

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (modello monodimensionale)

SCALA:

-

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

IV01 00 D 26 RH ID0002 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	A. Figgiaconi	Dic. 2021	L. Barni	Dic. 2021	G. Fadda	Dic. 2021	A. Perego Gennaio 2022
B	Emissione esecutiva	D. Polverelli	Gen. 2022	L. Barni <i>L. Barni</i>	Gen. 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gen. 2022	DOTT. ING. PEREGO ANDREA Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione n° A 32428 MILANO

File: IV0100D26RHID0002001B.doc

n. Elab.:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

INDICE

1	PREMESSA	6
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	8
3	STUDIO IDRAULICO.....	10
3.1	GENERALITÀ.....	10
3.2	DATI DI BASE	10
3.2.1	DATI TOPOGRAFICI	10
3.2.2	DATI IDROLOGICO-IDRAULICI	11
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO	11
3.3.1	APPROCCIO MATEMATICO (1D).....	11
3.3.2	GENERAZIONE DELLA GEOMETRIA DEL MODELLO.....	26
4	VINCOLI NORMATIVI.....	27
5	RIO CASTELLARO	30
5.1	INQUADRAMENTO.....	30
5.2	INTERVENTO DI PROGETTO	31
5.2.1	ATTRAVERSAMENTI IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	34
5.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE	35
5.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	35
5.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	39
5.3.3	CALIBRAZIONE	40
5.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	41
5.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	46
5.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	46
5.4.2	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	47
5.4.3	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO.....	47
5.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	54
5.5.1	VERIFICA SPONDALE	54
5.5.2	VERIFICA IN ALVEO.....	55

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.6	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	57
6	RIO DELLA VALLETTA	58
6.1	INQUADRAMENTO.....	58
6.2	INTERVENTO DI PROGETTO	59
6.2.1	ATTRAVERSAMENTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	61
6.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE	62
6.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	62
6.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	67
6.3.3	CALIBRAZIONE	67
6.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	68
6.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	71
6.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	71
6.4.1	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	71
6.4.2	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO.....	72
6.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	77
6.5.1	VERIFICA SPONDALE	77
6.5.2	VERIFICA IN ALVEO.....	78
6.6	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	80
7	RIO TOCO.....	81
7.1	INQUADRAMENTO.....	81
7.2	INTERVENTO DI PROGETTO	82
7.2.1	ATTRAVERSAMENTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	84
7.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE	85
7.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	85
7.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	88
7.3.3	CALIBRAZIONE	89
7.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	89
7.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	92

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	92
7.4.2	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	93
7.4.3	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO	93
7.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	98
7.5.1	VERIFICA SPONDALE	98
7.5.2	VERIFICA IN ALVEO	99
7.6	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	101
8.1	INQUADRAMENTO.....	102
8.2	INTERVENTO DI PROGETTO	103
8.2.1	ATTRAVERSAMENTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	106
8.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE.....	107
8.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	107
8.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	110
8.3.3	CALIBRAZIONE	111
8.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	112
8.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	116
8.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	116
8.4.1	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	117
8.4.2	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO	117
8.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	124
8.5.1	VERIFICA SPONDALE	124
8.5.2	VERIFICA IN ALVEO.....	125
8.6	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	127
9	RIO FASCEO	128
9.1	INQUADRAMENTO.....	128
9.2	INTERVENTO DI PROGETTO	129
9.2.1	ATTRAVERSAMENTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	131
9.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE.....	132

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

9.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	132
9.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	135
9.3.3	CALIBRAZIONE	136
9.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	137
9.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	140
9.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	140
9.4.1	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	140
9.4.2	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO.....	141
9.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	145
9.5.1	VERIFICA SPONDALE	145
9.5.2	VERIFICA IN ALVEO.....	146
9.6	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	148
10	TORRENTE RIO AIVEGLIO (NVX3).....	149
10.1	INTERVENTO DI PROGETTO	150
10.1.1	ATTRAVERSAMENTO IN FASE DI CANTIERIZZAZIONE	152
10.2	MODELLO DELLO STATO ATTUALE.....	153
10.2.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	153
10.2.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	154
10.2.3	CALIBRAZIONE	155
10.2.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE.....	155
10.3	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	159
10.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	159
10.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	159
10.3.3	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO.....	160
10.4	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	165
10.4.1	VERIFICA SPONDALE	165
10.4.2	VERIFICA IN ALVEO.....	166
10.5	OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	168

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

1 PREMESSA

Il presente studio idraulico è stato redatto nell'ambito del progetto definitivo per gli interventi di raddoppio della linea Genova - Ventimiglia, nella tratta Finale Ligure - Andora.

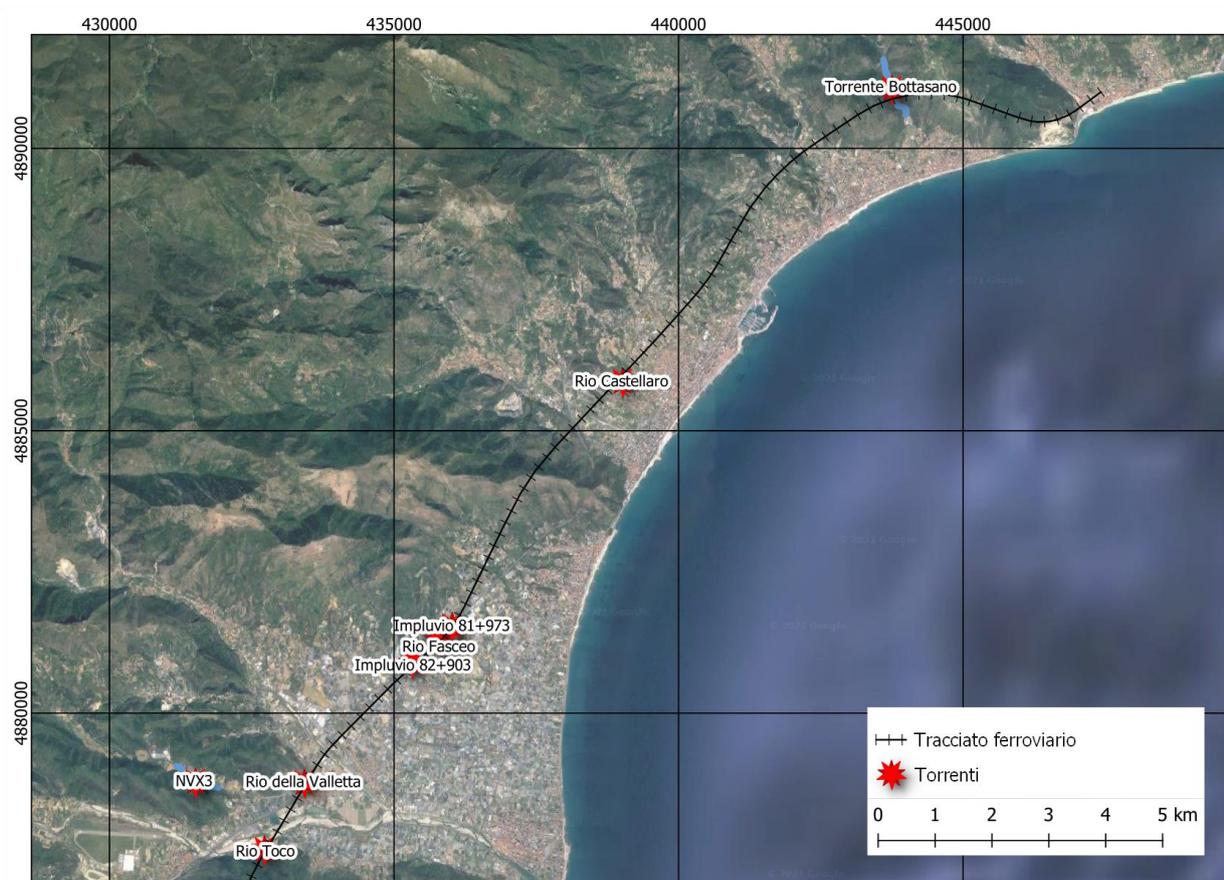


Figura 1: Corsi d'acqua minori oggetto dello studio

Lo studio idraulico in oggetto ha lo scopo di definire l'idrodinamica del tratto investigato per i più rilevanti tempi di ritorno di interesse tecnico (50, 200 e 500 anni), ponendo particolare attenzione all'interferenza tra la linea ferroviaria o le viabilità in progetto e i seguenti corsi d'acqua secondari:

- Torrente Bottassano
- Rio Castellaro
- Impluvio al pk 81+972
- Rio Fasceo

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 RH</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 7 di 168</p>

- Rio Della Valletta
- Rio Aiveglia (NVX3)
- Rio Toco

L'obiettivo principale dello studio è quello di valutare allo stato attuale e di progetto i processi idrodinamici che caratterizzano gli eventi estremi relativi ai corsi d'acqua in studio, in particolare all'intersezione con la linea ferroviaria in progetto.

L'obiettivo sopra riportato è stato raggiunto articolando lo studio secondo le seguenti attività principali, descritte nella presente relazione:

- Studio delle normative di riferimento;
- Reperimento di analisi idrauliche esistenti nell'area di studio;
- Analisi dei dati idrologico-idraulici;

Implementazione di un modello numerico monodimensionale per l'analisi dello stato attuale e di progetto.

La presente relazione vuole essere un documento di sintesi delle modellazioni monodimensionali dei corsi d'acqua secondari e dei risultati, si rimanda quindi per ogni intervento allo studio di dettagli.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Per quanto riguarda la normativa relativa alla definizione del rischio allagamenti, il riferimento normativo principale è costituito dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE (recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010 per ogni distretto idrografico). Lo scopo del PGRA è quello di orientare, nel modo più efficace, l'azione sulle aree a rischio significativo organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio, definire gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le amministrazioni e gli enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

Allo stato attuale, sia a livello nazionale che all'interno del distretto dell'Appennino Settentrionale, non sussiste completa uniformità relativamente alla valenza dei PGRA quali strumenti tecnico-normativi di riferimento per l'indirizzo e la regolazione delle trasformazioni del territorio e la gestione del rischio idraulico nei confronti dell'attività edilizia e dell'urbanistica. In particolare vario è il rapporto tra PGRA e Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) a suo tempo approvati – e in parte ancora vigenti – alla scala dei bacini idrografici della legge 183/1989, oggi abrogata. Con riferimento a questo importante aspetto, per il territorio del distretto idrografico Appennino Settentrionale, negli ex bacini regionali liguri il PAI si applica sia per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica che per la parte di pericolosità idraulica, sia come norme che come perimetrazioni. Di seguito si elencano i Piani di bacino per l'assetto idrogeologico nei quali ricadono i torrenti indagati:

- Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Bottassano; il Piano è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018. All'interno di questo ambito ricade il Torrente Bottassano;
- Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Nimbato; il Piano è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 577 del 03/02/2021. All'interno di questo ambito ricade il Rio Castellaro;

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 9 di 168

- Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Carenda; il Piano è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 176 del 25/06/2018. All'interno di questo ambito ricadono l'impluvio 81+972, il Rio Fasceo e l'impluvio 82+900;
- Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Fiume Centa; il Piano è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Savona n. 47 del 25/11/2003; l'ultima modifica del piano è relativa al Decreto digitale del Direttore Generale n. 7664 del 05/12/2019. All'interno di questo ambito ricadono il Rio Della Valletta, il Rio Aiveglia (NVX3) e il Rio Toco.

Altri riferimenti normativi includono

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- Piani stralcio di assetto idrogeologico, Regione Liguria;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.
- Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 - Regolamento recante disposizioni in materia di tuteladelle aree di pertinenza dei corsi d'acqua.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

3 STUDIO IDRAULICO

3.1 GENERALITÀ

Lo studio idraulico è stato basato sull'implementazione di un modello numerico atto a rappresentare le dinamiche idrauliche durante gli eventi di piena del fiume in fase di studio. L'approccio metodologico seguito è partito dall'integrazione ed elaborazione di dati di base, fondamentalmente di natura topografica per poter correttamente implementare la geometria del sistema. Una volta elaborata la base topografica è stato possibile sviluppare un modello idraulico con il software HEC-RAS¹(ver. 6.1), con schema monodimensionale. La taratura dei modelli è stata effettuata in riferimento a quanto riportato nel Piano stralcio di assetto idrogeologico. Lo scenario analizzato è quello relativo allo stato di fatto.

3.2 DATI DI BASE

I dati di base utilizzati per lo sviluppo dello studio idraulico includono:

- Dati topografici;
- Dati idrologico-idraulici.

3.2.1 Dati topografici

I dati topografici utilizzati per la ricostruzione della geometria del sistema comprendono diverse tipologie di informazione, provenienti da fonti differenti:

- Rilievo delle sezioni trasversali del 2010 (Italferr);
- Rilievo delle sezioni trasversali del 2021 (Italferr);
- Rilievo celerimetrico del 2010 (Italferr);
- Modello Digitale del Terreno del Ministero dell'Ambiente con risoluzione a 1 m.

I dati appena citati non sono sempre presenti per tutti i corsi d'acqua, a parte il DTM del Ministero dell'Ambiente, che è sempre disponibile. Per l'impluvio 81+972 sono presenti le sezioni trasversali del 2010 ed il rilievo celerimetrico del 2010. Per l'impluvio 82+900 sono presenti solo le sezioni trasversali del 2021. Per il rio Aiveglia non sono presenti rilievi, ma solo

¹ <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

il DTM del Ministero dell'Ambiente. Per il Rio Toco sono presenti sezioni solo del 2021 e il rilievo celerimetrico del 2010. Per il Rio Castellaro, il Torrente Bottassano, il Rio Fasceo e il Rio della Valletta sono presenti i rilievi delle sezioni del 2010 e del 2021.

3.2.2 Dati idrologico-idraulici

Le informazioni di base di carattere idrologico-idraulico includono i dati utilizzati per la definizione delle condizioni al contorno dei modelli e per la loro calibrazione.

Per quanto riguarda l'idrologia, si è fatto riferimento all'elaborato IV0I00D09RIID0001001, che ha portato alla definizione delle portate al colmo di piena per assegnato tempo di ritorno immediatamente a monte del tratto di asta analizzato. Tali portate sono state determinate secondo diversi approcci statistici applicati ai dati di precipitazione, sia secondo Gumbel sia secondo VAPI, comunemente accettati in letteratura nella valutazione degli eventi estremi, implementando su tale base un modello di trasformazione afflussi-deflussi e scegliendo poi i valori più cautelativi per la condizione al contorno del modello idraulico.

Altra informazione utilizzata è costituita dalle aree di allagamento per evento con duecento anni di tempo di ritorno quando definite dall'Autorità di Bacino.

3.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO

3.3.1 Approccio matematico (1D)

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione dei profili idrici nei corsi d'acqua sia nella situazione attuale, sia di progetto e per i diversi tempi di ritorno considerati è stato utilizzato il codice denominato HEC-RAS (ver. 6.1) River Analysis System sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, i cui fondamenti concettuali sono di seguito riportati.

3.3.1.1 Calcolo del profilo a moto permanente

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (5)$$

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

La Figura 2 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (5).

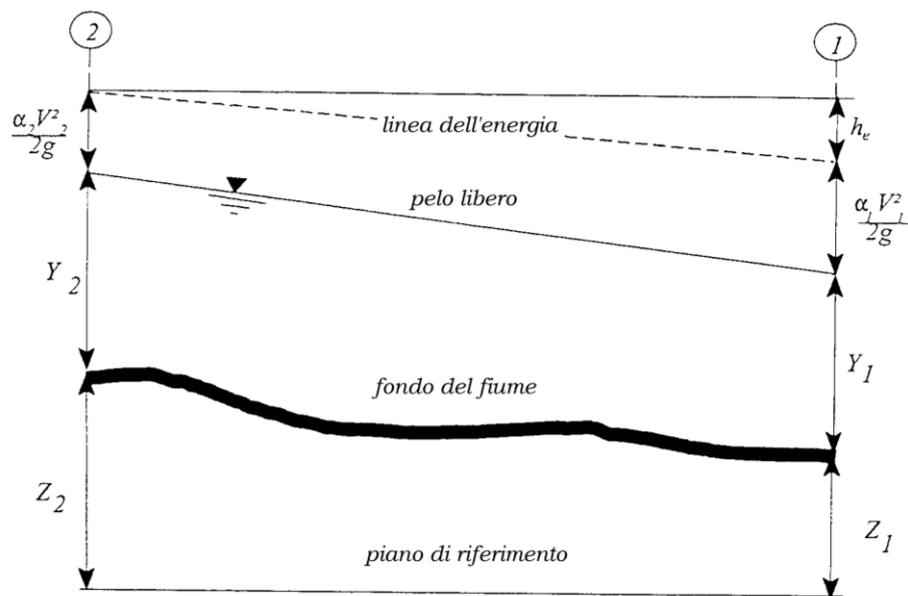


Figura 2 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

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

$$h_e = L\bar{J} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (6)$$

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (7)$$

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

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 3).

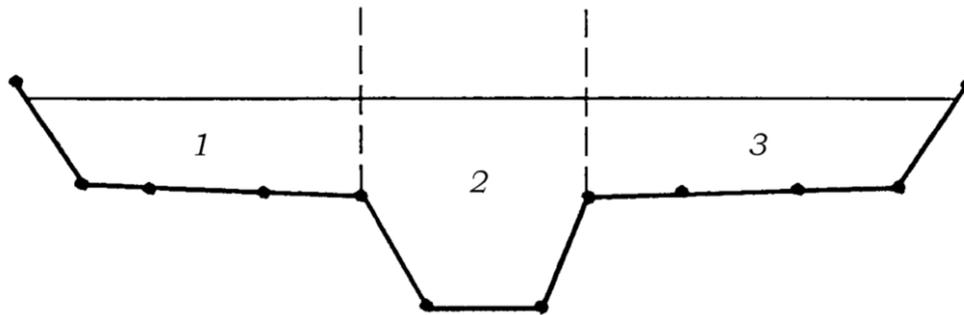


Figura 3 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 3 chiamato con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte i -esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning:

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_{h,i}^{2/3} \quad (8)$$

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

$$J = \left(\frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2 \quad (9)$$

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

Calcolata la perdita di carico in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 la pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni è fornita dalla seguente equazione:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

$$\bar{J} = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (10)$$

Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 .

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

$$\alpha = \left(\sum_i \frac{K_i^3}{A_i^2} \right) \frac{\left(\sum_i A_i \right)^2}{\left(\sum_i K_i \right)^3} \quad (11)$$

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

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia h_e ed il coefficiente di Coriolis α la (5), associata all'equazione di continuità, permette di calcolare la quota del pelo libero, $Y_2 + Z_2$, nella sezione di monte a partire dal valore dell'energia totale, $Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g$, noto in corrispondenza della sezione di valle.

Essendo la (5) un'equazione non lineare, la soluzione è ottenuta con ciclo iterativo, a partire da una soluzione iniziale, approssimata, di primo tentativo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

3.3.1.2 Calcolo del rigurgito dovuto ai ponti

Per il calcolo del rigurgito dovuto alla presenza dei ponti il codice di calcolo fa riferimento a 4 sezioni che definiscono il tratto in cui avviene la contrazione e l'espansione della vena liquida a causa della presenza del ponte, come indicato nella figura seguente.

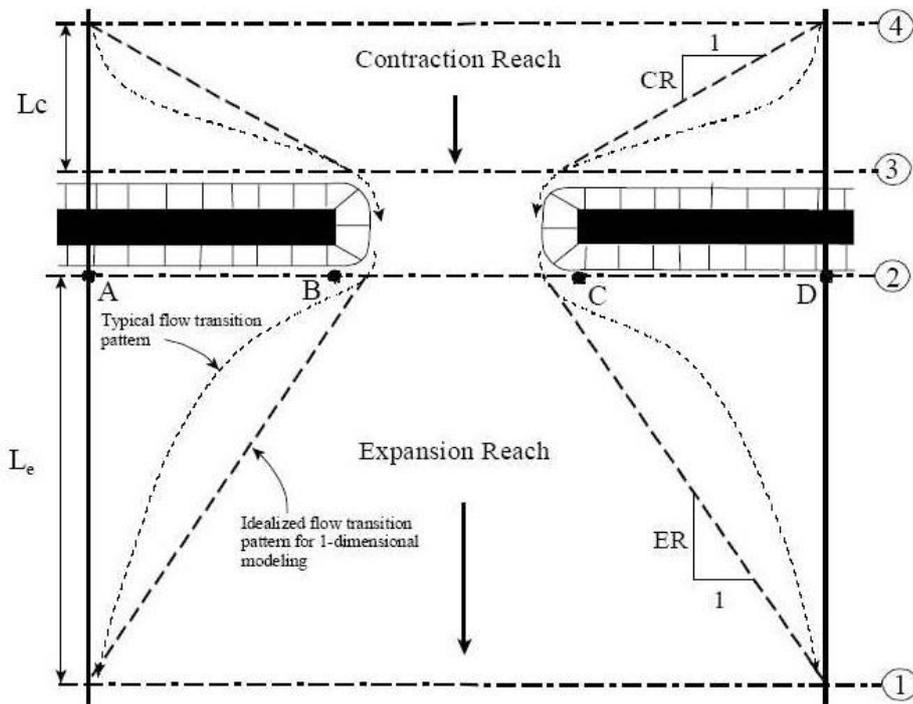


Figura 4 – Posizionamento delle sezioni idrauliche per il calcolo dei ponti in Hec-Ras.

La sezione 1 e 4 sono considerate le sezioni in cui il moto è non influenzato dalla presenza del ponte, le sezioni 2 e 3 sono posizionate immediatamente a monte e a valle del ponte, normalmente in corrispondenza del piede del rilevato. Il corretto posizionamento delle sezioni 1 e 4 è fondamentale nei casi in cui i rilevati di collegamento al ponte occupino una parte importante della zona di deflusso. La valutazione della posizione di tali sezioni è fatta sulla base dello studio effettuato dall'Hydrologic Engineering Center intitolato "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis" (RD-42, HEC, 1995). Lo scopo dello studio era quello di fornire delle linee guida nel calcolo con l'utilizzo di dati misurati sia con modellazioni di tipo bidimensionale, cercando, mediante regressione statistica, delle formulazioni che fornissero i 4 parametri fondamentali per la rappresentazione in un modello monodimensionale della dinamica legata alla contrazione ed espansione imposta dalla presenza del ponte, questi 4 parametri sono:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

L_e lunghezza del tratto di espansione;

C_e coefficiente di espansione;

L_c lunghezza del tratto di contrazione;

C_c coefficiente di contrazione.

Per la lunghezza di espansione sono state determinate 3 formule (in unità Inglesi) in base alla dimensione del corso d'acqua e alla portata transitante.

Per corsi d'acqua di circa 1000 ft (300 m) e portate comprese tra 5000 e 30000 cfs (150-850 m³/s) la formula proposta è:

$$L_e = -298 + 257 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0.918 \bar{L}_{obs} + 0.00479Q$$

dove:

L_e lunghezza del tratto di espansione in piedi (feet);

F_{c2} numero di Froude del canale principale nella sezione 2;

F_{c1} numero di Froude del canale principale nella sezione 1;

\bar{L}_{obs} lunghezza media dell'ostruzione causata dai rilevati;

Q portata in piedi cubi secondo (cfs).

Per corsi d'acqua più piccoli una valutazione migliore si ottiene con la seguente formula:

$$ER = \frac{L_e}{L_{obs}} = 0.421 + 0.485 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 0.000018Q$$

Per i corsi d'acqua in cui la portata supera gli 850 m³/s è consigliata la formula:

$$ER = \frac{L_e}{L_{obs}} = 0.489 + 0.608 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right)$$

Il coefficiente di contrazione è definito dalla formula:

$$C_e = -0.09 + 0.570 \left(\frac{D_{ob}}{D_c} \right) + 0.075 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right)$$

dove:

D_{ob} tirante (calcolato come area diviso larghezza in superficie) dell'area golenale nella sezione 1;

D_c tirante del canale principale nella sezione 1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Per la valutazione della lunghezza di contrazione sono state ottenute 2 formule, la prima valida nel campo 150-850 m³/s:

$$L_c = 263 + 38.8 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 257 \left(\frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 58.7 \left(\frac{n_{ob}}{n_c} \right)^{0.5} + 0.161 \bar{L}_{obs}$$

Q_{ob} portata convogliata dalle zone golenali nella sezione 4;

n_{ob} coefficiente di Manning per le zone golenali nella sezione 4;

n_c coefficiente di Manning per il canale principale nella sezione 4.

Nei casi in cui la portata non rientri nel range specificato la formula consigliata è:

$$CR = 1.4 - 0.333 \left(\frac{F_{c2}}{F_{c1}} \right) + 1.86 \left(\frac{Q_{ob}}{Q} \right)^2 - 0.19 \left(\frac{n_{ob}}{n_c} \right)^{0.5}$$

Per quanto concerne il coefficiente di contrazione la regressione statistica non ha fornito una formula valida, per cui, in assenza di dati di calibrazione, si suggerisce di assegnare il valore in base al rapporto di contrazione secondo la seguente tabella:

Rapporto di contrazione	Coefficiente di contrazione
0.0 < b/B < 0.25	0.3-0.5
0.25 < b/B < 0.50	0.1-0.3
0.50 < b/B < 1.0	0.1

La definizione dei tratti contrazione ed espansione, oltre che con il corretto posizionamento delle sezioni 1 e 4, avviene con la corretta impostazione delle aree contribuenti al deflusso nelle sezioni 2 e 3. Ciò avviene mediante l'impostazione all'interno del modello delle "Ineffective flow area", le quali definiscono la parte di sezione contribuente al deflusso e quella in cui si ha solo invaso. Nel caso i tratti di contrazione ed espansione siano troppo lunghi per essere definiti in modo soddisfacente da solo 2 sezioni, si possono usare delle sezioni intermedie, avendo l'accortezza di definire le "Ineffective flow area" in modo da riprodurre la forma della vena liquida in contrazione ed espansione.

La valutazione delle lunghezze dei tratti di contrazione ed espansione ed i loro relativi coefficienti è un processo iterativo, dipendendo questi dalle caratteristiche della corrente nelle sezioni che si

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

vogliono posizionare. Tale processo comunque converge molto rapidamente e difficilmente si effettua più di 1,2 volte il calcolo.

3.3.1.3 Calcolo del profilo attraverso il ponte

Il calcolo nei tratti di contrazione (sezioni 4-3) e espansione (sezioni 2-1) avviene mediante il bilanciamento dell'equazione dell'energia come tra 2 sezioni qualsiasi. Il calcolo tra le sezioni 2 e 3 avviene invece seguendo 4 diverse formulazioni a seconda della richiesta dell'utente:

- equazione dell'energia;
- conservazione della quantità di moto;
- equazione di Yarnell;

Equazione dell'energia

In questo caso il programma inserisce due sezioni aggiuntive immediatamente all'interno del ponte e le tratta come due sezioni naturali, in cui l'area di deflusso è quella definita per il ponte e nel perimetro bagnato vengono aggiunti i tratti delle spalle ed eventualmente delle pile presenti.

Conservazione della quantità di moto

L'applicazione del metodo della conservazione della quantità di moto si basa su tre passaggi fondamentali. Si considerino, oltre alle due sezioni a monte e a valle del ponte (2 e 3), due sezioni immediatamente all'interno del ponte (BU e BD).

Il primo passo consiste nel bilancio della quantità di moto tra la sezione "2" e la sezione "BD".

L'equazione del bilancio può essere scritta nella seguente forma:

$$A_{BD} \overline{Y_{BD}}_v + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 \overline{Y}_2 - A_{PBD} \overline{Y}_{PBD} + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + F_f - W_x$$

dove:

A_2, A_{BD} area liquida delle sezioni 2 e v;

A_{PBD} area liquida ostruita dalle pile nel lato di valle;

$\overline{Y}_2; \overline{Y}_{BD}$ distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il baricentro delle aree A_2 e A_{BD} ;

\overline{Y}_{PBD} distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il baricentro dell'area A_{PBD} ;

β_2, β_{BD} coefficienti di Coriolis per la media della velocità;

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

- g accelerazione di gravità;
 F_f forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua;
 W_x forza peso dell'acqua nella direzione della corrente, per unità di volume.

Il secondo passo consiste nel bilancio della quantità di moto tra le sezioni "BD" e "BU", espressa come:

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

ed infine il terzo passo è il bilancio della quantità di moto tra le sezioni "BU" e "3", espressa come:

$$A_3 \bar{Y}_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{PBU} \bar{Y}_{PBU} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{PBU} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x$$

dove con C_D si indica il coefficiente di trascinamento per il flusso attorno alle pile, che può variare in funzione della forma delle pile.

L'equazione della conservazione della quantità di moto richiede la conoscenza dei coefficienti di scabrezza per la stima della forza di attrito e per la stima del coefficiente di trascinamento. Questi ultimi sono usati per valutare la forza dovuta al moto dell'acqua attorno alle pile, la separazione del flusso e i fronti d'onda della scia che si genera a valle e sono riportati in apposite tabelle sperimentali in base alla forma ed alla posizione delle pile.

L'equazione è valida per deflusso con contrazione della vena liquida, ma non può essere applicata quando si abbiano le condizioni di deflusso a "bocca piena", cioè quando il pelo libero della corrente, per effetto del soprizzo dovuto all'interazione con la struttura, dovesse toccare l'intradosso del ponte.

Equazione di Yarnell

L'equazione di Yarnell utilizzata per il calcolo del rigurgito è la seguente:

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

dove:

- H_{3-2} differenza di livello tra le sezioni 3 e 2;
 K coefficiente di Yarnell che tiene conto della forma delle pile;
 ω rapporto tra il carico cinetico e il tirante nella sezione 2;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

α rapporto tra l'area occupata dalle pile e l'area non ostruita nella sezione 2;

V_2 velocità nella sezione 2.

L'equazione è basata su esperienze di laboratorio effettuate su circa 2600 prove nelle quali sono stati valutati diversi parametri: la forma, la larghezza, la lunghezza delle pile, l'angolo di giacitura dell'asse del ponte rispetto alla direzione della corrente e l'entità della corrente.

I limiti della formula di Yarnell sono dovuti al fatto che non vengono considerate nel calcolo né la forma del ponte, né la forma delle spalle, né la larghezza del ponte stesso. A causa di queste limitazioni la formulazione di Yarnell può essere usata solo quando le maggiori perdite di carico sono dovute alla presenza delle pile e non all'ostruzione complessiva causata dal manufatto di attraversamento (rampe di accesso, spalle e pile). Il metodo è valido solamente se il moto è lento.

La formulazione utilizzata differisce di poco da quella indicata nella Direttiva 2/99, che è scritta nella forma seguente:

$$\frac{\Delta y}{y} = K_y (K_y - 0.6 + 5 F_2^2) (1 - r + 15 (1 - r)^4) F_2^2$$

dove $(1-r) = (b_0 - b_1) / b_0$ è il grado di restringimento e F_2 il numero di Froude della sezione 2.

Le due equazioni sono sostanzialmente identiche, solo che la forma qui sopra riportata privilegia il concetto di una sezione rettangolare equivalente (il rapporto di contrazione r è infatti riferito alla larghezza) per cui è possibile esplicitare il numero di Froude come elemento caratteristico del moto, mentre la forma dell'equazione presentata prima fa riferimento, più in generale, ad una sezione di forma qualsiasi (il rapporto di contrazione α è infatti un rapporto di aree).

3.3.1.4 Calcolo del profilo attraverso il ponte per eventi eccezionali

Le formule descritte al paragrafo precedente sono valide quando il pelo libero non viene a contatto con l'intradosso del ponte, in questo caso infatti solo l'equazione dell'energia può ancora utilizzarsi, aggiungendo al perimetro bagnato della sezione BU, ed eventualmente BD, la lunghezza di intradosso. Nel caso si abbia il superamento dell'estradosso l'equazione dell'energia rimane valida aggiungendo al perimetro bagnato anche la quota parte di estradosso interessato dal deflusso.

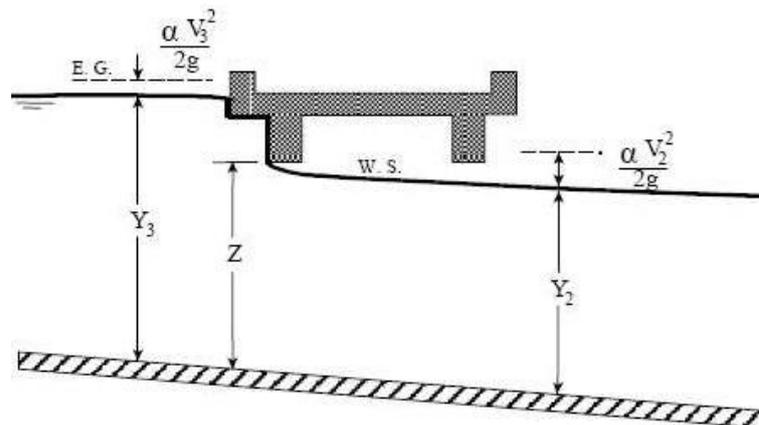
In questi casi è possibile però utilizzare le formule della foronomia, variamente sviluppate da diversi autori. Il programma HEC-RAS utilizza le formule di seguito descritte.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 21 di 168

Deflusso in pressione libero

Il deflusso in pressione libero si sviluppa quando il pelo libero entra in contatto con l'intradosso del ponte solo nel lato di monte del ponte, mentre a valle si ha il deflusso libero. La formula utilizzata è del tipo deflusso sotto battente ed in particolare è utilizzata la formula sviluppata dalla Federal Highway Administration:

$$Q = C_D A_{BU} \sqrt{2g \left(Y_3 - \frac{Z}{2} + \alpha_3 \frac{V_3^2}{2g} \right)}$$



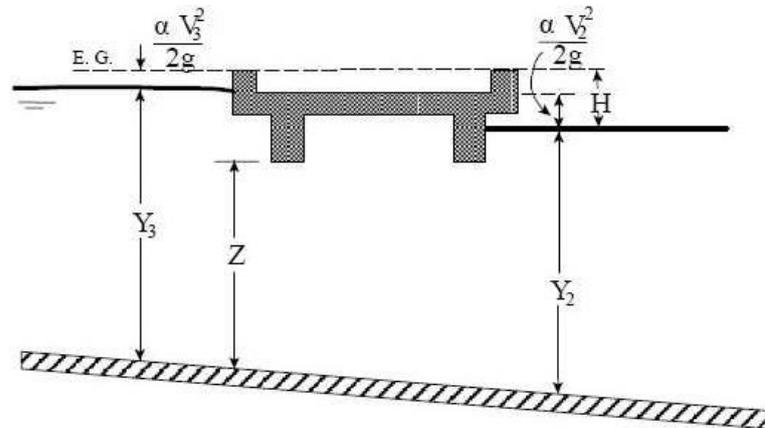
Il coefficiente di deflusso C_D può essere definito dall'utente o automaticamente "scelto" dal programma dato il rapporto Y_3/Z sulla base di dati sperimentali.

Deflusso in pressione rigurgitato

Il deflusso in pressione è rigurgitato quando anche a valle del ponte il pelo libero viene a contatto con l'intradosso, la capacità di deflusso diminuisce e la formula precedente non è più valida e il programma utilizza la seguente:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

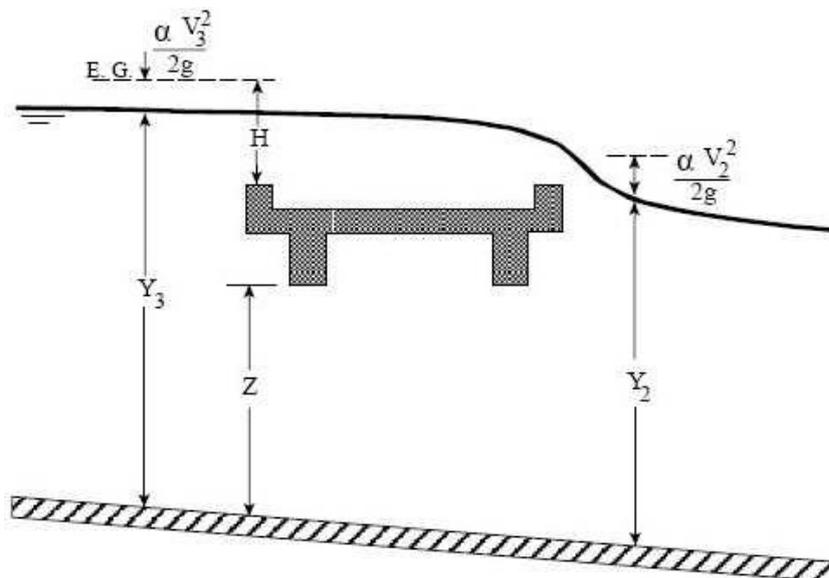


Con C coefficiente di deflusso variabile tra 0.7 e 0.9.

Deflusso a stramazzo

Quando il pelo libero supera l'estradosso del ponte si ha deflusso anche al di sopra del ponte, tale deflusso viene calcolato con la tipica formula degli stramazzi:

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



Con C coefficiente di deflusso compreso tra 1.38 e 1.71.

3.3.1.5 Calcolo del rigurgito dovuto ai tombini

L'analisi del deflusso attraverso un tombino si basa sul concetto di controllo all'imbocco o allo sbocco.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**
COMMESSA

IV01

LOTTO

00

CODIFICA

D 26 RH

DOCUMENTO

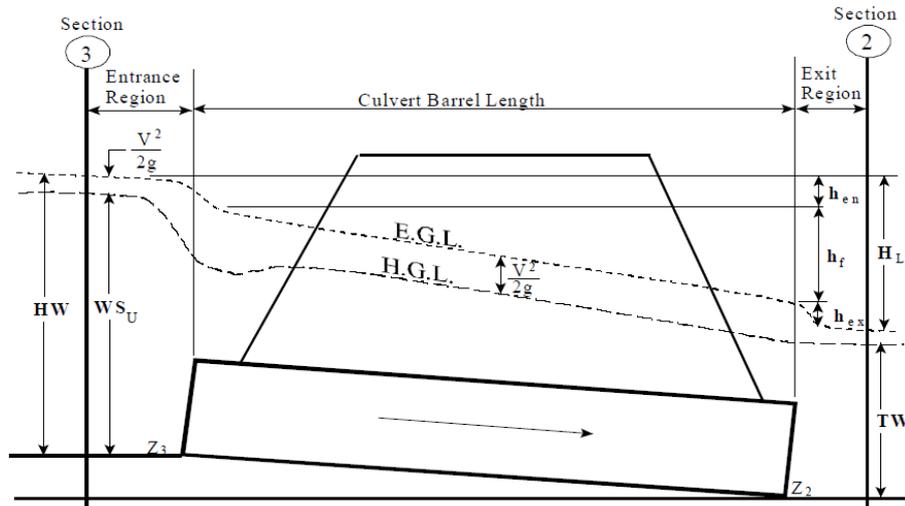
ID 0002 001

REV.

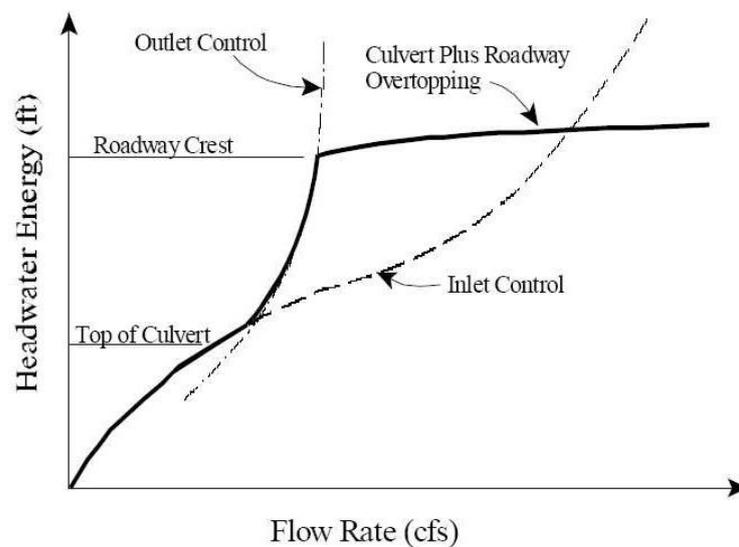
B

FOGLIO

23 di 168



Il deflusso secondo il controllo all'imbocco si verifica quando la capacità di deflusso all'entrata del tombino è inferiore a quella interna. La sezione di controllo è collocata subito a valle dell'imbocco della struttura. L'altezza d'acqua passa per il livello critico e il regime di deflusso risulta essere rapido. L'energia richiesta a monte viene calcolata assumendo che l'imbocco del tombino agisca come uno stramazzo; di conseguenza il profilo che si ottiene secondo tale approccio dipende principalmente dalla geometria dell'entrata.



Il deflusso secondo il controllo allo sbocco si verifica quando la capacità di deflusso viene limitata dalle condizioni che si instaurano a valle o dalle caratteristiche geometriche della struttura. In linea generale il livello di energia determinato a monte controlla il tipo di deflusso nel tombino, data la

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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

Calcolo del livello all'imbocco

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

Deflusso libero:

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

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

Deflusso rigurgitato:

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

Dove:

- HW_i livello dell'energia all'imbocco
- D altezza interna del tombino
- H_c altezza critica
- Q portata
- A area della sezione interna del tombino
- S pendenza

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

Calcolo del livello allo sbocco

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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

dove:

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

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

α_3, α_2 coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;

g accelerazione di gravità;

H_L perdita di carico attraverso il tombino.

Equazioni per il deflusso in pressione

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

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

Dove:

h_{en} perdite in entrata

h_f perdite per attrito

h_{ex} perdite in uscita.

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

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

Dove:

h_f perdite per attrito

L lunghezza del tombino

Q portata

n coefficiente di scabrezza di Manning

A area della sezione di flusso

R raggio idraulico.

Perdite in entrata e uscita

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

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

3.3.2 Generazione della geometria del modello

Il primo passo per l'implementazione della geometria del modello prevede la definizione delle quote del terreno dell'alveo e della pianura alluvionale tramite la generazione di un Modello Digitale del Terreno (DTM). Tali informazioni sono state estratte dai dati topografici disponibili descritti nel paragrafo 3.2.1, avendo cura di integrare le informazioni derivate dalle sezioni trasversali rilevate in alveo con quelle relative al piano campagna provenienti dal modello digitale del terreno. Infatti, si è scelto di sostituire il dato in alveo fornito dal DTM con quello ottenibile dall'interpolazione tra le sezioni, quando disponibili, integrando la morfologia in alveo ricostruita, con il DTM al di fuori dell'alveo. Pertanto, a tale scopo è stata effettuata una interpolazione geospaziale delle sezioni rilevate, in ambiente GIS tramite il software XS Interpolator², in modo da poter prendere in considerazione le variazioni puntuali presenti tra due sezioni rilevate, siano esse dovute a restringimenti, allargamenti o cambiamenti di direzione del corso d'acqua; il risultato di tale interpolazione è costituito da un modello digitale dell'alveo, integrato con il DTM per le quote del terreno di piano campagna.

Per quanto riguarda l'impluvio 81+972 e il Rio Toco, invece, il DTM più accurato è stato ottenuto integrando il DTM del Ministero dell'Ambiente con il rilievo celerimetrico del 2010.

²<https://shop.m3eweb.com/home/32-xs-interpolator.html>

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 27 di 168

4 VINCOLI NORMATIVI

La realizzazione della nuova linea ferroviaria interferisce con una serie di linee d'acqua, è stato quindi necessario prevedere degli attraversamenti idraulici in corrispondenza della linea e delle viabilità stradali, oltre ad una serie di sistemazioni idrauliche in corrispondenza delle opere di attraversamento.

Le opere di attraversamento idraulico sono state definite rispettando i franchi imposti da:

- Manuale di progettazione di RFI
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018).
- Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3

Il manuale di progettazione di RFI impone per gli attraversamenti i seguenti valori:

- Ponti:
 - o franco non inferiore a 1.5 m per un tempo di ritorno fissato dalla normativa nazionale o locale vigente;
 - o franco non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.
- Tombini:
 - o La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale;

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e la Circolare (21 Gennaio 2019, n.7) impongono per gli attraversamenti i seguenti valori:

- Ponti:
 - o franco non inferiore a 1.5 m per un tempo di ritorno di 200 anni
- Tombini:
 - o nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Il Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 impone dei franchi per le opere di attraversamento e sistemazioni fluviali che ricadono sul reticolo idrografico regionale in funzione della classificazione del corso d'acqua.

Il reticolo idrografico regionale è così definito, è il reticolo idrografico che comprende tutti i corsi d'acqua presenti sul territorio regionale, ovvero quelli già iscritti agli ex elenchi delle acque pubbliche e quelli per i quali la declaratoria di pubblicità è intervenuta con l'entrata in vigore del D.P.R. 18 febbraio 1999, n. 238 (Regolamento recante norme per l'attuazione di talune disposizioni della legge 5 gennaio 1994, n. 36 in materia di risorse idriche).

Il reticolo idrografico è articolato nei seguenti livelli:

- reticolo idrografico di primo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso con superficie maggiore di 1 Km²;
- reticolo idrografico di secondo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 1 e 0,25 Km²;
- reticolo idrografico di terzo livello: porzione del reticolo idrografico comprendente le aste fluviali con bacino sotteso compreso tra 0,25 e 0,1 Km²;
- reticolo idrografico minuto: porzione del reticolo idrografico regionale comprendente le aste fluviali non appartenenti alle articolazioni definite alle lettere precedenti.

Il regolamento ed in particolare l'allegato 2 impone che tutte le opere devono avere franchi adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale, portata di riferimento per la progettazione di opere idrauliche od opere interferenti con l'alveo.

Per i tratti di corsi d'acqua del reticolo di primo e secondo livello i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s²) (valore particolarmente rilevante per correnti veloci) e i valori per di seguito indicati:

I	argini e difese spondali	cm. 50/100
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150
II I	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 150/200

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Dove i due valori estremi corrispondono rispettivamente a bacini poco dissestati con previsione di modesto trasporto solido ed a bacini molto dissestati con previsione di forte trasporto solido in caso di piena, e/o a bacini di maggiore o minore estensione.

Per i tratti di corsi d'acqua del reticolo di terzo livello i franchi non devono essere inferiori al valore maggiore tra il carico cinetico della corrente determinabile come $U^2/2g$, dove U è la velocità media della corrente (m/s) e g è l'accelerazione di gravità (m/s^2) (valore particolarmente rilevante per correnti veloci) e i valori per di seguito indicati:

I	argini e difese spondali	cm. 50
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 75
II	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m.	cm.
I	12	100

Infine, per i tratti di corsi d'acqua del reticolo minuto i più adeguati franchi potranno essere determinati in sede di autorizzazione idraulica sulla base della tipologia dell'opera, del suo inserimento territoriale, delle caratteristiche della corrente e delle potenziali conseguenze in caso di insufficienza al deflusso, prevedendo comunque un valore minimo di 30 cm per le arginature e di 50 cm per ponti, attraversamenti e tombinature.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5 RIO CASTELLARO

5.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata tra i comuni di Borghetto Santo Spirito e Loano (SV) poco distante dalla frazione Pineland. La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova al di fuori di centri urbani, circondata da estese aree adibite alla coltivazione, tra le quali risultano numerose le serre

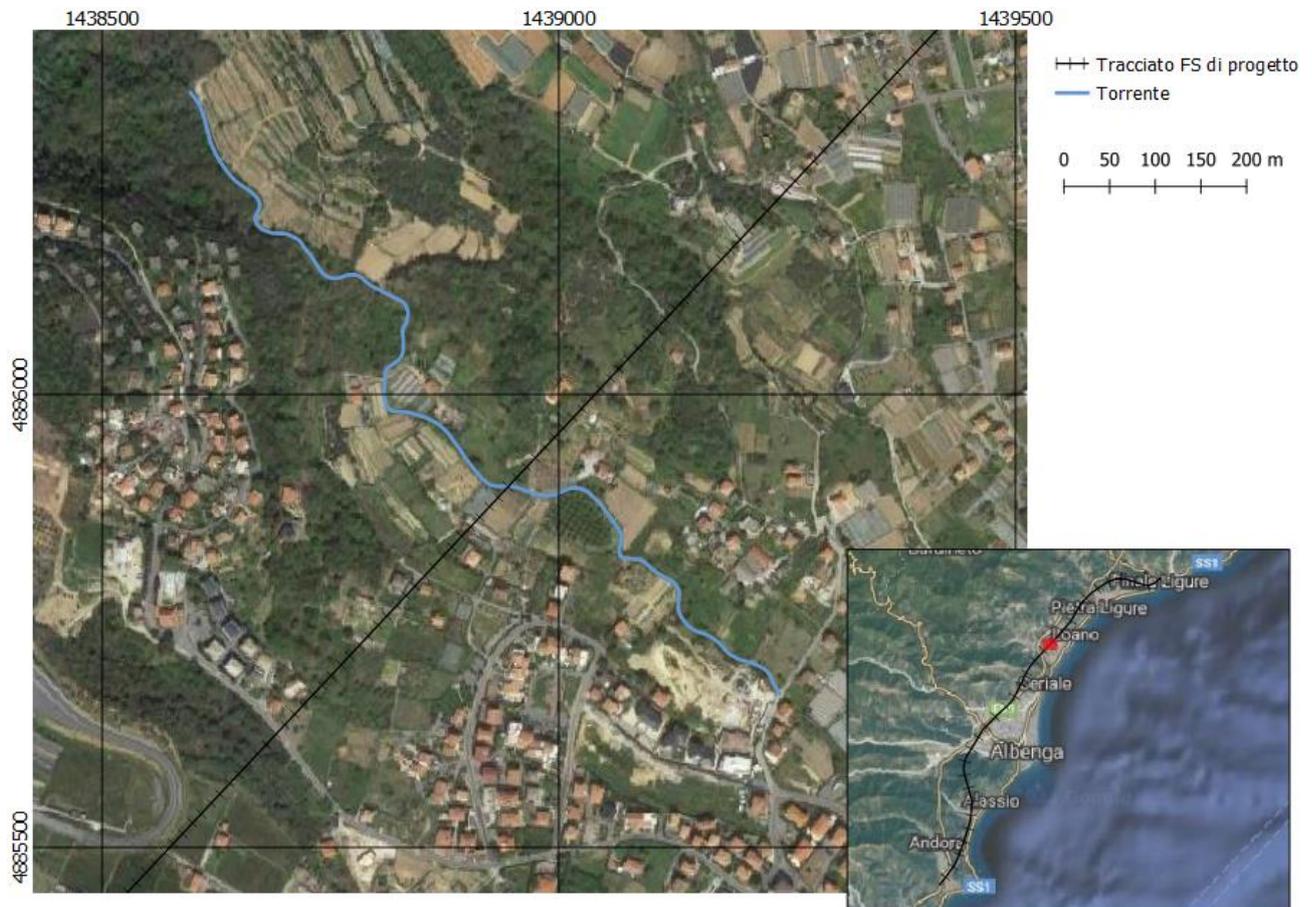


Figura 5 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.2 INTERVENTO DI PROGETTO

L'opera di attraversamento sul corso d'acqua è costituita da uno scatolare di larghezza interna 8,00 m ed altezza interna 4,50 m, ubicato alla progressiva Km 76+641.

A monte della ferrovia, in sinistra e destra idraulica del corso d'acqua, è prevista un'area adibita a mezzi di soccorso ed una piazzola per l'atterraggio di un elicottero. A valle, inoltre, è presente un'ulteriore modifica alla viabilità locale passante sul corso d'acqua con uno scatolare delle stesse dimensioni di quello sotto la ferrovia.

I due scotalari sono collegati da un canale rettangolare in cemento armato avente base 8,00 m. Gli attraversamenti sono rivestiti internamente al fondo con pietrame cementato di diametro medio 20 cm per garantire la continuità della scabrezza anche all'interno dello scatolare.

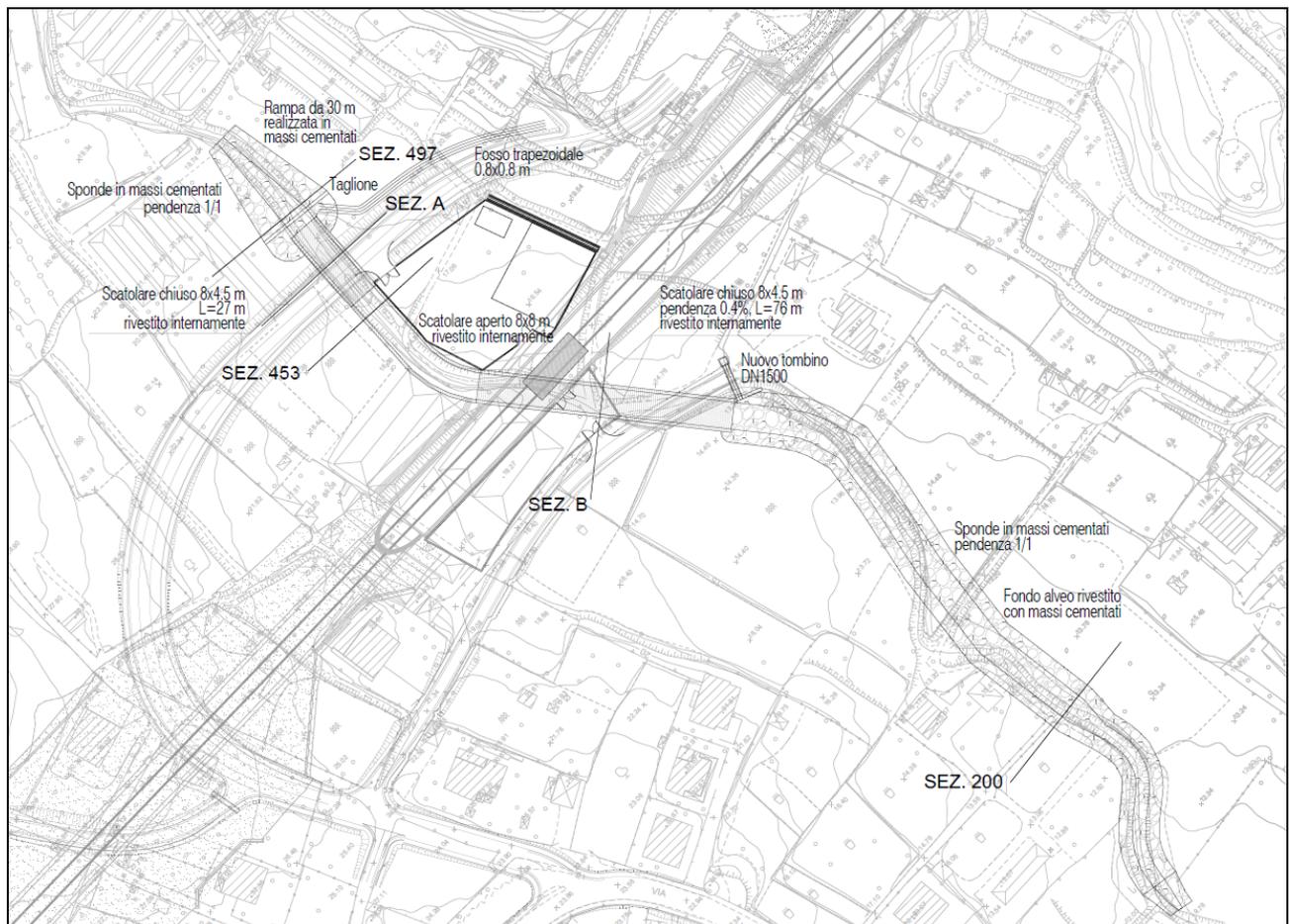


Figura 6 – Planimetria della sistemazione idraulica di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

L'intervento comprende, oltre alla realizzazione dell'opera di scavalco, anche la sistemazione spondale e dell'alveo del rio a monte e a valle degli attraversamenti. La sistemazione prevede la riprofilatura del fondo alveo e la risagomatura della sezione in una di forma trapezia e larga al fondo da 4.0 m fino a 8.0 m in corrispondenza degli attraversamenti.

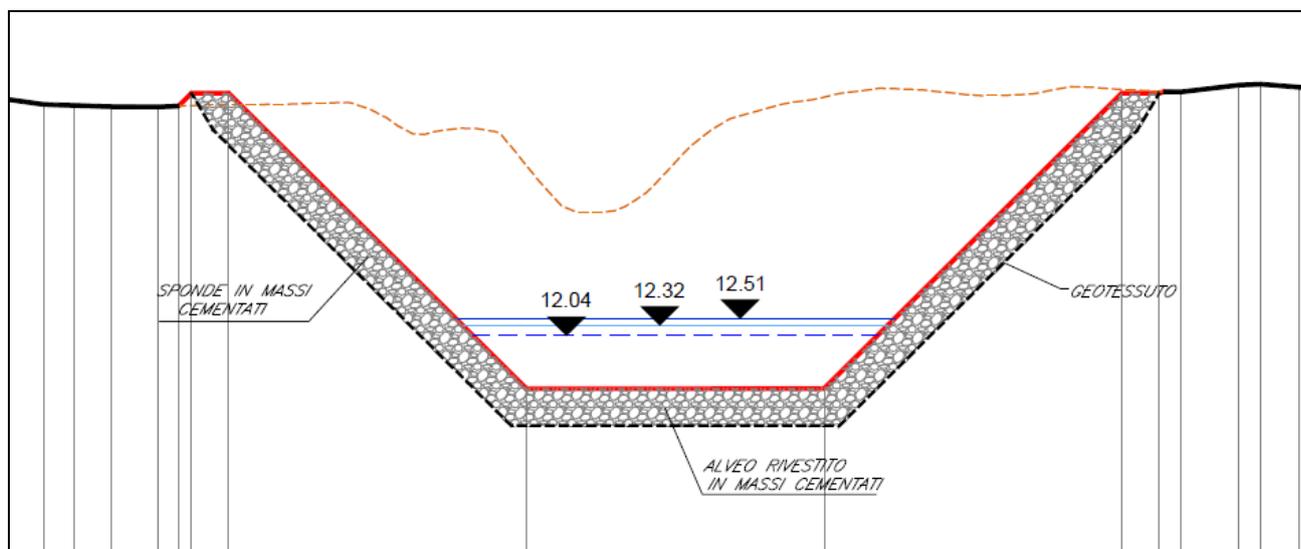


Figura 7 – Torrente Castellaro: sistemazione idraulica tipologica di progetto

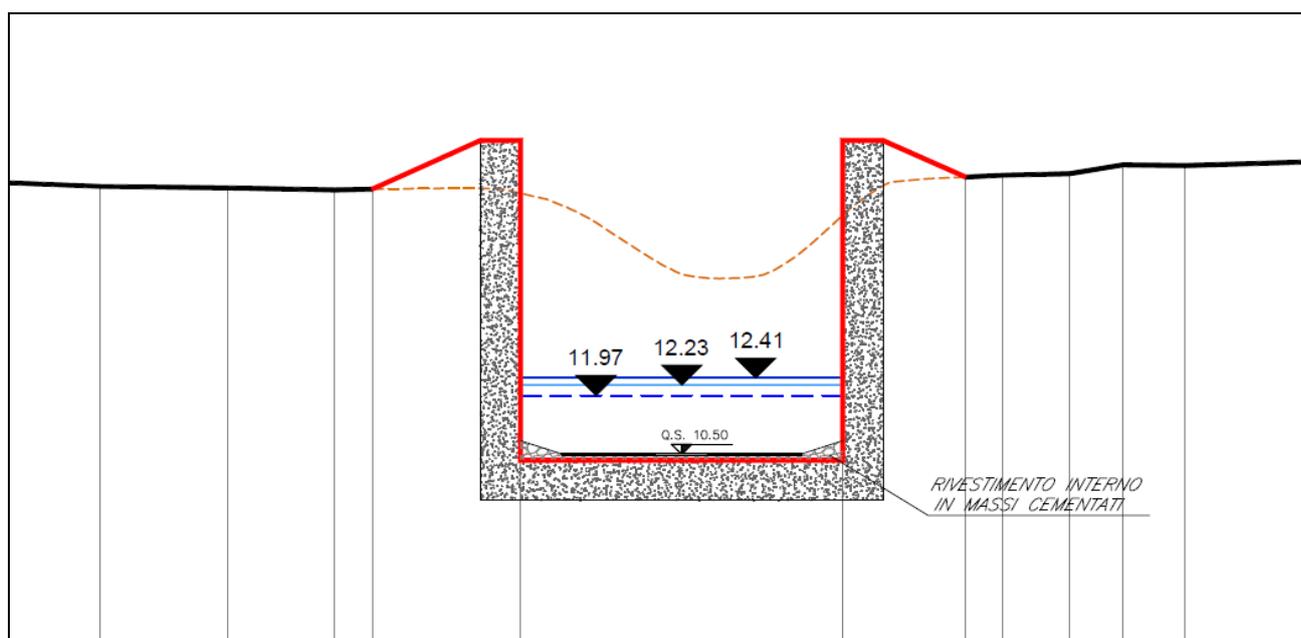


Figura 8 – Torrente Castellaro: sistemazione idraulica tipologica di progetto

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Il piano del ferro, in corrispondenza dell'attraversamento di progetto, è posto ad una quota tale per cui è necessario prevedere un approfondimento del fondo del corso d'acqua sotto la linea ferroviaria. Si provvede dunque ad un intervento sulle pendenze di fondo dell'alveo tale da consentire al deflusso un transito in sicurezza con un adeguato franco di sicurezza in ottemperanza alle normative vigenti. La riprofilatura consta di due tratti a diversa pendenza: il primo tratto ha una pendenza del 15% e il secondo dello 0.3%.

Lo sviluppo totale dell'intervento è pari a 400 m e prevede il rimodellamento dell'alveo attuale con la posa di massi naturali al fondo alveo intasati con materiale d'alveo, su strato di geotessile in polipropilene, posizionato in questa sede per evitare l'asportazione del materiale fine sottostante. Le sponde sono realizzate con massi cementati ed hanno pendenza di 1 su 1.

In corrispondenza del tratto a maggior pendenza del rio sono previsti dei massi affioranti e legati di pezzatura di circa 1 m. La legatura dei massi è eseguita lateralmente al masso stesso mediante trefoli in acciaio $\phi 22$ mm. I massi legati sono fissati tramite funi trasversali di collegamento in acciaio zincato a dei micropali realizzati con la tecnica del jet-grouting a bassa pressione, disposti lungo la rampa ad interasse di 5 m. Si viene così a realizzare una rampa di massi legati tra loro per produrre significative dissipazioni di energia assicurando contemporaneamente la stabilità del letto d'alveo. La rampa ha lunghezza di circa 30 m, ed è preceduta da un tratto di 10 m in cui si dispongono dei massi affioranti al fondo non legati tra loro. Al termine della rampa e prima dell'imbocco va realizzato, come zona di dissipazione, un tratto di 16 m regolarizzato con pietrame sciolto e affiorante al fondo e sponde in massi cementati.

A valle dell'attraversamento, la risagomatura sarà effettuata a sezione trapezia rivestita in massi naturali con base 8,00 m per una lunghezza di 150 e successivamente con base pari a 4,00 m per i restanti 50 m. Sia nel tratto finale che iniziale della sistemazione sono previsti dei tratti di raccordo alla sezione attuale del corso d'acqua.

Tutte le zone di sistemazione sono delimitate a monte e a valle da un taglione al fine di garantirne l'ottimale e duraturo contenimento.

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla visione delle tavole progettuali e della restituzione grafica delle analisi modellistiche, in particolare:

- IV0I00D26WZID0102001A

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 34 di 168

- IV0I00D26WZID0102002A
- IV0I00D26FZID0102001A
- IV0I00D26FZID0102002A
- IV0I00D26PZID0102001A

5.2.1 Attraversamenti in fase di cantierizzazione

Il tracciato della linea ferroviaria di progetto interseca il Rio Castellaro a circa 800 m dalla confluenza con il Rio Casazza, 1400 m dal mare e prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio, pertanto, non è prevista interruzione della linea esistente durante le lavorazioni.

La realizzazione del tracciato ferroviario in variante comporterà anche l'adeguamento di viabilità esistenti ed una nuova viabilità a monte della linea ferroviaria per dare accesso ad una area che sarà allestita per i mezzi di soccorso.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre rilevato ferroviario verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, salvo l'interferenza con la viabilità esistente che sarà da deviare durante la fase di cantiere; sarà tuttavia da prevedere inoltre che le lavorazioni in alveo vengano effettuate nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare la sicurezza e i lavori.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

5.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria del Rio Castellaro, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente e il rilievo delle sezioni del 2010 e del 2021.

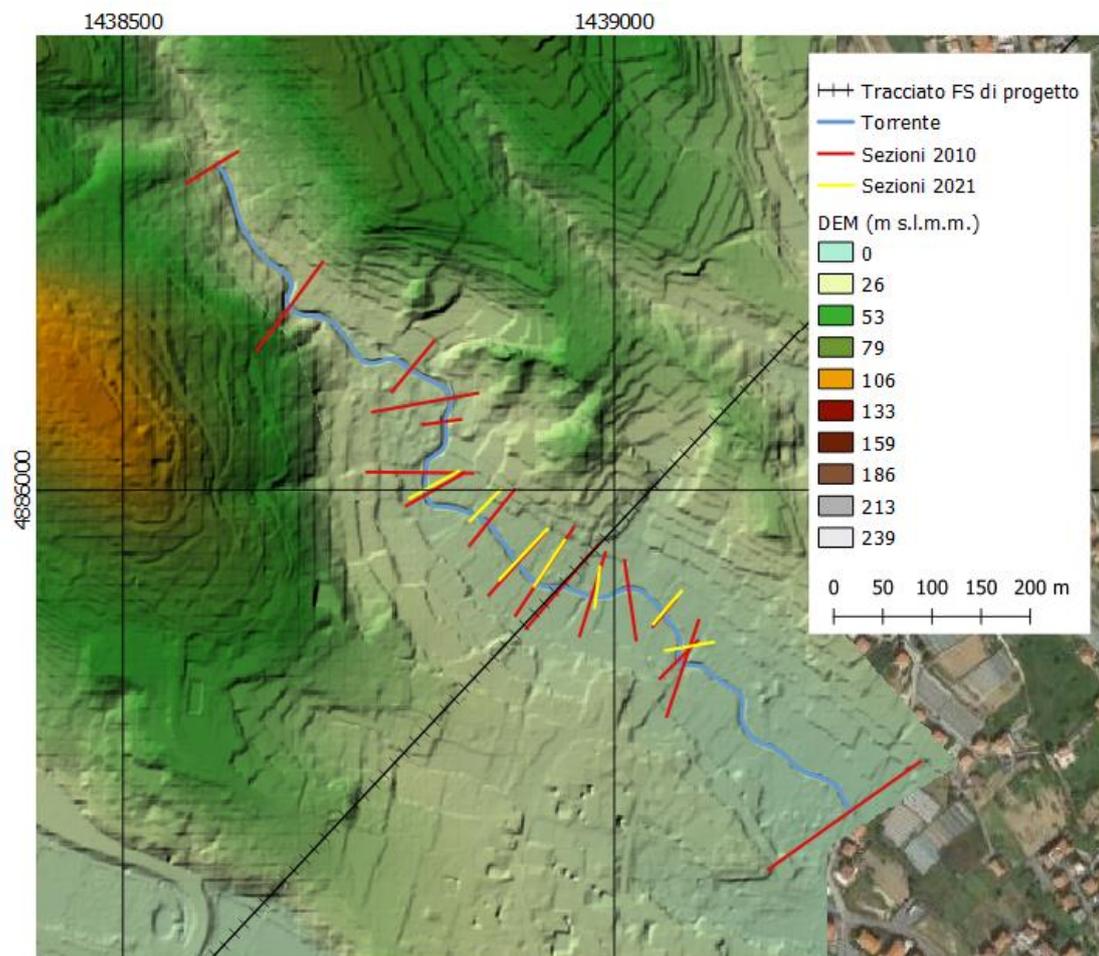


Figura 9: Informazioni topografiche a disposizione

Come descritto nel paragrafo 3.3.2, ai fini di ottenere un modello del terreno più accurato possibile è stata effettuata un'interpolazione delle sezioni trasversali del torrente, integrando così il DTM del Ministero dell'Ambiente.

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo; in figura sono indicati anche i profili delle sezioni trasversali rilevate utilizzate per l'implementazione della geometria, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 36 di 168

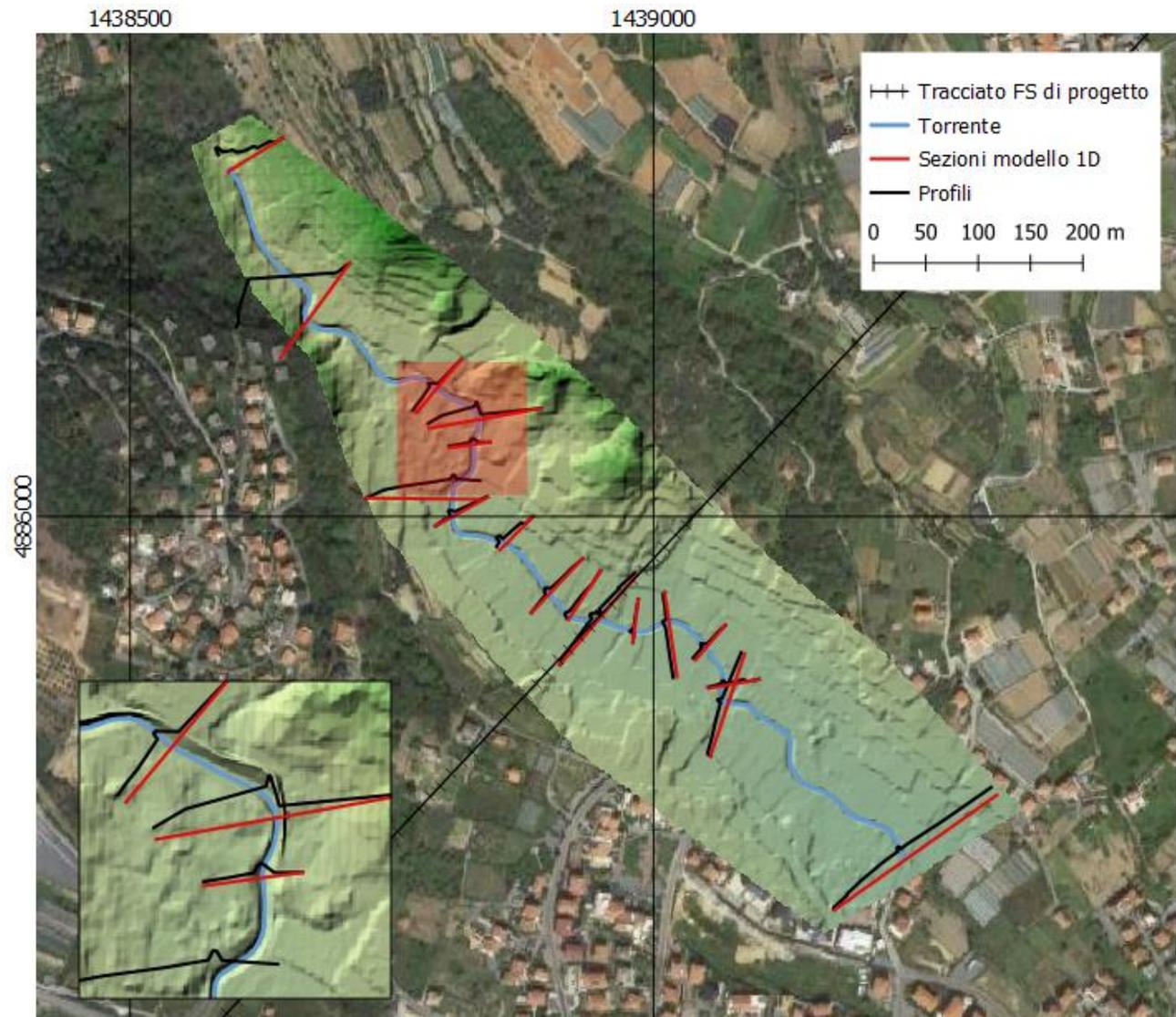


Figura 10: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 52 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo. La distanza tra le sezioni (rilevate e interpolate) è stata mantenuta nell'ordine dei 20 m, salvo nei casi in cui sono state inserite delle strutture idrauliche. Nel caso in cui il rilievo 2010 e quello 2021 risultassero sostanzialmente sovrapposti, sono state utilizzate le sezioni più recenti.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	37 di 168

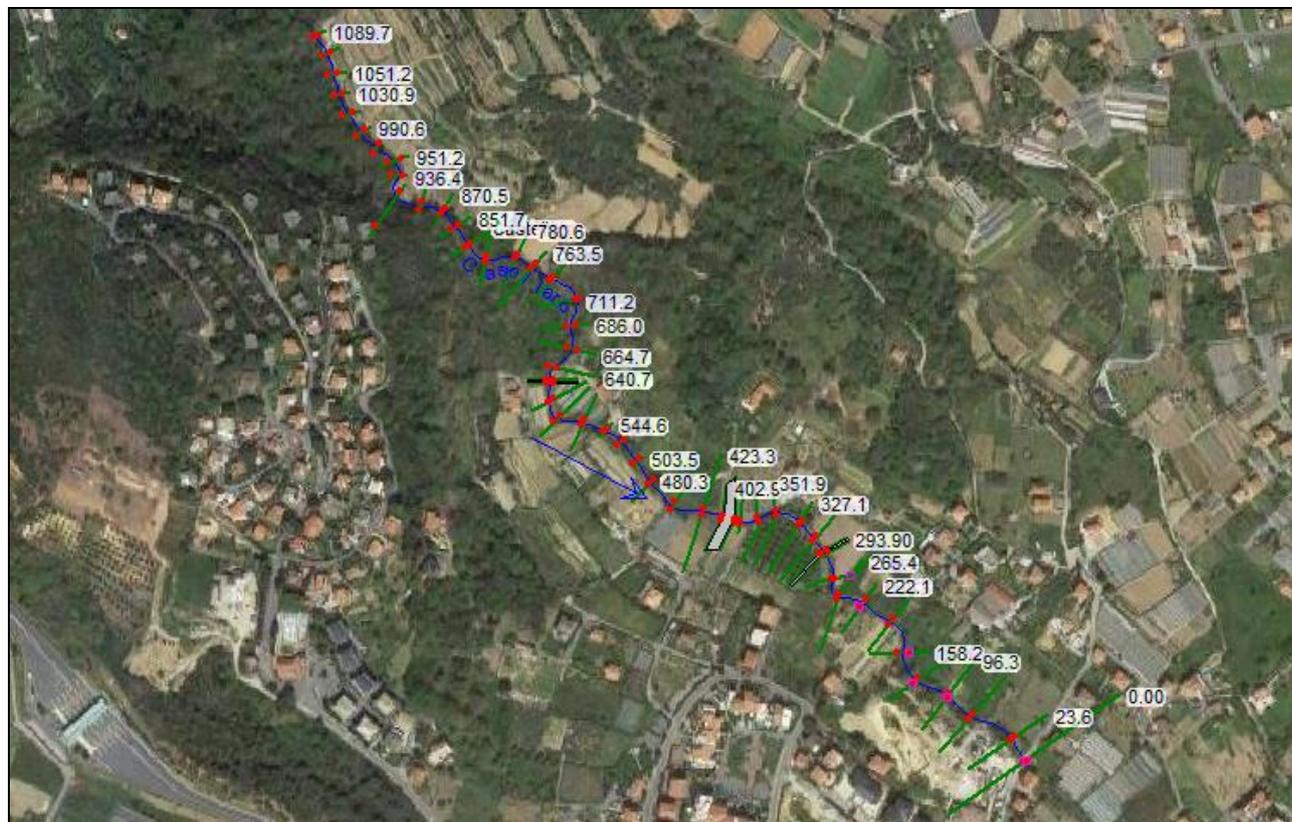


Figura 11: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

Tutti gli attraversamenti individuati nel dominio di calcolo sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti o culvert, secondo le informazioni geometriche disponibili.

Le figure seguenti mostrano le posizioni delle strutture e la schematizzazione dei tre attraversamenti esistenti all'interno del modello.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	38 di 168

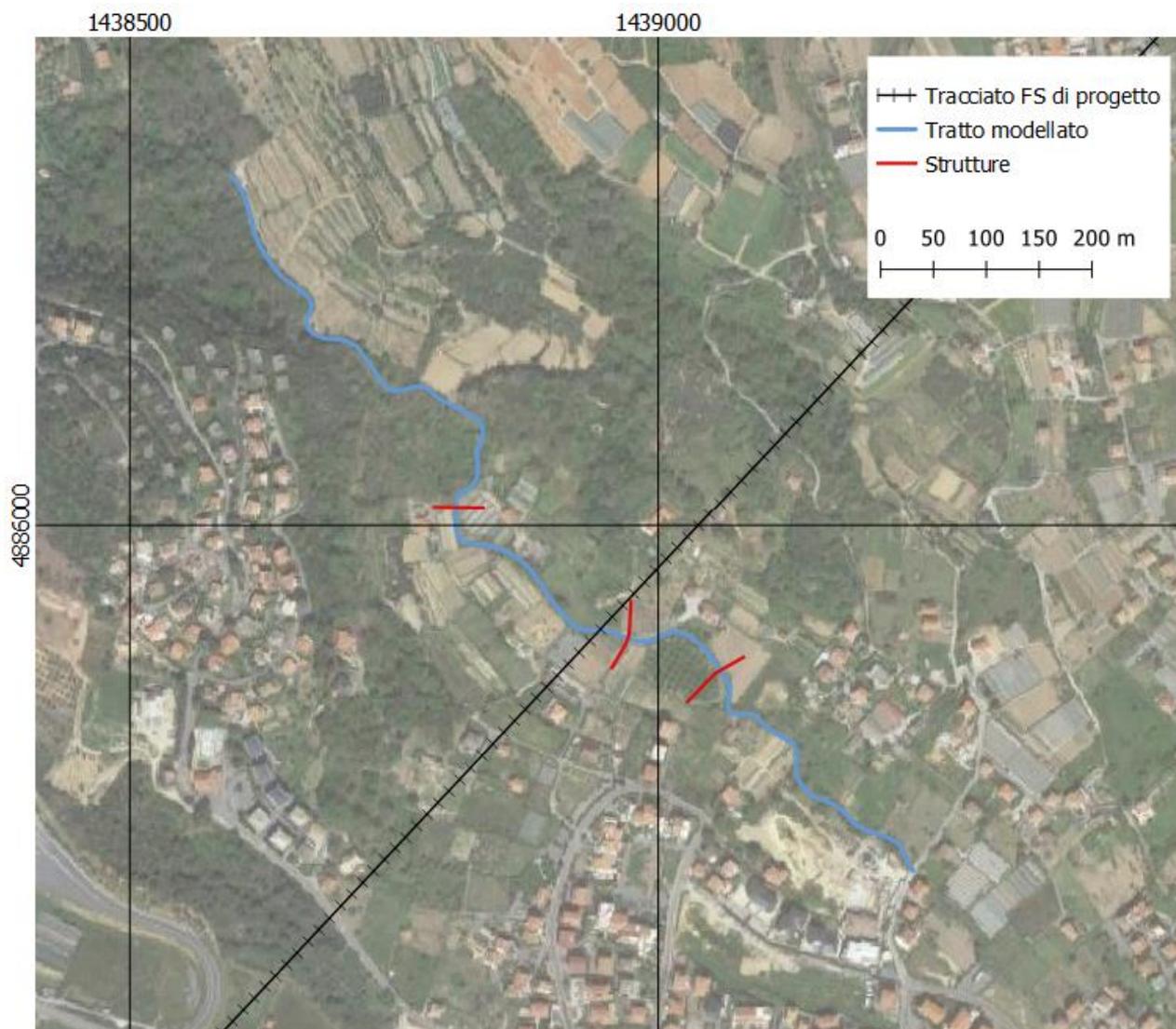


Figura 12: Strutture idrauliche inserite all'interno del modello

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

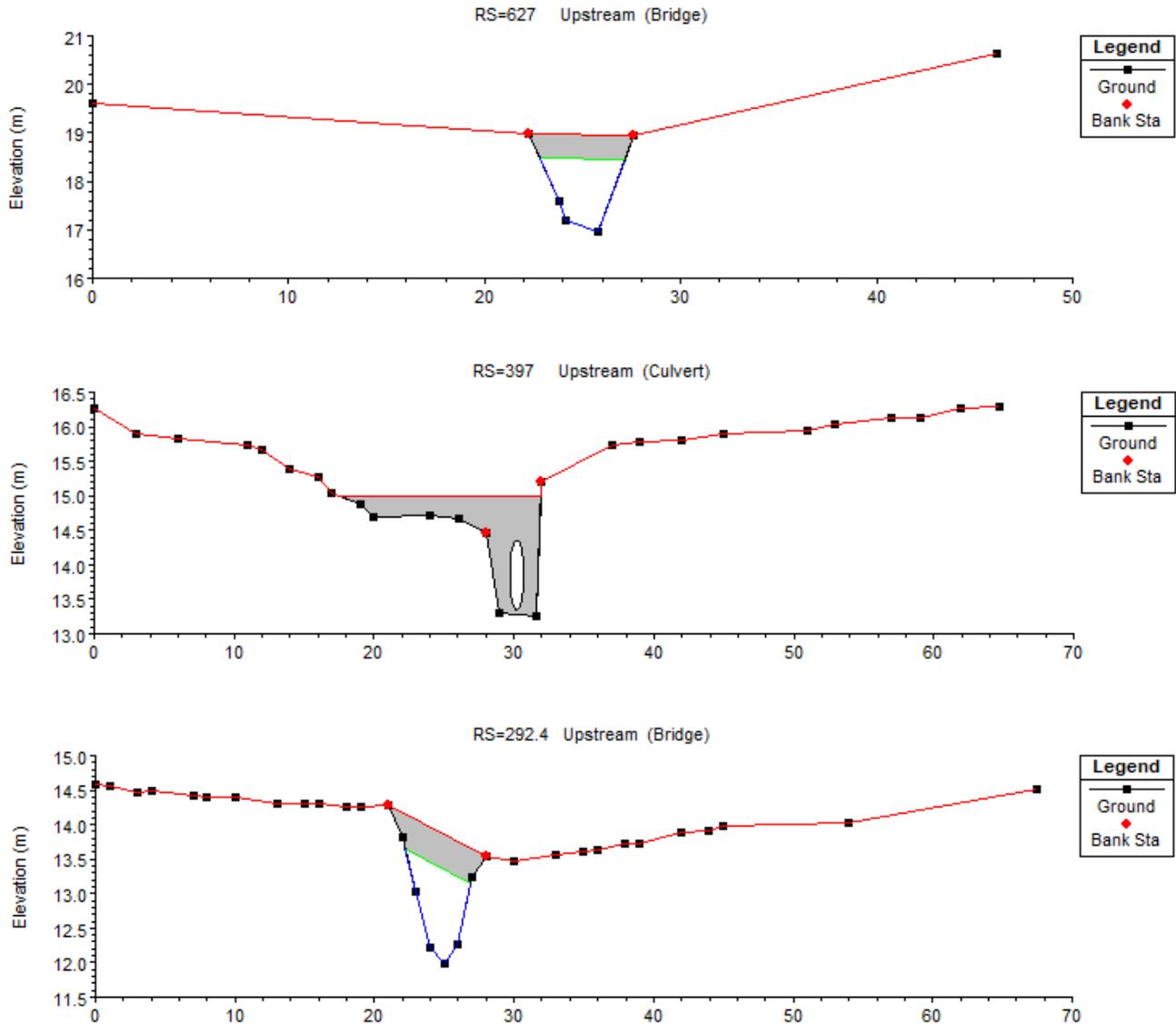


Figura 13: Attraversamenti all'interno del modello da monte verso valle

5.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.0095.

Come descritto nel paragrafo 3.2.2, sono state utilizzate le portate al colmo di riferimento come condizione al contorno a monte. Le portate ottenute con il metodo Gumbel sono risultate più

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

cautelative, rispetto a quelle ottenute con il metodo di VAPI, e sono state utilizzate per la determinazione dei livelli di massima piena.

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	13.9
Tr 200	18.3
Tr 500	21.3

Tabella 1 : Valori di picco degli eventi estremi considerati

5.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione.

Le aree perimetrare dal PAI prendono infatti in esame il Rio Castellaro a valle della zona di interesse, e pertanto tali informazioni risultano di limitata utilità, pur rappresentando un riferimento significativo.

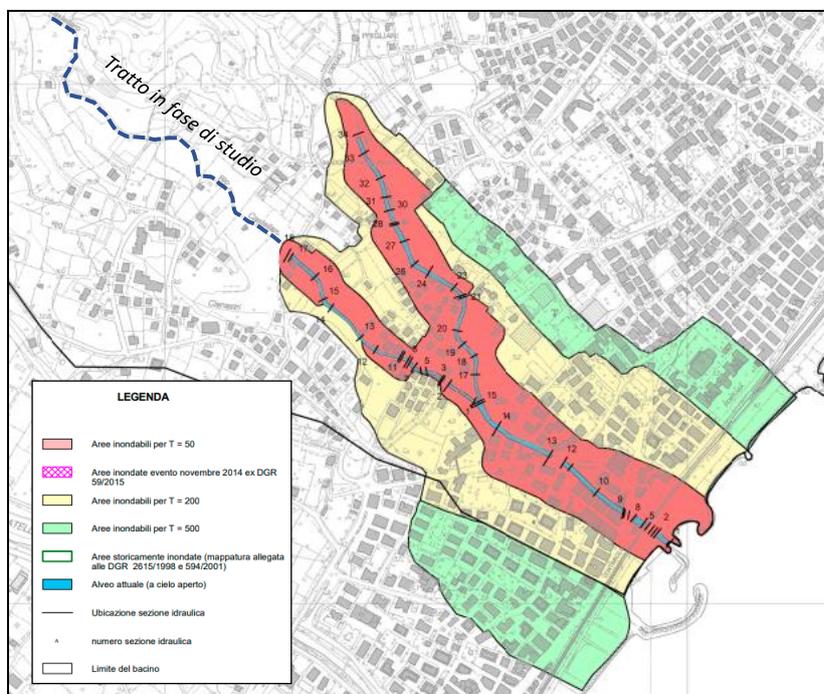


Figura 14: Estratto delle mappe di allagamento dal Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico

Pertanto, i valori di scabrezza sono stati assegnati secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

Copertura	n (range)
Alveo	0.04 – 0.06
Pianura alluvionale	0.05 - 0.08

Tabella 2: Scabrezze adottate nel modello

I valori dei coefficienti di scabrezza sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

5.3.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario (corrispondente alla sezione 60LN del rilievo 2010 presente nel modello). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

	<i>h (m slm), Tr50 (ante operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (ante operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (ante operam)</i>
<i>Sezione 60LN (attraversamento ferroviario)</i>	15.53	15.59	15.59

Tabella 3: Rio Castellaro: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, scenario ante operam

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA

IVOI

LOTTO

00

CODIFICA

D 26 RH

DOCUMENTO

ID 0002 001

REV.

B

FOGLIO

42 di 168

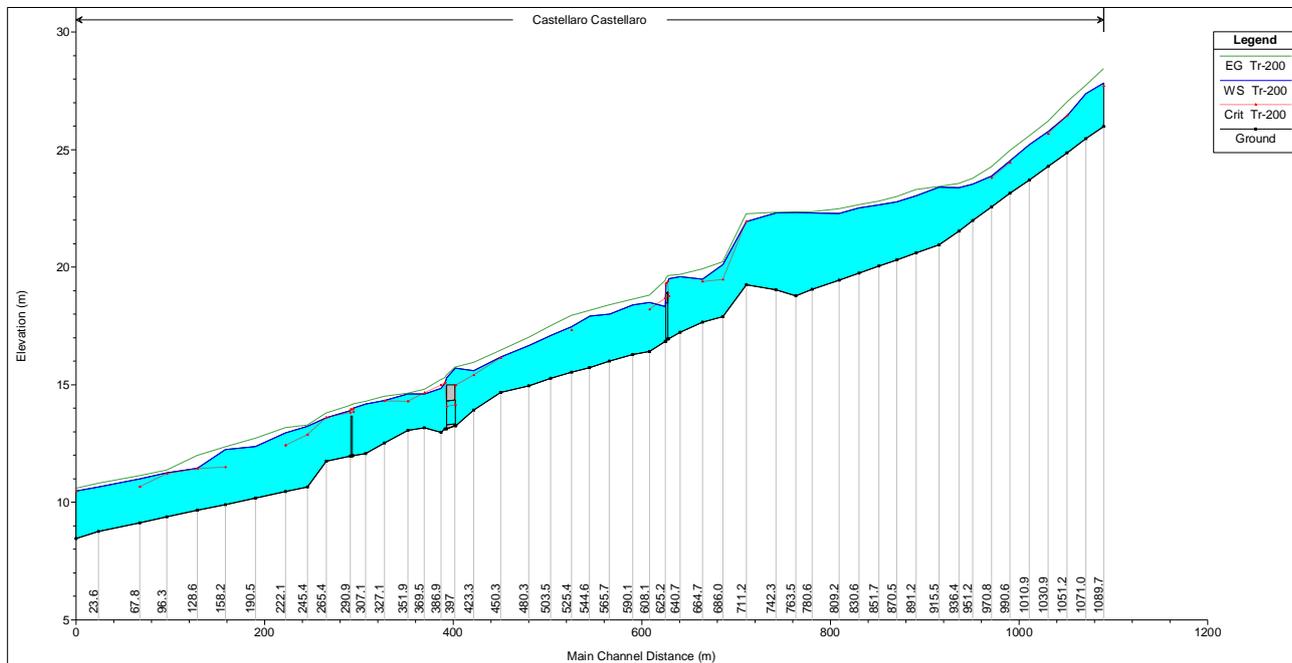


Figura 15: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

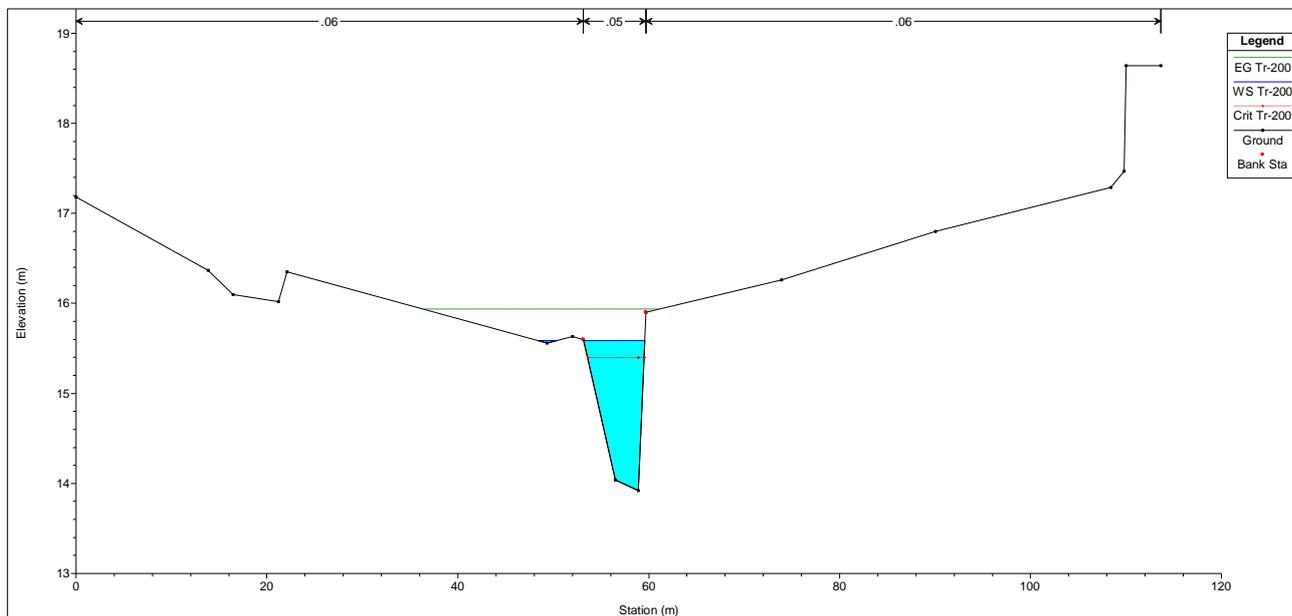


Figura 16: Sezione trasversale 60 LN in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto per l'evento Tr 200

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	43 di 168

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	21.3	1.99	0.91	25.98	27.97	27.87	28.64	0.053387	3.62	0.92
1071	21.3	2.07	1.05	25.46	27.53		27.9	0.024422	2.69	0.73
1051.2	21.3	1.72	0.94	24.87	26.59	26.59	27.22	0.047618	3.5	1
1030.9	21.3	1.61	0.98	24.29	25.9	25.77	26.35	0.032897	2.99	0.87
1010.9	21.3	1.63	1.01	23.71	25.34		25.73	0.027586	2.79	0.81
990.6	21.3	1.49	0.95	23.14	24.63	24.56	25.09	0.035535	3.03	0.92
970.8	21.3	1.44	0.95	22.56	24	23.89	24.42	0.031585	2.87	0.87
951.2	21.3	1.71	1.1	21.99	23.7		23.94	0.015384	2.2	0.62
936.4	21.3	2.01	1.17	21.54	23.54		23.74	0.010995	1.94	0.52
915.5	21.3	2.64	1.26	20.94	23.58		23.61	0.001775	0.82	0.23
891.2	21.3	2.59	1.13	20.6	23.19		23.49	0.01798	2.42	0.6
870.5	21.3	2.62	1.19	20.31	22.93		23.16	0.01222	2.13	0.5
851.7	21.3	2.74	1.26	20.04	22.78		22.95	0.008845	1.84	0.45
830.6	21.3	2.91	1.3	19.74	22.65		22.79	0.005967	1.67	0.37
809.2	21.3	2.92	1.17	19.44	22.36		22.61	0.011438	2.21	0.5
780.6	21.3	3.35	0.86	19.06	22.41		22.45	0.001632	1.09	0.21
763.5	21.3	3.65	1.33	18.77	22.42		22.43	0.000327	0.44	0.09
742.3	21.3	3.38	1.58	19.03	22.41		22.42	0.000278	0.53	0.1
711.2	21.3	2.77	0.52	19.26	22.03	22.03	22.36	0.033379	2.86	0.68
686	21.3	2.38	0.65	17.9	20.28	19.57	20.36	0.004836	1.39	0.36
664.7	21.3	1.85	0.92	17.66	19.51	19.51	20.08	0.044818	3.35	1
640.7	21.3	2.44	0.62	17.23	19.67	18.74	19.76	0.00265	1.39	0.33
629.18	21.3	2.6	0.52	16.95	19.55	18.9	19.71	0.005659	1.87	0.44
625.2	21.3	1.68	0.81	16.85	18.53	18.8	19.5	0.062934	4.36	1.36
608.1	21.3	2.23	0.62	16.42	18.65	18.32	18.97	0.01125	2.53	0.71
590.1	21.3	2.29	0.89	16.29	18.58		18.8	0.005691	2.12	0.55
565.7	21.3	2.16	0.96	16.01	18.17		18.59	0.01202	2.85	0.74
544.6	21.3	2.35	1.11	15.73	18.08		18.35	0.007331	2.3	0.5
525.4	21.3	2.08	0.98	15.54	17.62		18.12	0.01631	3.15	0.87
503.5	21.3	1.97	0.99	15.28	17.25	17.08	17.69	0.022067	2.95	0.84
480.3	21.3	1.72	0.93	14.96	16.68	16.62	17.15	0.025039	3.01	0.93
450.3	21.3	1.68	0.49	14.67	16.35	16.25	16.57	0.011986	2.23	0.67
423.3	21.3	1.67	0.69	13.92	15.59	15.52	16.06	0.026455	3.02	0.92
402.9	21.3	2.51	0.77	13.25	15.76	15.09	15.82	0.00263	1.31	0.28
391.5	21.3	2.02	0.39	13.13	15.15	15.15	15.35	0.011654	2.35	0.59
386.9	21.3	1.93	0.33	12.97	14.9	15.03	15.26	0.025384	3.02	0.79
369.5	21.3	1.52	0.32	13.16	14.68	14.69	14.83	0.018855	2.2	0.78
351.9	21.3	1.58	0.6	13.07	14.65	14.33	14.68	0.00266	1.01	0.29
327.1	21.3	1.88	0.37	12.52	14.4		14.55	0.010575	2.09	0.59
307.1	21.3	2.17	0.46	12.07	14.24		14.36	0.008027	1.86	0.5
293.9	21.3	2.1	0.44	11.98	14.08	13.88	14.24	0.009447	2.01	0.58
290.9	21.3	2	0.49	11.96	13.96	13.86	14.18	0.013387	2.31	0.68
265.4	21.3	1.9	0.4	11.75	13.65	13.65	13.84	0.012674	2.34	0.62
245.4	21.3	2.74	0.62	10.65	13.39	12.92	13.42	0.001534	1	0.23
222.1	21.3	2.65	1.06	10.46	13.11	12.54	13.32	0.009791	2.05	0.57
190.5	21.3	2.29	0.91	10.19	12.48	12.29	12.87	0.021495	2.75	0.83
158.2	21.3	2.49	0.65	9.91	12.4	11.63	12.51	0.004624	1.52	0.42
128.6	21.3	1.9	0.81	9.67	11.57	11.57	12.17	0.030748	3.43	0.98
96.3	21.3	1.91	0.34	9.39	11.3	11.27	11.41	0.009483	1.96	0.55
67.8	21.3	1.97	0.33	9.12	11.09		11.2	0.006214	1.72	0.47
23.6	21.3	1.94	0.38	8.77	10.71	10.55	10.87	0.008797	2.16	0.57
0	21.3	2.06	0.32	8.46	10.52	10.48	10.64	0.009506	1.93	0.48

Tabella 4: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	44 di 168

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	18.30	1.92	0.99	25.46	27.38		27.72	0.024533	2.60	0.73
1071	18.30	1.59	0.89	24.87	26.46	26.46	27.04	0.047868	3.37	1.00
1051.2	18.30	1.48	0.92	24.29	25.77	25.65	26.19	0.032774	2.86	0.86
1030.9	18.30	1.50	0.95	23.71	25.21		25.57	0.027539	2.67	0.80
1010.9	18.30	1.38	0.89	23.14	24.52	24.44	24.94	0.034802	2.88	0.91
990.6	18.30	1.31	0.89	22.56	23.87	23.78	24.26	0.032776	2.78	0.88
970.8	18.30	1.54	1.02	21.99	23.53		23.77	0.016484	2.16	0.64
951.2	18.30	1.83	1.09	21.54	23.37		23.55	0.011621	1.90	0.53
936.4	18.30	2.45	1.17	20.94	23.39		23.43	0.001941	0.81	0.23
915.5	18.30	2.43	1.08	20.60	23.03		23.30	0.017298	2.30	0.59
891.2	18.30	2.48	1.17	20.31	22.79		22.99	0.011481	1.99	0.48
870.5	18.30	2.60	1.21	20.04	22.64		22.79	0.008312	1.72	0.43
851.7	18.30	2.78	1.25	19.74	22.52		22.64	0.005369	1.54	0.35
830.6	18.30	2.85	1.15	19.44	22.29		22.48	0.009399	1.97	0.46
809.2	18.30	3.25	0.78	19.06	22.31		22.35	0.001569	1.04	0.20
780.6	18.30	3.55	1.28	18.77	22.32		22.33	0.000290	0.41	0.09
763.5	18.30	3.28	1.53	19.03	22.31		22.32	0.000240	0.49	0.09
742.3	18.30	2.69	0.49	19.26	21.95	21.95	22.26	0.032671	2.76	0.67
711.2	18.30	2.22	0.55	17.90	20.12	19.46	20.22	0.006183	1.46	0.40
686	18.30	1.84	0.92	17.66	19.50	19.38	19.93	0.033925	2.90	0.87
664.7	18.30	2.37	0.59	17.23	19.60		19.68	0.002305	1.26	0.31
640.7	18.30	2.56	0.51	16.95	19.51	18.76	19.64	0.004707	1.68	0.40
629.18	18.30	1.48	0.73	16.85	18.33	18.66	19.41	0.081431	4.62	1.53
625.2	18.30	2.07	0.86	16.42	18.49	18.19	18.80	0.011808	2.46	0.72
608.1	18.30	2.11	0.83	16.29	18.40		18.62	0.006430	2.11	0.58
590.1	18.30	1.99	0.97	16.01	18.00		18.39	0.012841	2.78	0.76
565.7	18.30	2.19	1.07	15.73	17.92		18.15	0.006646	2.14	0.48
544.6	18.30	1.94	0.93	15.54	17.48	17.33	17.94	0.015968	3.01	0.85
525.4	18.30	1.82	0.94	15.28	17.10		17.52	0.022191	2.86	0.84
503.5	18.30	1.72	0.92	14.96	16.68		17.02	0.018774	2.60	0.80
480.3	18.30	1.50	0.46	14.67	16.17	16.14	16.47	0.017240	2.46	0.79
450.3	18.30	1.67	0.71	13.92	15.59	15.40	15.93	0.019786	2.61	0.80
423.3	18.30	2.46	0.81	13.25	15.71	14.98	15.75	0.002163	1.17	0.25
402.9	18.30	1.96	0.35	13.13	15.09	15.09	15.29	0.011338	2.26	0.58
391.5	18.30	1.87	0.31	12.97	14.84	14.97	15.20	0.024945	2.93	0.79
386.9	18.30	1.46	0.27	13.16	14.62	14.64	14.79	0.023145	2.31	0.85
369.5	18.30	1.53	0.56	13.07	14.60	14.30	14.63	0.002512	0.96	0.28
351.9	18.30	1.81	0.33	12.52	14.33	14.32	14.50	0.011634	2.13	0.61
327.1	18.30	2.10	0.43	12.07	14.17		14.29	0.008113	1.82	0.50
307.1	18.30	2.03	0.41	11.98	14.01	13.83	14.17	0.009031	1.93	0.56
293.9	18.30	1.94	0.47	11.96	13.90	13.81	14.10	0.012416	2.18	0.65
290.9	18.30	1.86	0.37	11.75	13.61	13.61	13.78	0.011962	2.23	0.60
265.4	18.30	2.58	0.54	10.65	13.23	12.86	13.27	0.002123	1.11	0.26
245.4	18.30	2.50	1.01	10.46	12.96	12.41	13.16	0.009741	1.99	0.57
222.1	18.30	2.19	0.88	10.19	12.38		12.72	0.019664	2.58	0.78
190.5	18.30	2.33	0.53	9.91	12.24	11.50	12.36	0.005392	1.57	0.44
158.2	18.30	1.78	0.89	9.67	11.45	11.43	12.00	0.031422	3.27	0.98
128.6	18.30	1.88	0.31	9.39	11.27	11.21	11.37	0.008958	1.87	0.53
96.3	18.30	1.88	0.28	9.12	11.00	10.65	11.13	0.007549	1.82	0.51
67.8	18.30	1.89	0.39	8.77	10.66		10.80	0.007665	1.98	0.53
23.6	18.30	2.01	0.30	8.46	10.47	10.44	10.59	0.009508	1.89	0.47
0	18.30	1.92	0.99	25.46	27.38		27.72	0.024533	2.60	0.73

Tabella 5: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	45 di 168

Progressiva [m]	Portata [m ³ /s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	13.90	1.63	0.81	25.98	27.61	27.45	28.08	0.043974	3.03	0.84
1071	13.90	1.65	0.89	25.46	27.11		27.42	0.025251	2.44	0.73
1051.2	13.90	1.39	0.80	24.87	26.26	26.24	26.74	0.046028	3.08	0.98
1030.9	13.90	1.28	0.82	24.29	25.57	25.46	25.92	0.032563	2.64	0.85
1010.9	13.90	1.29	0.84	23.71	25.00		25.31	0.027425	2.46	0.79
990.6	13.90	1.20	0.80	23.14	24.34	24.25	24.69	0.033798	2.63	0.88
970.8	13.90	1.12	0.78	22.56	23.68	23.60	24.02	0.033844	2.59	0.89
951.2	13.90	1.28	0.88	21.99	23.27		23.50	0.018897	2.10	0.67
936.4	13.90	1.54	0.95	21.54	23.08		23.25	0.013209	1.85	0.56
915.5	13.90	2.14	1.02	20.94	23.08		23.11	0.002337	0.82	0.25
891.2	13.90	2.14	0.98	20.60	22.74		22.97	0.016596	2.12	0.57
870.5	13.90	2.22	1.09	20.31	22.53		22.69	0.010013	1.76	0.45
851.7	13.90	2.36	1.13	20.04	22.40		22.52	0.007103	1.52	0.40
830.6	13.90	2.56	1.15	19.74	22.30		22.39	0.004466	1.32	0.32
809.2	13.90	2.70	1.11	19.44	22.14		22.27	0.006780	1.63	0.38
780.6	13.90	3.06	0.64	19.06	22.12		22.16	0.001505	0.97	0.20
763.5	13.90	3.37	1.20	18.77	22.14		22.14	0.000239	0.36	0.08
742.3	13.90	3.10	1.43	19.03	22.13		22.14	0.000188	0.41	0.08
711.2	13.90	2.46	0.45	19.26	21.72	21.72	22.08	0.037373	2.77	0.71
686	13.90	1.98	0.54	17.90	19.88	19.27	19.99	0.007744	1.50	0.44
664.7	13.90	1.78	0.90	17.66	19.44		19.71	0.022540	2.33	0.71
640.7	13.90	2.26	0.73	17.23	19.49		19.54	0.001754	1.05	0.27
629.18	13.90	2.47	0.49	16.95	19.42	18.54	19.51	0.003568	1.41	0.35
625.2	13.90	1.24	0.63	16.85	18.09	18.44	19.18	0.099733	4.64	1.66
608.1	13.90	1.81	0.77	16.42	18.23	17.97	18.51	0.012645	2.36	0.73
590.1	13.90	1.82	0.92	16.29	18.11		18.32	0.007438	2.04	0.61
565.7	13.90	1.69	0.86	16.01	17.70		18.06	0.013872	2.66	0.78
544.6	13.90	1.92	1.00	15.73	17.65		17.83	0.005646	1.87	0.45
525.4	13.90	1.71	0.85	15.54	17.25		17.64	0.015129	2.76	0.83
503.5	13.90	1.62	0.86	15.28	16.90		17.24	0.020801	2.61	0.81
480.3	13.90	1.62	0.88	14.96	16.58		16.82	0.013964	2.17	0.69
450.3	13.90	1.29	0.55	14.67	15.96	15.90	16.28	0.023523	2.51	0.89
423.3	13.90	1.61	0.87	13.92	15.53		15.75	0.013348	2.10	0.65
402.9	13.90	2.34	0.76	13.25	15.59	14.61	15.62	0.001714	1.00	0.22
391.5	13.90	1.70	0.35	13.13	14.83	14.61	15.16	0.018932	2.59	0.73
386.9	13.90	1.88	0.32	12.97	14.85	14.85	15.05	0.013527	2.17	0.58
369.5	13.90	1.38	0.24	13.16	14.54	14.59	14.73	0.026050	2.28	0.89
351.9	13.90	1.44	0.48	13.07	14.51	14.25	14.53	0.002368	0.89	0.27
327.1	13.90	1.70	0.29	12.52	14.22	14.22	14.40	0.012154	2.08	0.62
307.1	13.90	1.97	0.39	12.07	14.04	13.93	14.16	0.008510	1.78	0.50
293.9	13.90	1.98	0.50	11.98	13.96	13.64	14.06	0.005968	1.54	0.45
290.9	13.90	1.83	0.46	11.96	13.79	13.62	13.96	0.010445	1.92	0.59
265.4	13.90	1.77	0.31	11.75	13.52	13.52	13.69	0.011056	2.05	0.57
245.4	13.90	2.31	0.40	10.65	12.96	12.67	13.03	0.004181	1.40	0.36
222.1	13.90	2.24	0.93	10.46	12.70	12.18	12.88	0.009529	1.86	0.55
190.5	13.90	1.95	0.82	10.19	12.14		12.45	0.019659	2.45	0.77
158.2	13.90	2.04	1.00	9.91	11.95	11.27	12.07	0.006037	1.55	0.46
128.6	13.90	1.78	0.89	9.67	11.45	11.21	11.77	0.017901	2.48	0.74
96.3	13.90	1.77	0.30	9.39	11.16	11.07	11.28	0.010149	1.88	0.55
67.8	13.90	1.74	0.31	9.12	10.86	10.43	11.01	0.008640	1.82	0.54
23.6	13.90	1.81	0.41	8.77	10.58		10.68	0.005922	1.67	0.46
0	13.90	1.92	0.24	8.46	10.38	9.98	10.51	0.009489	1.81	0.47

Tabella 6: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)</p>	<p>COMMESSA IVOI</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 26 RH</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 001</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 46 di 168</p>

5.4 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

5.4.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto modificando le sezioni in funzione dell'intervento previsto e aggiungendo i tre attraversamenti idraulici.

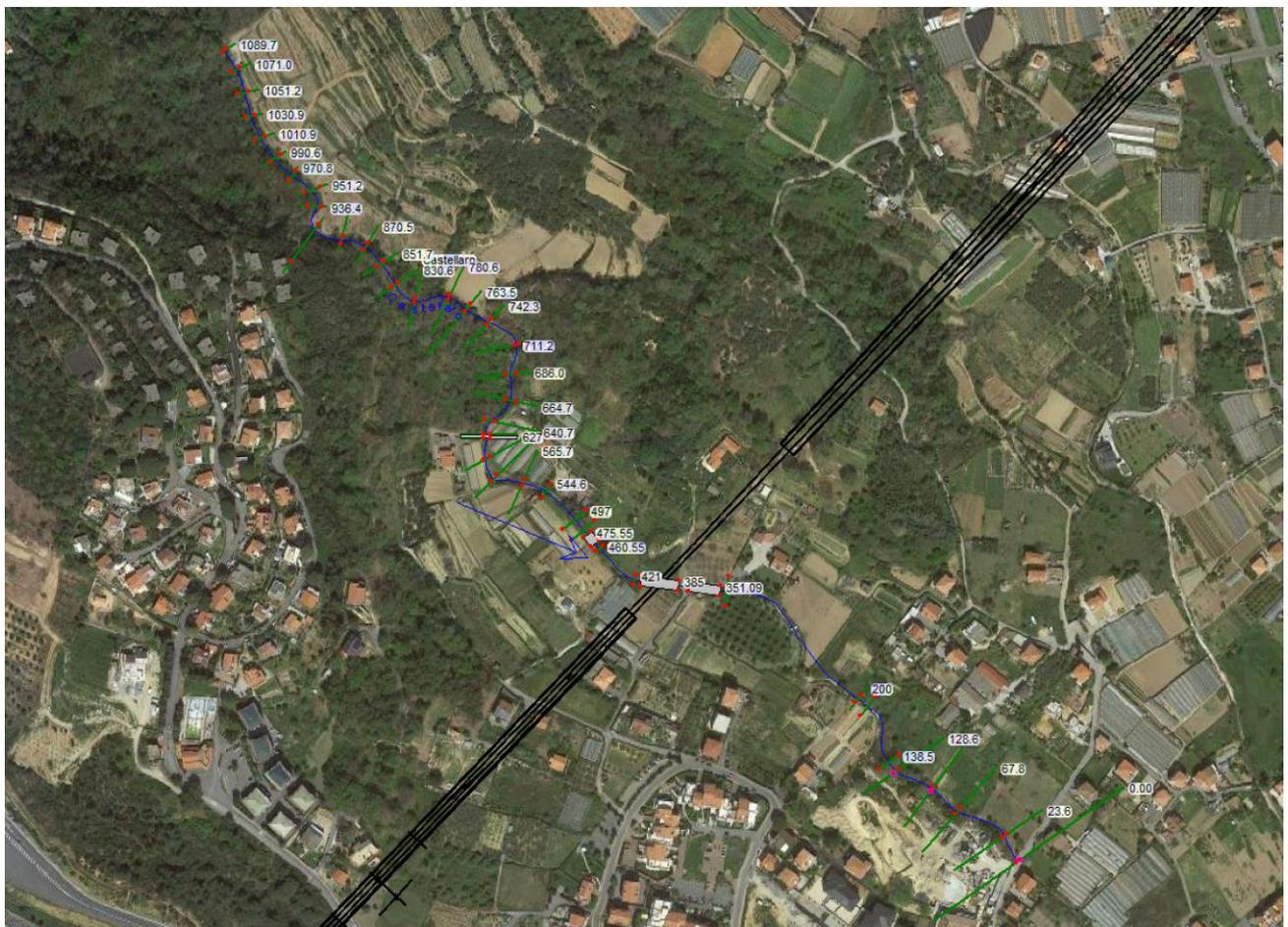


Figura 17: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

Tutti gli attraversamenti di progetto sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti o culvert, secondo le informazioni geometriche disponibili.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.4.2 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

Per i tratti non soggetti a modifiche il coefficiente di scabrezza è stato lasciato inalterato rispetto a quanto previsto nelle modellazioni ante operam, mentre per i tratti risagomati e rivestiti in massi naturali è stato adottato un coefficiente pari a $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). In corrispondenza della rampa il coefficiente di scabrezza viene impostato a $0.070 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) per simulare l'effetto dei massi affioranti sul fondo alveo

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

5.4.3 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio Castellaro, avendo un bacino di 0.65 km^2 , è classificato come un bacino di II° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/alto come ricavato dalla tavola 06_482_CSDV_DCP38_2015_NIBALDO del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco più cautelativo pari a 2,00 m avendo le opere di attraversamento estensione superiore a 12 m.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R.	Riempimento M.d.P. RFI
IN25a	Tombino	8.0x4.5 m	1.68 m	2.03 (45%)	67%	2.0 m	70%
IN25b	Tombino	8.0x4.5 m	1.91 m	2.04 (50%)	67%	2.0 m	70%

Tabella 7: Verifiche franchi idraulici

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto saranno sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di 1,00 metro tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

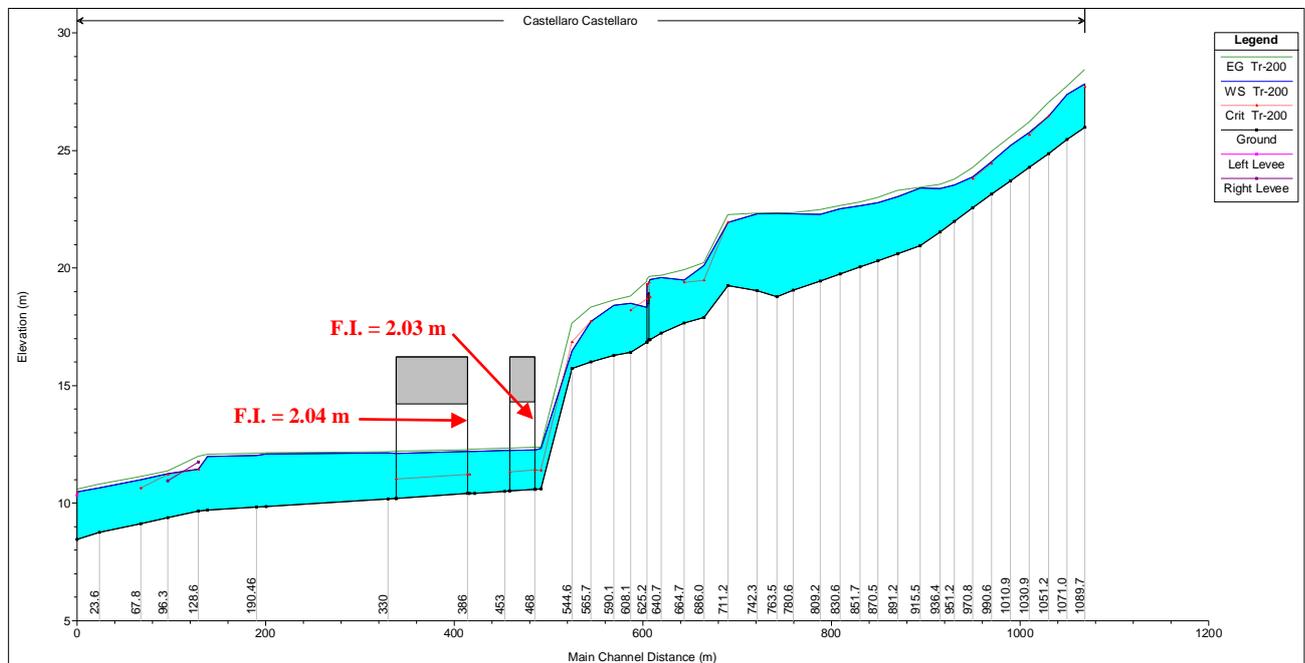


Figura 18: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

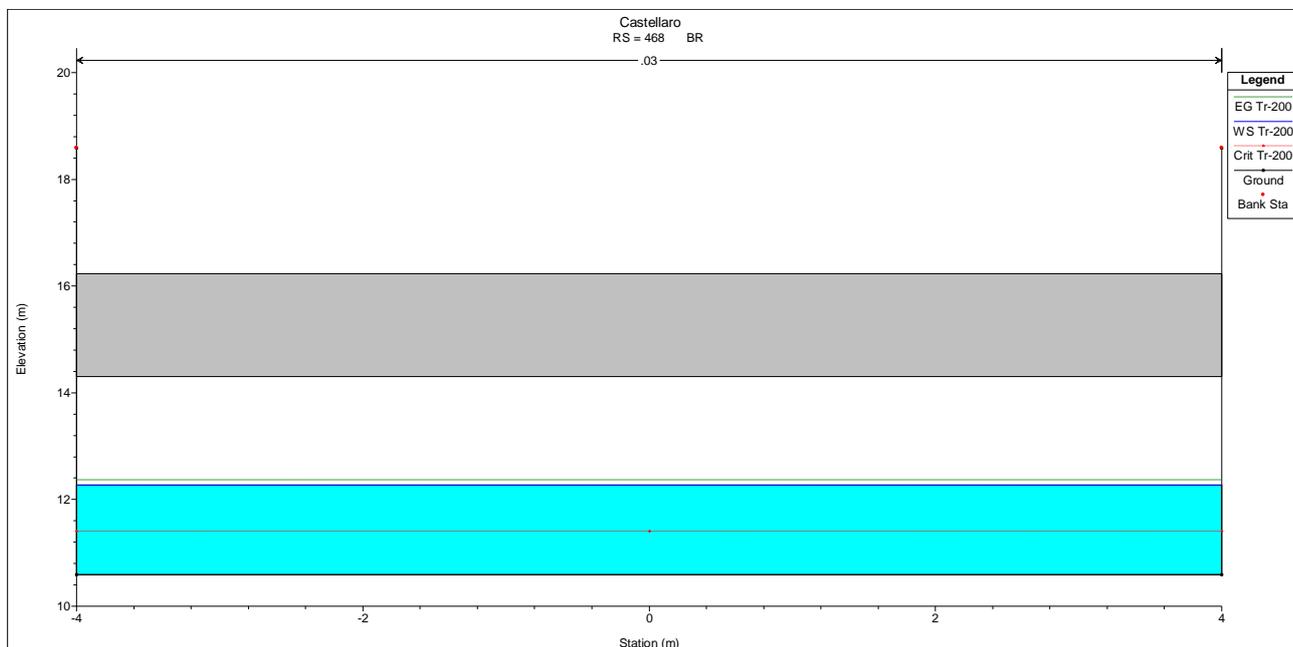


Figura 19 - Torrente Bottassano: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN25a

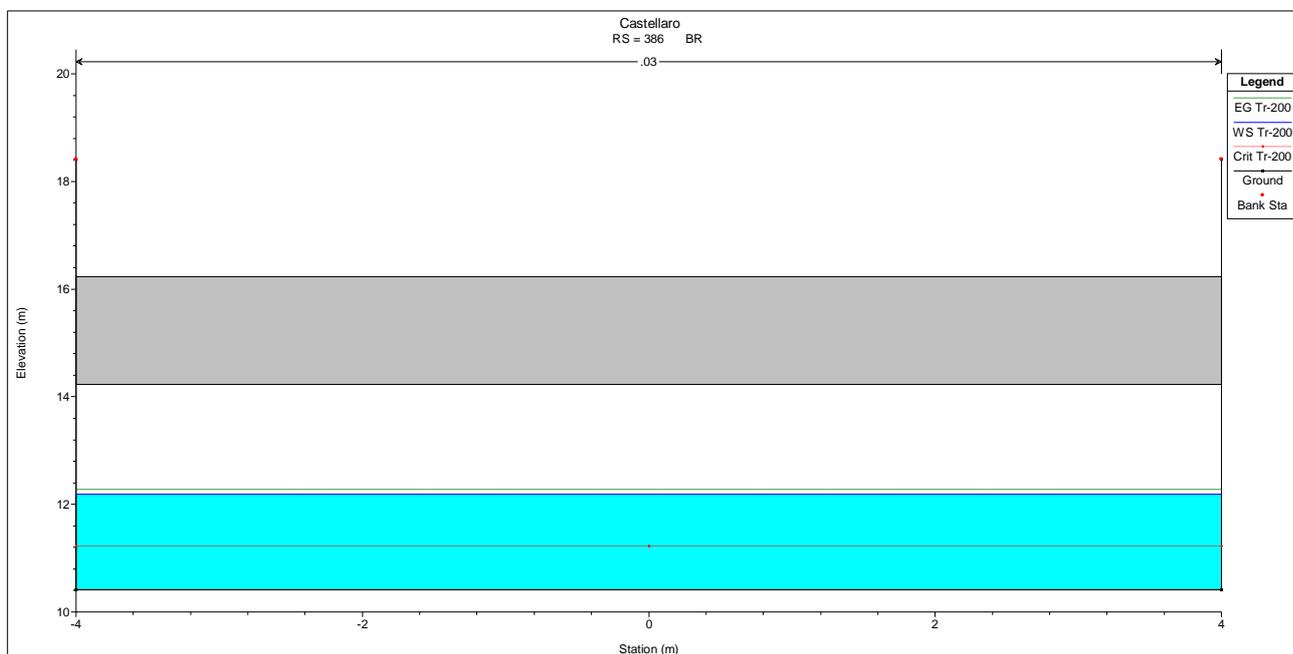


Figura 20 - Torrente Bottassano: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN25b

Per completezza, nella tabella seguenti si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza del nuovo viadotto VI01, nella configurazione di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
<i>Sezione IN25a (attraversamento ferroviario)</i>	12.00	12.27	12.45
<i>Sezione IN25b (attraversamento ferroviario)</i>	11.93	12.19	12.37

Tabella 8: Torrente Castellaro: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

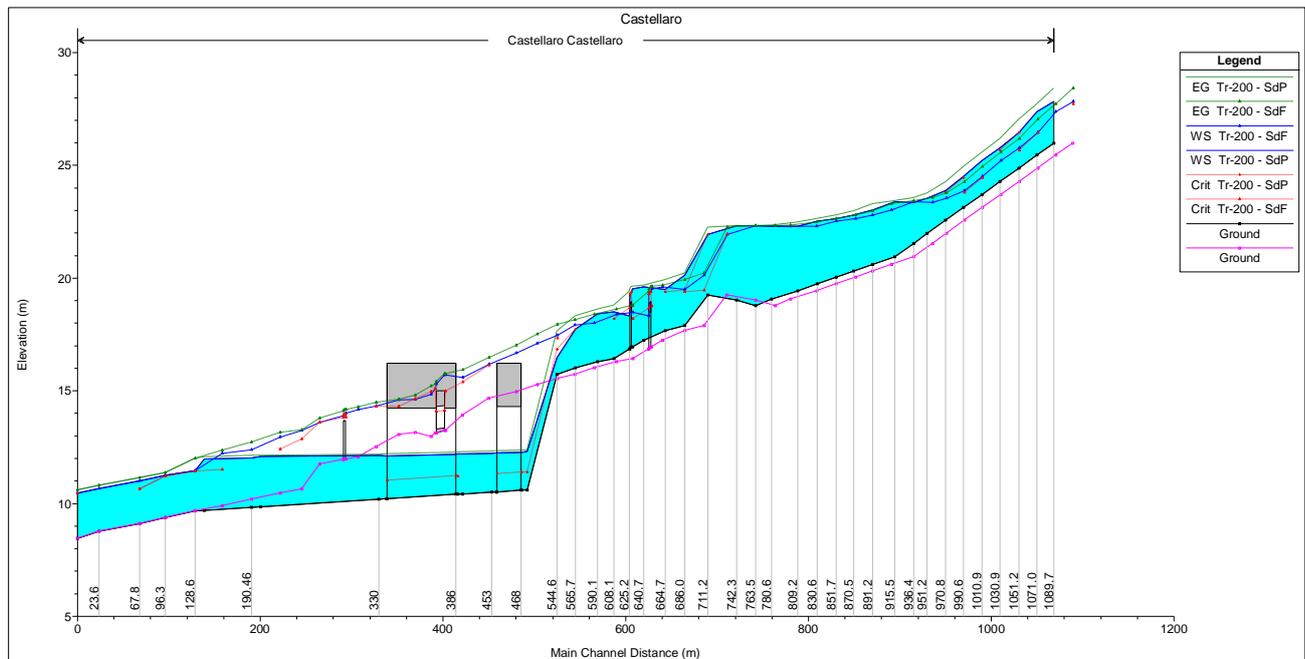


Figura 21 - Torrente Castellaro: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano una sensibile modifica delle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con Tr = 500 anni, Tr = 200 anni e Tr = 50 anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	51 di 168

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	21.30	1.99	0.91	25.98	27.97	27.87	28.64	0.053387	3.62	0.92
1071	21.30	2.07	1.05	25.46	27.53		27.90	0.024422	2.69	0.73
1051.2	21.30	1.72	0.94	24.87	26.59	26.59	27.22	0.047618	3.50	1.00
1030.9	21.30	1.61	0.98	24.29	25.90	25.77	26.35	0.032897	2.99	0.87
1010.9	21.30	1.63	1.01	23.71	25.34		25.73	0.027586	2.79	0.81
990.6	21.30	1.49	0.95	23.14	24.63	24.56	25.09	0.035535	3.03	0.92
970.8	21.30	1.44	0.95	22.56	24.00	23.89	24.42	0.031585	2.87	0.87
951.2	21.30	1.71	1.10	21.99	23.70		23.94	0.015384	2.20	0.62
936.4	21.30	2.01	1.17	21.54	23.54		23.74	0.010995	1.94	0.52
915.5	21.30	2.64	1.26	20.94	23.58		23.61	0.001775	0.82	0.23
891.2	21.30	2.59	1.13	20.60	23.19		23.49	0.017980	2.42	0.60
870.5	21.30	2.62	1.19	20.31	22.93		23.16	0.012220	2.13	0.50
851.7	21.30	2.74	1.26	20.04	22.78		22.95	0.008845	1.84	0.45
830.6	21.30	2.91	1.30	19.74	22.65		22.79	0.005967	1.67	0.37
809.2	21.30	2.92	1.17	19.44	22.36		22.61	0.011438	2.21	0.50
780.6	21.30	3.35	0.86	19.06	22.41		22.45	0.001632	1.09	0.21
763.5	21.30	3.65	1.33	18.77	22.42		22.43	0.000327	0.44	0.09
742.3	21.30	3.38	1.58	19.03	22.41		22.42	0.000278	0.53	0.10
711.2	21.30	2.77	0.52	19.26	22.03	22.03	22.36	0.033379	2.86	0.68
686	21.30	2.38	0.65	17.90	20.28	19.57	20.36	0.004836	1.39	0.36
664.7	21.30	1.85	0.92	17.66	19.51	19.51	20.08	0.044818	3.35	1.00
640.7	21.30	2.44	0.62	17.23	19.67	18.74	19.76	0.002650	1.39	0.33
629.18	21.30	2.60	0.52	16.95	19.55	18.90	19.71	0.005659	1.87	0.44
625.2	21.30	1.68	0.81	16.85	18.53	18.80	19.50	0.062934	4.36	1.36
608.1	21.30	2.23	0.62	16.42	18.65	18.32	18.97	0.011244	2.53	0.71
590.1	21.30	2.29	0.89	16.29	18.58		18.80	0.005690	2.12	0.55
565.7	21.30	1.86	0.92	16.01	17.87	17.87	18.51	0.022506	3.56	1.00
544.6	21.30	0.81	0.61	15.73	16.54	16.94	17.83	0.044045	5.04	1.98
525.4	21.30	1.90	0.81	9.67	11.57	11.57	12.17	0.030748	3.43	0.98
503.5	21.30	1.91	0.34	9.39	11.30	11.27	11.41	0.009483	1.96	0.55
480.3	21.30	1.97	0.33	9.12	11.09		11.20	0.006214	1.72	0.47
450.3	21.30	1.94	0.38	8.77	10.71	10.54	10.87	0.008795	2.16	0.57
423.3	21.30	2.06	0.32	8.46	10.52	10.48	10.64	0.009506	1.93	0.48
402.9	21.30	1.99	0.91	25.98	27.97	27.87	28.64	0.053387	3.62	0.92
391.5	21.30	2.07	1.05	25.46	27.53		27.90	0.024422	2.69	0.73
386.9	21.30	1.72	0.94	24.87	26.59	26.59	27.22	0.047618	3.50	1.00
369.5	21.30	1.61	0.98	24.29	25.90	25.77	26.35	0.032897	2.99	0.87
351.9	21.30	1.63	1.01	23.71	25.34		25.73	0.027586	2.79	0.81
327.1	21.30	1.49	0.95	23.14	24.63	24.56	25.09	0.035535	3.03	0.92
307.1	21.30	1.44	0.95	22.56	24.00	23.89	24.42	0.031585	2.87	0.87
293.9	21.30	1.71	1.10	21.99	23.70		23.94	0.015384	2.20	0.62
290.9	21.30	2.01	1.17	21.54	23.54		23.74	0.010995	1.94	0.52
265.4	21.30	2.64	1.26	20.94	23.58		23.61	0.001775	0.82	0.23
245.4	21.30	2.59	1.13	20.60	23.19		23.49	0.017980	2.42	0.60
222.1	21.30	2.62	1.19	20.31	22.93		23.16	0.012220	2.13	0.50
190.5	21.30	2.74	1.26	20.04	22.78		22.95	0.008845	1.84	0.45
158.2	21.30	2.91	1.30	19.74	22.65		22.79	0.005967	1.67	0.37
128.6	21.30	2.92	1.17	19.44	22.36		22.61	0.011438	2.21	0.50
96.3	21.30	3.35	0.86	19.06	22.41		22.45	0.001632	1.09	0.21
67.8	21.30	3.65	1.33	18.77	22.42		22.43	0.000327	0.44	0.09
23.6	21.30	3.38	1.58	19.03	22.41		22.42	0.000278	0.53	0.10
0	21.30	2.77	0.52	19.26	22.03	22.03	22.36	0.033379	2.86	0.68

Tabella 9: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	52 di 168

Progressiva [m]	Portata [m ³ /s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	18.30	1.86	0.87	25.98	27.84	27.71	28.43	0.049612	3.39	0.89
1071	18.30	1.92	0.99	25.46	27.38		27.72	0.024533	2.60	0.73
1051.2	18.30	1.59	0.89	24.87	26.46	26.46	27.04	0.047868	3.37	1.00
1030.9	18.30	1.48	0.92	24.29	25.77	25.65	26.19	0.032774	2.86	0.86
1010.9	18.30	1.50	0.95	23.71	25.21		25.57	0.027539	2.67	0.80
990.6	18.30	1.38	0.89	23.14	24.52	24.44	24.94	0.034802	2.88	0.91
970.8	18.30	1.31	0.89	22.56	23.87	23.78	24.26	0.032776	2.78	0.88
951.2	18.30	1.54	1.02	21.99	23.53		23.77	0.016484	2.16	0.64
936.4	18.30	1.83	1.09	21.54	23.37		23.55	0.011621	1.90	0.53
915.5	18.30	2.45	1.17	20.94	23.39		23.43	0.001941	0.81	0.23
891.2	18.30	2.43	1.08	20.60	23.03		23.30	0.017298	2.30	0.59
870.5	18.30	2.48	1.17	20.31	22.79		22.99	0.011481	1.99	0.48
851.7	18.30	2.60	1.21	20.04	22.64		22.79	0.008312	1.72	0.43
830.6	18.30	2.78	1.25	19.74	22.52		22.64	0.005369	1.54	0.35
809.2	18.30	2.85	1.15	19.44	22.29		22.48	0.009399	1.97	0.46
780.6	18.30	3.25	0.78	19.06	22.31		22.35	0.001569	1.04	0.20
763.5	18.30	3.55	1.28	18.77	22.32		22.33	0.000290	0.41	0.09
742.3	18.30	3.28	1.53	19.03	22.31		22.32	0.000240	0.49	0.09
711.2	18.30	2.69	0.49	19.26	21.95	21.95	22.26	0.032671	2.76	0.67
686	18.30	2.22	0.55	17.90	20.12	19.46	20.22	0.006183	1.46	0.40
664.7	18.30	1.84	0.92	17.66	19.50	19.38	19.93	0.033925	2.90	0.87
640.7	18.30	2.37	0.59	17.23	19.60		19.68	0.002305	1.26	0.31
629.18	18.30	2.56	0.51	16.95	19.51	18.76	19.64	0.004707	1.68	0.40
625.2	18.30	1.48	0.73	16.85	18.33	18.66	19.41	0.081431	4.62	1.53
608.1	18.30	2.08	0.87	16.42	18.50	18.19	18.80	0.011658	2.45	0.71
590.1	18.30	2.11	0.83	16.29	18.40		18.63	0.006303	2.09	0.58
565.7	18.30	1.72	0.87	16.01	17.73	17.73	18.33	0.022672	3.43	1.00
544.6	18.30	0.75	0.57	15.73	16.48	16.84	17.65	0.043725	4.80	1.96
525.4	18.30	1.78	0.89	9.67	11.45	11.43	12.00	0.031422	3.27	0.98
503.5	18.30	1.88	0.31	9.39	11.27	11.21	11.37	0.008958	1.87	0.53
480.3	18.30	1.88	0.28	9.12	11.00	10.64	11.13	0.007550	1.82	0.51
450.3	18.30	1.89	0.39	8.77	10.66		10.80	0.007664	1.98	0.53
423.3	18.30	2.01	0.30	8.46	10.47	10.44	10.59	0.009508	1.89	0.47
402.9	18.30	1.86	0.87	25.98	27.84	27.71	28.43	0.049612	3.39	0.89
391.5	18.30	1.92	0.99	25.46	27.38		27.72	0.024533	2.60	0.73
386.9	18.30	1.59	0.89	24.87	26.46	26.46	27.04	0.047868	3.37	1.00
369.5	18.30	1.48	0.92	24.29	25.77	25.65	26.19	0.032774	2.86	0.86
351.9	18.30	1.50	0.95	23.71	25.21		25.57	0.027539	2.67	0.80
327.1	18.30	1.38	0.89	23.14	24.52	24.44	24.94	0.034802	2.88	0.91
307.1	18.30	1.31	0.89	22.56	23.87	23.78	24.26	0.032776	2.78	0.88
293.9	18.30	1.54	1.02	21.99	23.53		23.77	0.016484	2.16	0.64
290.9	18.30	1.83	1.09	21.54	23.37		23.55	0.011621	1.90	0.53
265.4	18.30	2.45	1.17	20.94	23.39		23.43	0.001941	0.81	0.23
245.4	18.30	2.43	1.08	20.60	23.03		23.30	0.017298	2.30	0.59
222.1	18.30	2.48	1.17	20.31	22.79		22.99	0.011481	1.99	0.48
190.5	18.30	2.60	1.21	20.04	22.64		22.79	0.008312	1.72	0.43
158.2	18.30	2.78	1.25	19.74	22.52		22.64	0.005369	1.54	0.35
128.6	18.30	2.85	1.15	19.44	22.29		22.48	0.009399	1.97	0.46
96.3	18.30	3.25	0.78	19.06	22.31		22.35	0.001569	1.04	0.20
67.8	18.30	3.55	1.28	18.77	22.32		22.33	0.000290	0.41	0.09
23.6	18.30	3.28	1.53	19.03	22.31		22.32	0.000240	0.49	0.09
0	18.30	2.69	0.49	19.26	21.95	21.95	22.26	0.032671	2.76	0.67

Tabella 10: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	53 di 168

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
1089.7	13.90	1.63	0.81	25.98	27.61	27.45	28.08	0.043974	3.03	0.84
1071	13.90	1.65	0.89	25.46	27.11		27.42	0.025251	2.44	0.73
1051.2	13.90	1.39	0.80	24.87	26.26	26.24	26.74	0.046028	3.08	0.98
1030.9	13.90	1.28	0.82	24.29	25.57	25.46	25.92	0.032563	2.64	0.85
1010.9	13.90	1.29	0.84	23.71	25.00		25.31	0.027425	2.46	0.79
990.6	13.90	1.20	0.80	23.14	24.34	24.25	24.69	0.033798	2.63	0.88
970.8	13.90	1.12	0.78	22.56	23.68	23.60	24.02	0.033844	2.59	0.89
951.2	13.90	1.28	0.88	21.99	23.27		23.50	0.018897	2.10	0.67
936.4	13.90	1.54	0.95	21.54	23.08		23.25	0.013209	1.85	0.56
915.5	13.90	2.14	1.02	20.94	23.08		23.11	0.002337	0.82	0.25
891.2	13.90	2.14	0.98	20.60	22.74		22.97	0.016596	2.12	0.57
870.5	13.90	2.22	1.09	20.31	22.53		22.69	0.010013	1.76	0.45
851.7	13.90	2.36	1.13	20.04	22.40		22.52	0.007104	1.52	0.40
830.6	13.90	2.56	1.15	19.74	22.30		22.39	0.004466	1.32	0.32
809.2	13.90	2.70	1.11	19.44	22.14		22.27	0.006780	1.63	0.38
780.6	13.90	3.06	0.64	19.06	22.12		22.16	0.001505	0.97	0.20
763.5	13.90	3.37	1.20	18.77	22.14		22.14	0.000239	0.36	0.08
742.3	13.90	3.10	1.43	19.03	22.13		22.14	0.000188	0.41	0.08
711.2	13.90	2.46	0.45	19.26	21.72	21.72	22.08	0.037371	2.77	0.71
686	13.90	1.98	0.54	17.90	19.88	19.27	19.99	0.007744	1.50	0.44
664.7	13.90	1.78	0.90	17.66	19.44		19.71	0.022540	2.33	0.71
640.7	13.90	2.26	0.73	17.23	19.49		19.54	0.001754	1.05	0.27
629.18	13.90	2.47	0.49	16.95	19.42	18.54	19.51	0.003568	1.41	0.35
625.2	13.90	1.24	0.63	16.85	18.09	18.44	19.18	0.099733	4.64	1.66
608.1	13.90	1.82	0.78	16.42	18.24	17.97	18.52	0.012173	2.33	0.72
590.1	13.90	1.84	0.93	16.29	18.13		18.33	0.007030	1.99	0.60
565.7	13.90	1.48	0.78	16.01	17.49	17.49	18.02	0.022982	3.21	1.00
544.6	13.90	0.64	0.50	15.73	16.37	16.67	17.35	0.043416	4.39	1.92
525.4	13.90	1.78	0.89	9.67	11.45	11.21	11.77	0.017901	2.48	0.74
503.5	13.90	1.77	0.30	9.39	11.16	11.07	11.28	0.010149	1.88	0.55
480.3	13.90	1.74	0.31	9.12	10.86	10.43	11.01	0.008640	1.82	0.54
450.3	13.90	1.81	0.41	8.77	10.58		10.68	0.005922	1.67	0.46
423.3	13.90	1.92	0.24	8.46	10.38	9.98	10.51	0.009489	1.81	0.47
402.9	13.90	1.63	0.81	25.98	27.61	27.45	28.08	0.043974	3.03	0.84
391.5	13.90	1.65	0.89	25.46	27.11		27.42	0.025251	2.44	0.73
386.9	13.90	1.39	0.80	24.87	26.26	26.24	26.74	0.046028	3.08	0.98
369.5	13.90	1.28	0.82	24.29	25.57	25.46	25.92	0.032563	2.64	0.85
351.9	13.90	1.29	0.84	23.71	25.00		25.31	0.027425	2.46	0.79
327.1	13.90	1.20	0.80	23.14	24.34	24.25	24.69	0.033798	2.63	0.88
307.1	13.90	1.12	0.78	22.56	23.68	23.60	24.02	0.033844	2.59	0.89
293.9	13.90	1.28	0.88	21.99	23.27		23.50	0.018897	2.10	0.67
290.9	13.90	1.54	0.95	21.54	23.08		23.25	0.013209	1.85	0.56
265.4	13.90	2.14	1.02	20.94	23.08		23.11	0.002337	0.82	0.25
245.4	13.90	2.14	0.98	20.60	22.74		22.97	0.016596	2.12	0.57
222.1	13.90	2.22	1.09	20.31	22.53		22.69	0.010013	1.76	0.45
190.5	13.90	2.36	1.13	20.04	22.40		22.52	0.007104	1.52	0.40
158.2	13.90	2.56	1.15	19.74	22.30		22.39	0.004466	1.32	0.32
128.6	13.90	2.70	1.11	19.44	22.14		22.27	0.006780	1.63	0.38
96.3	13.90	3.06	0.64	19.06	22.12		22.16	0.001505	0.97	0.20
67.8	13.90	3.37	1.20	18.77	22.14		22.14	0.000239	0.36	0.08
23.6	13.90	3.10	1.43	19.03	22.13		22.14	0.000188	0.41	0.08
0	13.90	2.46	0.45	19.26	21.72	21.72	22.08	0.037371	2.77	0.71

Tabella 11: Torrente Castellaro: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

5.5.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g - 1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.016*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d_{50} : 0.15 ÷ 0.70 m*

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 2.50 m/s e tirante = 1.30 m per il Torrente Castellaro, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 55^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = 0.61$ m per i rivestimenti spondali. Si adotta comunque $d_{50} = 0.70$ m

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.5.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 4.20 m/s in alveo ($Tr = 200 \text{ anni}$); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: **$d_{50} = 0.78 \text{ m}$** .
 Si adotta **$d_{50} = 0.80 \text{ m}$**

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 1.50 \cdot 0.03 = 45 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 1.50$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.003$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovvero sia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d. Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d. Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con **$d_{50} = 0.80$ m:**

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.80 = 64 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 35 \text{ kg/m}^2 < 64 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 64 / 45 = 1.4$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su **$d_{50} = 0.80$ m** che risultano quindi ampiamente verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

5.6 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0I00D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio Castellaro, si ottiene un valore della portata di progetto Tr200 proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 1).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr200) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
IN25a	Tombino	8.0x4.5 m	1.86	1.85
IN25b	Tombino	8.0x4.5 m	1.96	1.86

Tabella 12: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6 RIO DELLA VALLETTA

6.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Albenga (SV), a distanza di circa 400 m dalla frazione di Bastia, e si sviluppa da 150 m a est del tratto all'aperto tra le due gallerie della Variante Aurelia Bis fino ad 80 m a valle dell'attraversamento dell'A10, Autostrada dei Fiori.

Nell'area sono presenti zone adibite alla coltivazione, tra le quali sono numerose le serre, mentre più a est è presente l'abitato della frazione di Bastia.

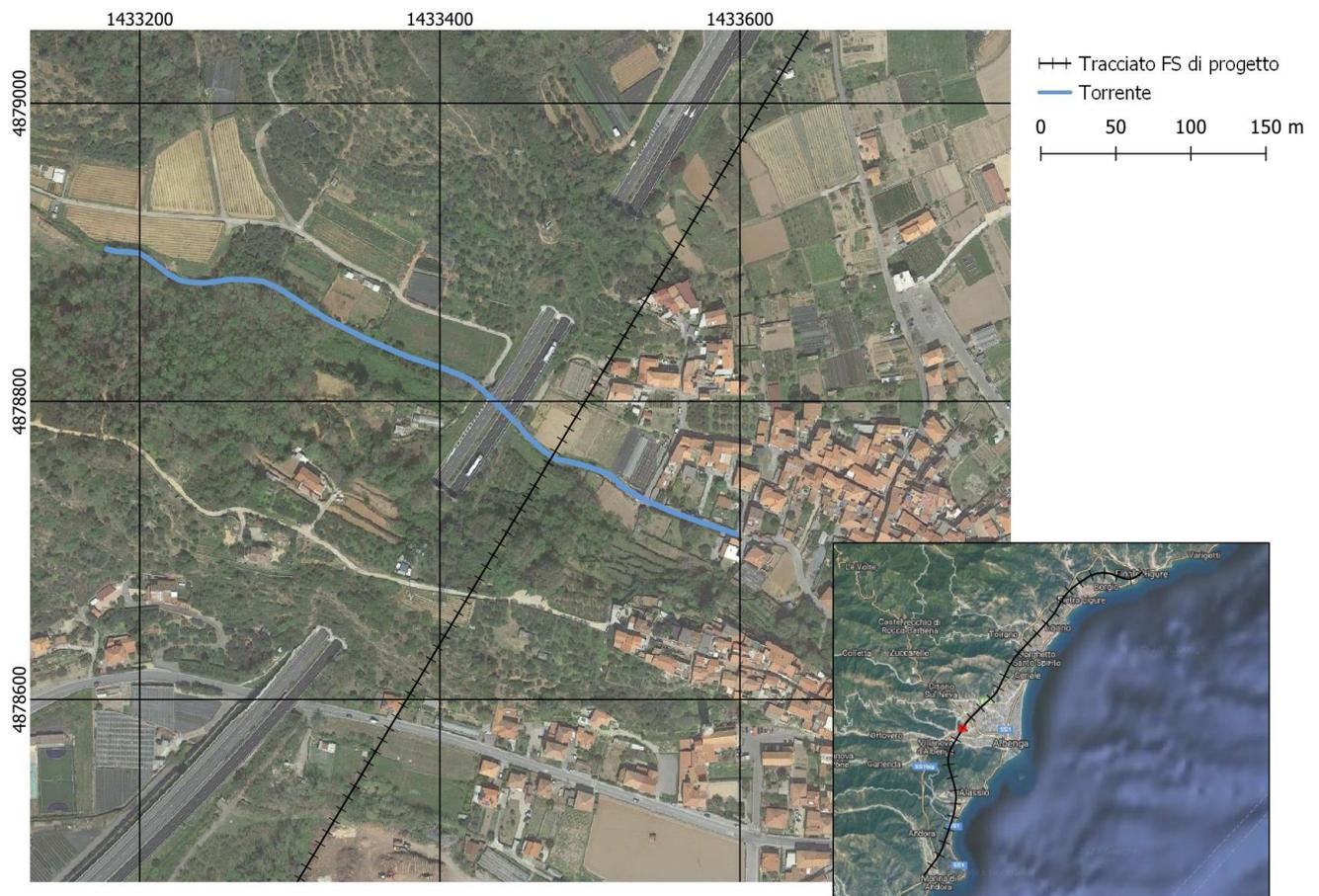


Figura 22 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.2 INTERVENTO DI PROGETTO

L'opera di scavalco del corso d'acqua è costituita da uno scatolare di luce pari a 8.00 m e altezza pari a 4.00 m, ubicato alla progressiva km 85+725.98.

Il piano del ferro è posto a 26.35 m s.m.m. e l'intradosso a 24.40 m s.m.m.; la sede ferroviaria è a doppio binario ed è larga 22 m mentre lo scatolare ha una lunghezza di 34 m.

L'intervento comprende, oltre alla realizzazione dell'opera di scavalco, anche la sistemazione spondale e dell'alveo del rio a monte e a valle del nuovo attraversamento. La sistemazione prevede la regolarizzazione del fondo alveo in una sezione trasversale a forma trapezia di larghezza al fondo pari a 8.00 m.

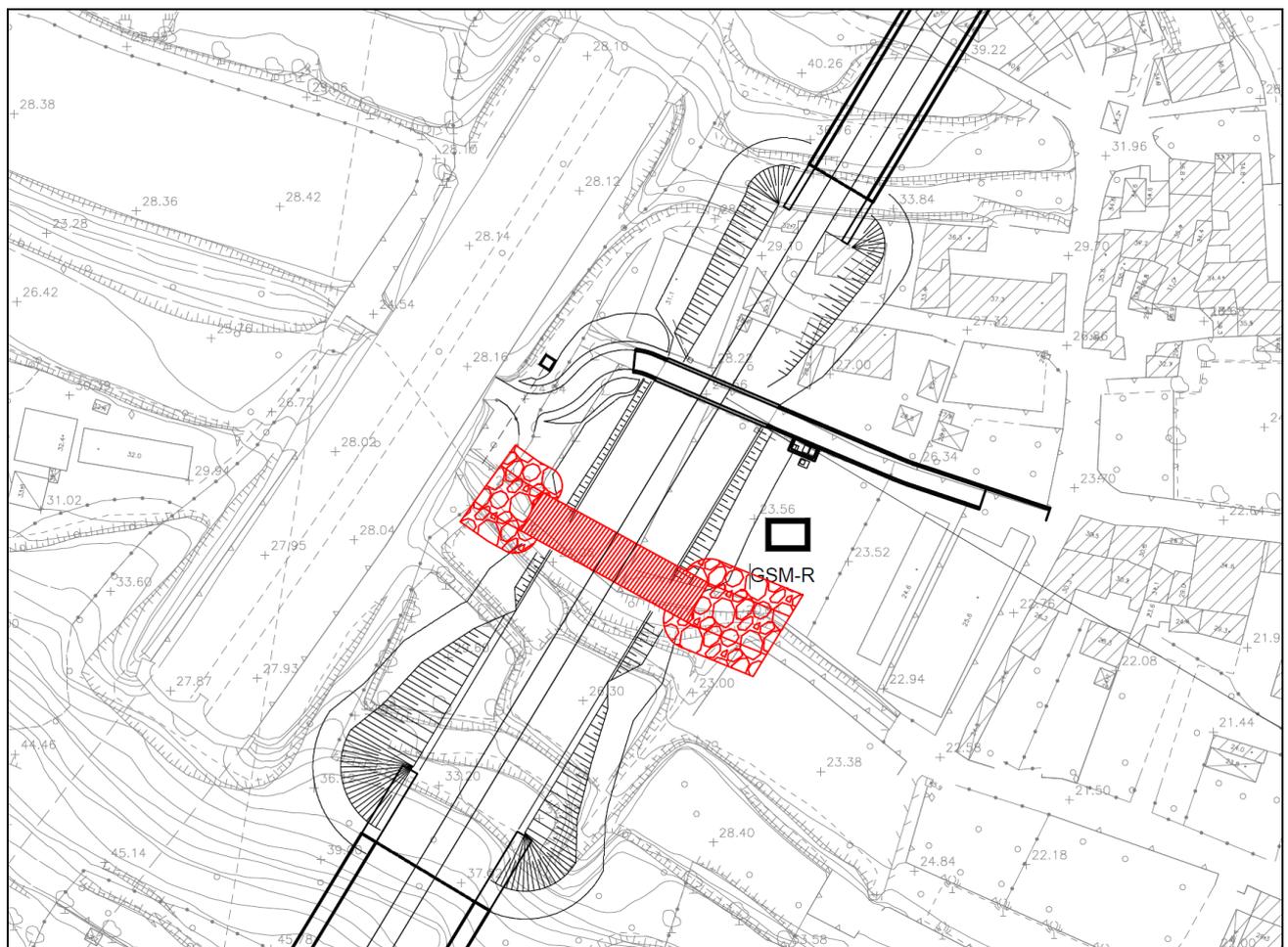


Figura 23 – Planimetria della sistemazione idraulica di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Lo sviluppo totale dell'intervento è pari a 60 m e prevede un rimodellamento dell'alveo attuale con la posa di massi intasati con materiale d'alveo, su letto di scapolame e strato di geotessile in polipropilene, posizionato in questa sede per evitare l'asportazione del materiale fine sottostante. Le sponde sono anch'esse realizzate con massi ed hanno pendenza di 1 su 1.

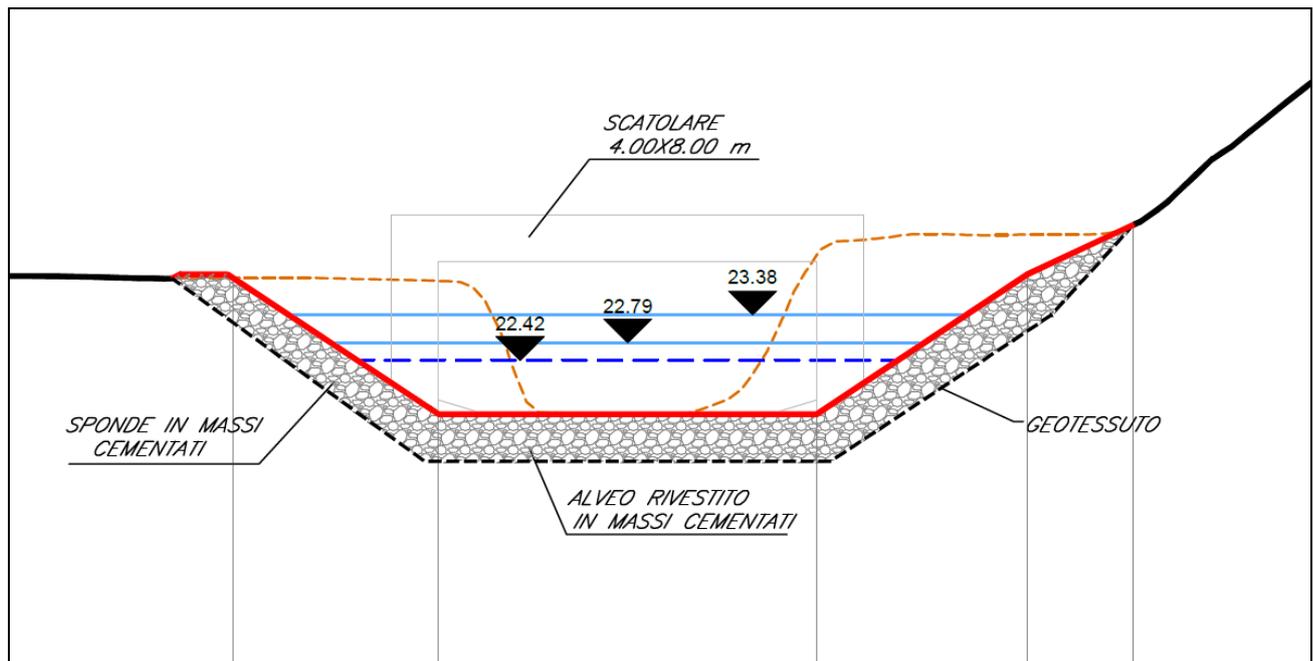


Figura 24 – Torrente Rio Valletta: sistemazione idraulica tipologica di progetto

Il rimodellamento del corso d'acqua comincia a ridosso dell'attraversamento autostradale dell'A10 sul Rio Valletta e termina a monte della tombinatura del corso d'acqua stesso al di sotto di via Becchignoli.

Oltre al rimodellamento dell'alveo del corso d'acqua si prevede anche un intervento sulle pendenze di fondo dell'alveo. Infatti, si intende regolarizzare il profilo del tratto di studio, impostandolo ad una pendenza dello 0.60%.

L'attraversamento è lungo 34 m ed è rivestito internamente al fondo con pietrame cementato di diametro medio 20 cm per garantire la continuità della scabrezza anche all'interno dello scatolare.

Tutte le zone di sistemazione sono delimitate a monte e a valle da un taglione al fine di garantirne l'ottimale e duraturo contenimento.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 61 di 168

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla visione delle tavole progettuali e di restituzione grafica delle elaborazioni modellistiche, in particolare:

- IV0I00D26WZID0502001A
- IV0I00D26WZID0502002A
- IV0I00D26FZID0502001A
- IV0I00D26FZID0502002A
- IV0I00D26PZID0502001A

6.2.1 Attraversamento in fase di cantierizzazione

Il tracciato della linea ferroviaria di progetto interseca il Rio della Valletta a circa 1000 m dalla confluenza nel Torrente Arroscia, oltre 4 km dal mare e prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio, pertanto, non è prevista interruzione della linea esistente durante le lavorazioni.

La realizzazione del tracciato ferroviario in variante non interferirà con viabilità esistenti.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre rilevato ferroviario verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, non interferendo con viabilità esistenti e in esercizio, sarà tuttavia da prevedere le lavorazioni in alveo nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare le operazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

6.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria del Rio della Valletta, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente e il rilievo delle sezioni del 2010 e del 2021.

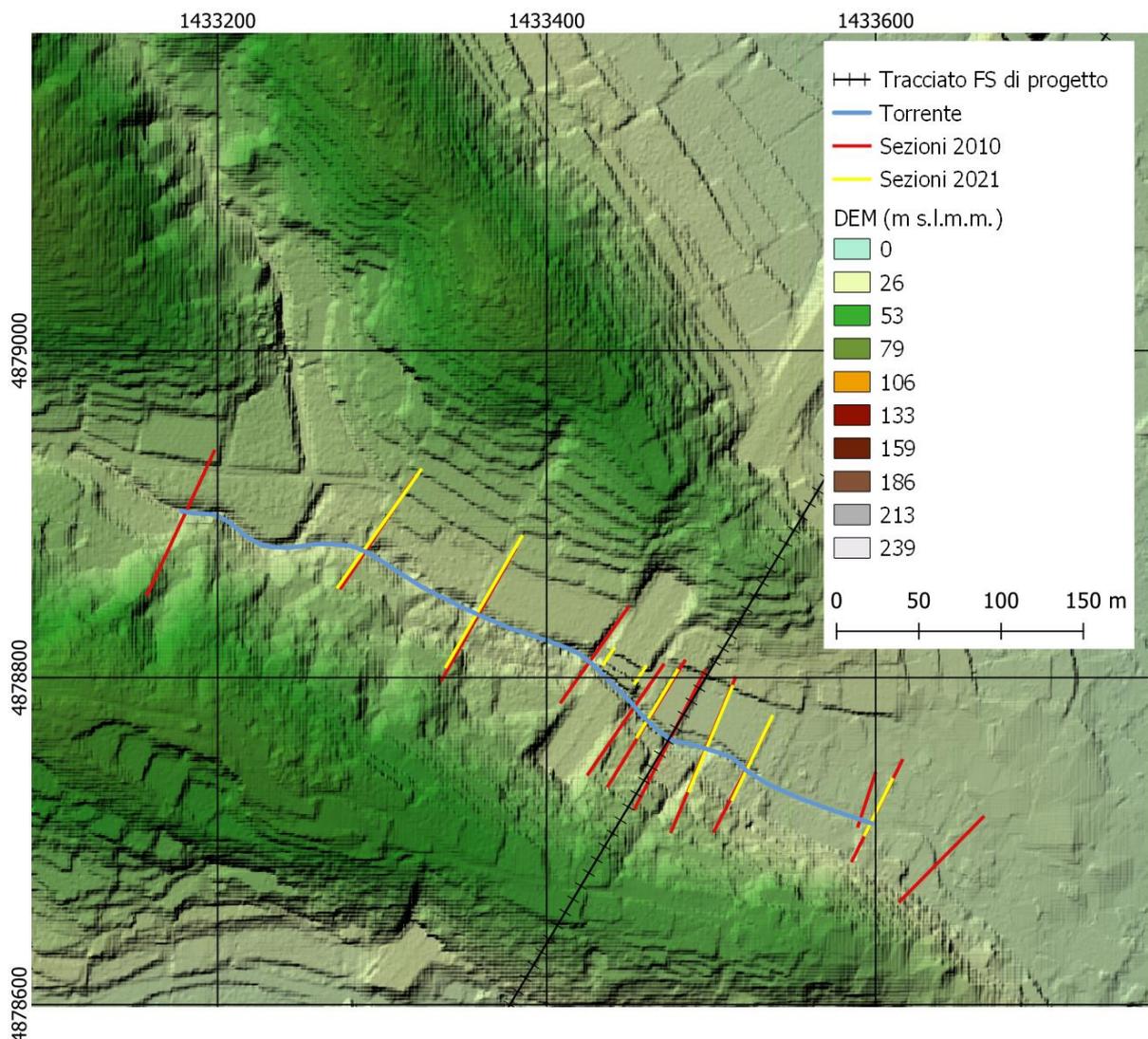


Figura 25: Informazioni topografiche a disposizione

Come descritto nel paragrafo 3.3.2, ai fini di ottenere un modello del terreno più accurato possibile è stata effettuata un'interpolazione delle sezioni trasversali del torrente, integrando così il DTM del Ministero dell'Ambiente.

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo; in figura sono indicati anche i profili delle sezioni trasversali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

rilevate utilizzate per l'implementazione della geometria, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

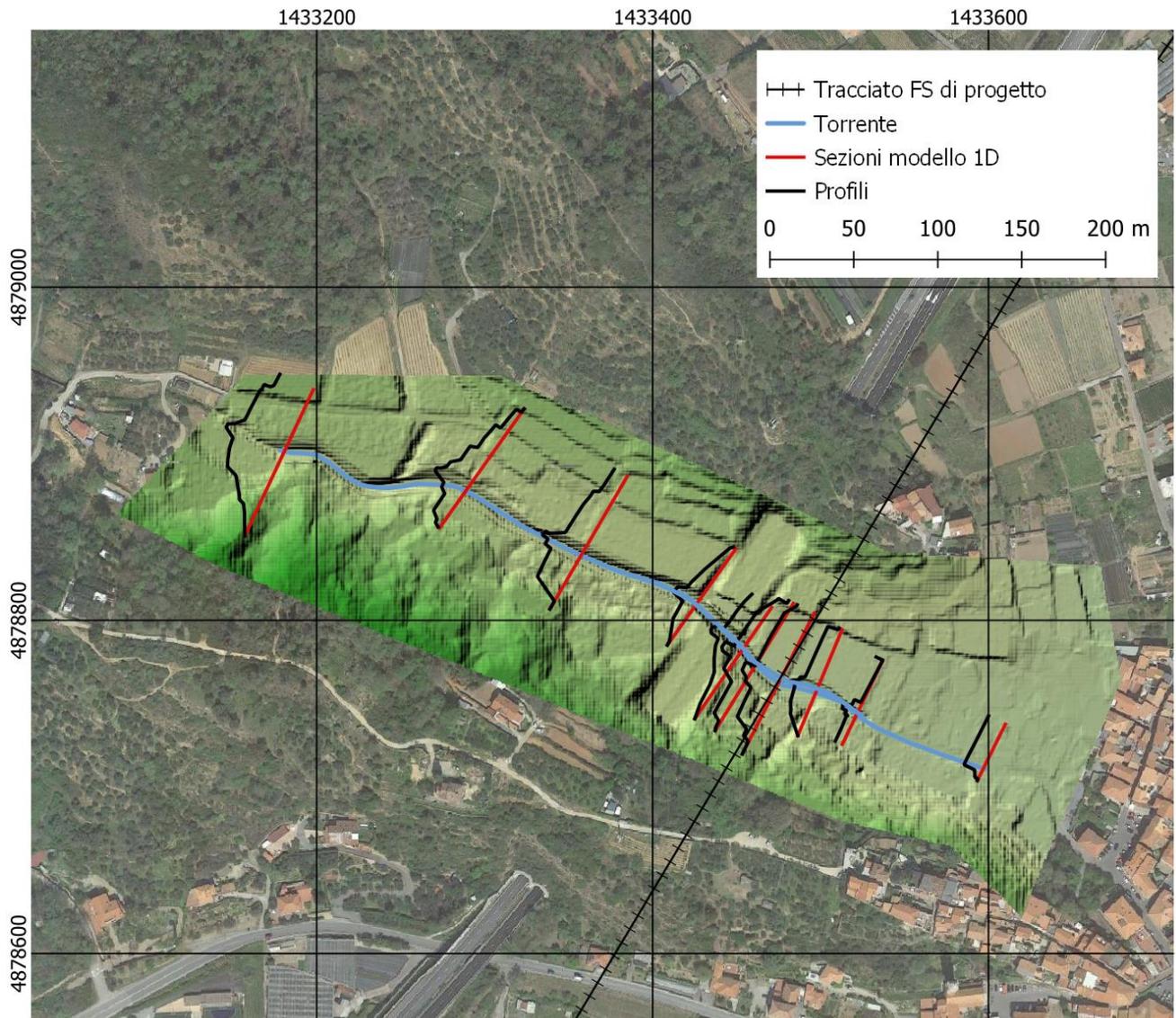


Figura 26: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 25 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo. La distanza tra le sezioni (rilevate ed estratte) è stata mantenuta nell'ordine dei 30 m, salvo nei casi in cui sono state inserite delle strutture idrauliche. A valle della sezione 260 (rilievo 2021) è presente un tombino che si prolunga per circa 450 m, il modello è stato limitato alla sezione 261, che di fatto descrive la strada sopra il tratto tombato del rio, in cui è stato

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 64 di 168

ricostruito il tombino sulla base delle informazioni di monte. La condizione al contorno di valle qui imposta non influenza comunque il tratto di interesse avendo il tombino una pendenza del 2%.

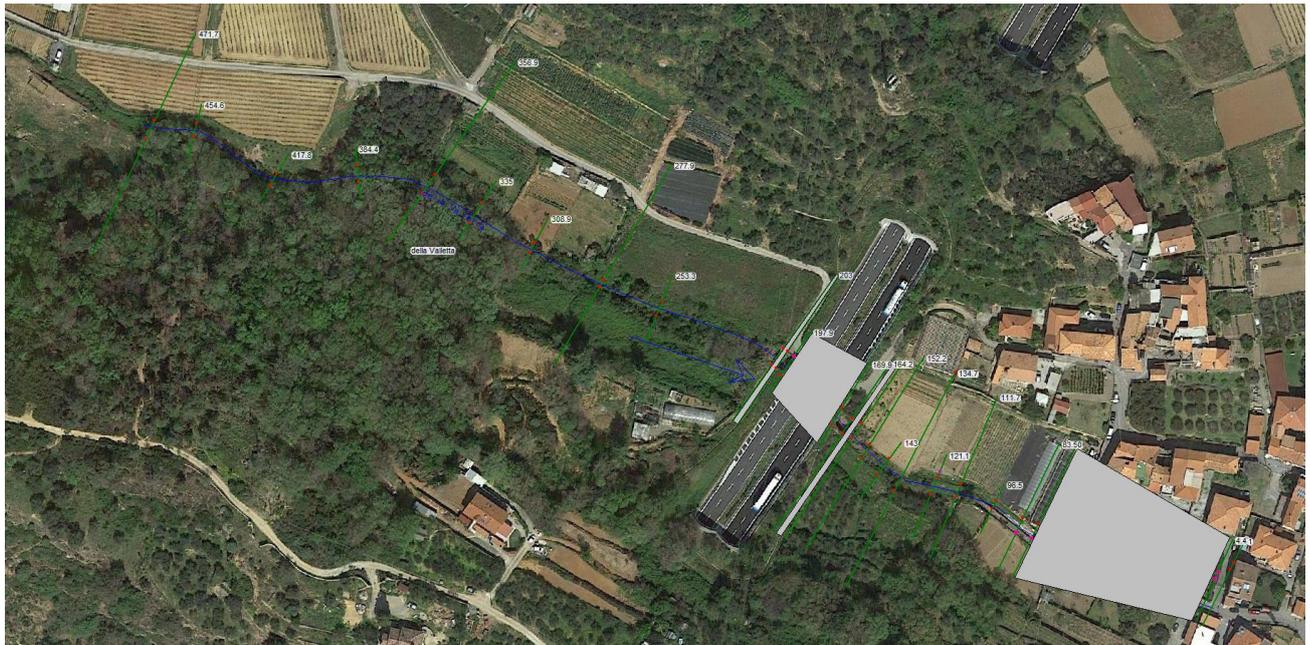


Figura 27: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

Gli attraversamenti individuati nel dominio di calcolo sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti secondo le informazioni geometriche disponibili.

Le figure seguenti mostrano le posizioni delle strutture e la schematizzazione dei quattro attraversamenti esistenti all'interno del modello.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	65 di 168

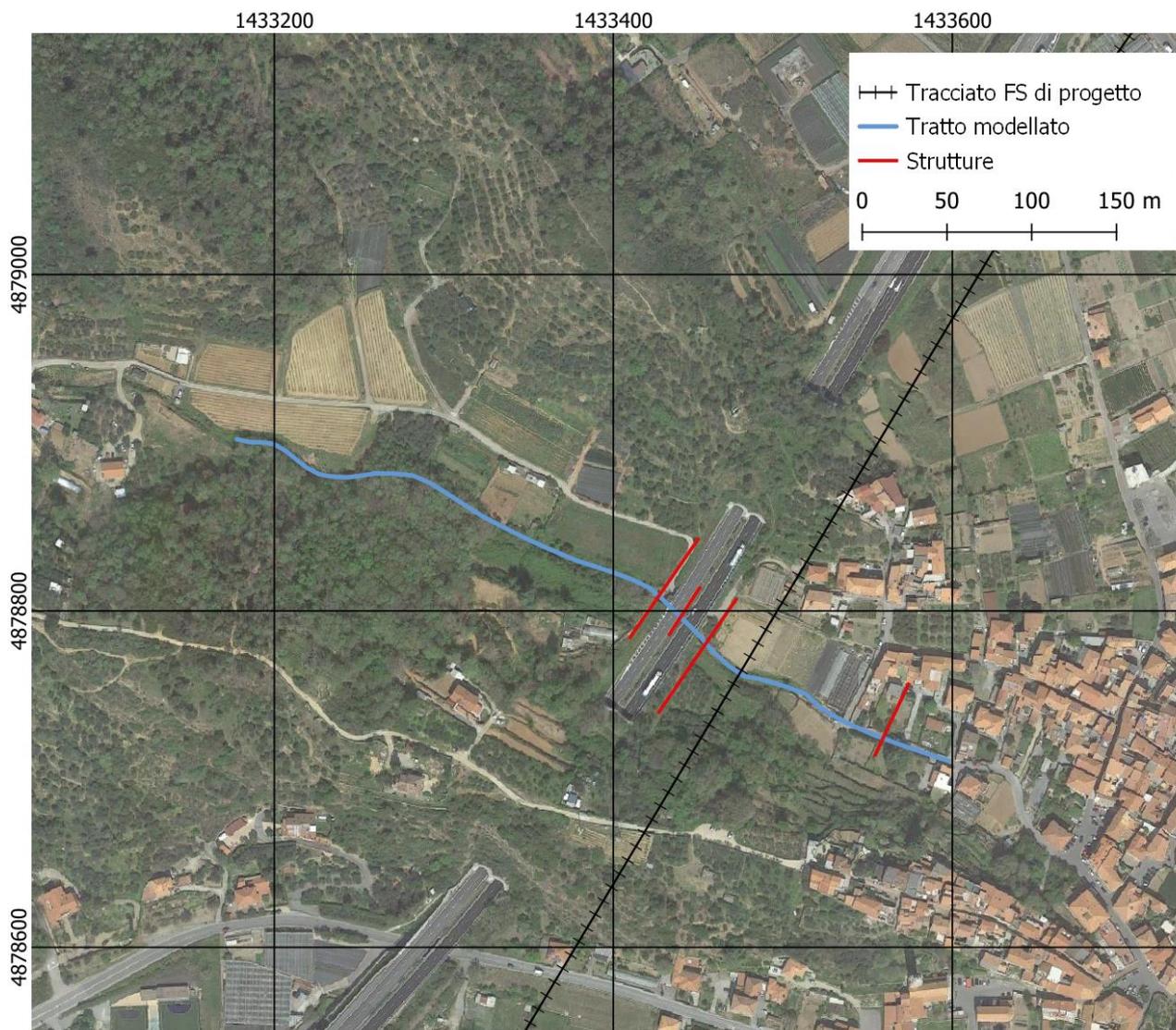


Figura 28: Strutture idrauliche inserite all'interno del modello

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IV01

00

D 26 RH

ID 0002 001

B

66 di 168

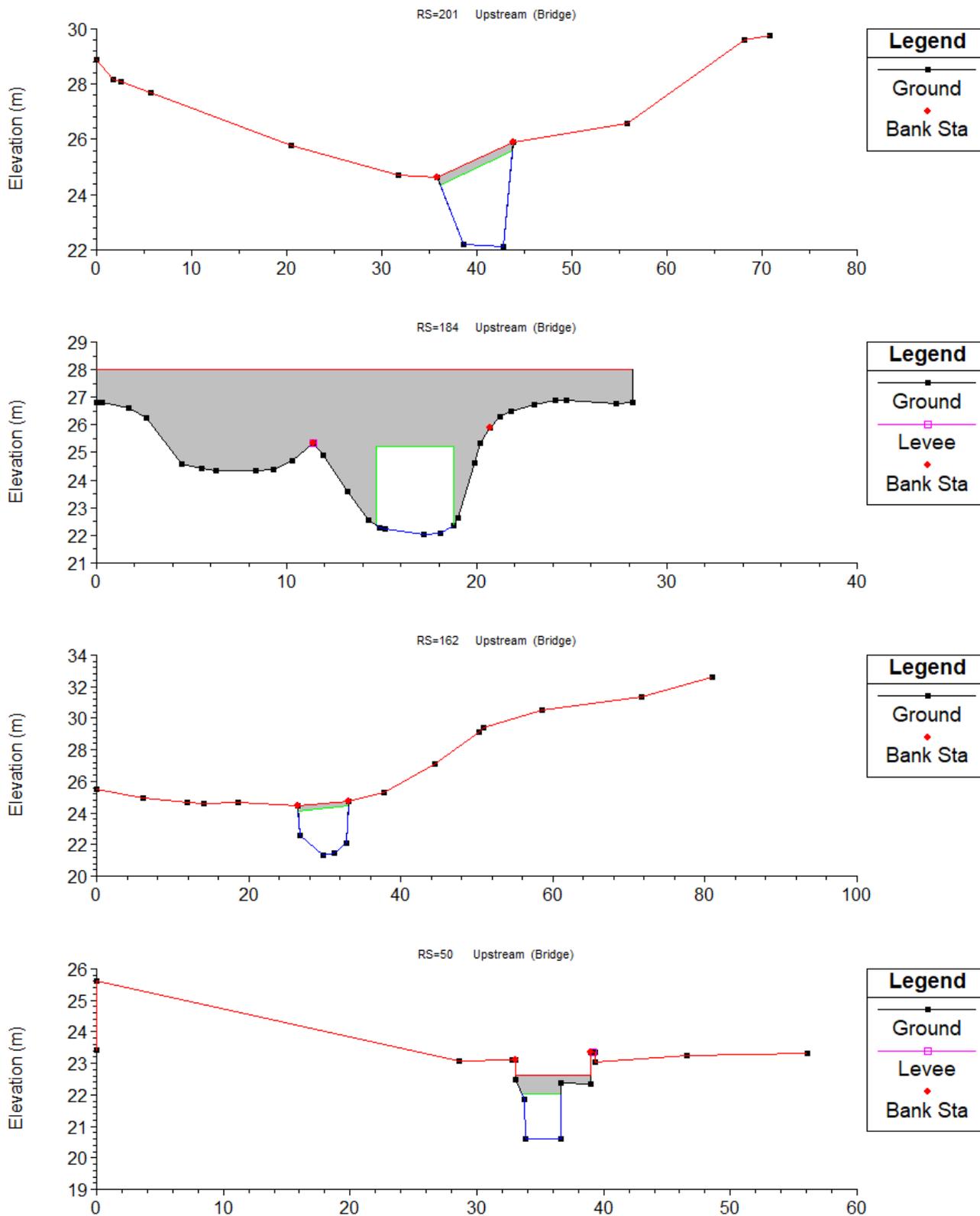


Figura 29: Attraversamenti all'interno del modello da monte verso valle

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.02.

Come descritto nel paragrafo 3.2.2, sono state utilizzate le portate al colmo di riferimento come condizione al contorno a monte. Le portate ottenute con il metodo Gumbel sono risultate più cautelative, rispetto a quelle ottenute con il metodo di VAPI, e sono state utilizzate per la determinazione dei livelli di massima piena.

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	10.2
Tr 200	13.7
Tr 500	16.0

Tabella 13 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

6.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione. Pertanto, i valori di scabrezza sono stati assegnati secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$], la scabrezza 0.03 è stata assegnata alle sezioni che definiscono il tombino di valle.

Copertura	n (range)
Alveo	0.03 - 0.05
Pianura alluvionale	0.06 - 0.08

Tabella 14: Scabrezze adottate nel modello

I valori dei coefficienti di scabrezza sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.3.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario (corrispondente alla sezione 89AB del rilievo 2010 presente nel modello). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

Sez-89AB rilievo 2010	Livello (m s.l.m.)
Tr 50	22.82
Tr 200	23.12
Tr 500	23.46

Tabella 15: Livelli massimi a monte dell'attraversamento ferroviario per tempo di ritorno

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

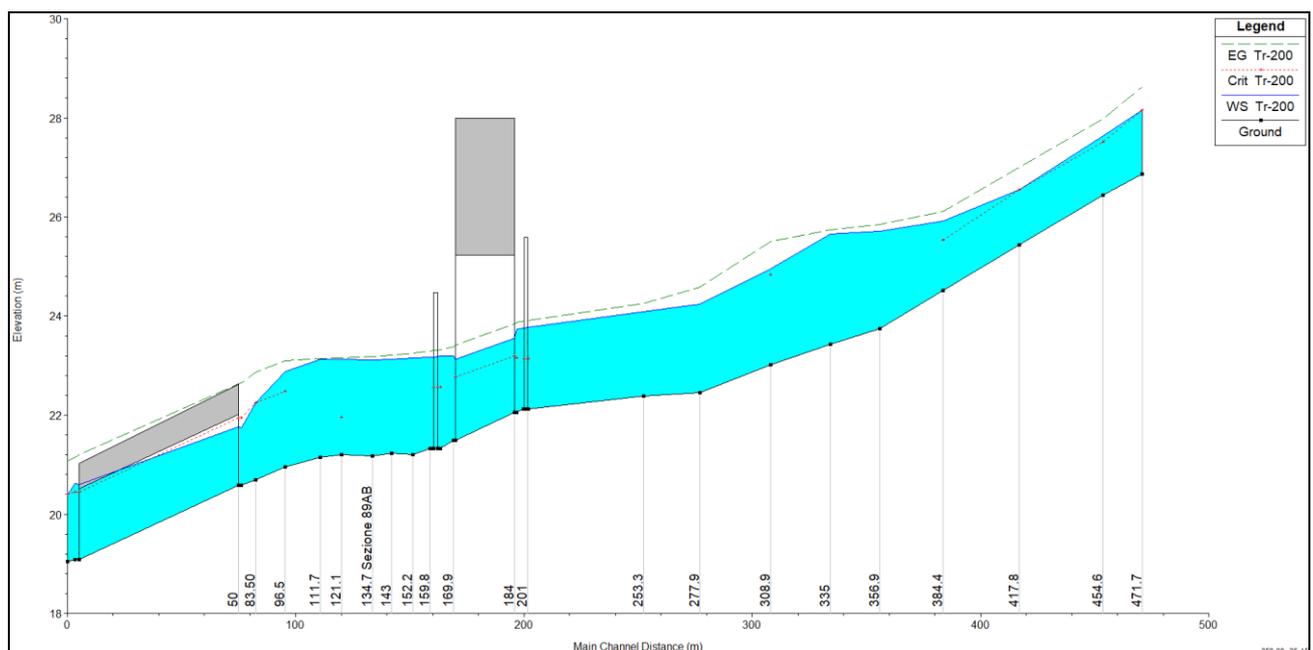


Figura 30: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

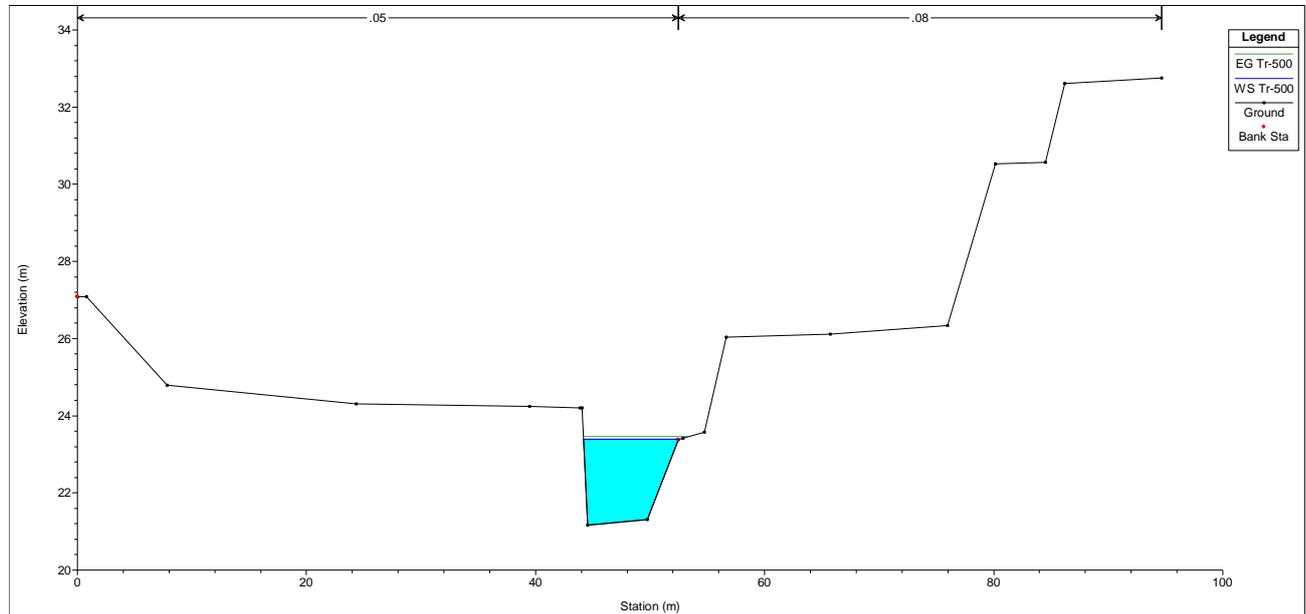


Figura 31: Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto per l'evento Tr 200

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con Tr = 500 anni, Tr = 200 anni e Tr = 50 anni.

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
471.7	16	1.41	0.81	26.86	28.27	28.28	28.77	0.031908	3.12	1
454.6	16	1.31	0.88	26.44	27.75	27.61	28.12	0.021897	2.71	0.83
417.8	16	1.22	0.81	25.44	26.66	26.66	27.15	0.031323	3.12	1
384.4	16	1.58	1.02	24.51	26.09	25.64	26.29	0.00889	1.97	0.56
356.9	16	2.16	1.03	23.75	25.91		26.06	0.006896	1.69	0.48
335	16	2.44	1.29	23.43	25.87		25.95	0.002742	1.24	0.31
308.9	16	2.12	0.82	23.02	25.14	24.99	25.72	0.036987	3.37	0.88
277.9	16	1.92	0.86	22.46	24.38		24.78	0.022566	2.82	0.68
253.3	16	1.88	1.08	22.38	24.26		24.44	0.006775	1.83	0.48
203	16	1.85	1.12	22.13	23.98	23.24	24.11	0.005667	1.62	0.43
200.9	16	1.83	1.11	22.13	23.96		24.1	0.005826	1.64	0.43
197.9	16	1.89	1.14	22.05	23.94	23.25	24.08	0.005795	1.66	0.45
169.9	16	1.96	1.12	21.49	23.45		23.62	0.006958	1.8	0.48
164.2	16	2.12	1.2	21.33	23.45	22.65	23.57	0.004567	1.52	0.38
159.8	16	2.1	1.19	21.33	23.43		23.55	0.00476	1.55	0.39
152.2	16	2.22	1.29	21.2	23.42		23.51	0.003138	1.33	0.3
143	16	2.16	1.3	21.23	23.39		23.48	0.003107	1.33	0.32
134.7	16	2.22	1.31	21.17	23.39		23.45	0.002108	1.11	0.27
121.1	16	2.21	1.54	21.2	23.41	22.03	23.43	0.000543	0.76	0.17
111.7	16	2.25	0.9	21.15	23.4		23.42	0.000613	0.79	0.18
96.5	16	2.24	1.01	20.96	23.2		23.39	0.006027	2	0.47
83.5	16	2.49	0.88	20.69	23.18	22.59	23.34	0.001522	1.8	0.47
76.6	16	2.61	0.65	20.59	23.2	22.11	23.32	0.00104	1.57	0.38
4.4	16	1.02	0.59	19.09	20.11	20.59	21.73	0.025622	5.63	1.78
1	16	1.06	0.6	19.05	20.11	20.55	21.61	0.023127	5.42	1.68

Tabella 16: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	70 di 168

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m s.l.m.]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
471.7	13.70	1.30	0.76	26.86	28.16	28.16	28.62	0.032316	3.00	1.00
454.6	13.70	1.20	0.82	26.44	27.64	27.51	27.98	0.021507	2.57	0.82
417.8	13.70	1.11	0.76	25.44	26.55	26.55	27.01	0.032366	2.99	1.00
384.4	13.70	1.41	0.94	24.51	25.92	25.54	26.11	0.010149	1.94	0.59
356.9	13.70	1.95	0.95	23.75	25.70		25.85	0.007874	1.72	0.51
335	13.70	2.23	1.22	23.43	25.66		25.74	0.002850	1.22	0.32
308.9	13.70	1.94	0.78	23.02	24.96	24.84	25.51	0.037477	3.27	0.89
277.9	13.70	1.78	0.83	22.46	24.24		24.59	0.021259	2.63	0.66
253.3	13.70	1.71	1.01	22.38	24.09		24.25	0.007203	1.78	0.48
203	13.70	1.64	1.03	22.13	23.77	23.14	23.90	0.006320	1.62	0.45
200.9	13.70	1.62	1.02	22.13	23.75		23.89	0.006547	1.64	0.46
197.9	13.70	1.68	1.04	22.05	23.73	23.15	23.87	0.006642	1.67	0.47
169.9	13.70	1.65	0.96	21.49	23.14		23.34	0.010090	1.96	0.58
164.2	13.70	1.81	1.04	21.33	23.14	22.57	23.27	0.006140	1.61	0.44
159.8	13.70	1.77	1.03	21.33	23.10		23.24	0.006625	1.65	0.46
152.2	13.70	1.90	1.16	21.20	23.10		23.19	0.003817	1.36	0.34
143	13.70	1.83	1.15	21.23	23.06		23.16	0.004076	1.40	0.37
134.7	13.70	1.88	1.17	21.17	23.05		23.12	0.002791	1.17	0.31
121.1	13.70	1.86	1.30	21.20	23.06	21.96	23.09	0.000766	0.80	0.19
111.7	13.70	1.91	1.15	21.15	23.06		23.08	0.000848	0.83	0.20
96.5	13.70	1.79	0.86	20.96	22.75	22.48	23.02	0.012469	2.38	0.65
83.5	13.70	1.56	0.70	20.69	22.25	22.25	22.86	0.007799	3.47	1.00
76.6	13.70	1.04	0.60	20.59	21.63	21.95	22.74	0.017078	4.67	1.48
4.4	13.70	0.92	0.55	19.09	20.01	20.44	21.47	0.024982	5.34	1.77
1	13.70	0.96	0.57	19.05	20.01	20.40	21.35	0.022389	5.13	1.67

Tabella 17: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva [m]	Portata [m³/s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m s.l.m.]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
471.7	10.20	1.11	0.67	26.86	27.97	27.97	28.37	0.033198	2.80	1.00
454.6	10.20	1.02	0.72	26.44	27.46	27.33	27.74	0.021277	2.34	0.81
417.8	10.20	0.93	0.66	25.44	26.37	26.37	26.76	0.033318	2.76	1.01
384.4	10.20	1.13	0.79	24.51	25.64	25.38	25.83	0.012372	1.90	0.64
356.9	10.20	1.61	0.83	23.75	25.36		25.52	0.010026	1.76	0.56
335	10.20	1.88	1.08	23.43	25.31		25.38	0.003035	1.16	0.32
308.9	10.20	1.63	0.69	23.02	24.65	24.57	25.14	0.039367	3.11	0.92
277.9	10.20	1.55	0.78	22.46	24.01		24.27	0.018155	2.28	0.61
253.3	10.20	1.45	0.91	22.38	23.83		23.96	0.007496	1.63	0.49
203	10.20	1.34	0.89	22.13	23.47	22.97	23.59	0.006926	1.53	0.47
200.9	10.20	1.33	0.88	22.13	23.46		23.58	0.007267	1.56	0.48
197.9	10.20	1.37	0.89	22.05	23.42	22.98	23.56	0.007624	1.62	0.50
169.9	10.20	1.37	0.81	21.49	22.86		23.04	0.011976	1.90	0.62
164.2	10.20	1.52	0.88	21.33	22.85	22.40	22.97	0.006845	1.52	0.47
159.8	10.20	1.48	0.86	21.33	22.81		22.94	0.007690	1.59	0.50
152.2	10.20	1.61	1.02	21.20	22.81		22.89	0.003656	1.23	0.33
143	10.20	1.53	1.01	21.23	22.76		22.85	0.004152	1.29	0.37
134.7	10.20	1.58	1.03	21.17	22.75		22.81	0.002818	1.08	0.30
121.1	10.20	1.56	1.07	21.20	22.76	21.84	22.78	0.000851	0.75	0.20
111.7	10.20	1.60	0.95	21.15	22.75		22.77	0.001024	0.80	0.21
96.5	10.20	1.43	0.67	20.96	22.39	22.28	22.70	0.020760	2.51	0.80
83.5	10.20	1.30	0.62	20.69	21.99	21.99	22.52	0.007875	3.24	1.00
76.6	10.20	0.82	0.52	20.59	21.41	21.69	22.40	0.018565	4.42	1.57
4.4	10.20	0.73	0.48	19.09	19.82	20.20	21.11	0.026923	5.02	1.88
1	10.20	0.77	0.49	19.05	19.82	20.16	20.99	0.023588	4.80	1.75

Tabella 18: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.4 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

6.4.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto modificando le sezioni in funzione dell'intervento previsto e aggiungendo l'attraversamento ferroviario.



Figura 32: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

L'attraversamento di progetto è stato inserito nella geometria del modello come ponte, secondo le informazioni geometriche disponibili.

6.4.1 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

Per i tratti non soggetti a modifiche il coefficiente di scabrezza è stato lasciato inalterato rispetto a quanto previsto nelle modellazioni ante operam, mentre per i tratti risagomati e rivestiti in massi naturali è stato adottato un coefficiente pari a $n=0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

6.4.2 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio della Valletta, avendo un bacino di 0.58 km², è classificato come un bacino di II° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato dalla tavola 04_468_CSDV_DCP38_2015_CARENDA del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco pari a 1.50 m avendo le opere di attraversamento estensione superiore a 12 m.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Riempimento M.d.P. RFI
IN39	Tombino	8.0x4.0 m	1.50 m	1.58 (60%)	67%	1.50 m	70%

Tabella 19: Verifiche franchi idraulici

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto saranno sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di 50 centimetri tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	73 di 168

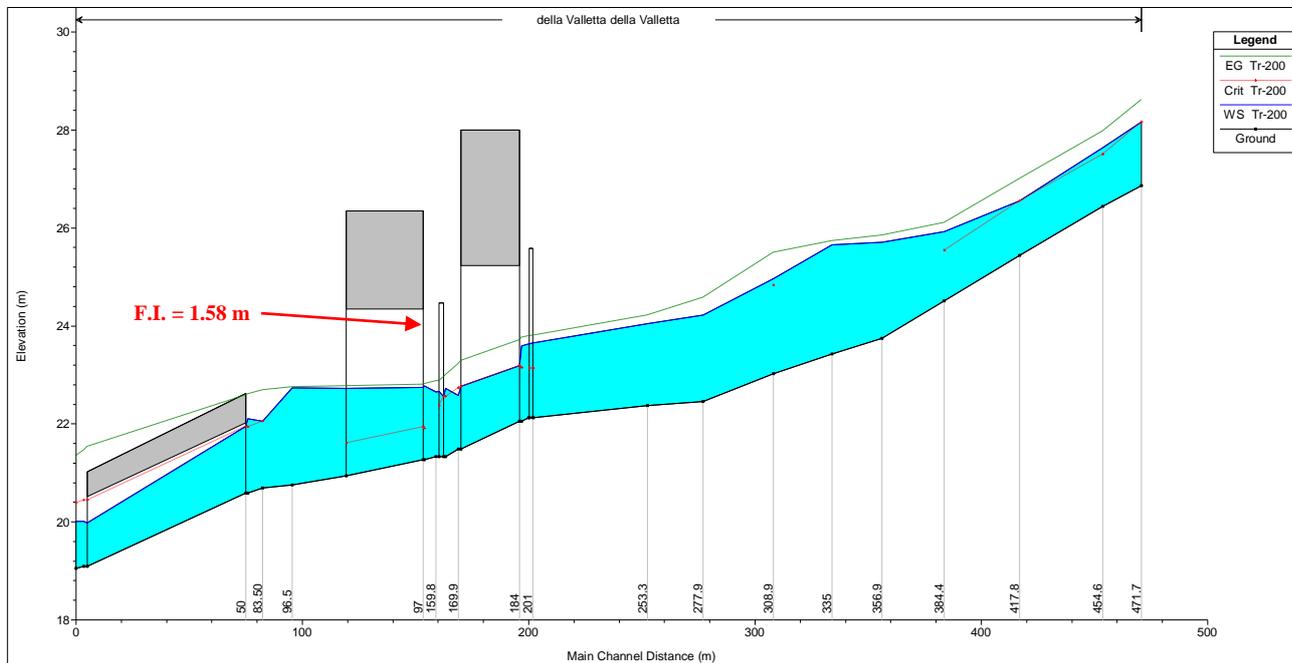


Figura 33: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

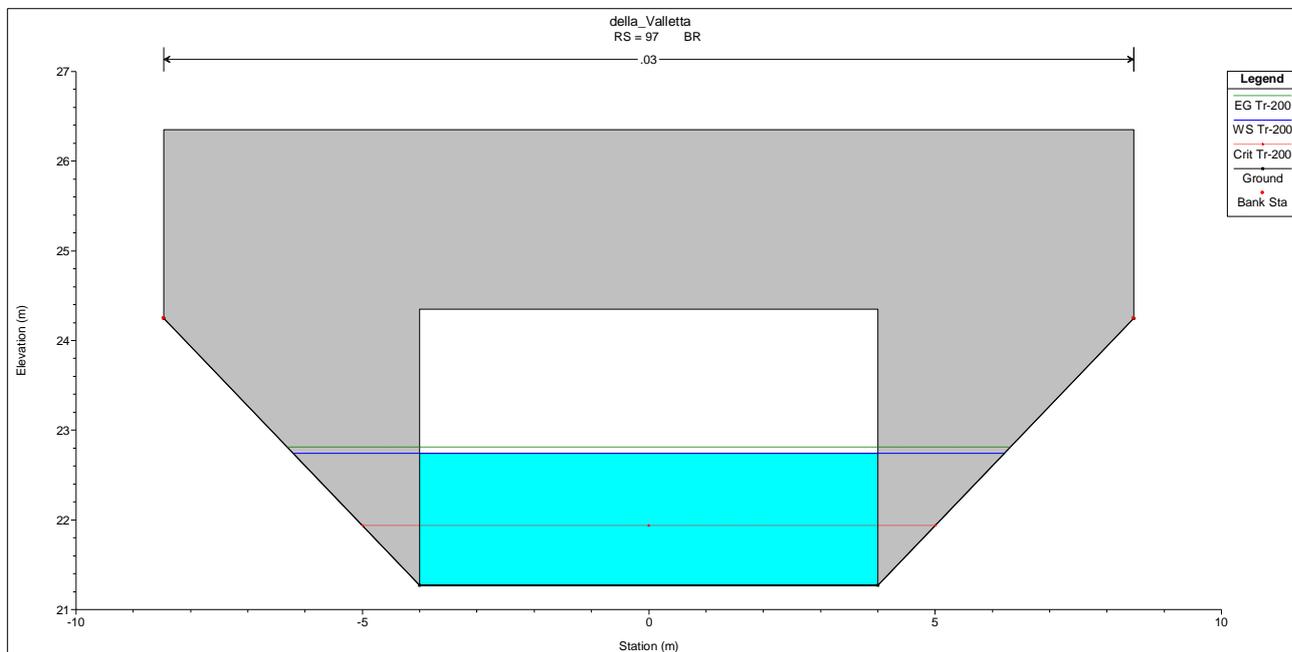


Figura 34 – Rio della Valletta: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN39

Per completezza, nella tabella seguenti si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza del nuovo viadotto VI01, nella configurazione di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
<i>Sezione IN39 (attraversamento ferroviario)</i>	22.42	22.77	23.36

Tabella 20: Rio della Valletta: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

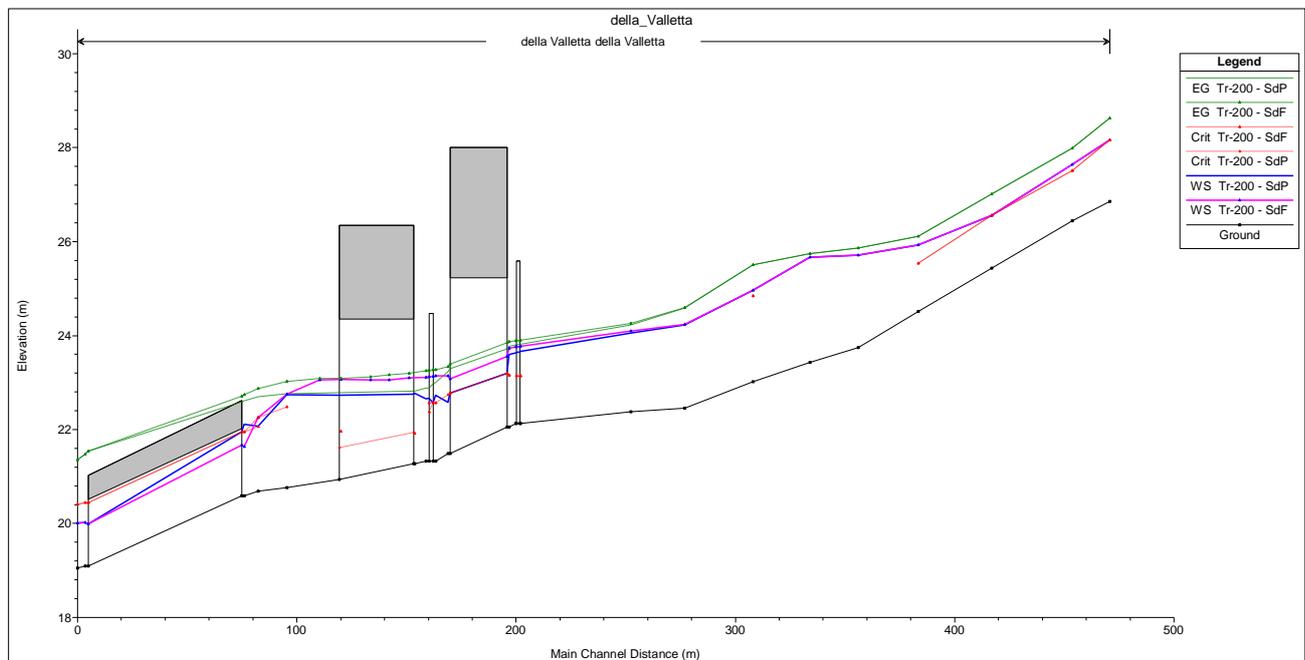


Figura 35 – Rio della Valletta: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano un sensibile miglioramento delle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con Tr = 500 anni, Tr = 200 anni e Tr = 50 anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	75 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
471.7	16.00	1.41	0.81	26.86	28.27	28.28	28.77	0.031908	3.12	1.00
454.6	16.00	1.31	0.88	26.44	27.75	27.61	28.12	0.021897	2.71	0.83
417.8	16.00	1.22	0.81	25.44	26.66	26.66	27.15	0.031323	3.12	1.00
384.4	16.00	1.58	1.02	24.51	26.09	25.64	26.29	0.008889	1.97	0.56
356.9	16.00	2.16	1.03	23.75	25.91		26.06	0.006895	1.69	0.48
335	16.00	2.44	1.29	23.43	25.87		25.95	0.002741	1.24	0.31
308.9	16.00	2.12	0.82	23.02	25.14	24.99	25.72	0.036906	3.37	0.88
277.9	16.00	1.91	0.85	22.46	24.37		24.78	0.022861	2.83	0.69
253.3	16.00	1.87	1.07	22.38	24.25		24.43	0.006963	1.85	0.48
203	16.00	1.82	1.11	22.13	23.95	23.24	24.09	0.005970	1.66	0.44
200.9	16.00	1.81	1.10	22.13	23.94		24.08	0.006151	1.67	0.45
197.9	16.00	1.86	1.13	22.05	23.91	23.25	24.06	0.006147	1.70	0.46
169.9	16.00	1.80	1.04	21.49	23.29		23.50	0.009679	2.02	0.57
164.2	16.00	1.96	1.12	21.33	23.29	22.65	23.44	0.006113	1.69	0.44
159.8	16.00	1.97	1.22	21.33	23.30		23.42	0.001569	1.51	0.37
152.2	16.00	2.09	1.50	21.27	23.36	21.98	23.39	0.000247	0.69	0.17
143	16.00	2.58	1.77	20.76	23.34		23.35	0.000115	0.52	0.12
134.7	16.00	2.50	0.91	20.69	23.19	22.21	23.34	0.001282	1.68	0.42
121.1	16.00	2.61	0.65	20.59	23.20	22.11	23.32	0.001040	1.57	0.38
111.7	16.00	1.02	0.59	19.09	20.11	20.59	21.73	0.025622	5.63	1.78
96.5	16.00	1.06	0.60	19.05	20.11	20.55	21.61	0.023127	5.42	1.68
83.5	16.00	1.41	0.81	26.86	28.27	28.28	28.77	0.031908	3.12	1.00
76.6	16.00	1.31	0.88	26.44	27.75	27.61	28.12	0.021897	2.71	0.83
4.4	16.00	1.22	0.81	25.44	26.66	26.66	27.15	0.031323	3.12	1.00
1	16.00	1.58	1.02	24.51	26.09	25.64	26.29	0.008889	1.97	0.56

Tabella 21: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
471.7	13.70	1.30	0.76	26.86	28.16	28.16	28.62	0.032316	3.00	1.00
454.6	13.70	1.20	0.82	26.44	27.64	27.51	27.98	0.021507	2.57	0.82
417.8	13.70	1.11	0.76	25.44	26.55	26.55	27.01	0.032366	2.99	1.00
384.4	13.70	1.41	0.94	24.51	25.92	25.54	26.11	0.010146	1.94	0.59
356.9	13.70	1.95	0.95	23.75	25.70		25.86	0.007871	1.72	0.51
335	13.70	2.23	1.22	23.43	25.66		25.74	0.002849	1.22	0.32
308.9	13.70	1.94	0.78	23.02	24.96	24.84	25.51	0.037227	3.26	0.89
277.9	13.70	1.76	0.82	22.46	24.22		24.58	0.022010	2.66	0.67
253.3	13.70	1.67	1.00	22.38	24.05		24.22	0.007890	1.83	0.51
203	13.70	1.52	0.97	22.13	23.65	23.14	23.81	0.008121	1.77	0.51
200.9	13.70	1.50	0.96	22.13	23.63		23.80	0.008569	1.80	0.52
197.9	13.70	1.54	0.97	22.05	23.59	23.15	23.77	0.009053	1.87	0.55
169.9	13.70	1.09	0.65	21.49	22.58	22.74	23.23	0.056756	3.57	1.33
164.2	13.70	1.39	0.80	21.33	22.72	22.57	23.00	0.018238	2.33	0.77
159.8	13.70	1.32	0.88	21.33	22.65		22.88	0.004680	2.10	0.65
152.2	13.70	1.50	1.15	21.27	22.77	21.91	22.81	0.000589	0.89	0.26
143	13.70	1.98	1.44	20.76	22.74		22.76	0.000221	0.63	0.16
134.7	13.70	1.37	0.70	20.69	22.06	22.05	22.69	0.007992	3.52	0.99
121.1	13.70	1.51	0.73	20.59	22.10	21.95	22.61	0.006004	3.15	0.86
111.7	13.70	0.92	0.55	19.09	20.01	20.44	21.47	0.024982	5.34	1.77
96.5	13.70	0.96	0.57	19.05	20.01	20.40	21.35	0.022389	5.13	1.67
83.5	13.70	1.30	0.76	26.86	28.16	28.16	28.62	0.032316	3.00	1.00
76.6	13.70	1.20	0.82	26.44	27.64	27.51	27.98	0.021507	2.57	0.82
4.4	13.70	1.11	0.76	25.44	26.55	26.55	27.01	0.032366	2.99	1.00
1	13.70	1.41	0.94	24.51	25.92	25.54	26.11	0.010146	1.94	0.59

Tabella 22: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	76 di 168

Progressiva [m]	Portata [m ³ /s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m s.l.m.]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
471.7	10.20	1.11	0.67	26.86	27.97	27.97	28.37	0.033198	2.80	1.00
454.6	10.20	1.02	0.72	26.44	27.46	27.33	27.74	0.021277	2.34	0.81
417.8	10.20	0.93	0.66	25.44	26.37	26.37	26.76	0.033318	2.76	1.01
384.4	10.20	1.13	0.79	24.51	25.64	25.38	25.83	0.012366	1.90	0.64
356.9	10.20	1.61	0.83	23.75	25.36		25.52	0.010014	1.76	0.56
335	10.20	1.88	1.08	23.43	25.31		25.38	0.003032	1.16	0.32
308.9	10.20	1.62	0.69	23.02	24.64	24.57	25.14	0.039956	3.12	0.92
277.9	10.20	1.61	0.79	22.46	24.07		24.31	0.016217	2.18	0.58
253.3	10.20	1.56	0.96	22.38	23.94		24.06	0.005590	1.48	0.42
203	10.20	1.61	1.01	22.13	23.74	22.97	23.82	0.003710	1.23	0.34
200.9	10.20	1.60	1.01	22.13	23.73		23.81	0.003782	1.24	0.35
197.9	10.20	1.67	1.04	22.05	23.72	22.98	23.80	0.003732	1.25	0.35
169.9	10.20	0.98	0.58	21.49	22.47	22.58	22.96	0.049419	3.10	1.23
164.2	10.20	1.22	0.70	21.33	22.55	22.40	22.78	0.018136	2.12	0.76
159.8	10.20	0.89	0.63	21.33	22.22	22.21	22.56	0.011315	2.60	1.00
152.2	10.20	1.15	0.92	21.27	22.42	21.80	22.46	0.000843	0.91	0.30
143	10.20	1.62	1.22	20.76	22.38		22.40	0.000249	0.60	0.17
134.7	10.20	1.11	0.63	20.69	21.80	21.80	22.34	0.007948	3.26	1.00
121.1	10.20	0.97	0.58	20.59	21.56	21.69	22.26	0.011345	3.71	1.21
111.7	10.20	0.73	0.48	19.09	19.82	20.20	21.11	0.026923	5.02	1.88
96.5	10.20	0.77	0.49	19.05	19.82	20.16	20.99	0.023588	4.80	1.75
83.5	10.20	1.11	0.67	26.86	27.97	27.97	28.37	0.033198	2.80	1.00
76.6	10.20	1.02	0.72	26.44	27.46	27.33	27.74	0.021277	2.34	0.81
4.4	10.20	0.93	0.66	25.44	26.37	26.37	26.76	0.033318	2.76	1.01
1	10.20	1.13	0.79	24.51	25.64	25.38	25.83	0.012366	1.90	0.64

Tabella 23: Rio della Valletta: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

6.5.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g - 1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.016
- tiranti idrici: 1.5 ÷ 14 m
- velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s
- portate: 35 ÷ 2200 mc/s
- d_{50} : 0.15 ÷ 0.70 m
-

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 1.80 m/s e tirante = 1.30 m per il torrente La Valletta, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 50^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = 0.29$ m per i rivestimenti spondali. Si adotta $d_{50} = 30$ m

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.5.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 2.50 m/s in alveo ($Tr = 200 \text{ anni}$); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: **$d_{50} = 0.28 \text{ m}$** .
 Si adotta anche in alveo **$d_{50} = 0.30 \text{ m}$**

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 0.80 \cdot 0.014 = 11.2 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 0.80$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.014$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovverosia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d. Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d. Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con $d_{50} = 0.30$ m:

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.30 = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 11.2 \text{ kg/m}^2 < 24 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 24 / 11.2 = 2.1$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su $d_{50} = 0.30$ m che risultano quindi verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

6.6 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0I00D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio Valletta, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 13).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr_{200}) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
IN39	Tombino	8.0x4.0 m	2.09	0.99

Tabella 24: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7 RIO TOCO

7.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Albenga (SV). Il rio Toco è un affluente di destra del Torrente Arroscia, la sua immissione avviene a valle del viadotto dell'A10, Autostrada dei Fiori. La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova al di fuori di centri urbani e sono presenti solo alcuni insediamenti produttivi.

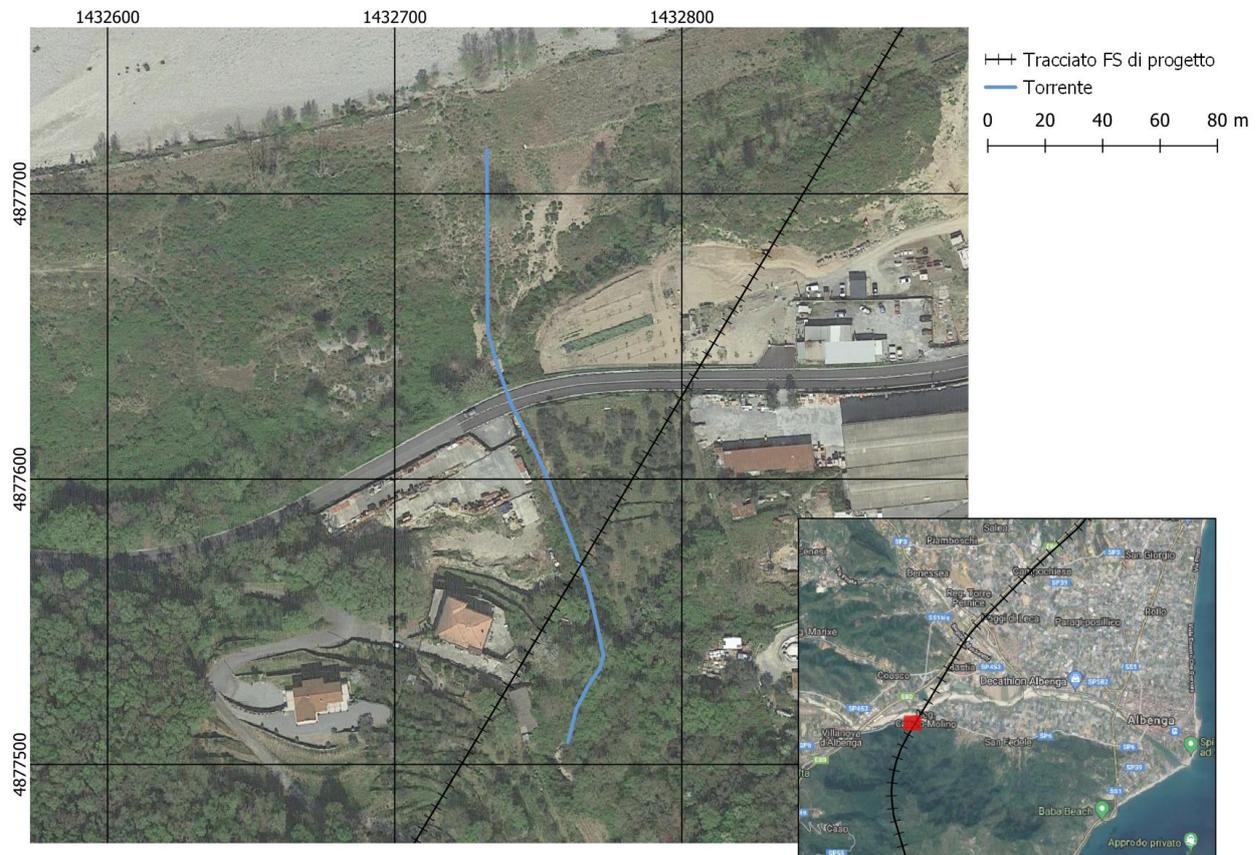


Figura 36 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.2 INTERVENTO DI PROGETTO

La linea ferroviaria, immediatamente prima dell'imbocco della Galleria Alassio, alla progressiva Km 87+123.41, incontra il Rio Toco, un affluente in destra del Torrente Arroscia. Per consentire il deflusso del corso d'acqua a valle dell'infrastruttura ferroviaria e della vicina Strada Provinciale Albenga-Casanova, si prevede la disposizione di uno scatolare in c.a. di larghezza 4.00 m ed altezza 4.00 m, il cui intradosso, a monte della ferrovia è posto a quota 24.06 m s.l.m.. Il manufatto ha una pendenza pari al 0.2%, con quota di imbocco posta a 20.95 m s.l.m. e quota di sbocco a 20.15 m s.l.m. Lo scatolare è lungo 38 m ed è rivestito internamente al fondo con pietrame cementato di diametro medio 20 cm per garantire la continuità della scabrezza del corso d'acqua anche all'interno dello scatolare.

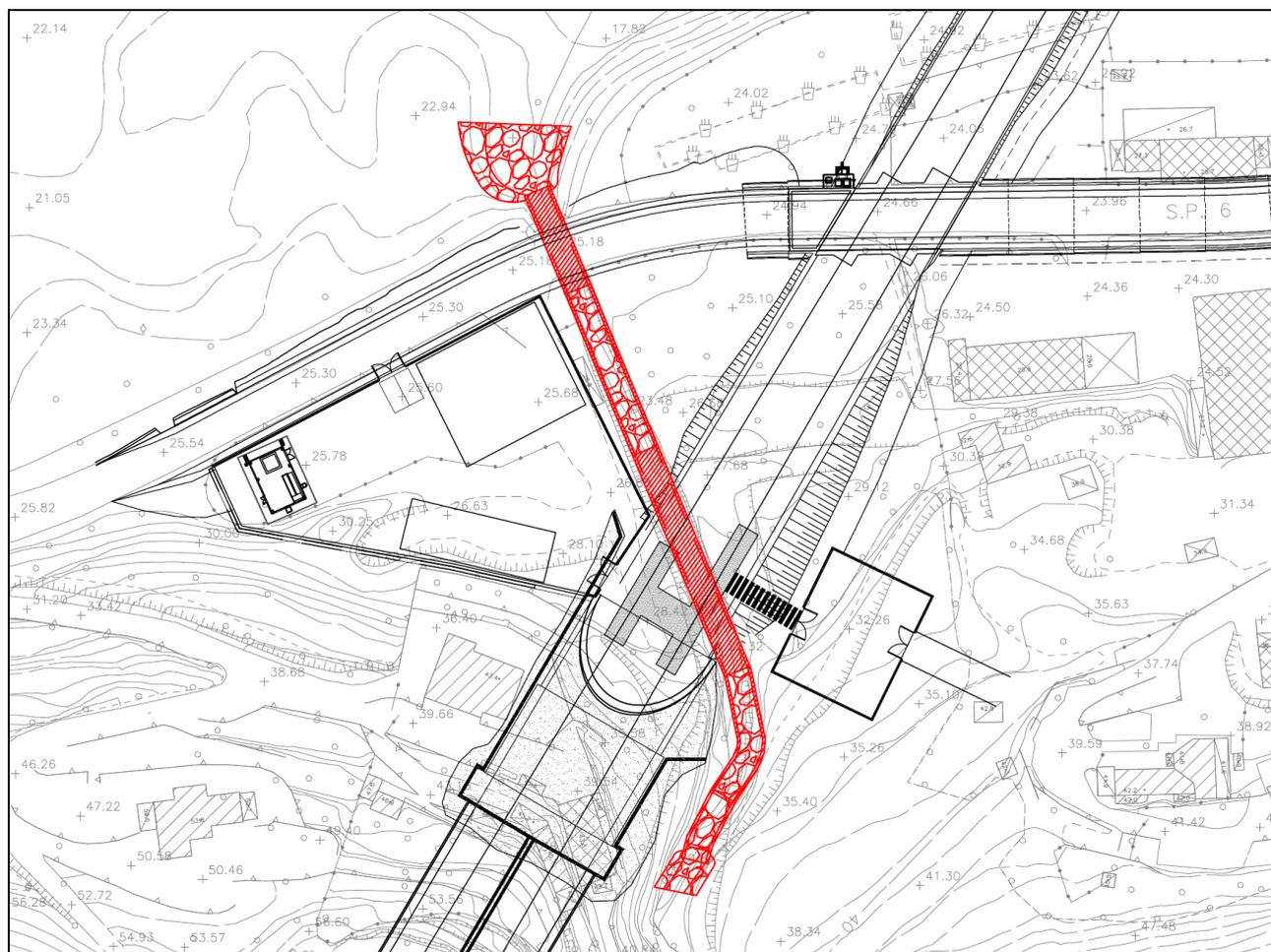


Figura 37 - Pianta della sistemazione idraulica del Rio Toco

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

A monte dell'attraversamento sono previste due briglie di salto di altezza la prima partendo da monte 4,00 m e la seconda 3,50 m. Il canale nel tratto a monte è stato risagomato con una sezione rettangolare con base 4,00 m in cemento armato rivestita sul fondo come nel tombino. Il tratto funge da raccordo tra lo scatolare e l'alveo naturale a monte.

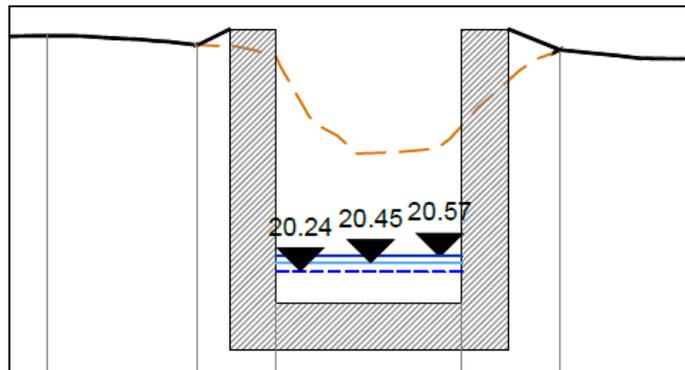


Figura 38 – Torrente Toco: sistemazione idraulica tipologica di progetto

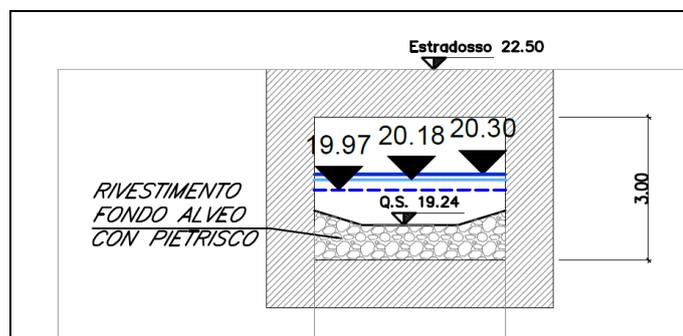


Figura 39 – Torrente Toco: sistemazione idraulica tipologica di progetto

Il canale rettangolare con base 4,00 m prosegue dallo sbocco del tombino ferroviario con pendenza 0.25% fino all'imbocco del nuovo tombino sotto la viabilità SP 6. Per l'attraversamento della viabilità si prevede un tombino di base 4,00 m e altezza 3,00 m rivestito sul fondo e di lunghezza 12 m. A valle dell'attraversamento stradale è previsto il raccordo con la sezione esistente con materiale sciolto per il quale si propone un dimensionamento della protezione di sponda e alveo come per altri interventi analoghi.

La zona di sistemazione è delimitata a monte da un taglione al fine di garantirne l'ottimale e duraturo contenimento.

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla visione delle tavole progettuali e di restituzione grafica delle elaborazioni modellistiche, in particolare:

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 84 di 168

- IV0I00D26WZID0602001A
- IV0I00D26WZID0502002A
- IV0I00D26FZID0502001A
- IV0I00D26FZID0502002A
- IV0I00D26PZID0502005A
- IV0I00D11BBID0002003A
- IV0I00D11BBID0002004A

7.2.1 Attraversamento in fase di cantierizzazione

Il tracciato della linea ferroviaria di progetto interseca il Rio Toco a circa 350 m dalla confluenza con il Torrente Arroscia e prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio, pertanto, non è prevista interruzione della linea esistente durante le lavorazioni.

La realizzazione del tracciato ferroviario in variante comporterà anche l'adeguamento di viabilità esistenti in particolare sotto la SP 6 dove è previsto un nuovo tombino.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre rilevato ferroviario verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, salvo l'interferenza con la viabilità esistente che sarà da deviare durante la fase di cantiere; sarà tuttavia da prevedere inoltre che le lavorazioni in alveo vengano effettuate nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare la sicurezza e i lavori.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

7.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria del Rio Toco, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente, il rilievo celerimetrico del 2010 e le sezioni del 2021.

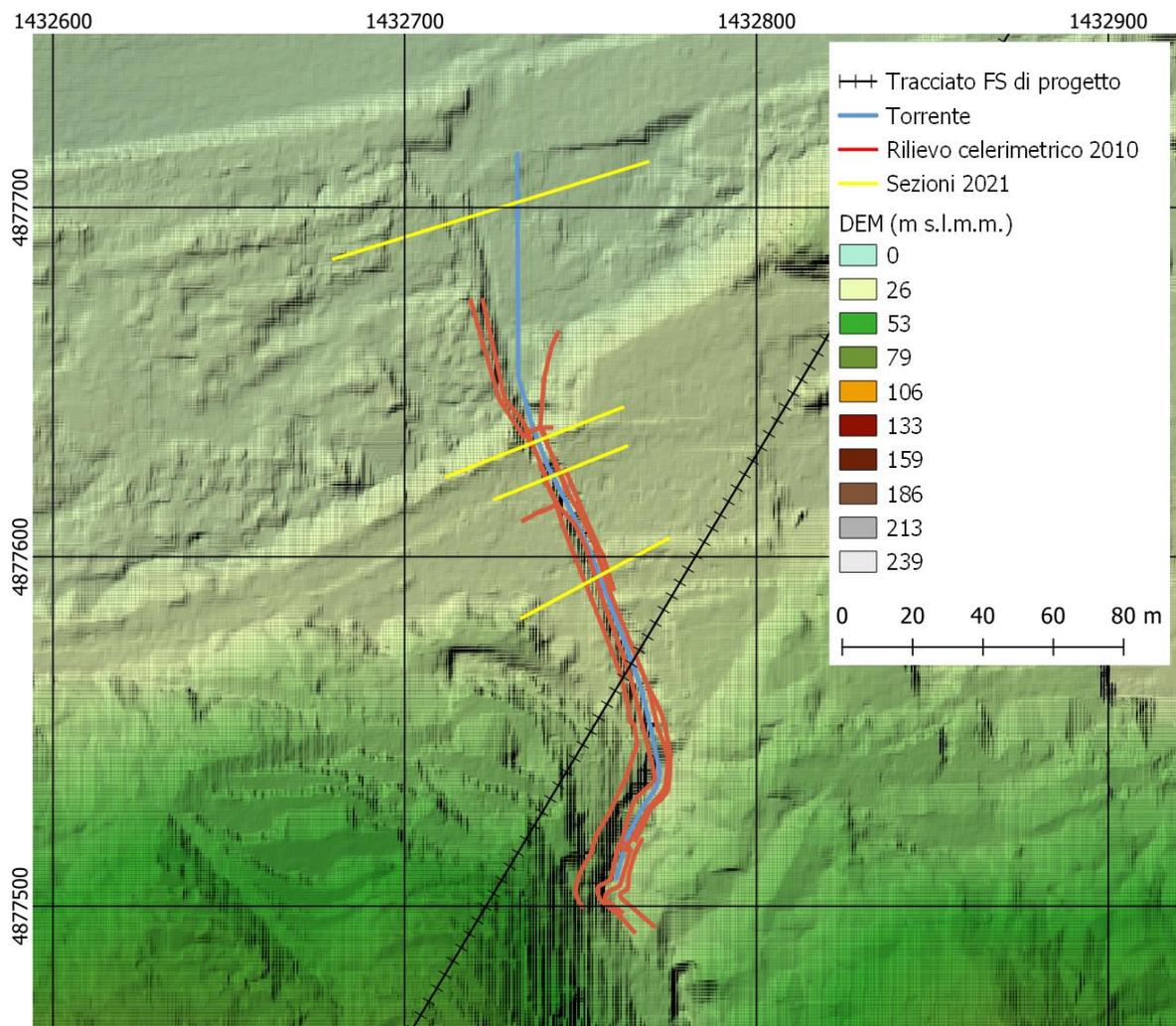


Figura 40: Informazioni topografiche a disposizione

Il modello digitale del terreno è stato ottenuto utilizzando solamente il DTM del Ministero integrato con parte del rilievo celerimetrico del 2010.

La figura che segue fornisce il DTM risultante da questa integrazione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

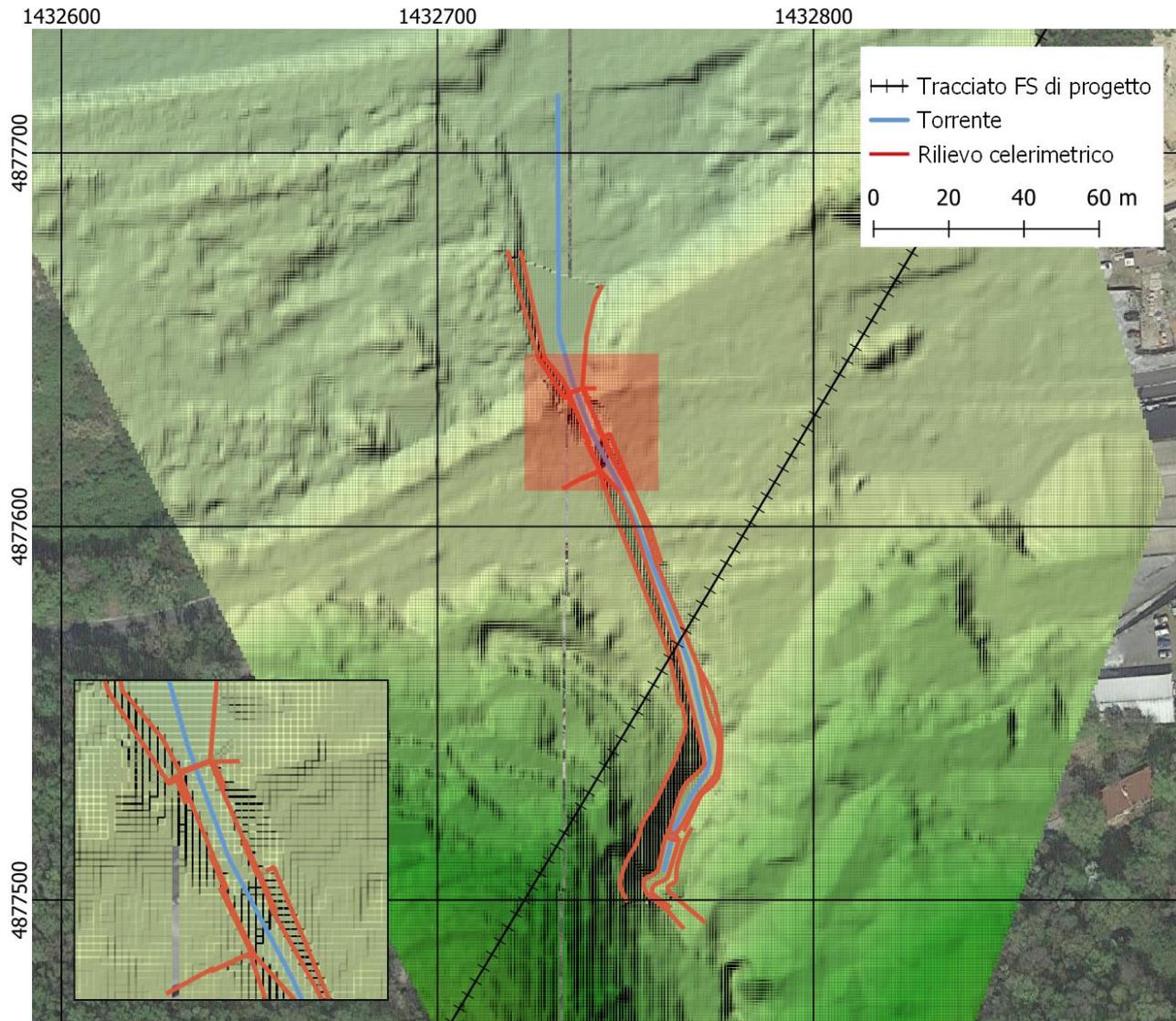


Figura 41: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 16 sezioni, avendo cura di mantenere le 3 sezioni di rilievo più a monte. La distanza tra le sezioni (rilevate ed estratte) è stata mantenuta nell'ordine dei 15 m, salvo nei casi in cui sono state inserite delle strutture idrauliche.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IV01

00

D 26 RH

ID 0002 001

B

87 di 168



Figura 42: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

L'attraversamento della SP6 è stato schematizzato come ponte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

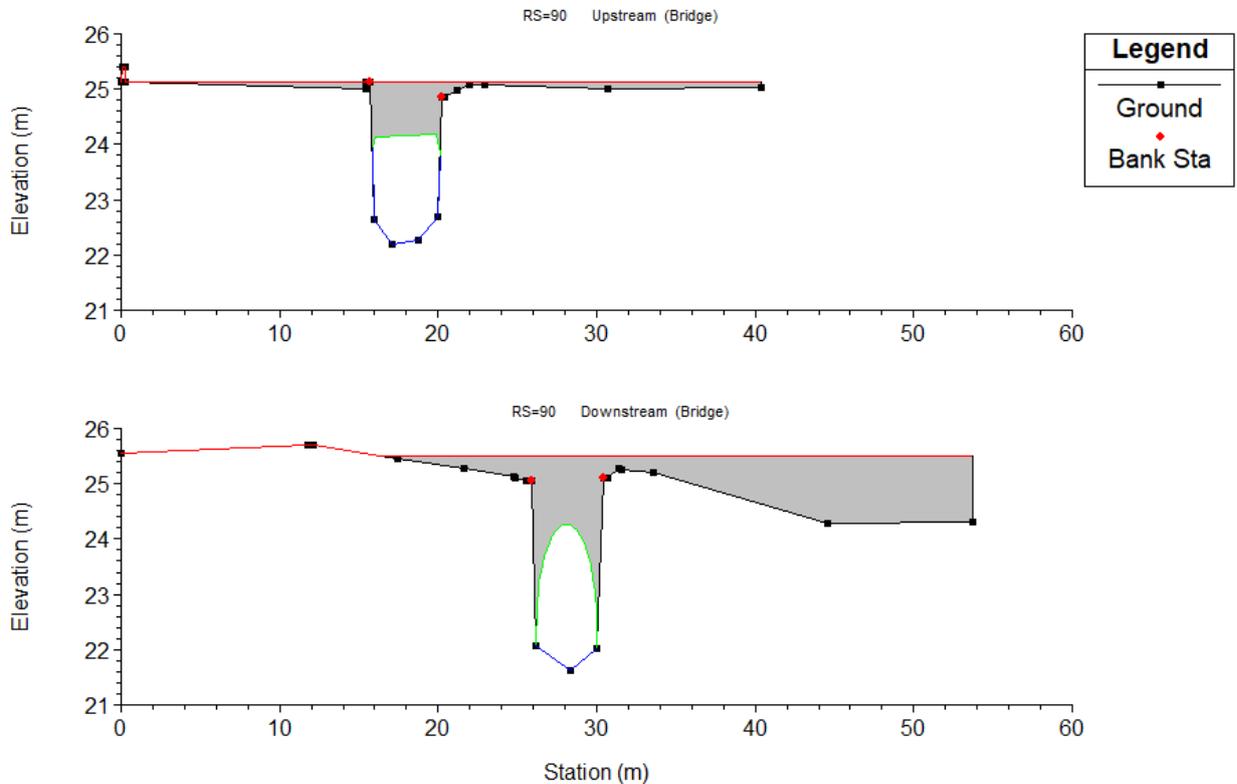


Figura 43: Attraversamento SP6, struttura a monte (sopra) e a valle (sotto)

7.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- Livelli del Torrente Arroscia per tempo di ritorno analogo alle portate di monte come condizione al contorno di valle

Le portate al colmo sono state calcolate con il metodo CIMA, descritto nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Fiume Centa e riportato anche nella relazione idrologica, elaborato IV0I00D09RIID0001001.

TEMPO DI RITORNO	PORTATA (m ³ /s)	LIVELLO VALLE (m s.l.m.m.)
Tr 50	9.0	19.18
Tr 200	13.0	19.65
Tr 500	15.6	19.92

Tabella 25 – Condizioni al contorno considerate

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione. Pertanto, valori di scabrezza sono stati assegnati sulla base della letteratura tecnica e della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

Copertura	n
Alveo	0.06
Pianura alluvionale	0.08

Tabella 26: Scabrezze adottate nel modello

I valori dei coefficienti di scabrezza sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

7.3.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione a monte dell'attraversamento ferroviario (corrispondente alla sezione RS 163 di progressiva 53.0). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

Sezione	Livello (m s.l.m.m.)
Tr 50	27.04
Tr 200	27.22
Tr 500	27.32

Tabella 27: Livelli massimi a monte dell'attraversamento ferroviario per tempo di ritorno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

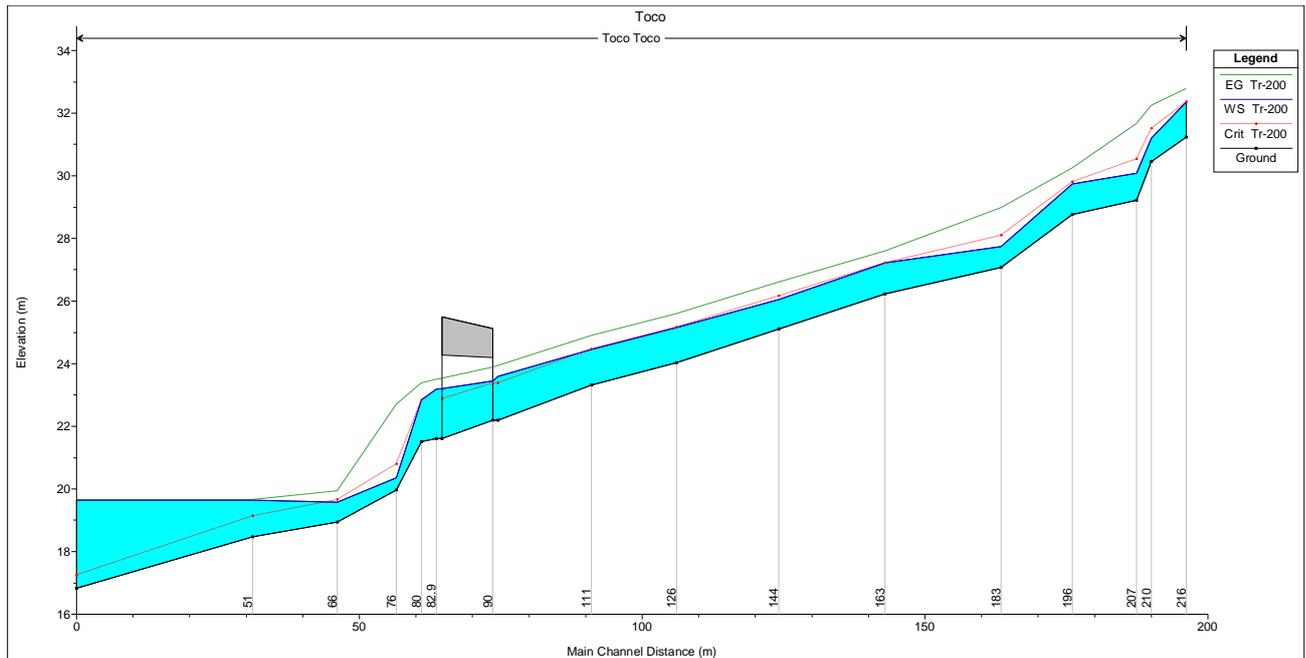


Figura 44: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

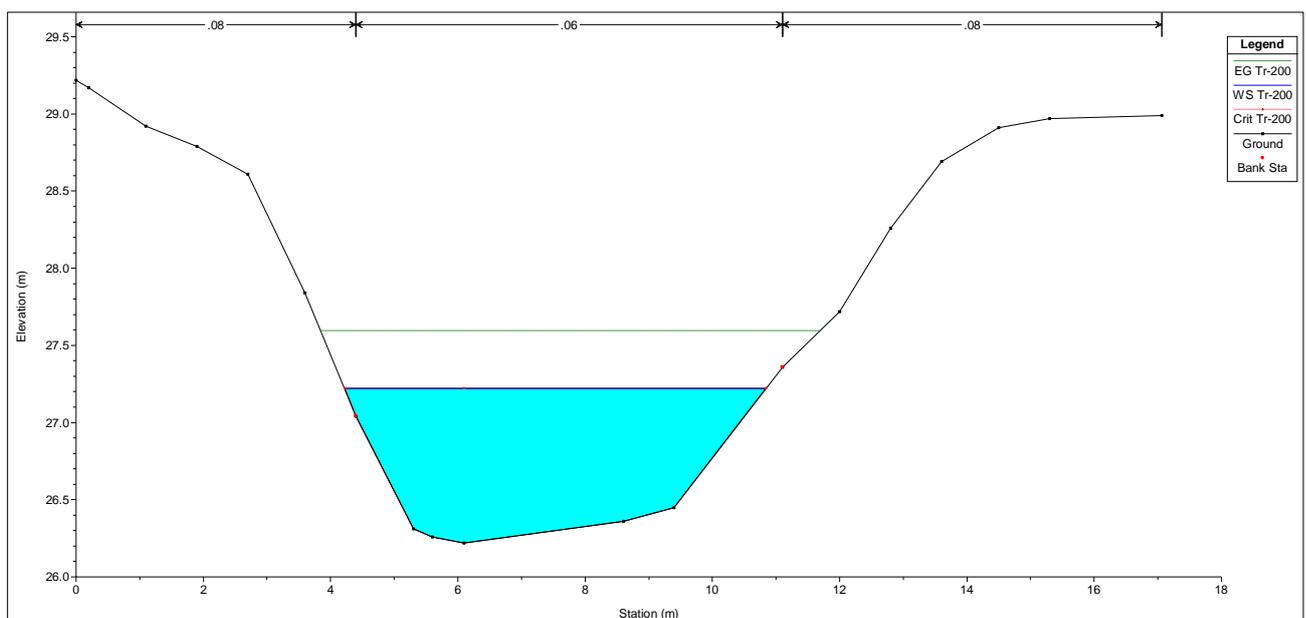


Figura 45: Sezione trasversale RS 163 a monte dell'attraversamento ferroviario in progetto per l'evento Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	15.60	1.25	0.80	31.23	32.48	32.48	32.95	0.044762	3.05	1.00
210	15.60	0.83	0.60	30.46	31.29	31.64	32.42	0.157850	4.70	1.82
207	15.60	0.97	0.59	29.22	30.19	30.68	31.87	0.227375	5.75	2.17
183	15.60	0.76	0.54	27.08	27.84	28.22	29.13	0.205961	5.04	2.08
76	15.60	0.45	0.33	19.96	20.41	20.89	22.91	0.790727	7.01	3.88
66	15.60	0.67	0.42	18.94	19.61	19.73	20.05	0.098977	2.93	1.43
51	15.60	1.44	0.97	18.47	19.91	19.19	19.93	0.001320	0.61	0.19
20	15.60	3.09	1.97	16.83	19.92	17.28	19.92	0.000013	0.12	0.02

Tabella 28: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=500$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	13.00	1.13	0.74	31.23	32.36	32.36	32.79	0.045582	2.91	1.00
210	13.00	0.74	0.54	30.46	31.20	31.52	32.24	0.166487	4.52	1.85
207	13.00	0.87	0.54	29.22	30.09	30.54	31.66	0.248892	5.56	2.23
183	13.00	0.67	0.48	27.08	27.75	28.10	28.98	0.229358	4.92	2.16
76	13.00	0.40	0.29	19.96	20.36	20.80	22.69	0.858648	6.76	3.97
66	13.00	0.63	0.39	18.94	19.57	19.66	19.94	0.091704	2.67	1.36
51	13.00	1.16	0.75	18.47	19.63	19.14	19.66	0.002463	0.70	0.25
20	13.00	2.82	1.78	16.83	19.65	17.24	19.65	0.000013	0.12	0.02

Tabella 29: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=200$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	9.00	0.91	0.62	31.23	32.14	32.14	32.50	0.047779	2.66	1.01
210	9.00	0.58	0.44	30.46	31.04	31.31	31.93	0.185487	4.16	1.91
207	9.00	0.70	0.45	29.22	29.92	30.31	31.29	0.279373	5.19	2.32
183	9.00	0.52	0.38	27.08	27.60	27.91	28.73	0.291639	4.71	2.36
76	9.00	0.33	0.23	19.96	20.29	20.65	22.30	1.033330	6.29	4.19
66	9.00	0.56	0.33	18.94	19.50	19.55	19.76	0.078875	2.23	1.23
51	9.00	0.65	0.31	18.47	19.12	19.06	19.21	0.031893	1.36	0.78
20	9.00	2.35	1.50	16.83	19.18	17.18	19.18	0.000014	0.10	0.02

Tabella 30: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=50$ anni, principali grandezze caratteristiche

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 92 di 168

7.4 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

7.4.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto modificando le sezioni in funzione dell'intervento previsto e aggiungendo i tre attraversamenti idraulici.



Figura 46: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

Tutti gli attraversamenti di progetto sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti o culvert, secondo le informazioni geometriche disponibili.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.4.2 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

Per i tratti non soggetti a modifiche il coefficiente di scabrezza è stato lasciato inalterato rispetto a quanto previsto nelle modellazioni ante operam, mentre per i tratti risagomati e rivestiti in massi naturali è stato adottato un coefficiente pari a $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

7.4.3 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio Toco, avendo un bacino di 0.55 km^2 , è classificato come un bacino di II° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato dalla tavola SV_centa_Suscettivita3di7_CENTA del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco pari a 1,50 m per l'attraversamento ferroviario avendo estensione superiore a 12 m e di 1,00 m per il tombino stradale essendo di lunghezza pari a 12 m.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Riempimento M.d.P. RFI
IN42a	Tombino	8.0x4.0 m	1.09 m	1.91 (36%)	67%	1.5 m	70%
IN42b	Tombino	8.0x3.0 m	0.87 m	1.20 (42%)	67%	1.0 m	70%

Tabella 31: Verifiche franchi idraulici

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto saranno sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di 1,00 metro tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

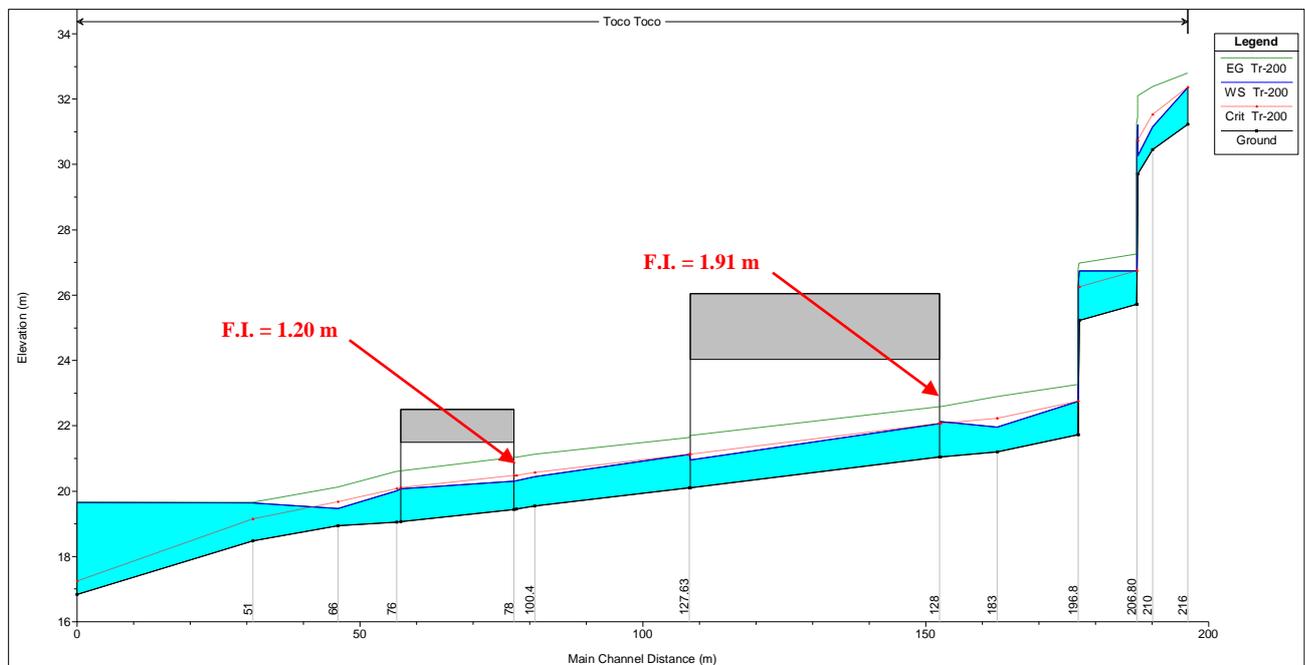


Figura 47: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

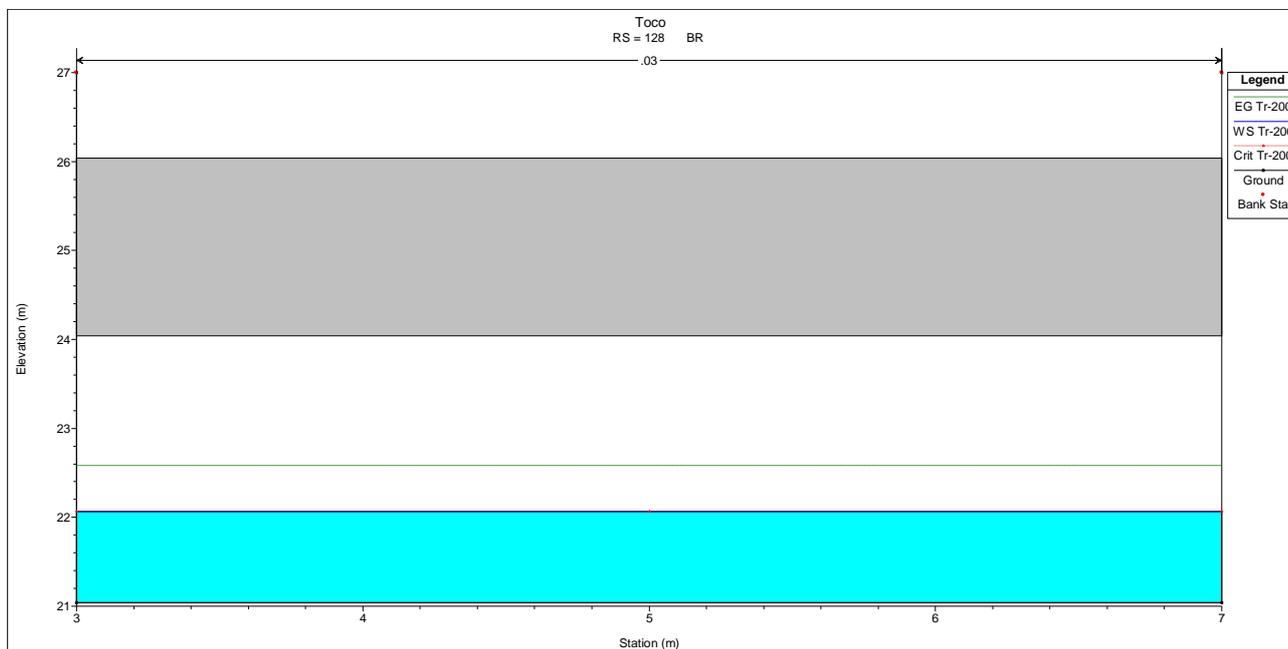


Figura 48 – Rio Toco: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN42a

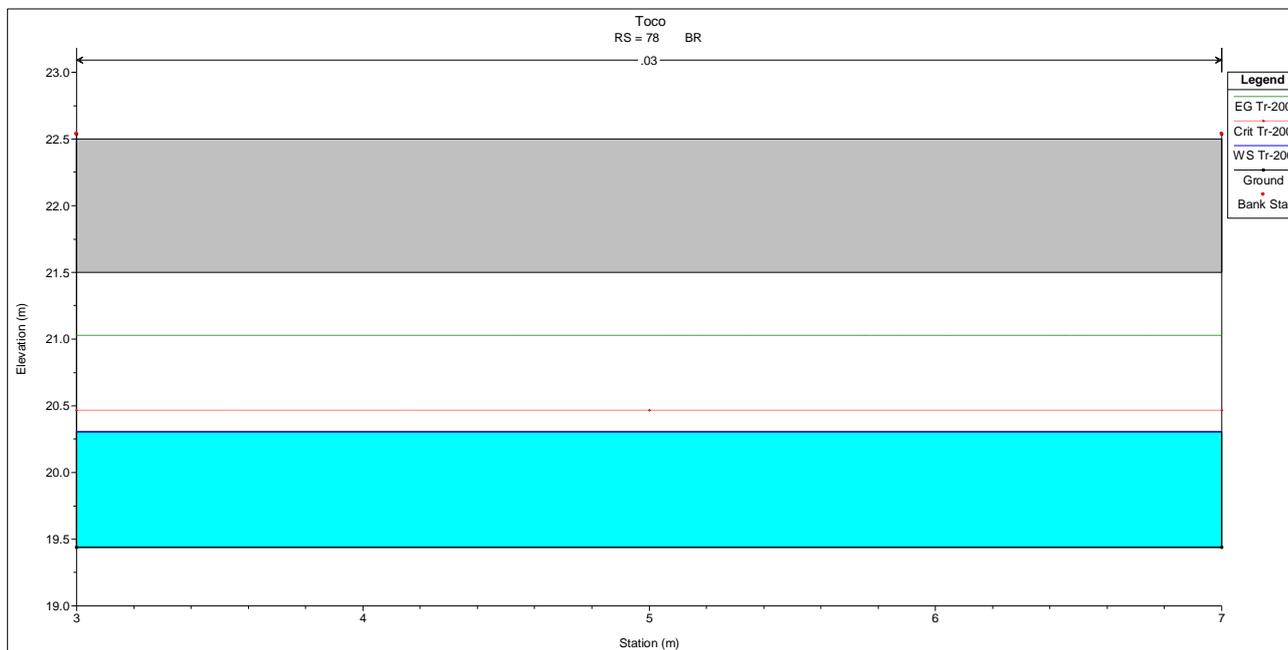


Figura 49 – Rio Toco: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN42b

Per completezza, nella tabella seguenti si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza del nuovo viadotto VI01, nella configurazione di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
<i>Sezione IN42a (attraversamento ferroviario)</i>	21.90	22.13	22.28
<i>Sezione IN42b (attraversamento ferroviario)</i>	20.11	20.31	20.43

Tabella 32: Rio Toco: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

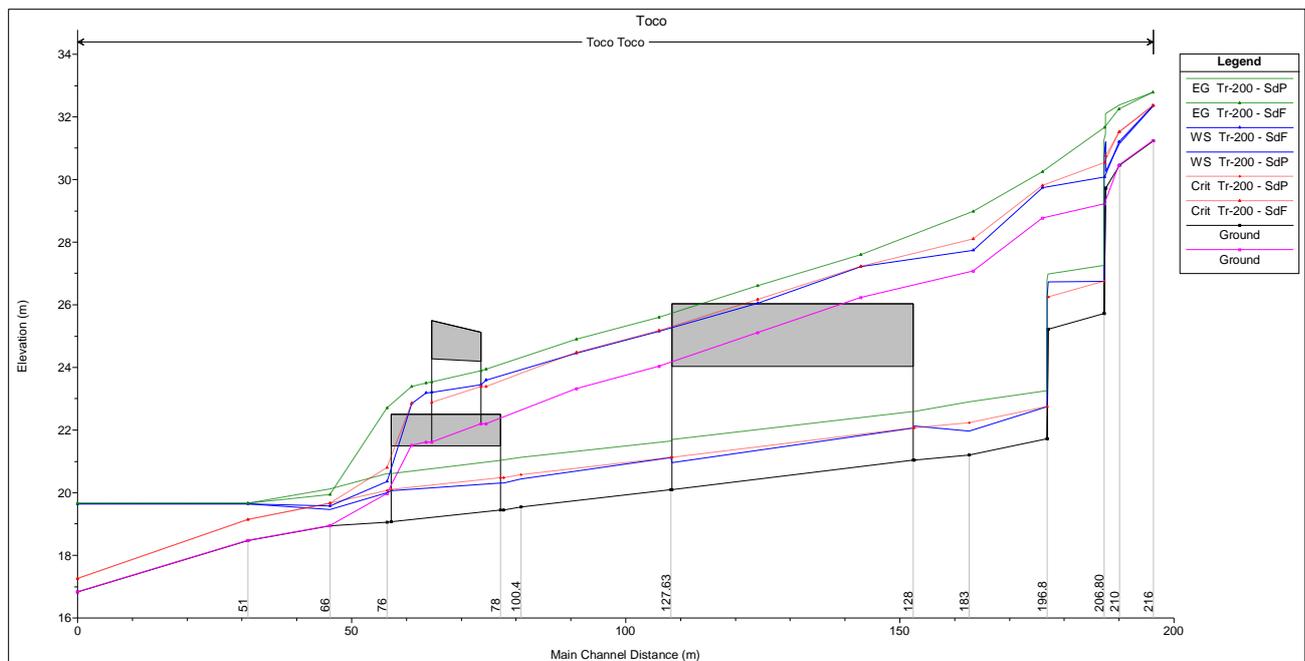


Figura 50 – Rio Toco: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano una importante modificazione del fondo alveo e delle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IVOI	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	15.60	1.25	0.80	31.23	32.48	32.48	32.95	0.044850	3.05	1.00
210	15.60	0.78	0.57	30.46	31.24	31.64	32.55	0.059504	5.07	2.03
207	15.60	0.63	0.48	29.72	30.35	30.87	32.28	0.109120	6.15	2.47
206.8	15.60	1.15	0.73	25.72	26.87	26.87	27.46	0.015600	3.38	1.00
197	15.60	1.71	0.92	25.22	26.93	26.37	27.20	0.005186	2.28	0.56
196.8	15.60	1.15	0.73	21.72	22.87	22.87	23.46	0.015577	3.38	1.00
183	15.60	0.87	0.61	21.20	22.07	22.35	23.09	0.034988	4.47	1.53
173	15.60	1.24	0.76	21.04	22.28	22.19	22.78	0.012842	3.16	0.91
127.63	15.60	1.15	0.73	20.10	21.25	21.25	21.84	0.015593	3.38	1.00
100.4	15.60	1.02	0.68	19.55	20.57	20.70	21.32	0.022212	3.82	1.21
97	15.60	0.98	0.66	19.45	20.43	20.60	21.24	0.024645	3.96	1.28
76	15.60	1.08	0.70	19.05	20.13	20.20	20.79	0.018618	3.60	1.10
66	15.60	0.56	0.32	18.94	19.50	19.73	20.30	0.255843	3.96	2.21
51	15.60	1.44	0.97	18.47	19.91	19.19	19.93	0.001320	0.61	0.19
20	15.60	3.09	1.97	16.83	19.92	17.28	19.92	0.000013	0.12	0.02

Tabella 33: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=500$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	13.00	1.13	0.74	31.23	32.36	32.36	32.79	0.045582	2.91	1.00
210	13.00	0.69	0.51	30.46	31.15	31.52	32.38	0.064065	4.91	2.08
207	13.00	0.54	0.43	29.72	30.26	30.74	32.09	0.121630	5.99	2.60
206.8	13.00	1.02	0.68	25.72	26.74	26.74	27.26	0.015342	3.18	1.00
197	13.00	1.52	0.86	25.22	26.74	26.24	26.97	0.005034	2.14	0.56
196.8	13.00	1.02	0.68	21.72	22.74	22.74	23.26	0.015355	3.18	1.01
183	13.00	0.76	0.55	21.20	21.96	22.22	22.89	0.036467	4.28	1.57
173	13.00	1.09	0.71	21.04	22.13	22.06	22.58	0.012616	2.97	0.91
127.63	13.00	1.02	0.68	20.10	21.12	21.12	21.64	0.015329	3.18	1.00
100.4	13.00	0.89	0.62	19.55	20.44	20.57	21.12	0.022598	3.64	1.23
97	13.00	0.86	0.60	19.45	20.31	20.47	21.03	0.024909	3.76	1.29
76	13.00	0.96	0.65	19.05	20.01	20.07	20.60	0.018601	3.40	1.11
66	13.00	0.53	0.30	18.94	19.47	19.66	20.12	0.227387	3.57	2.06
51	13.00	1.16	0.75	18.47	19.63	19.14	19.66	0.002463	0.70	0.25
20	13.00	2.82	1.78	16.83	19.65	17.24	19.65	0.000013	0.12	0.02

Tabella 34: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=200$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
216	9.00	0.91	0.62	31.23	32.14	32.14	32.50	0.047777	2.66	1.01
210	9.00	0.54	0.41	30.46	31.00	31.31	32.06	0.074121	4.57	2.18
207	9.00	0.40	0.33	29.72	30.12	30.52	31.74	0.150662	5.64	2.85
206.8	9.00	0.80	0.57	25.72	26.52	26.52	26.92	0.015050	2.81	1.01
197	9.00	1.19	0.75	25.22	26.41	26.02	26.59	0.004778	1.89	0.55
196.8	9.00	0.80	0.57	21.72	22.52	22.52	22.92	0.015045	2.81	1.01
183	9.00	0.58	0.45	21.20	21.78	22.00	22.56	0.040358	3.91	1.65
173	9.00	0.86	0.60	21.04	21.90	21.84	22.25	0.012267	2.63	0.91
127.63	9.00	0.80	0.57	20.10	20.90	20.90	21.30	0.015032	2.81	1.00
100.4	9.00	0.69	0.51	19.55	20.24	20.35	20.78	0.023398	3.27	1.26
97	9.00	0.66	0.50	19.45	20.11	20.25	20.70	0.026164	3.39	1.33
76	9.00	0.74	0.54	19.05	19.79	19.85	20.26	0.018767	3.03	1.12
66	9.00	0.51	0.28	18.94	19.45	19.55	19.81	0.137883	2.66	1.59
51	9.00	0.65	0.31	18.47	19.12	19.06	19.21	0.031893	1.36	0.78
20	9.00	2.35	1.50	16.83	19.18	17.18	19.18	0.000014	0.10	0.02

Tabella 35: Rio Toco: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=50$ anni, principali grandezze caratteristiche

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. In particolare, il tratto di raccordo di valle sarà riprofilato con protezioni spondali e del fondo alveo.

7.5.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g - 1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.016*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d_{50} : 0.15 ÷ 0.70 m*

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 2.0 m/s e tirante = 0.50 m per il torrente Toco, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 55^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = 0.42$ m per i rivestimenti spondali. Si adotta $d_{50} = 0.50$ m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.5.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 3.5 m/s in alveo ($Tr = 200$ anni); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: $d_{50} = \mathbf{0.54 \text{ m}}$.
Si adotta $d_{50} = \mathbf{0.6 \text{ m}}$ per l'alveo.

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 0.30 \cdot 0.045 = 13.5 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 0.30$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.045$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovvero sia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d . Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d . Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con $d_{50} = 0.6$ m:

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.6 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 13.5 \text{ kg/m}^2 < 48 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 48 / 13.5 = 3.6$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su $d_{50} = 0.6$ m che risultano quindi verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

7.6 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0I00D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio Toco, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 25).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr_{200}) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
IN42a	Tombino	8.0x4.0 m	1.49	1.6
IN42b	Tombino	8.0x3.0 m	1.02	1.08

Tabella 36: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8 IMPLUVIO 81+972

8.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Albenga (SV) e, precisamente in prossimità della stazione di rifornimento autostradale di Ceriale Sud, per il tratto dove l'impluvio 81+972 è attraversato dall' autostrada A10.

La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova al di fuori di centri urbani e sono presenti solo alcuni insediamenti produttivi.

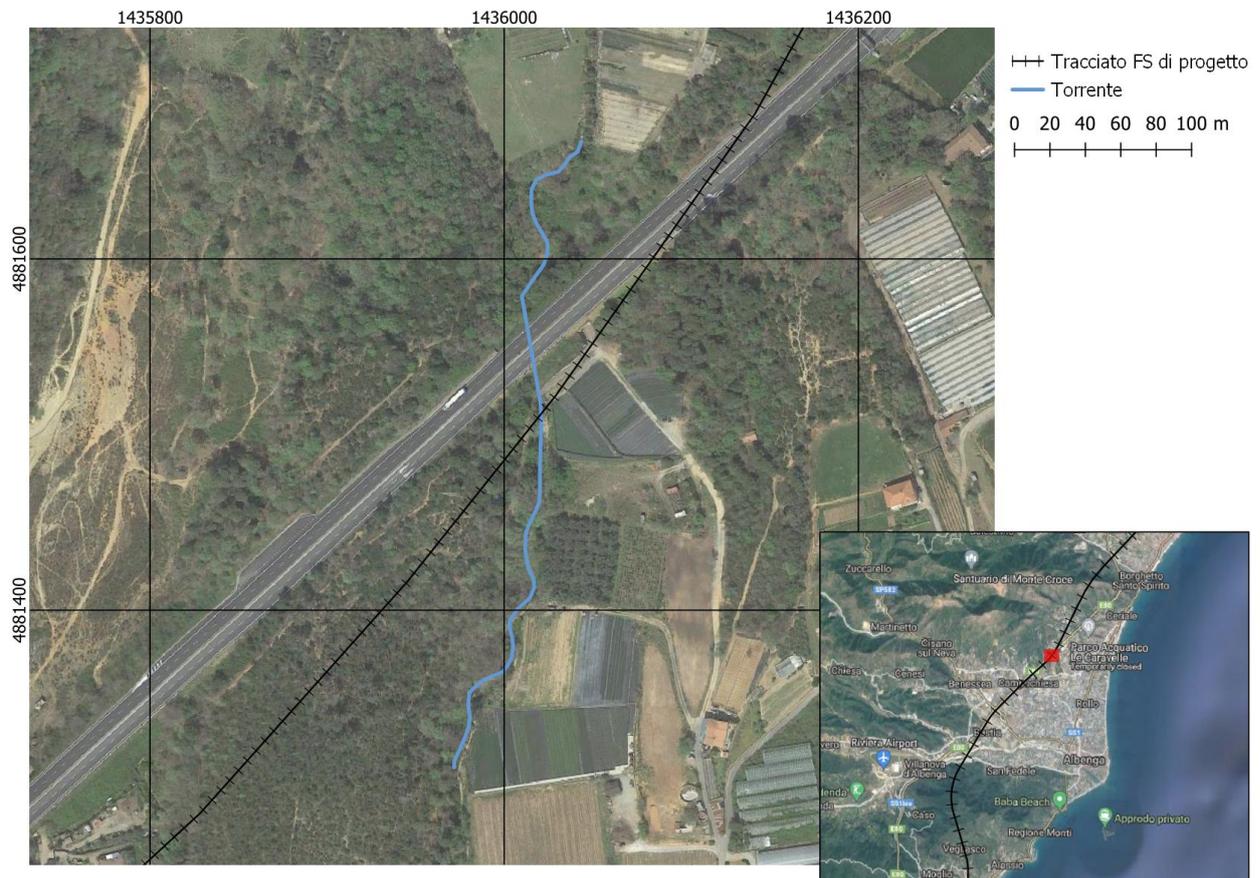


Figura 51 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.2 INTERVENTO DI PROGETTO

La linea ferroviaria, in corrispondenza dell'attraversamento con il Rio 81+972 è in galleria artificiale, caratterizzata da un estradosso posto a quota 35.20 m s.m.m. Poiché il fondo alveo del Rio 81+972 in questo punto si trova ad una quota di 32.70 m s.m.m. si intende riprofilare e spostare leggermente il corso d'acqua affinché il rio oltrepassi la linea ferroviaria in condizioni di sicurezza.

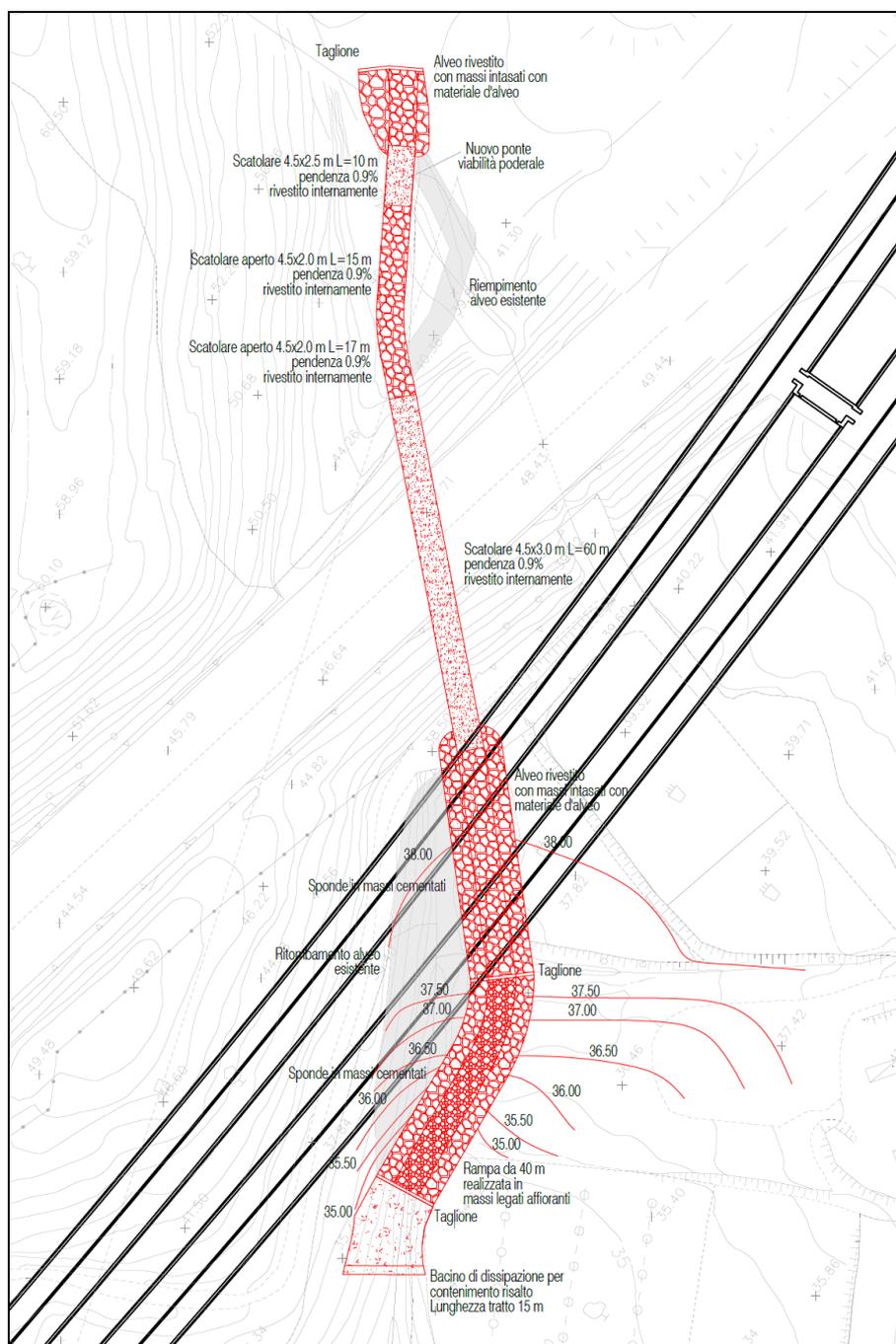


Figura 52 - Pianta della sistemazione idraulica del Rio 81+972

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

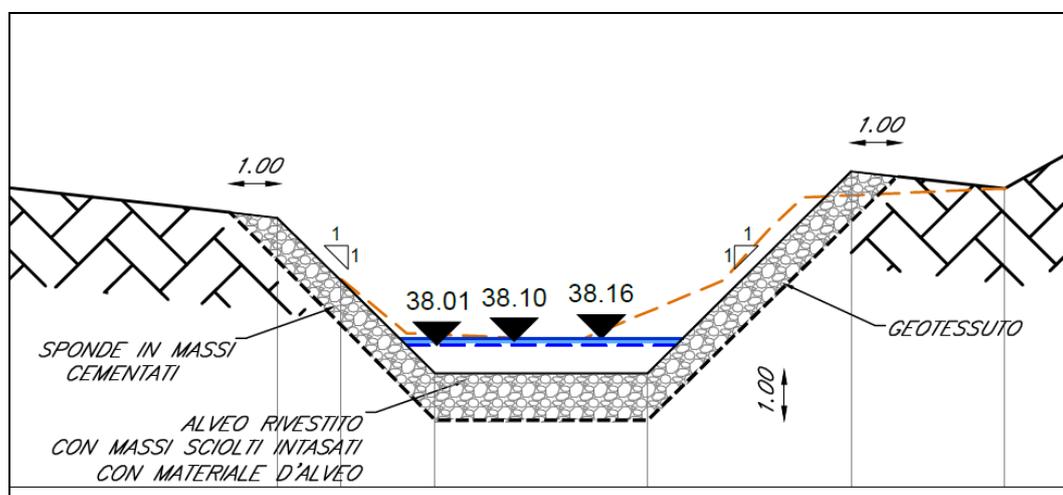


Figura 53 – Impluvio 81+972: sistemazione idraulica tipologica di progetto

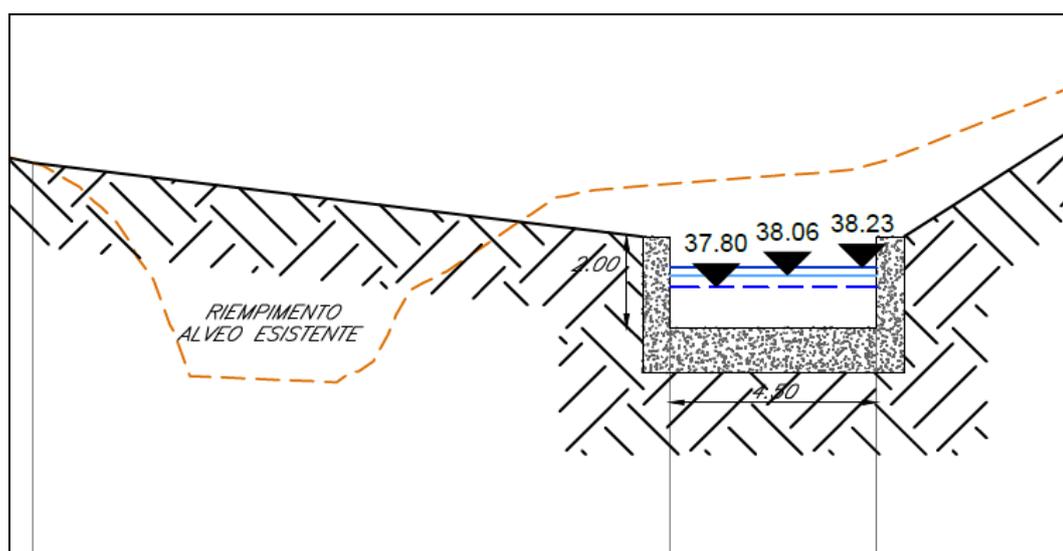


Figura 54 – Impluvio 81+972: sistemazione idraulica tipologica di progetto

Contestualmente all'intervento sul corso d'acqua è prevista la sostituzione dello scatolare posto sotto l'autostrada con un altro scatolare di larghezza pari a 4.5 m e altezza pari a 3.00 m. Lo scatolare ha una lunghezza di 60 m, è rivestito internamente con pietrame cementato.

A monte dello scatolare autostradale il corso d'acqua viene convogliato in uno scatolare aperto lungo 32 m, a monte del quale è previsto un altro attraversamento stradale di 10 m necessario per dare continuità alla strada podereale esistente. Il tombino stradale ha dimensione 4.5x2.5 m, pendenza dello 0.9% ed è rivestito internamente al fondo con pietrame cementato di diametro medio 20 cm per garantire la continuità della scabrezza del corso d'acqua anche all'interno dello scatolare

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

A valle dello scatolare ferroviario, la sede del corso d'acqua viene leggermente deviata in sinistra idraulica rispetto alla posizione dell'alveo attuale del rio. La sezione attuale viene regolarizzata in una a forma trapezia, larga al fondo 4.5 m e con sponde a pendenza 1 su 1. Il fondo alveo viene rivestito con massi sciolti e le sponde sono sistemate con massi cementati al fine di garantire una configurazione stabile della geometria del corso d'acqua. La pendenza del rio è fissata allo 0.9%, in modo tale da scavalcare la galleria a quota 35.82 m s.m.m.

Una volta superata la galleria è previsto un tratto di corso d'acqua con pendenza del 10% circa. Il tratto funge da raccordo con l'alveo naturale a valle e, data la sua elevata pendenza, viene sistemato con massi affioranti e legati di pezzatura di circa 1 m. La legatura dei massi è eseguita lateralmente al masso stesso mediante trefoli in acciaio $\phi 22$ mm. I massi legati sono fissati tramite funi trasversali di collegamento in acciaio zincato a dei micropali realizzati con la tecnica del jet-grouting a bassa pressione, disposti lungo la rampa ad interasse di 5 m. Si viene così a realizzare una rampa di massi legati tra loro per produrre significative dissipazioni di energia assicurando contemporaneamente la stabilità del letto d'alveo. La rampa ha lunghezza pari a 40 m.

Le sponde lungo la rampa sono in massi cementati e hanno pendenza di 1 su 1. Nell'intervento è prevista anche una generale riprofilatura dell'intero versante affinché la sistemazione del corso d'acqua non alteri l'idrografia locale.

Tutte le zone di sistemazione sono delimitate a monte e a valle da un taglione al fine di garantirne l'ottimale e duraturo contenimento.

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla visione delle tavole progettuali e di restituzione grafica delle elaborazioni modellistiche, in particolare:

- IV0I00D26WZID0202001A
- IV0I00D26WZID0202002A
- IV0I00D26FZID0202001A
- IV0I00D26FZID0202002A
- IV0I00D26PZID0202001A

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 106 di 168

8.2.1 Attraversamento in fase di cantierizzazione

Il tracciato della linea ferroviaria di progetto interseca l'Impluvio 81+972 a circa 1400 m dalla confluenza con il Rio Faceo e prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio, pertanto, non è prevista interruzione della linea esistente durante le lavorazioni.

La realizzazione del tracciato ferroviario in variante comporterà anche l'adeguamento di viabilità esistenti con inserimento di nuovi attraversamenti idraulici in particolare sotto l'autostrada.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre rilevato ferroviario verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, non interferendo con viabilità esistenti e in esercizio, sarà tuttavia da prevedere le lavorazioni in alveo nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare le operazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

8.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria dell'Impluvio 81+972, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente, il rilievo delle sezioni trasversali del 2010 e il rilievo celerimetrico del 2010.

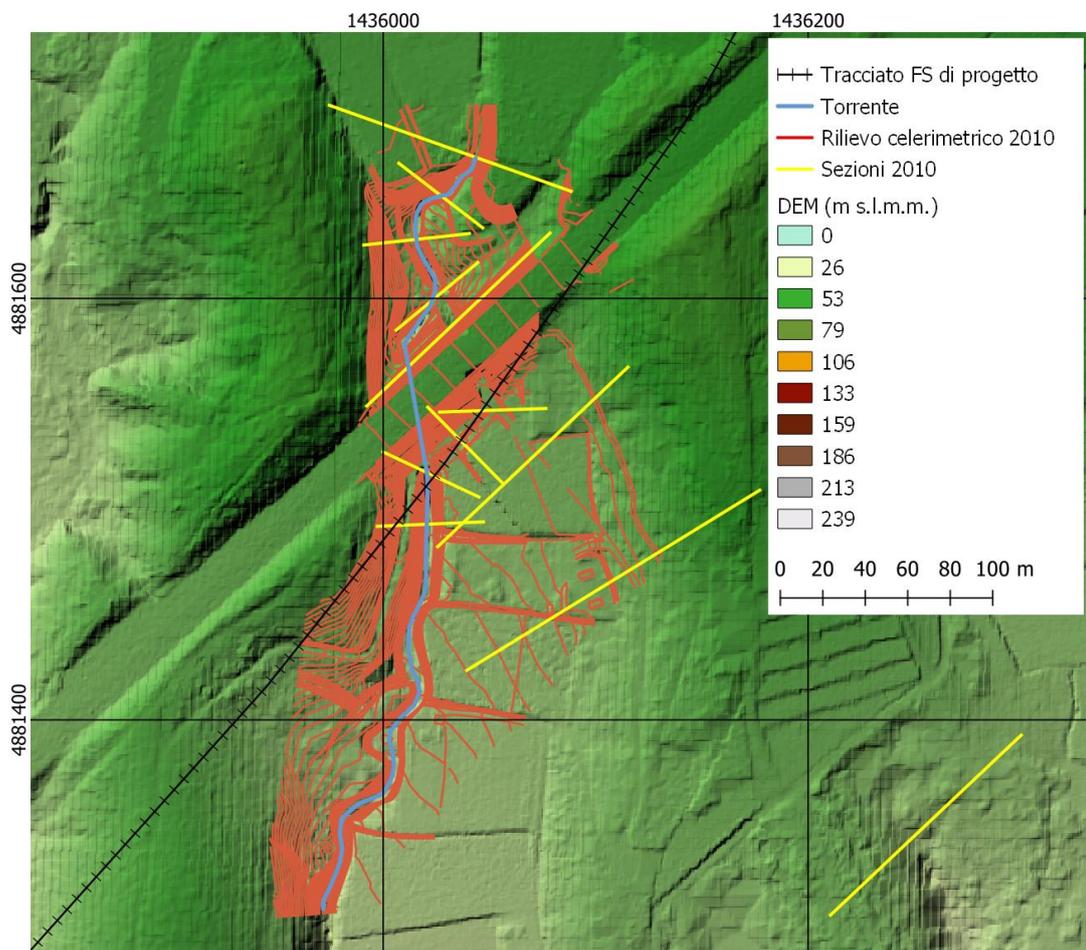


Figura 55: Informazioni topografiche a disposizione

Come descritto nel paragrafo 3.3.2, ai fini di ottenere un modello del terreno più accurato possibile è stata effettuata un'interpolazione del rilievo celerimetrico, integrando così il DTM del Ministero dell'Ambiente.

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

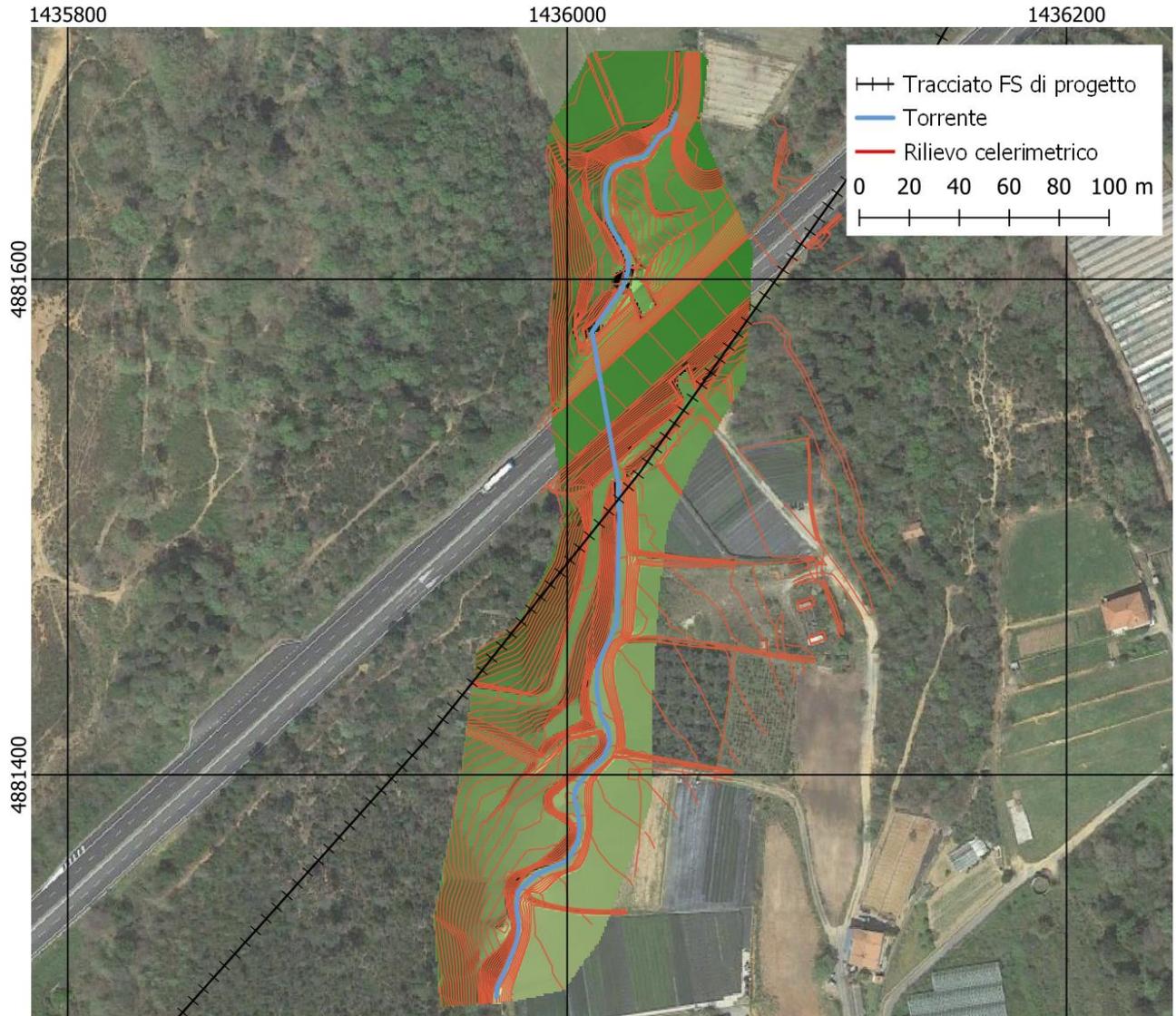


Figura 56: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con il rilievo celerimetrico

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 34 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo. La distanza tra le sezioni (rilevate ed estratte) è stata mantenuta nell'ordine dei 10 m, salvo nei casi in cui sono state inserite delle strutture idrauliche.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	109 di 168



Figura 57: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

I due attraversamenti individuati nel dominio di calcolo sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti secondo le informazioni geometriche disponibili e sono rappresentati nella figura seguente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

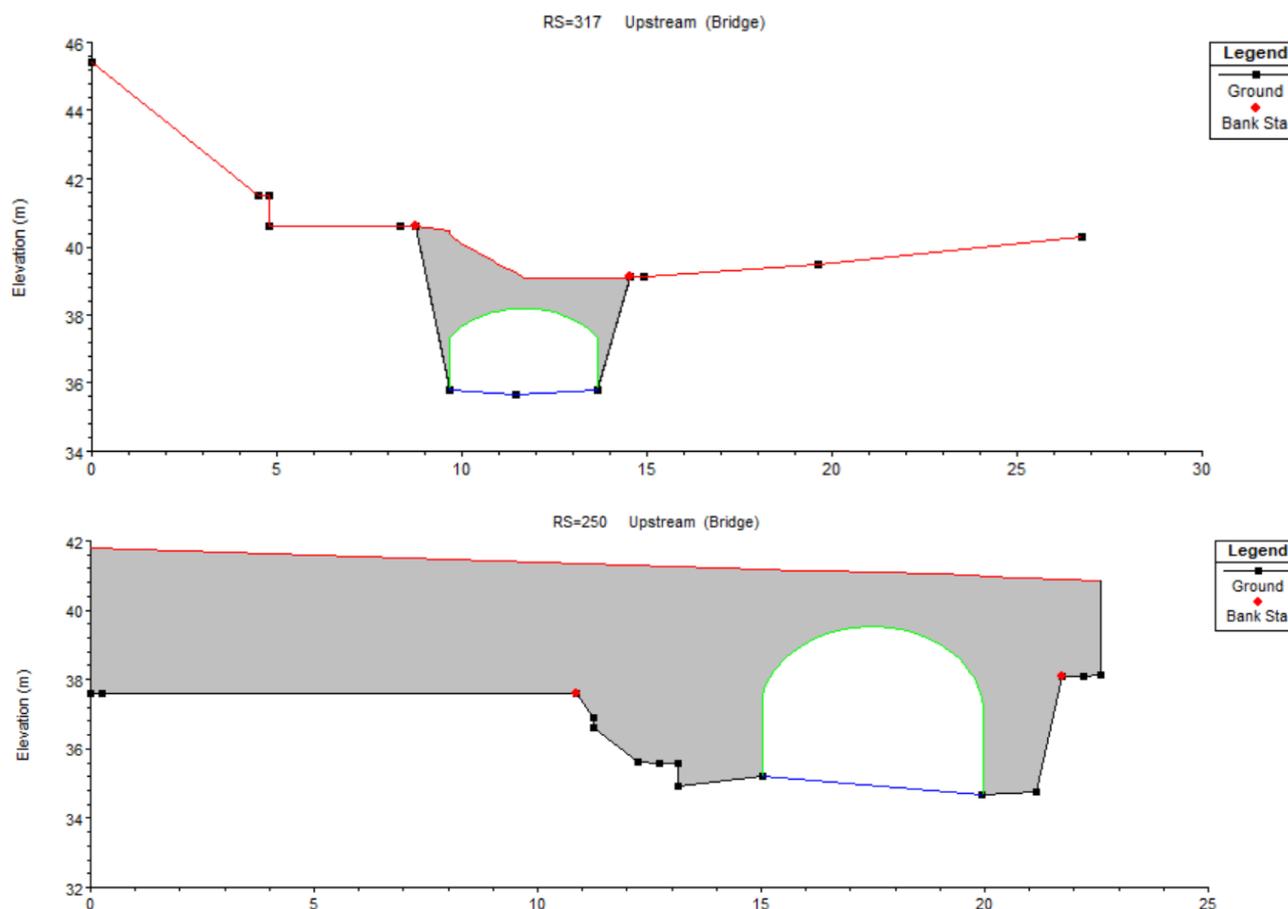


Figura 58: Attraversamenti all'interno del modello da monte verso valle

8.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.033.

Le portate al colmo sono state calcolate con il metodo CIMA, descritto nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Carenda e riportato anche nella relazione idrologica, elaborato IV0I00D09RIID0001001A.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	7.3
Tr 200	10.5
Tr 500	12.7

Tabella 37 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

8.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall’Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione.

Le aree perimetrare dal PAI prendono infatti in esame l’impluvio 81+972 a valle della zona di interesse, e pertanto tali informazioni risultano di limitata utilità.

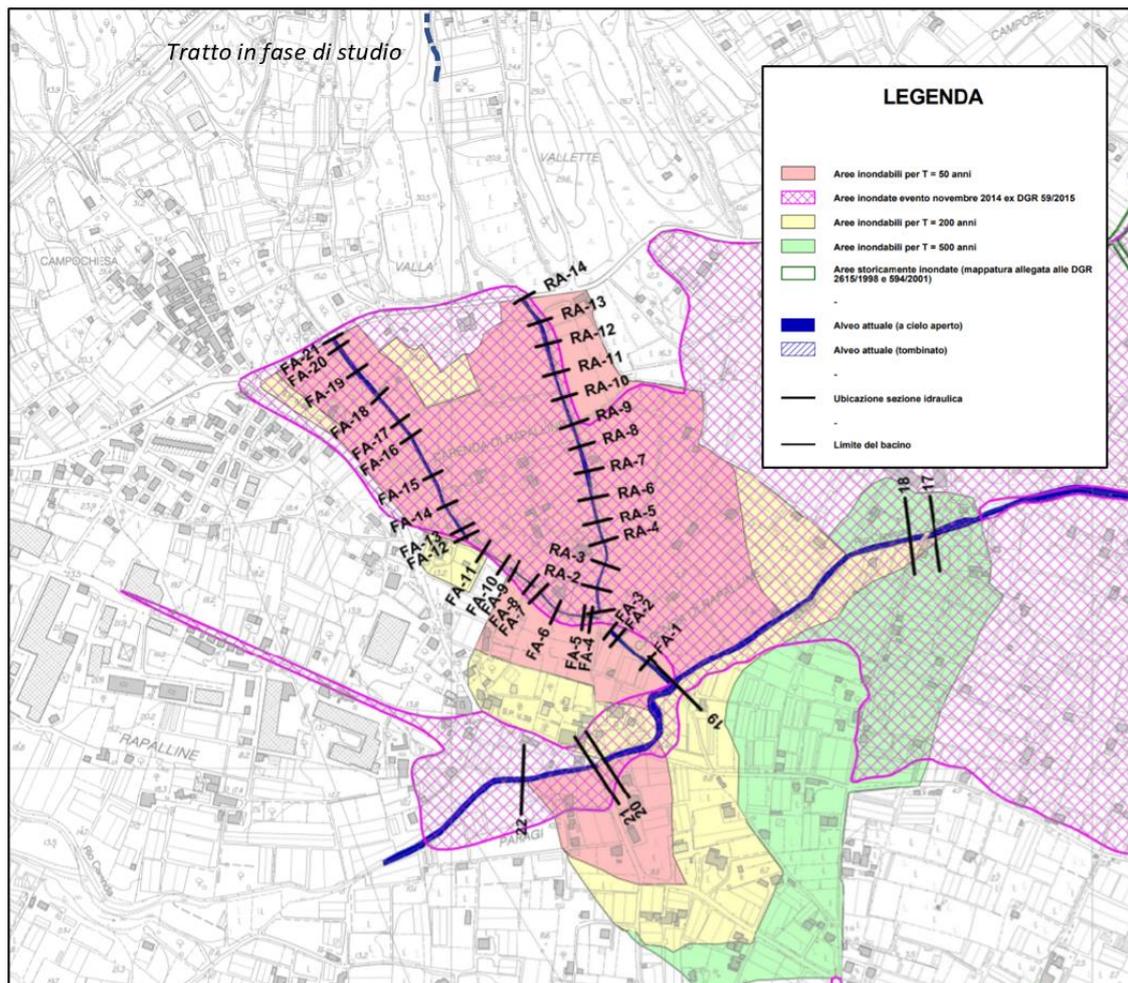


Figura 59: Estratto delle mappe di allagamento dal Piano di bacino stralcio per l’assetto idrogeologico nel tratto di analisi

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

I valori di scabrezza sono stati assegnati anche sulla base della letteratura tecnica e della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning $n [s \cdot m^{-1/3}]$.

Copertura	n
Alveo	0.06
Pianura alluvionale	0.08

Tabella 38: Scabrezze adottate nel modello

I valori dei coefficienti di scabrezza sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

8.3.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario (sezione 269 del rilievo 2021 presente nel modello). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

Sezione 269 rilievo 2021	Livello (m s.l.m.m.)
Tr 50	34.48
Tr 200	34.68
Tr 500	34.57

Tabella 39: Livelli massimi a monte dell'attraversamento ferroviario per tempo di ritorno

Il livello per Tr-500 anni risulta inferiore a quello per Tr-200 perché all'uscita del tombino autostradale per il tempo di ritorno 500 anni si ha una corrente veloce e quindi con tirante inferiore. I livelli della linea d'energia sono 34.96 e 35.13 rispettivamente per Tr-200 e Tr-500.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si rimanda agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati, come definiti nel paragrafo 8.1.

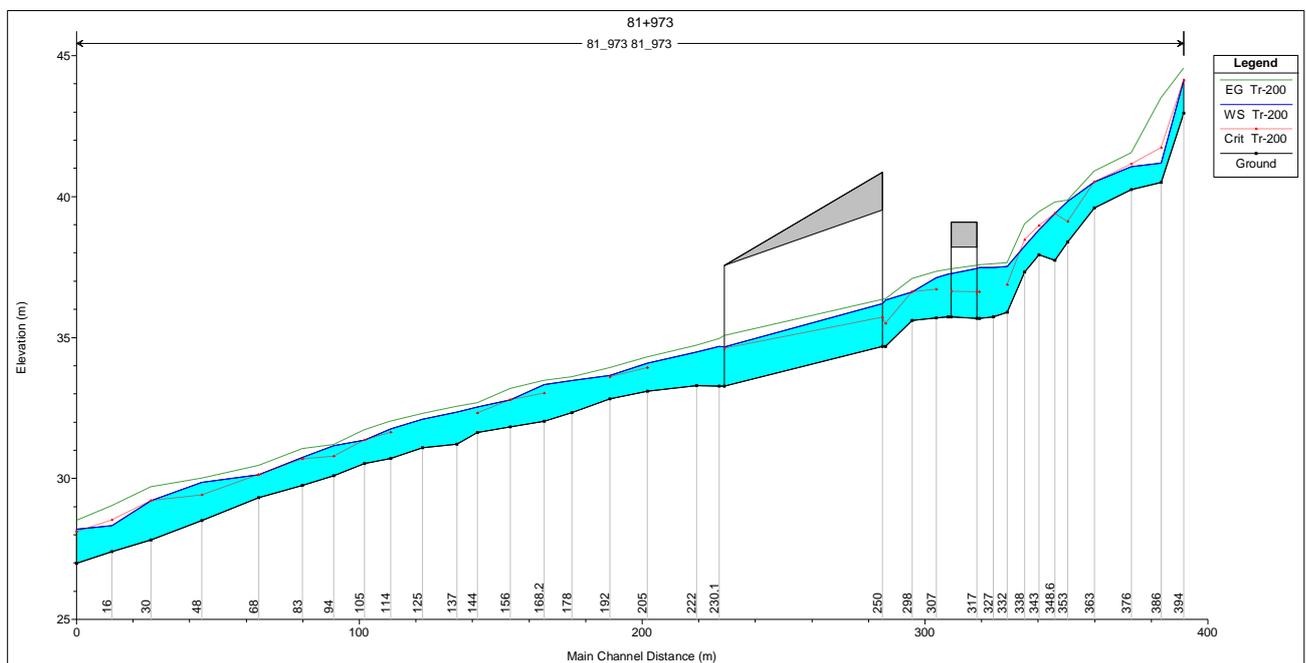
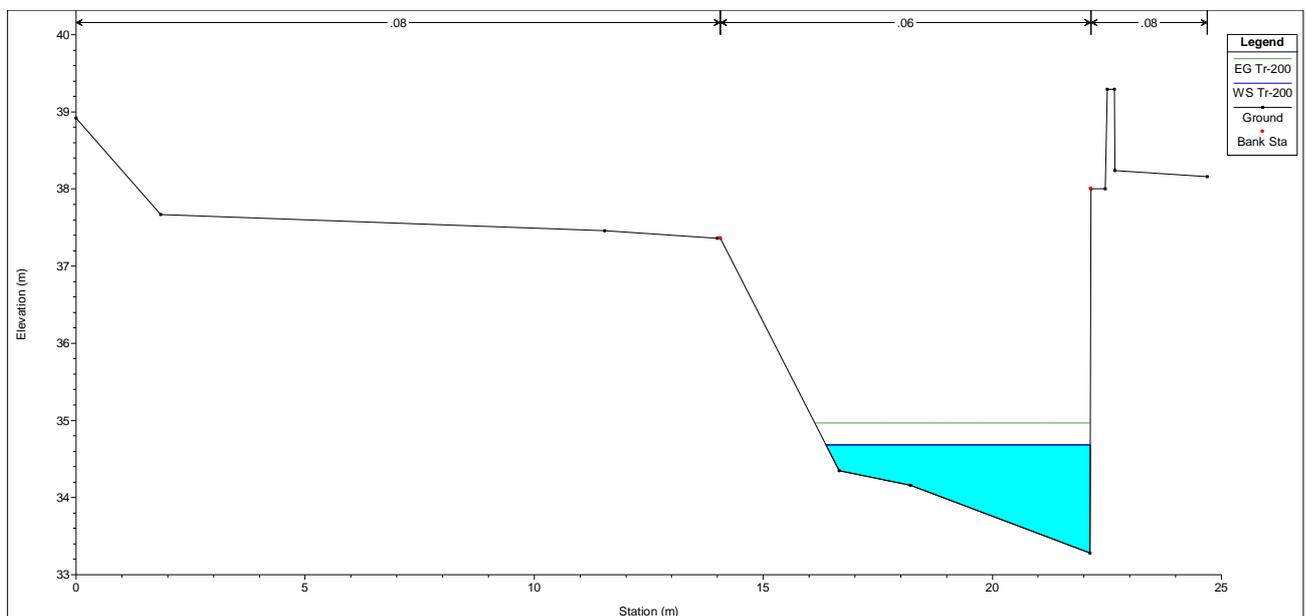


Figura 60: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Figura 61: Sezione trasversale 269 in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto per l'evento Tr 200

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con Tr = 500 anni, Tr = 200 anni e Tr = 50 anni.

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
394	12.7	1.3	0.75	42.95	44.25	44.25	44.72	0.043254	3.04	0.99
386	12.7	0.76	0.47	40.51	41.27	41.88	43.7	0.472333	6.9	2.92
376	12.7	0.91	0.64	40.24	41.15	41.27	41.72	0.063786	3.38	1.19
363	12.7	1.01	0.66	39.59	40.6	40.63	41.04	0.046102	2.94	1.04
353	12.7	1.59	1.1	38.39	39.98	39.19	40.03	0.002573	1.01	0.28
348.6	12.7	1.78	0.64	37.73	39.51	39.51	39.96	0.053937	3.39	0.87
343	12.7	1.01	0.67	37.94	38.95	39.1	39.61	0.060392	3.65	1.23
338	12.7	1.01	0.61	37.32	38.33	38.58	39.21	0.100022	4.21	1.49
332	12.7	1.82	1.05	35.9	37.72	36.99	37.87	0.006975	1.73	0.43
327	12.7	1.95	1.04	35.74	37.69		37.84	0.006861	1.7	0.4
322	12.7	2.01	1.09	35.67	37.68	36.72	37.79	0.006969	1.48	0.35
310.9	12.7	1.7	0.89	35.73	37.43		37.6	0.012974	1.84	0.46
307	12.7	1.58	0.92	35.69	37.27	36.84	37.53	0.016808	2.24	0.6
298	12.7	1.14	0.73	35.61	36.75	36.75	37.26	0.054878	3.18	1.01
288.7	12.7	1.85	1.13	34.69	36.54	35.59	36.58	0.002376	0.88	0.24
230.1	12.7	1.29	0.53	33.28	34.57	34.69	35.13	0.0912	3.32	1.29
222	12.7	1.31	0.83	33.29	34.6	34.37	34.86	0.023464	2.25	0.71
205	12.7	1.08	0.76	33.09	34.17	34.03	34.43	0.026577	2.26	0.79
192	12.7	0.94	0.7	32.83	33.77	33.69	34.04	0.031826	2.34	0.86
178	12.7	1.25	0.83	32.34	33.59		33.74	0.013396	1.71	0.58
168.2	12.7	1.44	0.84	32.02	33.46		33.61	0.013247	1.72	0.55
156	12.7	1.07	0.71	31.83	32.9	32.9	33.34	0.035421	2.99	0.97
144	12.7	1	0.75	31.63	32.63	32.39	32.79	0.014357	1.79	0.61
137	12.7	1.26	0.66	31.22	32.48		32.67	0.019841	2.05	0.7
125	12.7	1.15	0.79	31.08	32.23		32.44	0.017889	2.06	0.68
114	12.7	1.13	0.76	30.71	31.84	31.74	32.17	0.028715	2.59	0.83
105	12.7	0.94	0.68	30.53	31.47	31.47	31.86	0.03699	2.83	0.98
94	12.7	1.2	0.8	30.09	31.29	30.83	31.33	0.004541	0.97	0.34
83	12.7	1.05	0.7	29.76	30.81	30.79	31.19	0.038365	2.72	0.96
68	12.7	0.91	0.63	29.31	30.22	30.22	30.58	0.040784	2.66	0.99
48	12.7	1.52	0.97	28.51	30.03	29.52	30.18	0.007635	1.78	0.48
30	12.7	1.54	0.78	27.82	29.36	29.36	29.9	0.031776	3.42	0.94
16	12.7	1.01	0.62	27.41	28.42	28.65	29.22	0.075352	4.07	1.39
3	12.7	1.33	0.77	26.99	28.32	28.22	28.66	0.033011	2.55	0.86

Tabella 40: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	115 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
394	10.50	1.18	0.69	42.95	44.13	44.13	44.55	0.044301	2.89	0.99
386	10.50	0.67	0.42	40.51	41.18	41.73	43.50	0.523242	6.74	3.04
376	10.50	0.83	0.60	40.24	41.07	41.15	41.56	0.060122	3.11	1.14
363	10.50	0.94	0.62	39.59	40.53	40.53	40.89	0.043660	2.68	1.00
353	10.50	1.43	0.99	38.39	39.82	39.11	39.87	0.002673	0.95	0.28
348.6	10.50	1.68	0.59	37.73	39.41	39.41	39.80	0.052027	3.17	0.85
343	10.50	0.89	0.60	37.94	38.83	38.97	39.45	0.066815	3.50	1.27
338	10.50	0.92	0.56	37.32	38.24	38.46	39.02	0.103929	3.95	1.49
332	10.50	1.62	0.97	35.90	37.52	36.88	37.65	0.007376	1.64	0.43
327	10.50	1.75	0.97	35.74	37.49		37.62	0.007010	1.59	0.40
322	10.50	1.81	1.02	35.67	37.48	36.61	37.57	0.006649	1.38	0.35
310.9	10.50	1.53	0.83	35.73	37.26		37.40	0.012352	1.70	0.44
307	10.50	1.43	0.86	35.69	37.12	36.71	37.34	0.016277	2.09	0.59
298	10.50	1.01	0.68	35.61	36.62	36.62	37.08	0.054703	3.00	1.01
288.7	10.50	1.64	1.01	34.69	36.33	35.50	36.37	0.002621	0.86	0.25
230.1	10.50	1.40	0.61	33.28	34.68		34.96	0.038261	2.33	0.84
222	10.50	1.20	0.77	33.29	34.49		34.71	0.022309	2.10	0.69
205	10.50	0.99	0.71	33.09	34.08	33.93	34.30	0.025013	2.09	0.76
192	10.50	0.83	0.63	32.83	33.66	33.60	33.92	0.033833	2.25	0.88
178	10.50	1.13	0.76	32.34	33.47		33.60	0.014069	1.64	0.58
168.2	10.50	1.31	0.76	32.02	33.33	33.03	33.47	0.013854	1.64	0.56
156	10.50	0.96	0.65	31.83	32.79	32.79	33.18	0.037106	2.82	0.97
144	10.50	0.91	0.69	31.63	32.54	32.31	32.68	0.014120	1.65	0.59
137	10.50	1.14	0.57	31.22	32.36		32.55	0.022503	2.04	0.73
125	10.50	1.02	0.71	31.08	32.10		32.29	0.019296	1.98	0.69
114	10.50	1.04	0.71	30.71	31.75	31.63	32.03	0.026955	2.37	0.79
105	10.50	0.84	0.61	30.53	31.37	31.37	31.72	0.039027	2.67	0.98
94	10.50	1.06	0.69	30.09	31.15	30.77	31.20	0.005288	0.95	0.36
83	10.50	0.98	0.65	29.76	30.74	30.69	31.05	0.035556	2.48	0.91
68	10.50	0.82	0.57	29.31	30.13	30.13	30.45	0.042936	2.51	1.00
48	10.50	1.35	0.89	28.51	29.86	29.41	30.00	0.008209	1.69	0.49
30	10.50	1.40	0.72	27.82	29.22	29.22	29.70	0.032822	3.23	0.94
16	10.50	0.92	0.58	27.41	28.33	28.53	29.03	0.074181	3.77	1.36
3	10.50	1.21	0.72	26.99	28.20	28.10	28.50	0.033017	2.43	0.85

Tabella 41: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
394	7.30	0.96	0.59	42.95	43.91	43.91	44.27	0.048570	2.64	1.00
386	7.30	0.53	0.34	40.51	41.04	41.51	43.13	0.630185	6.40	3.27
376	7.30	0.70	0.52	40.24	40.94	40.97	41.29	0.052748	2.62	1.05
363	7.30	0.77	0.52	39.59	40.36	40.36	40.66	0.048338	2.40	1.01
353	7.30	1.18	0.81	38.39	39.57	38.98	39.60	0.002932	0.85	0.28
348.6	7.30	1.48	0.49	37.73	39.21	39.21	39.54	0.051080	2.84	0.82
343	7.30	0.71	0.50	37.94	38.65	38.77	39.16	0.078084	3.18	1.31
338	7.30	0.76	0.48	37.32	38.08	38.26	38.70	0.105669	3.51	1.46
332	7.30	1.29	0.84	35.90	37.19	36.69	37.30	0.008174	1.46	0.43
327	7.30	1.42	0.85	35.74	37.16		37.26	0.007230	1.39	0.39
322	7.30	1.48	0.90	35.67	37.15	36.42	37.22	0.006009	1.20	0.33
310.9	7.30	1.25	0.78	35.73	36.98		37.09	0.010660	1.45	0.42
307	7.30	1.17	0.75	35.69	36.86	36.51	37.03	0.015278	1.81	0.56
298	7.30	0.80	0.57	35.61	36.41	36.41	36.78	0.054596	2.69	1.01
288.7	7.30	1.32	0.80	34.69	36.01	35.38	36.04	0.003114	0.80	0.26
230.1	7.30	1.20	0.48	33.28	34.48	34.44	34.72	0.045766	2.19	0.90
222	7.30	1.01	0.67	33.29	34.29		34.46	0.020275	1.82	0.65
205	7.30	0.83	0.61	33.09	33.92	33.77	34.09	0.022618	1.81	0.71
192	7.30	0.66	0.51	32.83	33.49		33.71	0.037059	2.06	0.89
178	7.30	0.92	0.63	32.34	33.26		33.38	0.014959	1.50	0.59
168.2	7.30	1.10	0.62	32.02	33.12	32.89	33.23	0.015052	1.49	0.57
156	7.30	0.78	0.54	31.83	32.61	32.61	32.93	0.041033	2.53	0.98
144	7.30	0.77	0.58	31.63	32.40	32.19	32.50	0.013525	1.41	0.56
137	7.30	0.96	0.44	31.22	32.18		32.36	0.025888	1.94	0.76
125	7.30	0.81	0.58	31.08	31.89		32.06	0.022554	1.83	0.72
114	7.30	0.88	0.61	30.71	31.59	31.45	31.79	0.024130	2.02	0.74
105	7.30	0.67	0.51	30.53	31.20	31.20	31.49	0.043135	2.39	0.99
94	7.30	0.86	0.52	30.09	30.95	30.69	30.99	0.007190	0.91	0.40
83	7.30	0.85	0.57	29.76	30.61	30.53	30.83	0.030795	2.08	0.83
68	7.30	0.68	0.47	29.31	29.99	29.99	30.24	0.047309	2.23	1.01
48	7.30	1.08	0.74	28.51	29.59	29.24	29.70	0.009415	1.54	0.50
30	7.30	1.15	0.61	27.82	28.97	28.97	29.38	0.036394	2.92	0.95
16	7.30	0.80	0.51	27.41	28.21	28.32	28.71	0.066324	3.17	1.24
3	7.30	1.01	0.62	26.99	28.00	27.90	28.25	0.033034	2.20	0.84

Tabella 42: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.4 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

8.4.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto modificando le sezioni in funzione dell'intervento previsto e sostituendo i due attraversamenti idraulici.



Figura 62: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

Tutti gli attraversamenti di progetto sono stati inseriti nella geometria del modello come ponti, secondo le informazioni geometriche disponibili.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.4.1 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

Per i tratti non soggetti a modifiche il coefficiente di scabrezza è stato lasciato inalterato rispetto a quanto previsto nelle modellazioni ante operam, mentre per i tratti risagomati e rivestiti in massi naturali è stato adottato un coefficiente pari a $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). In corrispondenza della rampa il coefficiente di scabrezza viene impostato a $0.070 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) per simulare l'effetto dei massi affioranti sul fondo alveo.

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

8.4.2 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio della Valletta, avendo un bacino di 0.44 km^2 , è classificato come un bacino di II° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato dalla tavola 04_468_CSDV_DCP38_2015_CARENDA del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco pari a 1,50 m per l'attraversamento ferroviario avendo estensione superiore a 12 m e di 1,00 m per il tombino stradale essendo di lunghezza pari a 12 m.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Riempimento M.d.P. RFI
IN72	Tombino	4.5x2.5 m	1.17 m	1.36 (46%)	67%	1.0 m	70%
IN73	Tombino	4.5x3.0 m	1.25 m	1.75 (41%)	67%	1.5 m	70%

Tabella 43: Verifiche franchi idraulici

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto saranno sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di 50 cm tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

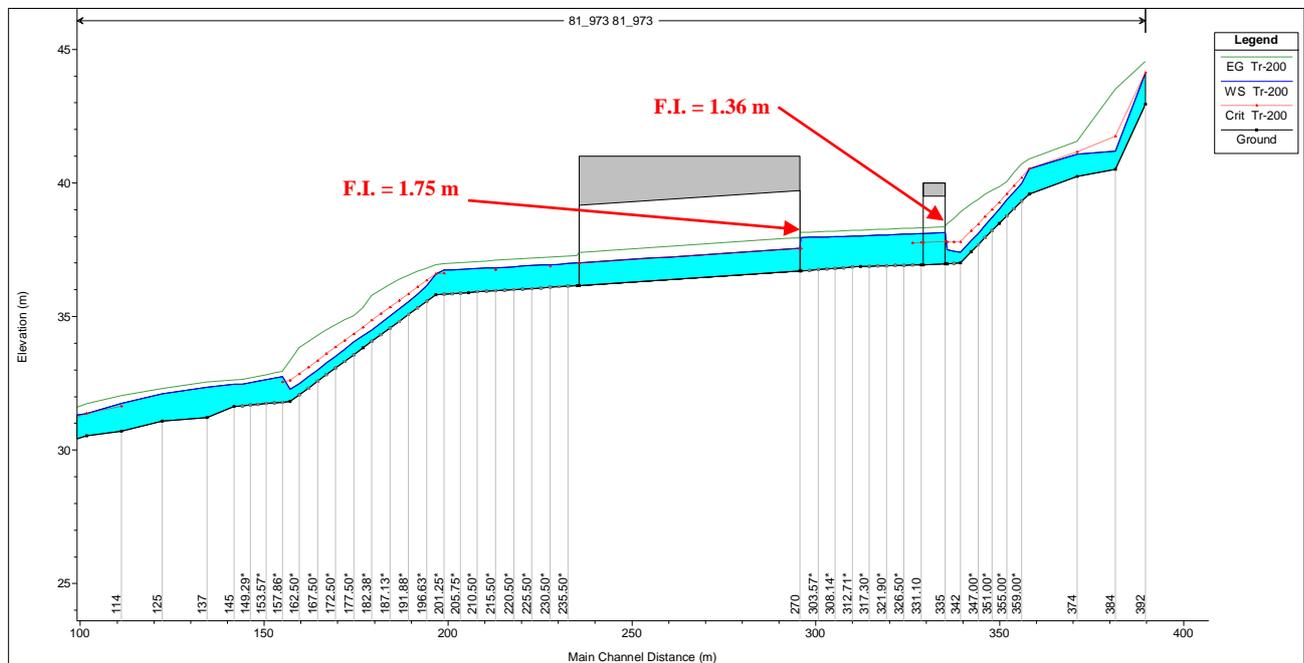


Figura 63 – Impluvio 81+972: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

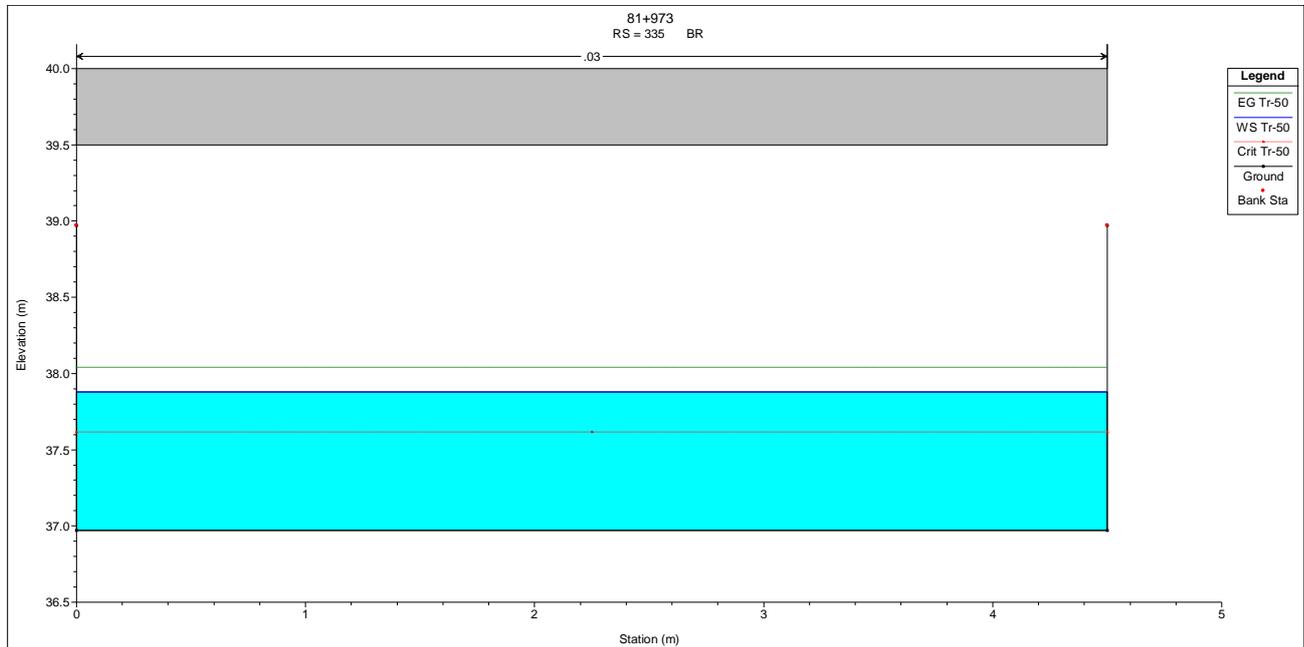


Figura 64 – Impluvio 81+972: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN72

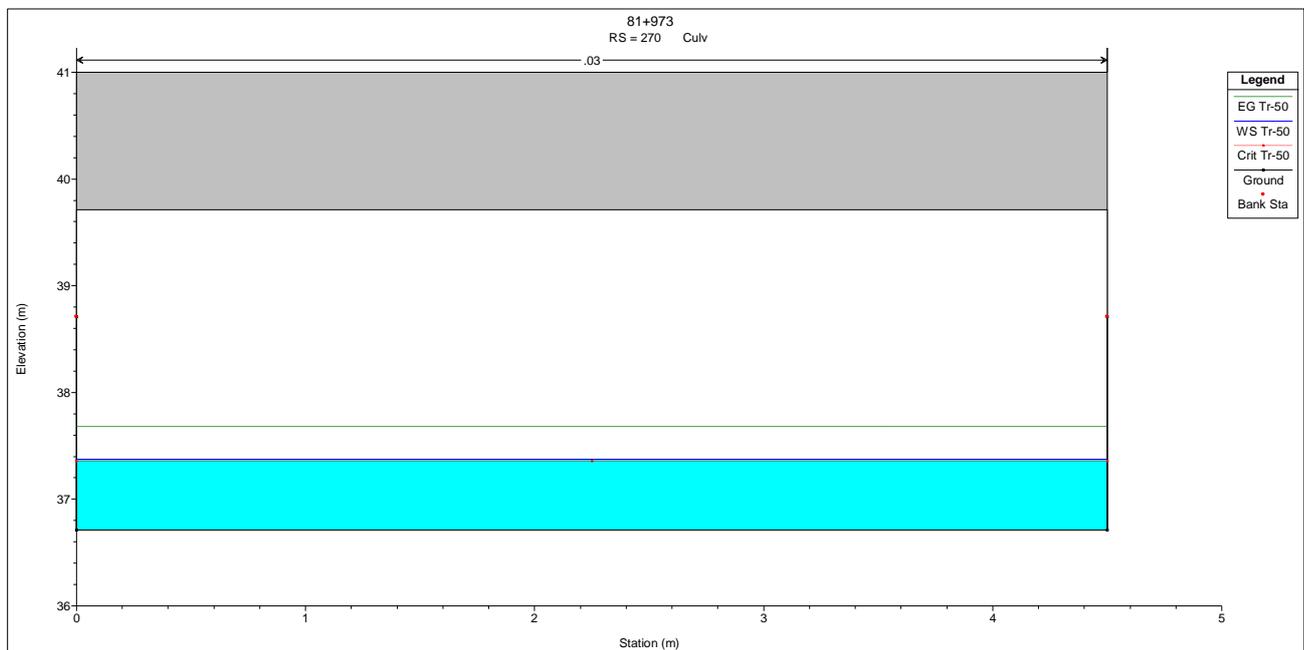


Figura 65 – Impluvio 81+972: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN73

Per completezza, nella tabella seguente si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento, nella configurazione di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
Sezione IN72	37.90	38.14	38.31
Sezione IN73	37.69	37.96	38.13

Tabella 44: Impluvio 81+972: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

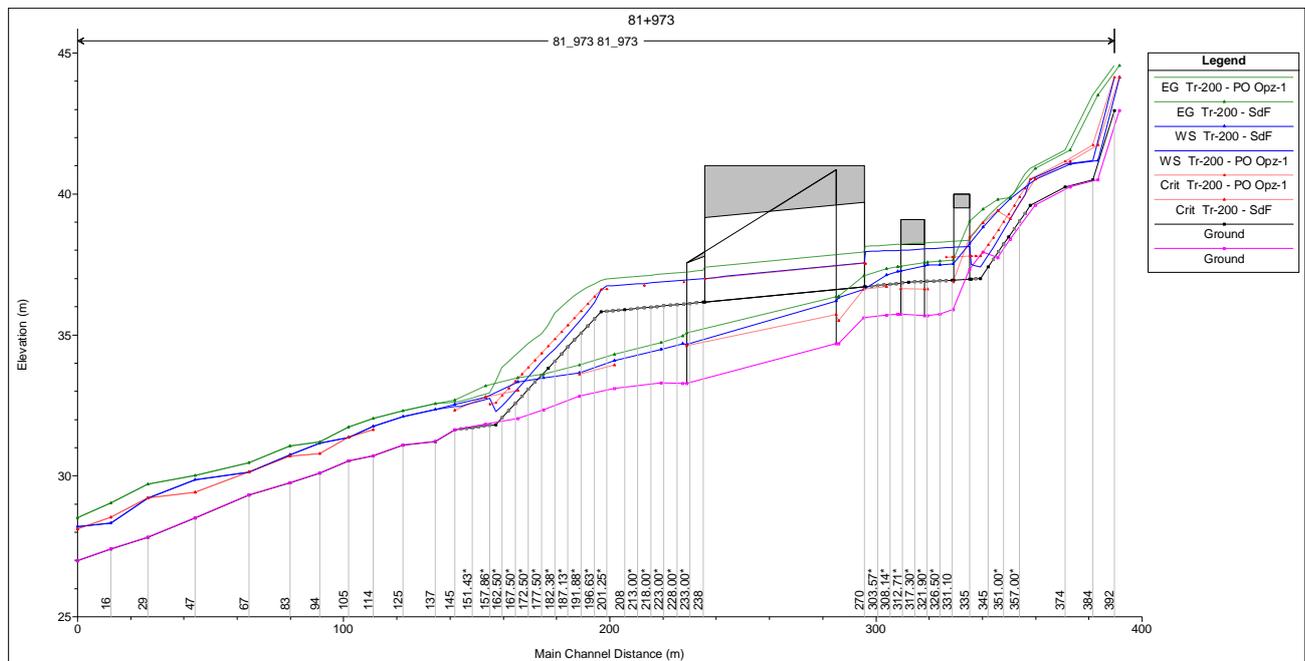


Figura 66 – Impluvio 81+972: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano una sensibile modificazione locale del fondo alveo e delle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	121 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
392	12.7	1.3	0.75	42.95	44.25	44.25	44.72	0.043254	3.04	0.99
384	12.7	0.76	0.47	40.51	41.27	41.88	43.7	0.472333	6.9	2.92
374	12.7	0.91	0.64	40.24	41.15	41.27	41.72	0.063786	3.38	1.19
361	12.7	1.01	0.66	39.59	40.6	40.63	41.04	0.046102	2.94	1.04
359.00*	12.7	0.73	0.49	39.31	40.04	40.29	40.85	0.146319	3.98	1.74
357.00*	12.7	0.69	0.44	39.03	39.72	39.97	40.53	0.168959	3.99	1.86
355.00*	12.7	0.67	0.44	38.76	39.43	39.67	40.18	0.157	3.85	1.8
353	12.7	0.59	0.4	38.48	39.07	39.35	39.99	0.05442	4.24	2.1
351.00*	12.7	0.55	0.41	38.22	38.77	39.08	39.86	0.063847	4.64	2.27
349.00*	12.7	0.51	0.41	37.95	38.46	38.81	39.71	0.072794	4.96	2.42
347.00*	12.7	0.48	0.41	37.68	38.16	38.54	39.55	0.081456	5.22	2.54
345	12.7	0.47	0.4	37.42	37.89	38.29	39.38	0.088305	5.4	2.63
342	12.7	0.46	0.4	37	37.46	37.88	39.09	0.098436	5.65	2.74
340.00*	12.7	0.52	0.44	36.99	37.51	37.89	38.86	0.071705	5.14	2.33
338	12.7	0.61	0.48	36.97	37.58	37.9	38.68	0.051771	4.64	1.9
331.1	12.7	1.34	0.84	36.94	38.28	37.87	38.5	0.005085	2.11	0.58
328.80*	12.7	1.33	0.84	36.93	38.26	37.86	38.49	0.005114	2.12	0.59
326.50*	12.7	1.33	0.84	36.92	38.25		38.48	0.00515	2.12	0.59
324.20*	12.7	1.33	0.83	36.91	38.24		38.47	0.005182	2.13	0.59
321.90*	12.7	1.32	0.83	36.9	38.22		38.46	0.005215	2.13	0.59
319.60*	12.7	1.32	0.83	36.89	38.21		38.44	0.005251	2.14	0.59
317.30*	12.7	1.32	0.83	36.88	38.2		38.43	0.005288	2.14	0.6
315	12.7	1.31	0.83	36.87	38.18		38.42	0.005331	2.15	0.6
312.71*	12.7	1.32	0.83	36.85	38.17		38.41	0.005212	2.13	0.59
310.43*	12.7	1.35	0.84	36.82	38.17		38.39	0.004955	2.09	0.58
308.14*	12.7	1.36	0.85	36.8	38.16		38.38	0.004839	2.08	0.57
305.86*	12.7	1.37	0.85	36.78	38.15		38.37	0.004723	2.06	0.56
303.57*	12.7	1.38	0.86	36.76	38.14		38.36	0.004613	2.04	0.55
301.29*	12.7	1.41	0.87	36.73	38.14		38.34	0.004385	2.01	0.54
299	12.7	1.42	0.87	36.71	38.13	37.64	38.33	0.004279	1.99	0.53
238	12.7	0.95	0.72	36.16	37.11		37.42	0.008518	2.47	0.88
235.50*	12.7	0.94	0.72	36.14	37.08		37.4	0.008598	2.47	0.88
233.00*	12.7	0.94	0.71	36.12	37.06		37.37	0.008674	2.48	0.88
230.50*	12.7	0.94	0.71	36.1	37.04	36.97	37.35	0.008738	2.49	0.89
228.00*	12.7	0.96	0.73	36.07	37.03	36.94	37.33	0.008154	2.43	0.86
225.50*	12.7	0.96	0.73	36.05	37.01		37.31	0.008154	2.43	0.86
223.00*	12.7	0.96	0.72	36.03	36.99		37.29	0.008171	2.43	0.86
220.50*	12.7	0.96	0.72	36.01	36.97		37.27	0.008175	2.43	0.86
218.00*	12.7	0.96	0.72	35.99	36.95		37.25	0.008178	2.43	0.86
215.50*	12.7	0.96	0.72	35.97	36.93	36.84	37.23	0.008189	2.43	0.86
213.00*	12.7	0.98	0.74	35.94	36.92		37.2	0.007596	2.37	0.83
210.50*	12.7	0.98	0.74	35.92	36.9		37.18	0.007565	2.37	0.83
208	12.7	0.98	0.74	35.9	36.88		37.17	0.007525	2.36	0.83
205.75*	12.7	0.99	0.74	35.88	36.87		37.15	0.007405	2.35	0.82
203.50*	12.7	0.99	0.74	35.86	36.85		37.13	0.007268	2.34	0.81
201.25*	12.7	1	0.75	35.84	36.84	36.71	37.11	0.007121	2.32	0.81
199	12.7	0.87	0.67	35.82	36.69	36.69	37.07	0.061937	2.72	1.01
196.63*	12.7	0.66	0.54	35.57	36.23	36.44	36.93	0.028314	3.71	1.54
194.25*	12.7	0.59	0.49	35.32	35.91	36.19	36.83	0.042431	4.24	1.87
191.88*	12.7	0.55	0.46	35.07	35.62	35.94	36.69	0.053731	4.59	2.08
189.50*	12.7	0.52	0.44	34.82	35.34	35.69	36.53	0.062824	4.83	2.24
187.13*	12.7	0.51	0.43	34.57	35.08	35.44	36.36	0.070587	5.02	2.37
184.75*	12.7	0.49	0.42	34.32	34.81	35.19	36.17	0.076759	5.16	2.46
182.38*	12.7	0.48	0.41	34.07	34.55	34.94	35.97	0.081686	5.27	2.53
180	12.7	0.52	0.44	33.82	34.34	34.69	35.53	0.341763	4.83	2.24
177.50*	12.7	0.54	0.45	33.57	34.11	34.44	35.23	0.057391	4.69	2.15
175.00*	12.7	0.52	0.43	33.32	33.84	34.19	35.07	0.066201	4.91	2.3
172.50*	12.7	0.5	0.42	33.07	33.57	33.94	34.89	0.073294	5.08	2.41
170.00*	12.7	0.49	0.41	32.82	33.31	33.69	34.69	0.079062	5.21	2.49
167.50*	12.7	0.48	0.41	32.57	33.05	33.44	34.48	0.083472	5.3	2.56
165.00*	12.7	0.47	0.4	32.32	32.79	33.19	34.27	0.087208	5.38	2.61
162.50*	12.7	0.47	0.4	32.07	32.54	32.94	34.05	0.090196	5.44	2.65
160	12.7	0.51	0.43	31.82	32.33	32.69	33.57	0.362632	4.92	2.3
157.86*	12.7	1.06	0.8	31.79	32.85	32.63	33.06	0.027864	2.05	0.69
155.71*	12.7	1.02	0.78	31.77	32.79		33	0.028499	2.04	0.7
153.57*	12.7	0.99	0.77	31.74	32.73		32.94	0.028044	2.01	0.7
151.43*	12.7	0.96	0.76	31.71	32.67		32.87	0.02791	1.98	0.69
149.29*	12.7	0.94	0.75	31.68	32.62		32.81	0.027748	1.96	0.69
147.14*	12.7	0.89	0.72	31.66	32.55		32.75	0.027972	1.97	0.7
145	12.7	0.92	0.74	31.63	32.55		32.72	0.003883	1.83	0.63
137	12.7	1.26	0.66	31.22	32.48		32.67	0.019841	2.05	0.7
125	12.7	1.15	0.79	31.08	32.23		32.44	0.017889	2.06	0.68
114	12.7	1.13	0.76	30.71	31.84	31.74	32.17	0.028715	2.59	0.83
105	12.7	0.94	0.68	30.53	31.47	31.47	31.86	0.03699	2.83	0.98
94	12.7	1.2	0.8	30.09	31.29	30.83	31.33	0.004541	0.97	0.34
83	12.7	1.05	0.7	29.76	30.81	30.79	31.19	0.038365	2.72	0.96
67	12.7	0.91	0.63	29.31	30.22	30.22	30.58	0.040784	2.66	0.99
47	12.7	1.52	0.97	28.51	30.03	29.52	30.18	0.007635	1.78	0.48
29	12.7	1.54	0.78	27.82	29.36	29.36	29.9	0.031776	3.42	0.94
16	12.7	1.01	0.62	27.41	28.42	28.65	29.22	0.075352	4.07	1.39
3	12.7	1.33	0.77	26.99	28.32	28.22	28.66	0.033011	2.55	0.86

Tabella 45: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	122 di 168

Progressiva [m]	Portata [m ³ /s]	Tirante massimo [m]	Raggio idraulico [m]	Thalweg [m]	Quota idrica [m s.l.m.]	Livello critico [m s.l.m.]	Quota energia [m s.l.m.]	Pendenza energia [m/m]	Velocità [m/s]	Numero di Froude
392	10.50	1.18	0.69	42.95	44.13	44.13	44.55	0.044301	2.89	0.99
384	10.50	0.67	0.42	40.51	41.18	41.73	43.50	0.523242	6.74	3.04
374	10.50	0.83	0.60	40.24	41.07	41.15	41.56	0.060122	3.11	1.14
361	10.50	0.94	0.62	39.59	40.53	40.53	40.89	0.043660	2.68	1.00
359.00*	10.50	0.66	0.44	39.31	39.97	40.19	40.71	0.153250	3.80	1.76
357.00*	10.50	0.63	0.41	39.03	39.66	39.88	40.38	0.166213	3.74	1.82
355.00*	10.50	0.61	0.41	38.76	39.37	39.58	40.04	0.155842	3.62	1.77
353	10.50	0.54	0.37	38.48	39.02	39.27	39.85	0.055501	4.02	2.09
351.00*	10.50	0.49	0.37	38.22	38.71	39.00	39.71	0.067006	4.43	2.29
349.00*	10.50	0.45	0.37	37.95	38.40	38.72	39.55	0.078006	4.76	2.46
347.00*	10.50	0.42	0.36	37.68	38.10	38.45	39.38	0.087735	5.01	2.59
345	10.50	0.41	0.36	37.42	37.83	38.19	39.20	0.094887	5.18	2.68
342	10.50	0.40	0.35	37.00	37.40	37.78	38.90	0.105658	5.41	2.80
340.00*	10.50	0.46	0.39	36.99	37.45	37.79	38.65	0.074011	4.86	2.34
338	10.50	0.54	0.43	36.97	37.51	37.79	38.47	0.051907	4.35	1.90
331.1	10.50	1.17	0.77	36.94	38.11	37.76	38.31	0.005108	2.00	0.59
328.80*	10.50	1.16	0.77	36.93	38.09	37.75	38.30	0.005144	2.00	0.59
326.50*	10.50	1.16	0.77	36.92	38.08		38.29	0.005187	2.01	0.60
324.20*	10.50	1.16	0.76	36.91	38.07		38.28	0.005227	2.01	0.60
321.90*	10.50	1.15	0.76	36.90	38.05		38.26	0.005269	2.02	0.60
319.60*	10.50	1.15	0.76	36.89	38.04		38.25	0.005313	2.03	0.60
317.30*	10.50	1.15	0.76	36.88	38.03		38.24	0.005361	2.03	0.61
315	10.50	1.14	0.76	36.87	38.01		38.23	0.005416	2.04	0.61
312.71*	10.50	1.15	0.76	36.85	38.00		38.21	0.005277	2.02	0.60
310.43*	10.50	1.18	0.77	36.82	38.00		38.20	0.004975	1.98	0.58
308.14*	10.50	1.19	0.78	36.80	37.99		38.19	0.004839	1.96	0.57
305.86*	10.50	1.20	0.78	36.78	37.98		38.17	0.004704	1.94	0.57
303.57*	10.50	1.21	0.79	36.76	37.97		38.16	0.004576	1.92	0.56
301.29*	10.50	1.24	0.80	36.73	37.97		38.15	0.004314	1.88	0.54
299	10.50	1.25	0.80	36.71	37.96	37.53	38.14	0.004192	1.87	0.53
298	10.50	0.85	0.66	36.16	37.01		37.28	0.008538	2.32	0.87
295.50*	10.50	0.84	0.65	36.14	36.98		37.26	0.008632	2.33	0.87
293.00*	10.50	0.84	0.65	36.12	36.96		37.24	0.008724	2.34	0.88
290.50*	10.50	0.84	0.65	36.10	36.94	36.87	37.22	0.008804	2.35	0.88
288.00*	10.50	0.86	0.66	36.07	36.93		37.19	0.008169	2.29	0.85
285.50*	10.50	0.86	0.66	36.05	36.91		37.17	0.008172	2.29	0.85
283.00*	10.50	0.86	0.66	36.03	36.89		37.15	0.008195	2.29	0.85
280.50*	10.50	0.86	0.66	36.01	36.87		37.13	0.008203	2.29	0.85
278.00*	10.50	0.85	0.66	35.99	36.84		37.11	0.008211	2.29	0.85
275.50*	10.50	0.85	0.66	35.97	36.82	36.74	37.09	0.008226	2.30	0.85
273.00*	10.50	0.88	0.67	35.94	36.82		37.07	0.007581	2.23	0.82
270.50*	10.50	0.88	0.68	35.92	36.80		37.05	0.007545	2.23	0.82
268	10.50	0.88	0.68	35.90	36.78		37.03	0.007498	2.22	0.82
265.75*	10.50	0.88	0.68	35.88	36.76		37.01	0.007362	2.21	0.81
263.50*	10.50	0.89	0.68	35.86	36.75		36.99	0.007208	2.19	0.80
261.25*	10.50	0.89	0.69	35.84	36.73	36.61	36.98	0.007038	2.18	0.79
199	10.50	0.77	0.61	35.82	36.59	36.59	36.93	0.063419	2.58	1.01
196.63*	10.50	0.58	0.48	35.57	36.15	36.34	36.80	0.030175	3.55	1.57
194.25*	10.50	0.51	0.43	35.32	35.83	36.09	36.68	0.045863	4.08	1.91
191.88*	10.50	0.48	0.41	35.07	35.55	35.84	36.54	0.058110	4.41	2.13
189.50*	10.50	0.46	0.39	34.82	35.28	35.59	36.37	0.067713	4.64	2.29
187.13*	10.50	0.44	0.38	34.57	35.01	35.34	36.19	0.075355	4.80	2.41
184.75*	10.50	0.43	0.37	34.32	34.75	35.09	35.99	0.081313	4.92	2.49
182.38*	10.50	0.43	0.37	34.07	34.50	34.84	35.77	0.085685	5.01	2.55
180	10.50	0.47	0.40	33.82	34.29	34.59	35.33	0.039688	4.52	2.20
177.50*	10.50	0.48	0.41	33.57	34.05	34.34	35.03	0.056668	4.37	2.11
175.00*	10.50	0.46	0.39	33.32	33.78	34.09	34.87	0.066896	4.62	2.28
172.50*	10.50	0.44	0.38	33.07	33.51	33.84	34.68	0.074948	4.79	2.40
170.00*	10.50	0.43	0.37	32.82	33.25	33.59	34.49	0.081150	4.92	2.49
167.50*	10.50	0.43	0.37	32.57	33.00	33.34	34.27	0.085718	5.01	2.55
165.00*	10.50	0.42	0.36	32.32	32.74	33.09	34.06	0.089454	5.08	2.61
162.50*	10.50	0.42	0.36	32.07	32.49	32.84	33.83	0.092120	5.13	2.64
160	10.50	0.46	0.40	31.82	32.28	32.59	33.34	0.349699	4.56	2.23
157.86*	10.50	0.96	0.74	31.79	32.75	32.53	32.94	0.026543	1.90	0.67
155.71*	10.50	0.92	0.72	31.77	32.69		32.88	0.027261	1.89	0.68
153.57*	10.50	0.90	0.71	31.74	32.64		32.81	0.026914	1.86	0.67
151.43*	10.50	0.87	0.70	31.71	32.58		32.75	0.026866	1.84	0.67
149.29*	10.50	0.85	0.68	31.68	32.53		32.69	0.026858	1.82	0.67
147.14*	10.50	0.80	0.65	31.66	32.46		32.63	0.028577	1.84	0.70
145	10.50	0.83	0.68	31.63	32.46		32.61	0.003896	1.70	0.62
137	10.50	1.14	0.57	31.22	32.36		32.55	0.022503	2.04	0.73
125	10.50	1.02	0.71	31.08	32.10		32.29	0.019296	1.98	0.69
114	10.50	1.04	0.71	30.71	31.75	31.63	32.03	0.026955	2.37	0.79
105	10.50	0.84	0.61	30.53	31.37	31.37	31.72	0.039027	2.67	0.98
94	10.50	1.06	0.69	30.09	31.15	30.77	31.20	0.005288	0.95	0.36
83	10.50	0.98	0.65	29.76	30.74	30.69	31.05	0.035556	2.48	0.91
67	10.50	0.82	0.57	29.31	30.13	30.13	30.45	0.042936	2.51	1.00
47	10.50	1.35	0.89	28.51	29.86	29.41	30.00	0.008209	1.69	0.49
29	10.50	1.40	0.72	27.82	29.22	29.22	29.70	0.032822	3.23	0.94
16	10.50	0.92	0.58	27.41	28.33	28.53	29.03	0.074181	3.77	1.36
3	10.50	1.21	0.72	26.99	28.20	28.10	28.50	0.033017	2.43	0.85

Tabella 46: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 26 RH
ID 0002 001
B
123 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
392	7.30	0.96	0.59	42.95	43.91	44.27	44.27	0.048570	2.64	1.00
384	7.30	0.53	0.34	40.51	41.04	41.51	43.13	0.630185	6.40	3.27
374	7.30	0.70	0.52	40.24	40.94	40.97	41.29	0.052748	2.62	1.05
361	7.30	0.77	0.52	39.59	40.36	40.36	40.66	0.048338	2.40	1.01
359.00*	7.30	0.55	0.36	39.31	39.86	40.04	40.46	0.164984	3.44	1.78
357.00*	7.30	0.54	0.35	39.03	39.57	39.74	40.12	0.155810	3.28	1.73
355.00*	7.30	0.52	0.35	38.76	39.28	39.44	39.80	0.152340	3.21	1.71
353	7.30	0.45	0.31	38.48	38.93	39.13	39.60	0.057847	3.64	2.08
351.00*	7.30	0.39	0.30	38.22	38.61	38.85	39.46	0.075349	4.08	2.35
349.00*	7.30	0.35	0.29	37.95	38.30	38.57	39.29	0.089769	4.40	2.55
347.00*	7.30	0.33	0.29	37.68	38.01	38.29	39.09	0.101154	4.61	2.69
345	7.30	0.32	0.28	37.42	37.74	38.03	38.89	0.108339	4.75	2.77
342	7.30	0.31	0.28	37.00	37.31	37.62	38.55	0.118616	4.92	2.88
340.00*	7.30	0.36	0.32	36.99	37.35	37.62	38.29	0.075394	4.29	2.31
338	7.30	0.43	0.36	36.97	37.40	37.61	38.12	0.048867	3.75	1.82
331.1	7.30	0.90	0.64	36.94	37.84	37.58	38.01	0.005207	1.80	0.60
328.80*	7.30	0.90	0.64	36.93	37.83	37.57	38.00	0.005262	1.80	0.61
326.50*	7.30	0.90	0.64	36.92	37.82		37.98	0.005329	1.81	0.61
324.20*	7.30	0.89	0.64	36.91	37.80		37.97	0.005394	1.82	0.61
321.90*	7.30	0.89	0.64	36.90	37.79		37.96	0.005465	1.82	0.62
319.60*	7.30	0.88	0.64	36.89	37.77		37.95	0.005542	1.83	0.62
317.30*	7.30	0.88	0.63	36.88	37.76		37.93	0.005626	1.84	0.63
315	7.30	0.88	0.63	36.87	37.75		37.92	0.005725	1.85	0.63
312.71*	7.30	0.88	0.64	36.85	37.73		37.91	0.005540	1.83	0.62
310.43*	7.30	0.91	0.65	36.82	37.73		37.89	0.005124	1.79	0.60
308.14*	7.30	0.92	0.65	36.80	37.72		37.88	0.004942	1.76	0.59
305.86*	7.30	0.93	0.66	36.78	37.71		37.87	0.004762	1.74	0.58
303.57*	7.30	0.94	0.66	36.76	37.70		37.85	0.004591	1.72	0.57
301.29*	7.30	0.97	0.68	36.73	37.70		37.84	0.004246	1.67	0.54
299	7.30	0.98	0.68	36.71	37.69	37.35	37.83	0.004087	1.65	0.53
238	7.30	0.68	0.55	36.16	36.84		37.06	0.008592	2.07	0.85
235.50*	7.30	0.68	0.55	36.14	36.82		37.04	0.008726	2.08	0.86
233.00*	7.30	0.67	0.54	36.12	36.79		37.02	0.008869	2.09	0.87
230.50*	7.30	0.67	0.54	36.10	36.77	36.71	37.00	0.009002	2.10	0.87
228.00*	7.30	0.69	0.55	36.07	36.76		36.97	0.008258	2.04	0.84
225.50*	7.30	0.69	0.55	36.05	36.74		36.95	0.008282	2.05	0.84
223.00*	7.30	0.69	0.55	36.03	36.72		36.93	0.008336	2.05	0.84
220.50*	7.30	0.69	0.55	36.01	36.70		36.91	0.008378	2.05	0.84
218.00*	7.30	0.68	0.55	35.99	36.67		36.89	0.008428	2.06	0.85
215.50*	7.30	0.68	0.55	35.97	36.65		36.87	0.008477	2.06	0.85
213.00*	7.30	0.70	0.56	35.94	36.64		36.85	0.007709	2.00	0.81
210.50*	7.30	0.70	0.56	35.92	36.62		36.83	0.007676	1.99	0.81
208	7.30	0.70	0.56	35.90	36.60		36.81	0.007629	1.99	0.81
205.75*	7.30	0.71	0.57	35.88	36.59		36.79	0.007472	1.98	0.80
203.50*	7.30	0.71	0.57	35.86	36.57		36.77	0.007290	1.96	0.79
201.25*	7.30	0.72	0.58	35.84	36.56		36.75	0.007086	1.94	0.78
199	7.30	0.61	0.50	35.82	36.43	36.43	36.71	0.066567	2.33	1.01
196.63*	7.30	0.45	0.39	35.57	36.02	36.18	36.57	0.034141	3.27	1.62
194.25*	7.30	0.39	0.34	35.32	35.71	35.93	36.44	0.053243	3.78	2.00
191.88*	7.30	0.37	0.32	35.07	35.44	35.68	36.28	0.067192	4.07	2.22
189.50*	7.30	0.35	0.31	34.82	35.17	35.43	36.10	0.077210	4.26	2.37
187.13*	7.30	0.34	0.30	34.57	34.91	35.18	35.89	0.084247	4.38	2.47
184.75*	7.30	0.34	0.30	34.32	34.66	34.93	35.67	0.089014	4.46	2.53
182.38*	7.30	0.33	0.30	34.07	34.40	34.68	35.44	0.092539	4.51	2.58
180	7.30	0.38	0.34	33.82	34.20	34.43	34.97	0.135836	3.88	2.08
177.50*	7.30	0.39	0.34	33.57	33.96	34.18	34.70	0.053974	3.79	2.01
175.00*	7.30	0.37	0.32	33.32	33.69	33.93	34.54	0.068035	4.09	2.24
172.50*	7.30	0.35	0.31	33.07	33.42	33.68	34.35	0.078088	4.27	2.38
170.00*	7.30	0.34	0.30	32.82	33.16	33.43	34.15	0.085108	4.39	2.48
167.50*	7.30	0.34	0.30	32.57	32.91	33.18	33.93	0.089847	4.47	2.54
165.00*	7.30	0.33	0.30	32.32	32.65	32.93	33.70	0.093391	4.53	2.59
162.50*	7.30	0.33	0.29	32.07	32.40	32.68	33.46	0.095790	4.56	2.62
160	7.30	0.38	0.33	31.82	32.20	32.43	32.98	0.325100	3.92	2.10
157.86*	7.30	0.80	0.63	31.79	32.59	32.38	32.72	0.024192	1.64	0.63
155.71*	7.30	0.76	0.62	31.77	32.53		32.67	0.025030	1.64	0.64
153.57*	7.30	0.74	0.61	31.74	32.48		32.61	0.024710	1.61	0.63
151.43*	7.30	0.72	0.59	31.71	32.43		32.56	0.024690	1.59	0.63
149.29*	7.30	0.70	0.58	31.68	32.38		32.50	0.024747	1.57	0.63
147.14*	7.30	0.66	0.55	31.66	32.32		32.45	0.027659	1.60	0.67
145	7.30	0.68	0.57	31.63	32.31		32.42	0.003809	1.46	0.59
137	7.30	0.96	0.44	31.22	32.18		32.36	0.025888	1.94	0.76
125	7.30	0.81	0.58	31.08	31.89		32.06	0.022554	1.83	0.72
114	7.30	0.88	0.61	30.71	31.59	31.45	31.79	0.024130	2.02	0.74
105	7.30	0.67	0.51	30.53	31.20	31.20	31.49	0.043135	2.39	0.99
94	7.30	0.86	0.52	30.09	30.95	30.69	30.99	0.007190	0.91	0.40
83	7.30	0.85	0.57	29.76	30.61	30.53	30.83	0.030795	2.08	0.83
67	7.30	0.68	0.47	29.31	29.99	29.99	30.24	0.047309	2.23	1.01
47	7.30	1.08	0.74	28.51	29.59	29.24	29.70	0.009415	1.54	0.50
29	7.30	1.15	0.61	27.82	28.97	28.97	29.38	0.036394	2.92	0.95
16	7.30	0.80	0.51	27.41	28.21	28.32	28.71	0.066324	3.17	1.24
3	7.30	1.01	0.62	26.99	28.00	27.90	28.25	0.033034	2.20	0.84

Tabella 47: Impluvio 81+972: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

8.5.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- pendenza alveo: $0.00006 \div 0.016$
- tiranti idrici: $1.5 \div 14$ m
- velocità medie: $0.7 \div 4$ m/s
- portate: $35 \div 2200$ mc/s
- d_{50} : $0.15 \div 0.70$ m

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 2.50 m/s e tirante = 0.60 m per Impluvio 81+972, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 55^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = 0.67$ m per i rivestimenti spondali. Si adotta $d_{50} = 0.70$ m

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.5.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 4.50 m/s in alveo ($Tr = 200 \text{ anni}$); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: **$d_{50} = 0.89 \text{ m}$** .
 Si adotta **$d_{50} = 0.90 \text{ m}$**

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 0.40 \cdot 0.1 = 40 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 0.40$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.1$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovvero sia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d. Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d. Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con **$d_{50} = 0.90$ m:**

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.90 = 72 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 40 \text{ kg/m}^2 < 72 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 72 / 40 = 1.8$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su **$d_{50} = 0.90$ m** che risultano quindi verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

8.6 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0I00D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio 81+973, si ottiene un valore della portata di progetto Tr200 proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 37).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr200) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
IN72	Tombino	4.5x2.5 m	1.34	1.19
IN73	Tombino	4.5x3.0 m	1.42	1.58

Tabella 48: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

9 RIO FASCEO

9.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Albenga (SV), e precisamente vicino alla frazione di Campochiesa, dove il Rio Fasceo è attraversato dall'autostrada A10. La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento si trova in una area prettamente agricola al di fuori della sopracitata frazione, dove sono presenti anche alcune serre.

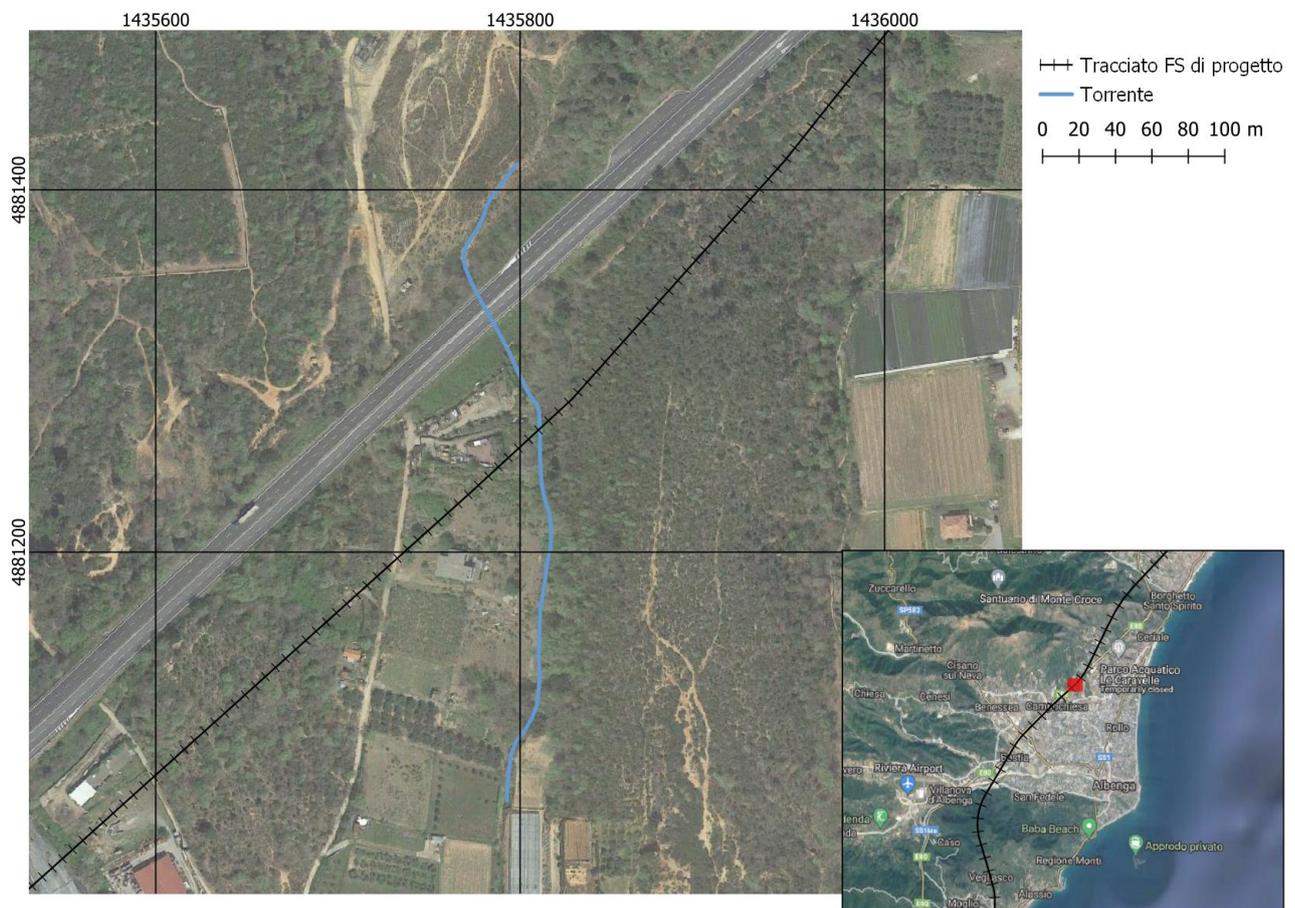


Figura 67 – Inquadramento generale dell'area di studio

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IVOI	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

9.2 INTERVENTO DI PROGETTO

La linea ferroviaria, poco oltre lo sbocco della Galleria Croce, alla progressiva Km 82+298.35, incontra il Rio Fasceo. Per consentire il deflusso del corso d'acqua a valle dell'infrastruttura ferroviaria si prevede il posizionamento di uno scatolare di larghezza 5 m ed altezza 4 m, il cui intradosso, a monte della ferrovia è posto a quota 26.60 m s.m.m. Il manufatto ha la medesima pendenza del corso d'acqua, pari al 2%, con quota di imbocco posta a 23.10 m s.m.m. e quota di sbocco a 22.40 m s.m.m. Lo scatolare ha lunghezza 40 m ed è rivestito internamente al fondo con pietrame cementato di diametro medio 20 cm per garantire la continuità della scabrezza del corso d'acqua anche all'interno dello scatolare.

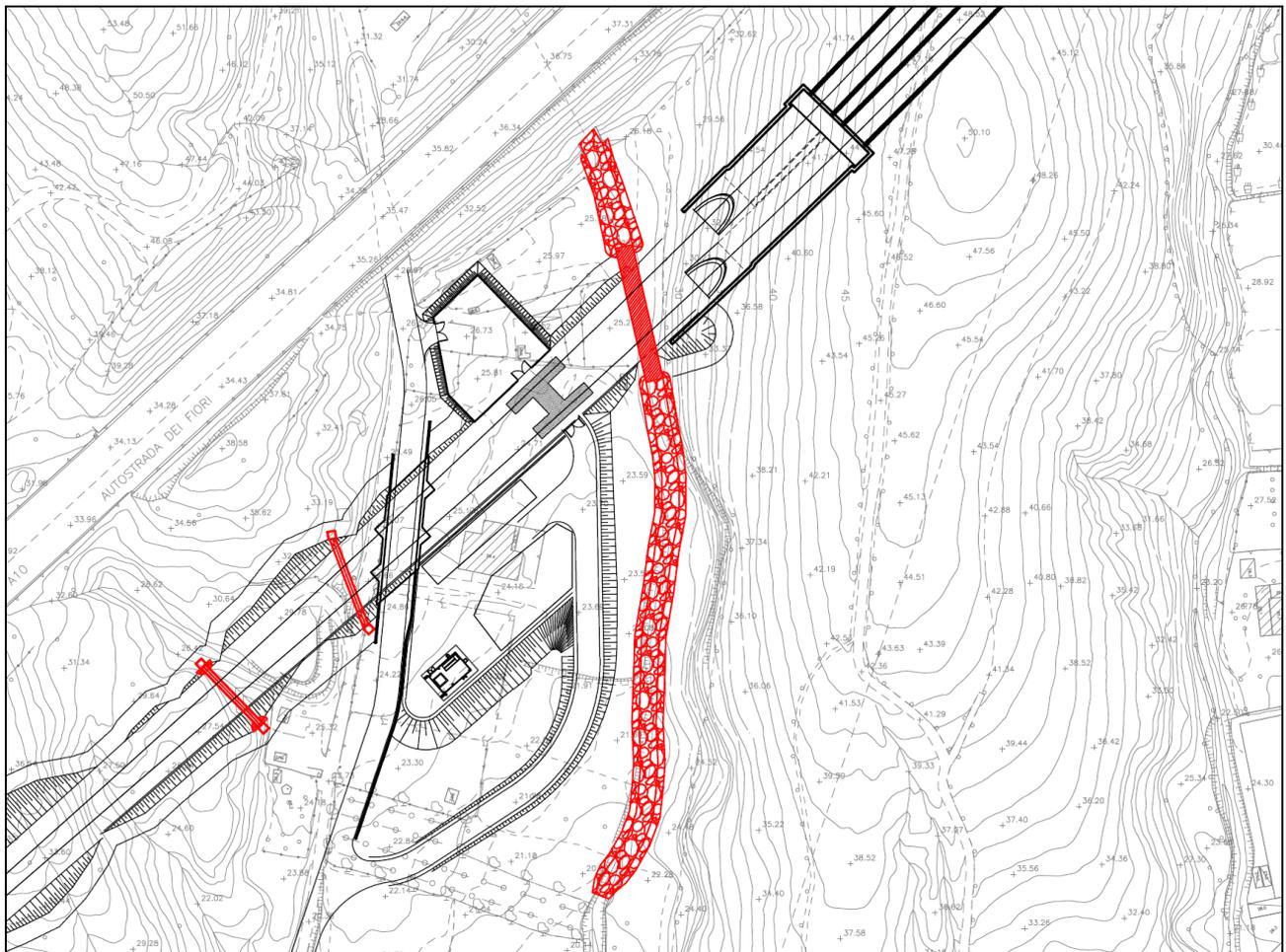


Figura 68 - Pianta della sistemazione idraulica del Rio Fasceo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

La sistemazione idraulica del Rio Fasceo prevede inoltre la regolarizzazione della sezione del rio in una forma trapezia, larga al fondo 5 m, con sponde 1 su 1 e interamente rivestita con massi sciolti intasati con materiale d'alveo al fine di garantire una configurazione stabile della geometria del corso d'acqua. La regolarizzazione è prevista per 35 m a monte dell'attraversamento, a partire dallo scatolare posizionato al di sotto dell'autostrada A 10, e per 150 m a valle.

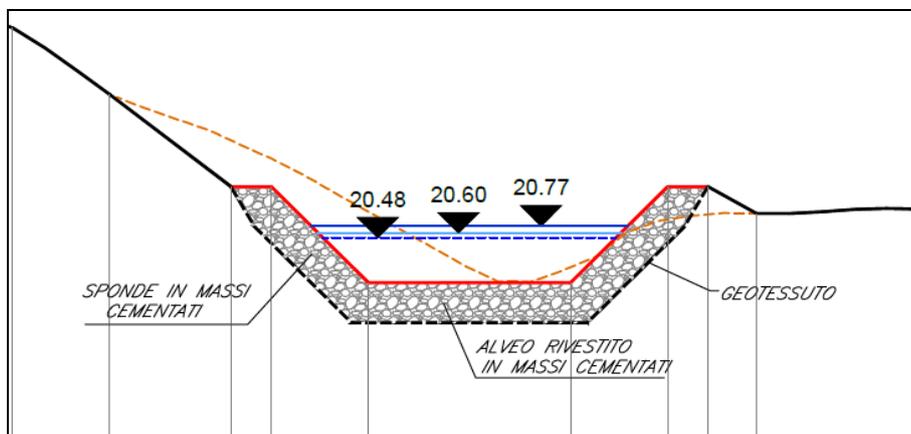


Figura 69 – Rio Fasceo: sistemazione idraulica tipologica di progetto

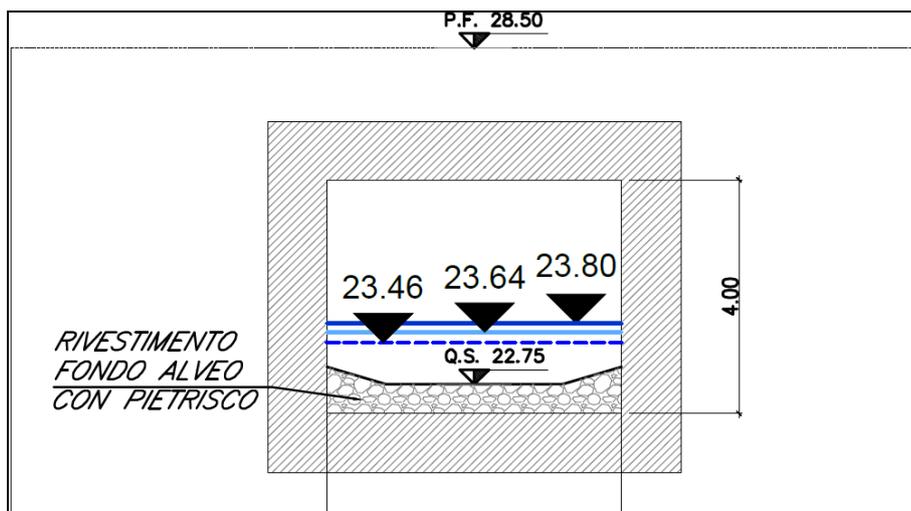


Figura 70 – Rio Fasceo: sistemazione idraulica tipologica di progetto

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla consultazione delle tavole progettuali e di restituzione grafica delle elaborazioni modellistiche, in particolare:

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 131 di 168

- IV0I00D26WZID0302001A
- IV0I00D26WZID0302002A
- IV0I00D26FZID0302001A
- IV0I00D26FZID0302002A
- IV0I00D26PZID0302001A

9.2.1 Attraversamento in fase di cantierizzazione

Il tracciato della linea ferroviaria di progetto interseca il Rio Fasceo a circa 1400 m dalla confluenza con il Rio Garena e prevede la realizzazione del raddoppio della tratta Andora-Finale completamente in variante rispetto al tracciato attualmente in esercizio, pertanto, non è prevista interruzione della linea esistente durante le lavorazioni.

La realizzazione del tracciato ferroviario in variante non comporterà interferenze con viabilità esistenti.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre rilevato ferroviario verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, non interferendo con viabilità esistenti e in esercizio, sarà tuttavia da prevedere le lavorazioni in alveo nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare le operazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

9.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

9.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria del Rio Fasceo, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente e il rilievo delle sezioni del 2010 e del 2021.

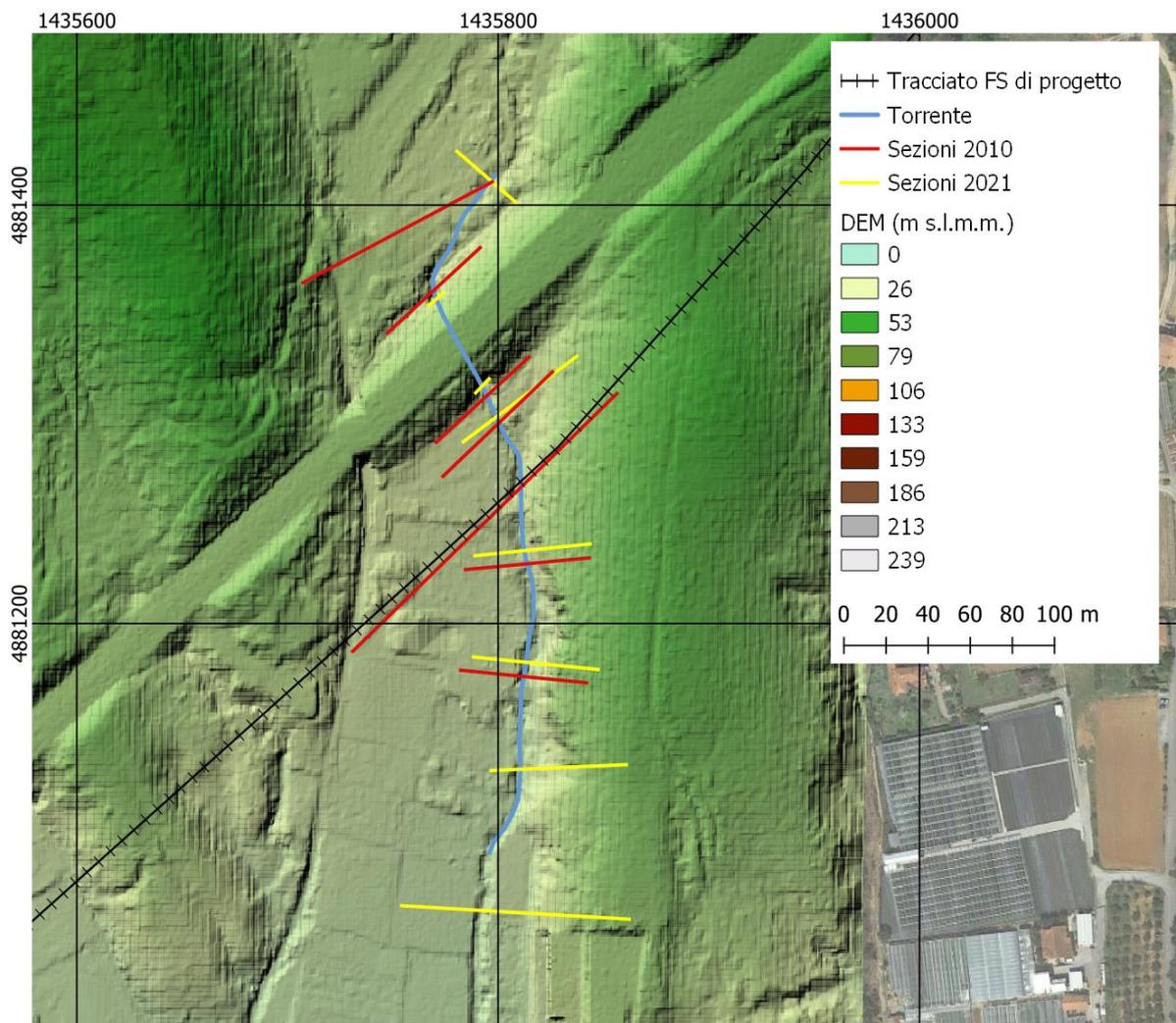


Figura 71: Informazioni topografiche a disposizione

Come descritto nel paragrafo 3.3.2, ai fini di ottenere un modello del terreno più accurato possibile è stata effettuata un'interpolazione delle sezioni trasversali del torrente, integrando così il DTM del Ministero dell'Ambiente.

La figura che segue fornisce un esempio dell'interpolazione effettuata, mostrando l'integrazione tra il DTM e il modello digitale dell'alveo; in figura sono indicati anche i profili delle sezioni trasversali

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

rilevate utilizzate per l'implementazione della geometria, per meglio apprezzare la ricostruzione della geometria in alveo.

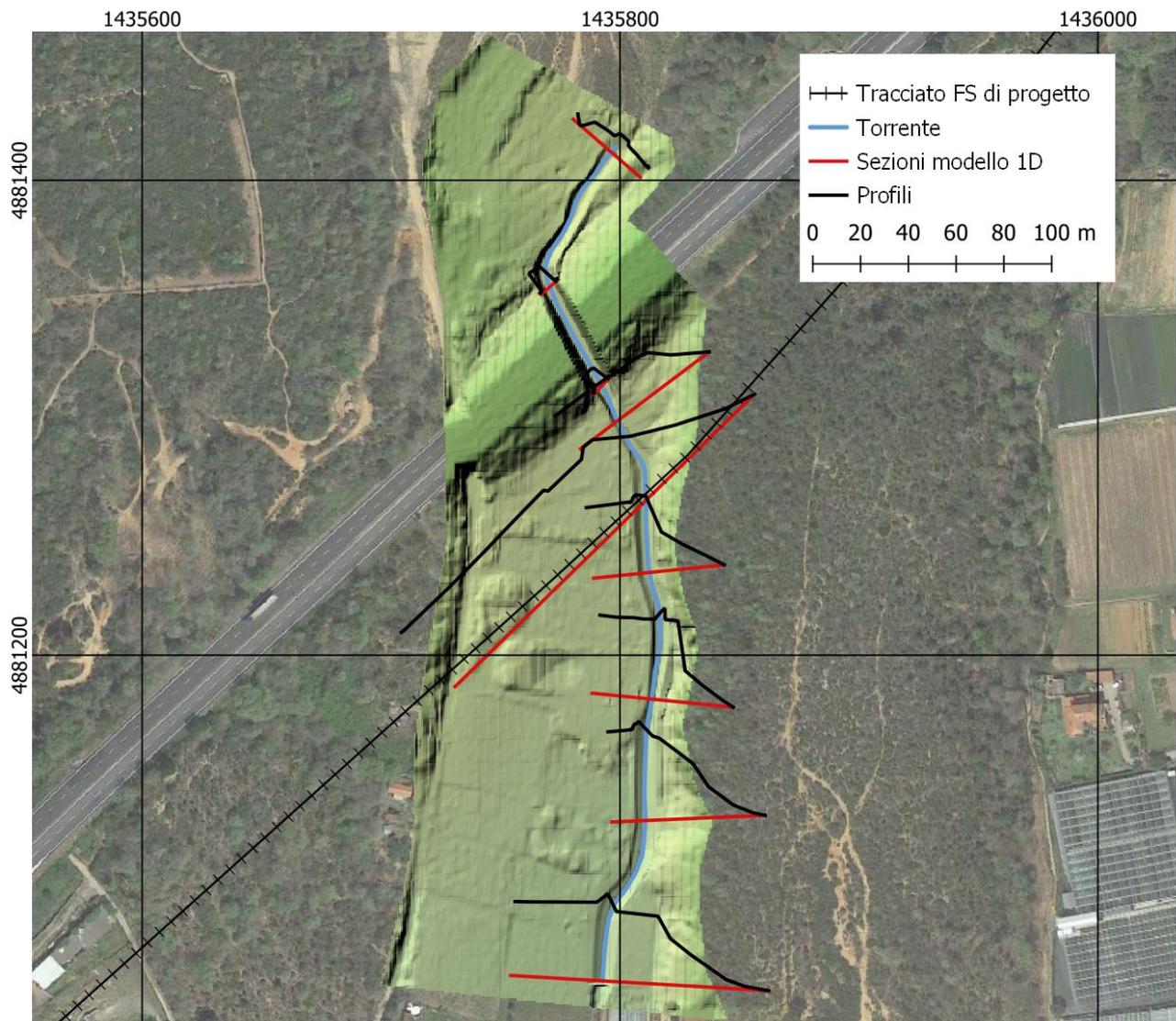


Figura 72: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 22 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo. La distanza tra le sezioni (rilevate e interpolate) è stata mantenuta nell'ordine dei 15 m, salvo nei casi in cui sono state inserite delle strutture idrauliche. Nel caso in cui il rilievo 2010 e quello 2021 risultassero sostanzialmente sovrapposti, sono state utilizzate le sezioni più recenti.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO

IV01

00

D 26 RH

ID 0002 001

B

134 di 168



Figura 73: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

L'attraversamento dell'autostrada A10 è stato schematizzato come ponte all'interno del modello.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

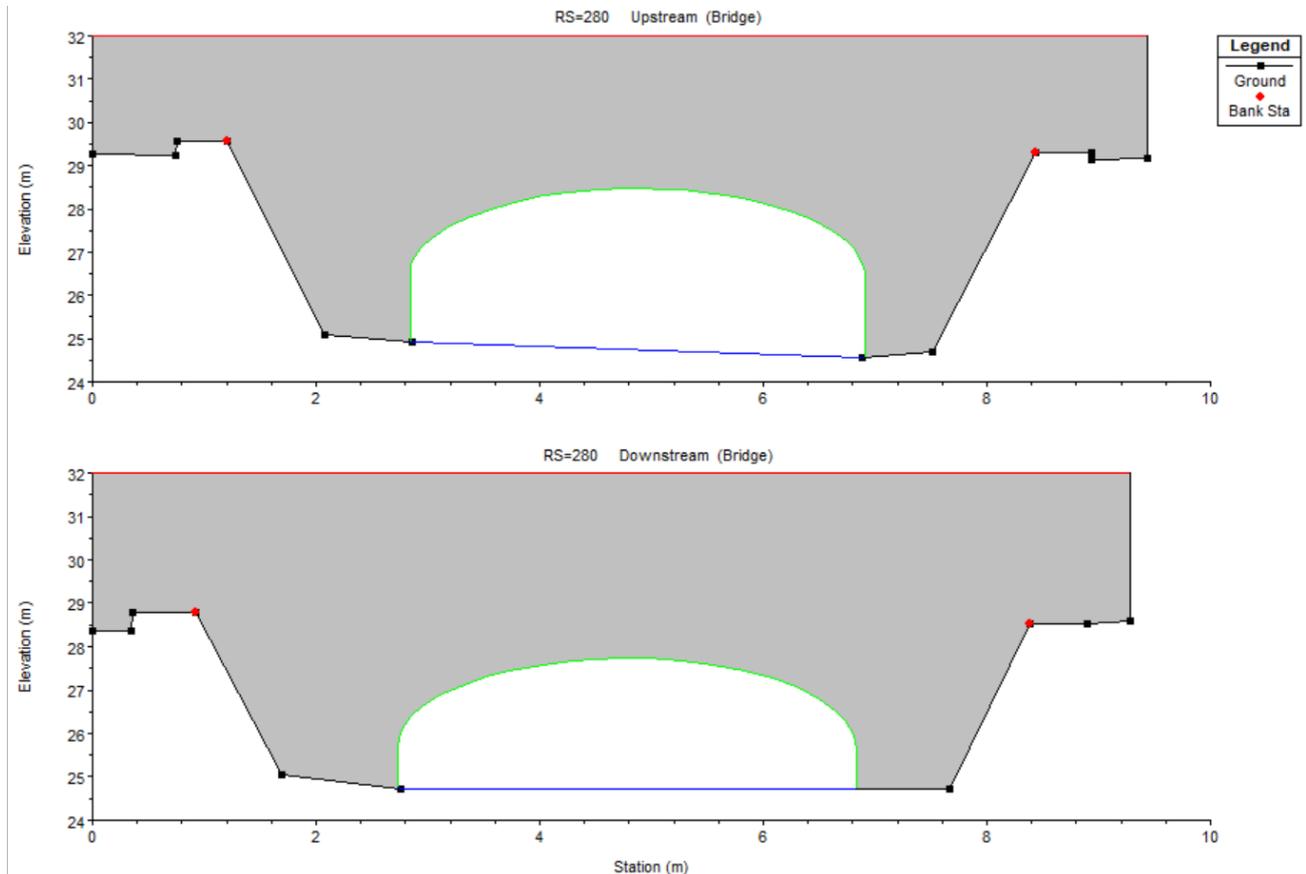


Figura 74: Attraversamento A10, struttura a monte (sopra) e a valle (sotto)

9.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.018.

Come descritto nel paragrafo 3.2.2, sono state utilizzate le portate al colmo di riferimento come condizione al contorno a monte. Le portate ottenute con il metodo VAPI sono risultate più cautelative, rispetto a quelle ottenute con il metodo di Gumbel, e sono state utilizzate per la determinazione dei livelli di massima piena.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	12.5
Tr 200	17.9
Tr 500	21.9

Tabella 49 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

9.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall’Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione.

Le aree perimetrate dal PAI prendono infatti in esame il Rio Fasceo a valle della zona di interesse, e pertanto tali informazioni risultano di limitata utilità.

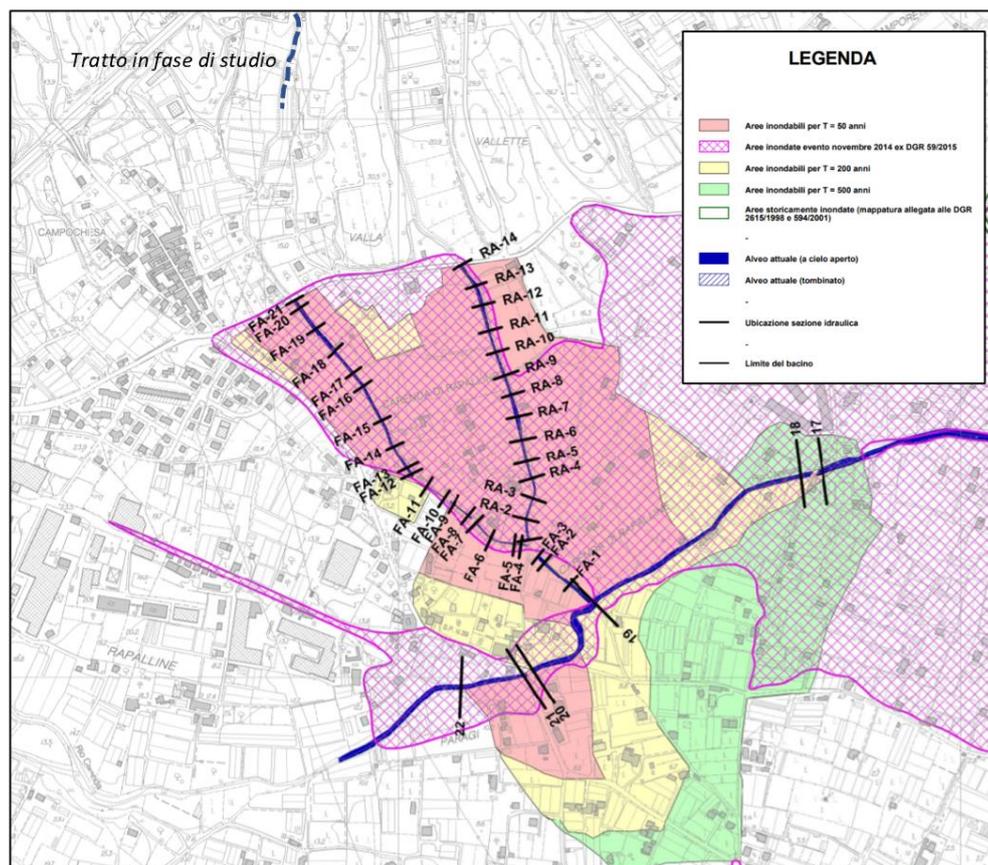


Figura 75: Estratto delle mappe di allagamento dal Piano di bacino stralcio per l’assetto idrogeologico

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Pertanto, i valori di scabrezza sono stati assegnati secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning $n [s \cdot m^{-1/3}]$.

Copertura	n (range)
Alveo	0.05
Pianura alluvionale	0.06 - 0.08

Tabella 50: Scabrezze adottate nel modello

9.3.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione a monte dell'attraversamento ferroviario (corrispondente alla sezione RS 230 di progressiva 140.2). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

Sezione	Livello (m s.l.m.m.)
Tr 50	24.86
Tr 200	25.45
Tr 500	25.60

Tabella 51: Livelli massimi a monte dell'attraversamento ferroviario per tempo di ritorno

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si rimanda agli elaborati specifici per la restituzione grafica dettagliata dei risultati.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IVOI

00

D 26 RH

ID 0002 001

B

138 di 168

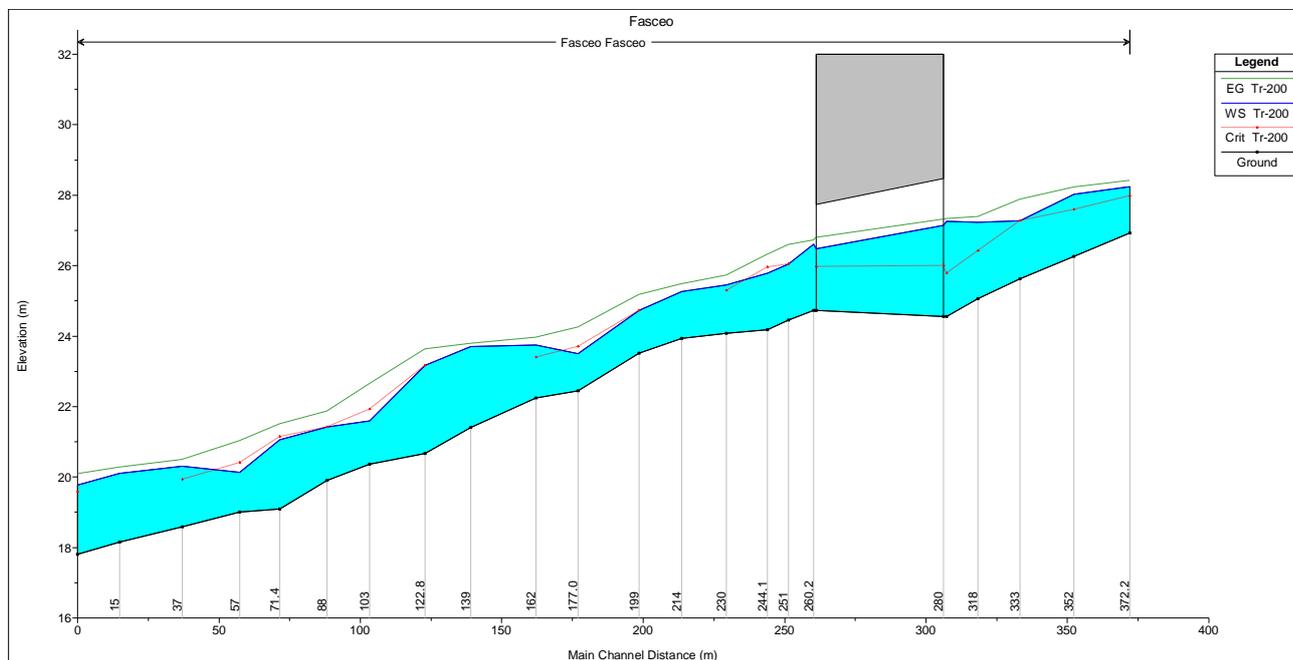


Figura 76: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

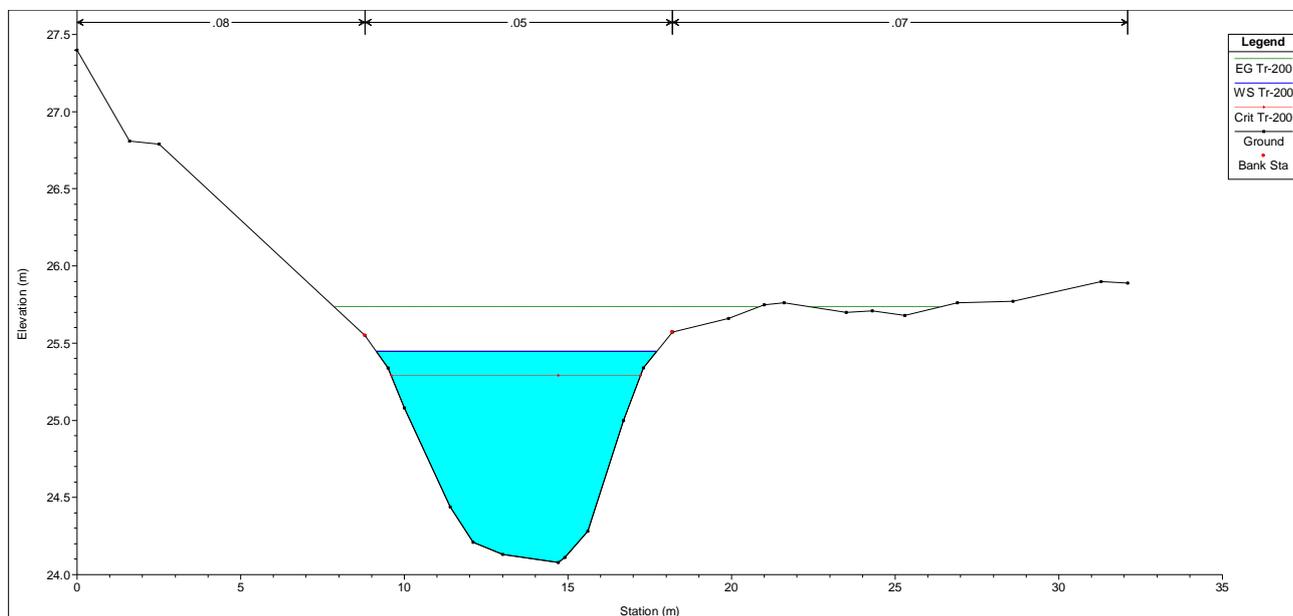


Figura 77: Sezione trasversale RS 230 a monte dell'attraversamento ferroviario in progetto per l'evento Tr 200

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	139 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	21.9	1.47	0.59	26.92	28.39	28.14	28.56	0.007505	1.96	0.54
352	21.9	2.01	0.75	26.26	28.27	27.74	28.42	0.006388	1.78	0.49
333	21.9	1.84	0.96	25.63	27.47	27.47	28.13	0.034328	3.6	1
318	21.9	2.52	1.35	25.06	27.58	26.59	27.74	0.005343	1.79	0.41
307.3	21.9	3.03	1.53	24.56	27.59	25.94	27.68	0.002413	1.3	0.26
260.2	21.9	2.1	1.32	24.73	26.83		26.97	0.004793	1.66	0.38
251	21.9	1.77	0.96	24.45	26.22	26.22	26.84	0.032111	3.48	1
244.1	21.9	1.62	0.26	24.18	25.8	26.02	26.52	0.057466	4.19	1.3
230	21.9	1.52	0.83	24.08	25.6	25.43	25.91	0.017802	2.46	0.81
214	21.9	1.49	0.78	23.93	25.42		25.66	0.011487	2.17	0.66
199	21.9	1.37	0.88	23.51	24.88	24.88	25.37	0.02893	3.13	1.01
177	21.9	1.17	0.74	22.44	23.61	23.85	24.46	0.062487	4.08	1.43
162	21.9	1.6	0.77	22.25	23.85	23.54	24.11	0.011701	2.29	0.66
139	21.9	2.42	0.56	21.41	23.83		23.92	0.003687	1.52	0.38
122.8	21.9	2.76	0.41	20.67	23.43	23.43	23.78	0.019766	2.77	0.71
103	21.9	1.29	0.68	20.37	21.66	22.08	22.97	0.108524	5.07	1.87
88	21.9	1.72	0.47	19.9	21.62	21.62	21.87	0.016543	2.44	0.77
71.4	21.9	2.21	0.52	19.09	21.3	21.33	21.63	0.011504	2.97	0.71
57	21.9	1.25	0.72	19.01	20.26	20.59	21.24	0.073813	4.38	1.56
37	21.9	1.85	0.9	18.59	20.44	20.06	20.66	0.010393	2.1	0.62
15	21.9	2.1	0.61	18.15	20.25		20.45	0.008669	2.01	0.57
0	21.9	2.09	0.52	17.81	19.9	19.84	20.25	0.018015	2.67	0.79

Tabella 52: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	17.90	1.32	0.53	26.92	28.24	27.98	28.41	0.008769	1.94	0.58
352	17.90	1.77	1.03	26.26	28.03	27.59	28.23	0.009561	1.99	0.59
333	17.90	1.65	0.88	25.63	27.28	27.28	27.88	0.034570	3.43	1.00
318	17.90	2.17	1.22	25.06	27.23	26.43	27.39	0.006026	1.77	0.44
307.3	17.90	2.69	1.42	24.56	27.25	25.79	27.33	0.002348	1.22	0.26
260.2	17.90	1.88	1.22	24.73	26.61		26.73	0.004509	1.54	0.37
251	17.90	1.59	0.88	24.45	26.04	26.04	26.60	0.032490	3.32	1.00
244.1	17.90	1.60	0.25	24.18	25.78	25.96	26.32	0.042724	3.58	1.12
230	17.90	1.37	0.82	24.08	25.45	25.29	25.73	0.018343	2.38	0.81
214	17.90	1.33	0.90	23.93	25.26		25.48	0.012140	2.08	0.67
199	17.90	1.22	0.80	23.51	24.73	24.73	25.18	0.029557	2.97	1.01
177	17.90	1.05	0.67	22.44	23.49	23.71	24.25	0.064002	3.86	1.43
162	17.90	1.50	0.80	22.25	23.75	23.41	23.96	0.010317	2.05	0.62
139	17.90	2.29	0.49	21.41	23.70		23.79	0.003641	1.43	0.37
122.8	17.90	2.50	0.52	20.67	23.17	23.17	23.63	0.028992	3.02	0.83
103	17.90	1.22	0.64	20.37	21.59	21.92	22.65	0.093472	4.55	1.72
88	17.90	1.52	0.81	19.90	21.42	21.42	21.87	0.029091	2.96	1.00
71.4	17.90	1.97	0.47	19.09	21.06	21.15	21.51	0.016320	3.22	0.82
57	17.90	1.12	0.66	19.01	20.13	20.41	21.04	0.077326	4.20	1.58
37	17.90	1.71	0.93	18.59	20.30	19.92	20.50	0.010203	1.94	0.60
15	17.90	1.96	0.73	18.15	20.11		20.28	0.008552	1.87	0.56
0	17.90	1.96	0.58	17.81	19.77	19.59	20.09	0.018003	2.52	0.77

Tabella 53: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	12.50	0.99	0.55	26.92	27.91	27.74	28.13	0.015011	2.07	0.72
352	12.50	1.41	0.87	26.26	27.67	27.35	27.86	0.011200	1.93	0.62
333	12.50	1.36	0.76	25.63	26.99	26.99	27.49	0.034732	3.12	1.00
318	12.50	1.68	1.01	25.06	26.74	26.18	26.90	0.007357	1.73	0.48
307.3	12.50	2.21	1.24	24.56	26.77	25.57	26.83	0.002179	1.08	0.25
260.2	12.50	1.52	1.06	24.73	26.25		26.34	0.004184	1.34	0.36
251	12.50	1.37	0.79	24.45	25.82	25.76	26.23	0.028334	2.87	0.93
244.1	12.50	1.67	0.29	24.18	25.85	25.85	26.02	0.013791	2.12	0.64
230	12.50	0.78	0.53	24.08	24.86	25.08	25.58	0.082724	3.75	1.61
214	12.50	1.09	0.76	23.93	25.02	24.80	25.20	0.013245	1.92	0.68
199	12.50	1.01	0.68	23.51	24.52	24.52	24.89	0.030339	2.70	1.00
177	12.50	0.89	0.55	22.44	23.33	23.50	23.94	0.065286	3.45	1.42
162	12.50	1.21	0.82	22.25	23.46	23.20	23.65	0.011699	1.90	0.64
139	12.50	1.94	0.77	21.41	23.35		23.45	0.005205	1.44	0.43
122.8	12.50	2.01	0.67	20.67	22.68	22.68	23.22	0.045293	3.25	1.00
103	12.50	1.14	0.60	20.37	21.51	21.69	22.16	0.063402	3.59	1.41
88	12.50	1.33	0.71	19.90	21.23	21.19	21.58	0.026678	2.61	0.94
71.4	12.50	1.58	0.73	19.09	20.67	20.67	21.15	0.023333	3.19	0.94
57	12.50	1.01	0.59	19.01	20.02	20.18	20.63	0.060024	3.46	1.37
37	12.50	1.45	0.83	18.59	20.04	19.71	20.20	0.010139	1.77	0.59
15	12.50	1.69	0.86	18.15	19.84		19.99	0.008871	1.71	0.55
0	12.50	1.72	0.77	17.81	19.53	19.34	19.79	0.018010	2.26	0.76

Tabella 54: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 140 di 168

9.4 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

9.4.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto modificando le sezioni in funzione dell'intervento previsto e l'aggiunta dell'attraversamento idraulico di progetto.



9.4.1 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Per i tratti non soggetti a modifiche il coefficiente di scabrezza è stato lasciato inalterato rispetto a quanto previsto nelle modellazioni ante operam, mentre per i tratti risagomati e rivestiti in massi naturali è stato adottato un coefficiente pari a $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ (corrispondente ad un k_s pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

9.4.2 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio Castellaro, avendo un bacino di 0.65 km^2 , è classificato come un bacino di II° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato dalla tavola 04_468_CSDV_DCP38_2015_CARENDA del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco pari a 1,50 m avendo l'opera di attraversamento estensione superiore a 12 m.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico	Franco idraulico Riempimento %	Riempimento NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Riempimento M.d.P. RFI
IN28	Tombino	5.0x4.0 m	1.80 m	1.70 (51%)	67%	1.5 m	70%

Tabella 55: Verifiche franchi idraulici

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

La sezione della risistemazione d'alveo di progetto sarà sagomata in maniera tale che venga rispettato il franco di 50 cm tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

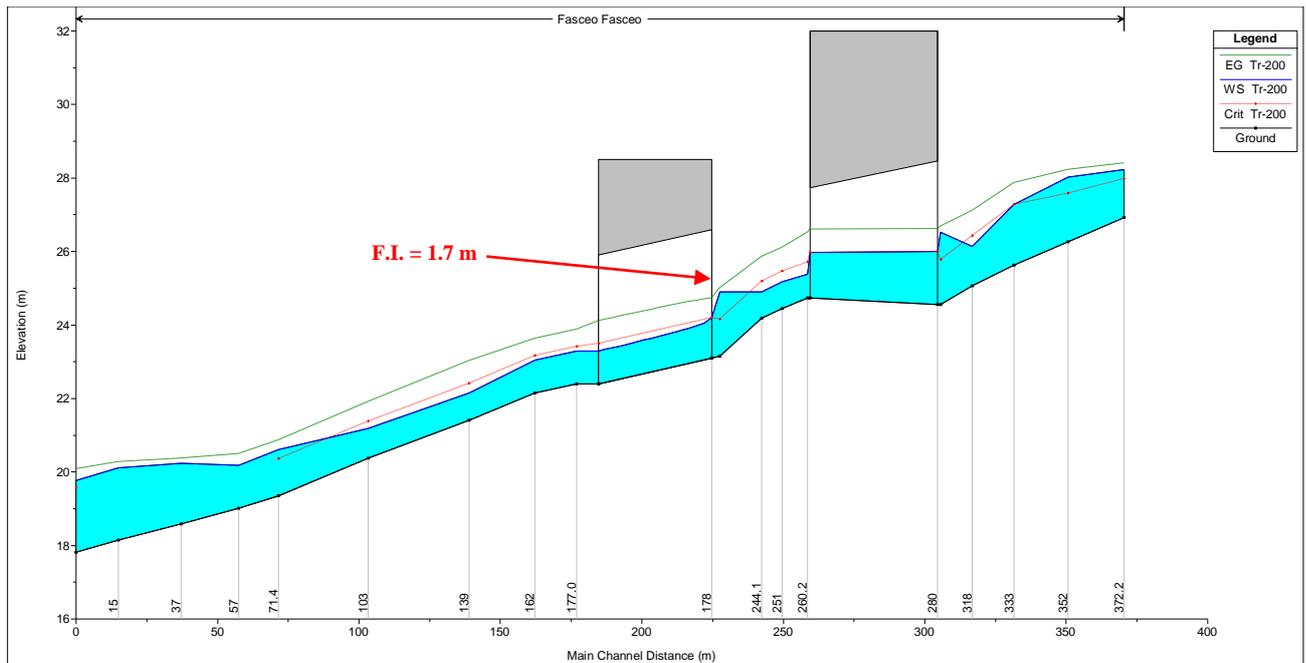


Figura 78: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

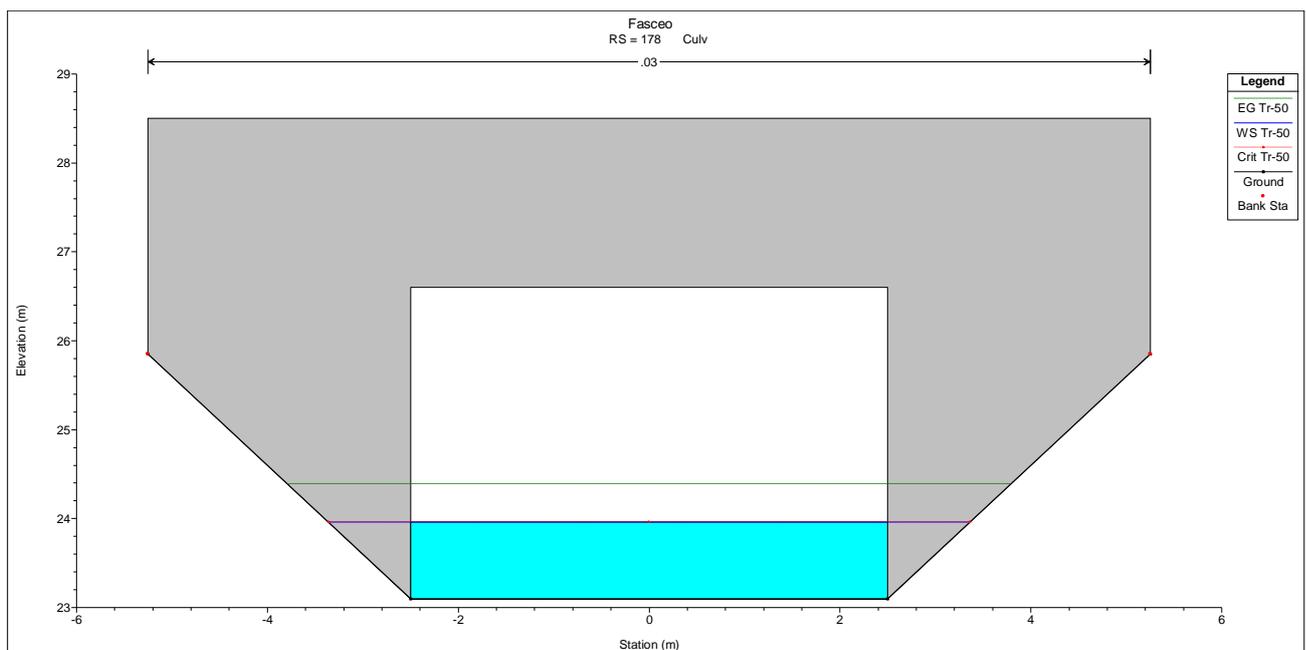


Figura 79 – Rio Fasceo: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto IN28

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Per completezza, nella tabella seguente si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento, nella configurazione di progetto.

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
<i>Sezione IN28</i>	24.50	24.90	25.17

Tabella 56: Rio Fasceo: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

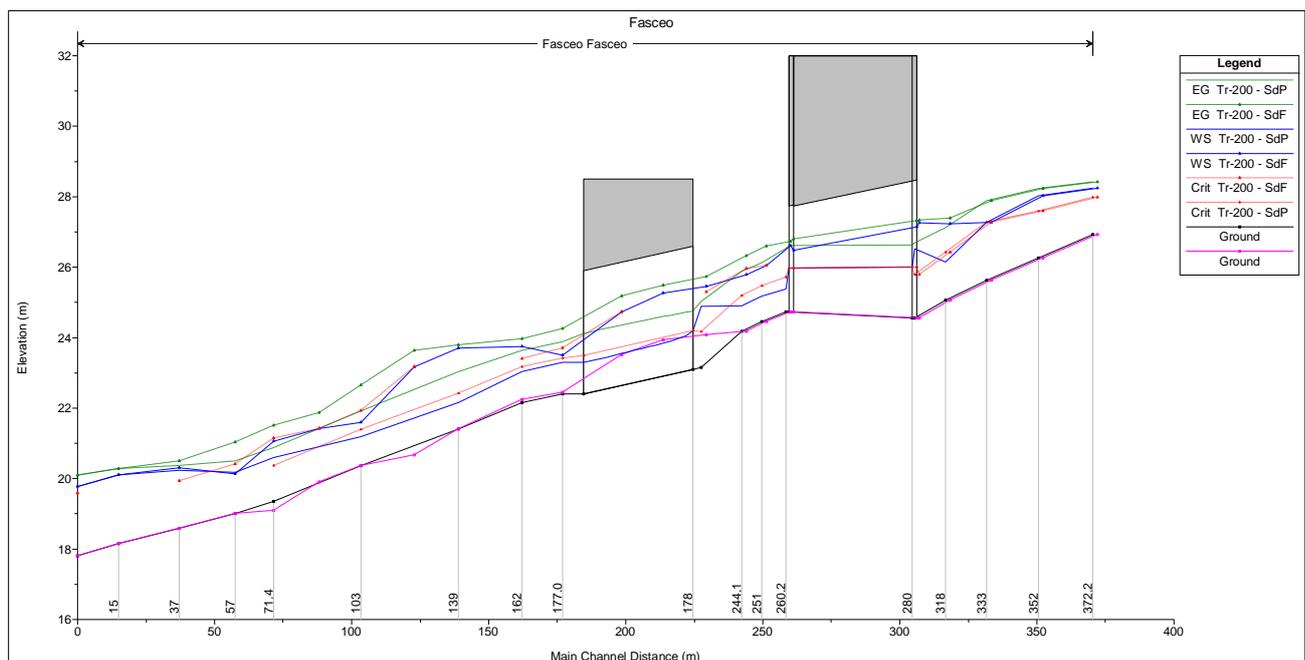


Figura 80 – Rio Fasceo: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano un sensibile miglioramento locale delle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc,

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	144 di 168

relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	21.9	1.47	0.59	26.92	28.39	28.14	28.56	0.007505	1.96	0.54
352	21.9	2.01	0.75	26.26	28.27	27.74	28.42	0.006388	1.78	0.49
333	21.9	1.84	0.96	25.63	27.47	27.47	28.13	0.034328	3.6	1
318	21.9	1.21	0.78	25.06	26.27	26.59	27.36	0.074408	4.62	1.52
307.3	21.9	2.22	1.25	24.56	26.78	25.93	26.96	0.006528	1.87	0.44
260.2	21.9	0.73	0.6	24.73	25.46	25.86	26.79	0.046644	5.1	1.96
251	21.9	0.81	0.65	24.45	25.26	25.6	26.36	0.034968	4.65	1.76
244.1	21.9	0.8	0.64	24.18	24.98	25.33	26.11	0.035697	4.69	1.78
177	21.9	1.03	0.79	22.4	23.43	23.55	24.06	0.015332	3.52	1.2
162	21.9	1.01	0.77	22.15	23.16	23.3	23.82	0.016405	3.6	1.23
139	21.9	0.86	0.67	21.4	22.26	22.55	23.23	0.039577	4.37	1.62
103	21.9	0.91	0.71	20.37	21.28	21.53	22.12	0.023393	4.06	1.46
71.4	21.9	1.43	1.01	19.35	20.77	20.5	21.07	50.55453	2.39	0.71
57	21.9	1.3	0.94	19.01	20.31		20.67	0.007028	2.68	0.83
37	21.9	1.79	1.21	18.58	20.37		20.54	0.002259	1.8	0.48
15	21.9	2.1	0.61	18.15	20.25		20.45	0.008671	2.01	0.57
0	21.9	2.09	0.52	17.81	19.9	19.83	20.25	0.018015	2.67	0.79

Tabella 57: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=500$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	17.90	1.32	0.53	26.92	28.24	27.98	28.41	0.008769	1.94	0.58
352	17.90	1.77	1.03	26.26	28.03	27.59	28.23	0.009560	1.99	0.59
333	17.90	1.65	0.88	25.63	27.28	27.28	27.88	0.034570	3.43	1.00
318	17.90	1.09	0.71	25.06	26.15	26.43	27.11	0.074576	4.35	1.51
307.3	17.90	1.96	1.14	24.56	26.52	25.79	26.68	0.006573	1.77	0.44
260.2	17.90	0.65	0.54	24.73	25.38	25.72	26.53	0.046355	4.74	1.94
251	17.90	0.73	0.59	24.45	25.18	25.46	26.12	0.033378	4.29	1.70
244.1	17.90	0.72	0.58	24.18	24.90	25.19	25.86	0.034847	4.35	1.74
177	17.90	0.89	0.70	22.40	23.29	23.41	23.88	0.016663	3.39	1.23
162	17.90	0.89	0.70	22.15	23.04	23.16	23.63	0.016663	3.39	1.23
139	17.90	0.75	0.61	21.40	22.15	22.41	23.03	0.041163	4.15	1.63
103	17.90	0.82	0.65	20.37	21.19	21.38	21.91	0.022824	3.77	1.43
71.4	17.90	1.25	0.92	19.35	20.60	20.36	20.87	52.862950	2.29	0.71
57	17.90	1.17	0.87	19.01	20.18		20.49	0.006741	2.49	0.80
37	17.90	1.66	1.14	18.58	20.24		20.37	0.002000	1.62	0.45
15	17.90	1.96	0.73	18.15	20.11		20.28	0.008553	1.87	0.56
0	17.90	1.96	0.58	17.81	19.77	19.58	20.09	0.018002	2.52	0.77

Tabella 58: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=200$ anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
372.2	12.50	0.99	0.55	26.92	27.91	27.74	28.13	0.015011	2.07	0.72
352	12.50	1.41	0.87	26.26	27.67	27.35	27.86	0.011200	1.93	0.62
333	12.50	1.36	0.76	25.63	26.99	26.99	27.49	0.034732	3.12	1.00
318	12.50	0.90	0.60	25.06	25.96	26.18	26.73	0.074322	3.89	1.49
307.3	12.50	1.58	0.97	24.56	26.14	25.57	26.27	0.006690	1.60	0.45
260.2	12.50	0.52	0.44	24.73	25.25	25.52	26.14	0.046335	4.17	1.90
251	12.50	0.60	0.50	24.45	25.05	25.26	25.75	0.030786	3.70	1.60
244.1	12.50	0.59	0.49	24.18	24.77	24.99	25.51	0.033873	3.82	1.68
177	12.50	0.71	0.58	22.40	23.11	23.21	23.60	0.018155	3.11	1.25
162	12.50	0.74	0.60	22.15	22.89	22.96	23.33	0.015682	2.96	1.17
139	12.50	0.59	0.49	21.40	21.99	22.21	22.73	0.045712	3.81	1.67
103	12.50	0.67	0.55	20.37	21.04	21.18	21.59	0.021410	3.28	1.35
71.4	12.50	1.13	0.85	19.35	20.48	20.16	20.65	36.347260	1.80	0.59
57	12.50	0.89	0.70	19.01	19.90	19.82	20.19	0.008127	2.37	0.86
37	12.50	1.39	0.99	18.58	19.97		20.07	0.001814	1.41	0.42
15	12.50	1.69	0.86	18.15	19.84		19.99	0.008871	1.71	0.55
0	12.50	1.72	0.77	17.81	19.53	19.34	19.79	0.018010	2.26	0.76

Tabella 59: Rio Fasceo: risultati della modellazione monodimensionale $Tr=50$ anni, principali grandezze caratteristiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

9.5 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

9.5.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g-1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.016*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d_{50} : 0.15 ÷ 0.70 m*

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 2.40 m/s e tirante = 0.60 m per il torrente Fasceo, nonché i valori $SF = 2$;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 55^\circ$, $Sg = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = \mathbf{0.66\ m}$ per i rivestimenti spondali. Si adotta $d_{50} = \mathbf{0.70\ m}$

9.5.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità ($9.81\ m/s^2$)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 4.30 m/s in alveo ($Tr = 200$ anni); $C = 0.86$; $S = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = \mathbf{0.82\ m}$. Si adotta $d_{50} = \mathbf{0.90\ m}$

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua ($1000\ Kg/m^3$)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 0.60 \cdot 0.046 = 26.7 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 0.60$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.046$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovvero sia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d . Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d . Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con $d_{50} = 0.90$ m:

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.90 = 72 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 26.7 \text{ kg/m}^2 < 72 \text{ kg/m}^2$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 72 / 26.7 = 2.6$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su $d_{50} = 0.90$ m che risultano quindi verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

9.6 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “IV0100D09RIID0001001A”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio Fasceo, si ottiene un valore della portata di progetto Tr200 proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 49).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr200) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Dimensioni	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
IN28	Tombino	5.0x4.0 m	2.07	1.43

Tabella 60: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “portate incrementate” per effetto dei cambiamenti climatici.

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 149 di 168

10 TORRENTE RIO AIVEGLIO (NVX3)

La zona di interesse è ubicata tra i Comuni di Albenga e di Villanova d'Albenga(SV), e precisamente presso l'interferenza del Rio Aiveglia con la viabilità di accesso all'area di deposito NVX3. L'area si trova circa 1,5 km prima a monte della confluenza del Torrente Aiveglia nel Fiume Centa, in una valle circondata da pendii boscosi.

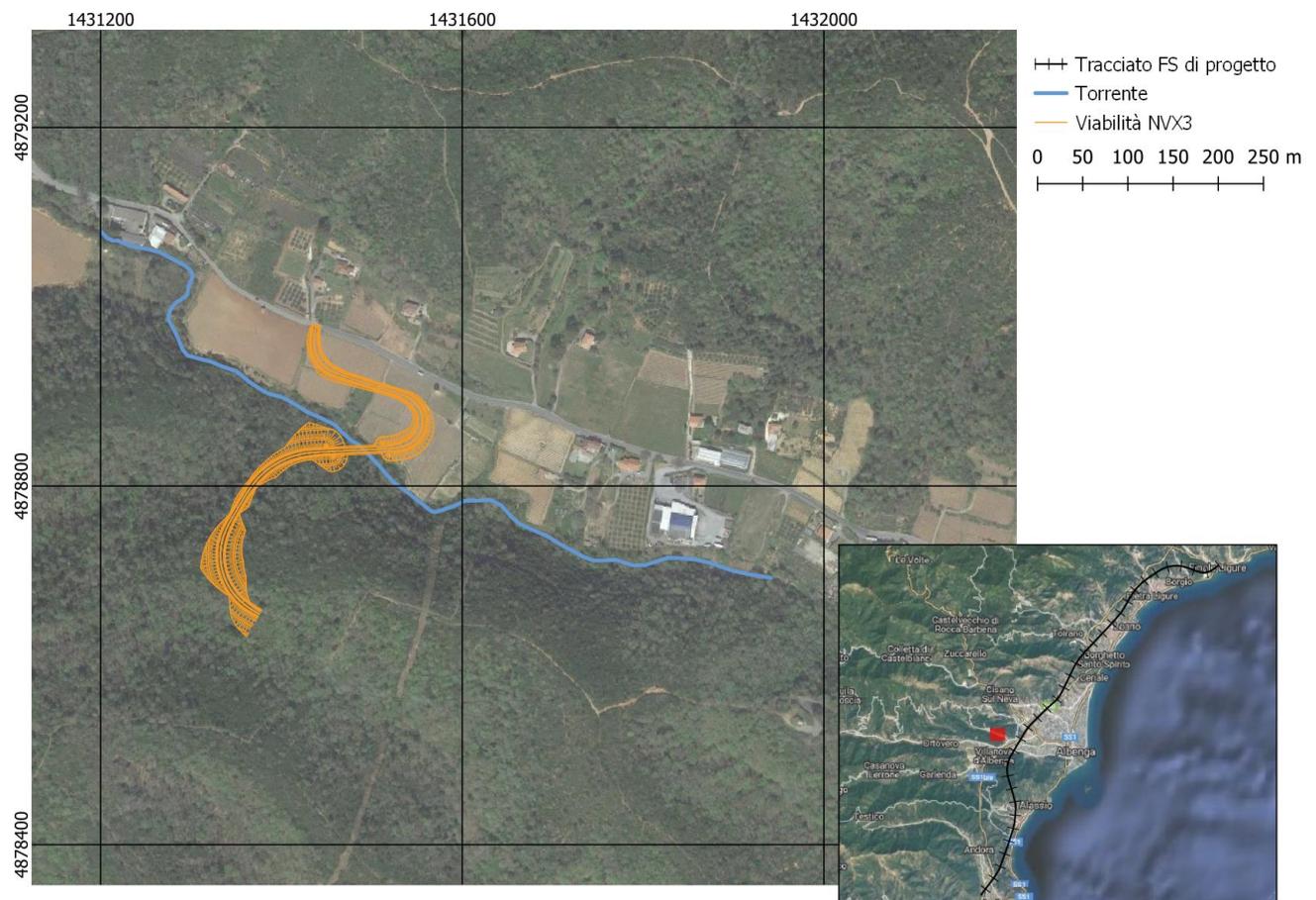


Figura 81 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.1 INTERVENTO DI PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova viabilità NVX3 per l'accesso al sito di deposito, per l'attraversamento del Rio Aiveglio è prevista la realizzazione di un viadotto.

L'intervento comprende, oltre alla realizzazione dell'opera di scavalco, anche la sistemazione spondale e dell'alveo del rio a monte e a valle del nuovo attraversamento. La sistemazione prevede la regolarizzazione del fondo alveo in una sezione trasversale a forma trapezia di larghezza al fondo pari a 4.00 m.

Lo sviluppo totale dell'intervento è pari a 100 m, 50 m a monte e 50 m a valle e prevede un rimodellamento dell'alveo attuale con la posa di massi intasati con materiale d'alveo su geotessile posizionato in questa sede per evitare l'asportazione del materiale fine sottostante. Le sponde sono anch'esse realizzate con massi ed avranno pendenza di 1 su 1 compatibilmente con la sezione d'alveo esistente.

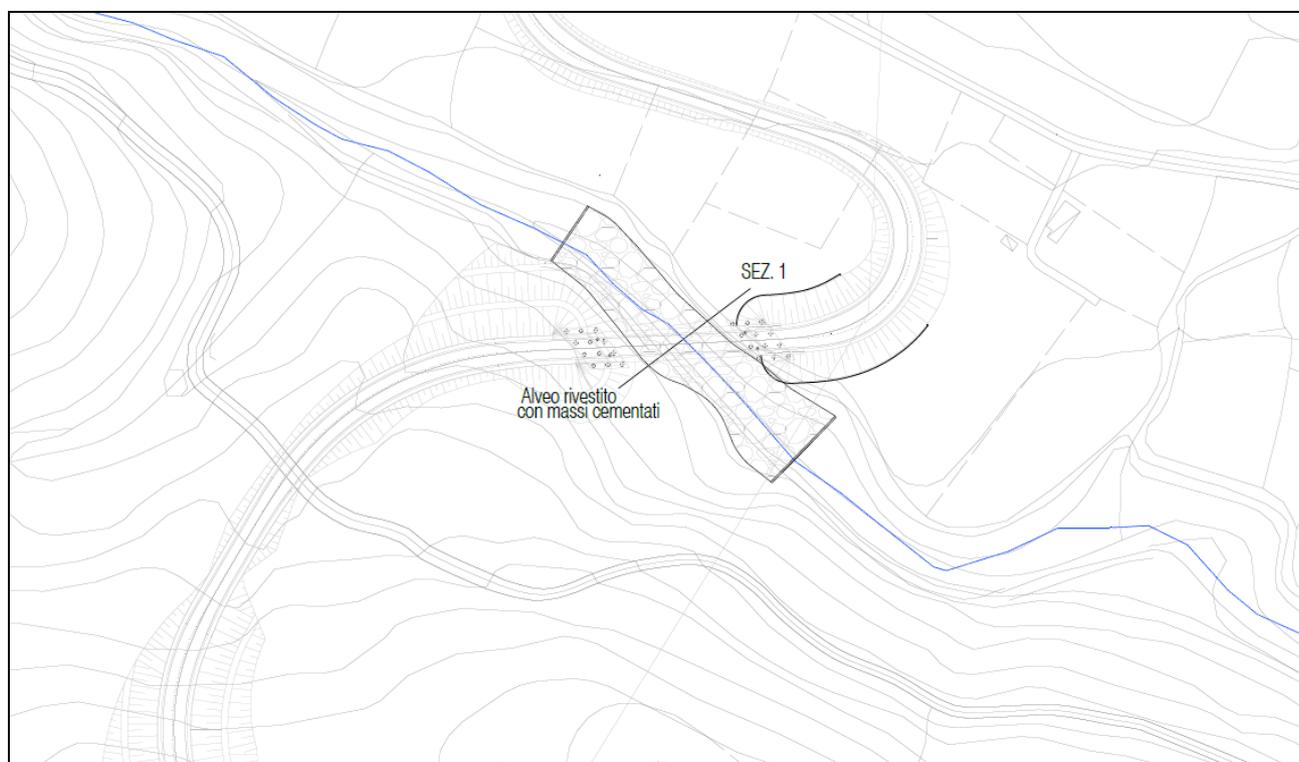


Figura 82 – Pianta attraversamento stradale Rio Aiveglio

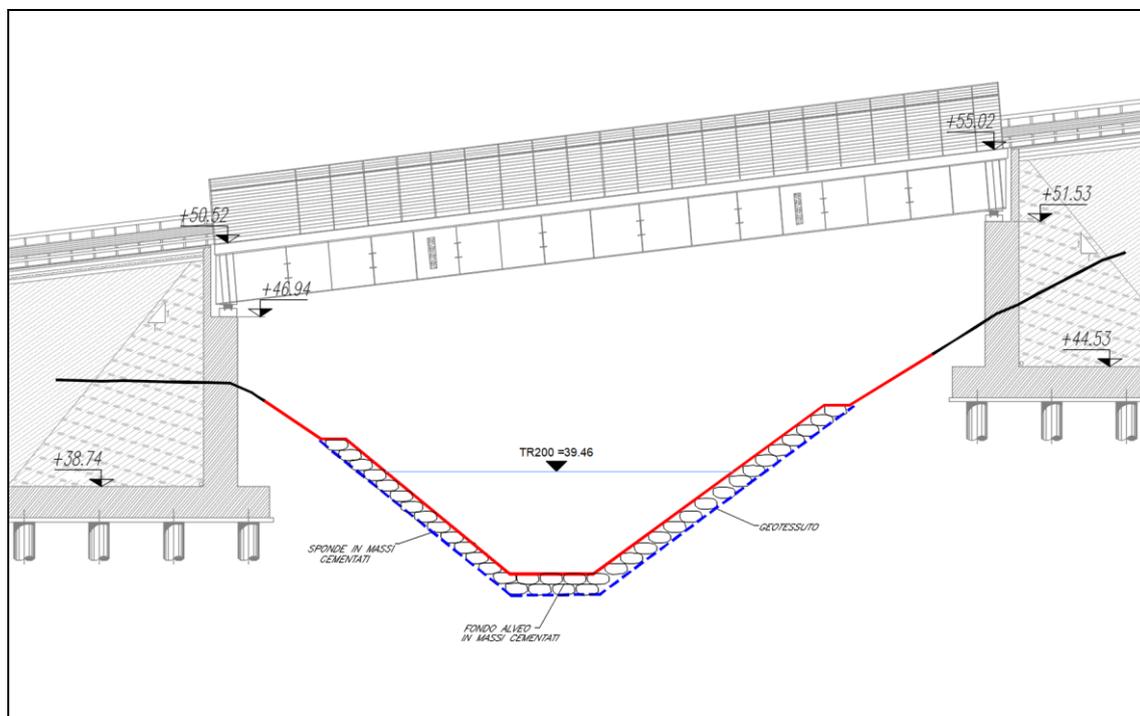


Figura 83 – Sezione di sistemazione idraulica tipologica di progetto attraversamento Rio Aiveglia

Per maggiori dettagli riguardo le sistemazioni del tratto d'alveo di interesse si rimanda alla consultazione delle tavole progettuali e di restituzione grafica delle elaborazioni modellistiche, in particolare:

- IV0100D26PZID0702001A
- IV0100D26PZID0702003A
- IV0100D26PZID0702002A
- IV0100D26PZID0702004A
- IV0100D26PZID0702005A

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B	FOGLIO 152 di 168

10.1.1 Attraversamento in fase di cantierizzazione

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova viabilità per l'accesso al sito di deposito con un nuovo viadotto sul Rio Aiveglio, pertanto, non è prevista interruzione di viabilità esistenti durante le lavorazioni.

Nell'intervento in esame quindi gli attraversamenti idraulici verranno realizzati in sede mediante scavo a cielo aperto e getto in opera, mentre il viadotto verrà poi costituito realizzando le zone di transizione ai lati del manufatto, secondo le modalità previste dal Manuale di Progettazione RFI del Corpo stradale, mentre la sistemazione d'alveo verrà effettuata in asse al corso esistente.

Pertanto, non si evidenziano problematiche che possano influenzare la realizzazione dell'opera, non interferendo con viabilità esistenti e in esercizio, sarà tuttavia da prevedere le lavorazioni in alveo nel periodo tra aprile e settembre in concomitanza dei mesi estivi al fine di procedere con le lavorazioni in sicurezza e in assenza di portata liquida che possa inficiare le operazioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.2 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

10.2.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria dell'NVX3, consistono esclusivamente nel DTM del Ministero dell'Ambiente.

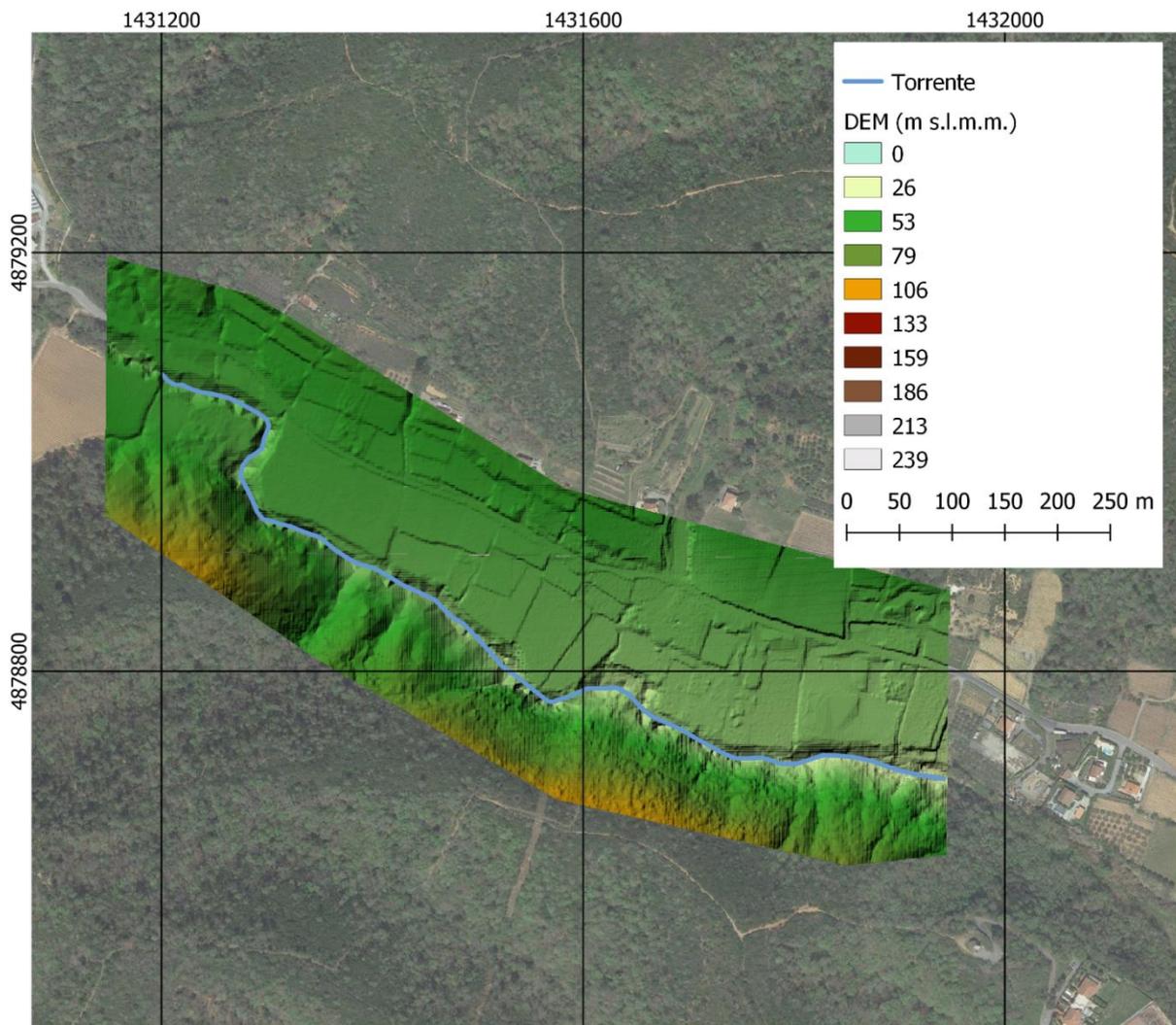


Figura 84: Informazioni topografiche a disposizione

A partire dal DTM esistente, in ambiente RAS sono state estratte 30 sezioni, con una distanza tra loro nell'ordine dei 30 m. Una volta estratte, ad alcune sezioni è stata modificata la quota di fondo alveo in modo da ottenere un profilo con pendenza mediamente costante ed evitando contropendenze legate solo all'imprecisione del DTM.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B



Figura 85: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

10.2.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno imposte al modello includono:

- Portate al colmo di riferimento in input a monte;
- condizione al contorno di valle: è stata imposta la condizione di *normal depth*, corrispondente ad una condizione di moto uniforme, localmente definita tramite il calcolo della pendenza del terreno, pari a 0.020.

Le portate al colmo sono state calcolate con il metodo CIMA, descritto nel Piano di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico del Torrente Carenda e riportato anche nella relazione idrologica, elaborato IV0I00D09RIID0001001A.

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	93.0
Tr 200	134.6
Tr 500	161.9

Tabella 61 – Valori di picco degli eventi estremi considerati

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.2.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, o informazioni sugli allagamenti definiti nel PAI dall'Autorità di Bacino, non è stato possibile effettuare una calibrazione. Pertanto, i valori di scabrezza sono stati assegnati secondo quanto suggerito dalla letteratura tecnica, sulla base della documentazione fotografica disponibile da sopralluogo e dalla fotointerpretazione di immagini satellitari. Il set di scabrezze impostato viene riportato nella tabella seguente secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

Copertura	n
Alveo	0.05
Pianura alluvionale	0.08

Tabella 62: Scabrezze adottate nel modello

10.2.4 Risultati dello stato attuale

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato attuale, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione a monte dell'attraversamento (corrispondente alla sezione RS 516 di progressiva 426.0). Tali livelli sono riassunti nella tabella che segue.

Sezione	Livello (m s.l.m.m.)
Tr 50	38.71
Tr 200	39.61
Tr 500	40.11

Tabella 63: Livelli massimi a monte dell'attraversamento ferroviario per tempo di ritorno

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	156 di 168

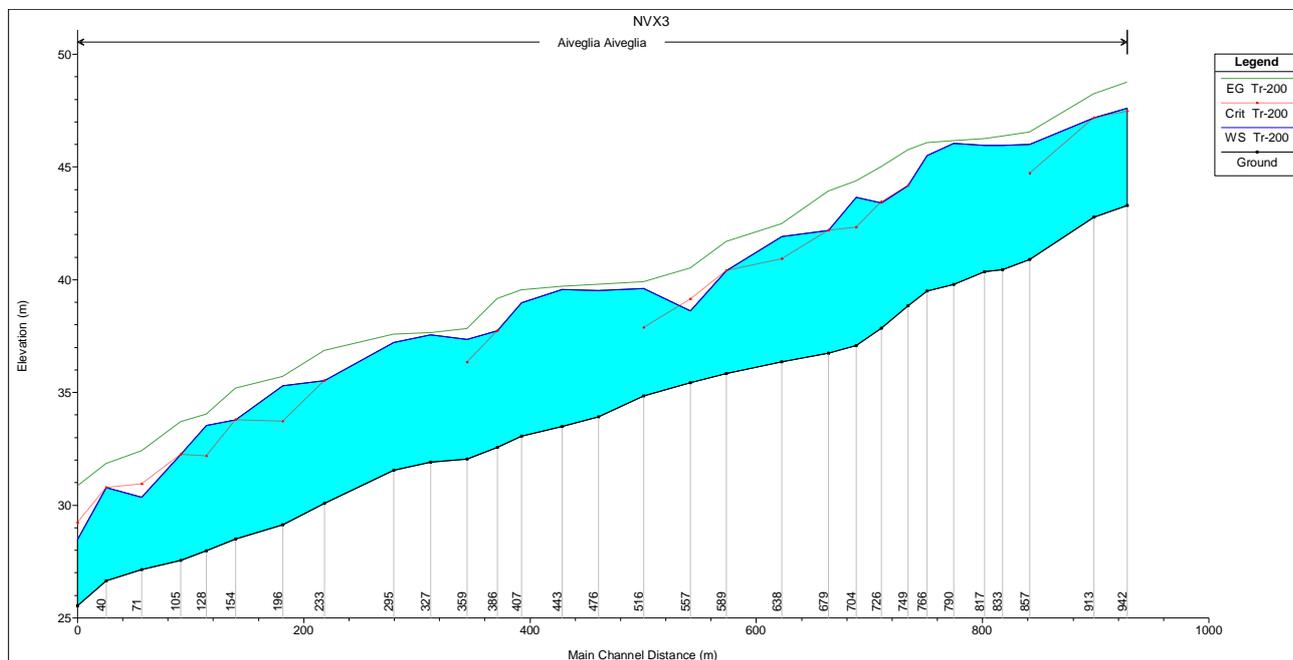


Figura 86: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

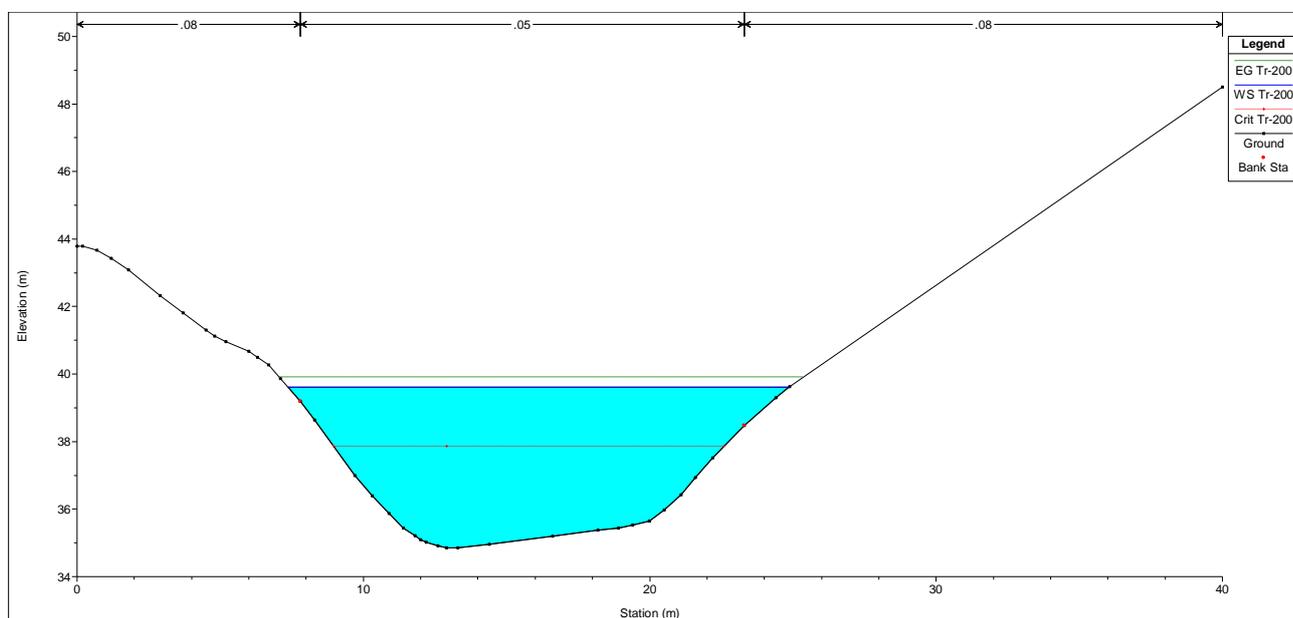


Figura 87: Sezione a monte dell'attraversamento in progetto RS 516 per l'evento Tr 200

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato ante-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	157 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	162.00	4.53	2.03	43.30	47.83	47.83	49.24	0.019294	5.41	0.96
913	162.00	4.64	1.85	42.78	47.42	47.54	48.63	0.017987	5.73	0.91
857	162.00	5.64	2.65	40.89	46.53	45.07	47.12	0.004994	3.50	0.52
833	162.00	6.08	2.41	40.45	46.53		46.95	0.004883	2.94	0.47
817	162.00	6.20	2.87	40.35	46.55		46.85	0.003452	2.42	0.41
790	162.00	6.83	3.11	39.80	46.63		46.75	0.000912	1.56	0.23
766	162.00	6.56	2.43	39.49	46.05		46.65	0.006131	3.49	0.52
749	162.00	5.77	1.92	38.85	44.62	44.62	46.35	0.030768	5.84	0.99
726	162.00	6.06	1.90	37.84	43.90	43.89	45.62	0.026849	5.89	0.97
704	162.00	7.16	2.35	37.08	44.24	42.76	45.03	0.008254	4.02	0.57
679	162.00	5.95	1.91	36.74	42.69	42.69	44.59	0.026711	6.18	0.95
638	162.00	5.99	2.37	36.35	42.34	41.28	42.94	0.008907	3.44	0.62
589	162.00	4.92	1.99	35.85	40.77	40.77	42.17	0.025264	5.24	1.00
557	162.00	3.44	1.80	35.44	38.88	39.47	41.01	0.047520	6.46	1.41
516	162.00	5.26	2.90	34.85	40.11	38.16	40.44	0.003105	2.54	0.40
476	162.00	6.12	2.94	33.91	40.03		40.32	0.002312	2.45	0.35
443	162.00	6.60	3.47	33.49	40.09		40.23	0.001169	1.66	0.25
407	162.00	6.39	2.40	33.07	39.46		40.09	0.008302	3.52	0.57
386	162.00	5.57	1.92	32.56	38.13	38.13	39.71	0.024262	5.62	0.96
359	162.00	5.74	2.04	32.05	37.79	36.68	38.28	0.006298	3.15	0.55
327	162.00	6.09	3.26	31.91	38.00		38.11	0.000895	1.70	0.24
295	162.00	6.13	1.99	31.55	37.68		38.03	0.004482	2.91	0.45
233	162.00	5.81	1.83	30.09	35.90	35.90	37.37	0.025043	5.45	0.95
196	162.00	6.62	2.60	29.14	35.76	34.08	36.22	0.005537	2.99	0.48
154	162.00	5.74	1.82	28.49	34.23	34.23	35.70	0.022405	5.46	0.92
128	162.00	6.07	2.58	27.98	34.05	32.55	34.59	0.005631	3.32	0.52
105	162.00	5.11	1.99	27.55	32.66	32.66	34.25	0.023646	5.63	0.96
71	162.00	3.40	1.65	27.15	30.55	31.27	32.97	0.056368	6.89	1.54
40	162.00	4.46	1.78	26.64	31.10	31.10	32.25	0.018672	4.88	0.94
14	162.00	3.16	1.33	25.54	28.70	29.49	31.28	0.069308	7.16	1.71

Tabella 64: Rio Aivoglio – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	135	4.31	1.94	43.3	47.61	47.48	48.76	0.01724	4.88	0.9
913	135	4.41	1.75	42.78	47.19	47.19	48.24	0.016393	5.25	0.86
857	135	5.1	2.43	40.89	45.99	44.71	46.54	0.005418	3.35	0.53
833	135	5.5	2.15	40.45	45.95		46.37	0.005684	2.92	0.49
817	135	5.62	2.68	40.35	45.97		46.26	0.003853	2.39	0.42
790	135	6.24	2.76	39.8	46.04		46.16	0.001043	1.53	0.24
766	135	6.01	2.29	39.49	45.5		46.06	0.006667	3.34	0.53
749	135	5.32	1.79	38.85	44.17	44.17	45.75	0.032277	5.57	1
726	135	5.56	1.74	37.84	43.4	43.45	45.02	0.030292	5.7	1
704	135	6.58	2.18	37.08	43.66	42.33	44.39	0.008786	3.82	0.57
679	135	5.44	1.77	36.74	42.18	42.18	43.93	0.028707	5.9	0.96
638	135	5.57	2.22	36.35	41.92	40.92	42.47	0.00925	3.29	0.62
589	135	4.55	1.9	35.85	40.4	40.4	41.69	0.026412	5.02	1
557	135	3.19	1.69	35.44	38.63	39.14	40.52	0.046157	6.09	1.37
516	135	4.76	2.7	34.85	39.61	37.86	39.91	0.003371	2.43	0.41
476	135	5.61	2.73	33.91	39.52		39.79	0.002365	2.31	0.35
443	135	6.08	3.21	33.49	39.57		39.69	0.001229	1.56	0.25
407	135	5.91	2.27	33.07	38.98		39.55	0.008903	3.34	0.58
386	135	5.17	1.78	32.56	37.73	37.73	39.17	0.025662	5.33	0.97
359	135	5.31	1.96	32.05	37.36	36.34	37.83	0.007106	3.05	0.57
327	135	5.65	3.02	31.91	37.56		37.65	0.000877	1.58	0.23
295	135	5.66	1.77	31.55	37.21		37.57	0.005173	2.89	0.48
233	135	5.42	1.69	30.09	35.51	35.51	36.86	0.026675	5.18	0.96
196	135	6.16	2.4	29.14	35.3	33.72	35.71	0.005628	2.83	0.48
154	135	5.3	1.7	28.49	33.79	33.79	35.18	0.024853	5.27	0.95
128	135	5.56	2.42	27.98	33.54	32.19	34.04	0.006111	3.18	0.53
105	135	4.69	1.86	27.55	32.24	32.24	33.7	0.025436	5.36	0.97
71	135	3.2	1.57	27.15	30.36	30.95	32.41	0.053191	6.35	1.48
40	135	4.15	1.64	26.64	30.79	30.79	31.85	0.01995	4.65	0.96
14	135	2.95	1.19	25.54	28.49	29.22	30.85	0.071725	6.82	1.71

Tabella 65: Rio Aivoglio – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	158 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	93.00	3.91	1.78	43.30	47.21	46.84	47.97	0.013444	3.92	0.77
913	93.00	3.79	1.48	42.78	46.56	46.56	47.50	0.017151	4.77	0.86
857	93.00	4.16	2.05	40.89	45.05	44.09	45.53	0.006519	3.09	0.56
833	93.00	4.48	2.10	40.45	44.93		45.35	0.007463	2.85	0.55
817	93.00	4.59	2.26	40.35	44.94		45.21	0.004580	2.33	0.45
790	93.00	5.19	2.08	39.80	44.99		45.10	0.001488	1.49	0.28
766	93.00	5.02	2.05	39.49	44.51		44.99	0.008183	3.07	0.56
749	93.00	4.68	1.61	38.85	43.53	43.36	44.69	0.029002	4.78	0.92
726	93.00	4.85	1.52	37.84	42.69	42.69	43.97	0.031652	5.05	0.99
704	93.00	5.56	1.87	37.08	42.64	41.58	43.24	0.010024	3.45	0.59
679	93.00	4.57	1.53	36.74	41.31	41.31	42.75	0.032884	5.32	0.99
638	93.00	4.80	1.92	36.35	41.15	40.26	41.61	0.009605	3.03	0.61
589	93.00	3.85	1.64	35.85	39.70	39.70	40.80	0.027835	4.65	1.00
557	93.00	2.71	1.46	35.44	38.15	38.53	39.65	0.044266	5.42	1.32
516	93.00	3.86	2.30	34.85	38.71	37.32	38.96	0.003993	2.23	0.43
476	93.00	4.71	2.33	33.91	38.62		38.83	0.002495	2.04	0.34
443	93.00	5.15	2.69	33.49	38.64		38.74	0.001322	1.41	0.25
407	93.00	5.06	1.96	33.07	38.13		38.60	0.009369	3.03	0.58
386	93.00	4.45	1.52	32.56	37.01	37.01	38.20	0.029976	4.83	1.00
359	93.00	4.57	1.91	32.05	36.62	35.72	37.03	0.008348	2.82	0.60
327	93.00	4.88	2.67	31.91	36.79		36.87	0.000811	1.35	0.22
295	93.00	4.87	1.42	31.55	36.42		36.78	0.006610	2.78	0.52
233	93.00	4.77	1.43	30.09	34.86	34.86	35.96	0.029726	4.65	0.97
196	93.00	5.32	2.10	29.14	34.46	33.04	34.79	0.006038	2.55	0.49
154	93.00	4.58	1.47	28.49	33.07	33.07	34.23	0.029088	4.79	0.98
128	93.00	4.66	2.07	27.98	32.64	31.51	33.07	0.006769	2.93	0.54
105	93.00	3.95	1.65	27.55	31.50	31.50	32.71	0.028878	4.86	1.00
71	93.00	3.94	1.87	27.15	31.09	30.38	31.58	0.008559	3.10	0.62
40	93.00	3.63	1.39	26.64	30.27	30.27	31.14	0.022052	4.16	0.96
14	93.00	2.52	1.23	25.54	28.06	28.73	30.08	0.074901	6.28	1.71

Tabella 66: Rio Aiveglio – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.3 MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO

10.3.1 Definizione della geometria

Partendo dal modello dello stato di fatto è stato costruito il modello dello stato di progetto aggiungendo l'attraversamento stradale.

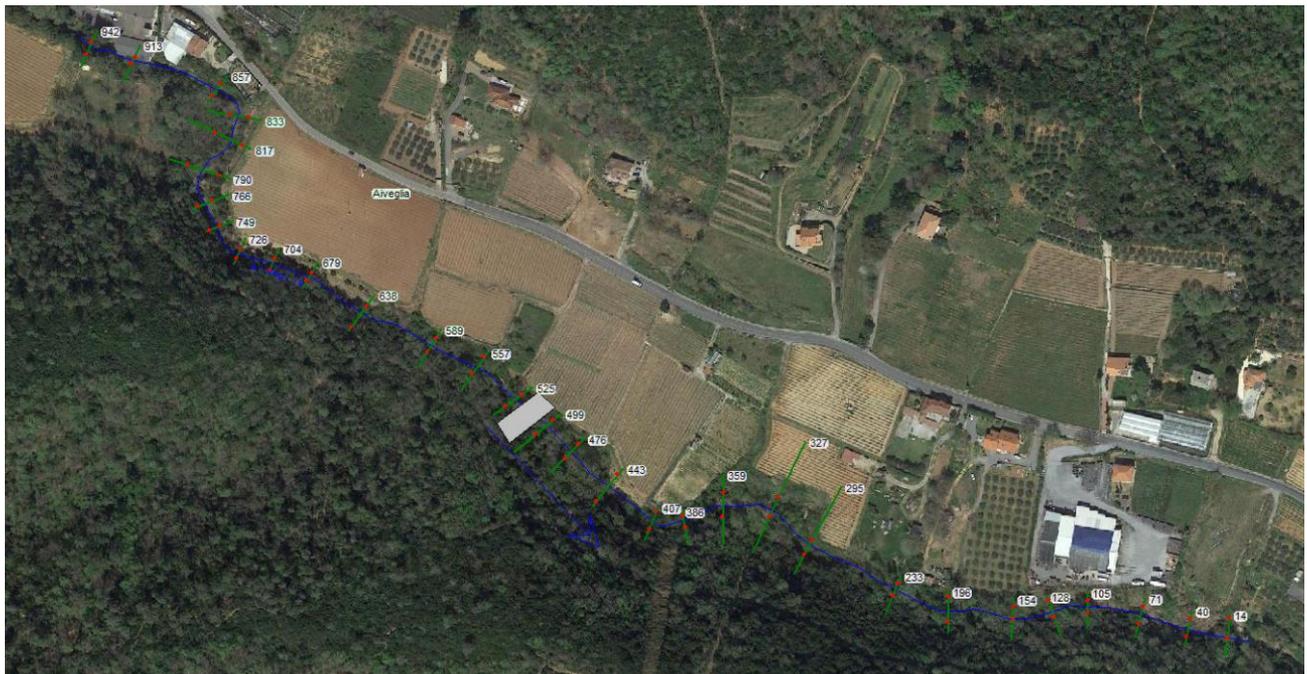


Figura 88: Vista planimetrica della geometria del modello (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello)

L'attraversamento di progetto è stato inserito nella geometria del modello come ponte, secondo le informazioni geometriche disponibili.

10.3.2 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza delle sistemazioni fluviali

Come condizioni al contorno sono state adottate le medesime condizioni del modello dello stato di fatto.

Visto che, non vengono effettuate alcune lavorazioni nell'alveo esistente i coefficienti di scabrezza sono rimasti inalterati rispetto al modello dello stato attuale.

I valori dei coefficienti di scabrezza adottati, come già esplicitato, sono coerenti o comunque più cautelativi rispetto a quelli richiesti per le modellazioni dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 e dai Piani di Bacino.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.3.3 Risultati dello stato di progetto

Il modello 1D è stato utilizzato per condurre tre simulazioni per lo scenario relativo allo stato di progetto, rispettivamente per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

I risultati ottenuti hanno portato all'identificazione dei tiranti e delle velocità nelle sezioni di calcolo, e in particolare dei livelli idrici che si instaurano durante gli eventi estremi presi in considerazione in corrispondenza degli attraversamenti idraulici e delle sistemazioni d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza delle opere di attraversamento in corrispondenza della sezione più critica, sono inoltre riportati valori da rispettare in funzione delle normative riportate nel paragrafo 4.

Da Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3 il Rio della Valletta, avendo un bacino di 7.1 km², è classificato come un bacino di I° categoria. Essendo il grado di dissesto del bacino del torrente medio/basso come ricavato della tavola 04_468_CSDV_DCP38_2015_CARENDA del Piano di Bacino, si è optato per adottare un valore del franco pari a 1.50 m avendo le opere di attraversamento estensione superiore a 12 m.

Codifica	Tipologia	Quota idrica	Franco idraulico	Franco NTC2018	FRANCO R.R. 2014	Franco M.d.P. RFI
NVX3	Viadotto	39.46 m s.m.m.	8.18 m	1.5 m	1.5 m	1.5 m

Tabella 67: Verifiche franchi idraulici

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono ampiamente garantiti per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI.

Le figure seguenti forniscono a scopo illustrativo i risultati in termini di tiranti idrici massimi il profilo longitudinale in riferimento all'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

PROGETTO DEFINITIVO

**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	161 di 168

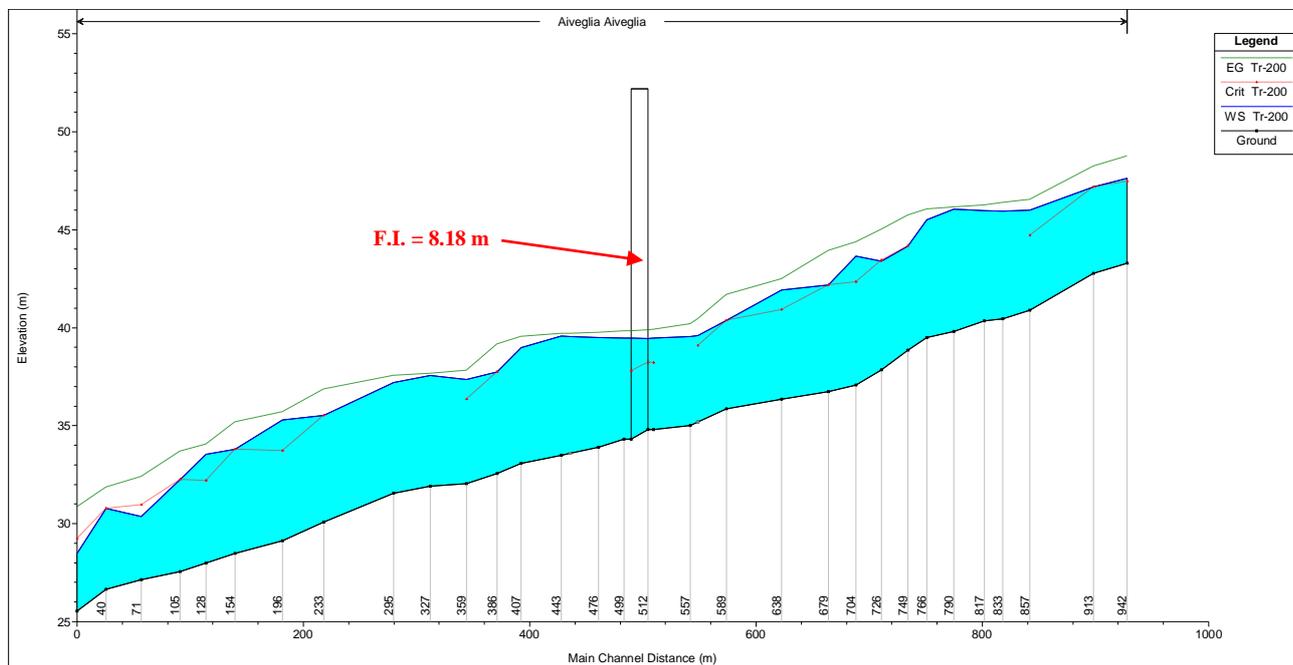


Figura 89: Profilo longitudinale per l'evento Tr 200

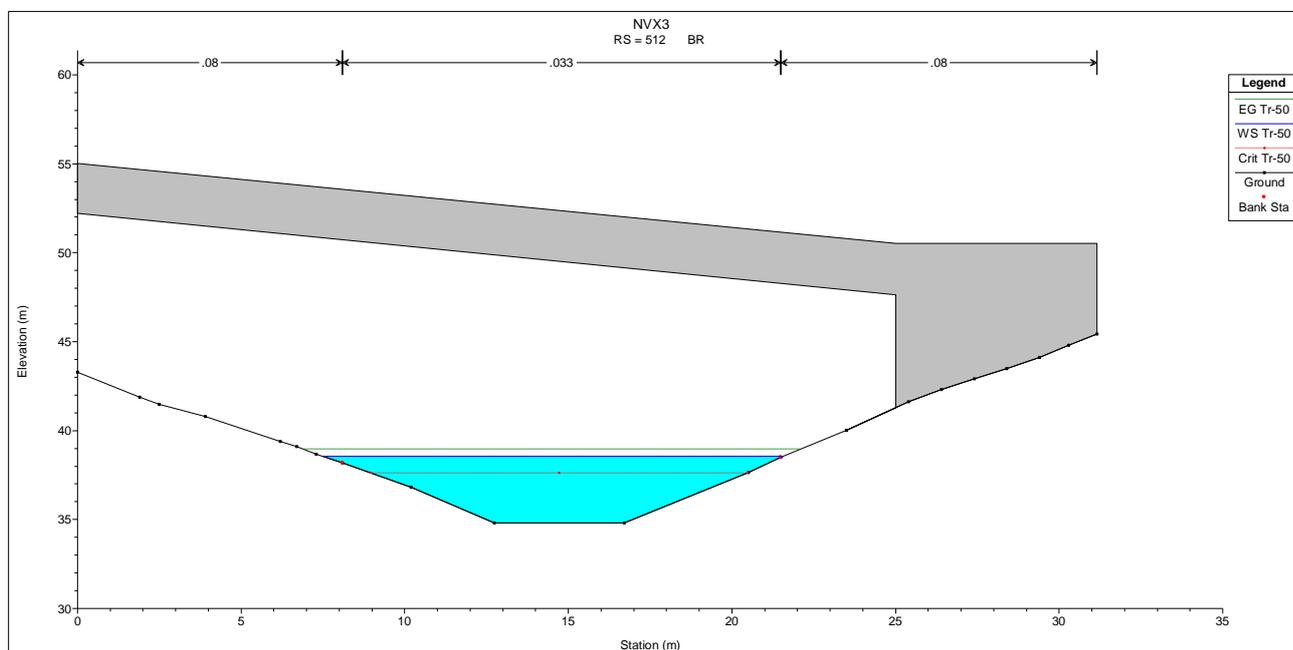


Figura 90 – Rio Aiveglio NVX3: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto

Per completezza, nella tabella seguente si riportano i livelli idrici per i vari tempi di ritorno considerati, in corrispondenza delle nuove opere di attraversamento, nella configurazione di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

	<i>h (m slm), Tr50 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr200 (post operam)</i>	<i>h (m slm), Tr500 (post operam)</i>
Sezione Viadotto	38.57	39.46	39.96

Tabella 68: Rio Aiveglia: livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, per i tempi di ritorno di riferimento

Nella figura seguente, si riporta il confronto in termini di profilo di rigurgito, per il tempo di ritorno di 200 anni, tra i due scenari, ante operam e post operam, simulati.

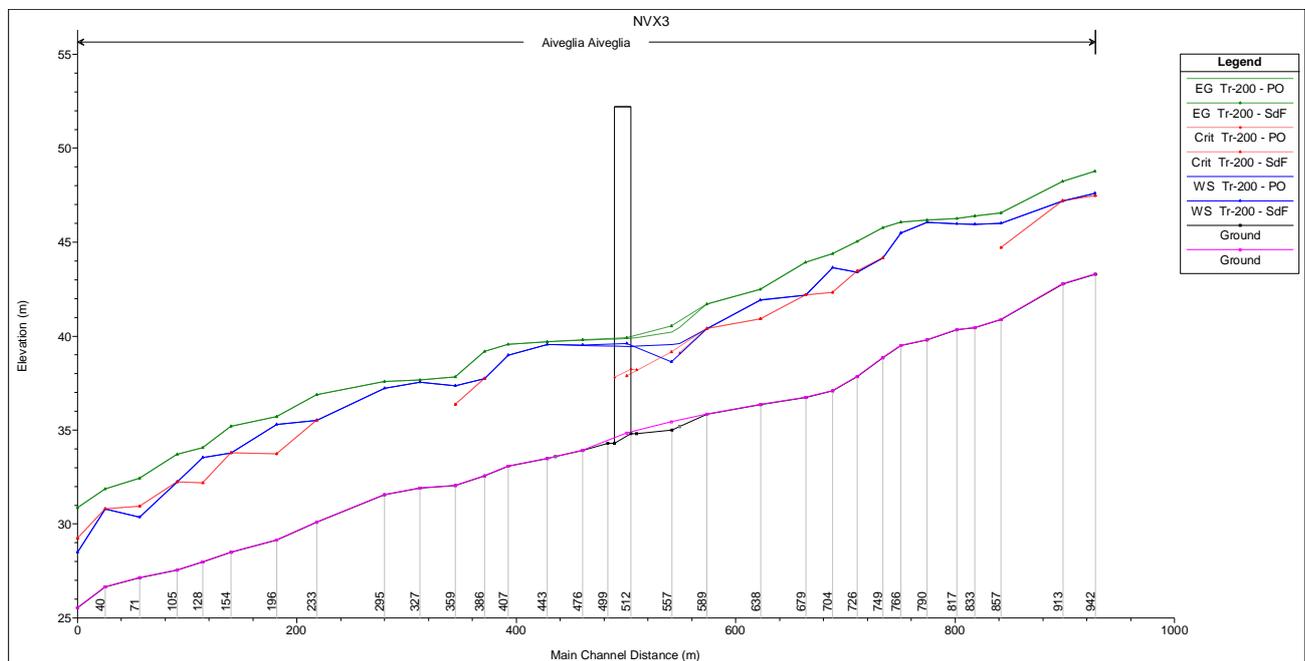


Figura 91 – Rio Aiveglia – NVX3: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

Come si evince dalla figura precedente, le opere in progetto comportano minime variazioni alle condizioni di deflusso nel tratto di attraversamento e di sistemazione idraulica, senza alterare/peggiore le attuali condizioni di deflusso lungo il restante tratto fluviale indagato. La riprofilatura d'alveo e la sistemazione del fondo portano ad una riduzione delle velocità poco prima dell'opera che causano allo stato di fatto il passaggio della corrente in critica.

Infine, si riportano le tabelle dei risultati della modellazione monodimensionale dello stato post-operam, con indicazione delle caratteristiche principali in termini di portate, livelli, velocità etc, relativamente agli scenari studiati caratterizzati da eventi con $Tr = 500$ anni, $Tr = 200$ anni e $Tr = 50$ anni.

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IVOI	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	163 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	162	4.53	2.03	43.3	47.83	47.83	49.24	0.019294	5.41	0.96
913	162	4.64	1.85	42.78	47.42	47.54	48.63	0.017987	5.73	0.91
857	162	5.64	2.65	40.89	46.53	45.07	47.12	0.004994	3.5	0.52
833	162	6.08	2.41	40.45	46.53		46.95	0.004883	2.94	0.47
817	162	6.2	2.87	40.35	46.55		46.85	0.003452	2.42	0.41
790	162	6.83	3.11	39.8	46.63		46.75	0.000912	1.56	0.23
766	162	6.56	2.43	39.49	46.05		46.65	0.006131	3.49	0.52
749	162	5.77	1.92	38.85	44.62	44.62	46.35	0.030768	5.84	0.99
726	162	6.06	1.9	37.84	43.9	43.89	45.62	0.026849	5.89	0.97
704	162	7.16	2.35	37.08	44.24	42.76	45.03	0.008254	4.02	0.57
679	162	5.95	1.91	36.74	42.69	42.69	44.59	0.026711	6.18	0.95
638	162	5.99	2.37	36.35	42.34	41.28	42.94	0.008875	3.43	0.62
589	162	4.91	1.99	35.85	40.76	40.76	42.17	0.025543	5.26	1
557	162	5.05	2.46	35	40.05		40.73	0.003888	3.64	0.63
476	162	6.1	2.93	33.91	40.01		40.3	0.001011	2.45	0.35
443	162	6.6	3.47	33.49	40.09		40.23	0.001169	1.66	0.25
407	162	6.39	2.4	33.07	39.46		40.09	0.008302	3.52	0.57
386	162	5.57	1.92	32.56	38.13	38.13	39.71	0.024262	5.62	0.96
359	162	5.74	2.04	32.05	37.79	36.68	38.28	0.006298	3.15	0.55
327	162	6.09	3.26	31.91	38		38.11	0.000895	1.7	0.24
295	162	6.13	1.99	31.55	37.68		38.03	0.004482	2.91	0.45
233	162	5.81	1.83	30.09	35.9	35.9	37.37	0.025043	5.45	0.95
196	162	6.62	2.6	29.14	35.76	34.08	36.22	0.005537	2.99	0.48
154	162	5.74	1.82	28.49	34.23	34.23	35.7	0.022405	5.46	0.92
128	162	6.07	2.58	27.98	34.05	32.55	34.59	0.005631	3.32	0.52
105	162	5.11	1.99	27.55	32.66	32.66	34.25	0.023646	5.63	0.96
71	162	3.4	1.65	27.15	30.55	31.27	32.97	0.056368	6.89	1.54
40	162	4.46	1.78	26.64	31.1	31.1	32.25	0.018672	4.88	0.94
14	162	3.16	1.33	25.54	28.7	29.49	31.28	0.069308	7.16	1.71

Tabella 69: Rio Aiveglia – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=500 anni, principali grandezze caratteristiche

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m³/s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	135.00	4.31	1.94	43.30	47.61	47.48	48.76	0.017240	4.88	0.90
913	135.00	4.41	1.75	42.78	47.19	47.19	48.24	0.016393	5.25	0.86
857	135.00	5.10	2.43	40.89	45.99	44.71	46.54	0.005418	3.35	0.53
833	135.00	5.50	2.15	40.45	45.95		46.37	0.005684	2.92	0.49
817	135.00	5.62	2.68	40.35	45.97		46.26	0.003853	2.39	0.42
790	135.00	6.24	2.76	39.80	46.04		46.16	0.001043	1.53	0.24
766	135.00	6.01	2.29	39.49	45.50		46.06	0.006667	3.34	0.53
749	135.00	5.32	1.79	38.85	44.17	44.17	45.75	0.032277	5.57	1.00
726	135.00	5.56	1.74	37.84	43.40	43.45	45.02	0.030292	5.70	1.00
704	135.00	6.58	2.18	37.08	43.66	42.33	44.39	0.008786	3.82	0.57
679	135.00	5.44	1.77	36.74	42.18	42.18	43.93	0.028707	5.90	0.96
638	135.00	5.58	2.22	36.35	41.93	40.92	42.48	0.009185	3.28	0.62
589	135.00	4.54	1.89	35.85	40.39	40.39	41.69	0.026936	5.05	1.01
557	135.00	4.56	2.27	35.00	39.56		40.20	0.004278	3.54	0.65
476	135.00	5.59	2.71	33.91	39.50		39.76	0.001037	2.31	0.35
443	135.00	6.08	3.21	33.49	39.57		39.69	0.001229	1.56	0.25
407	135.00	5.91	2.27	33.07	38.98		39.55	0.008903	3.34	0.58
386	135.00	5.17	1.78	32.56	37.73	37.73	39.17	0.025662	5.33	0.97
359	135.00	5.31	1.96	32.05	37.36	36.34	37.83	0.007106	3.05	0.57
327	135.00	5.65	3.02	31.91	37.56		37.65	0.000877	1.58	0.23
295	135.00	5.66	1.77	31.55	37.21		37.57	0.005173	2.89	0.48
233	135.00	5.42	1.69	30.09	35.51	35.51	36.86	0.026675	5.18	0.96
196	135.00	6.16	2.40	29.14	35.30	33.72	35.71	0.005628	2.83	0.48
154	135.00	5.30	1.70	28.49	33.79	33.79	35.18	0.024853	5.27	0.95
128	135.00	5.56	2.42	27.98	33.54	32.19	34.04	0.006111	3.18	0.53
105	135.00	4.69	1.86	27.55	32.24	32.24	33.70	0.025436	5.36	0.97
71	135.00	3.20	1.57	27.15	30.36	30.95	32.41	0.053191	6.35	1.48
40	135.00	4.15	1.64	26.64	30.79	30.79	31.85	0.019950	4.65	0.96
14	135.00	2.95	1.19	25.54	28.49	29.22	30.85	0.071725	6.82	1.71

Tabella 70: Rio Aiveglia – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=200 anni, principali grandezze caratteristiche

PROGETTO DEFINITIVO
**Relazione idraulica corsi d'acqua
secondari (1D)**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RH	ID 0002 001	B	164 di 168

Progressiva	Portata	Tirante massimo	Raggio idraulico	Thalweg	Quota idrica	Livello critico	Quota energia	Pendenza energia	Velocità	Numero di Froude
[m]	[m ³ /s]	[m]	[m]	[m]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m/m]	[m/s]	
942	93.00	3.91	1.78	43.30	47.21	46.84	47.97	0.013444	3.92	0.77
913	93.00	3.79	1.48	42.78	46.56	46.56	47.50	0.017151	4.77	0.86
857	93.00	4.16	2.05	40.89	45.05	44.09	45.53	0.006519	3.09	0.56
833	93.00	4.48	2.10	40.45	44.93		45.35	0.007463	2.85	0.55
817	93.00	4.59	2.26	40.35	44.94		45.21	0.004580	2.33	0.45
790	93.00	5.19	2.08	39.80	44.99		45.10	0.001488	1.49	0.28
766	93.00	5.02	2.05	39.49	44.51		44.99	0.008183	3.07	0.56
749	93.00	4.68	1.61	38.85	43.53	43.36	44.69	0.029002	4.78	0.92
726	93.00	4.85	1.52	37.84	42.69	42.69	43.97	0.031652	5.05	0.99
704	93.00	5.56	1.87	37.08	42.64	41.58	43.24	0.010024	3.45	0.59
679	93.00	4.57	1.53	36.74	41.31	41.31	42.75	0.032884	5.32	0.99
638	93.00	4.80	1.92	36.35	41.15	40.26	41.62	0.009585	3.03	0.61
589	93.00	3.85	1.64	35.85	39.70	39.70	40.80	0.027995	4.66	1.01
557	93.00	3.70	1.94	35.00	38.70	38.00	39.27	0.005027	3.34	0.68
476	93.00	4.68	2.32	33.91	38.59		38.80	0.001097	2.04	0.34
443	93.00	5.15	2.69	33.49	38.64		38.74	0.001322	1.41	0.25
407	93.00	5.06	1.96	33.07	38.13		38.60	0.009369	3.03	0.58
386	93.00	4.45	1.52	32.56	37.01	37.01	38.20	0.029976	4.83	1.00
359	93.00	4.57	1.91	32.05	36.62	35.72	37.03	0.008348	2.82	0.60
327	93.00	4.88	2.67	31.91	36.79		36.87	0.000811	1.35	0.22
295	93.00	4.87	1.42	31.55	36.42		36.78	0.006610	2.78	0.52
233	93.00	4.77	1.43	30.09	34.86	34.86	35.96	0.029726	4.65	0.97
196	93.00	5.32	2.10	29.14	34.46	33.04	34.79	0.006038	2.55	0.49
154	93.00	4.58	1.47	28.49	33.07	33.07	34.23	0.029088	4.79	0.98
128	93.00	4.66	2.07	27.98	32.64	31.51	33.07	0.006769	2.93	0.54
105	93.00	3.95	1.65	27.55	31.50	31.50	32.71	0.028878	4.86	1.00
71	93.00	3.94	1.87	27.15	31.09	30.38	31.58	0.008559	3.10	0.62
40	93.00	3.63	1.39	26.64	30.27	30.27	31.14	0.022052	4.16	0.96
14	93.00	2.52	1.23	25.54	28.06	28.73	30.08	0.074901	6.28	1.71

Tabella 71: Rio Aiveglia – NVX3: risultati della modellazione monodimensionale Tr=50 anni, principali grandezze caratteristiche

Per la visione di tutti i risultati grafici dell'analisi modellistica si rimanda alla visione dell'allegato alla presente relazione tecnica.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.4 OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Come anticipato, si prevedono opere di riprofilatura e sistemazione idraulica del torrente in esame in corrispondenza delle opere di attraversamento, a monte e a valle delle stesse. Tali interventi consistono in riprofilature spondali e del fondo alveo, secondo una sezione trapezoidale, sponde 1/1, di altezza e larghezza variabile.

10.4.1 Verifica spondale

Si prevede la posa in opera di rivestimenti spondali in massi cementati; sebbene cementati, si è proceduto comunque al dimensionamento dei massi di protezione, nell'eventualità di asportazione della malta cementizia a seguito di fenomeni abrasivi esercitati nel tempo dalla corrente.

A tal fine, si è fatto riferimento alla seguente formula (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui d_{50} = diametro medio dei massi; V_a = velocità media in sponda (ft/s); d_{avg} = tirante medio (ft); $C_{sg} = 2.12/(S_g - 1)^{1.5}$; S_g = peso specifico dei massi (t/mc); $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$ (SF = coefficiente di sicurezza, $\in [1; 2]$); $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua oggetto di studio):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.016*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d_{50} : 0.15 ÷ 0.70 m*

Con riferimento alla formulazione (*), adottando il valore di velocità media in sponda nel tratto più sollecitato ($Tr = 200$ anni) 2.90 m/s e tirante = 4.50 m per il Torrente NVX3, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 55^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: **$d_{50} = 0.43$ m** per i rivestimenti spondali. Si adotta **$d_{50} = 0.50$ m**.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.4.2 Verifica in alveo

Sul fondo alveo si prevede invece un rivestimento in massi sciolti, opportunamente dimensionati. A tal proposito si è fatto riferimento a due formulazioni in modo da comparare i risultati:

1. Blevins, 2003; NCHRP, 2006:
$$d_{50} = \frac{V^2}{2g \cdot C^2 (S-1)} (**)$$

in cui:

- C = costante di Isbach ($C = 0.86$ per condizioni di flusso fortemente turbolento, $C = 1.2$ per condizioni di flusso debolmente turbolento)
- d_{50} = diametro medio dei massi di protezione (m)
- g = accelerazione di gravità (9.81 m/s^2)
- S = peso specifico dei massi
- V = velocità della corrente in alveo (m/s)

Con riferimento al rivestimento sul fondo alveo (massi sciolti), applicando la formulazione (**) con i parametri: velocità = 3.80 m/s in alveo ($Tr = 200 \text{ anni}$); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: $d_{50} = \mathbf{0.64 \text{ m}}$.
Si adotta $d_{50} = \mathbf{0.70 \text{ m}}$

2. Shields
$$\tau_c = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot D (***)$$

in cui:

- τ_c = tensione massima di trascinamento (kg/m^2)
- C^* = coefficiente di Shields, dimensionale (generalmente 0.04 - 0.06)
- γ_m = peso specifico del materiale d'alveo
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 Kg/m^3)
- D = diametro dei massi al fondo (m)

Per quanto riguarda le protezioni dell'alveo la resistenza al trascinamento è garantita dal peso del materiale costituente la protezione: per i massi cementati non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La formula per calcolare la tensione tangenziale massima al fondo fa riferimento al raggio idraulico R_H (m) e alla pendenza del fondo i_f :

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

Affinché ci sia la stabilità del fondo la tensione tangenziale massima non deve eccedere la tensione massima di trascinamento per cui: $\tau_b < \tau_c$

A favore di sicurezza si individua il raggio idraulico maggiore R_H (m) nel tratto di sistemazione idraulica, e si ottengono i seguenti risultati:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 2.40 \cdot 0.015 = 36 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 2.40$ m raggio idraulico
- $i_f = 0.015$ pendenza del fondo alveo

La soglia del coefficiente di Shields di incipiente movimento risulta dipendere dal numero di Reynolds soprattutto ai valori inferiori di Re. Agli alti numeri di Reynolds il fenomeno risulta di fatto indipendente da Re (la viscosità non ha più alcun effetto). Peraltro, nella maggior parte dei casi reali, si ha $Re > 100$, e conseguentemente è lecito assumere coefficiente di Shields costante. Nel campo ai maggiori numeri di Reynolds, la maggior parte dei punti sperimentali è compresa in $0.04 \div 0.06$, ma si arriva anche a 0.1.

I risultati dell'abaco di Shields valgono se le dimensioni dei granelli sono piccole rispetto a quelle della corrente, ovvero sia per valori non piccoli del grado di sommergenza h/d . Per $h/d < 6$ la soglia di incipiente equilibrio deve essere corretta, risultando questa inversamente correlata con h/d . Si noti che bassi valori di h/d sono tipici dei torrenti montani, caratterizzati da granulometrie non fini e pendenze elevate, che inducono limitate altezze d'acqua. Le formulazioni di correzione al coefficiente di Shields portano ad un graduale aumento del coefficiente in ragione del diminuire del rapporto h/d quale per esempio la formula di Armanini, tuttavia, per semplicità e per prudenza il parametro di Shields viene assunto costante e cautelativo pari a 0.05, pertanto, assumendo massi con $d_{50} = 0.70$ m:

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.70 = 56 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 36 \text{ kg/m}^2 < 56 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 56 / 36 = 1.6$

Pertanto, la scelta dei massi ricade su $d_{50} = 0.70$ m che risultano quindi verificati per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica corsi d'acqua secondari (1D)	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0002 001	REV. B

10.5 OPERE EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “*IV0100D09RIID0001001A*”), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche di riferimento, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell’elaborazione dei risultati dei modelli meteo-climatici sviluppati dall’IPCC) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo compreso tra il 9,2% e il 12,9%.

Applicando tali incrementi alle portate di progetto del Rio Aiveglia, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 corrispondente alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (cfr. Tabella 61).

Con riferimento agli elaborati grafici annessi allo studio idraulico, riportanti i livelli idrici le aree per $Tr = 500$ anni, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (Tr_{200}) ad oggi esaminata; di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di progetto al 2090), degli attraversamenti studiati nel presente documento.

Codifica	Tipologia	Livello idrico TR 500 [m]	Franco TR 500 [m]
NVX3	Viadotto	5.15	7.69

Tabella 72: Verifiche franchi idraulici con TR500 anni

Sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero comunque (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “*portate incrementate*” per effetto dei cambiamenti climatici.