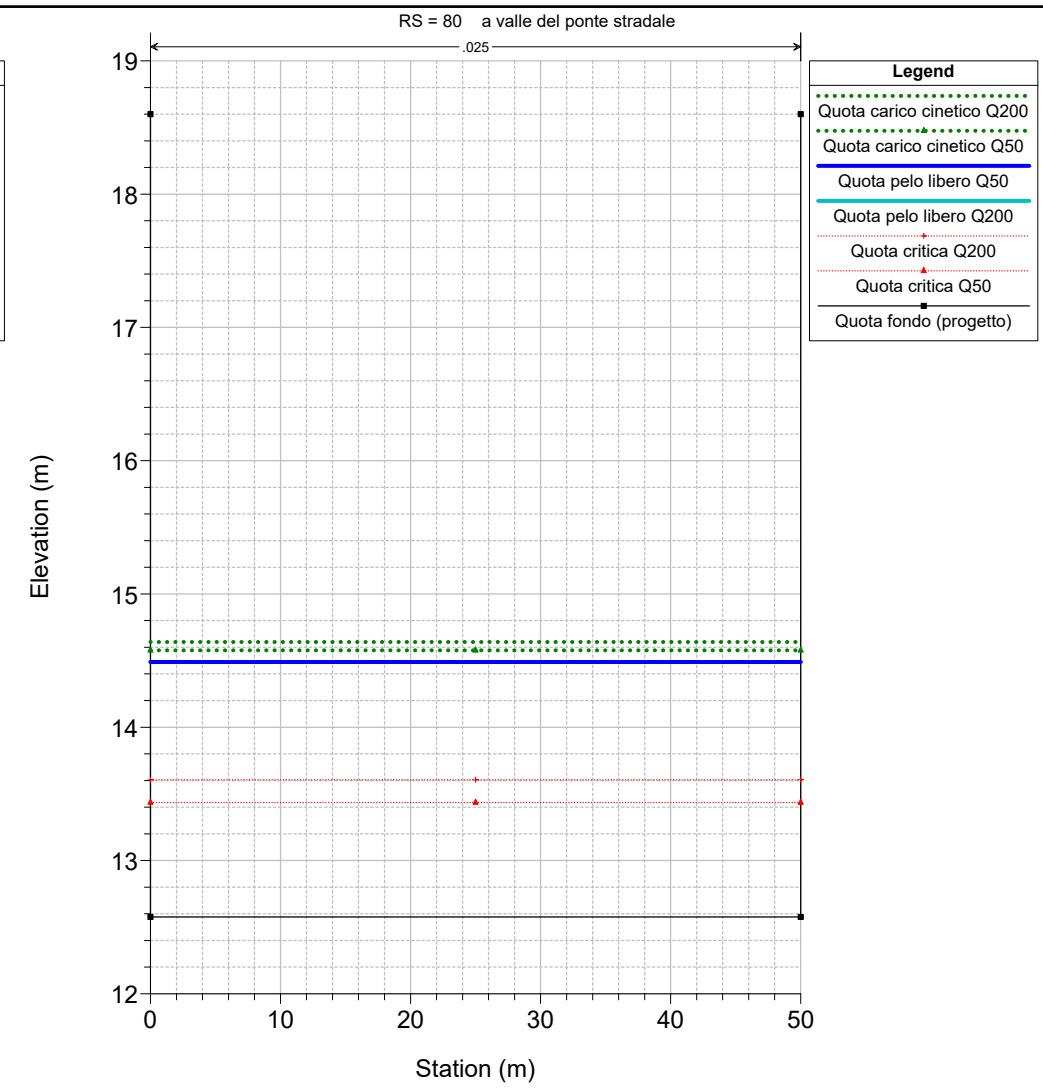
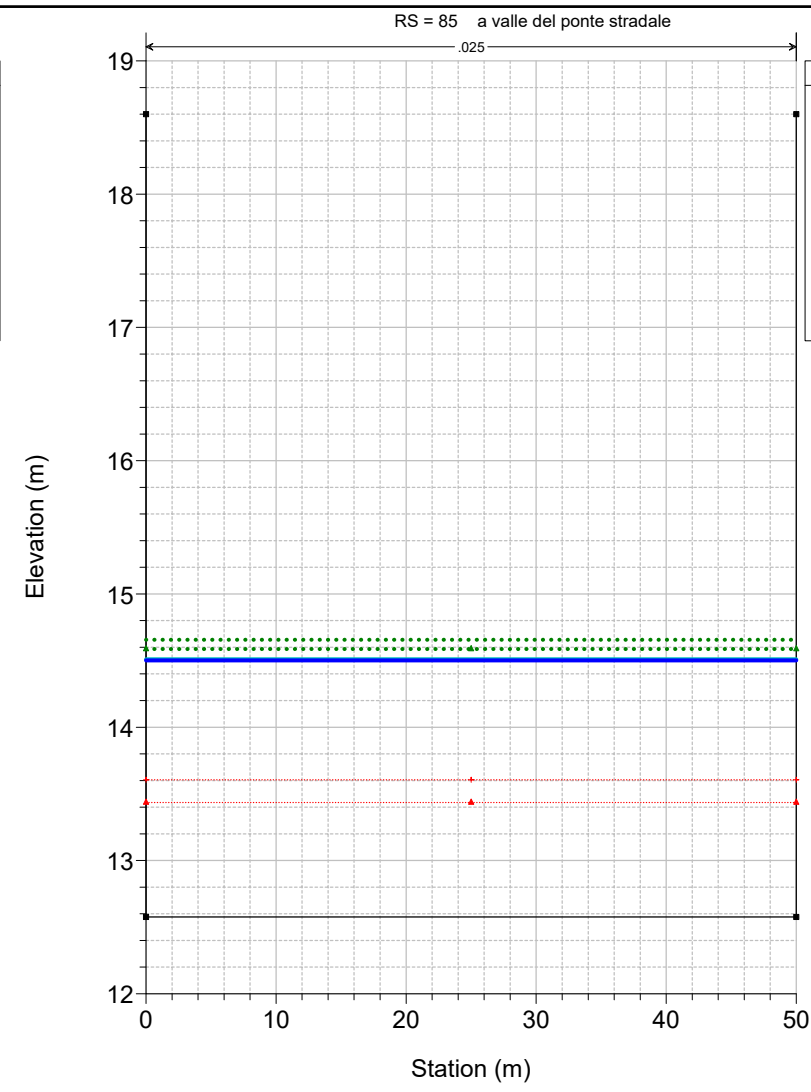
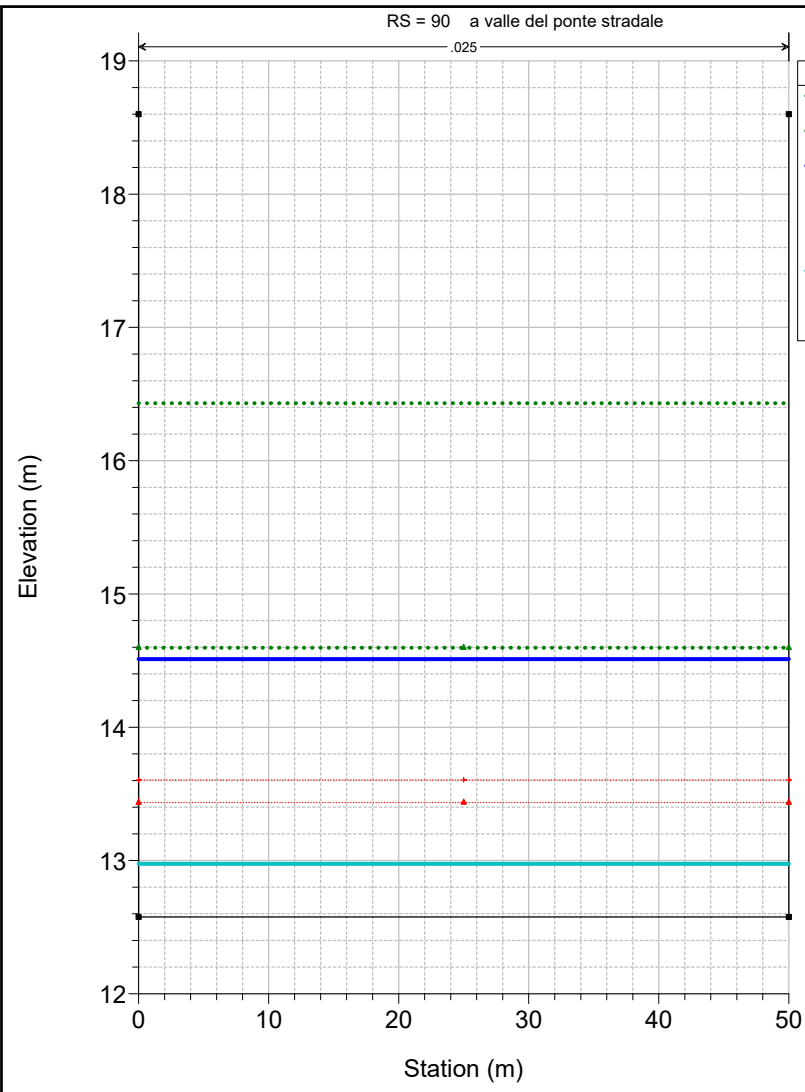






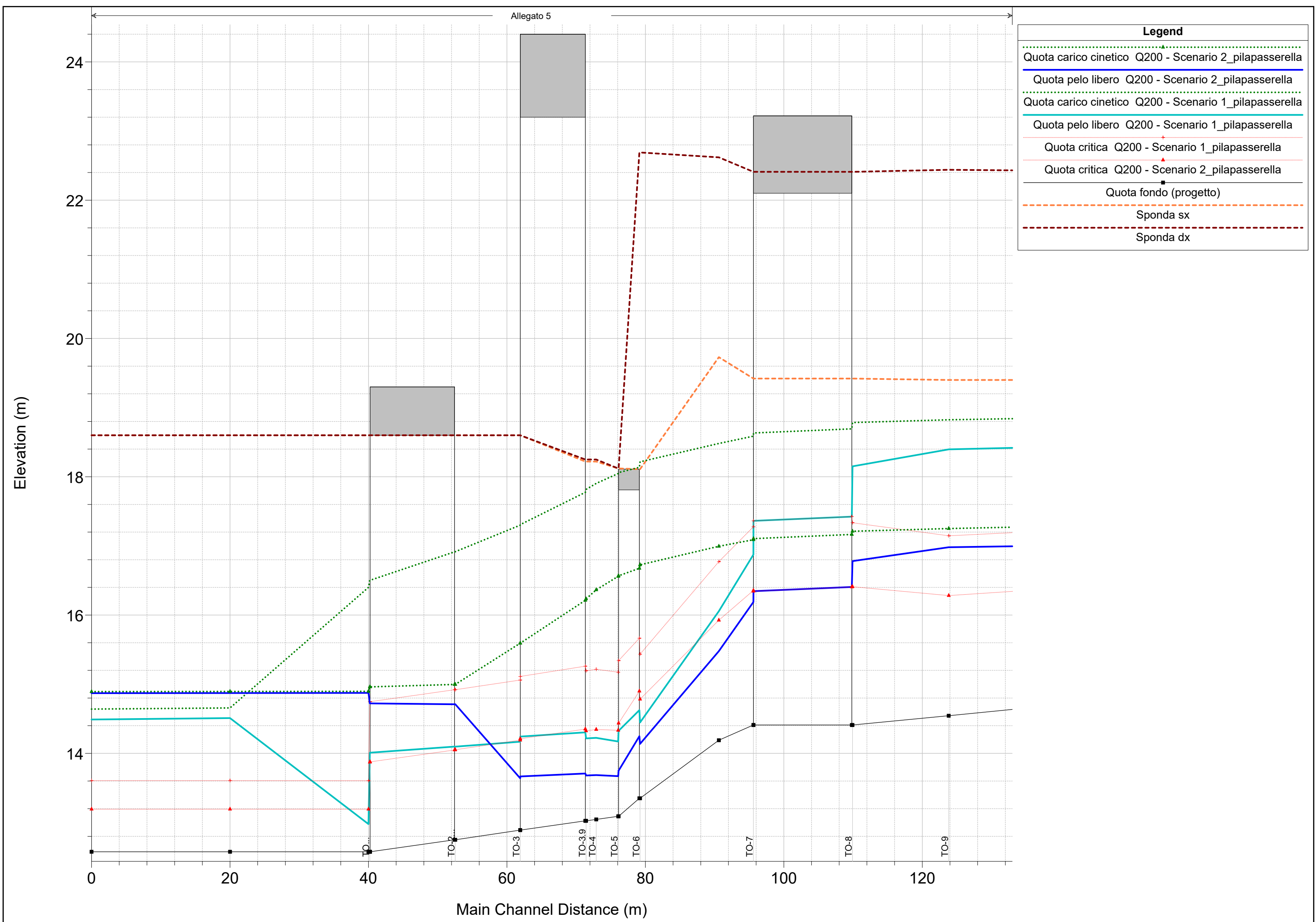




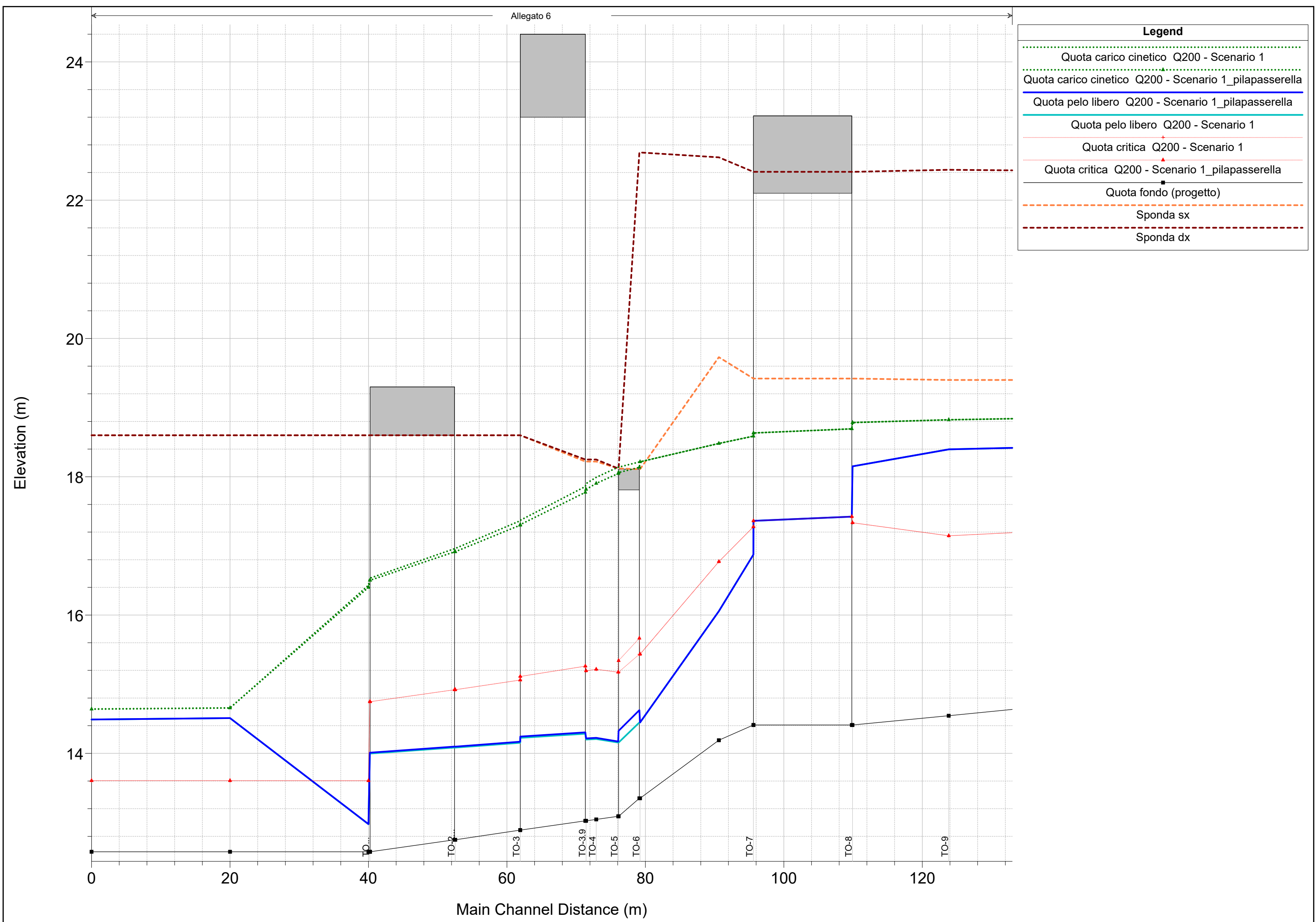


River	Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	LOB Elev	L. Freeboard	ROB Elev	R. Freeboard	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
torbella	valle rivassa	1943 TO-35	Q200	145.00	20.85	22.85	24.36	1.51	24.57	1.72	22.85	23.78	0.008900	4.27	33.98	18.49	1.01
torbella	valle rivassa	1943 TO-35	Q50	115.00	20.85	22.59	24.36	1.77	24.57	1.98	22.59	23.39	0.009083	3.95	29.09	18.45	1.01
torbella	valle rivassa	1865 TO-34	Q200	145.00	20.58	22.39	24.22	1.83	23.63	1.24	22.57	23.51	0.012196	4.67	31.02	19.17	1.17
torbella	valle rivassa	1865 TO-34	Q50	115.00	20.58	22.17	24.22	2.05	23.63	1.46	22.31	23.11	0.012248	4.30	26.74	19.14	1.16
torbella	valle rivassa	1778 TO-33	Q200	145.00	20.12	21.84	24.13	2.29	23.90	2.06	22.14	23.10	0.016585	4.96	29.26	21.08	1.34
torbella	valle rivassa	1778 TO-33	Q50	115.00	20.12	21.66	24.13	2.47	23.90	2.24	21.90	22.71	0.016413	4.53	25.38	21.06	1.32
torbella	valle rivassa	1681 TO-32	Q200	145.00	19.92	22.18	24.50	2.32	23.91	1.73	21.79	22.63	0.003984	2.99	48.46	26.46	0.71
torbella	valle rivassa	1681 TO-32	Q50	115.00	19.92	21.92	24.50	2.58	23.91	1.99	21.58	22.31	0.004052	2.76	41.65	26.42	0.70
torbella	valle rivassa	1660		Bridge													
torbella	valle rivassa	1654 TO-31	Q200	145.00	19.91	21.59	24.50	2.91	23.91	2.32	21.79	22.57	0.009264	4.38	33.12	26.23	1.24
torbella	valle rivassa	1654 TO-31	Q50	115.00	19.91	21.40	24.50	3.10	23.91	2.51	21.58	22.25	0.009705	4.08	28.17	25.86	1.25
torbella	valle rivassa	1650	Q200	145.00	19.90	21.04	23.78	2.74	25.37	4.33	21.46	22.51	0.017210	5.38	26.97	23.73	1.61
torbella	valle rivassa	1650	Q50	115.00	19.90	20.84	23.78	2.94	25.37	4.53	21.24	22.19	0.019875	5.15	22.34	23.73	1.69
torbella	valle rivassa	1640	Q200	145.00	19.88	21.11	23.78	2.67	25.37	4.26	21.44	22.37	0.013503	4.99	29.08	23.73	1.44
torbella	valle rivassa	1640	Q50	115.00	19.88	20.91	23.78	2.87	25.37	4.46	21.22	22.04	0.015010	4.72	24.37	23.73	1.49
torbella	valle rivassa	1630	Q200	145.00	19.06	20.00	23.78	3.78	25.37	5.37	20.62	22.17	0.032278	6.53	22.19	23.73	2.16
torbella	valle rivassa	1630	Q50	115.00	19.06	19.83	23.78	3.95	25.37	5.54	20.40	21.83	0.037479	6.26	18.37	23.73	2.27
torbella	valle rivassa	1620	Q200	164.00	18.99	20.17	23.78	3.61	25.37	5.20	20.68	21.93	0.019681	5.87	27.93	23.73	1.73
torbella	valle rivassa	1620	Q50	125.00	18.99	19.91	23.78	3.87	25.37	5.46	20.40	21.58	0.025376	5.73	21.81	23.73	1.91
torbella	valle rivassa	1585 TO-30	Q200	164.00	18.93	21.22	23.78	2.56	25.37	4.15	20.62	21.68	0.002395	3.02	54.27	23.73	0.64
torbella	valle rivassa	1585 TO-30	Q50	125.00	18.93	19.91	23.78	3.87	25.37	5.46	20.34	21.38	0.020637	5.38	23.25	23.73	1.73
torbella	valle rivassa	1539 TO-29	Q200	164.00	18.77	21.15	23.00	1.85	25.34	4.19	20.54	21.64	0.002478	3.12	52.63	22.13	0.65
torbella	valle rivassa	1539 TO-29	Q50	125.00	18.77	20.65	23.00	2.35	25.34	4.69	20.25	21.11	0.002985	3.00	41.66	22.13	0.70
torbella	valle rivassa	1477 TO-28	Q200	164.00	18.59	21.13	22.97	1.84	22.21	1.08	20.41	21.60	0.002204	3.03	54.11	21.31	0.61
torbella	valle rivassa	1477 TO-28	Q50	125.00	18.59	20.64	22.97	2.33	22.21	1.57	20.10	21.06	0.002497	2.87	43.62	21.31	0.64
torbella	valle rivassa	1420 TO-27	Q200	164.00	18.45	21.05	22.87	1.82	22.10	1.05	20.36	21.56	0.002394	3.17	51.73	19.89	0.63
torbella	valle rivassa	1420 TO-27	Q50	125.00	18.45	20.57	22.87	2.30	22.10	1.53	20.04	21.02	0.002601	2.96	42.21	19.89	0.65
torbella	valle rivassa	1405 TO-26	Q200	164.00	18.40	21.11	22.81	1.70	22.10	0.99	20.22	21.52	0.001825	2.85	57.46	21.19	0.55
torbella	valle rivassa	1405 TO-26	Q50	125.00	18.40	20.62	22.81	2.19	22.10	1.48	19.92	20.98	0.001946	2.65	47.18	21.19	0.57
torbella	valle rivassa	1400		Bridge													
torbella	valle rivassa	1370 TO-25	Q200	164.00	18.27	20.99	22.81	1.82	22.10	1.11	20.10	21.40	0.001820	2.85	57.51	21.19	0.55
torbella	valle rivassa	1370 TO-25	Q50	125.00	18.27	20.51	22.81	2.30	22.10	1.59	19.80	20.86	0.001923	2.64	47.36	21.19	0.56
torbella	valle rivassa	1322 TO-24	Q200	164.00	18.14	20.84	25.17	4.33	21.76	0.92	20.30	21.36	0.003058	3.21	51.16	22.52	0.68
torbella	valle rivassa	1322 TO-24	Q50	125.00	18.14	20.28	25.17	4.89	21.76	1.48	20.01	20.81	0.004142	3.24	38.61	22.12	0.78
torbella	valle rivassa	1255 TO-23	Q200	164.00	17.90	20.25	24.99	4.74	21.57	1.32	20.11	21.23	0.005429	4.38	37.40	15.91	0.91
torbella	valle rivassa	1255 TO-23	Q50	125.00	17.90	19.80	24.99	5.19	21.57	1.77	19.74	20.67	0.005990	4.12	30.31	15.91	0.95
torbella	valle rivassa	1246 TO-22	Q200	164.00	17.87	20.26	24.99	4.73	21.57	1.31	20.07	21.20	0.005158	4.31	38.04	15.91	0.89
torbella	valle rivassa	1246 TO-22	Q50	125.00	17.87	19.81	24.99	5.18	21.57	1.76	19.71	20.64	0.005611	4.04	30.97	15.91	0.92
torbella	valle rivassa	1240		Bridge													
torbella	valle rivassa	1216 TO-21	Q200	164.00	17.76	20.27	24.92	4.65	21.97	1.70	19.97	21.13	0.004443	4.10	39.97	15.91	0.83
torbella	valle rivassa	1216 TO-21	Q50	125.00	17.76	19.83	24.92	5.09	21.97	2.14	19.60	20.57	0.004633	3.79	32.96	15.91	0.84
torbella	valle rivassa	1160 TO-20	Q200	164.00	17.56	19.98	24.00	4.02	27.20	7.22	19.86	21.02	0.005738	4.53	36.22	15.00	0.93
torbella	valle rivassa	1160 TO-20	Q50	125.00	17.56	19.48	24.00	4.52	27.20	7.72	19.48	20.44	0.006747	4.35	28.71	15.00	1.00

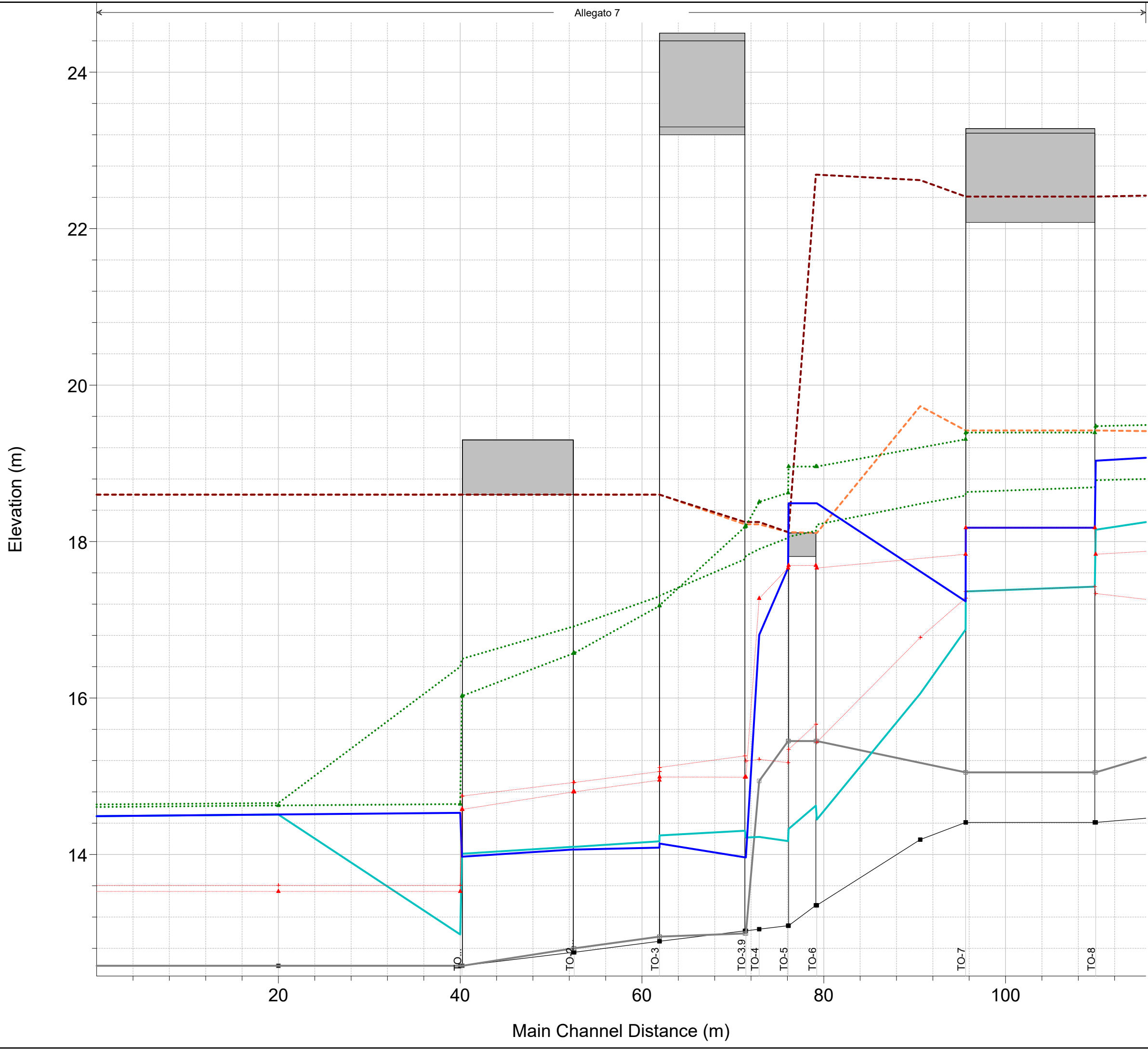
River	Reach	River Sta		Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	LOB Elev	L. Freeboard	ROB Elev	R. Freeboard	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
					(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
torbella	valle rivassa	203	TO-5	Q200	164.00	13.09	14.19	18.12	3.93	18.12	3.93	15.20	18.12	0.018468	8.78	18.69	17.40	2.70
torbella	valle rivassa	203	TO-5	Q50	125.00	13.09	13.98	18.12	4.14	18.12	4.14	14.86	17.49	0.021354	8.29	15.07	17.40	2.85
torbella	valle rivassa	186	TO-4	Q200	164.00	13.05	14.21	18.22	4.01	18.25	4.04	15.21	17.99	0.045150	8.61	19.05	16.37	2.55
torbella	valle rivassa	186	TO-4	Q50	125.00	13.05	13.99	18.22	4.23	18.25	4.26	14.86	17.35	0.051689	8.12	15.40	16.37	2.67
torbella	valle rivassa	185	TO-3.9	Q200	164.00	13.02	14.20	18.22	4.02	18.25	4.05	15.19	17.90	0.043590	8.51	19.27	16.37	2.51
torbella	valle rivassa	185	TO-3.9	Q50	125.00	13.02	13.98	18.22	4.24	18.25	4.27	14.83	17.24	0.049267	8.00	15.63	16.37	2.61
torbella	valle rivassa	160			Bridge													
torbella	valle rivassa	156	TO-3	Q200	164.00	12.89	14.15	18.60	4.45	18.60	4.45	15.06	17.36	0.034840	7.93	20.68	16.37	2.25
torbella	valle rivassa	156	TO-3	Q50	125.00	12.89	13.93	18.60	4.67	18.60	4.67	14.70	16.66	0.037138	7.32	17.08	16.37	2.29
torbella	valle rivassa	119	TO-2	Q200	164.00	12.75	14.08	18.60	4.52	18.60	4.52	14.92	16.96	0.029369	7.51	21.83	16.37	2.08
torbella	valle rivassa	119	TO-2	Q50	125.00	12.75	13.87	18.60	4.73	18.60	4.73	14.56	16.25	0.029836	6.83	18.30	16.37	2.06
torbella	valle rivassa	100			Bridge													
torbella	valle rivassa	95	TO-1	Q200	164.00	12.58	14.00	18.60	4.60	18.60	4.60	14.75	16.53	0.024103	7.05	23.25	16.37	1.89
torbella	valle rivassa	95	TO-1	Q50	125.00	12.58	13.78	18.60	4.82	18.60	4.82	14.39	15.83	0.023437	6.33	19.74	16.37	1.84
torbella	valle rivassa	90		Q200	164.00	12.58	12.98	18.60	5.62	18.60	5.62	13.60	16.43	0.147628	8.23	19.92	50.00	4.17
torbella	valle rivassa	90		Q50	125.00	12.58	14.51	18.60	4.09	18.60	4.09	13.43	14.60	0.000478	1.29	96.73	50.00	0.30
torbella	valle rivassa	85		Q200	164.00	12.58	14.51	18.60	4.09	18.60	4.09	13.61	14.66	0.000825	1.70	96.66	50.00	0.39
torbella	valle rivassa	85		Q50	125.00	12.58	14.50	18.60	4.10	18.60	4.10	13.43	14.59	0.000487	1.30	96.20	50.00	0.30
torbella	valle rivassa	80		Q200	164.00	12.58	14.49	18.60	4.11	18.60	4.11	13.61	14.64	0.000854	1.71	95.65	50.00	0.40
torbella	valle rivassa	80		Q50	125.00	12.58	14.49	18.60	4.11	18.60	4.11	13.43	14.58	0.000496	1.31	95.65	50.00	0.30



1 cm Horiz. = 4.616078 m 1 cm Vert. = 0.4624938 m



1 cm Horiz. = 4.616078 m 1 cm Vert. = 0.4624938 m



Legend	
	Quota carico cinetico Q200 - Scenario 1_pilapasserella
	Quota carico cinetico Q200 - Torbella_attuale
	Quota pelo libero Q200 - Torbella_attuale
	Quota pelo libero Q200 - Scenario 1_pilapasserella
	Quota critica Q200 - Scenario 1_pilapasserella
	Quota critica Q200 - Torbella_attuale
	Quota fondo (progetto)
	Sponda sx
	Sponda dx
	Quota fondo (attuale)