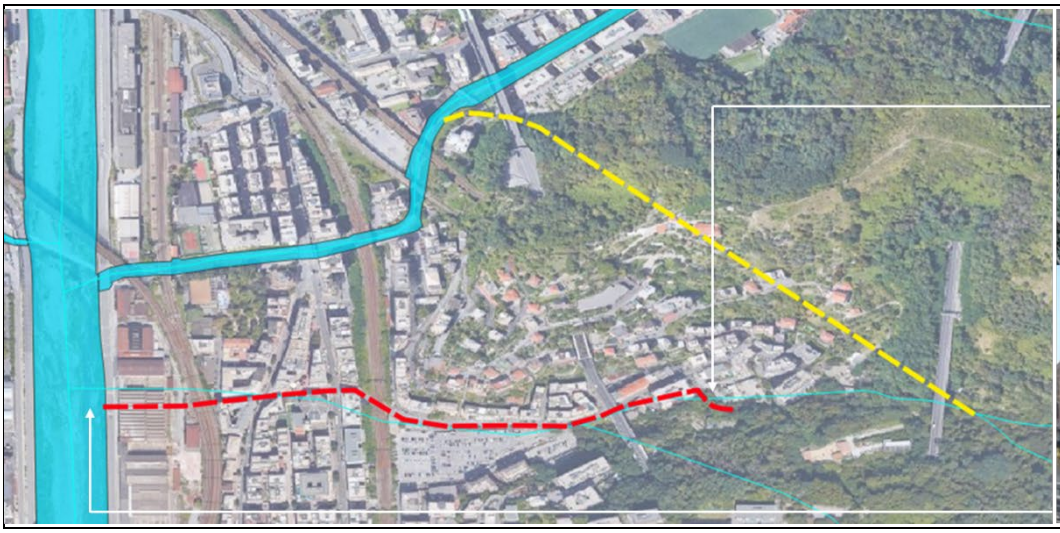
COMUNE DI GENOVA







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 DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

PROGETTAZIONE:	MANDATARIA:	MANDANTE:
	TECHNITAL	Dott.ssa Claudia Pizzinato

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

TITOLO:

STUDI E INDAGINI
IDRAULICA
RELAZIONE IDRAULICA

ORDINE INGEGNERI VERONA E PROVINCIA - Dott. Ing. SIMONE VENTURINI - A2515

CODICE ESTESO ELABORATO:	SCALA:	DATA:
II151F-PFTE-SI-IDR-RE_003_0	-	12/2021
	NOME FILE: II151F-PFTE-SI-IDR-RE_003_0.docx	

ELABORAZIONE PROGETTUALE:

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

REVISIONI

REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	12/2021	Emissione	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
   - 1.4 Considerazioni idrologico-idrauliche a supporto della scelta della galleria scolmatrice ... 8
   - 1.5 Definizione delle alternative progettuali per la sistemazione del t. Torbella ... 8
2. Dimensionamento e verifica idraulica della galleria scolmatrice del rio Maltempo ... 12
   - 2.1 Caratteristiche principali della galleria scolmatrice del rio Maltempo ... 12
   - 2.2 Opera di presa: dimensionamento idraulico ... 13
     - 2.2.1 Manufatto d'imbocco ... 13
     - 2.2.2 Pozzo a vortice ... 15
     - 2.2.3 Camera di dissipazione ... 16
     - 2.2.4 Canale Venturi ... 17
     - 2.2.5 Pozzo di aerazione ... 18
   - 2.3 Opera di sbocco e manufatto di collegamento con il t. Torbella ... 19
   - 2.4 Galleria scolmatrice: modellazione idraulica ... 20
     - 2.4.1 Dati di input e geometria del dominio ... 21
     - 2.4.2 Condizioni al contorno ... 21
     - 2.4.3 Stato di progetto (Scenario 1S) ... 22
     - 2.4.4 Stato di progetto (Scenario 2S) ... 24
   - 2.5 Osservazione sulle galleria scolmatrice ... 26
3. Sistemazione e verifica idraulica del torrente Torbella ... 27
   - 3.1 Modellazione idraulica ... 27
     - 3.1.1 Dati di input e geometria del dominio ... 27
     - 3.1.2 Condizioni al contorno ... 28
     - 3.1.3 Stato di fatto (Scenario 1 e 1bis) ... 28
     - 3.1.4 Stato di progetto (Scenario 2) ... 31
     - 3.1.5 Stato di progetto (Scenario 3) ... 33
     - 3.1.6 Stato di progetto (Scenario 4) ... 35
     - 3.1.7 Risultati ... 37
   - 3.2 Rappresentazione dell'intervento di sistemazione idraulica previsto ... 41
   - 3.3 Osservazione sui livelli di valle del t. Torbella ... 45
4. Analisi del trasporto solido nel torrente Torbella ... 47
   - 4.1 Osservazioni sull'analisi del trasporto solido nel t. Torbella ... 50
5. Adeguamento e verifica idraulica del rio Maltempo (artificiale) ... 51
   - 5.1 Descrizione del modello idraulico ... 51
     - 5.1.1 Dati di input e geometria del dominio ... 51
     - 5.1.2 Condizioni al contorno ... 52
     - 5.1.3 Stato di fatto ... 53
     - 5.1.4 Stato di fatto con portata di progetto ... 53
     - 5.1.5 Stato di progetto ... 54
     - 5.1.6 Risultati ... 55
6. Conclusioni ... 57
7. Bibliografia ... 60

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 3
Figura 1-5: Restringimento di sezione in via Canepari 3
Figura 1-6: Interferenze e materiali depositati nel tratto tombinato 4
Figura 1-7: profili idraulici del tratto tombinato 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: Sbarramento dell'alveo ed inizio strada privata 6
Figura 1-11: Percorso galleria scolmatrice (in rosso: tratti tombinati esistenti; in giallo: galleria scolmatrice) 7
Figura 1-12: Sezioni idrauliche di verifica del t. Torbella (PdB) e punto di confluenza galleria scolmatrice (in rosso) 9
Figura 1-13: PDB - Profilo idraulico t. Torbella (linea azzurra continua: tiranti idrici TR200; linee tratteggiate rossa e verde: quota delle sponde) 9
Figura 1-14: Nuovo profilo qualitativo del fondo del t. Torbella (linea nera tratteggiata) 11
Figura 2-1: Planimetria generale dello scolmatore del rio Maltempo 13
Figura 2-2: Planimetria di dettaglio dell'opera di presa 14
Figura 2-3: Geometria della camera del vortice (Hager,1985) 16
Figura 2-4: Schema della camera di dissipazione (Hager, 1985) 17
Figura 2-5: Sezione di scavo di canale d'imbocco, pozzi, camera di dissipazione e imbocco galleria 19
Figura 2-6: Planimetria di dettaglio dello sbocco della galleria e la connessione con lo scatolare di connessione con il t. Torbella 20
Figura 2-7: Dettaglio del profilo longitudinale dell'opera di collegamento tra la galleria e lo scatolare 20
Figura 2-8: Sezioni tipo della camera di dissipazione ($Dcam = 9\ m$) e della galleria di collegamento ($Dgal = 3.20\ m$) 21
Figura 2-9: Profilo idraulico a partire dalla confluenza nel t. Torbella a valle risalendo fino alla parte terminale della galleria scolmatrice (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S. 22
Figura 2-10: Profilo idraulico a partire dall'imbocco della galleria scolmatrice risalendo fino all'inizio della camera di dissipazione (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S. 23
Figura 2-11: Profilo idraulico in una sezione tipo della galleria scolmatrice (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S. 24
Figura 2-12: Profilo idraulico a partire dalla confluenza nel t. Torbella a valle risalendo fino alla parte terminale della galleria scolmatrice (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S. 25
Figura 2-13: Profilo idraulico a partire dall'imbocco della galleria scolmatrice risalendo fino all'inizio della camera di dissipazione (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S. 25
Figura 2-14: in una sezione tipo della galleria scolmatrice (linea blu continua e con marcatore: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S. 26
Figura 3-1: Profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 29

Figura 3-2: Profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 30
Figura 3-3: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea blu continua) e 1bis (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 31
Figura 3-4: Profilo idraulico per lo Scenario 2 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)..... 32
Figura 3-5: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 32
Figura 3-6: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 33
Figura 3-7: Profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)..... 34
Figura 3-8: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 3 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 34
Figura 3-9: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 3 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 35
Figura 3-10: Profilo idraulico per lo Scenario 4 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)..... 36
Figura 3-11: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 36
Figura 3-12: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 37
Figura 3-13: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 38
Figura 3-14: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 38
Figura 3-15: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 39
Figura 3-16: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 39
Figura 3-17: Planimetria del primo tratto d'intervento nel t. Torbella 42
Figura 3-18: Sezione tipo "A" nel tratto in cui si prevede uno scavo generalizzato dell'alveo..... 42
Figura 3-19: Planimetria del secondo tratto d'intervento nel t. Torbella 43
Figura 3-20: Sezione tipo "B" nel tratto in cui si prevede una savanella centrale in alveo 43
Figura 3-21: Planimetria del secondo tratto nella zona dove rimane la pila del ponte ferroviario in alveo 44
Figura 3-22: Sezione tipo "D" nel tratto in corrispondenza della pila in alveo del ponte ferroviario 44
Figura 3-23: Profilo idraulico per il t. Polcevera a monte e valle della confluenza del t. Torbella (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200 e 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx) 45
Figura 3-24: Vista tridimensionale della confluenza con il profilo idraulico ottenuto dal calcolo nel modello idraulico nello Scenario progettuale individuato per il Tr 200 anni..... 46
Figura 4-1: Profilo idraulico per lo Scenario 4 nel caso in cui non è presente l'effetto di rigurgito a valle: tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)..... 47
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 52
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 53
Figura 5-3: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50) 53
Figura 5-4: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50) 54

Figura 5-4: Profilo idraulico per lo stato di progetto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50) 54
Figura 5-5: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 200 55
Figura 5-6: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 50 55
Figura 5-7: Confronto tra lo stato di fatto e di progetto nelle sezioni dove è presente l'interferenza 56

1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato alla Scrivente la Progettazione di Fattibilità Tecnico Economica 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.

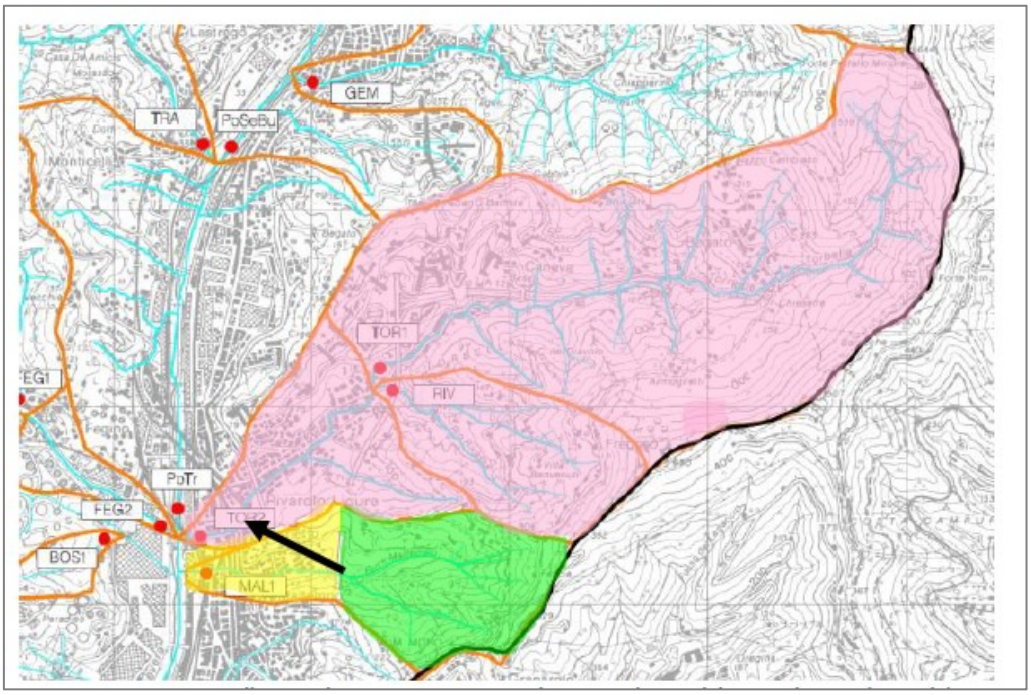


Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e artificiale (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice

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

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 ha 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.

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 e le portate di piena al colmo per assegnato tempo di ritorno sono quantificate in Tabella 1-1. Il rio 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 corso d'acqua sono riportate nella medesima tabella le portate di piena al colmo per assegnato tempo di ritorno.

Tabella 1-1: Portate al colmo in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo e il rio Torbella alle rispettive confluenze nel t. Polcevera, secondo il Piano di Bacino

	rio Maltempo			**t. Torbella**		
Tr (anni)	50	**200**	500	50	**200**	500
$Q_{colmo}\ [m^3/s]$	25.5	**36.9**	44.4	115	**145**	165

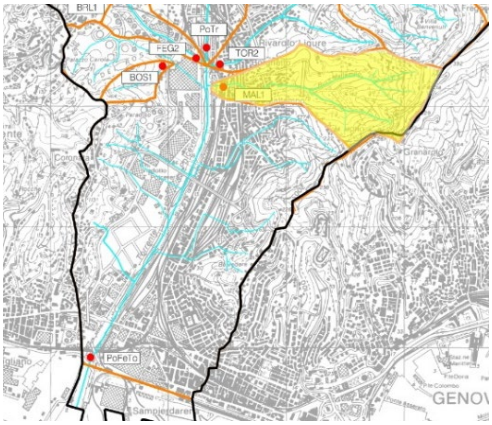


Figura 1-2: PDB - Carta dei Sottobacini – Tavola 213150



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 infra-strutture 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).

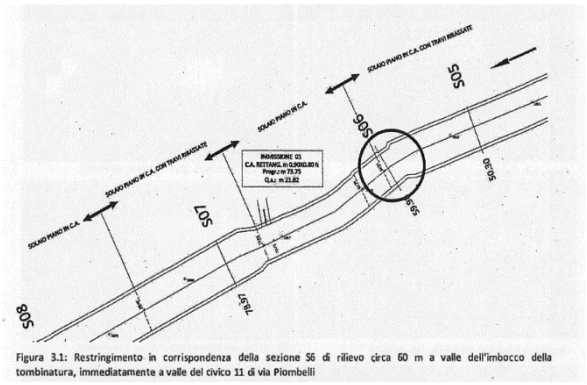


Figura 1-4: Restringimento di sezione in via Piombelli

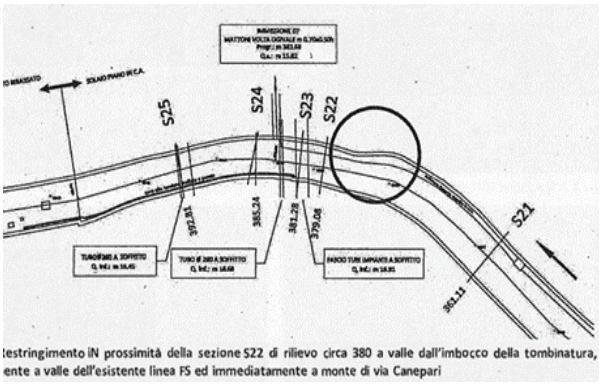


Figura 1-5: Restringimento di sezione in via Canepari

Le ispezioni interne alla tombinatura hanno messo in evidenza l'attuale stato di degrado formatosi anche a causa della presenza di sottoservizi interferenti, che hanno ridotto la sezione idraulica e che 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 qui sotto). Dalle verifiche idrauliche effettuate nell'ambito dello Studio comunale, sono emersi sia alcune criticità locali sia la conferma della insufficienza idraulica per eventi con tempo di ritorno elevato.

Con riferimento alla Figura 1-7, risulta che la massima portata alla quale la corrente rimane a pelo libero

non risentendo della presenza dei sottoservizi interferenti sia pari ad 8 m³/s (*Figura 1-7 grafico in alto*).

Rimuovendo i sottoservizi, la portata limite diventa pari ad 11 m³/s, oltre la quale si inizia ad avere un funzionamento pressurizzato in certi tratti (*Figura 1-7 grafico al centro*). Si notano in particolare il rigurgito all'altezza di via Canepari ed il rigurgito in via Piombelli, entrambi dovuti a restringimenti di sezione.

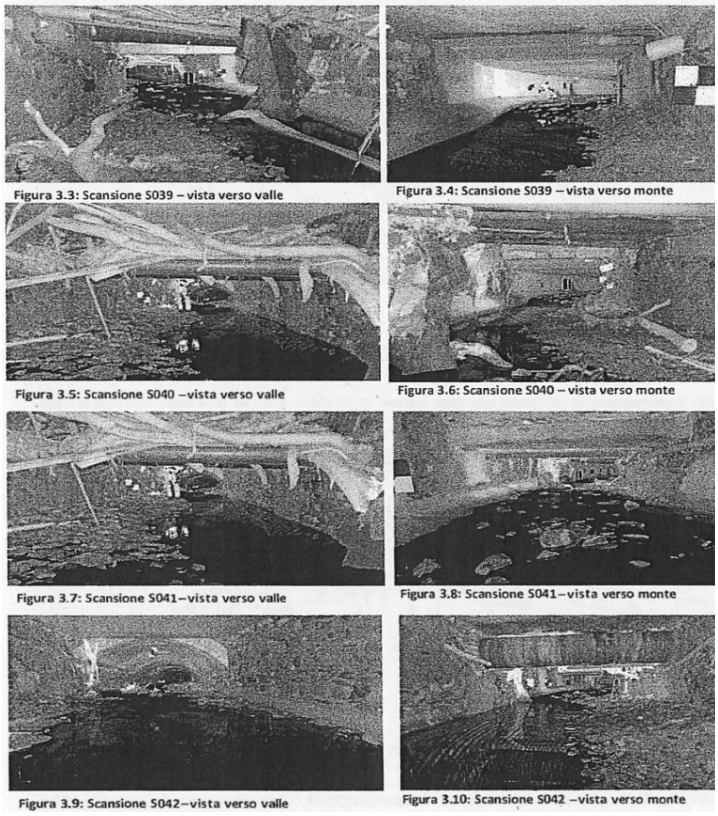


Figura 1-6: Interferenze e materiali depositati nel tratto tombinato

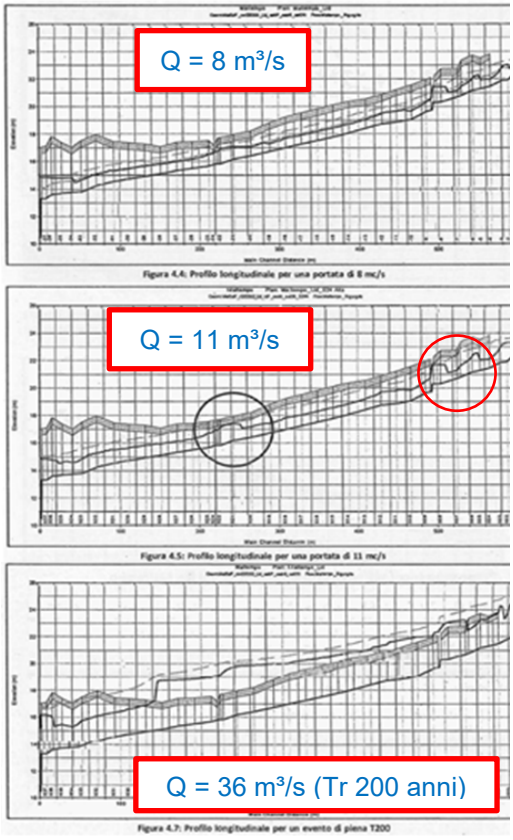


Figura 1-7: profili idraulici del tratto tombinato

La simulazione eseguita per Tr=200 anni (*Figura 1-7 grafico in basso*) utilizzando la geometria rilevata del canale e considerando rimosse tutte le interferenze, mostra il funzionamento in pressione per quasi tutta la lunghezza del tratto tombato e quindi la necessità di opere di adeguamento e ripristino della capacità idraulica richiesta dal Piano di Bacino. Lo Studio Idraulico, richiamando la necessità di eseguire studi di approfondimento anche idrologici e di concerto con l'Autorità di Bacino, propone come possibile soluzione tecnica la rimozione di tutte le interferenze, una riduzione di pendenza al fine di ridurre il carico cinetico, eseguita dall'interno del canale, infine la necessità di mirati interventi di allargamento di sezione.

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.

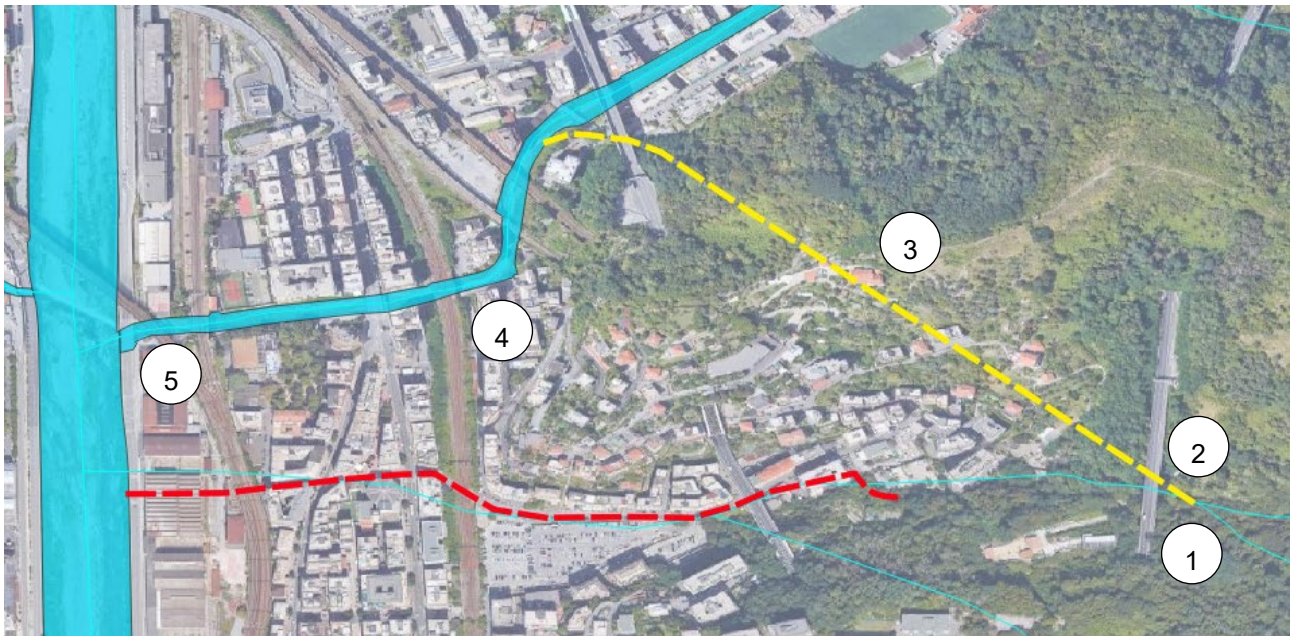


Figura 1-8: Percorso schematico (in rosso: tratto tombato Rio Maltempo; in giallo: nuova galleria scolmatrice)

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 collettate a monte della colmata.

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

VANTAGGI	SVANTAGGI
• 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 tombinato; • 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	• 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. La presenza di vegetazione molto folta e proprietà private non ha consentito di indagare più nel dettaglio sulle modalità di immissione nel tratto intubato e anche il rilievo topografico non è riuscito nei termini di questa fase progettuale a definire con precisione la morfologia dell'area. Anche a causa della stagione piovosa, infatti, l'alveo non era asciutto come accade invece in diversi periodi dell'anno e, per questo motivo, non è stato possibile indagare più nel dettaglio l'area. Questo intervento verrà integrato nella successiva fase progettuale.

Proseguendo verso monte lungo la strada sterrata sita in sponda sinistra del ramo sinistro dei rio (*che origina dal M. Moro – detto Maltempo 1*), 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 1-10).



Figura 1-10: 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.

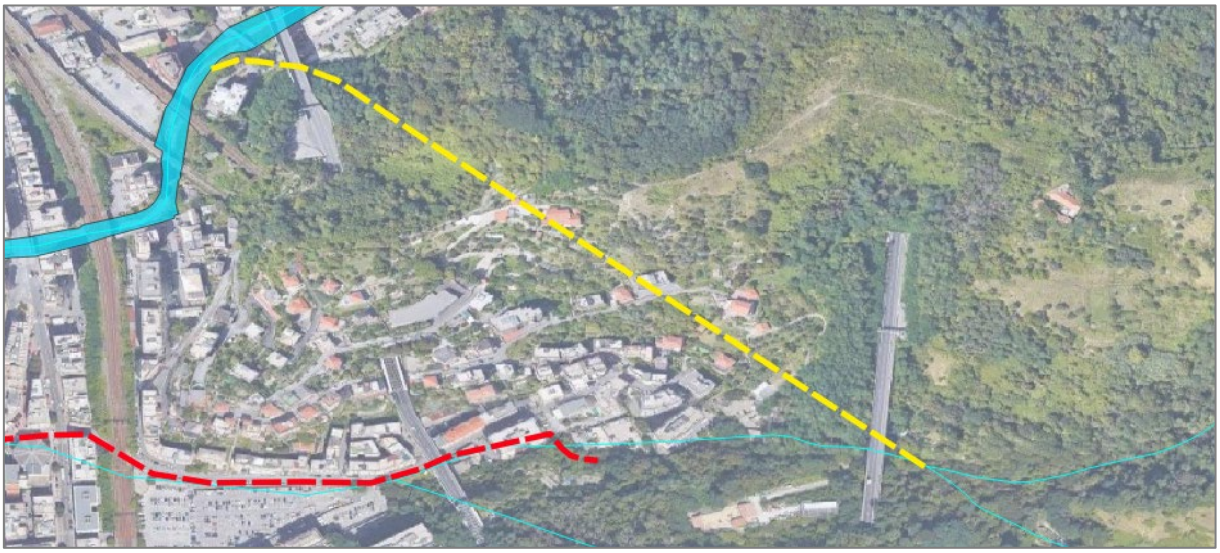


Figura 1-11: Percorso galleria scolmatrice (in rosso: tratti tombinati esistenti; in giallo: galleria scolmatrice)

Questa soluzione progettuale comprende, dunque, le seguenti opere:

- Opere di pulizia dell'alveo del rio Maltempo a monte dell'imbocco. Si prevede una pulizia straordinaria delle sponde del rio in modo da ridurre i rischi di intasamento per effetto della (alberi e arbusti);
- Una vasca di calma e di sghiaiamento con manufatto di imbocco per le portate. Sulla base della definizione della portata di progetto pari a $Q = 26\ m^3/s$ si descrivono in seguito le caratteristiche geometriche del manufatto d'imbocco, mentre riguardo alla vasca di calma e di sghiaiamento, non disponendo del rilievo topografico completo dell'area, verrà dimensionata nel dettaglio nella successiva fase progettuale. In ogni caso, la sua lunghezza e profondità verranno 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 pettine che si prevederà a monte della vasca. Seguirà il manufatto di imbocco, che consentirà di convogliare le portate eccedenti la capacità della tombinatura verso la galleria scolmatrice, mentre si descrive nel seguito la previsione di una luce di fondo che introduce una condotta di bypass, la quale si riconnette all'alveo naturale a valle e consente il mantenimento della continuità longitudinale in termini di portate minime;
- immediatamente a valle un pozzo di caduta con dissipazione del salto pari a circa 27 m. Per il pozzo di caduta lo Scrivente propone di realizzare un modello fisico al fine di attestarne le caratteristiche e le prestazioni. Il pozzo, il cui dimensionamento idraulico viene riportato nel seguito, si prevede dotato di aeroforo per minimizzare i fenomeni di cavitazione e di *choking* della vena fluida nella galleria;
- una galleria idraulica facilmente accessibile da valle, lunga circa 526.61 m avente pendenza pari al 0.4%, nella quale si instaura un moto a pelo libero in corrente lenta di adeguata sezione ed altezza in modo da consentirne la agevole manutenzione da valle. Si è previsto, inoltre, la realizzazione di un pozzo aeroforo intermedio;
- Un manufatto di sbocco che sarà dotato di panconi per manutenzione. Dal momento che essa si presenta a monte di un tratto in curva del t. Torbella, si è prestata attenzione all'idraulica della

confluenza;

- Opere di protezione dell'alveo del t. Torbella alla confluenza. Sono necessarie opere di miglioramento delle sponde e del fondo dell'alveo nella zona innesto e di valle della confluenza tramite l'inserimento di corazzamenti;
- Opere di miglioramento spondale e riprofilatura del fondo dell'alveo del Torbella;
- Per quanto riguarda invece le opere da realizzare per l'adeguamento della tombinatura esistente nel tratto antropizzato del rio Maltempo di valle, si prevede la rimozione di tutte le interferenze dei sottoservizi, in modo da garantire il ripristino completo dell'attuale sezione idraulica. Inoltre, si prevede la pulizia e la manutenzione straordinaria della superficie interna della tombinatura nelle zone che risultassero particolarmente degradate o soggette a fenomeni di erosione.

1.4 Considerazioni idrologico-idrauliche a supporto della scelta della galleria scolmatrice

Il presente progetto prevede concettualmente di afferire al bacino del T. Torbella le portate eccedenti della parte alta del bacino del rio Maltempo, riducendo di conseguenza l'entità delle portate di piena transitanti nel tratto urbano tombinato del rio Maltempo. La superficie del bacino del T. Torbella è di circa 5 km², mentre quello del rio Maltempo è di circa 0.92 km², di cui circa 0.65 km² alla sezione di chiusura data dall'immissione nel tratto tombato. I risultati dello studio idrologico condotto nell'ambito del presente progetto stimano in circa 26 m^3/s la portata di piena al colmo prodotta nella porzione di bacino naturale del rio Maltempo per un tempo di ritorno di 200 anni (per i dettagli di calcolo si rimanda alla relazione idrologica). Questa portata risulta essere generata, tuttavia, da un evento critico per il bacino "alto" del rio Maltempo, la cui estensione è minore di quello del rio Torbella. Tale portata si riduce leggermente nel caso in cui si consideri un evento di durata critica per il bacino del rio Torbella, per il quale lo studio stima una portata di piena al colmo di 145 m^3/s. Dalla sovrapposizione degli idrogrammi di piena generati nel bacino del rio Torbella e nel bacino naturale del rio Maltempo in quest'ultima condizione, e tenuto conto del trasferimento della portata del rio Maltempo attraverso la galleria scolmatrice identificata come soluzione progettuale, si prevede una portata di piena al colmo in transito nel rio Torbella pari a 164 m^3/s.

Scopo della presente analisi idraulica risulta, dunque, quello di verificare la sicurezza idraulica del t. Torbella nello stato di fatto e nello stato di progetto, tenendo in considerazione una portata di progetto duecentennale del rio Torbella e della somma tra quest'ultima e del contributo proveniente dalla galleria scolmatrice.

1.5 Definizione delle alternative progettuali per la sistemazione del t. Torbella

Negli allegati alla relazione generale del PdB del t. Polcevera sono riportate le verifiche idrauliche condotte per il t. Torbella nel tratto terminale. Le sezioni individuate sono riportate nel seguente estratto dalla Tavola contenente la carta delle tracce delle sezioni idrauliche e dei tratti indagati, dove viene anche individuato il punto di confluenza della nuova galleria scolmatrice (Figura 1-12).

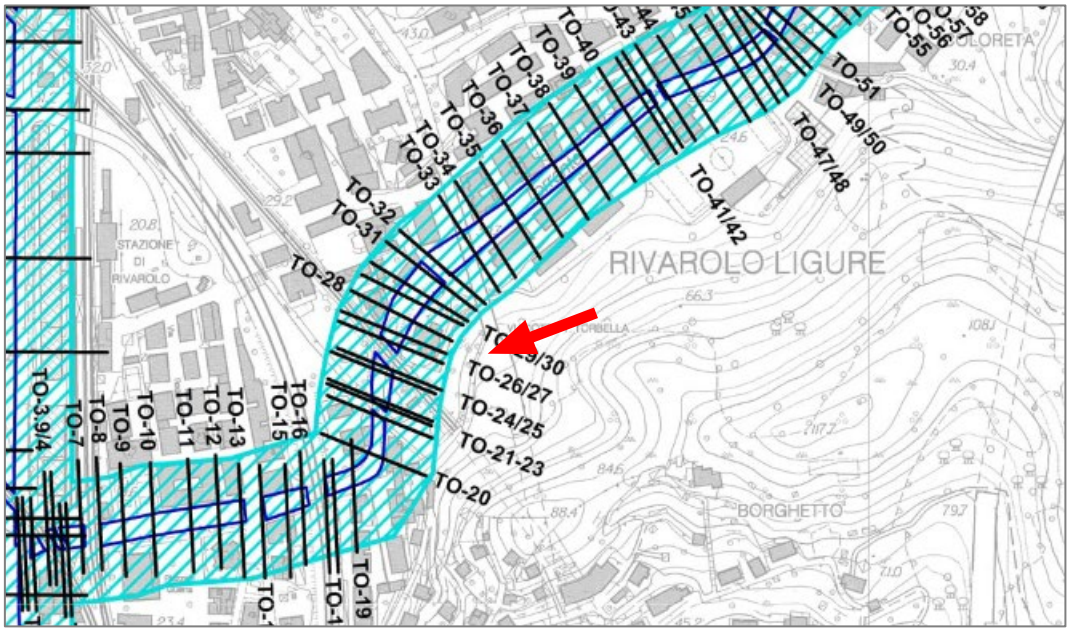


Figura 1-12: Sezioni idrauliche di verifica del t. Torbella (PdB) e punto di confluenza galleria scolmatrice (in rosso)

Il profilo idraulico nel tratto di interesse è mostrato in Figura 1-13.

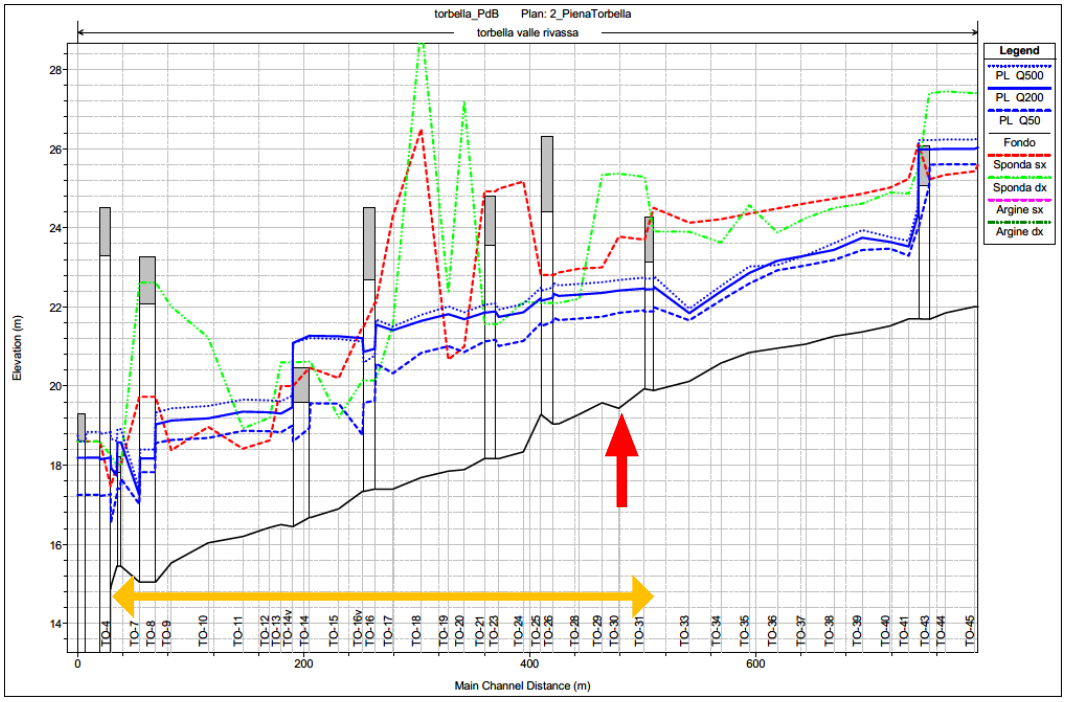


Figura 1-13: PDB - Profilo idraulico t. Torbella (linea azzurra continua: tiranti idrici TR200; linee tratteggiate rossa e verde: quota delle sponde)

Con la freccia rossa si indica la confluenza dell'ipotizzato scolmatore del rio Maltempo, mentre con la freccia gialla l'estensione del tratto di interesse ai fini della verifica idraulica.

La portata duecentennale di progetto del T. Torbella nel tratto indagato è pari a 145 m³/s, verificata anche per mezzo dell'analisi idrologica parte del presente progetto. Si rileva che le principali criticità del tratto sono date dall'insufficienza della capacità idraulica del ponte di via Canepari (a due campate, Sezione TO-14), che genera un rigurgito di circa 1.7 metri e dal rigurgito provocato dal ponte ferroviario immediatamente a valle (a due campate, sezione TO-8).

Come migliorie generali rispetto alle criticità riscontrabili vengono proposte le seguenti proposte progettuali vengono indagate e verificate nel seguito della presente relazione, che permettono la risoluzione di problemi di sicurezza idraulica:

1. Abbassamento del fondo alveo a partire dal salto di fondo a monte della foce nel Polcevera, risalendo fino alla sezione prevista come sbocco dello scolmatore;
2. Rifacimento del Ponte Canepari e della passerella pedonale in prossimità della foce nel t. Polcevera.

In prima battuta, è stata valutata la possibilità di prevedere la realizzazione di una proposta alternativa all'altra. La prima proposta progettuale di abbassare il fondo alveo (qualitativamente esposta in Figura 1-14), infatti, apporterebbe importanti benefici, in quanto consentirebbe alla portata di transitare attraverso la sezione del Ponte Canepari senza provocare il funzionamento in pressione del manufatto. L'entità dell'abbassamento varia in funzione della sezione e verranno studiate nel seguito della presenta relazione soluzioni che ipotizzano una diversa pendenza di progetto da assegnare all'alveo in questo tratto.
La seconda proposta progettuale di rifacimento del Ponte Canepari, apporterebbe ulteriori importanti benefici, in quanto l'eliminazione dell'attuale pila centrale consentirebbe un guadagno in termini di sezione idraulica ed eliminerebbe l'effetto di rigurgito a monte.
Inoltre, l'abbassamento dei tiranti idraulici per via delle migliorie proposte consentirebbe di avere maggiori velocità e quindi una mitigazione nella tendenza al deposito dei sedimenti, che peraltro apparirebbe causata dalla presenza di detriti accumulatisi sotto la campata del ponte ferroviario più a valle, prima della confluenza del Torbella col Polcevera, e che si intende risolvere nell'ambito della presente progettazione.

A seguito di alcuni calcoli idraulici preliminari e di considerazioni sulle opere già presenti nel contesto, è stato scelto di adottare una proposta progettuale che metta insieme entrambe le due citate: l'abbassamento dell'alveo del t. Torbella, di entità differente a seconda del tratto considerato, è strettamente necessario, in quanto già nella situazione dello stato di fatto in più sezioni si verificano esondazioni con la portata di progetto e, dunque, un incremento della stessa a seguito dello sbocco dello scolmatore, accentua ulteriormente, anche se di poco, questo problema. Tuttavia, questo intervento di riprofilatura dell'alveo deve tenere in considerazione il fatto che le opere di difesa spondale possono essere danneggiate o la loro stabilità può essere messa in crisi da un eccessivo scavo del fondo del corso d'acqua.

Per questo motivo, si è scelto di valutare uno scavo ponderato dell'alveo ed una riprofilatura, mostrata nel seguito, che consenta di non arrecare danni a queste opere. In queste condizioni, la previsione del rifacimento del ponte di via Canepari con l'eliminazione della pila in alveo permette di ridurre notevolmente il livello idraulico a monte dello stesso. Riguardo invece la passerella pedonale più a valle, sebbene meno influente come restringimento, si troverebbe in una sezione dove il livello del fondo verrebbe notevolmente abbassato, per consentire il raccordo tra il profilo di progetto e l'alveo a valle. Perciò la sua pila centrale rimarrebbe comunque un ostacolo e si troverebbe con un fondo molto più basso dell'attuale con la fondazione eccessivamente scoperta.

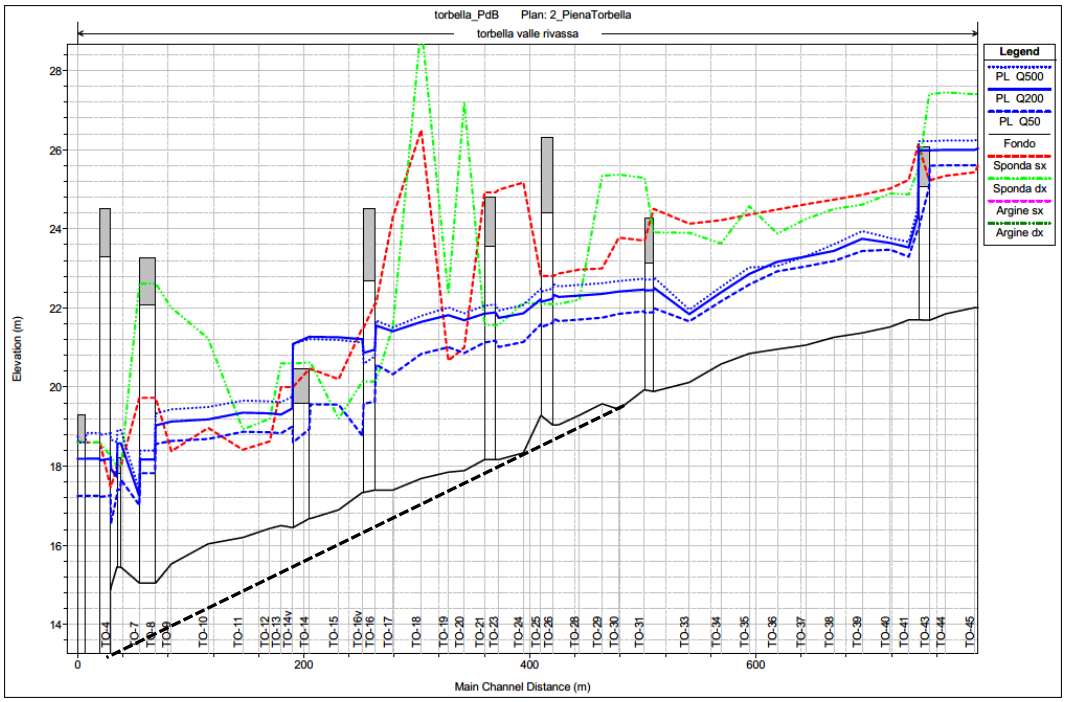


Figura 1-14: Nuovo profilo qualitativo del fondo del t. Torbella (linea nera tratteggiata)

Nel paragrafo 3 si illustrano le verifiche eseguite tramite l'implementazione di un modello idraulico utilizzando HEC-RAS. Tali proposte verranno sviluppate in una serie di Scenari progettuali, al fine di individuare la più adatta soluzione progettuale da adottare.

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 idrici ricettore. Si prevederà nella successiva fase progettuale la possibilità di inserire elementi di dissipazione in corrispondenza dello sbocco.

Il volume di scavo stimato a seguito della realizzazione dello scolmatore sono pari a

- Canale/scatolare di restituzione: circa $V_{can,rest} = 2300\ m^3$;
- Galleria scolmatrice: circa $V_{gal} = 6850\ m^3$;
- Camera di dissipazione e pozzi: circa $V_{cam} = 1700\ m^3$;

Il volume totale di scavo stimato è pari a $V_{tot} = 10850\ m^3$.



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

2.2 Opera di presa: dimensionamento idraulico

L'opera è costituita essenzialmente da un manufatto di imbocco al vortice, costituito da un canale a cielo aperto e da una 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 (Figura 2-2).

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 vorticosa 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 delle 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 Manufatto d'imbocco

Per collettare le portate prodotte nella parte alta del bacino, si prevede la realizzazione di un canale scatolare in cls a cielo aperto. Tale è stato previsto di larghezza pari a $b = 2.70\ \mathrm{m}$ e pendenza pari allo $i = 0.15\ \%$, in modo da 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.

Considerando la scabrezza del canale pari a $k_s = 66.67\ m^{1/3}/s$ (cls a fine vita utile dell'opera) e applicando la formula di moto uniforme, Il tirante idraulico che si instaura in questo tratto con la portata di progetto è pari a:

$$h_0 = \left(\frac{Q}{b \cdot k_s \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/5} = 3.75\ m,$$

mentre il tirante in condizioni critiche è $h_c = 2.11\ m$.

Perciò, si prevede di realizzare i muri di sponda di questo canale di altezza pari a $H_{sponda} = 4.5$ m rispetto al fondo dello stesso, in modo da avere anche un sufficientemente consistente franco di sicurezza.

Riguardo le portate minime di magra del rio Maltempo si prevede che esse defluiscano verso valle attraverso una luce di piccole dimensioni praticata sul fondo del canale d'imbocco verso il pozzo a vortice. In questo modo, le portate minime che defluiscono attraverso la luce non compromettono il tratto tombato a valle in caso di evento estremo e possono proseguire liberamente verso valle nel corso d'acqua naturale anche durante i periodi di magra. La riconnessione con l'alveo del rio Maltempo si prevede avvenga per mezzo di una condotta di bypass di diametro ϕ_{200}. Il calcolo della portata massima effluente dalla luce e nel bypass è stato eseguito attraverso la formula:

$$Q = C_c \cdot A \cdot \sqrt{2gh_0} = 0.15\ m^3/s$$

In cui $C_c = 0.61$, l'area della sezione contratta A è funzione del diametro ϕ_{200} definito.

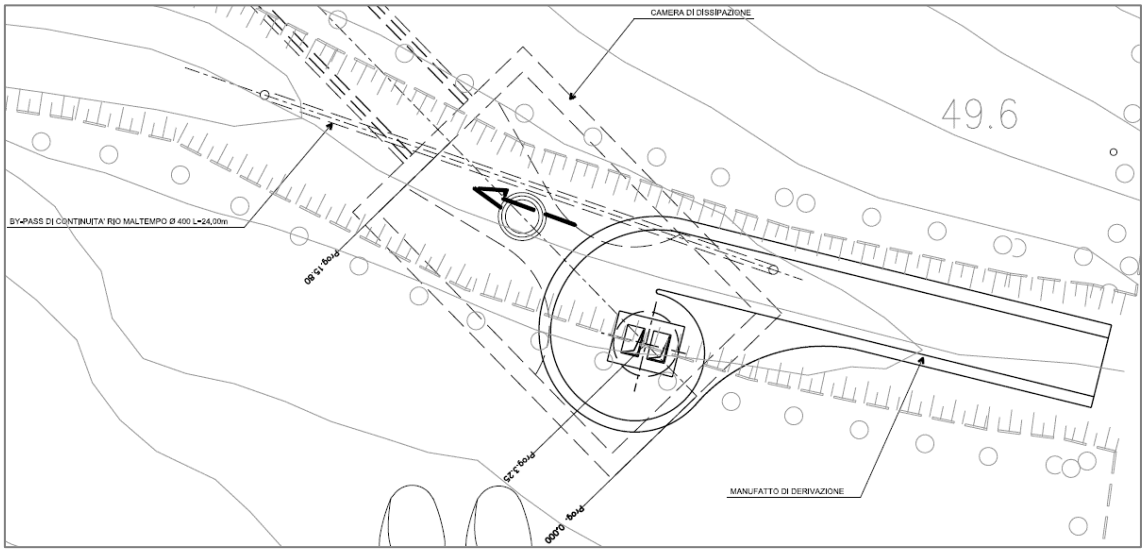


Figura 2-2: Planimetria di dettaglio dell'opera di presa

2.2.2 Pozzo a vortice

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. 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*):

$$\frac{a - \frac{b}{2}}{R} = 1.75 > 1.3$$

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

$$h = 1.79 < 4 \qquad q = 3.2 < 5.7 \qquad \mu = 0.57 < 0.626$$

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.

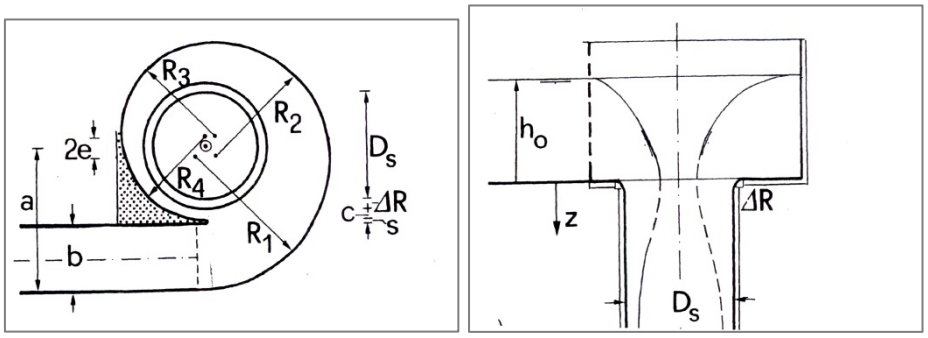


Figura 2-3: Geometria della camera del vortice (Hager,1985)

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

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

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

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 $0.4 - 0.5$:

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

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

- $b =$ larghezza del canale di immissione = 2.70 m;
- i = pendenza del canale di immissione = 0.15%;
- 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.

Lungo il canale d'imbocco si prevede l'inserimento di un semplice pancone a valle della luce di fondo che permette il deflusso minimo verso l'alveo naturale, in modo che possa essere prevista la chiusura dell'opera di presa e di favorire le attività di manutenzione delle opere in progetto.

2.2.3 Camera di dissipazione

La camera posta al piede del pozzo a vortice (Figura 2-4) 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.

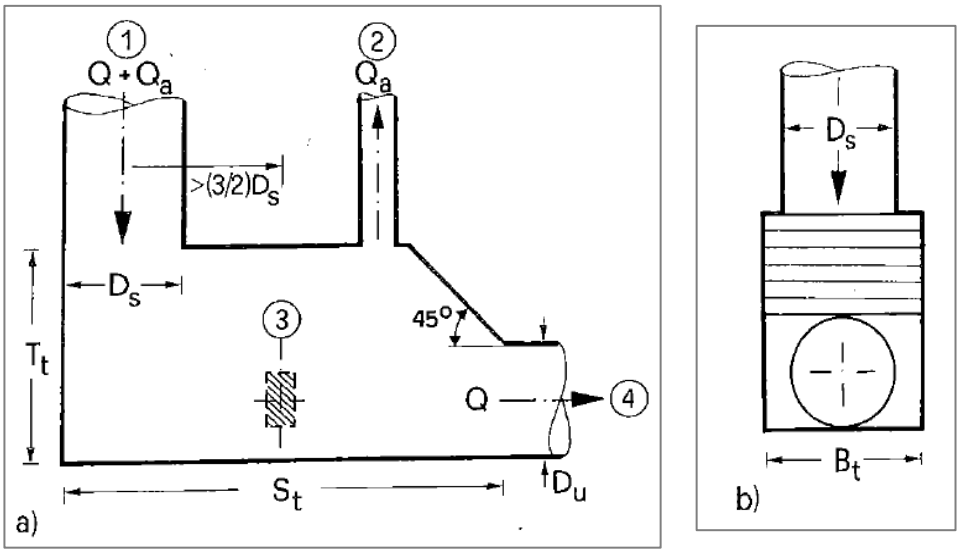


Figura 2-4: Schema della camera di dissipazione (Hager, 1985)

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

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

in cui $\overline{D}$ 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 $\overline{D}$ 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:

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

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

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 $\mathbf{9.00\ m}$.

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: $1.5 \cdot 2.90 = 4.35\ m$, 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 $0.1 \cdot H = 50.00 - 22.62 = 27.38\ m\ s.m.m.$).

2.2.5 Pozzo di aerazione

Anche per il pozzo di aerazione, 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 $26\ m^3/s$);
- $\beta = \sqrt{\frac{q_e}{q_s}} - 1$ 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;
  - $q_s = \frac{Q}{k \cdot 3.14 \cdot Ds^{(8/3)}}$ è portata idrica relativa.

I valori in gioco nel presente caso sono:

$$L_S = 50.00 - 31.62 = 18.38\ m, \qquad q_e = 0.287, \qquad q_S = 0.068, \qquad \beta = 1.05, \qquad Q_a = 27.36\ m^3/s$$

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

Il profilo longitudinale dell'opera composta dalle varie parti sopra descritte è illustrato in Figura 2-5.

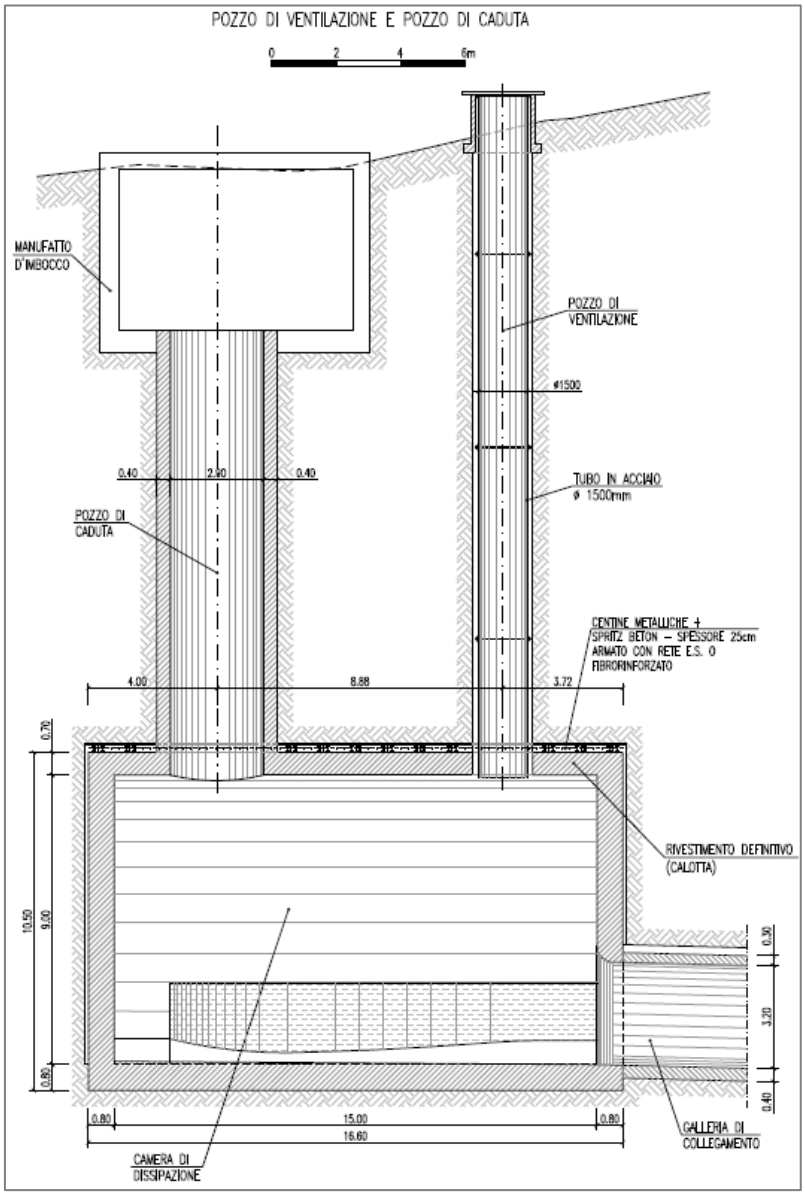


Figura 2-5: Sezione di scavo di canale d'imbocco, pozzi, camera di dissipazione e imbocco galleria

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 scatolare, 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 scatolare di lunghezza pari a 95 m, che consente la connessione con il torrente Torbella e lo sbocco delle portate scolmate dal rio Maltempo (Figura 2-6 e Figura 2-7).

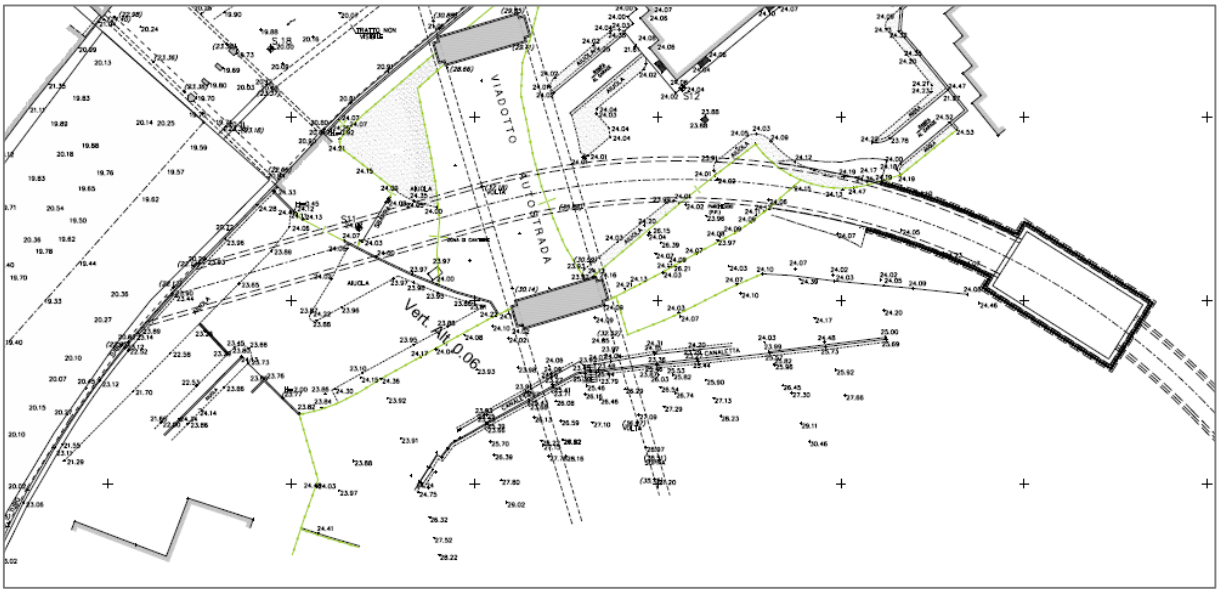


Figura 2-6: Planimetria di dettaglio dello sbocco della galleria e la connessione con lo scatolare di connessione con il t. Torbella

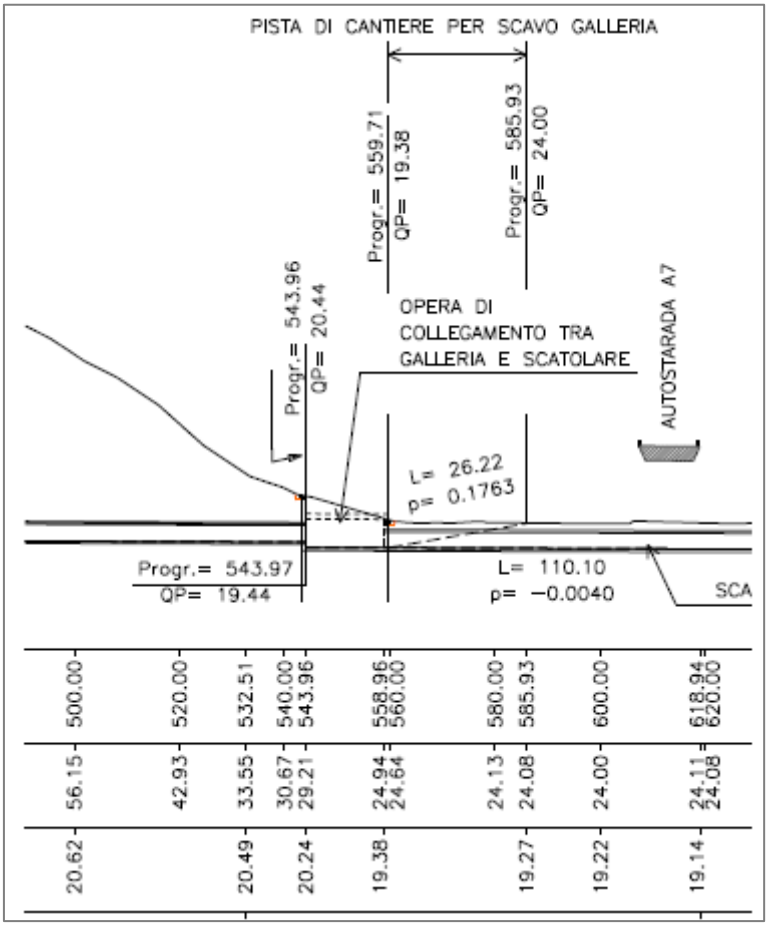


Figura 2-7: Dettaglio del profilo longitudinale dell'opera di collegamento tra la galleria e lo scatolare

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

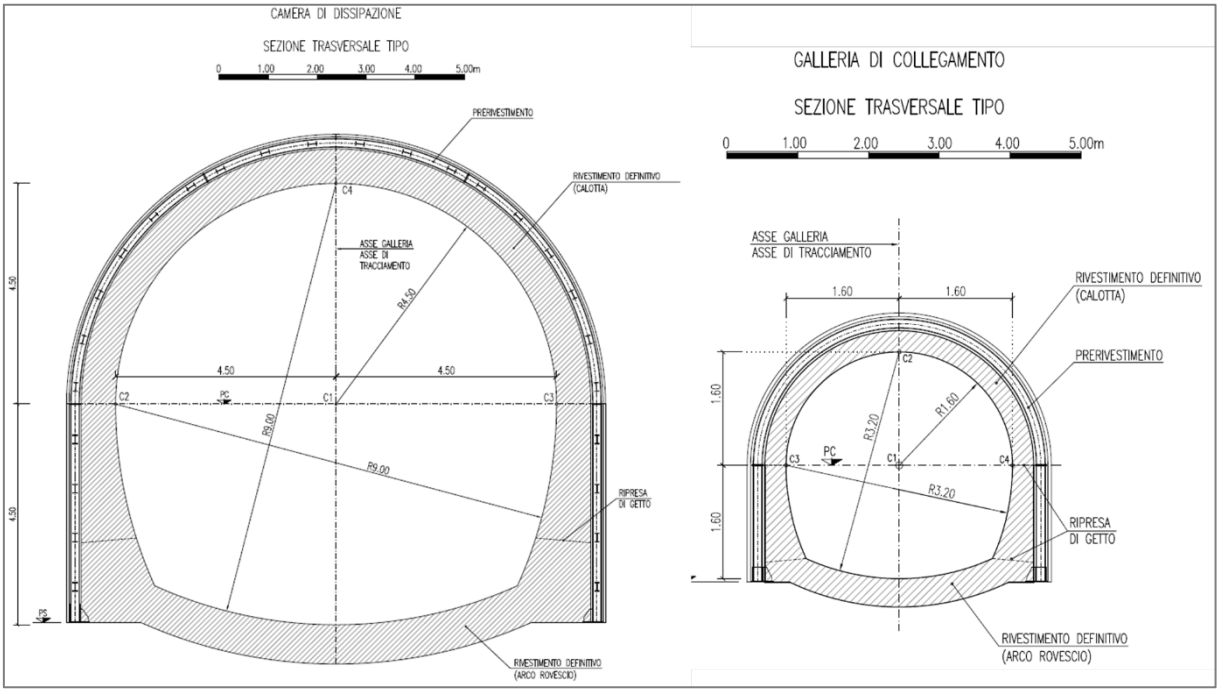


Figura 2-8: Sezioni tipo della camera di dissipazione ($D_{cam} = 9\ m$) e della galleria di collegamento ($D_{gal} = 3.20\ m$)

- Il canale di restituzione presenta una sezione rettangola di diametro $B_{can,rest} = 4\ m$ e una lunghezza longitudinale di $L_{can,rest} = 110\ m$. 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 $K_S = 66.67\ m^{1/3}/s$ ($n = 0.015\ m^{-1/3}s$).

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	$Q = 26\ m^3/s$	$H_v = 21.11\ m\ s.m.m.$
Scenario 2S	200	$Q = 24.8\ m^3/s$	$H_v = 21.93\ m\ s.m.m.$
	50	$Q = 19.8\ m^3/s$	$H_v = 21.35\ m\ s.m.m.$

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 (Scenario 1S)

I profili idraulici per il Tr 200 in riferimento allo Scenario 2S sono riportati in Figura 2-9 e Figura 2-10.

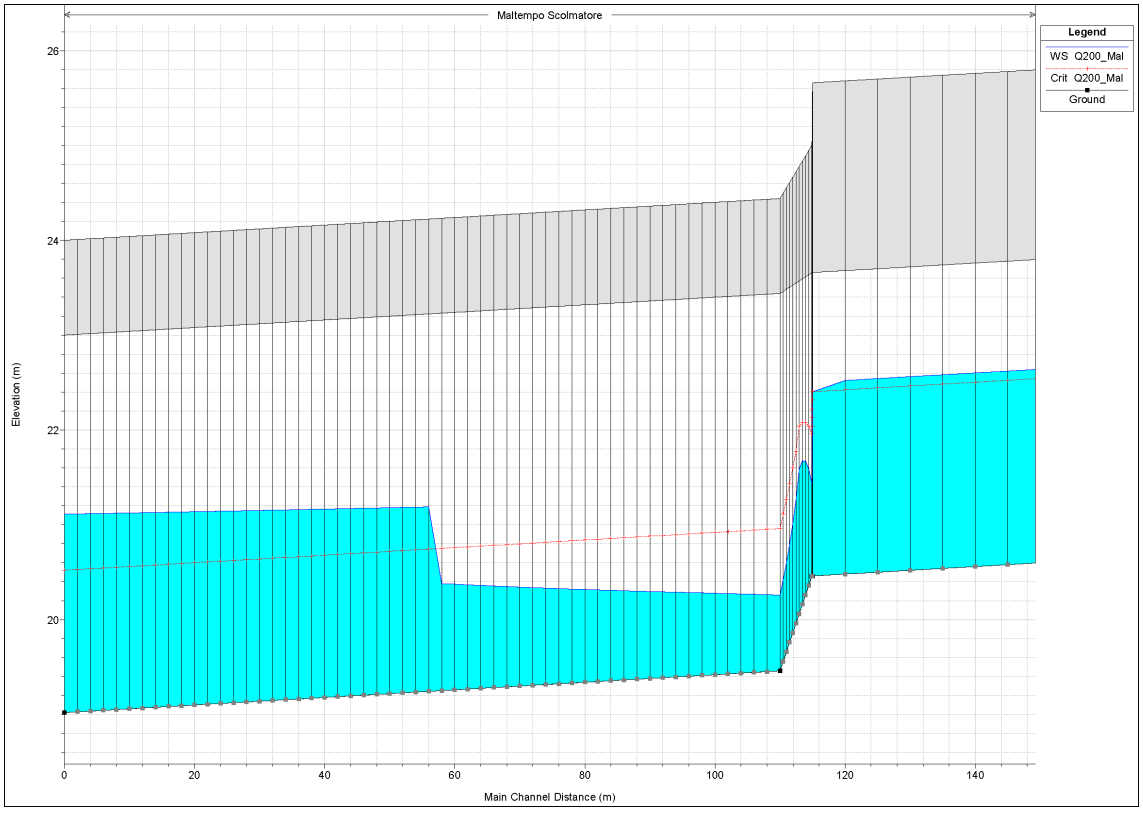


Figura 2-9: Profilo idraulico a partire dalla confluenza nel t. Torbella a valle risalendo fino alla parte terminale della galleria scolmatrice (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S.

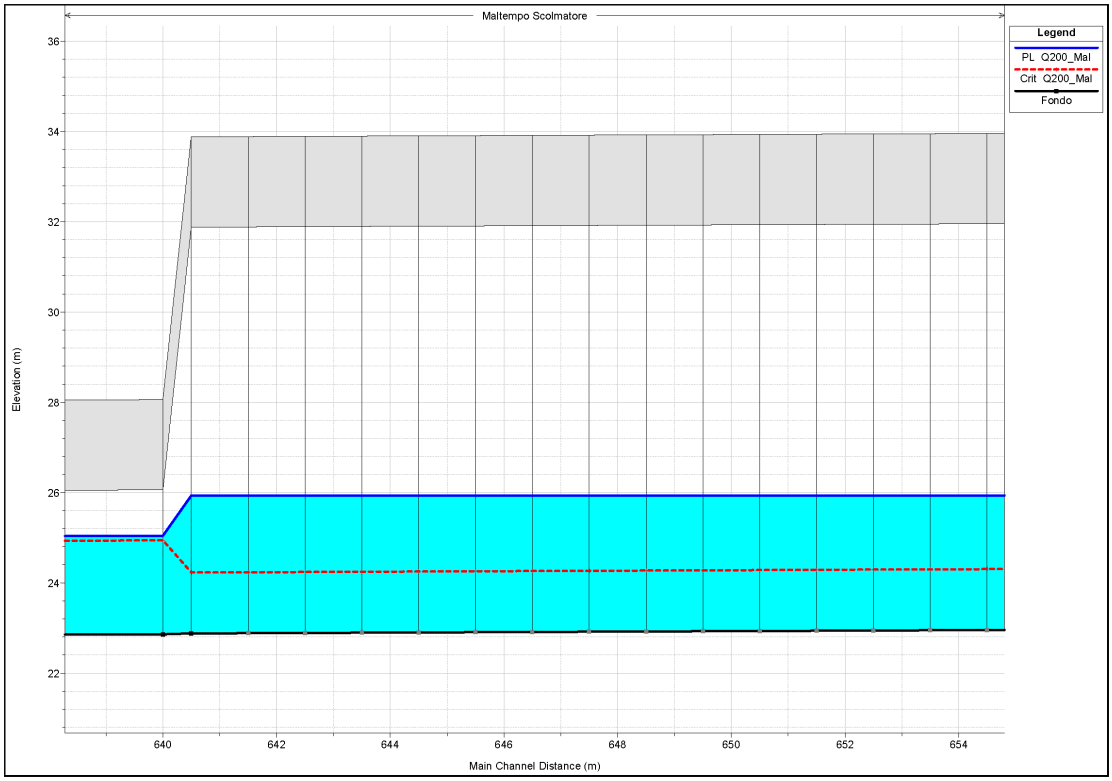


Figura 2-10: Profilo idraulico a partire dall'imbocco della galleria scolmatrice risalendo fino all'inizio della camera di dissipazione (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S.

Si nota che nel canale di restituzione è presente il risalto idraulico, localizzato circa 50 m a valle rispetto alla fine dello scivolo che disconnette la galleria dal canale stesso.

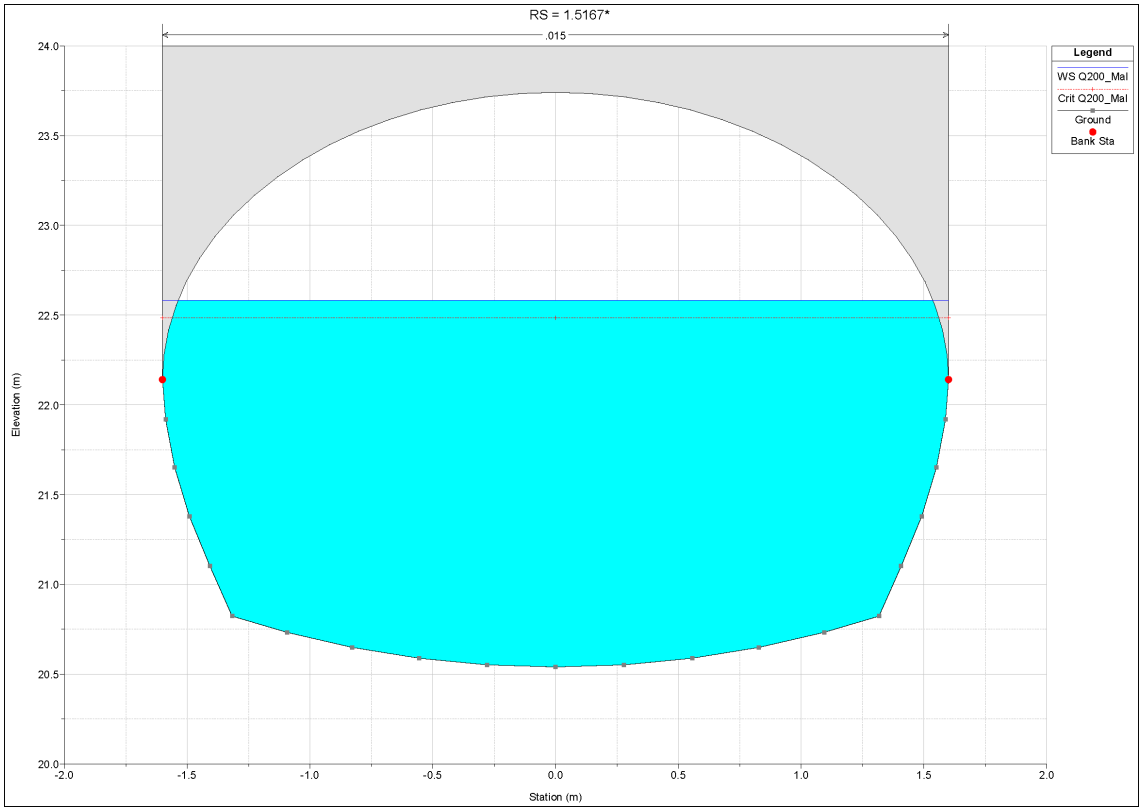


Figura 2-11: Profilo idraulico in una sezione tipo della galleria scolmatrice (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200). Scenario 1S.

Il grado di riempimento per la sezione della galleria scolmatrice è 68 %.

2.4.4 Stato di progetto (Scenario 2S)

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni in riferimento allo Scenario 1S sono riportati in Figura 2-12 e Figura 2-13.

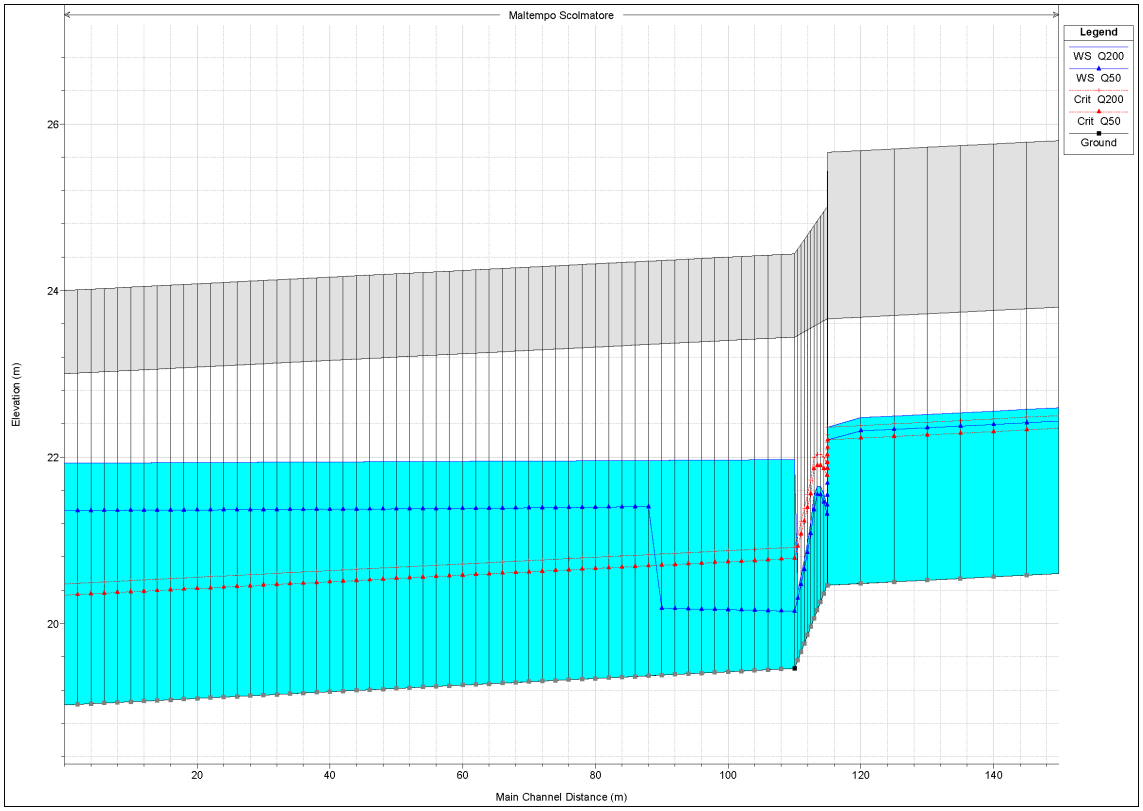


Figura 2-12: Profilo idraulico a partire dalla confluenza nel t. Torbella a valle risalendo fino alla parte terminale della galleria scolmatrice (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S.

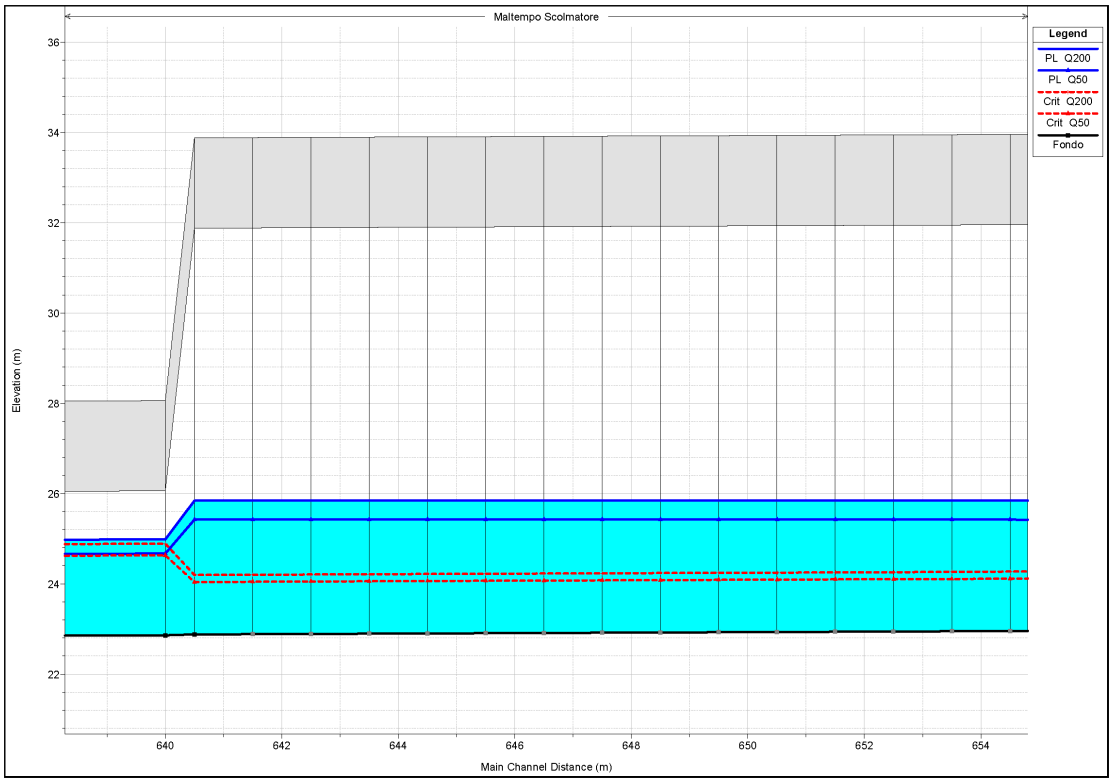


Figura 2-13: Profilo idraulico a partire dall'imbocco della galleria scolmatrice risalendo fino all'inizio della camera di dissipazione (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S.

Si nota che per il Tr 200 è presente il risalto idraulico al termine dello scivolo posizionata tra fine galleria e

canale di restituzione, mentre nel caso di Tr 50 questo risalto si localizza circa 20 m più verso valle.

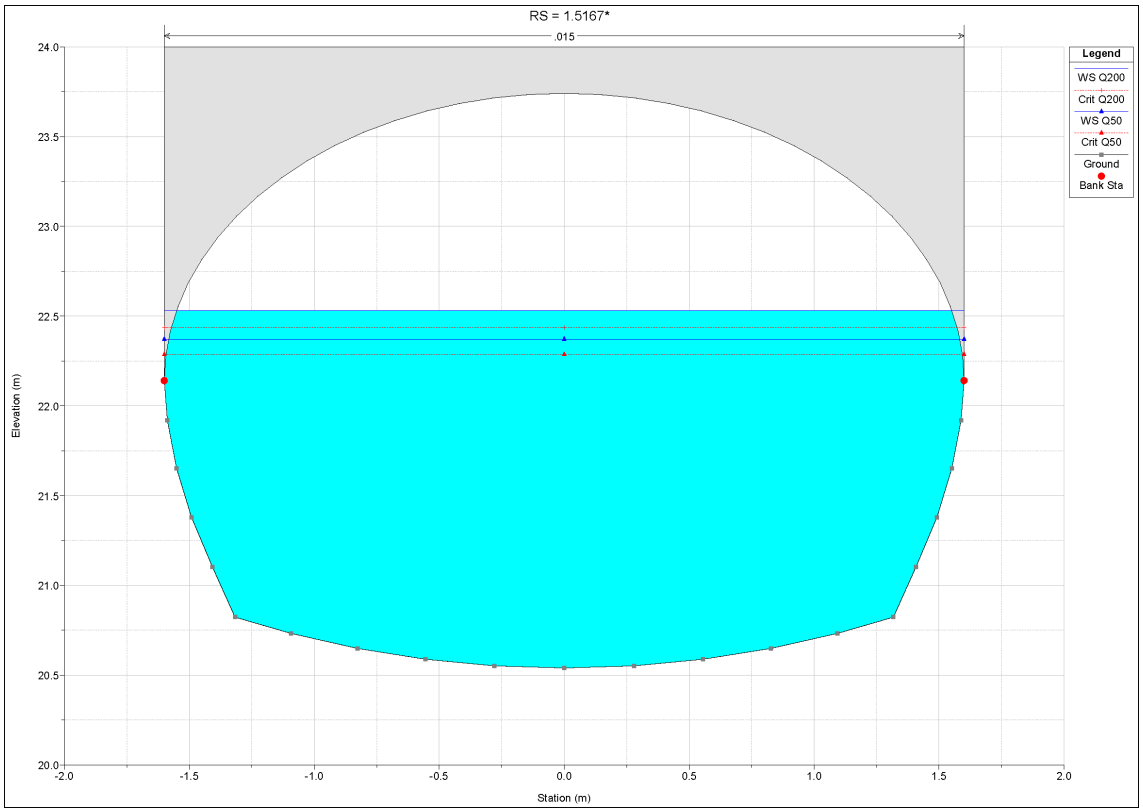


Figura 2-14: in una sezione tipo della galleria scolmatrice (linea blu continua e con marcatore: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50). Scenario 2S.

Il grado di riempimento per la sezione della galleria scolmatrice è 66% per il Tr 200 e 61 % per il Tr 50.

2.5 Osservazione sulle galleria scolmatrice

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 gravoso di progetto e tale, inoltre, da consentirne la agevole manutenzione da valle. Questa scelta progettuale, peraltro, ha seguito anche l'approccio già utilizzato in opere analoghe progettate nel Comune di Genova, ovvero le gallerie scolmatrici del sistema Fereggiano-Noce-Rovare, che si connettono alla galleria scolmatrice principale del t. Bisagno. In particolare, nel caso del rio Noce si presentava la stessa portata di progetto. Si sottolinea che, tuttavia, dal momento che si dispone di un ampio dislivello a monte tra la mera di dissipazione e l'imbocco, si potrà eventualmente valutare nella successiva fase progettuale una modifica del dimensionamento, per rendere eventualmente di dimensioni più contenute la galleria di collegamento.

Un aspetto altro molto importante da valutare sarà, inoltre, l'interazione con la confluenza nel t. Torbella e la previsione di opportuni elementi di dissipazione della corrente proveniente dalla galleria scolmatrice. Come già sottolineato nella fase precedente all'avvio della presente fase progettuale, lo Scrivente è disponibile a valutare la possibilità di realizzare un modello fisico della zona di confluenza nel t. Torbella, per definire più opportunamente le condizioni del moto.

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

Si considera le seguenti configurazioni del dominio:

- **Stato di fatto**: sono state considerate le sezioni utilizzate nel PdB nell'ambito della modellazione idraulica del t. Torbella. Inoltre, al fine di valutare l'effetto della confluenza nel t. Polcevera, sono state inserite alcune sezioni di questo corso d'acqua, ovvero 2 sezioni a monte e 2 sezioni a valle rispetto all'immissione del Torbella.
  È stata, dunque, condotta una simulazione con la stessa geometria e condizioni al contorno utilizzate nel PdB (Scenario 1) e, per valutare le differenze con lo stato di progetto, è stata condotta anche una simulazione in cui si ipotizza l'immissione dello scolmatore del rio Maltempo (Scenario 1bis). In questo modo è possibile valutare i profili idraulici che si instaurano con la configurazione attuale del fondo, ma con la portata incrementata come nello stato di progetto.
- **Stato di progetto**: è stato considerato lo stesso schema dello stato di fatto, inserendo la modifica delle quote del fondo del t. Torbella a partire dalla sezione in cui si prevede l'immissione dello scolmatore proveniente dal rio Maltempo fino al salto di fondo situato a monte della foce nel Polcevera. Nello stato di progetto si considera l'immissione dello scolmatore proveniente dal rio Maltempo nella sezione a valle del ponte di via Carlo Fasciotti (tra TO-30 e TO-31). Anche in questo caso, al fine di valutare l'effetto della confluenza nel t. Polcevera, sono state inserite alcune sezioni di questo corso d'acqua, ovvero 2 sezioni a monte e 2 sezioni a valle rispetto all'immissione del Torbella.
  Sono stati valutati tre diversi Scenari, che ipotizzano diverse soluzioni per la riprofilatura del fondo:
  - una prima soluzione (Scenario 2) che impone una pendenza media del tratto riprofilato pari a $i = 1.6\ \%$, la quale è ottenuta dalla differenza tra la quota della sezione subito a monte e a valle del tratto da riprofilare;
  - una seconda soluzione (Scenario 3) che impone una pendenza media del tratto riprofilato pari a $i = 1.1\ \%$. Tale pendenza si suppone essere più aderente alla pendenza di equilibrio del corso d'acqua, sulla base del calcolo effettuato con la formula di Valentini con differenti granulometrie (l'analisi approfondita a riguardo si trova nel capito 4). Si descrive nel seguito la definizione del profilo del fondo nel dettaglio, dove sono inseriti n.4 salti di fondo.
  - una terza soluzione (Scenario 4) mette insieme la configurazione della riprofilatura

dell'alveo propria della soluzione precedente, ma tenendo in considerazione le problematiche che lo scavo del fondo del corso d'acqua può indurre a discapito delle opere spondali.

Per questo motivo si prevede il rifacimento del ponte via Canepari e della passerella pedonale in prossimità della foce nel t. Polcevera e la realizzazione di un rivestimento sul fondo dell'alveo a partire da valle del 2° ponte ferroviario fino alla ricongiunzione con l'alveo attuale. Al fine di evitare di arrecare danno alle opere spondali con uno scavo eccessivo dell'alveo e di comprometterne la stabilità, si prevede di realizzare una savanella centrale e mantenere due banche laterali a quota più o meno analoga allo stato attuale.

La scabrezza è considerata uniforme nel t. Torbella e rappresentata dal coefficiente di Strickler $K_S = 33\ m^{1/3}/s$ ($n = 0.03\ m^{-1/3}s$) e pari a $40\ m^{1/3}/s$ ($n = 0.025\ m^{-1/3}s$) nei tratti plateati come le rampe previste nello stato di progetto, coerentemente al PdB, sia nello stato di fatto che in quello di progetto.

3.1.2 Condizioni al contorno

Si premette che, seguendo l'approccio del PdB, si considera la confluenza del t. Torbella nel t. Polcevera 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 60°. Nella variazione di portata del Polcevera viene anche tenuto in considerazione il contributo del t. Fegino, affluente in destra idraulica all'incirca nella stessa sezione dell'immissione del t. Torbella.

Le condizioni al contorno nel t. Polcevera, esposte in Tabella 3-1 e comuni a tutte le simulazioni che vengono descritte in seguito, sono dunque le seguenti:

Tabella 3-1: Condizioni al contorno per il t. Polcevera

t. Polcevera	Tr (anni)	Monte (POL-37)	In. Torbella+Fegino (POL-35)	Valle (POL-34)
Tutti gli scenari	200	$Q = 1377\ m^3/s$	$Q = 1763\ m^3/s$	$H_v = 14.89\ m\ s.m.m.$
	50	$Q = 1209\ m^3/s$	$Q = 1542\ m^3/s$	$H_v = 14.36\ m\ s.m.m.$

Sulla base di questa premessa, che influisce sul calcolo della condizione di valle del t. Torbella, si espongono nella Tabella 3-2 le condizioni al contorno del t. Torbella:

Tabella 3-2: Condizioni al contorno adottate nella verifica idraulica del t. Torbella

Stato di fatto	Tr (anni)	Monte (TO-40)	In. Scolmatore (TO-30)	Valle (TO-1)
Scenario 1	200	$Q = 145\ m^3/s$	$Q = 145\ m^3/s$	$H_v = 17.78\ m\ s.m.m.$
	50	$Q = 115\ m^3/s$	$Q = 115\ m^3/s$	$H_v = 16.87\ m\ s.m.m.$
Scenario 1bis	200	$Q = 145\ m^3/s$	$Q = 164\ m^3/s$	$H_v = 17.78\ m\ s.m.m.$
	50	$Q = 115\ m^3/s$	$Q = 125\ m^3/s$	$H_v = 16.87\ m\ s.m.m.$
Stato di progetto	**Tr (anni)**	**Monte (TO-40)**	**In. Scolmatore (TO-30)**	**Valle (TO-1)**
Scenario 2, 3, 4	200	$Q = 145\ m^3/s$	$Q = 164\ m^3/s$	$H_v = 17.78\ m\ s.m.m.$
	50	$Q = 115\ m^3/s$	$Q = 125\ m^3/s$	$H_v = 16.87\ m\ s.m.m.$

3.1.3 Stato di fatto (Scenario 1 e 1bis)

La prima simulazione, corrispondente allo Scenario 1, è stata eseguita principalmente ai fini di calibrazione del modello ed è la riproduzione della portata duecentennale e cinquantennale di competenza del T.

Torbella ($Q_{200} = 145\ m^3/s$, $Q_{50} = 115\ m^3/s$), nelle condizioni attuali indicate dal PdB. Il profilo ottenuto è mostrato in Figura 3-1.

Inoltre, vengono riportati in Figura 3-4 i profili idraulici per lo Scenario 1bis, che riproduce una situazione in cui si prevederebbe la realizzazione dello scolmatore del rio Maltempo, con la conseguente immissione di portata, ma senza la riprofilatura dell'alveo del t. Torbella.

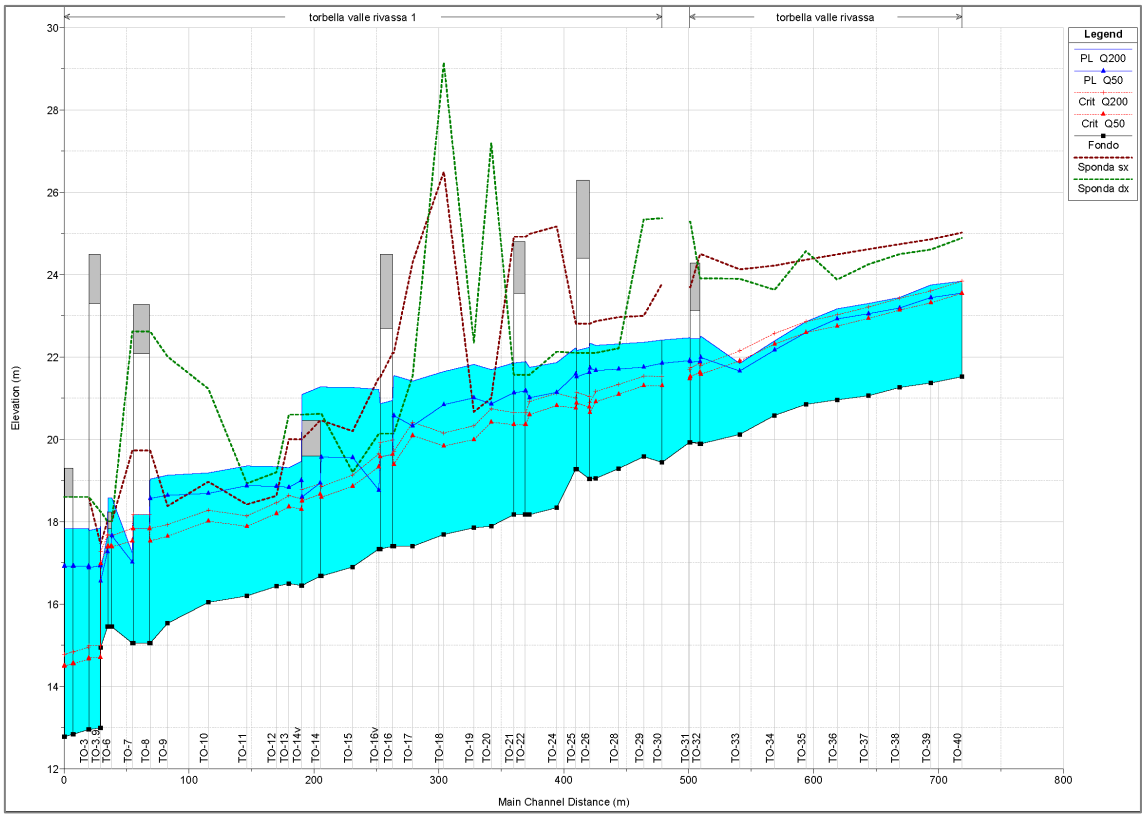


Figura 3-1: Profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

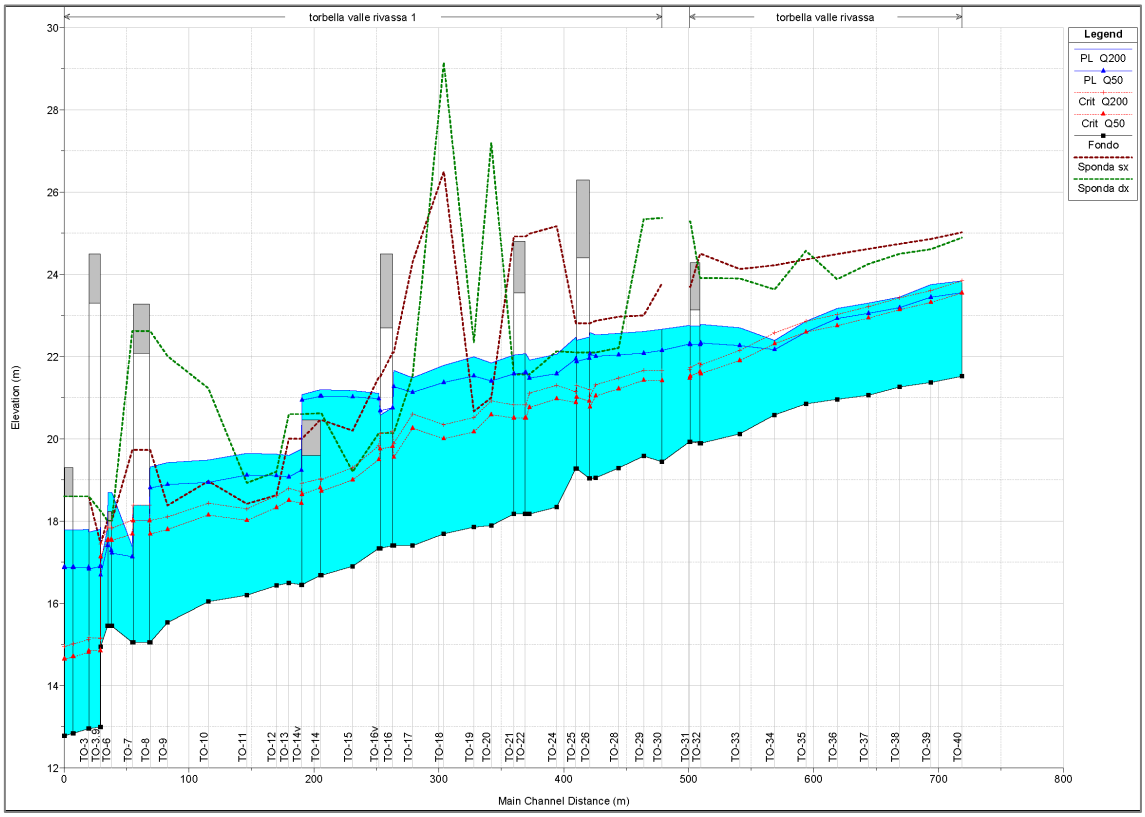


Figura 3-2: Profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

Un semplice confronto tra questi due scenari simulati, riportando i profili in riferimento al tempo di ritorno duecentennale, è riportato in Figura 3-3. Si nota un lieve incremento generalizzato di tirante idraulico dovuto all'aumento di portata, che evidenzia maggiormente le problematiche di sicurezza idraulica del t. Torbella.

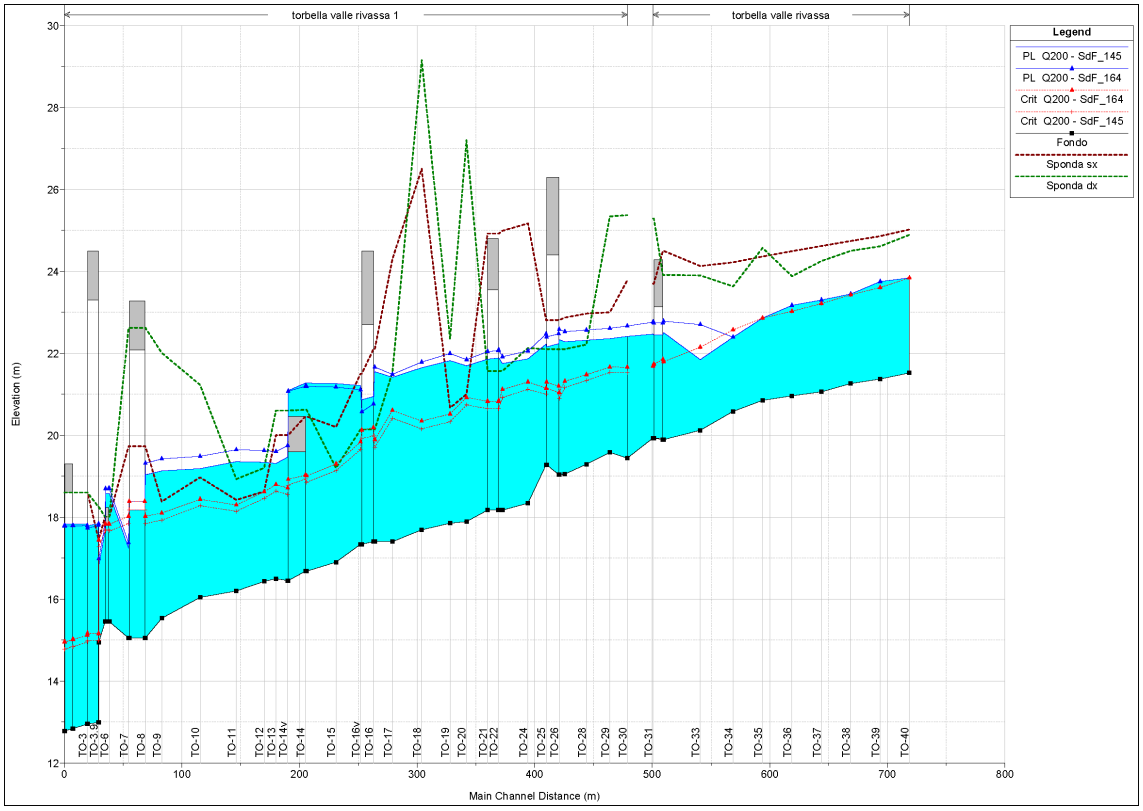


Figura 3-3: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1 (linea blu continua) e 1bis (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

3.1.4 Stato di progetto (Scenario 2)

Nello stato di progetto è stata introdotta nella sezione TO-30 l'incremento di portata scolmata dal Maltempo, ottenendo per una portata complessiva di valle pari a $Q_{200} = 164\ m^3/s$ e $Q_{50} = 125\ m^3/s$.
Si riportano i risultati per lo Scenario 2, in cui la pendenza media del tratto riprofilato del fondo del t. Torbella è pari a $i = 1.6\ \%$. I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 3-4. Le differenze tra lo stato di fatto e quello di progetto per il Tr 200 anni sono individuabili nella seguente

Figura 3-5, mentre per il Tr 50 anni nella Figura 3-6.

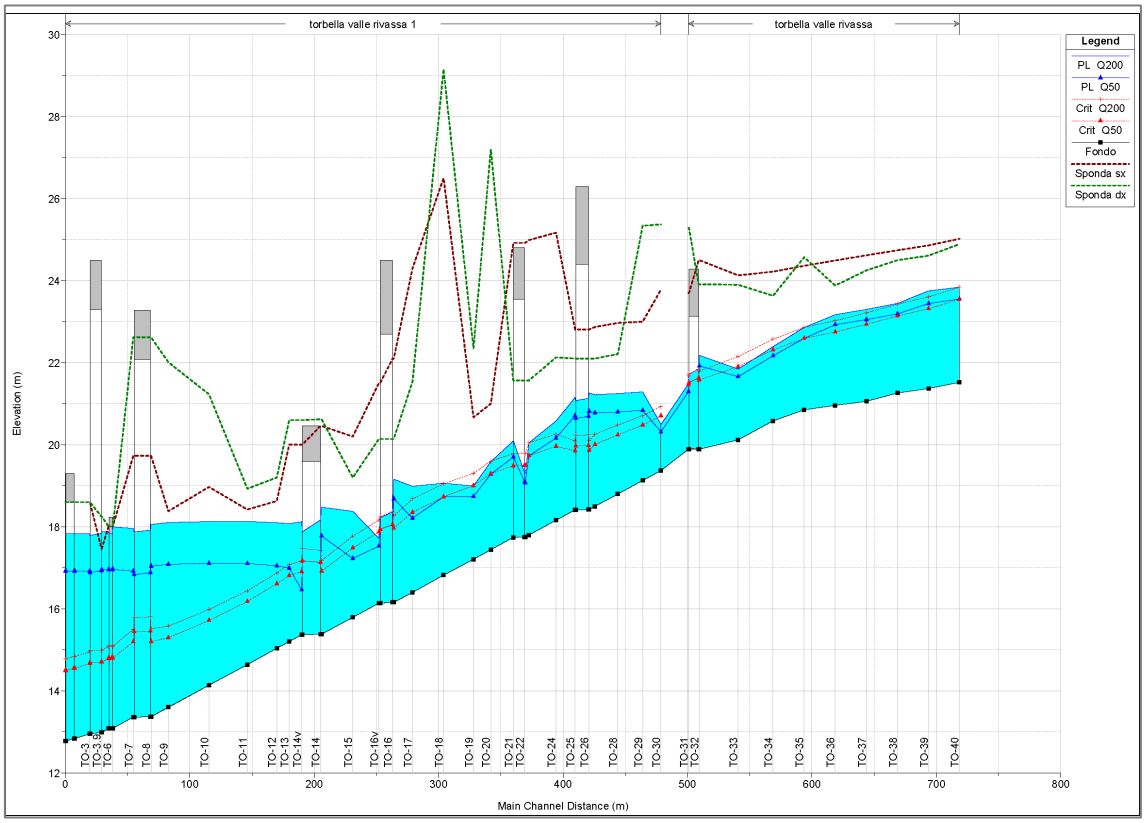


Figura 3-4: Profilo idraulico per lo Scenario 2 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

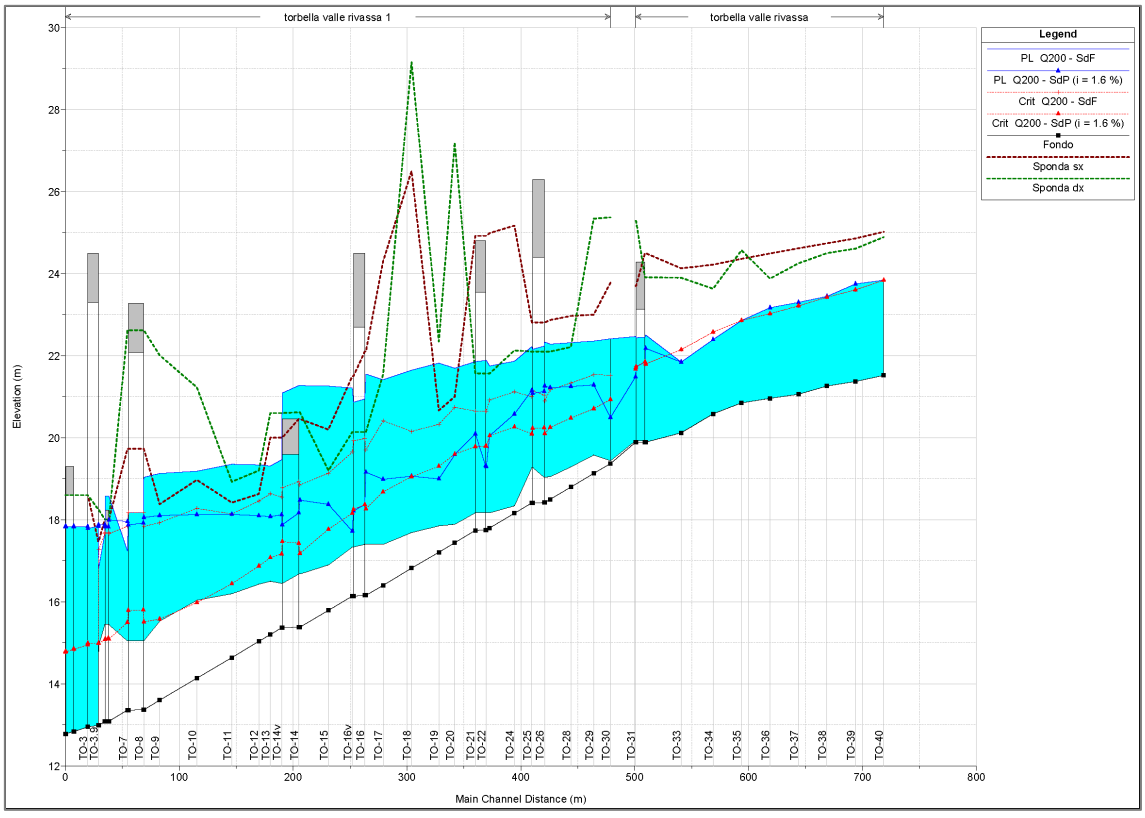


Figura 3-5: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

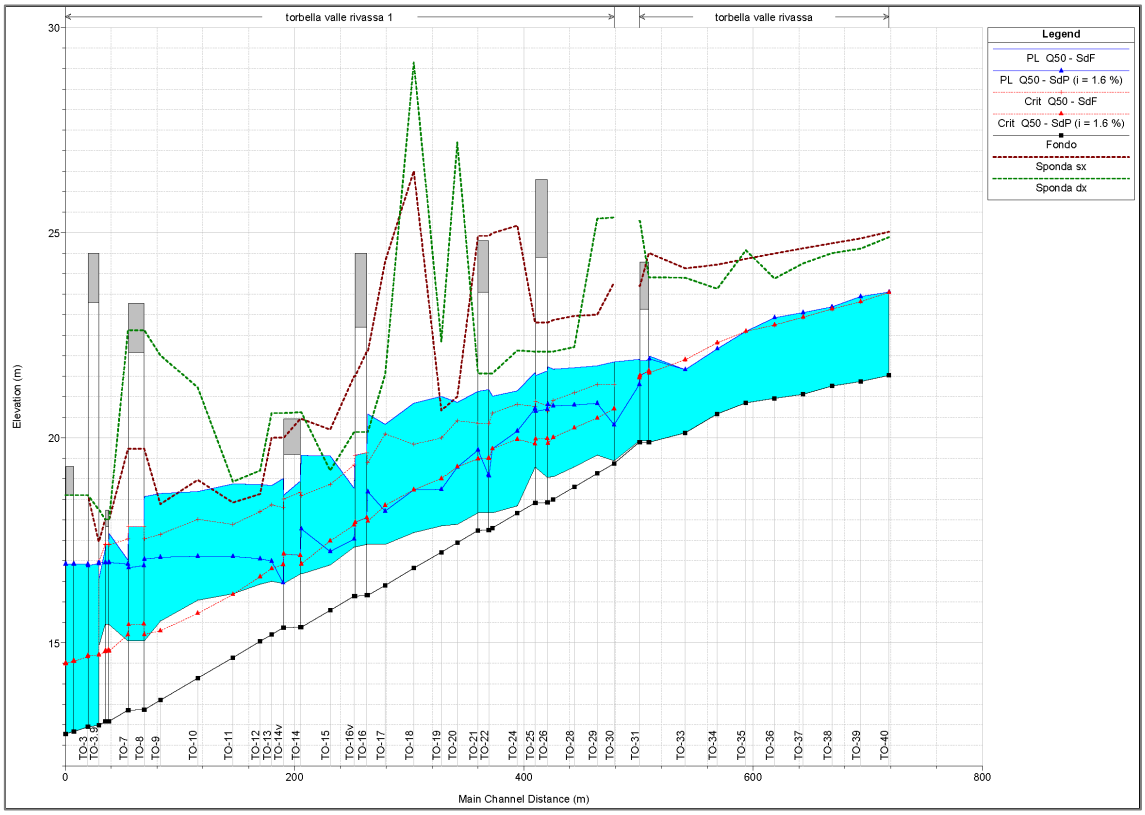


Figura 3-6: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

Si può notare una chiara differenza nel profilo del pelo libero in corrispondenza del ponte di via Casciotti, a valle del quale si prevede l'ubicazione dell'ingresso nel Torbella delle portate provenienti dal Maltempo: sia per il Tr 50 che 200 anni il livello del pelo libero si abbassa di circa 0.2 m a monte del ponte e 0.4 in corrispondenza dello stesso, con corrente veloce a valle invece che lenta. Nel tratto successivo, fino al terzo ponte della ferrovia che attraversa il Torbella, l'abbassamento del pelo libero è notevole, compreso tra 1.5 e 2 m con ripetute transizioni tra corrente veloce e lenta. Tale abbassamento si nota chiaramente anche in corrispondenza e a valle del ponte di Via Canepari. Il ponte carraio a monte dell'attuale notevole salto di fondo viene comunque lambito dal pelo libero per il Tr 200 anni, a causa del livello imposto da valle dalla confluenza con il t. Polcevera.

3.1.5 Stato di progetto (Scenario 3)

I risultati ottenuti per lo Scenario 3, in cui la pendenza media del tratto riprofilato del fondo del t. Torbella è pari a $i = 1.1\ \%$, sono riportati di seguito. Dal momento che tale pendenza non garantisce il superamento dell'intero dislivello del tratto in oggetto in modo continuo, sono stati inseriti n. 4 salti di fondo: a partire da valle essi sono ubicati in corrispondenza dell'attuale salto del Polcevera, a valle del ponte di Via Canepari, a valle del precedente ponte della ferrovia e subito a monte dell'immissione dello scolmatore. Tali salti determinano un dislivello di 0.6 m ciascuno.

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 3-7. Le differenze tra lo stato di fatto e quello di progetto per il Tr 200 anni sono individuabili nella seguente Figura 3-8, mentre per il Tr 50 anni nella Figura 3-9.

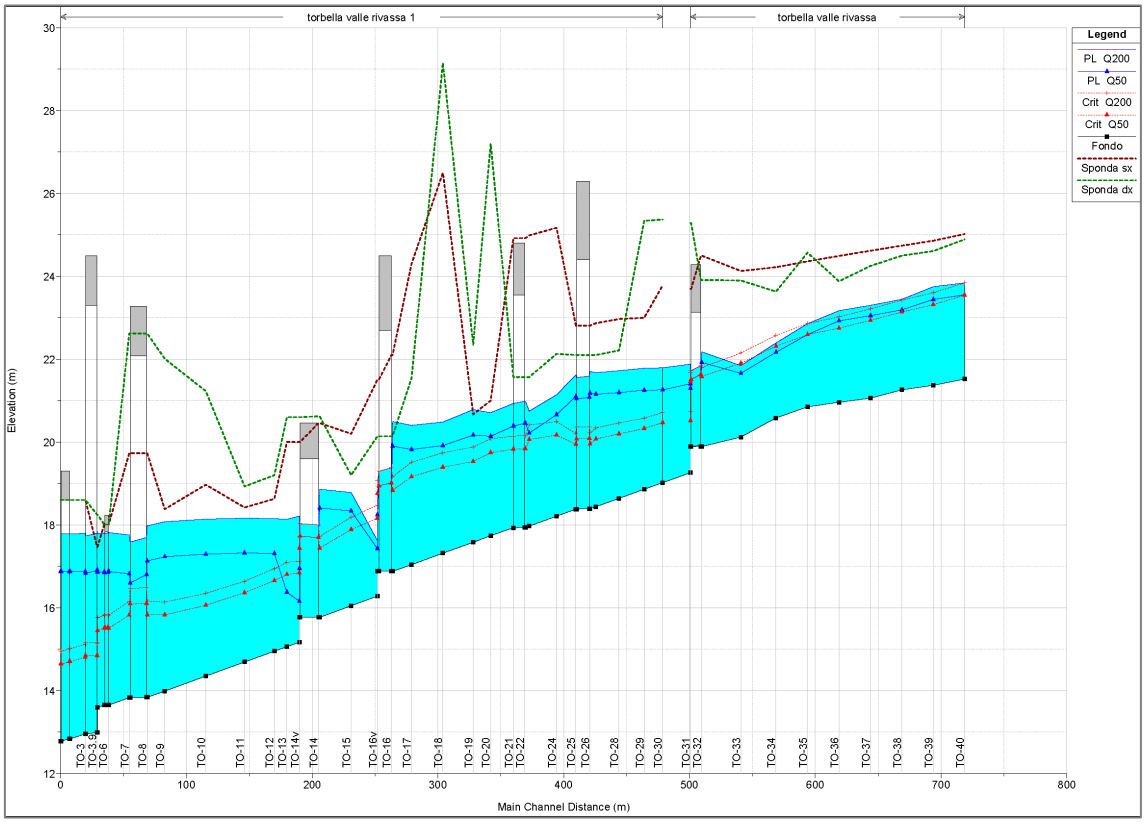


Figura 3-7: Profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

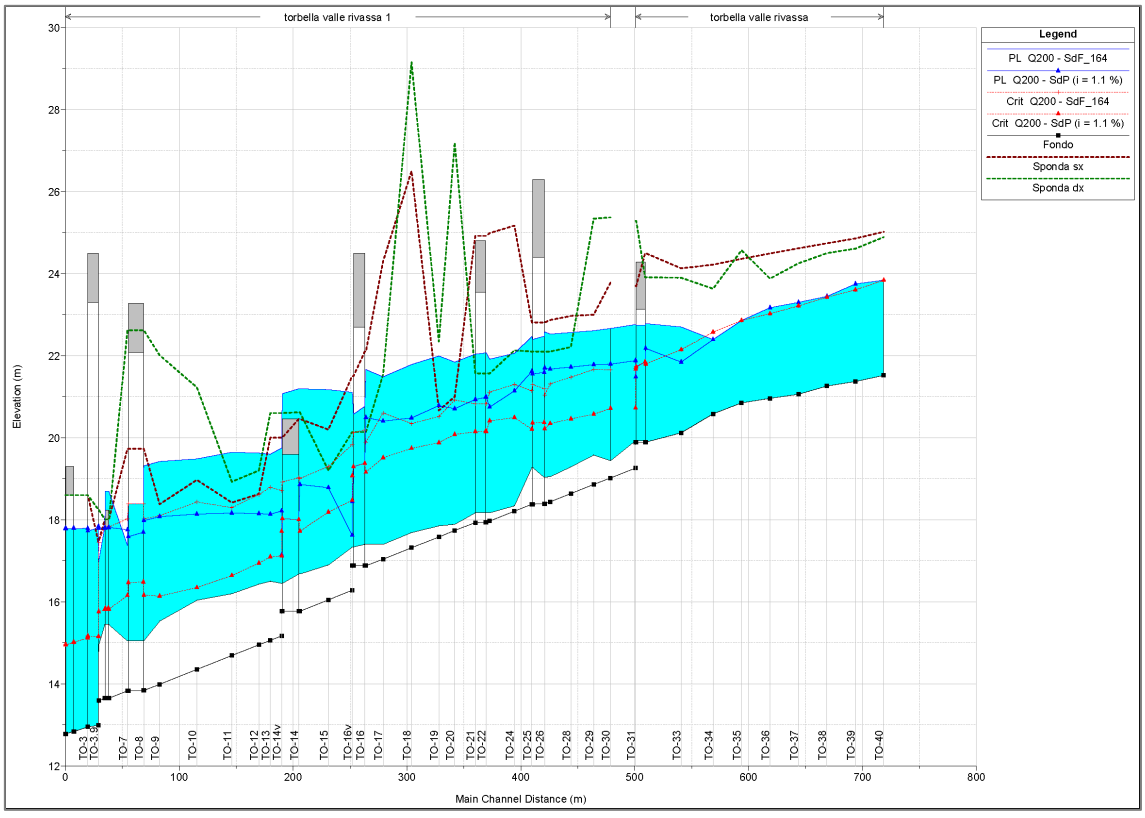


Figura 3-8: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 3 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

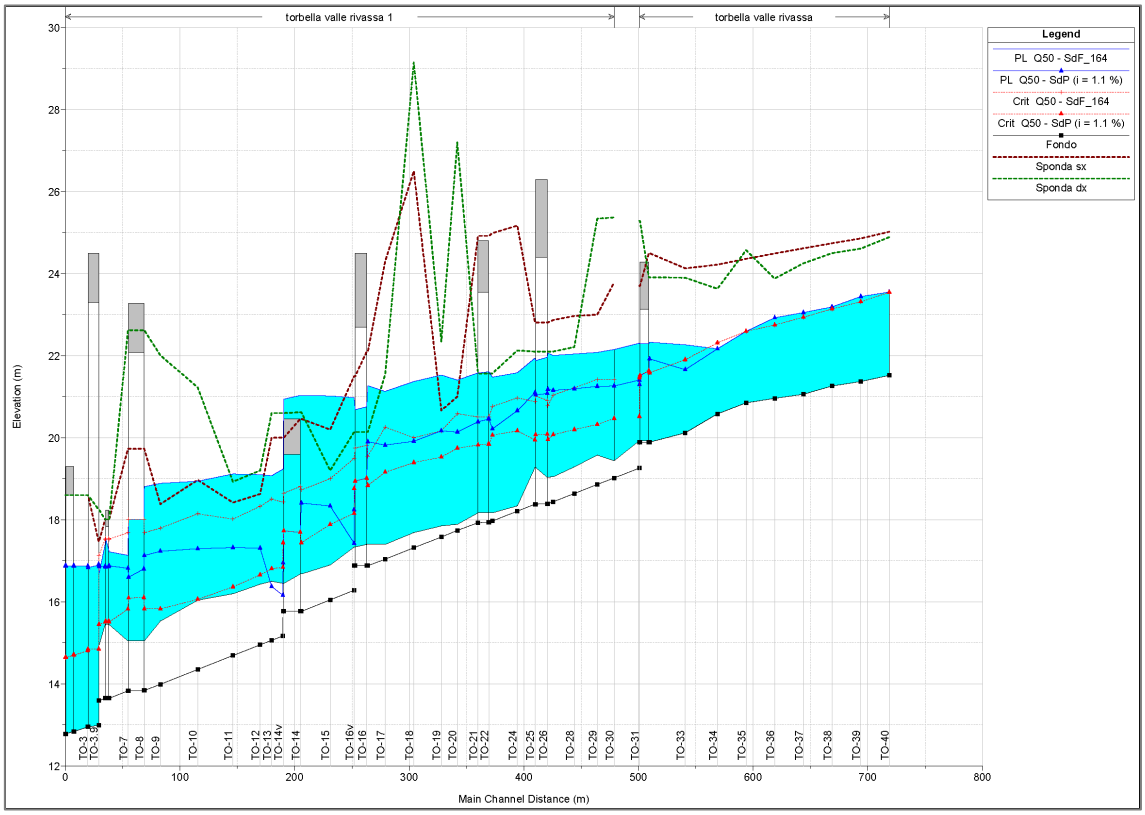


Figura 3-9: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 3 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

Si può notare una chiara differenza nel profilo del pelo libero in corrispondenza del ponte di via Casciotti, a valle del quale si prevede l'ubicazione dell'ingresso nel Torbella delle portate provenienti dal Maltempo: sia per il Tr 50 che 200 anni il livello del pelo libero si abbassa di circa 0.2 m a monte del ponte e 0.4 in corrispondenza dello stesso. Nel tratto successivo, fino al terzo ponte della ferrovia che attraversa il Torbella, l'abbassamento del pelo libero è notevole, compreso tra 1.5 e 2 m con ripetute transizioni tra corrente veloce e lenta. Tale abbassamento si nota chiaramente anche in corrispondenza e a valle del ponte di Via Canepari. Il ponte carraio a monte dell'attuale notevole salto di fondo viene comunque lambito dal pelo libero per il Tr 200 anni, a causa del livello imposto da valle dalla confluenza con il t. Polcevera.

3.1.6 Stato di progetto (Scenario 4)

I risultati ottenuti per lo Scenario 4, in cui la pendenza media del tratto riprofilato del fondo del t. Torbella è pari a $i = 1.1$ % e la configurazione della riprofilatura del fondo segue lo schema indicato nel sottoparagrafo 3.1.1, sono riportati di seguito. Come nello Scenario precedente, la pendenza media imposta non garantisce il superamento dell'intero dislivello del tratto in oggetto in modo continuo, e, per questo motivo, sono state inserite n. 3 rampe longitudinali: a partire da valle essi sono ubicati in corrispondenza dell'attuale salto del Polcevera, a valle del ponte della ferrovia situato a monte di Via Canepari e subito a monte dell'immissione dello scolmatore. Tali rampe coprono un dislivello verticale di 0.6 m ciascuno. Inoltre, si ipotizza il rifacimento del ponte di Via Canepari e della passerella pedonale di valle, eliminando le rispettive pile in alveo.

I profili idraulici per il Tr 200 e 50 anni sono riportati in Figura 3-13. Le differenze tra lo stato di fatto e quello di progetto per il Tr 200 anni sono individuabili in Figura 3-14, mentre per il Tr 50 anni nella Figura 3-12.

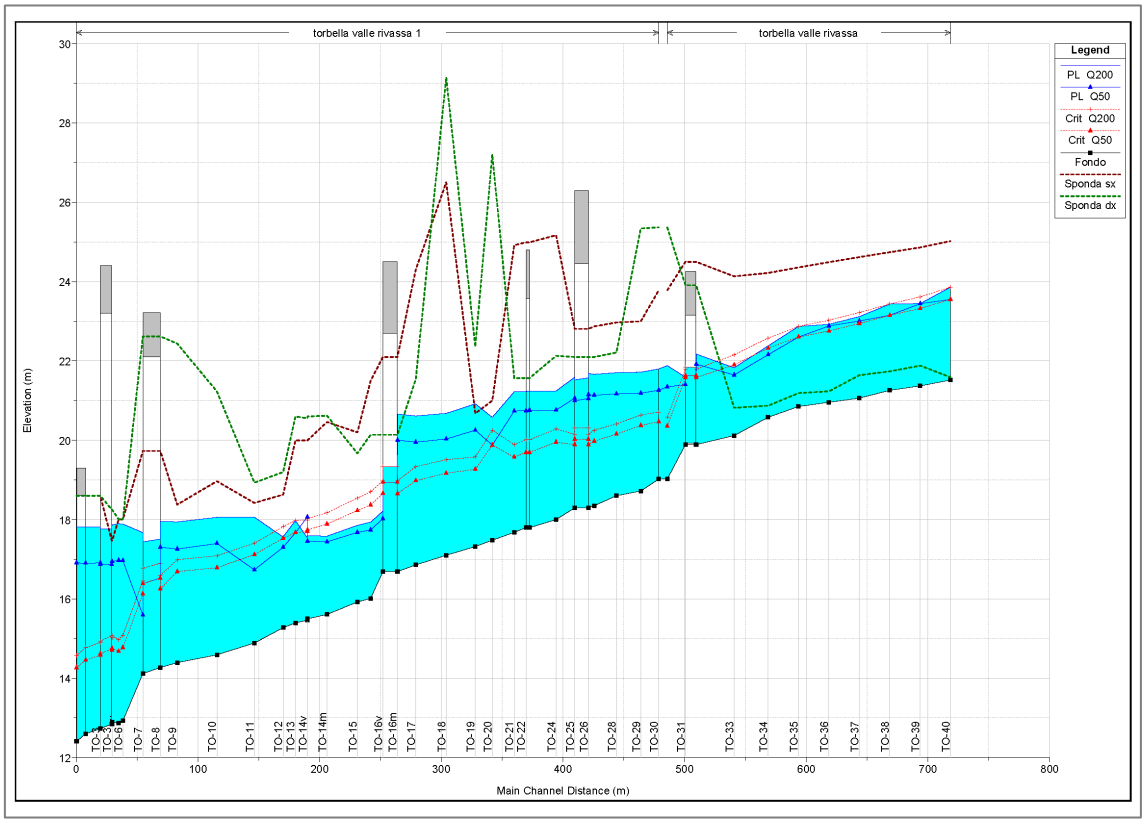


Figura 3-10: Profilo idraulico per lo Scenario 4 (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

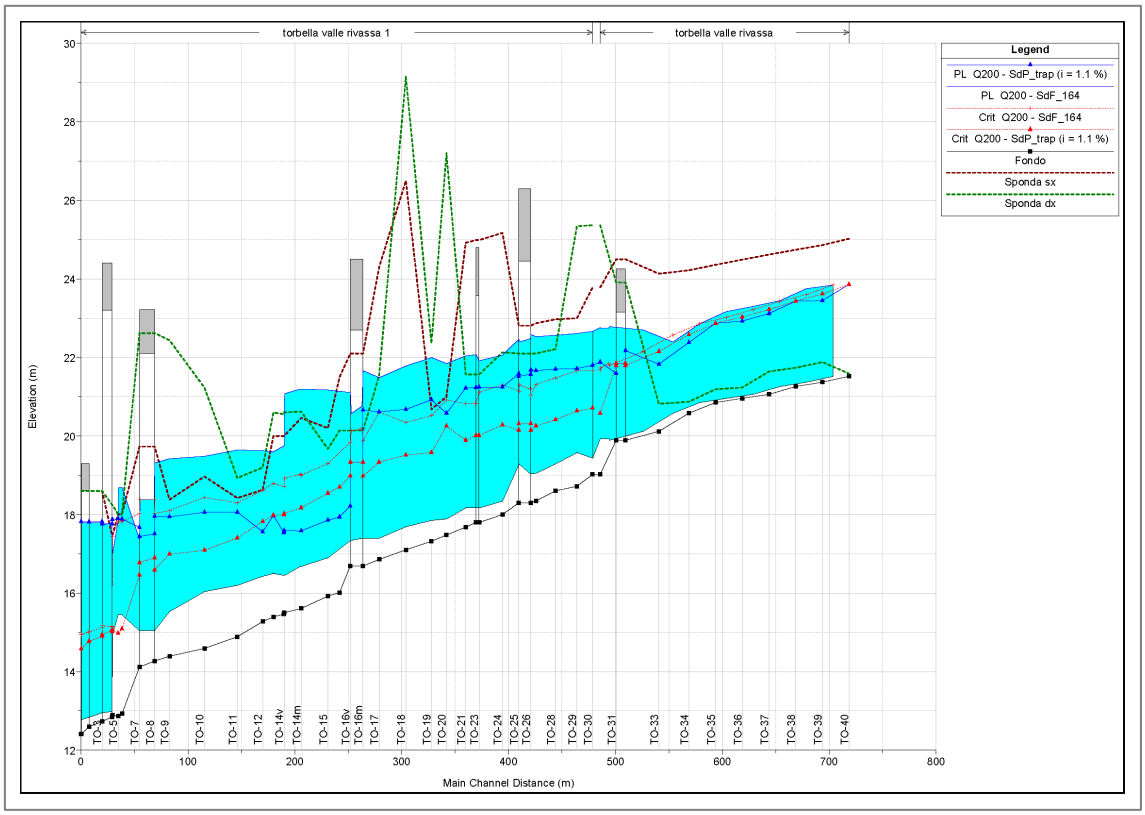


Figura 3-11: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

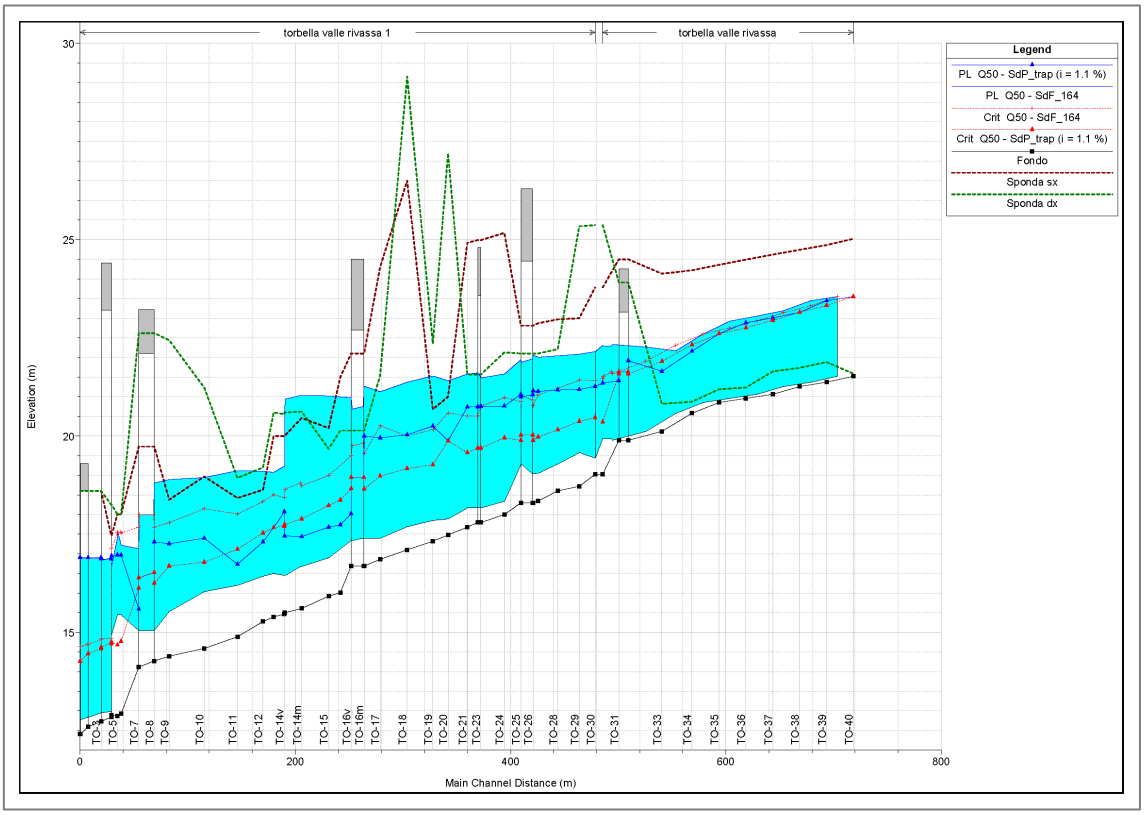


Figura 3-12: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 1bis (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

Anche in questo caso, come nel precedente, si può notare una chiara differenza nel profilo del pelo libero in corrispondenza del ponte di via Casciotti, a valle del quale si prevede l'ubicazione dell'ingresso nel Torbella delle portate provenienti dal Maltempo: sia per il Tr 50 che 200 anni il livello del pelo libero si abbassa di circa 0.2 m a monte del ponte e 0.4 in corrispondenza dello stesso. Nel tratto successivo, fino al secondo ponte della ferrovia che attraversa il Torbella, l'abbassamento del pelo libero è all'incirca pari a 1 m con ripetute transizioni tra corrente veloce e lenta. Tale abbassamento si nota chiaramente anche in corrispondenza e, soprattutto, a valle del ponte di Via Canepari, con una riduzione notevole del livello idraulico. L'eliminazione del ponte carraio a monte dell'attuale notevole salto di fondo riduce la quota del pelo libero a monte, soprattutto per il Tr 200 anni.

3.1.7 Risultati

Dal momento che tra gli Scenari dello stato di progetto sono presenti due molto simili, ovvero il 3 e 4, si procede nell'esposizione dei risultati delle simulazioni, confrontando i profili idraulici ottenuti nel seguente modo:

- si riporta in Figura 3-13 e Figura 3-14 il confronto tra lo Scenario 2 e 3, per valutare le differenze che sono originate dalla differente pendenza imposta del fondo alveo;
- si riporta in Figura 3-15 e Figura 3-16 il confronto tra lo Scenario 3 e 4, per valutare le differenze che sono originate dalla differente configurazione imposta alla riprofilatura del fondo alveo, mantenendo la medesima pendenza media;

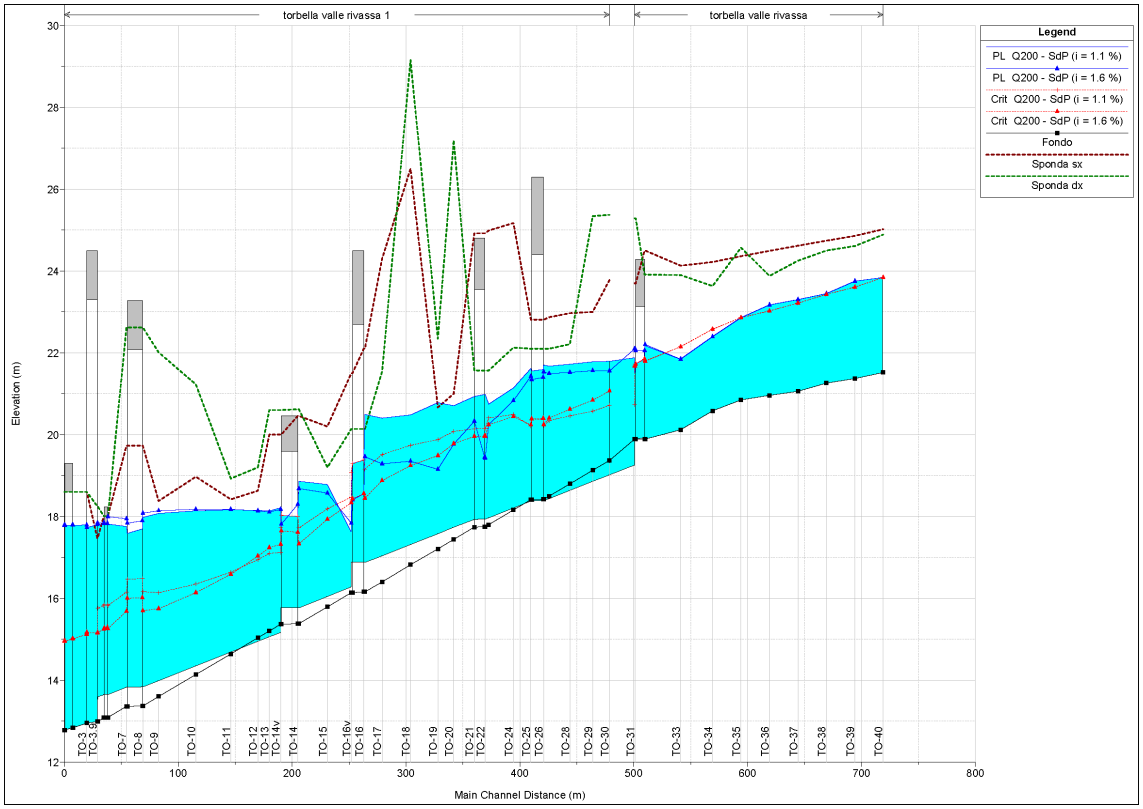


Figura 3-13: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

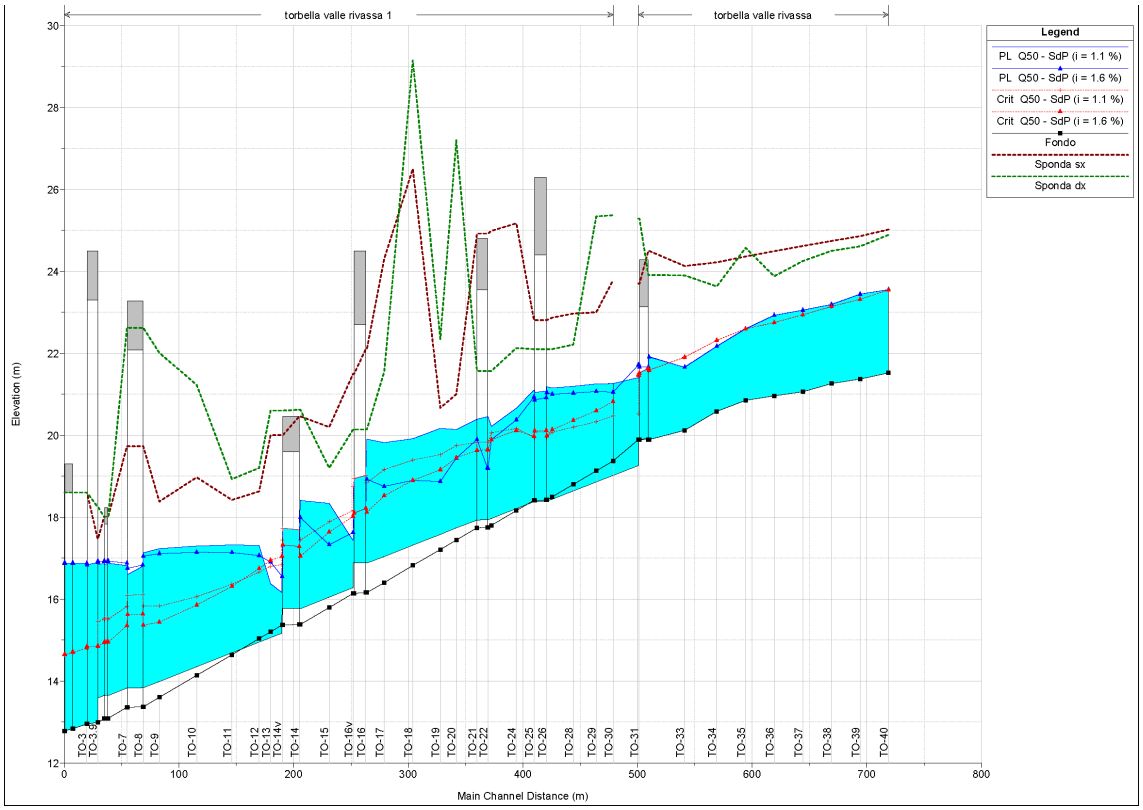


Figura 3-14: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 2 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

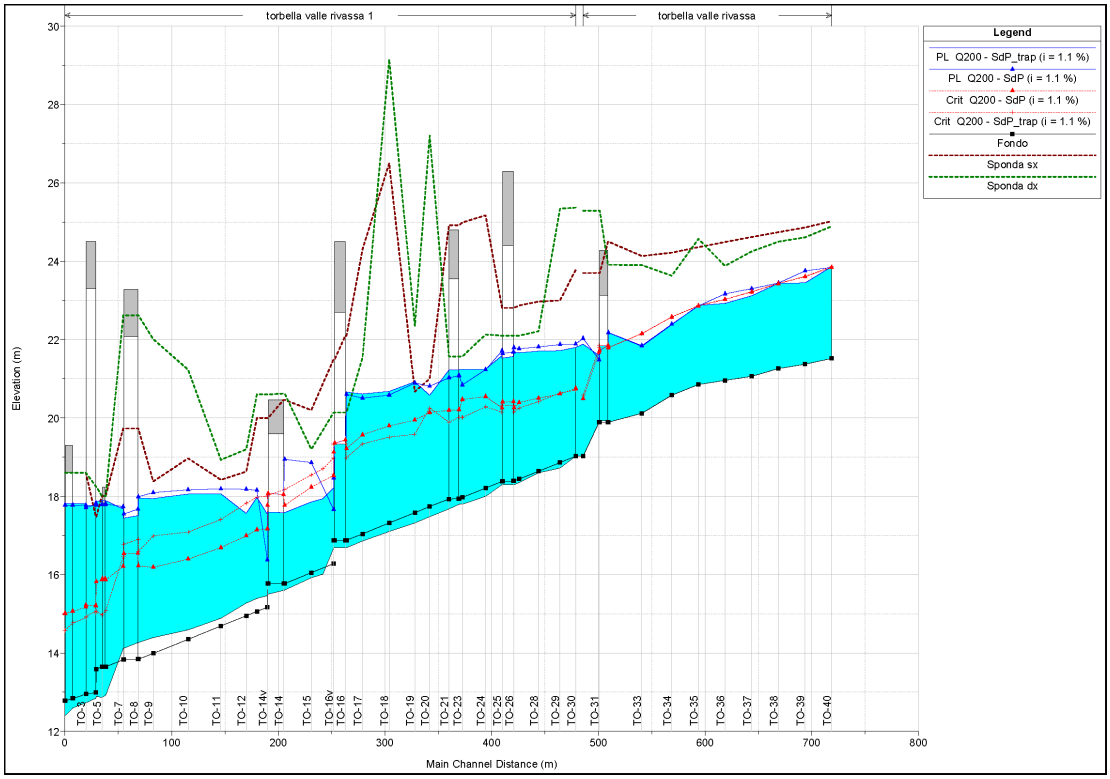


Figura 3-15: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

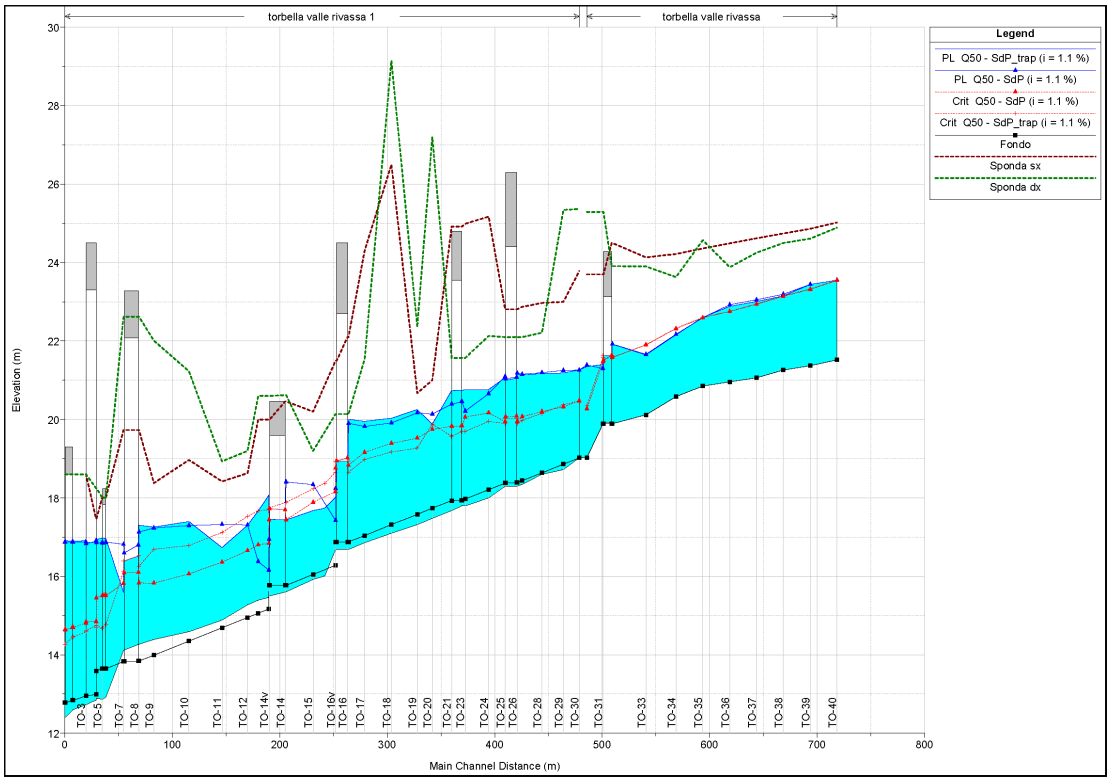


Figura 3-16: Confronto tra profilo idraulico per lo Scenario 3 (linea blu continua) e 4 (linea blu con marcatore): tiranti idrici Tr 50 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

I risultati comuni a tutti gli Scenari dello stato di progetto rispetto allo stato di fatto sono i seguenti:

- Il sormonto del ponte Canepari viene risolto;
- Considerando il tempo di ritorno duecentennale, quasi dappertutto le sponde risultano essere superiori alla quota del livello idrico. Con un rialzo mirato delle sponde si può ottenere l'eliminazione del rischio di esondazione: gli unici due punti critici rimangono subito a monte del 2° ponte della ferrovia in sponda destra e circa 50 m a monte in sponda sinistra;
- La passerella pedonale della sezione TO-5 viene lambito dal livello idraulico per il tempo di ritorno duecentennale a causa del rigurgito del Polcevera. Verranno proposte adeguate misure per garantirne la tenuta idraulica (ad esempio tramite la continuità idraulica tra i parapetti del ponte e le sponde arginali, oppure ipotizzando la modifica strutturale del ponte stesso).

Le differenze tra gli Scenari 2 e 3 si concentrano principalmente tra i due ponti ferroviari a monte del ponte di via Canepari, i quali si collocano nelle sezioni TO-16 e TO-22, da valle verso monte. Nello scenario 3, che prevede di assegnare una pendenza più lieve rispetto allo Scenario 2, ma comunque maggiore rispetto allo stato di fatto, il livello idraulico annulla il franco rispetto alla sponda sinistra nella sezione TO-19 e rispetto a quella destra subito a monte del ponte nella sezione TO-16. La scelta dello Scenario 3 porterebbe dunque alla necessità di adeguare con attenzione questo tratto spondale.

Le differenze, invece, tra gli Scenari 3 e 4 sono sostanzialmente concentrate tra le sezioni a monte e valle del ponte di Via Canepari, per il quale viene proposto il rifacimento e l'eliminazione della pila centrale in alveo nello Scenario 4: il livello idraulico in quest'ultimo scenario è notevolmente inferiore proprio grazie all'eliminazione dell'effetto di restringimento. La cosa più importante da sottolineare, tuttavia, è che non sono evidenti rilevanti differenze in tutti gli altri tratti. Si può, dunque, assumere che la realizzazione di una riprofilatura dell'alveo come prevista nello Scenario 4 non varia in modo rilevante i profili idraulici, in particolare dal punto di vista della sicurezza idraulica.

La riprofilatura imposta nello Scenario 2 impone una pendenza del fondo dell'alveo molto maggiore rispetto allo stato attuale. Il compenso in termini di sicurezza idraulica rispetto agli Scenari 3 e 4 si concentrerebbe solo nella zona compresa tra il ponte di via Canepari ed il ponte della ferrovia posto a monte, con un abbassamento più marcato del livello idraulico con la portata duecentennale. Tuttavia, la pendenza imposta in questo scenario potrebbe innescare fenomeni di erosione non solo localizzata, ma anche globale dell'intero tratto. Sulla base delle indagini in alveo, da cui si potrà definire la granulometria dello stesso, si potrà comprendere con più esattezza quale sia la pendenza più adeguata a mantenere nel tempo un equilibrio dell'alveo.

Inoltre, sebbene caratterizzato da una pendenza più contenuta, anche nello Scenario 3 sono presenti problematiche progettuali di rilievo: lo scavo dell'alveo risulterebbe meno marcato di quello dello Scenario 2, ma in ogni caso potrebbe determinare problematiche notevoli di stabilità delle opere spondali e delle pile dei ponti in alveo, soprattutto nella parte più a valle del tratto oggetto di studio.

Per questo motivo, la configurazione dell'alveo definita nello Scenario 4, che mette insieme una pendenza media che incrementa l'attuale ma in modo più contenuto e che evita uno scavo eccessivo del fondo alveo in prossimità delle opere spondali, oltre a prevedere la rimozione delle pile in alveo del ponte di via Canepari e della passerella pedonale, risulta essere la più adeguata all'intervento oggetto di studio.

Un riassunto delle considerazioni che provengono dall'analisi dei risultati è riportato in Tabella 3-3.

Tabella 3-3: Sintesi dei vantaggi e svantaggi degli Scenari considerati

Scenario	Vantaggi	Svantaggi
1 e 1bis (SdF)	-	Problematiche connesse alla sicurezza idraulica: insufficienza idraulica in più punti, ponte di via Canepari funziona in pressione e determina forte rigurgito a monte Pendenza media troppo bassa e conseguente sovralluvionamento generalizzato dell'alveo
2 (SdP)	Rimozione del deposito e aumento della pendenza media ($i = 1.6\ \%$) Eliminazione dei problemi di insufficienza idraulica	La pendenza imposta in questo caso potrebbe essere eccessiva e determinare fenomeni di erosione localizzata e globale La riprofilatura a sezione rettangolare, molto accentuata verso valle, potrebbe provocare problemi di stabilità alle opere spondali
3 (SdP)	Rimozione del deposito e aumento moderato della pendenza media ($i = 1.1\ \%$) Eliminazione della maggior parte dei problemi di insufficienza idraulica	Nel tratto compreso tra i due ponti ferroviari tra le sezioni TO-16 e TO-22 il livello idraulico con la portata di progetto azzera il franco rispetto alle sponde La riprofilatura a sezione rettangolare, molto accentuata verso valle, potrebbe provocare problemi di stabilità alle opere spondali
4 (SdP)	Rimozione del deposito e aumento moderato della pendenza media ($i = 1.1\ \%$) Eliminazione della maggior parte dei problemi di insufficienza idraulica La riprofilatura nel tratto di valle con scavo localizzato al centro della sezione permette di evitare di provocare problemi di stabilità alle opere spondali	Nel tratto compreso tra i due ponti ferroviari tra le sezioni TO-16 e TO-22 il livello idraulico con la portata di progetto azzera il franco rispetto alle sponde

Si confermerebbe dunque che lo sbocco della galleria scolmatrice di parte delle portate del bacino del Rio Maltempo nel tratto terminale del Torrente Torbella, unitamente alle migliorie proposte, non solo non induca aggravio alle criticità idrauliche ed ai relativi rischi già riportati negli atti del PDB, ma anzi consentano auspicabilmente di mitigare in modo sostanziale tali problematiche, eliminando il rischio di allagamento nella tratta oggetto di studio.

3.2 Rappresentazione dell'intervento di sistemazione idraulica previsto

La soluzione progettuale definita prevede, dunque, la suddivisione del tratto di t. Torbella in diversi tratti, 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 terzo ponte della ferrovia che attraversa il t. Torbella, si prevede uno scavo generalizzato dell'alveo

per una profondità media di circa 0.5 m rispetto al livello attuale. In Figura 3-17 e Figura 3-18 si riportano rispettivamente la planimetria e la sezione tipo del tratto.

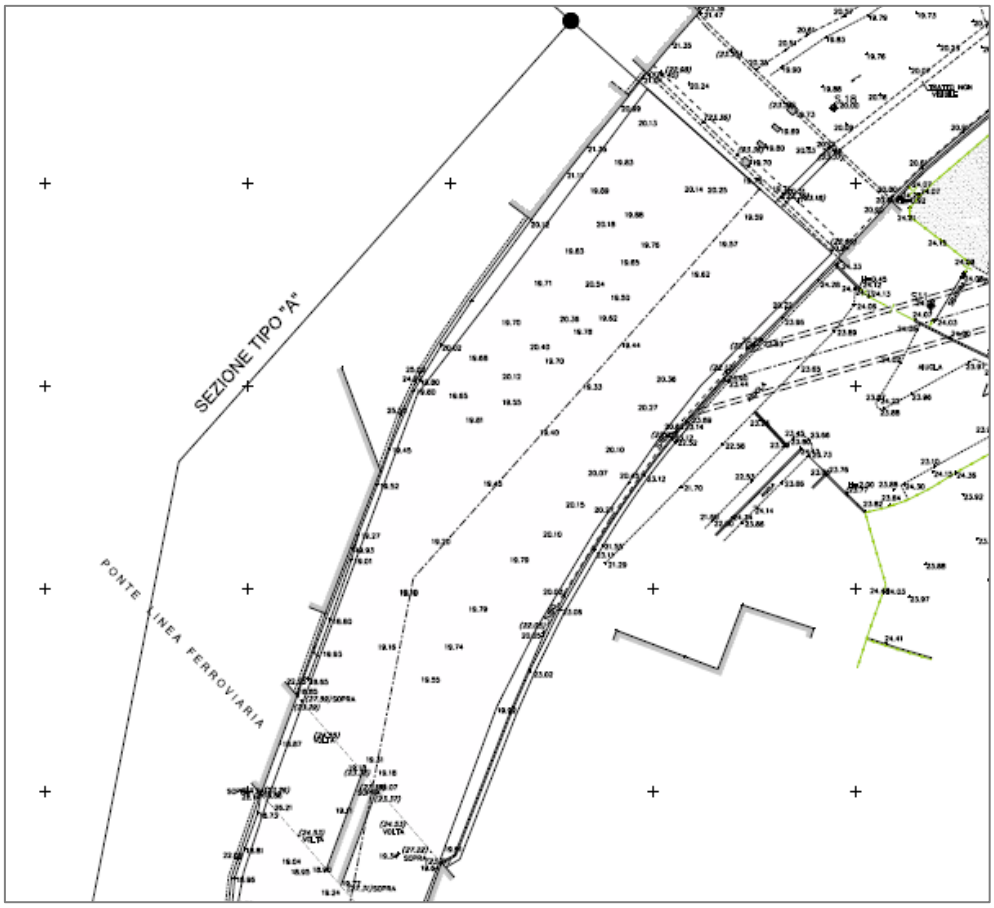


Figura 3-17: Planimetria del primo tratto d'intervento nel t. Torbella



Figura 3-18: Sezione tipo "A" nel tratto in cui si prevede uno scavo generalizzato dell'alveo

- Nel secondo tratto a partire da monte, a partire dal terzo ponte della ferrovia che attraversa il t. Torbella

fino al termine del tratto di intervento in prossimità della confluenza nel t. Polcevera, si prevede di realizzare una savanella centrale e mantenere due banche laterali a quota più o meno analoga allo stato attuale. In questo modo è possibile evitare di arrecare danno alle opere spondali con uno scavo eccessivo dell'alveo e di comprometterne la stabilità. In Figura 3-19 e Figura 3-20 si riportano rispettivamente la planimetria e la sezione tipo del tratto.

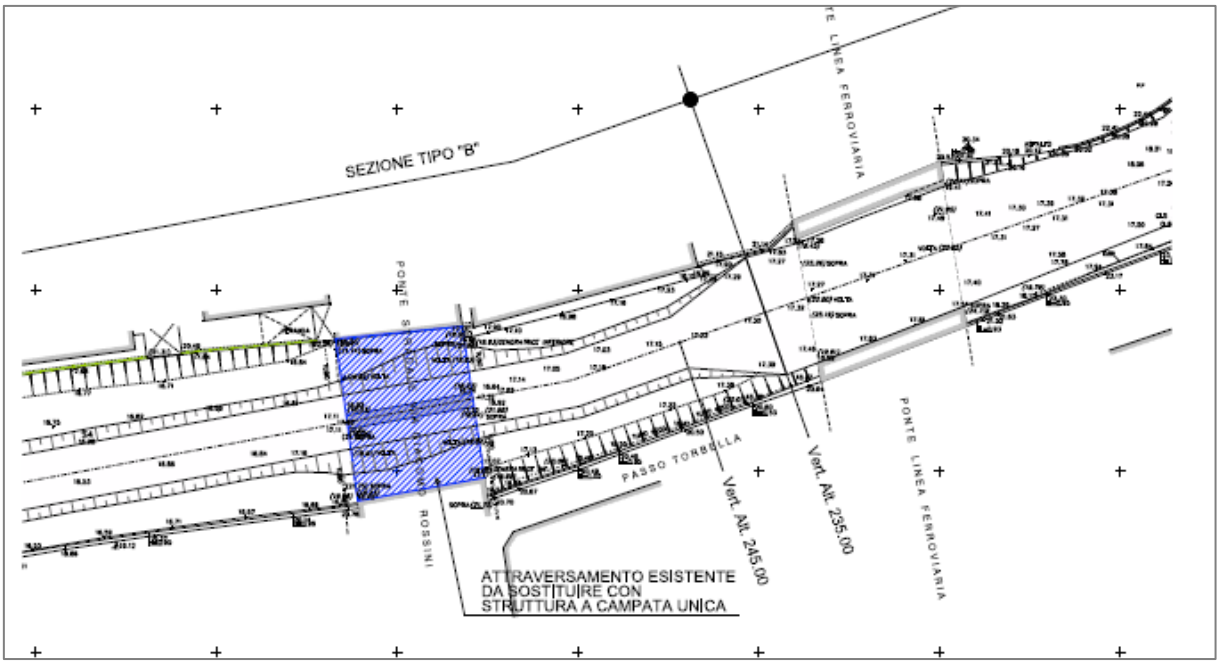


Figura 3-19: Planimetria del secondo tratto d'intervento nel t. Torbella

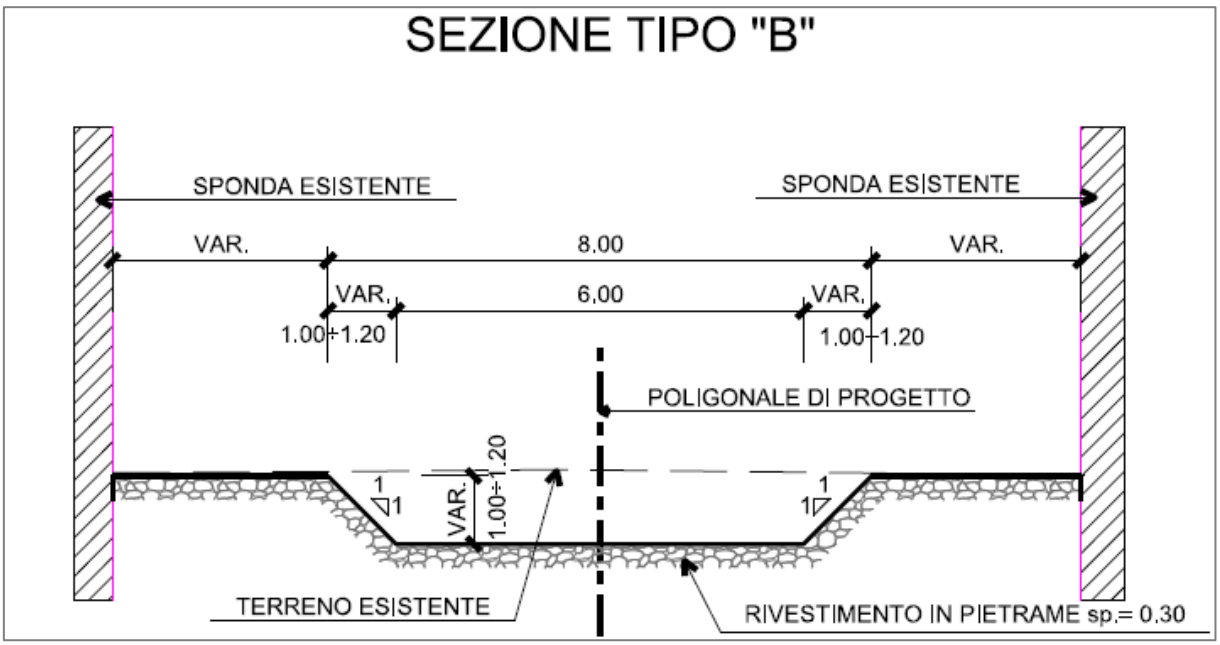


Figura 3-20: Sezione tipo "B" nel tratto in cui si prevede una savanella centrale in alveo

Nel secondo tratto si prevede, dunque, il rifacimento senza pile in alveo del ponte di via Canepari e della passerella pedonale a monte della confluenza. Dal momento che in prossimità della confluenza nel t. Polcevera rimane la presenza della pila in alveo del quarto ponte ferroviario che attraversa il Torbella a partire da monte, si prevede un adattamento della sezione definita sopra di tipo "B" in modo da convogliare

la portata ai lati della pila centrale e garantire la stabilità dell'opera. Dal punto di vista planimetrico si illustra questa parte dell'intervento di sistemazione del t. Torbella in Figura 3-21.

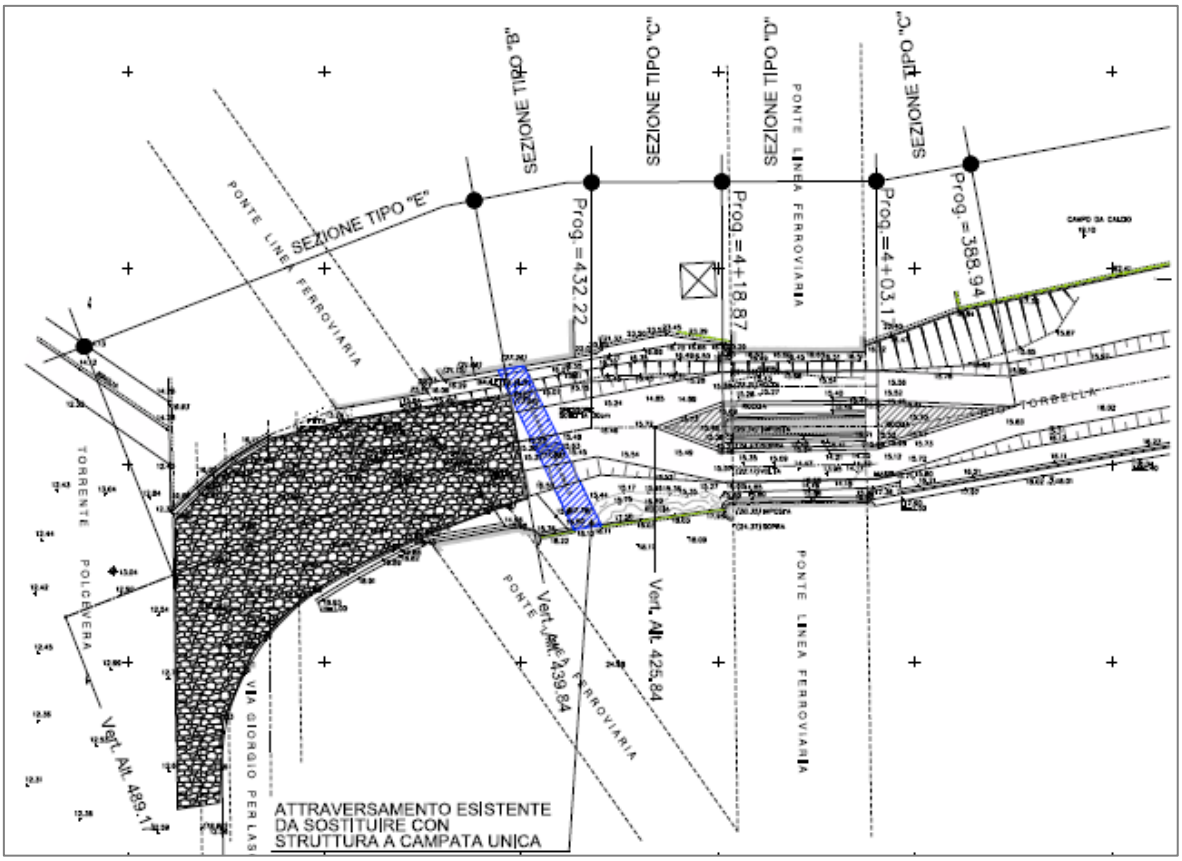


Figura 3-21: Planimetria del secondo tratto nella zona dove rimane la pila del ponte ferroviario in alveo

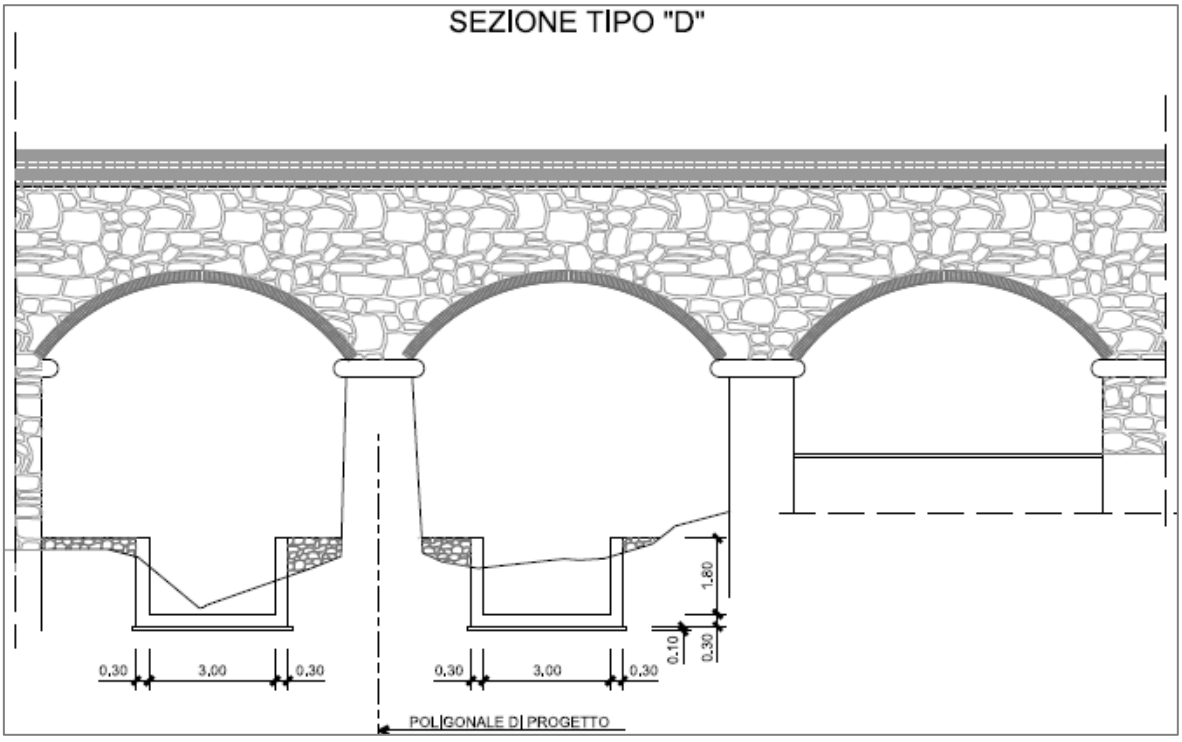


Figura 3-22: Sezione tipo "D" nel tratto in corrispondenza della pila in alveo del ponte ferroviario

3.3 Osservazione sui livelli di valle del t. Torbella

Si sottolinea che i livelli di valle ottenuti per il t. Torbella sono stati ricavati dall'applicazione del modello completo del nodo alla confluenza e questo approccio è coerente con quanto condotto negli studi del PdB Polcevera (Tabella 3-1 e Tabella 3-2). Tuttavia, si rileva che la differenza tra i livelli di valle del t. Torbella e i livelli nelle sezioni a monte e a valle rispetto alla confluenza è abbastanza rilevante, come visibile in Tabella 3-4. Si illustrano, inoltre, in Figura 3-23 i profili idraulici nel t. Polcevera.

Tabella 3-4: Differenza tra i livelli del Polcevera e del Torbella

t. Polcevera	t. Polcevera (POL-35)	t. Torbella valle (TO-1)	Differenza livelli
Tr 200 anni	$H_{w,200} = 15.95\ m\ s.m.m.$	$H_{v,To,200} = 17.78\ m\ s.m.m.$	$\Delta H_{200} = 1.83\ m$
Tr 50 anni	$H_{w,50} = 15.33\ m\ s.m.m.$	$H_{v,To,50} = 16.87\ m\ s.m.m.$	$\Delta H_{50} = 1.54\ m$

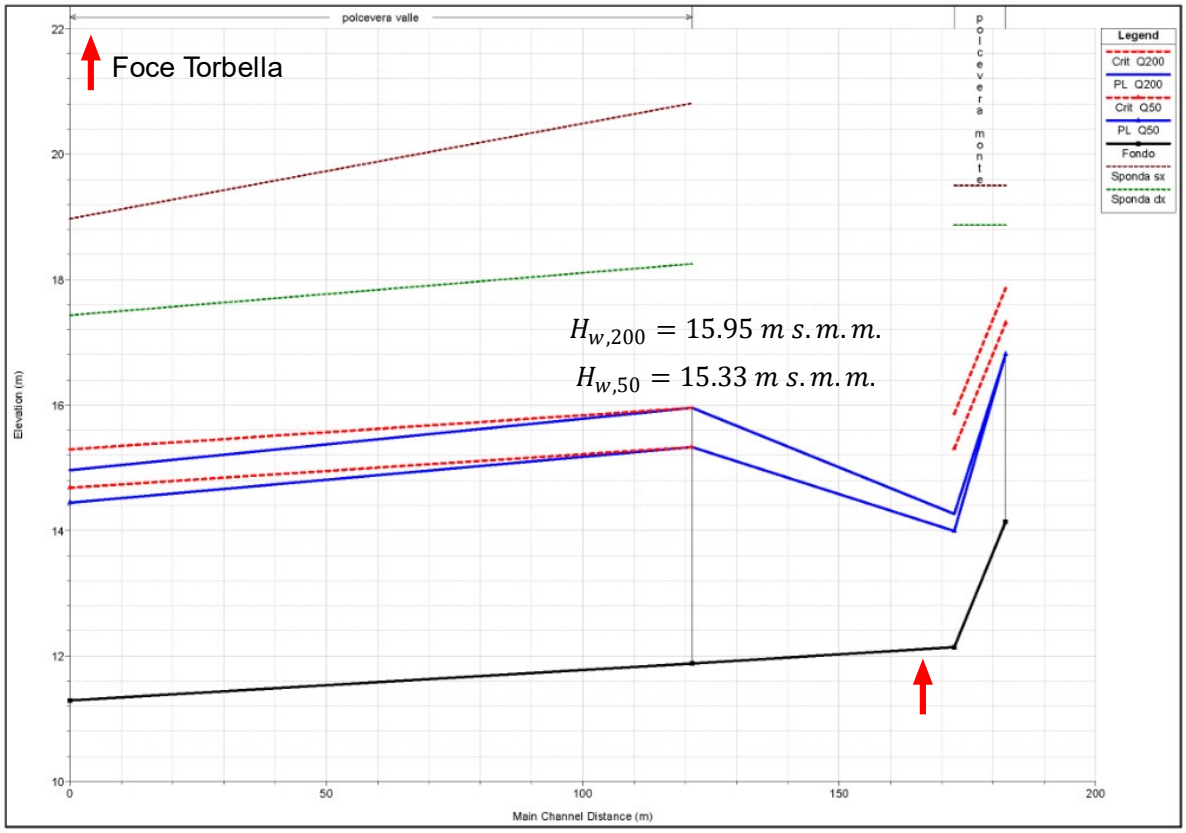


Figura 3-23: Profilo idraulico per il t. Polcevera a monte e valle della confluenza del t. Torbella (linea blu continua: tiranti idrici Tr 200 e 50, linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

Allo scopo di mostrare entrambi i profili in un'unica figura, si riporta una vista tridimensionale della confluenza in Figura 3-24. Si può notare qualitativamente la differenza tra il livello del Torbella nella sua sezione di valle e del t. Polcevera.

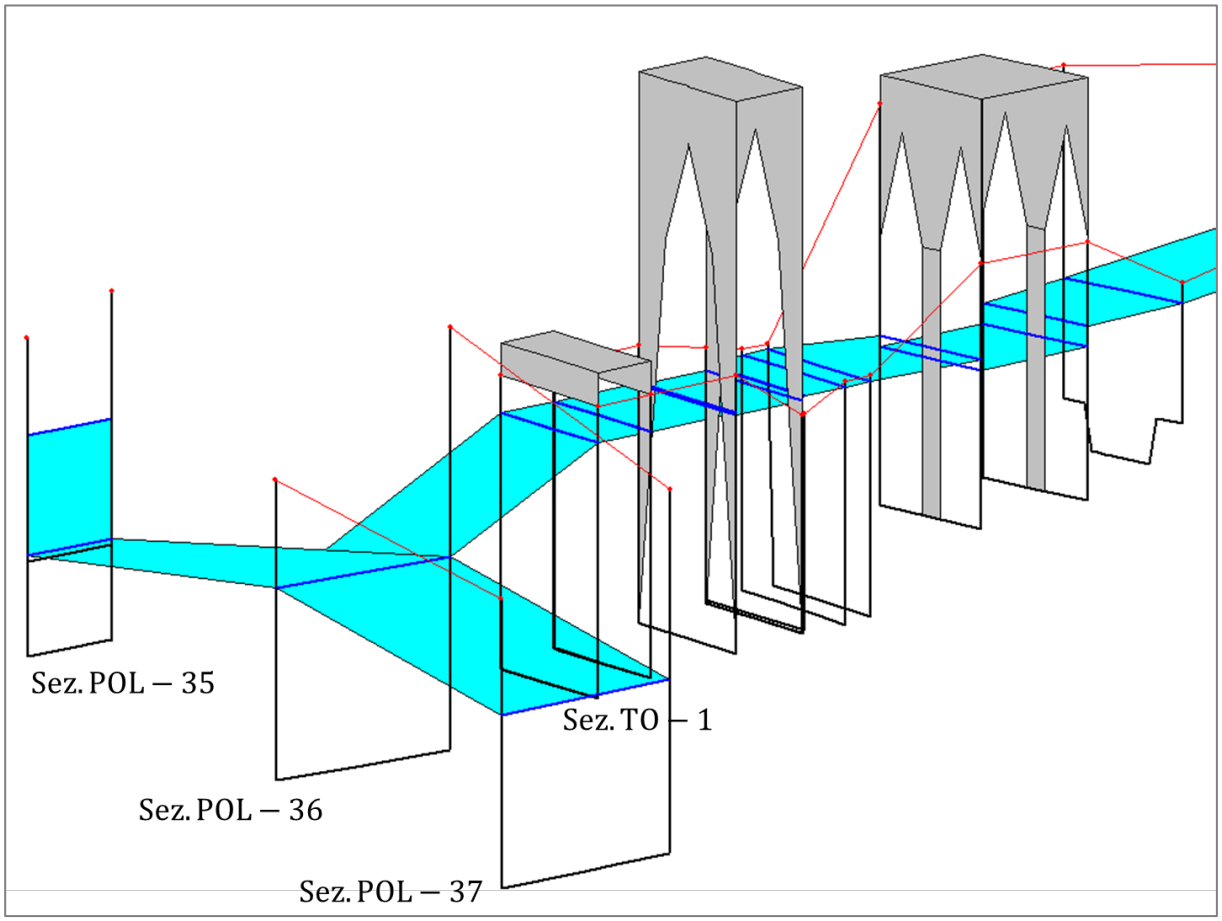


Figura 3-24: Vista tridimensionale della confluenza con il profilo idraulico ottenuto dal calcolo nel modello idraulico nello Scenario progettuale individuato per il Tr 200 anni

Il livello nella sezione di valle del t. Torbella risulta essere la condizione al contorno che influenza l'andamento dei profili nell'ultimo tratto del corso d'acqua, determinando un rigurgito di entità rilevante quando si considera la portata di progetto duecentennale ed un salto notevole che si determina tra la foce del t. Torbella e il corso del t. Polcevera.

Nella presente fase progettuale non è stato possibile studiare in modo più dettagliato l'interazione tra i due corsi d'acqua. Tuttavia, per mezzo dell'utilizzo dei dati del rilievo topografico condotto lungo il corso del t. Torbella fino alla confluenza e ricevendo dalle autorità competenti, se possibile, un rilievo dettagliato (es. Lidar) del corso del t. Polcevera, si ricorrerà nella successiva fase progettuale a implementare un modello idraulico bidimensionale esteso sufficientemente a monte e a valle del nodo che includa l'area di confluenza.

4. ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO NEL TORRENTE TORBELLA

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. Per una valutazione più accurata su questa aspetto, una volta definita la soluzione progettuale, è stata condotta una simulazione ulteriore, valutando la non concomitanza della piena del t. Torbella con quella del t. Polcevera: in questo modo nel tratto di valle del t. Torbella non si verifica l'effetto di rigurgito causato dal Polcevera e si instaurano così velocità e, quindi, anche sforzi tangenziali al fondo più intensi rispetto ai casi analizzati in precedenza. La portata che defluisce nel t. Torbella è, dunque, pari a $Q = 145\ m^3/s$ nel tratto di monte fino alla Sez. TO-30 e $Q = 164\ m^3/s$ nel tratto di valle. Si riporta in Figura 4-1 il risultato dei profili idraulici.

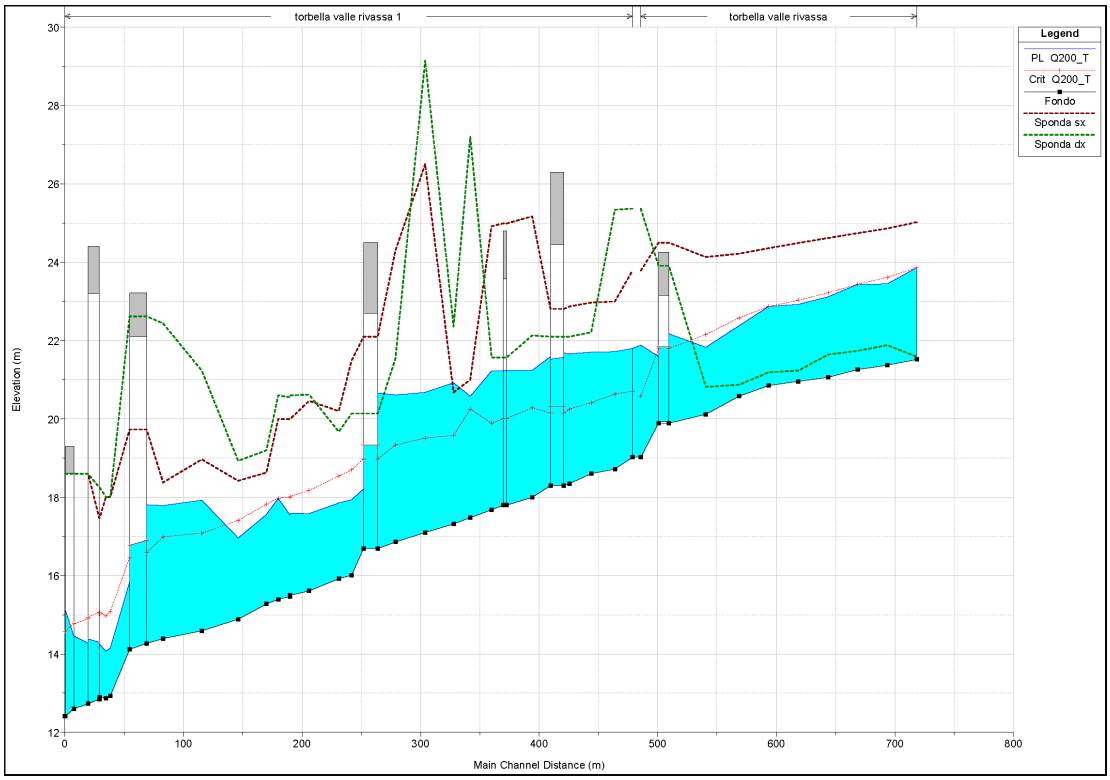


Figura 4-1: Profilo idraulico per lo Scenario 4 nel caso in cui non è presente l'effetto di rigurgito a valle: tiranti idrici Tr 200 (linee tratteggiate viola e verde: quota sponda sx e dx)

A partire da questo risultati, sono stati estratti i valori degli sforzi tangenziali nelle sezioni definite lungo il dominio di valle, a partire dalla sezione in cui confluisce lo scolmatore (Sez. TO-30). In particolare, in Tabella 4-1 si riportano:

- $z_b\ [m\ s.m.m.]$ la quota del fondo;
- $H_w\ [m\ s.m.m.]$ la quota del pelo libera;
- $U\ [m/s]$ la velocità media della corrente;
- $B\ [m]$ la larghezza trasversale della sezione al livello del pelo libero;
- $Fr\ [-]$ il numero di Froude;

- $\tau\ [N/m^2]$ lo sforzo tangenziale al fondo;

Tabella 4-1: Principali variabili idrodinamiche risultanti nelle sezioni

River station	z_b	H_w	U	B	Fr	τ
	$[m\ s.m.m.]$	$[m\ s.m.m.]$	$[m/s]$	$[m]$	$[-]$	$[N/m^2]$
TO-30	19.02	21.8	2.49	23.73	0.48	50.4
TO-29	18.72	21.72	2.65	21.53	0.5	56.29
TO-28	18.6	21.7	2.48	21.31	0.45	49.05
TO-27	18.35	21.66	2.49	19.89	0.44	48.84
TO-26	18.3	21.69	2.3	21.19	0.4	41.42
Bridge						
TO-25	18.3	21.59	2.37	21.19	0.42	44.19
TO-24	18	21.24	3.33	15.18	0.59	90.1
TO-23	17.8	21.24	2.99	15.91	0.52	71.43
Bridge						
TO-22	17.8	21.23	3	15.91	0.52	71.98
TO-21	17.68	21.22	2.91	15.91	0.49	67
TO-20	17.48	20.58	4.31	14.06	0.84	166.97
TO-19	17.32	20.92	2.74	18.34	0.48	59.53
TO-18	17.1	20.68	3.25	14.42	0.55	85.58
TO-17	16.86	20.61	3.16	14.19	0.53	80.5
TO-16m	16.69	20.66	2.73	15.24	0.44	58.65
Bridge						
TO-16v	16.69	18.22	7.14	15.11	1.85	511.85
TO-15	15.92	17.86	6.79	16.27	1.78	260.7
TO-14m	15.61	17.58	6.3	19.2	1.73	229.53
TO-14v	15.5	17.59	5.66	19.2	1.47	179.66
TO-13	15.4	17.98	4.56	17.04	1	106.82
TO-12	15.28	17.56	5.18	17.64	1.23	143.31
TO-11	14.89	16.96	5.72	18.55	1.47	181.67
TO-10	14.59	17.93	3.19	17.96	0.6	47.68
TO-9	14.4	17.79	3.35	16.69	0.62	52.9
TO-8	14.27	17.81	3.14	14.77	0.53	45.11
Bridge						
TO-7	14.12	15.85	6.61	14.77	1.61	232.16
TO-6	12.93	14.15	8.14	16.69	2.37	397.67
Bridge						
TO-5	12.87	14.08	7.98	17.4	2.34	384.88
TO-4	12.9	14.27	7.32	16.37	2	311.71
TO-3.9	12.85	14.21	7.39	16.37	2.03	554.54
Bridge						
TO-3	12.73	14.29	6.43	16.37	1.65	404.14
TO-2	12.6	15.09	4.02	16.37	0.81	138.96
Bridge						
TO-1	12.41	15.14	3.67	16.37	0.71	113.23

Per valutare l'effetto di queste condizioni idrodinamiche sul trasporto solido si è ricorsi al calcolo del parametro di Shields. 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, mentre rimane da definire lo sforzo resistente limite (τ_c). Quest'ultimo viene definito con Shields che, a partire da analisi sperimentali e da un bilancio delle forze in gioco, ha definito lo sforzo limite adimensionale (o parametro di Shields θ_c) come:

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma_w) d_{50}}$$

Dove:

- τ_c: sforzo resistente limite;
- γ_s: peso specifico del materiale d'alveo;
- γ_w: peso specifico dell'acqua;
- d_{50}: diametro caratteristico del materiale d'alveo, tipicamente pari a diametro mediano della distribuzione granulometrica;
- θ_{cr}: sforzo tangenziale critico adimensionale, che si può assumere pari a 0.047 secondo *Meyer-Peter & Mueller* (1948).

Dal momento che le indagini previste in alveo per definire la granulometria non sono state in grado di effettuarsi durante la presente fase progettuale, non si dispone del diametro caratteristico da utilizzarsi nella formula. Per questo motivo, dato lo sforzo tangenziale in una certa sezione, è possibile calcolare il diametro mobile critico in funzione del parametro di Shields θ_{cr}. Si riportano in Tabella 4-2 rispettivamente:

- τ $[N/m^2]$ lo sforzo tangenziale al fondo in riferimento alla sezione definita;
- $d_{50,cr}$: diametro mobile critico sotto l'azione dello sforzo tangenziale τ nella sezione definita.

Tali valori risultano essere suddivisi in una cosiddetta Parte 1, che va dalla sezione TO-30 scendendo verso valle fino alla sezione TO-16m, ed una Parte 2, che va dalla sezione TO-16v alla TO-1.

Tabella 4-2: Valori del massimo diametro immobile e del relativo parametro di Shields

Parte 1			**Parte 2**		
River station	τ	$d_{50,cr}$	**River station**	$\boldsymbol{\tau}$	$\boldsymbol{d_{50,cr}}$
	$[N/m^2]$	$[m]$		$[N/m^2]$	$[m]$
TO-30	50.4	0.07	TO-16v	511.85	0.67
TO-29	56.29	0.07	TO-15	260.7	0.34
TO-28	49.05	0.06	TO-14m	229.53	0.30
TO-27	48.84	0.06	TO-14v	179.66	0.24
TO-26	41.42	0.05	TO-13	106.82	0.14
TO-25	44.19	0.06	TO-12	143.31	0.19
TO-24	90.1	0.12	TO-11	181.67	0.24
TO-23	71.43	0.09	TO-10	47.68	0.06
TO-22	71.98	0.09	TO-9	52.9	0.07
TO-21	67	0.09	TO-8	45.11	0.06
TO-20	**166.97**	**0.22**	TO-7	232.16	0.28
TO-19	59.53	0.08	TO-6	397.67	0.52
TO-18	85.58	0.11	TO-5	384.88	0.51
TO-17	80.5	0.11	TO-4	311.71	0.41
TO-16m	58.65	0.08	**TO-3.9**	**554.54**	**0.73**
			TO-3	404.14	0.53
			TO-2	138.96	0.18
			TO-1	113.23	0.15

Il tratto qui analizzato si può dividere in due parti:

- Nella parte 1 si prevede uno scavo omogeneo in alveo di circa 0.5 m ed il materiale naturale d'alveo rimane esposto. In questo tratto il diametro mobile critico risulta essere pari a $d_{50,cr} = 0.22\ m$ nella sezione TO-20. Questo diametro può essere preso come riferimento per valutare la pendenza d'equilibrio dell'alveo di determinata granulometria in questo tratto, grazie dalla formula di Valentini:

  $$i_{eq} = 0.057\ \Delta\ d_{50,cr}/R_h$$

  Considerando $d_{50,cr} = 0.22\ m$, $\Delta = 1.65$ e le relative condizioni idrodinamiche di questa sezione, dalle quali si ottiene $R_h = 1.95\ m$, si ottiene $i_{eq} = 1.1\%$, valore che è proprio quello assegnato alla pendenza media definita dalla riprofilatura d'alveo in progetto.
- La seconda parte si prevede la riprofilatura dell'alveo con la savanella ed il rivestimento dell'alveo con materiale grossolano. In questo tratto il diametro mobile critico risulta essere pari a $d_{50,cr} = 0.73\ m$ nella sezione TO-3.9. I valori determinati per questo tratto permettono di definire il diametro minimo del materiale con cui realizzare il rivestimento dell'alveo.

  Si sottolinea che in questo tratto soltanto a valle delle rampe definite lungo il profilo longitudinale si ottengono valori così elevati di sforzo tangenziale al fondo e, di conseguenza, di $d_{50,cr}$. Per questo motivo, si valuterà l'inserimento di materiale di differente dimensione per il rivestimento, in funzione delle variabili idrodinamiche locali.

4.1 Osservazioni sull'analisi del trasporto solido nel t. Torbella

Lo studio condotto sul trasporto solido nel t. Torbella considerando la soluzione progettuale definita si è basato, quindi, su di un'analisi indiretta derivata dallo studio idrodinamico monodimensionale a moto permanente. Non è stato possibile nell'ambito di questa fase progettuale valutare un aspetto importante per questo tipo di analisi, ovvero la composizione granulometrica dell'alveo, dal momento che le indagini in alveo previste ed affidate non sono state ancora compiute a causa delle avverse condizioni meteorologiche che hanno prodotto durante questo periodo un deflusso pressoché continuo nel corso d'acqua, che è risultato dunque non accessibile.

Nella successiva fase progettuale si provvederà ad analizzare i risultati di tali indagini, allo scopo di definire i diametri caratteristici dell'alveo attuale ed avvalorare ciò che è stato determinato in questa fase. Inoltre, come detto al termine del precedente capitolo, grazie all'implementazione di un modello idraulico bidimensionale sarà possibile valutare in modo più approfondito gli effetti del trasporto solido alla confluenza con il t. Polcevera in diverse condizioni di moto.

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

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 $\boldsymbol{Q_{MAX} = 11\ m^3/s}$.

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 Ks = 40 $m^{1/3}/s$.

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 $Q_{200} = 37\ m^3/s$ e $Q_{50} = 26\ m^3/s$.

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**	
	$Q_{parziale}\ [m^3/s]$	$Q_{totale}\ [m^3/s]$	$Q_{parziale}\ [m^3/s]$	$Q_{totale}\ [m^3/s]$
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
	$H_{valle}\ [m\ s.m.m.]$		$H_{valle}\ [m\ s.m.m.]$	
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.

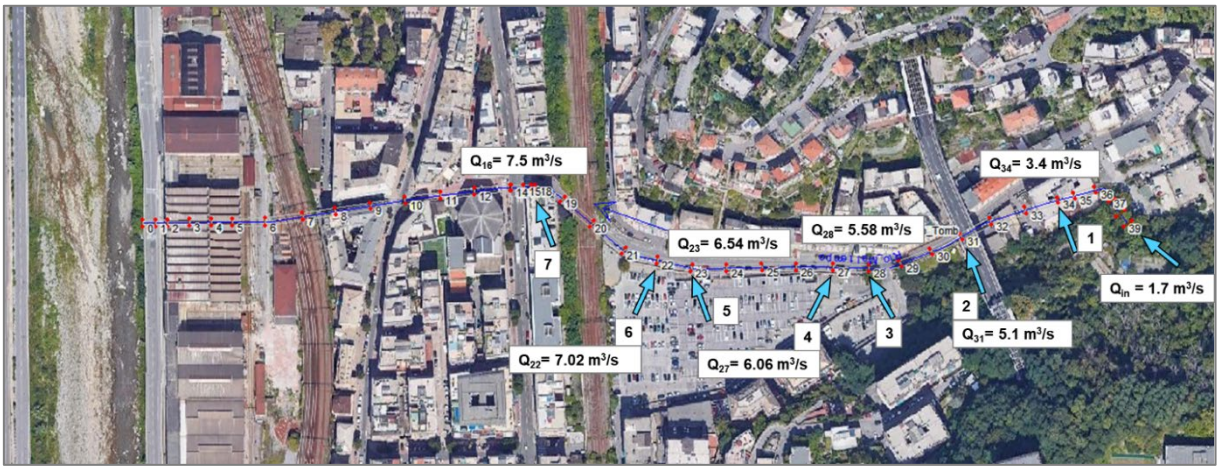


Figura 5-1: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata

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

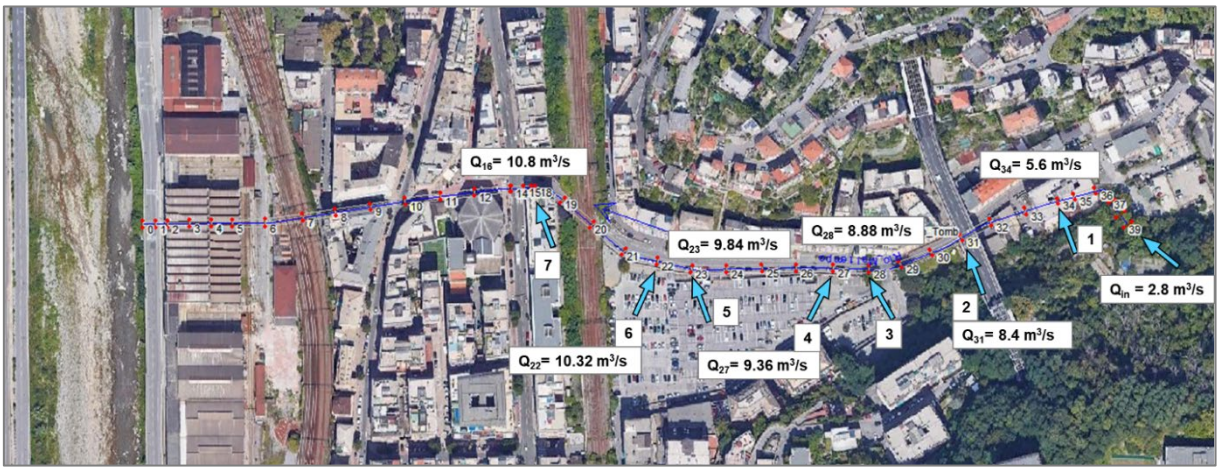


Figura 5-2: Schema del tratto tombato del rio Maltempo e delle n.7 immissioni laterali di portata. Il valore della portata (Tr 200 anni) è cumulato e presenta il pedice della sezione in cui avviene l'incremento

5.1.3 Stato di fatto

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

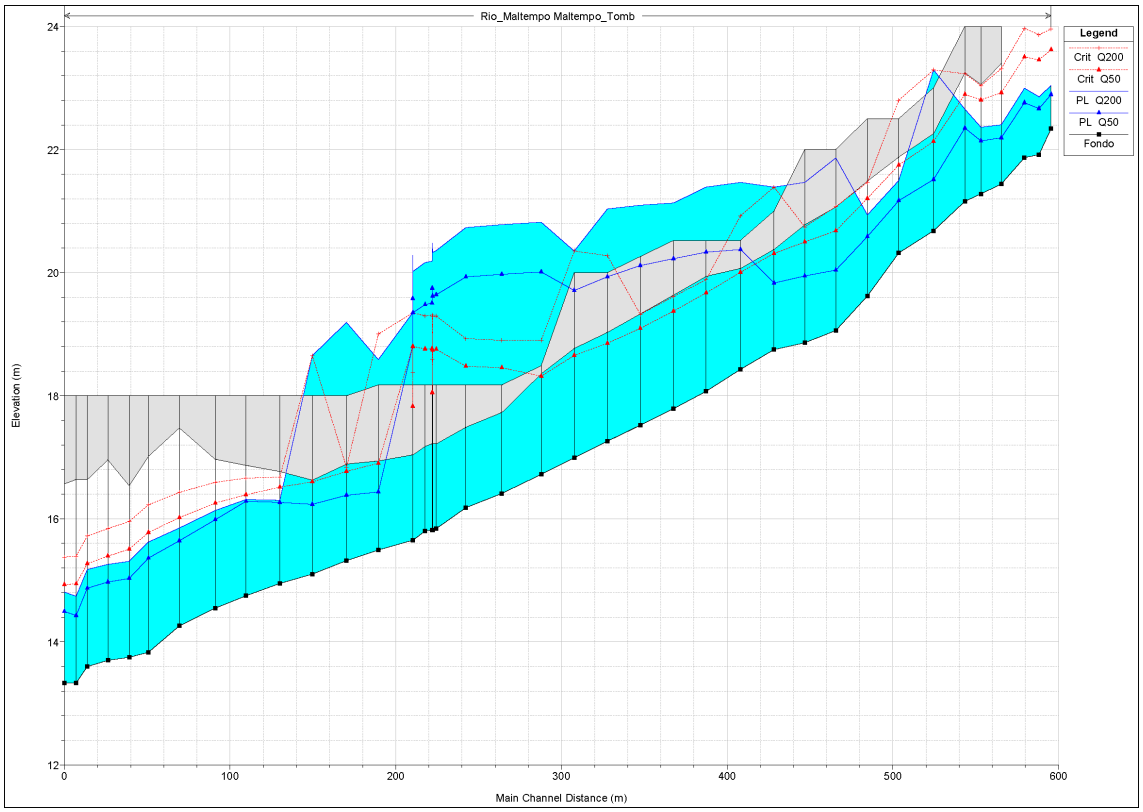


Figura 5-3: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)

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.

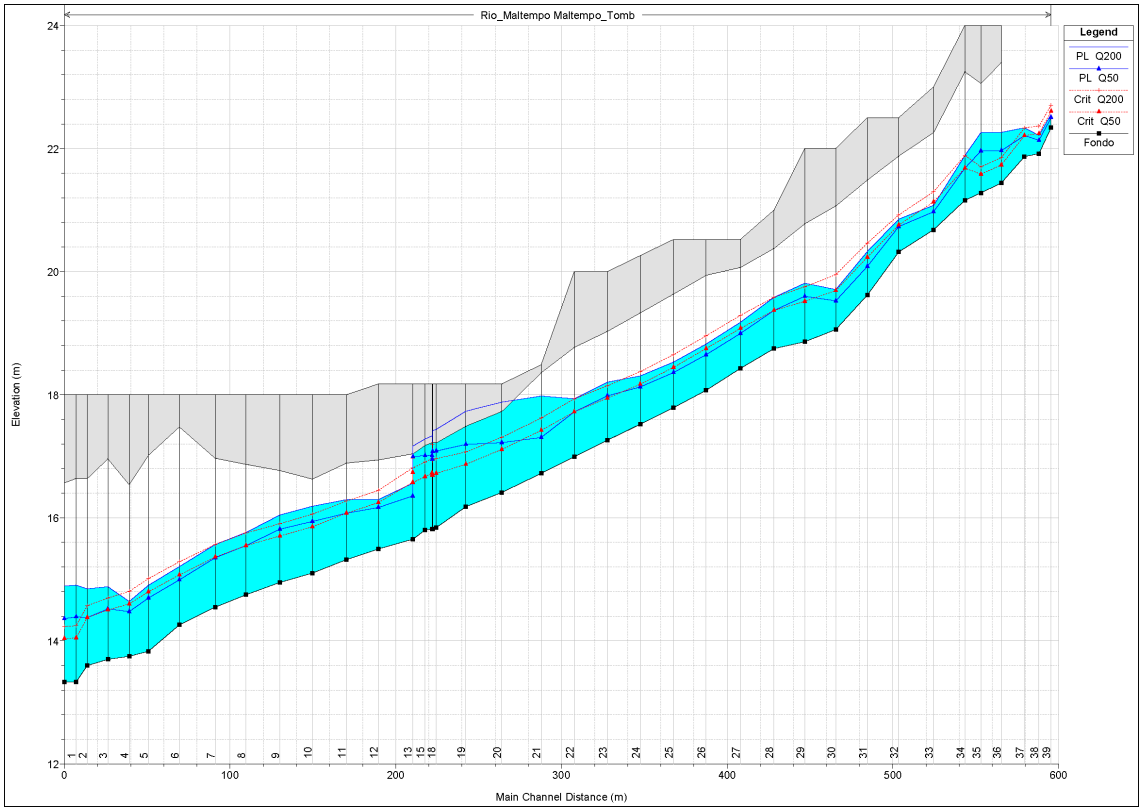


Figura 5-4: Profilo idraulico per lo stato di fatto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)

5.1.5 Stato di progetto

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

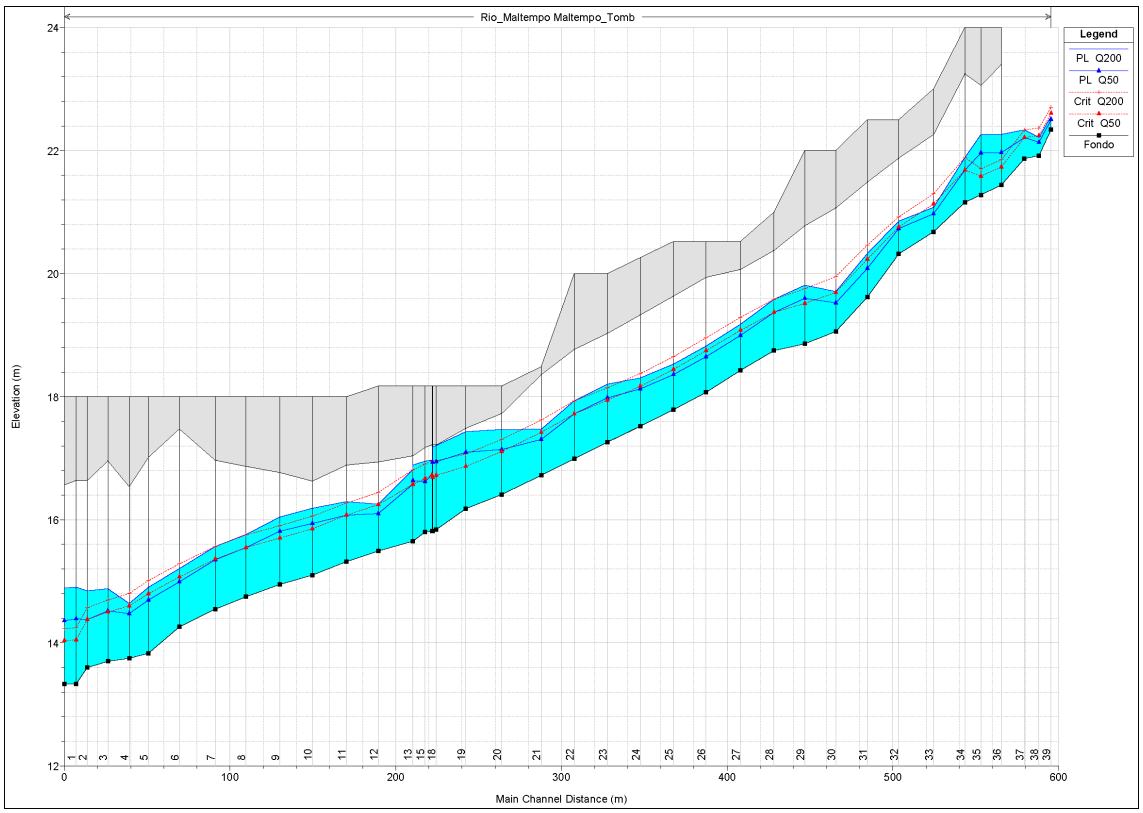


Figura 5-5: Profilo idraulico per lo stato di progetto (linea blu continua e con marcatori: tiranti idrici Tr 200 e Tr 50)

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.

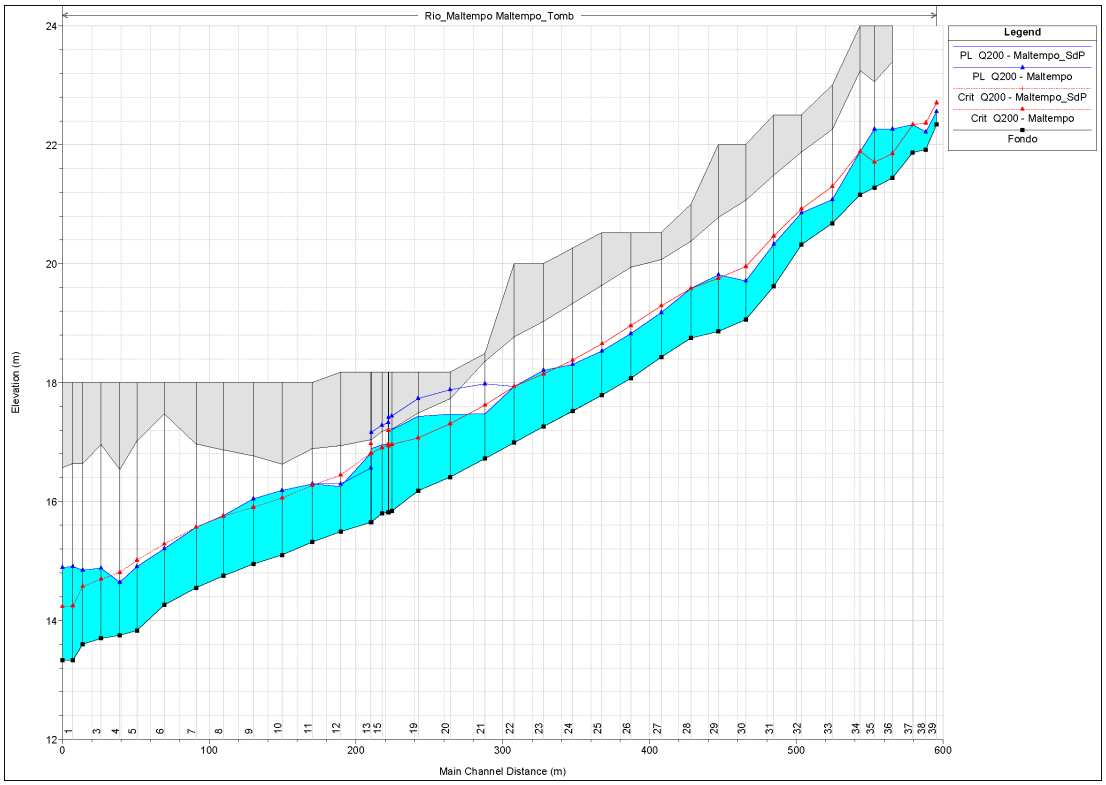


Figura 5-6: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 200

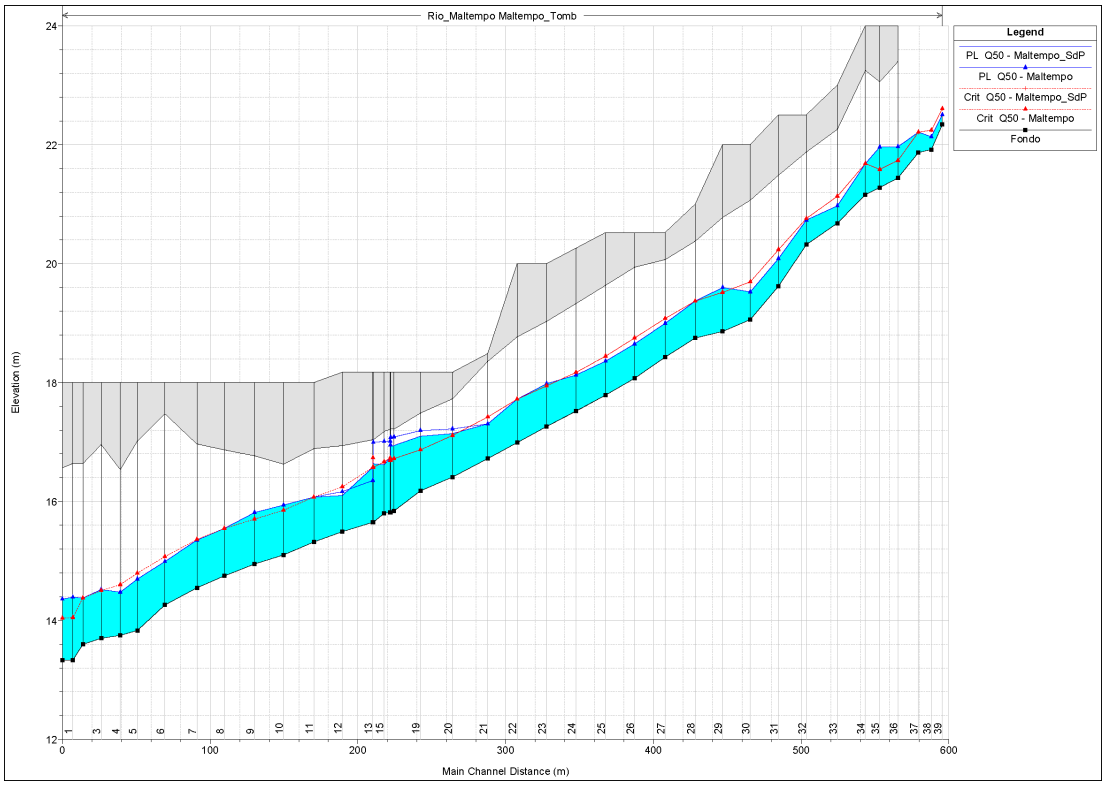


Figura 5-7: Stato di fatto con portata di progetto (linea blu continua) e di progetto (linea blu con marcatore): Tr 50

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

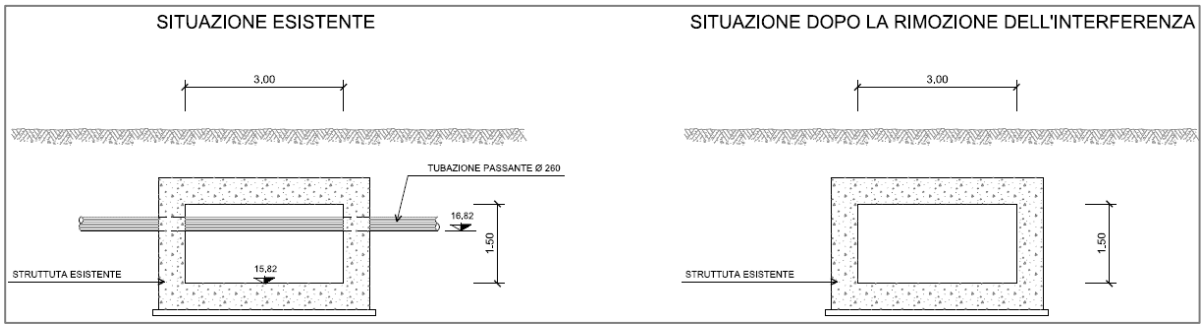


Figura 5-8: Confronto tra lo stato di fatto e di progetto nelle sezioni dove è presente l'interferenza

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 di Fattibilità Tecnica ed Economica 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 525 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 e della passerella pedonale in prossimità della foce nel t. Polcevera, i quali sono opere di attraversamento costituite 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 definire in quest'ultimo tratto di valle un rivestimento dell'alveo con materiale di dimensioni 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.

Si sottolinea che, per garantire un'adeguata e non eccessiva pendenza media dell'alveo, una minore profondità possibile dello scavo in alveo e allo stesso tempo garantire la risoluzione della maggior parte delle criticità idrauliche, rimangono due sezioni localizzate, poste a monte del ponte ferroviario nella sezione TO-16m e nella sezione TO-19, per le quali si ottiene un annullamento del franco.

Un aspetto interessante da sottolineare a valle dello studio condotte in questa fase progettuale è che, seguendo l'approccio e la modellazione condotta negli studi del PdB del t. Polcevera risulta molto elevato il dislivello tra il livello del profilo idraulico nella sezione più a valle del t. Torbella e quello nelle sezioni a monte e a valle della confluenza del t. Polcevera. Dal momento che tale livello condiziona sensibilmente il profilo nel tratto di valle del t. Torbella con la portata di progetto duecentennale, si provvederà in fase di Progetto Definitivo ad effettuare un approfondimento dello studio idraulico, valutando con una modellazione bidimensionale il nodo alla confluenza dei due corsi d'acqua, con l'apporto di un adeguato rilievo dell'area di riferimento. Questo aspetto permetterà, inoltre, di verificare le assunzioni indirette sul trasporto solido derivate dalla modellazione idraulica monodimensionale.

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 $Q_{200,Mal2} = 10.8\, m^3/s$, di poco inferiore alla capacità idraulica della tombinatura, definita in $Q_{max,tomb} = 11\, m^3/s$. Senza la realizzazione della galleria scolmatrice, invece, la portata duecentennale di valle è pari a $Q_{200,Mal,tot} = 36.9\, m^3/s$ 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.

Le considerazioni espresse, tenendo conto degli approfondimenti che potranno essere sviluppati nella successiva fase di Progetto Definitivo, permettono di valutare positivamente la fattibilità tecnica dell'intervento, andando a risolvere la criticità legate alla sicurezza idraulica sia del rio Maltempo che del t. Torbella.

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
- 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