

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S.O. IDRAULICA E IDROLOGIA

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica – Torrente Bottassano

SCALA:

-

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

IV01 00 D 09 RI ID0002 005 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Polverelli	Gen. 2022	C. Cesali	Gen. 2022	G. Fadda	Gen. 2022	F. Cabas Giugno 2024
B	Emissione esecutiva	M. Angione	Giugno 2024	C. Cesali	Giugno 2024	M. Firpo	Giugno 2024	ITALFERR S.p.A. Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n. 15744 Ing. Fabrizio Cabas

File: IV0100D09RIID0002005B.doc

n. Elab.:

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

INDICE

1	PREMESSA	4
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3	STUDIO IDRAULICO.....	8
3.1	GENERALITÀ	8
3.2	DATI DI BASE	8
3.2.1	DATI TOPOGRAFICI.....	8
3.2.2	DATI IDROLOGICO-IDRAULICI	9
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO	9
3.3.1	APPROCCIO MATEMATICO (1D).....	9
3.3.2	GENERAZIONE DELLA GEOMETRIA DEL MODELLO.....	24
4	VINCOLI NORMATIVI GENERALI	25
5	TORRENTE BOTTASSANO	28
5.1	INQUADRAMENTO	28
5.2	INTERVENTO DI PROGETTO.....	29
5.3	MODELLO DELLO STATO ATTUALE.....	31
5.3.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	31
5.3.2	CONDIZIONI AL CONTORNO	34
5.3.3	CALIBRAZIONE.....	35
5.3.4	RISULTATI DELLO STATO ATTUALE	37
5.4	MODELLO DELLO STATO DI PROGETTO	42
5.4.1	DEFINIZIONE DELLA GEOMETRIA	42
5.4.2	CONDIZIONI AL CONTORNO E COEFFICIENTI DI SCABREZZA DELLE SISTEMAZIONI FLUVIALI	43
5.4.3	RISULTATI DELLO STATO DI PROGETTO.....	43
5.5	OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA	49
5.5.1	VERIFICA SPONDALE.....	49
5.5.2	VERIFICA IN ALVEO.....	50
5.6	VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE	52

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0002 005</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 3 di 61</p>

5.7	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO	58
5.8	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	59

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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.

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 e il Torrente Bottassano.



Figura 1: Corsi d'acqua secondari oggetto dello studio: localizzazione del T. Bottassano.

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

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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 disponibili/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.

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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 Nimbalto; 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;
- 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;

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B	FOGLIO 7 di 61

- 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 tutela delle 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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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, fondamentale 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.

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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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).

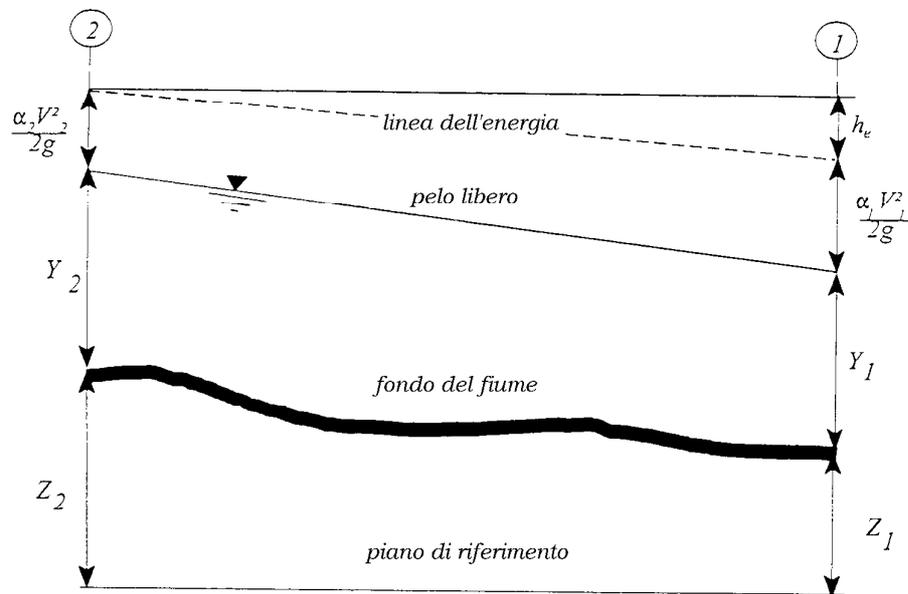


Figura 2 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

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.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

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).

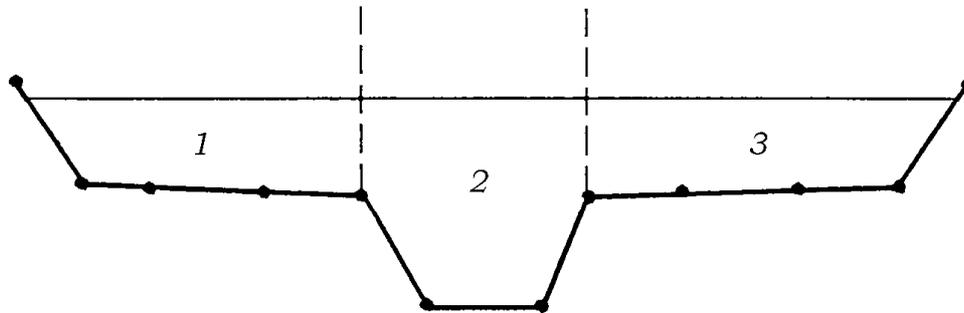


Figura 3 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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.

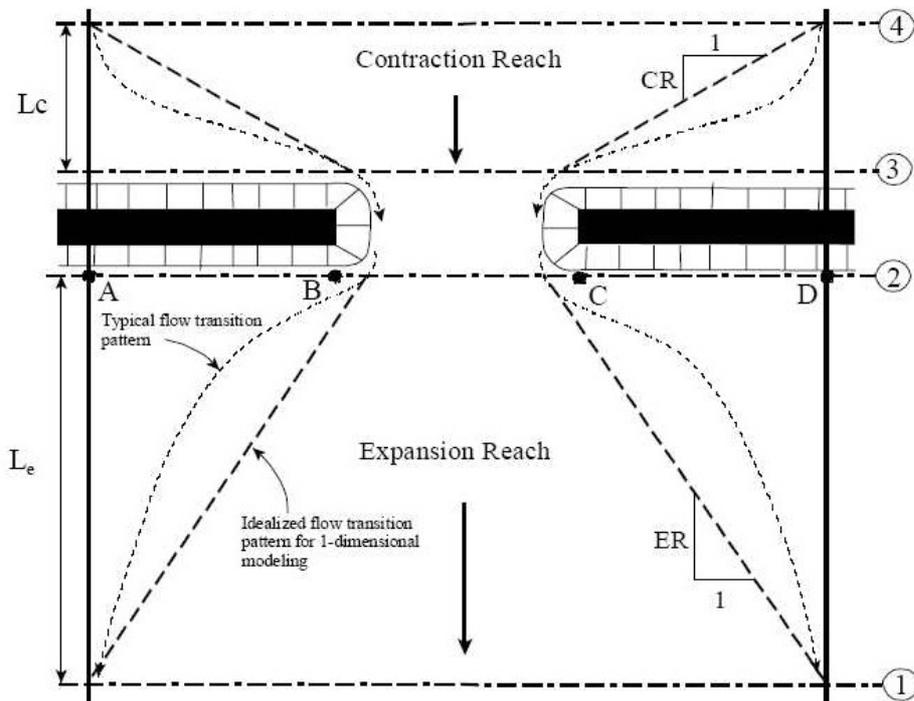


Figura 4 – Posizionamento delle sezioni idrauliche per il calcolo dei ponti in Hec-Ras.

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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 vogliono posizionare. Tale processo comunque converge molto rapidamente e difficilmente si effettua più di 1,2 volte il calcolo.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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;

g accelerazione di gravità;

F_f forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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 sopralzo 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;
- α rapporto tra l'area occupata dalle pile e l'area non ostruita nella sezione 2;
- V_2 velocità nella sezione 2.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

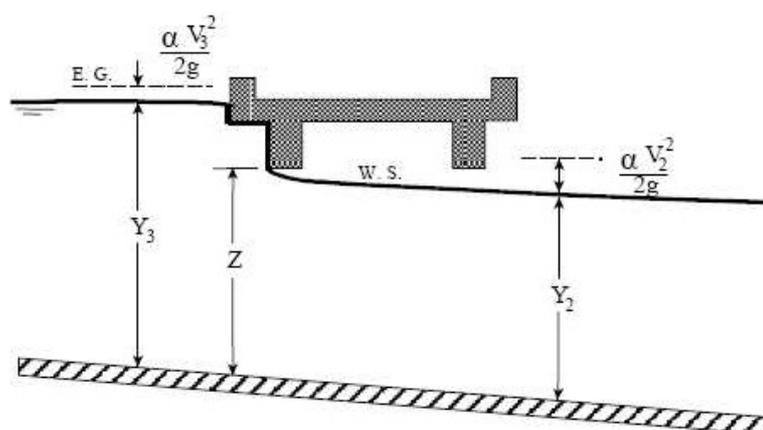
Le formule descritte al paragrafo precedente sono valide quando il pelo libero non viene a contatto con l'intradosso del ponte, in questo caso infatti solo l'equazione dell'energia può ancora utilizzarsi, aggiungendo al perimetro bagnato della sezione BU, ed eventualmente BD, la lunghezza di intradosso. 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.

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:

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

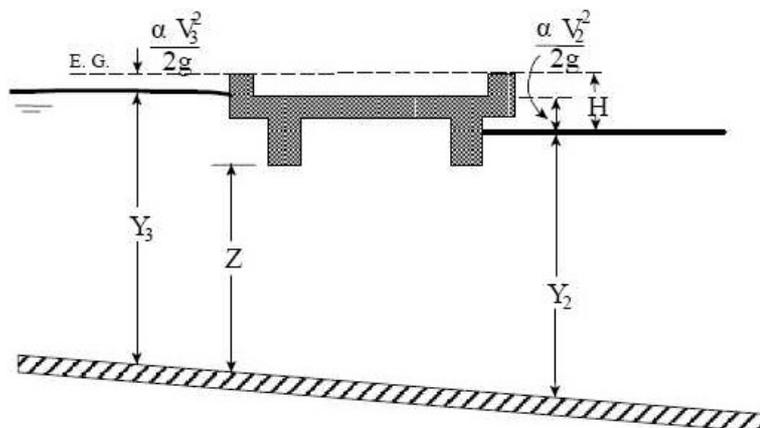


Il coefficiente di deflusso C_D può essere definito dall'utente o automaticamente "scelto" dal programma dato il rapporto Y_3/Z sulla base di dati sperimentali.

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:

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

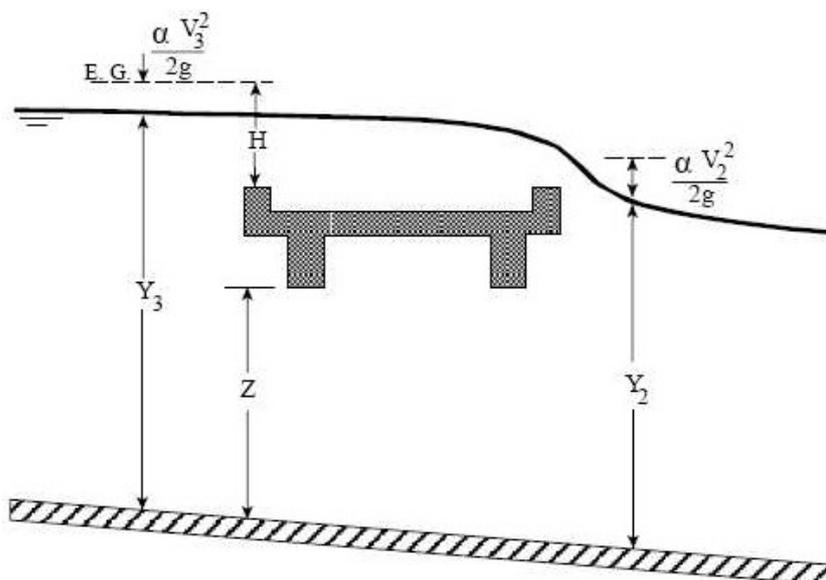


con C coefficiente di deflusso variabile tra 0.7 e 0.9.

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:

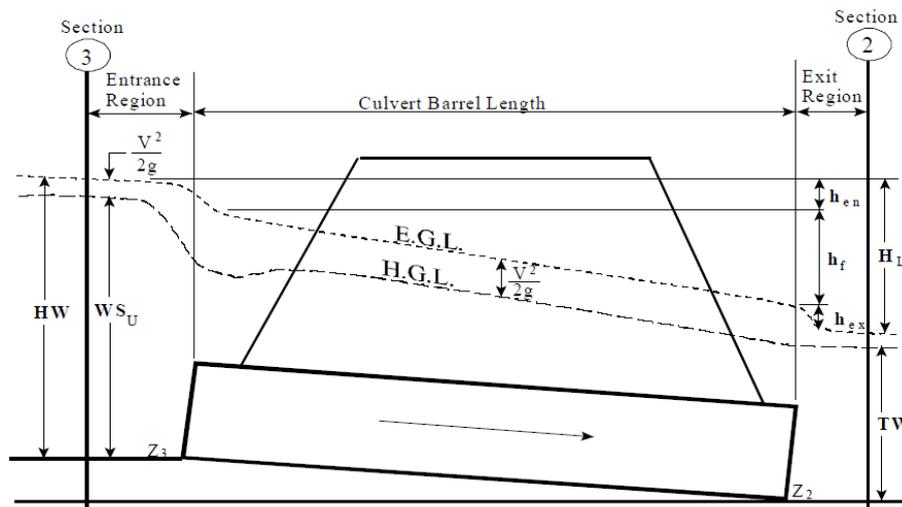
$$Q = CLH^{3/2}$$



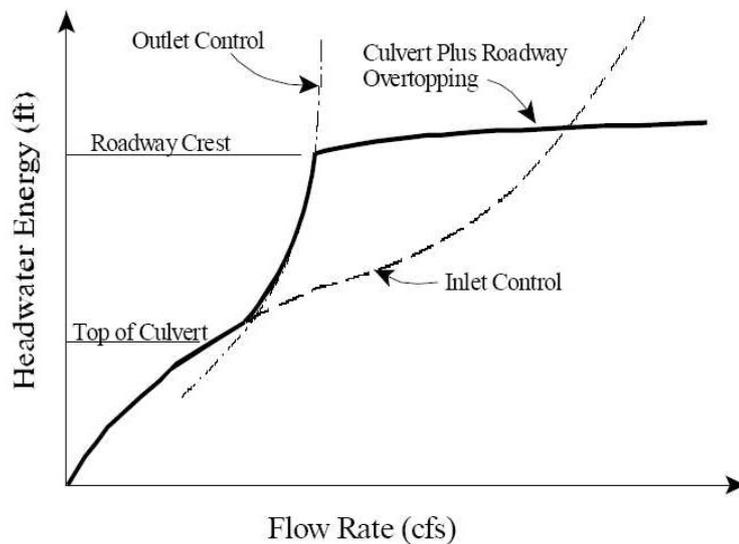
con C coefficiente di deflusso compreso tra 1.38 e 1.71.

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.



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 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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.

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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

4 VINCOLI NORMATIVI GENERALI

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*:
 - franco non inferiore a 1.5 m per un tempo di ritorno fissato dalla normativa nazionale o locale vigente;
 - franco non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.
- *Tombini*:
 - 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*:
 - franco non inferiore a 1.5 m per un tempo di ritorno di 200 anni
- *Tombini*:
 - 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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5 TORRENTE BOTTASSANO

5.1 INQUADRAMENTO

La zona di interesse è ubicata nel Comune di Borgio Verezzi (SV) e, precisamente, nella Valle del Bottassano, nel tratto compreso tra l'attraversamento in viadotto dell'A10, Autostrada dei Fiori, e lo sbocco in pianura del Torrente Bottassano.

La zona nella quale sarà realizzato il nuovo attraversamento (viadotto VI01) si trova al di fuori di centri urbani e sono presenti solo alcuni insediamenti produttivi.

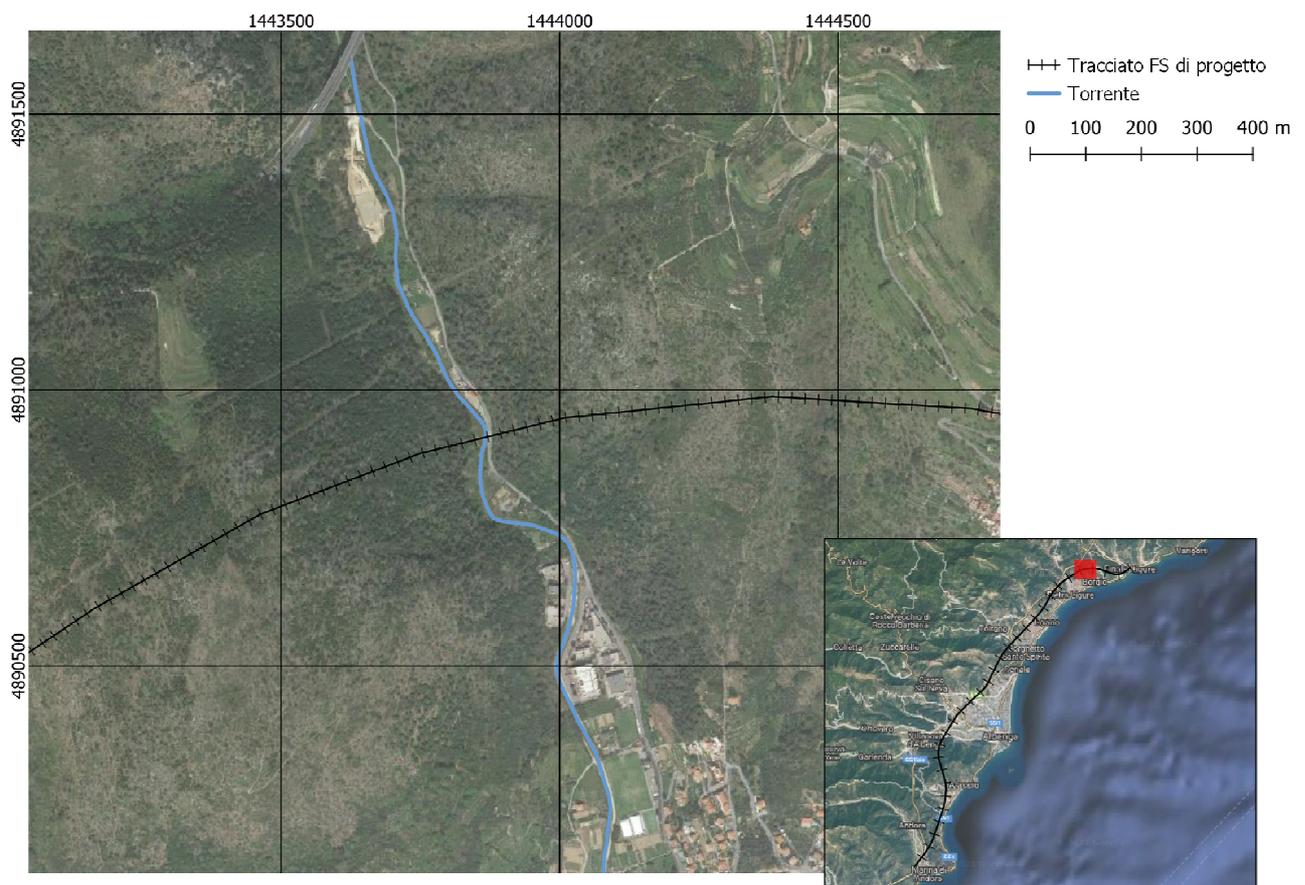


Figura 5 – Inquadramento generale dell'area di studio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5.2 INTERVENTO DI PROGETTO

La nuova opera di attraversamento sul T. Bottassano (collocata alla progr. 69+480 circa) è costituita da due viadotti affiancati (VI01) a singolo binario, monocampata, con luce netta di 21 m circa. L'opera si colloca tra l'imbocco lato Andora della galleria Caprazoppa e l'imbocco lato Finale Ligure della Galleria Monte Grosso, e scavalca completamente l'alveo inciso del T. Bottassano.

La spalla A, in sinistra idraulica, sarà di tipo "scatolare" per la risoluzione dell'interferenza del nuovo viadotto, tramite l'opera SL01, con *Via Concezione* che si sviluppa parallelamente al Torrente Bottassano.

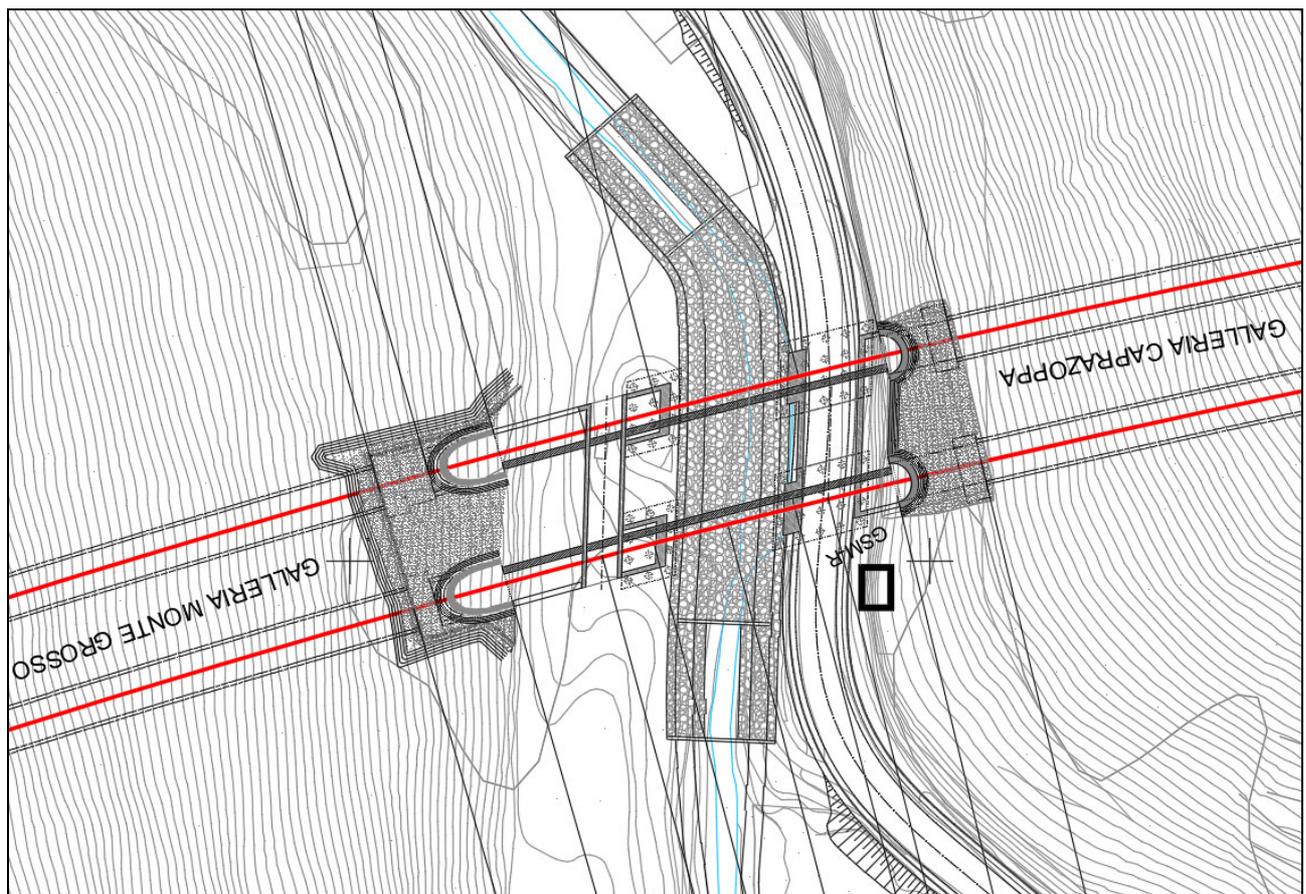


Figura 6 – Torrente Bottassano, VI01: stralcio della planimetria di progetto.

L'intervento comprende, oltre alla realizzazione dell'opera di scavalco VI01, anche la sistemazione spondale e del fondo alveo del Torrente Bottassano, a monte e a valle dell'attraversamento.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

La sistemazione prevede la riprofilatura del fondo alveo e la risagomatura della sezione secondo una forma trapezoidale, con larghezza al fondo di 10 m e pendenza delle sponde 1/1. Lo sviluppo totale dell'intervento di sistemazione idraulica del T. Bottassano è pari a 120 m (di cui 65 m a monte e 55 m a valle dell'asse di tracciato) e prevede il rivestimento del fondo alveo con massi sciolti, di adeguata pezzatura, su uno strato di geotessile in polipropilene; le sponde sono realizzate con massi cementati. Il tratto fluviale di sistemazione è delimitato a monte e a valle da un taglio al fine di garantirne l'ottimale e duraturo ammorsamento all'alveo naturale. 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 IV0I00D09WZID0002013, IV0I00D09WZID0002014, IV0I00D09FZID0002009, IV0I00D09FZID0002010, IV0I00D09PZID0002005.

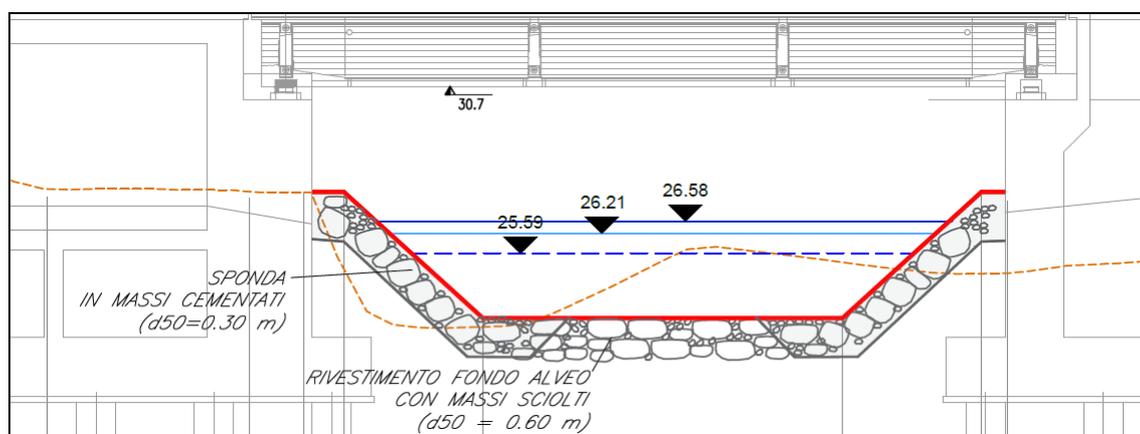


Figura 7 – Torrente Bottassano: sistemazione idraulica tipologica di progetto

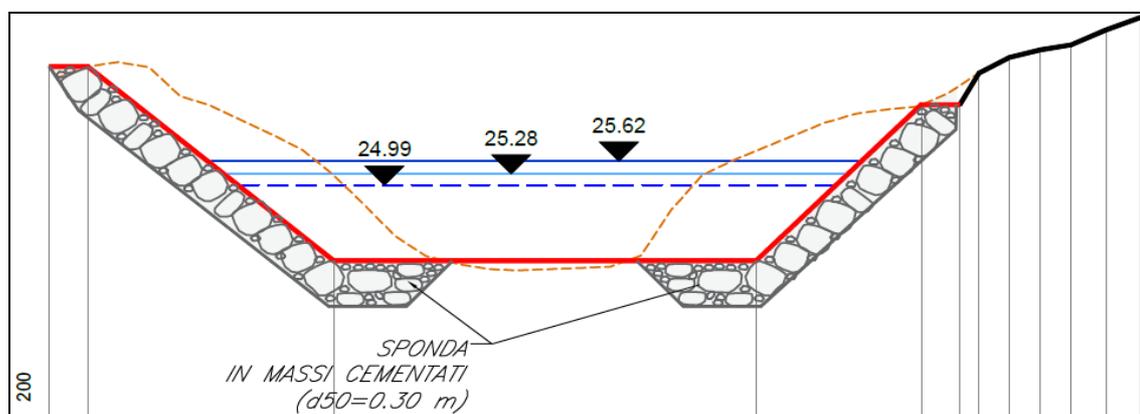


Figura 8 – Torrente Bottassano: sistemazione idraulica tipologica di progetto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5.3 MODELLO DELLO STATO ATTUALE

5.3.1 Definizione della geometria

I dati topografici presenti, utili alla ricostruzione della geometria del Torrente Bottassano, sono il DTM del Ministero dell'Ambiente e il rilievo delle sezioni batimetriche eseguito durante le campagne topografiche del 2010 e del 2021.

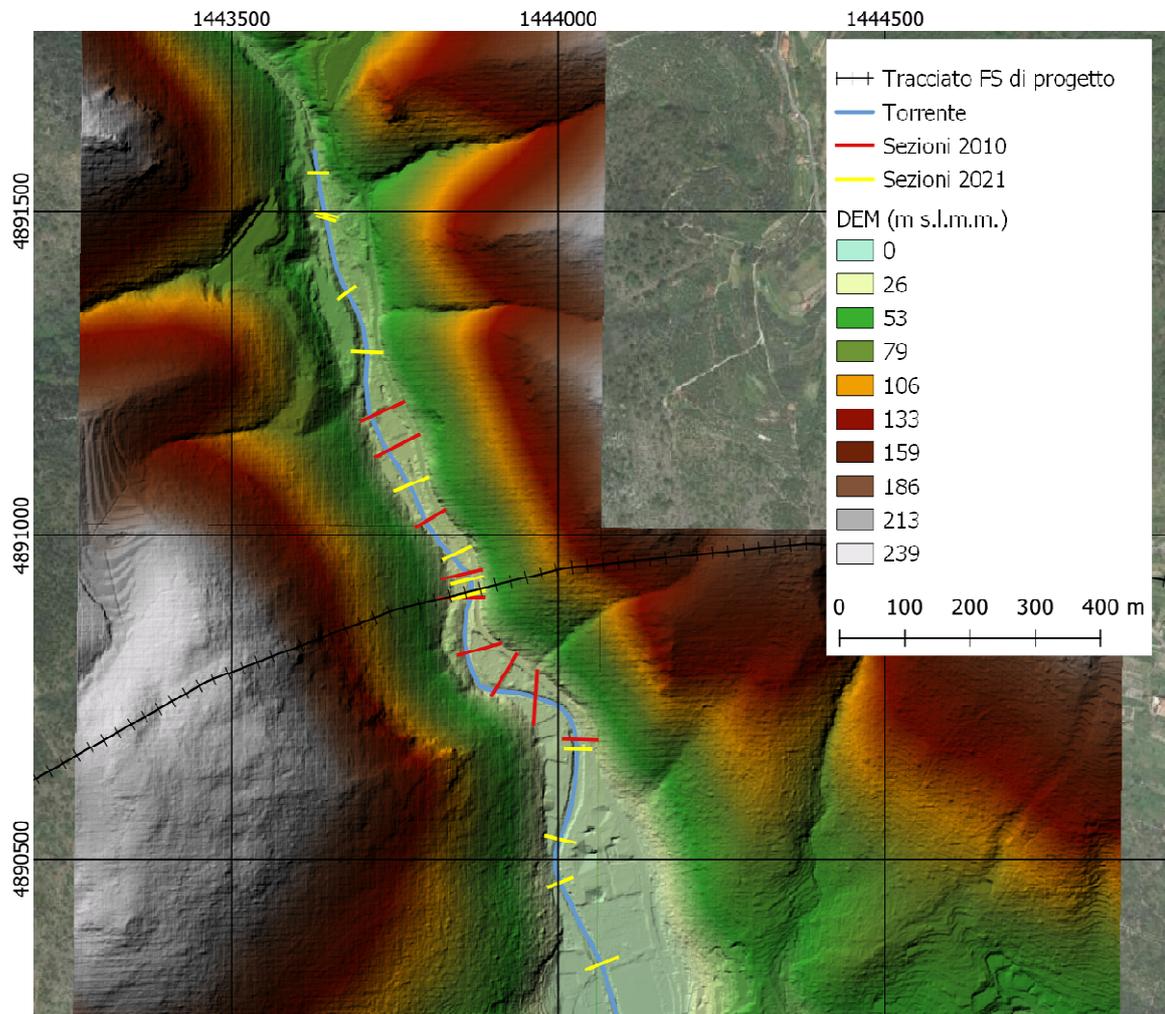


Figura 9: Informazioni topografiche a disposizione

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 ricavato del Ministero dell'Ambiente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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.

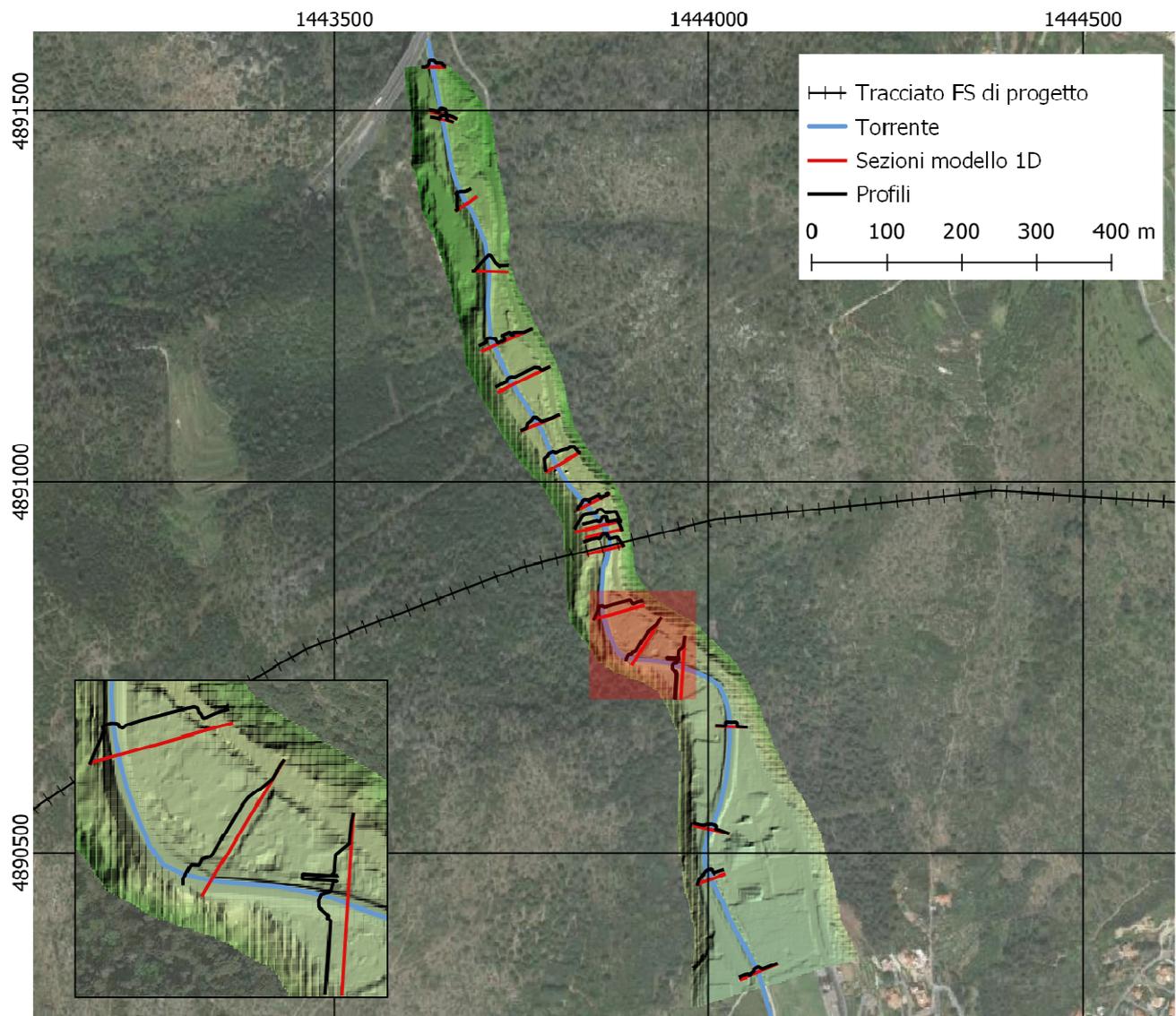


Figura 10: Estratto del DTM ottenuto integrando il DTM originario con le sezioni trasversali

Una volta elaborato il DTM, in ambiente RAS sono state estratte 48 sezioni, avendo cura di mantenere le sezioni di rilievo.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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. Non è stata considerata la sezione 5BV del rilievo 2010 perché molto vicina alla sezione 2 del rilievo 2021.



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

I due attraversamenti esistenti 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 due attraversamenti esistenti all'interno del modello.

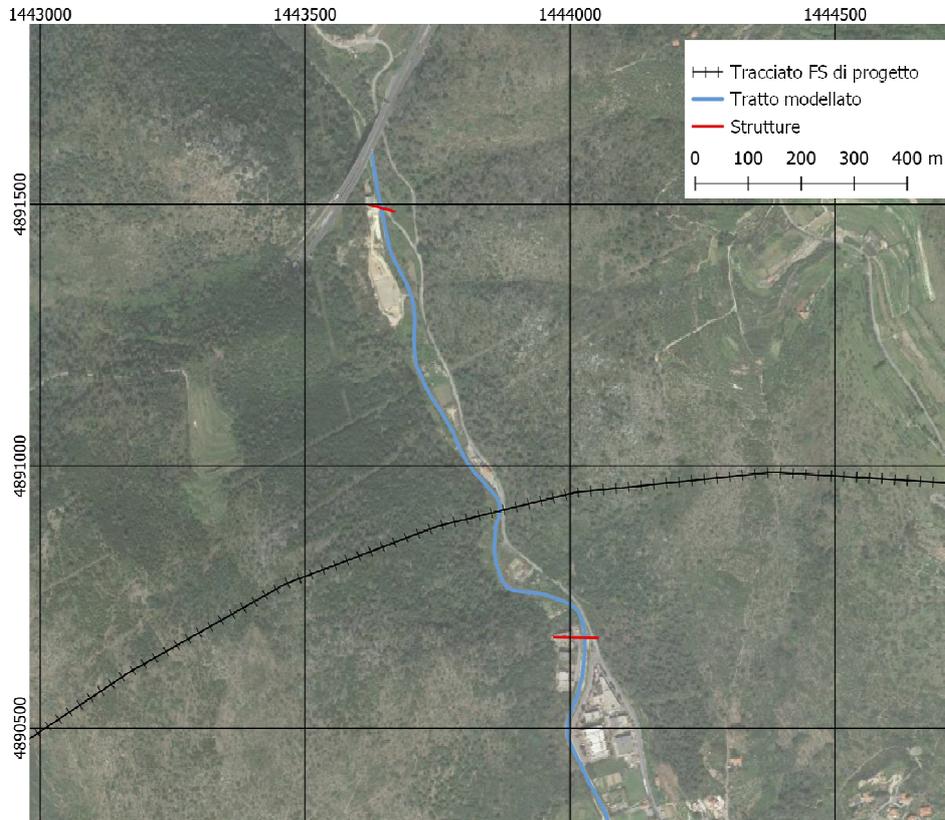


Figura 12: Strutture idrauliche inserite all'interno del modello

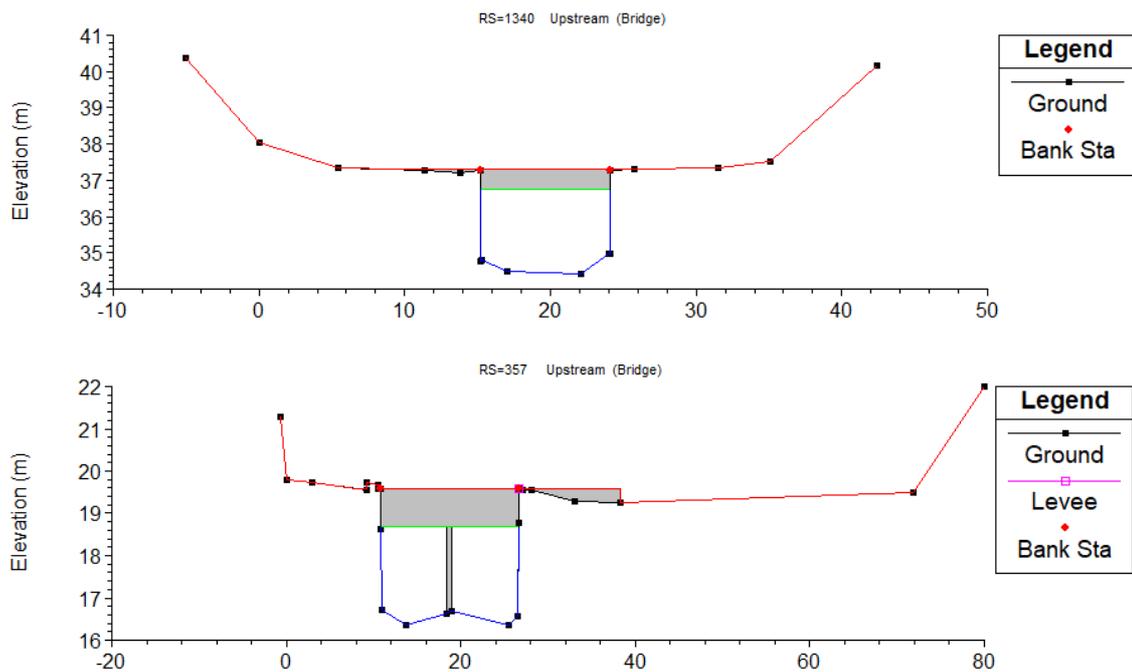


Figura 13: Attraversamenti all'interno del modello da monte verso valle

5.3.2 Condizioni al contorno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

TEMPO DI RITORNO	VALORE AL COLMO (m ³ /s)
Tr 50	89.8
Tr 200	130.6
Tr 500	163.1

Tabella 1 – Torrente Bottassano: valori di portata al colmo di riferimento

5.3.3 Calibrazione

Non essendo disponibili informazioni relative a misurazioni idrometriche durante eventi specifici, si è potuto calibrare il modello unicamente sulla base degli allagamenti definiti nel PAI dall’Autorità di Bacino per un evento duecentennale.

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 è riportato in Tabella 2 secondo la notazione di Manning n [$s \cdot m^{-1/3}$].

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idraulica Torrente Bottassano

COMMESSA

IV01

LOTTO

00

CODIFICA

D 09 RI

DOCUMENTO

ID 0002 005

REV.

B

FOGLIO

36 di 61

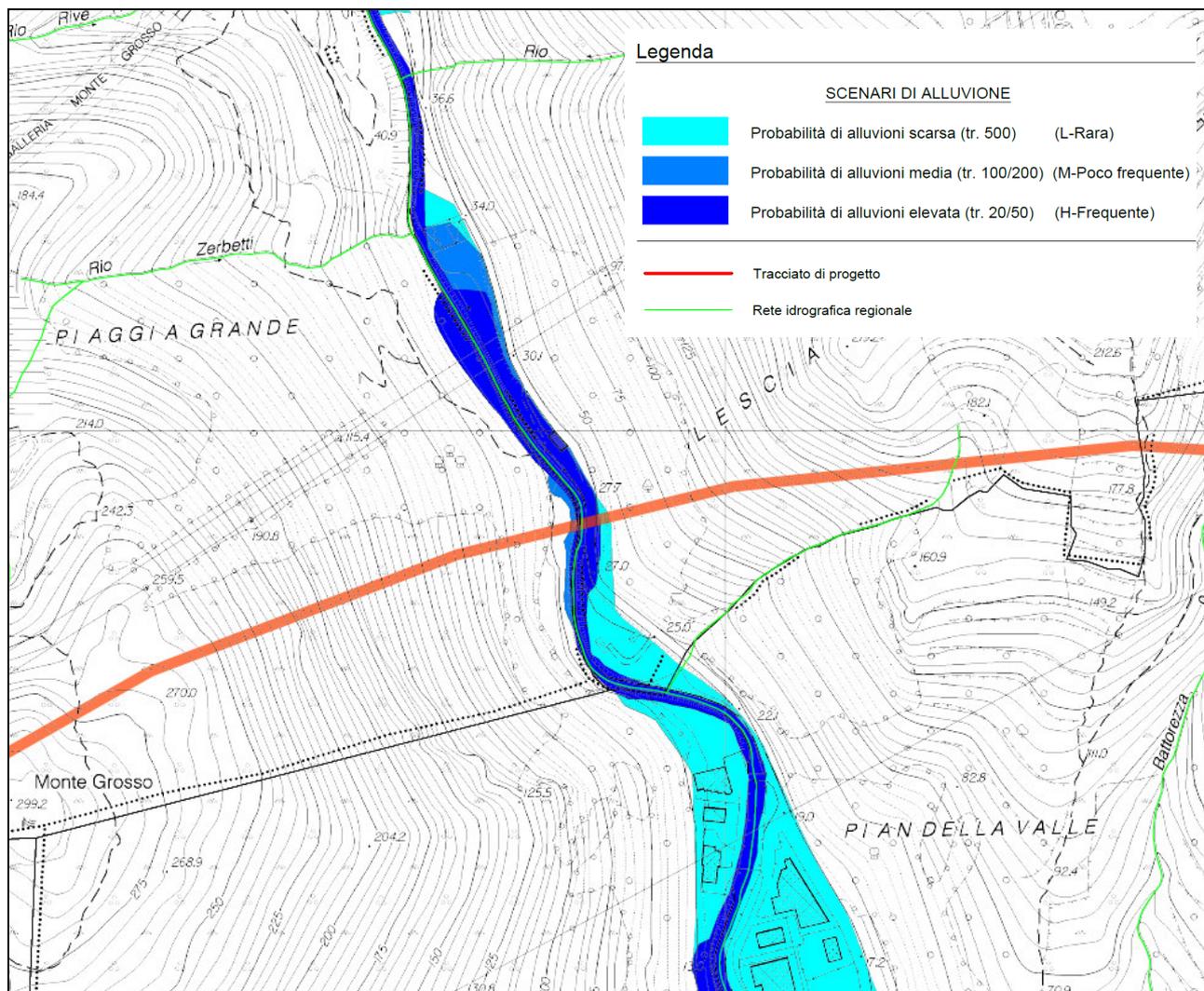


Figura 14: Torrente Bottassano: estratto delle mappe di pericolosità idraulica (fonte: PGRA)

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

Tabella 2: Scabrezze adottate nel modello

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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, utilizzando le portate al colmo definite nel paragrafo 5.3.2.

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 1 del rilievo 2021 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 "attraversamento ferroviario"</i>	26.79	27.60	28.17

Tabella 3: Torrente Bottassano: 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 lungo il profilo longitudinale del tratto fluviale studiato e la sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, con 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.

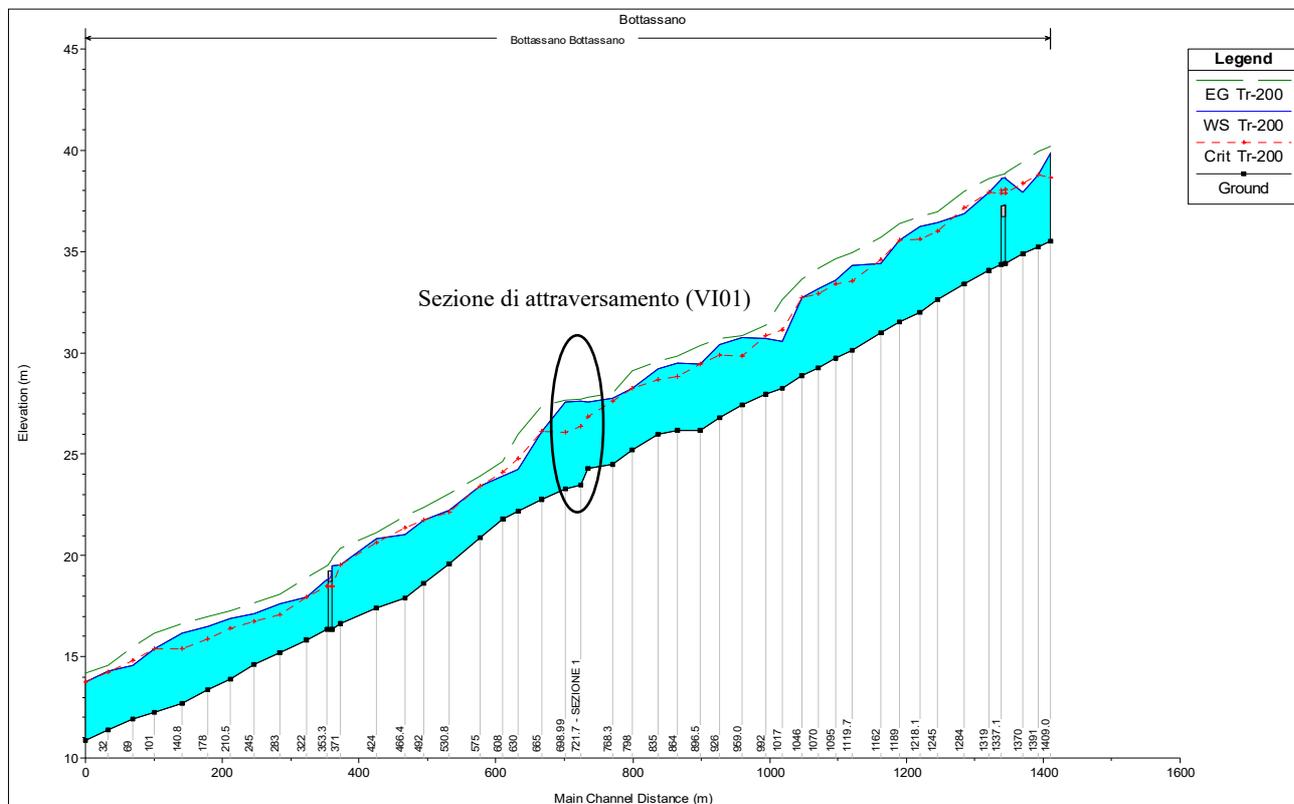


Figura 15 - Torrente Bottassano: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200

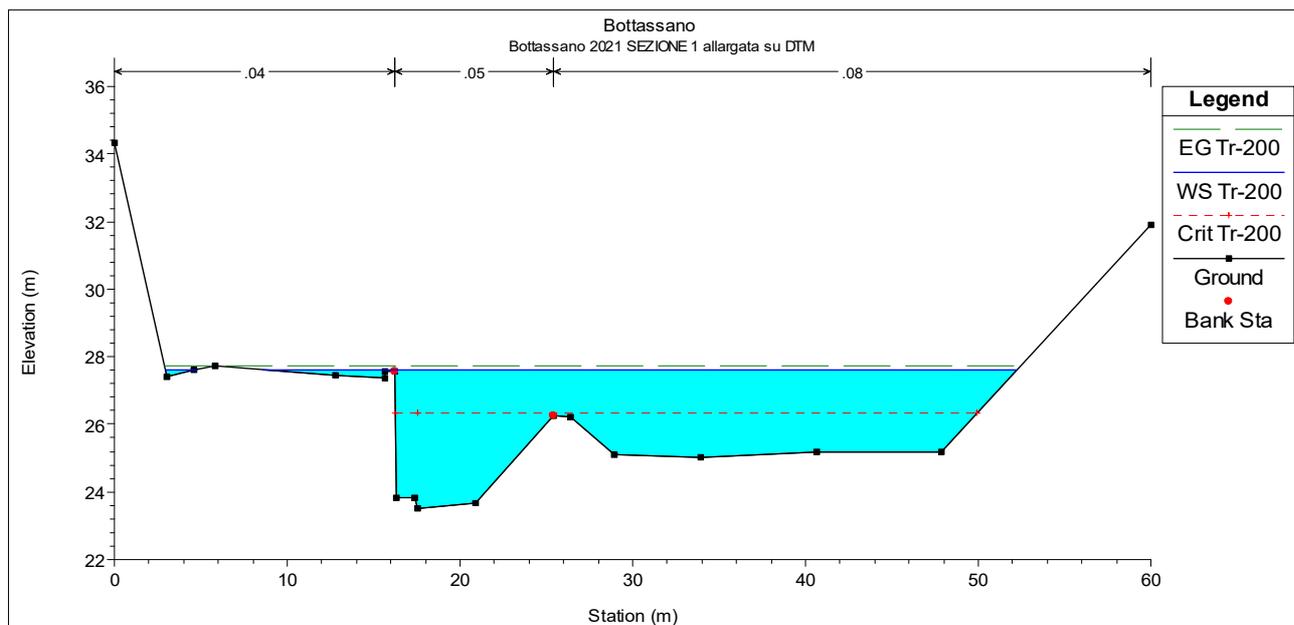


Figura 16 - Torrente Bottassano: livello idrico Tr200 nella sezione d'alveo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto, scenario ante operam

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 09 RI
ID 0002 005
B
39 di 61

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]	
1409	163.10	4.12	1.65	35.24	39.36	39.36	40.44	0.015027	4.81	0.83
1391	163.10	3.23	1.25	34.88	38.11	38.62	39.90	0.035382	6.19	1.25
1370	163.10	4.46	1.75	34.42	38.88	38.17	39.18	0.004875	2.78	0.43
1344.3	163.10	4.48	1.71	34.35	38.83	38.13	39.08	0.004175	2.61	0.40
1337.1	163.10	4.13	1.41	34.07	38.20	38.20	38.91	0.012286	4.30	0.74
1319	163.10	3.72	1.17	33.39	37.11	37.52	38.25	0.027131	5.16	1.09
1284	163.10	4.11	1.39	32.62	36.73	36.53	37.30	0.009967	3.52	0.69
1245	163.10	4.53	1.51	32.02	36.55	36.05	37.05	0.007306	3.41	0.59
1218.1	163.10	4.43	1.52	31.51	35.94	35.85	36.73	0.015276	4.13	0.82
1189	163.10	4.04	1.94	30.97	35.01	35.01	36.19	0.022509	4.83	1.00
1162	163.10	4.69	2.35	30.11	34.80	33.96	35.53	0.007478	3.89	0.64
1119.7	163.10	4.16	2.05	29.73	33.89	33.83	35.19	0.021156	5.06	0.96
1095	163.10	4.33	1.44	29.27	33.60	33.60	34.63	0.017506	4.56	0.86
1070	163.10	4.06	1.01	28.85	32.91	33.30	34.13	0.022500	4.95	1.00
1046	163.10	2.43	0.67	28.26	30.69	31.32	32.98	0.071298	7.24	1.70
1017	163.10	2.85	0.90	27.96	30.81	31.01	31.61	0.022464	4.43	1.03
992	163.10	3.69	2.00	27.41	31.10	29.99	31.20	0.001979	1.78	0.32
959	163.10	4.02	1.54	26.80	30.82	30.14	31.09	0.004542	2.51	0.49
926	163.10	3.61	1.86	26.16	29.77	29.77	30.77	0.021394	4.90	0.97
896.5	163.10	3.61	1.92	26.18	29.79	29.15	30.15	0.006397	3.07	0.57
864	163.10	3.37	1.70	25.99	29.36	28.98	29.90	0.009288	3.73	0.68
835	163.10	3.47	1.46	25.20	28.67	28.67	29.45	0.014988	4.26	0.86
798	163.10	3.76	1.75	24.49	28.25	27.60	28.50	0.003976	2.35	0.41
768.3	163.10	3.83	1.84	24.31	28.14	27.06	28.34	0.004022	2.43	0.45
733	163.10	4.66	2.07	23.50	28.17	26.55	28.28	0.002591	1.91	0.31
721.7	163.10	4.86	2.32	23.27	28.13	26.27	28.23	0.001767	1.77	0.28
698.99	163.10	3.85	1.94	22.74	26.59	26.59	27.96	0.018335	5.26	0.93
665	163.10	2.16	0.93	22.17	24.33	25.00	26.65	0.088410	7.46	1.88
630	163.10	2.23	0.96	21.78	24.01	24.24	24.90	0.043187	5.25	1.24
608	163.10	2.74	1.15	20.88	23.62	23.60	24.11	0.014129	3.86	0.82
575	163.10	3.17	0.95	19.59	22.76	22.76	23.46	0.014143	3.76	0.79
530.8	163.10	3.08	0.98	18.60	21.68	21.98	22.75	0.021413	4.79	1.01
492	163.10	3.27	0.72	17.91	21.18	21.52	22.21	0.019958	4.85	0.96
466.4	163.10	3.74	1.45	17.43	21.17	20.78	21.41	0.006450	2.77	0.54
424	163.10	3.19	1.60	16.65	19.84	19.84	20.76	0.023288	4.25	1.01
371	163.10	3.75	1.17	16.37	20.12	18.76	20.38	0.004295	2.44	0.41
360.4	163.10	1.81	1.39	16.37	18.18	18.76	20.20	0.063824	6.29	1.57
353.3	163.10	2.42	1.85	15.84	18.26	18.27	19.33	0.023075	4.57	1.01
322	163.10	2.82	1.28	15.18	18.00	17.37	18.43	0.007953	3.00	0.62
283	163.10	2.73	1.91	14.62	17.35	17.03	18.02	0.013774	3.62	0.80
245	163.10	3.22	1.38	13.89	17.11	16.71	17.59	0.008679	3.25	0.62
210.5	163.10	3.47	1.44	13.36	16.83	16.57	17.32	0.007761	3.23	0.61
178	163.10	3.76	1.45	12.71	16.47	15.77	17.00	0.008727	3.33	0.61
140.8	163.10	3.41	1.57	12.27	15.68	15.68	16.51	0.016291	4.34	0.86
101	163.10	2.99	0.70	11.91	14.90	14.90	15.32	0.013911	3.33	0.80
69	163.10	3.02	0.68	11.42	14.44	14.30	14.71	0.009414	3.03	0.67
32	163.10	3.13	0.72	10.88	14.01	14.01	14.39	0.009619	3.32	0.68
0	163.10	4.12	1.65	35.24	39.36	39.36	40.44	0.015027	4.81	0.83

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

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 09 RI
ID 0002 005
B
40 di 61

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]	
1409	130.6	4.35	2.2	35.51	39.86	38.65	40.18	0.004646	2.85	0.46
1391	130.6	3.57	1.64	35.24	38.81	38.81	39.95	0.019261	4.84	0.91
1370	130.6	3.02	1.17	34.88	37.9	38.37	39.39	0.032089	5.57	1.17
1344.3	130.6	4.19	1.56	34.42	38.61	37.88	38.87	0.004539	2.56	0.41
1337.1	130.6	4.19	1.5	34.35	38.54	37.87	38.77	0.004055	2.45	0.39
1319	130.6	3.87	1.2	34.07	37.94	37.94	38.61	0.01195	4.03	0.72
1284	130.6	3.49	0.99	33.39	36.88	37.13	37.95	0.027963	4.88	1.08
1245	130.6	3.79	1.14	32.62	36.41	36	36.97	0.011072	3.4	0.71
1218.1	130.6	4.21	1.25	32.02	36.23	35.62	36.7	0.00743	3.22	0.59
1189	130.6	4.07	1.29	31.51	35.58	35.58	36.36	0.016707	4.02	0.84
1162	130.6	3.45	1.75	30.97	34.42	34.61	35.72	0.030367	5.06	1.13
1119.7	130.6	4.2	2.14	30.11	34.31	33.55	34.96	0.007899	3.64	0.64
1095	130.6	3.87	1.95	29.73	33.6	33.4	34.64	0.018763	4.51	0.89
1070	130.6	3.87	1.99	29.27	33.14	32.92	34.15	0.019834	4.46	0.9
1046	130.6	3.87	1.27	28.85	32.72	32.72	33.66	0.018596	4.33	0.9
1017	130.6	2.3	0.56	28.26	30.56	31.14	32.65	0.067281	6.71	1.63
992	130.6	2.72	0.78	27.96	30.68	30.86	31.38	0.020521	4.05	0.97
959	130.6	3.33	1.67	27.41	30.74	29.85	30.84	0.002249	1.75	0.33
926	130.6	3.62	1.33	26.8	30.42	29.89	30.7	0.005789	2.54	0.53
896.5	130.6	3.3	1.68	26.16	29.47	29.47	30.36	0.021099	4.63	0.95
864	130.6	3.34	1.71	26.18	29.52	28.83	29.82	0.006074	2.8	0.54
835	130.6	3.2	1.57	25.99	29.19	28.66	29.61	0.007643	3.26	0.61
798	130.6	3.06	1.23	25.2	28.26	28.26	29.13	0.02034	4.4	0.97
768.3	130.6	3.27	1.56	24.49	27.76	27.6	28.02	0.00524	2.42	0.46
733	130.6	3.27	1.86	24.31	27.58	26.85	27.82	0.005884	2.56	0.52
721.7	130.6	4.1	1.75	23.5	27.6	26.35	27.74	0.003421	1.98	0.35
698.99	130.6	4.29	1.88	23.27	27.56	26.08	27.67	0.002245	1.8	0.31
665	130.6	3.38	1.8	22.74	26.12	26.12	27.38	0.020442	5	0.96
630	130.6	2.1	0.88	22.17	24.27	24.78	25.96	0.066144	6.32	1.62
608	130.6	2.14	0.88	21.78	23.92	24.09	24.62	0.035586	4.62	1.12
575	130.6	2.56	0.99	20.88	23.44	23.44	23.9	0.014008	3.64	0.8
530.8	130.6	2.62	1.61	19.59	22.21	22.15	23.06	0.02214	4.09	0.97
492	130.6	3.13	1.02	18.6	21.73	21.73	22.37	0.01248	3.71	0.78
466.4	130.6	3.13	0.6	17.91	21.04	21.35	21.95	0.017951	4.43	0.91
424	130.6	3.39	1.15	17.43	20.82	20.62	21.11	0.008132	2.92	0.59
371	130.6	2.87	1.51	16.65	19.52	19.52	20.37	0.024044	4.08	1.01
360.4	130.6	3.11	2.18	16.37	19.48	18.45	19.88	0.00698	2.81	0.52
353.3	130.6	2.46	1.81	16.37	18.83	18.45	19.49	0.014841	3.62	0.77
322	130.6	2.12	1.64	15.84	17.96	17.96	18.89	0.023561	4.28	1.01
283	130.6	2.44	1.16	15.18	17.62	17.08	18.09	0.010129	3.05	0.68
245	130.6	2.51	1.78	14.62	17.13	16.76	17.67	0.012139	3.24	0.75
210.5	130.6	2.98	1.26	13.89	16.87	16.41	17.28	0.008363	3	0.6
178	130.6	3.12	1.15	13.36	16.48	15.87	16.99	0.009135	3.22	0.65
140.8	130.6	3.45	1.28	12.71	16.16	15.41	16.64	0.008727	3.09	0.6
101	130.6	3.14	1.36	12.27	15.41	15.41	16.16	0.015665	4.07	0.83
69	130.6	2.65	0.93	11.91	14.56	14.81	15.47	0.030598	4.35	1.15
32	130.6	2.88	0.67	11.42	14.3	14.23	14.55	0.008617	2.77	0.64
0	130.6	2.87	0.67	10.88	13.75	13.75	14.21	0.011712	3.4	0.74

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

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 09 RI
ID 0002 005
B
41 di 61

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]	
1409	89.8	3.6	1.85	35.51	39.11	38.18	39.39	0.005081	2.6	0.46
1391	89.8	2.92	1.47	35.24	38.16	38.16	39.15	0.02254	4.45	0.95
1370	89.8	3.25	1.26	34.88	38.13	37.84	38.66	0.01024	3.36	0.67
1344.3	89.8	3.78	1.28	34.42	38.2	36.73	38.41	0.003883	2.21	0.37
1337.1	89.8	3.77	1.18	34.35	38.12	36.64	38.32	0.003698	2.18	0.37
1319	89.8	3.18	1.27	34.07	37.25	37.25	38.12	0.018592	4.26	0.87
1284	89.8	3.31	0.85	33.39	36.7	36.82	37.4	0.019787	3.86	0.9
1245	89.8	3.29	1.67	32.62	35.91	35.41	36.42	0.012188	3.16	0.72
1218.1	89.8	3.75	1.18	32.02	35.77	34.96	36.14	0.006874	2.77	0.55
1189	89.8	3.29	1.57	31.51	34.8	34.8	35.74	0.025469	4.31	1
1162	89.8	2.87	1.52	30.97	33.84	34.01	34.97	0.031541	4.7	1.12
1119.7	89.8	3.52	1.84	30.11	33.63	32.96	34.15	0.008404	3.22	0.63
1095	89.8	3.32	1.72	29.73	33.05	32.76	33.83	0.01758	3.91	0.84
1070	89.8	3.47	1.87	29.27	32.74	32.25	33.41	0.014095	3.6	0.75
1046	89.8	3.15	1.59	28.85	32	32	32.93	0.024743	4.28	1
1017	89.8	2.18	0.82	28.26	30.44	30.89	31.92	0.048381	5.42	1.37
992	89.8	2.58	0.65	27.96	30.54	30.62	31.01	0.014571	3.23	0.81
959	89.8	2.83	1.22	27.41	30.24	29.61	30.34	0.002839	1.73	0.36
926	89.8	3.03	1.02	26.8	29.83	29.47	30.16	0.008935	2.6	0.63
896.5	89.8	2.9	1.41	26.16	29.06	29.03	29.76	0.019158	4.08	0.9
864	89.8	2.76	1.63	26.18	28.94	28.44	29.27	0.007831	2.81	0.6
835	89.8	2.63	1.27	25.99	28.62	28.16	29.02	0.00894	3.05	0.64
798	89.8	2.92	1.19	25.2	28.12	27.94	28.62	0.012487	3.29	0.75
768.3	89.8	2.38	1.33	24.49	26.87	26.87	28	0.03262	4.92	1.13
733	89.8	2.41	1.2	24.31	26.72	26.54	27.09	0.0124	3.08	0.73
721.7	89.8	3.29	1.54	23.5	26.79	26.05	26.94	0.005123	2.08	0.42
698.99	89.8	3.45	1.73	23.27	26.72	25.76	26.84	0.003132	1.83	0.36
665	89.8	2.73	1.6	22.74	25.47	25.47	26.52	0.024089	4.54	1
630	89.8	2.3	1.05	22.17	24.47	24.47	25	0.018561	3.6	0.87
608	89.8	1.87	0.66	21.78	23.65	23.87	24.38	0.043134	4.55	1.21
575	89.8	2.32	0.78	20.88	23.2	23.22	23.6	0.013112	3.24	0.76
530.8	89.8	1.86	1.13	19.59	21.45	21.72	22.54	0.045442	4.63	1.32
492	89.8	2.64	1.16	18.6	21.24	21.11	21.85	0.015024	3.49	0.82
466.4	89.8	2.79	1.37	17.91	20.7	20.53	21.43	0.016139	3.8	0.84
424	89.8	2.93	0.73	17.43	20.36	20.36	20.76	0.011294	3.12	0.68
371	89.8	2.04	1.38	16.65	18.69	18.87	19.74	0.03375	4.56	1.18
360.4	89.8	2.26	1.69	16.37	18.63	18.03	19.01	0.00925	2.72	0.6
353.3	89.8	2	1.52	16.37	18.37	18.03	18.86	0.013895	3.11	0.73
322	89.8	1.69	1.34	15.84	17.53	17.53	18.27	0.024594	3.81	1.01
283	89.8	1.97	1.6	15.18	17.15	16.69	17.52	0.009717	2.69	0.65
245	89.8	2.07	1.48	14.62	16.69	16.37	17.11	0.012251	2.87	0.73
210.5	89.8	2.43	1.11	13.89	16.32	15.83	16.72	0.009895	2.84	0.64
178	89.8	2.63	1.82	13.36	15.99	15.4	16.41	0.009159	2.85	0.63
140.8	89.8	3.04	1.59	12.71	15.75	14.98	16.08	0.007249	2.56	0.54
101	89.8	2.6	1.04	12.27	14.87	14.66	15.61	0.017344	3.87	0.86
69	89.8	2.57	0.88	11.91	14.48	14.48	14.98	0.01768	3.22	0.87
32	89.8	2.58	0.53	11.42	14	14	14.31	0.01144	2.85	0.71
0	89.8	2.46	1	10.88	13.34	13.29	13.82	0.015007	3.35	0.8

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

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 di sistemazione idraulica previsto e aggiungendo la nuova opera di attraversamento (viadotto VI01).

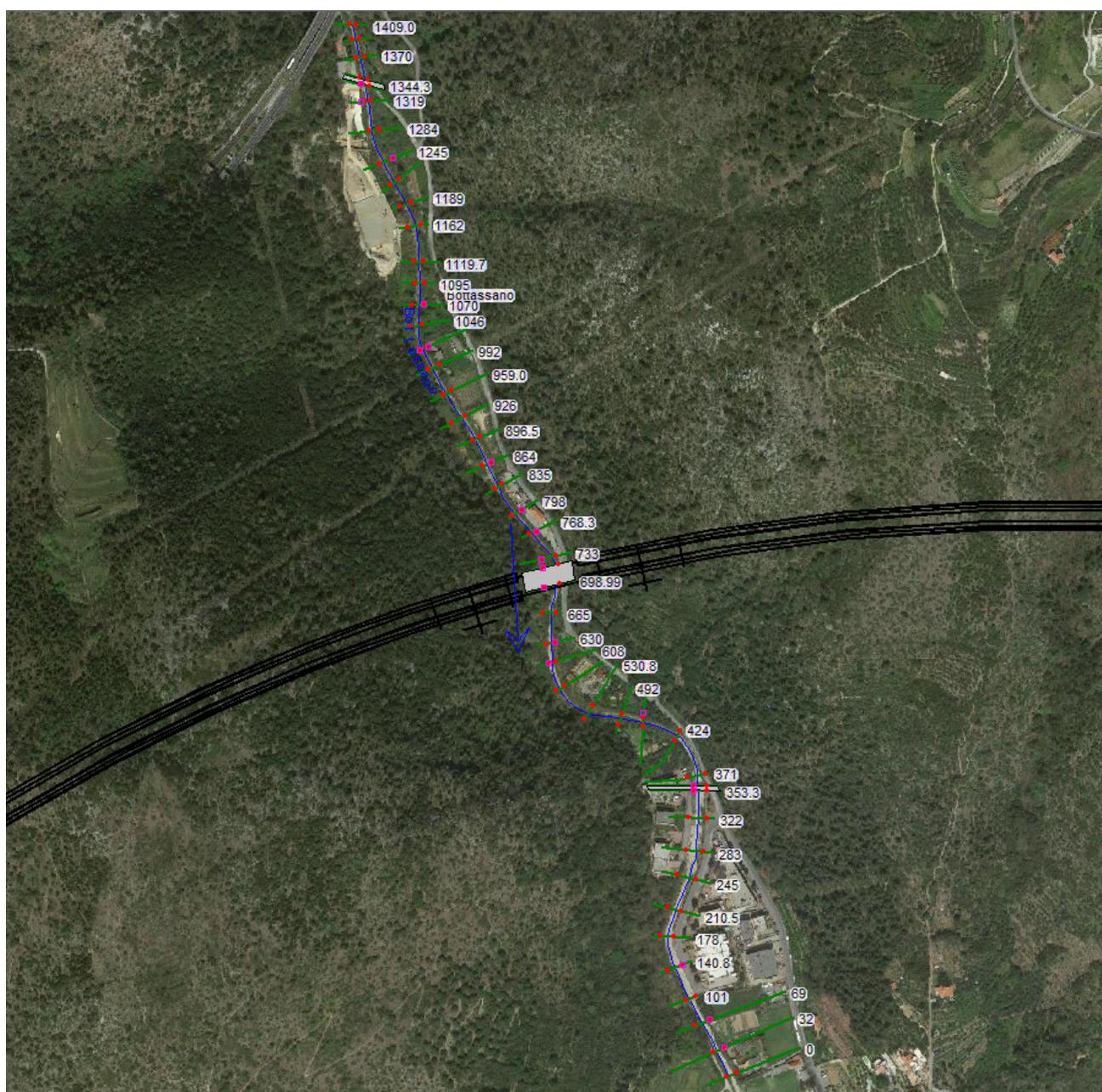


Figura 17: Vista planimetrica della geometria del modello post operam (le etichette indicano le progressive delle sezioni all'interno del modello, evidenziati in nero gli assi del tracciato di progetto)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

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.

Anche per i coefficienti di scabrezza, sono stati adottati i medesimi valori scelti per la configurazione ante operam, conformi comunque a quelli indicati nel 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 idrauliche d'alveo.

Nella tabella seguente sono riportati i valori dei franchi di sicurezza in corrispondenza della nuova opera di attraversamento (VI01), secondo le normative vigenti di riferimento.

Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena Tr200 [m slm]	Carico Cinetico Tr200 [m]	Carico totale Tr200 [m slm]	Franco sul livello Idrico Tr200 [m]	Franco sul carico totale Tr200 [m]	Verifica NTC2018; MdP RFI	Verifica R.R.
+30.70	+26.70	0.70	+27.40	+4.00 (> 1.50 m)	+3.30 (> 0.50 m)	Franco idraulico > 1.5 m → OK Franco sul carico idraulico > 0.5 m → OK	Franco idraulico > max (carico cinetico; 1.5/2.0 m) → OK

Tabella 7: Torrente Bottassano, viadotto VI01: verifica del franco idraulico di progettoZ

Come si desume dalla precedente tabella i franchi di progetto sono garantiti sia per la normativa nazionale e regionale, sia per il manuale di progettazione di RFI. Le sezioni delle risistemazioni d'alveo di progetto sono sagomate in maniera tale che venga rispettato il franco di 1,00 metro tra la testa della sponda e la piena duecentennale.

Con riferimento alla tavola grafica IV0100D09PZID0002005, ed in particolare alla sezione trasversale denominata "Sez. 1" a monte del nuovo viadotto VI01, è possibile osservare che la piena duecentennale è contenuta all'interno della sezione d'alveo di progetto; pertanto, le spalle del VI01 non interessano la sezione "bagnata" dalla piena di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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

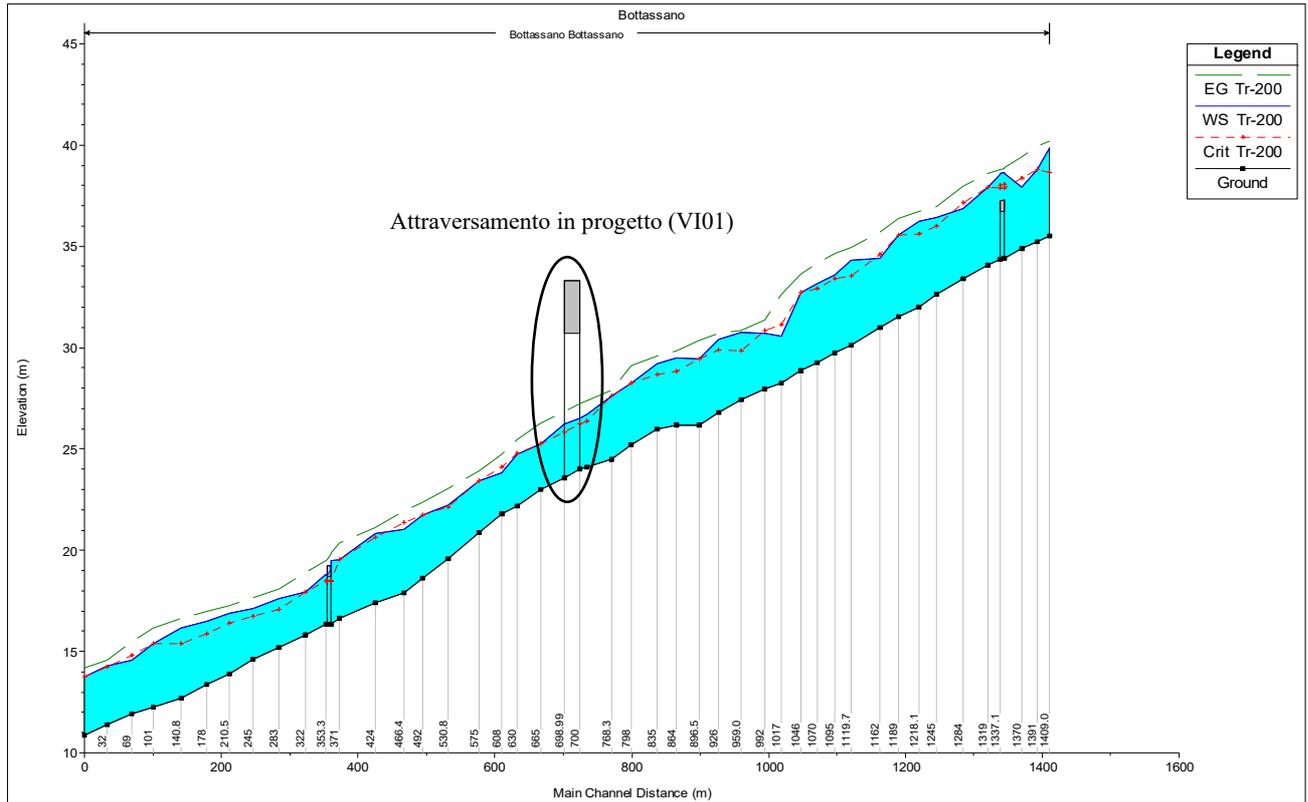


Figura 18 - Torrente Bottassano: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200

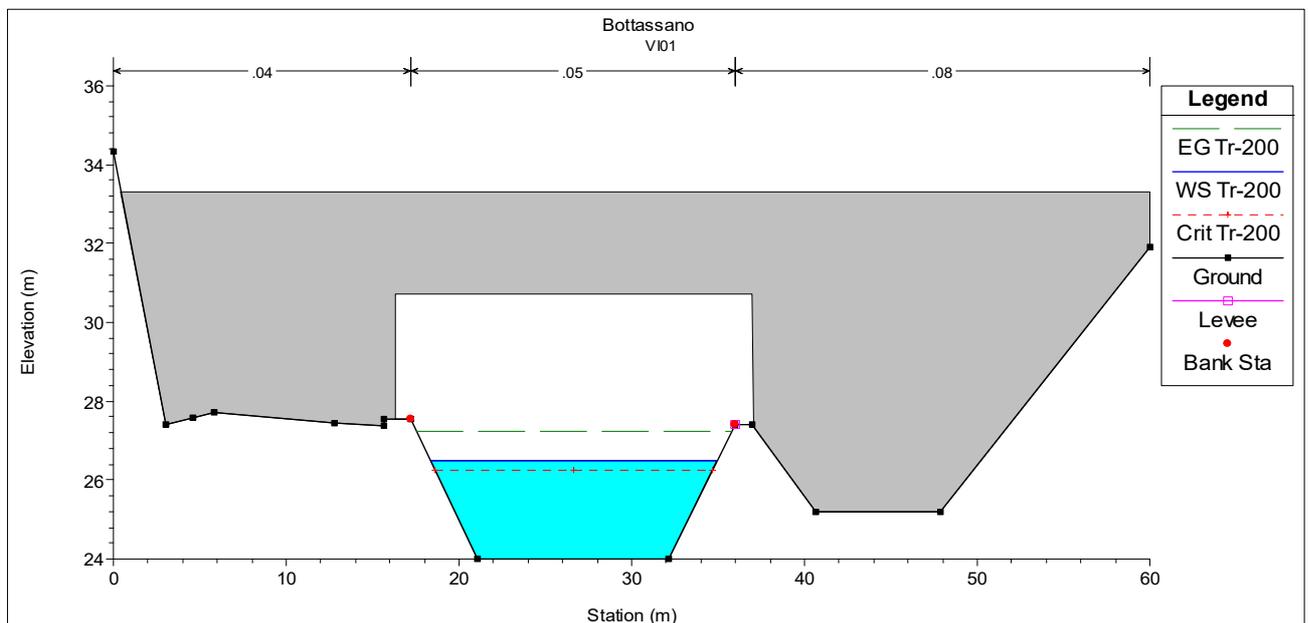


Figura 19 - Torrente Bottassano: livello idrico Tr200, in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario in progetto VI01

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

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.

	<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 VI01 (attraversamento ferroviario)</i>	26.22	26.70	27.05

Tabella 8: Torrente Bottassano: 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.

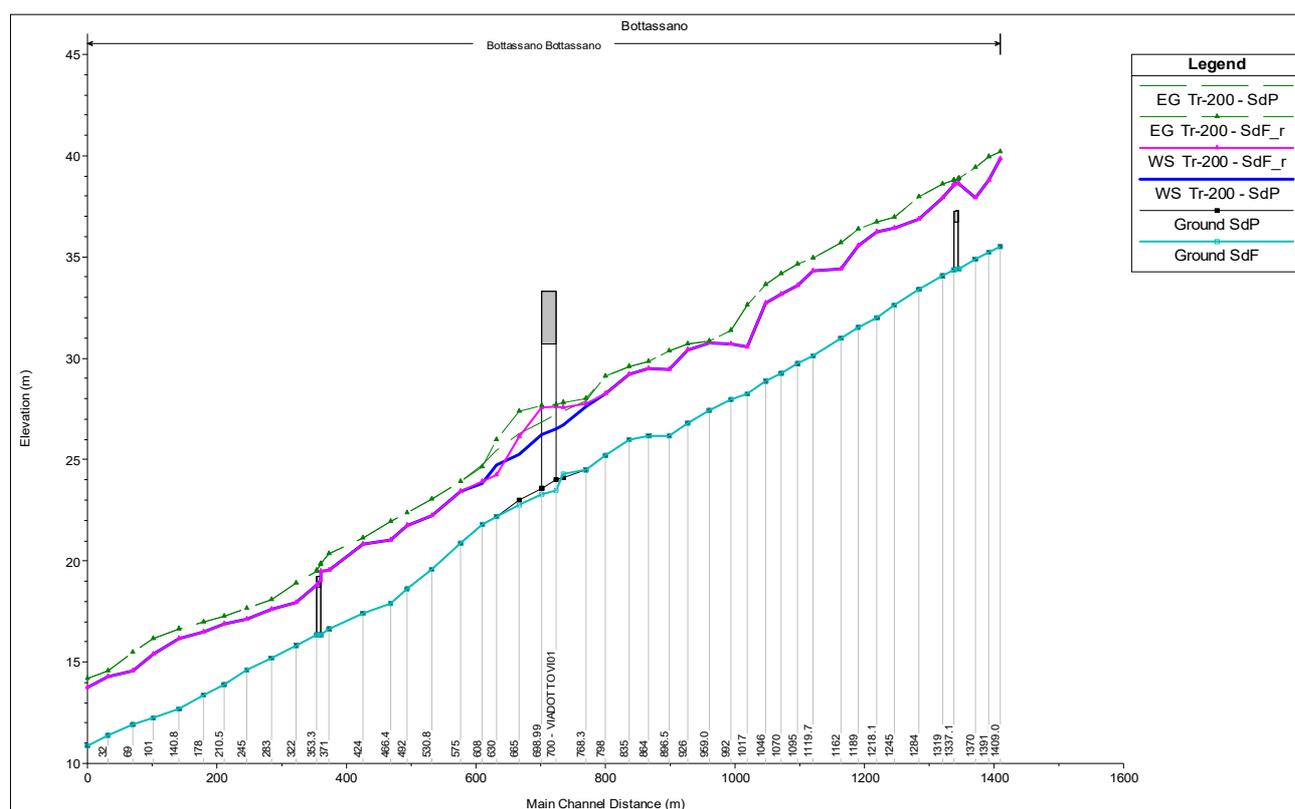


Figura 20 - Torrente Bottassano: profilo di rigurgito per l'evento Tr 200, confronto tra ante operam (magenta) e post operam (blu)

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.

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]	
1409	163.10	4.12	1.65	35.24	39.36	39.36	40.44	0.015027	4.81	0.83
1391	163.10	3.23	1.25	34.88	38.11	38.62	39.90	0.035382	6.19	1.25
1370	163.10	4.46	1.75	34.42	38.88	38.17	39.18	0.004875	2.78	0.43
1344.3	163.10	4.48	1.71	34.35	38.83	38.13	39.08	0.004175	2.61	0.40
1337.1	163.10	4.13	1.41	34.07	38.20	38.20	38.91	0.012286	4.30	0.74
1319	163.10	3.72	1.17	33.39	37.11	37.52	38.25	0.027131	5.16	1.09
1284	163.10	4.11	1.39	32.62	36.73	36.53	37.30	0.009967	3.52	0.69
1245	163.10	4.53	1.51	32.02	36.55	36.05	37.05	0.007306	3.41	0.59
1218.1	163.10	4.43	1.52	31.51	35.94	35.85	36.73	0.015276	4.13	0.82
1189	163.10	4.04	1.94	30.97	35.01	35.01	36.19	0.022509	4.83	1.00
1162	163.10	4.69	2.35	30.11	34.80	33.96	35.53	0.007478	3.89	0.64
1119.7	163.10	4.16	2.05	29.73	33.89	33.83	35.19	0.021156	5.06	0.96
1095	163.10	4.33	1.44	29.27	33.60	33.60	34.63	0.017506	4.56	0.86
1070	163.10	4.06	1.01	28.85	32.91	33.30	34.13	0.022500	4.95	1.00
1046	163.10	2.43	0.67	28.26	30.69	31.32	32.98	0.071298	7.24	1.70
1017	163.10	2.85	0.90	27.96	30.81	31.01	31.61	0.022464	4.43	1.03
992	163.10	3.69	2.00	27.41	31.10	29.99	31.20	0.001979	1.78	0.32
959	163.10	4.02	1.54	26.80	30.82	30.14	31.09	0.004542	2.51	0.49
926	163.10	3.61	1.86	26.16	29.77	29.77	30.77	0.021394	4.90	0.97
896.5	163.10	3.61	1.92	26.18	29.79	29.15	30.15	0.006397	3.07	0.57
864	163.10	3.37	1.70	25.99	29.36	28.98	29.90	0.009288	3.73	0.68
835	163.10	3.47	1.46	25.20	28.67	28.67	29.45	0.014988	4.26	0.86
798	163.10	3.37	1.63	24.49	27.86	27.60	28.22	0.006972	2.86	0.53
768.3	163.10	2.95	2.13	24.10	27.05	26.69	27.84	0.014087	3.93	0.81
733	163.10	2.85	2.07	24.00	26.85	26.57	27.67	0.015313	4.02	0.84
721.7	163.10	2.98	2.14	23.60	26.58	26.17	27.33	0.013203	3.82	0.78
698.99	163.10	2.62	1.94	23.00	25.62	25.62	26.74	0.020059	4.78	0.99
665	163.10	2.56	1.25	22.17	24.73	25.00	25.84	0.033512	5.31	1.20
630	163.10	2.20	0.93	21.78	23.98	24.24	24.93	0.046507	5.40	1.29
608	163.10	2.74	1.15	20.88	23.62	23.60	24.11	0.014129	3.86	0.82
575	163.10	3.17	0.95	19.59	22.76	22.76	23.46	0.014143	3.76	0.79
530.8	163.10	3.08	0.99	18.60	21.68	21.98	22.75	0.021318	4.79	1.01
492	163.10	3.27	0.72	17.91	21.18	21.52	22.21	0.019960	4.85	0.96
466.4	163.10	3.74	1.45	17.43	21.17	20.78	21.41	0.006450	2.77	0.54
424	163.10	3.19	1.60	16.65	19.84	19.84	20.76	0.023288	4.25	1.01
371	163.10	3.75	1.17	16.37	20.12	18.76	20.38	0.004295	2.44	0.41
360.4	163.10	1.81	1.39	16.37	18.18	18.76	20.20	0.063824	6.29	1.57
353.3	163.10	2.42	1.85	15.84	18.26	18.27	19.33	0.023075	4.57	1.01
322	163.10	2.82	1.28	15.18	18.00	17.37	18.43	0.007953	3.00	0.62
283	163.10	2.73	1.91	14.62	17.35	17.03	18.02	0.013774	3.62	0.80
245	163.10	3.22	1.38	13.89	17.11	16.71	17.59	0.008679	3.25	0.62
210.5	163.10	3.47	1.44	13.36	16.83	16.57	17.32	0.007761	3.23	0.61
178	163.10	3.76	1.45	12.71	16.47	15.77	17.00	0.008727	3.33	0.61
140.8	163.10	3.41	1.57	12.27	15.68	15.68	16.51	0.016291	4.34	0.86
101	163.10	2.99	0.70	11.91	14.90	14.90	15.32	0.013911	3.33	0.80
69	163.10	3.02	0.68	11.42	14.44	14.30	14.71	0.009414	3.03	0.67
32	163.10	3.13	0.72	10.88	14.01	14.01	14.39	0.009619	3.32	0.68
0	163.10	4.12	1.65	35.24	39.36	39.36	40.44	0.015027	4.81	0.83

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

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 09 RI
ID 0002 005
B
47 di 61

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]	
1409	130.6	4.35	2.20	35.51	39.86	38.65	40.18	0.004646	2.85	0.46
1391	130.6	3.57	1.64	35.24	38.81	38.81	39.95	0.019261	4.84	0.91
1370	130.6	3.02	1.17	34.88	37.90	38.37	39.39	0.032089	5.57	1.17
1344.3	130.6	4.19	1.56	34.42	38.61	37.88	38.87	0.004539	2.56	0.41
1337.1	130.6	4.19	1.50	34.35	38.54	37.87	38.77	0.004055	2.45	0.39
1319	130.6	3.87	1.20	34.07	37.94	37.94	38.61	0.011950	4.03	0.72
1284	130.6	3.49	0.99	33.39	36.88	37.13	37.95	0.027963	4.88	1.08
1245	130.6	3.79	1.14	32.62	36.41	36.00	36.97	0.011072	3.40	0.71
1218.1	130.6	4.21	1.25	32.02	36.23	35.62	36.70	0.007430	3.22	0.59
1189	130.6	4.07	1.29	31.51	35.58	35.58	36.36	0.016707	4.02	0.84
1162	130.6	3.45	1.75	30.97	34.42	34.61	35.72	0.030367	5.06	1.13
1119.7	130.6	4.20	2.14	30.11	34.31	33.55	34.96	0.007899	3.64	0.64
1095	130.6	3.87	1.95	29.73	33.60	33.40	34.64	0.018763	4.51	0.89
1070	130.6	3.87	1.99	29.27	33.14	32.92	34.15	0.019834	4.46	0.90
1046	130.6	3.87	1.27	28.85	32.72	32.72	33.66	0.018596	4.33	0.90
1017	130.6	2.30	0.56	28.26	30.56	31.14	32.65	0.067281	6.71	1.63
992	130.6	2.72	0.78	27.96	30.68	30.86	31.38	0.020521	4.05	0.97
959	130.6	3.33	1.67	27.41	30.74	29.85	30.84	0.002249	1.75	0.33
926	130.6	3.62	1.33	26.80	30.42	29.89	30.70	0.005789	2.54	0.53
896.5	130.6	3.30	1.68	26.16	29.47	29.47	30.36	0.021099	4.63	0.95
864	130.6	3.34	1.71	26.18	29.52	28.83	29.82	0.006074	2.80	0.54
835	130.6	3.20	1.57	25.99	29.19	28.66	29.61	0.007643	3.26	0.61
798	130.6	3.06	1.23	25.20	28.26	28.26	29.13	0.020340	4.40	0.97
768.3	130.6	3.11	1.43	24.49	27.60	27.60	27.91	0.006938	2.68	0.52
733	130.6	2.61	1.93	24.10	26.71	26.36	27.39	0.013766	3.64	0.79
721.7	130.6	2.49	1.86	24.00	26.49	26.24	27.22	0.015730	3.79	0.84
698.99	130.6	2.61	1.93	23.60	26.21	25.84	26.87	0.013492	3.60	0.78
665	130.6	2.28	1.73	23.00	25.28	25.28	26.28	0.020752	4.49	0.99
630	130.6	2.56	1.25	22.17	24.73	24.78	25.45	0.021929	4.28	0.97
608	130.6	2.04	0.79	21.78	23.82	24.09	24.73	0.049219	5.21	1.30
575	130.6	2.56	0.99	20.88	23.44	23.44	23.90	0.014008	3.64	0.80
530.8	130.6	2.62	1.61	19.59	22.21	22.15	23.06	0.022140	4.09	0.97
492	130.6	3.13	1.02	18.60	21.73	21.73	22.37	0.012480	3.71	0.78
466.4	130.6	3.13	0.60	17.91	21.04	21.35	21.95	0.017951	4.43	0.91
424	130.6	3.39	1.15	17.43	20.82	20.62	21.11	0.008132	2.92	0.59
371	130.6	2.87	1.51	16.65	19.52	19.52	20.37	0.024044	4.08	1.01
360.4	130.6	3.11	2.18	16.37	19.48	18.45	19.88	0.006980	2.81	0.52
353.3	130.6	2.46	1.81	16.37	18.83	18.45	19.49	0.014841	3.62	0.77
322	130.6	2.12	1.64	15.84	17.96	17.96	18.89	0.023561	4.28	1.01
283	130.6	2.44	1.16	15.18	17.62	17.08	18.09	0.010129	3.05	0.68
245	130.6	2.51	1.78	14.62	17.13	16.76	17.67	0.012139	3.24	0.75
210.5	130.6	2.98	1.26	13.89	16.87	16.41	17.28	0.008363	3.00	0.60
178	130.6	3.12	1.15	13.36	16.48	15.87	16.99	0.009135	3.22	0.65
140.8	130.6	3.45	1.28	12.71	16.16	15.41	16.64	0.008727	3.09	0.60
101	130.6	3.14	1.36	12.27	15.41	15.41	16.16	0.015665	4.07	0.83
69	130.6	2.65	0.93	11.91	14.56	14.81	15.47	0.030598	4.35	1.15
32	130.6	2.88	0.67	11.42	14.30	14.23	14.55	0.008617	2.77	0.64
0	130.6	2.87	0.67	10.88	13.75	13.75	14.21	0.011712	3.40	0.74

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

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
LOTTO
CODIFICA
DOCUMENTO
REV.
FOGLIO
IVOI
00
D 09 RI
ID 0002 005
B
48 di 61

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]	
1409	89.80	3.60	1.85	35.51	39.11	38.18	39.39	0.005081	2.60	0.46
1391	89.80	2.92	1.47	35.24	38.16	38.16	39.15	0.022540	4.45	0.95
1370	89.80	3.25	1.26	34.88	38.13	37.84	38.66	0.010240	3.36	0.67
1344.3	89.80	3.78	1.28	34.42	38.20	36.73	38.41	0.003883	2.21	0.37
1337.1	89.80	3.77	1.18	34.35	38.12	36.64	38.32	0.003698	2.18	0.37
1319	89.80	3.18	1.27	34.07	37.25	37.25	38.12	0.018592	4.26	0.87
1284	89.80	3.31	0.85	33.39	36.70	36.82	37.40	0.019787	3.86	0.90
1245	89.80	3.29	1.67	32.62	35.91	35.41	36.42	0.012188	3.16	0.72
1218.1	89.80	3.75	1.18	32.02	35.77	34.96	36.14	0.006874	2.77	0.55
1189	89.80	3.29	1.57	31.51	34.80	34.80	35.74	0.025469	4.31	1.00
1162	89.80	2.87	1.52	30.97	33.84	34.01	34.97	0.031541	4.70	1.12
1119.7	89.80	3.52	1.84	30.11	33.63	32.96	34.15	0.008404	3.22	0.63
1095	89.80	3.32	1.72	29.73	33.05	32.76	33.83	0.017580	3.91	0.84
1070	89.80	3.47	1.87	29.27	32.74	32.25	33.41	0.014095	3.60	0.75
1046	89.80	3.15	1.59	28.85	32.00	32.00	32.93	0.024743	4.28	1.00
1017	89.80	2.18	0.82	28.26	30.44	30.89	31.92	0.048381	5.42	1.37
992	89.80	2.58	0.65	27.96	30.54	30.62	31.01	0.014571	3.23	0.81
959	89.80	2.83	1.22	27.41	30.24	29.61	30.34	0.002839	1.73	0.36
926	89.80	3.03	1.02	26.80	29.83	29.47	30.16	0.008935	2.60	0.63
896.5	89.80	2.90	1.41	26.16	29.06	29.03	29.76	0.019158	4.08	0.90
864	89.80	2.76	1.63	26.18	28.94	28.44	29.27	0.007831	2.81	0.60
835	89.80	2.63	1.27	25.99	28.62	28.16	29.02	0.008940	3.05	0.64
798	89.80	2.92	1.19	25.20	28.12	27.94	28.62	0.012487	3.29	0.75
768.3	89.80	2.38	1.33	24.49	26.87	26.87	28.00	0.032620	4.92	1.13
733	89.80	2.12	1.63	24.10	26.22	25.88	26.74	0.013341	3.21	0.76
721.7	89.80	1.95	1.53	24.00	25.95	25.78	26.57	0.017185	3.48	0.86
698.99	89.80	1.99	1.55	23.60	25.59	25.38	26.18	0.016377	3.43	0.84
665	89.80	1.99	1.55	23.00	24.99	24.80	25.63	0.015683	3.61	0.85
630	89.80	2.30	1.05	22.17	24.47	24.47	25.00	0.018561	3.60	0.87
608	89.80	1.87	0.66	21.78	23.65	23.87	24.38	0.043134	4.55	1.21
575	89.80	2.32	0.78	20.88	23.20	23.22	23.60	0.013112	3.24	0.76
530.8	89.80	1.86	1.13	19.59	21.45	21.72	22.54	0.045442	4.63	1.32
492	89.80	2.64	1.16	18.60	21.24	21.11	21.85	0.015024	3.49	0.82
466.4	89.80	2.79	1.37	17.91	20.70	20.53	21.43	0.016139	3.80	0.84
424	89.80	2.93	0.73	17.43	20.36	20.36	20.76	0.011294	3.12	0.68
371	89.80	2.04	1.38	16.65	18.69	18.87	19.74	0.033750	4.56	1.18
360.4	89.80	2.26	1.69	16.37	18.63	18.03	19.01	0.009250	2.72	0.60
353.3	89.80	2.00	1.52	16.37	18.37	18.03	18.86	0.013895	3.11	0.73
322	89.80	1.69	1.34	15.84	17.53	17.53	18.27	0.024594	3.81	1.01
283	89.80	1.97	1.60	15.18	17.15	16.69	17.52	0.009717	2.69	0.65
245	89.80	2.07	1.48	14.62	16.69	16.37	17.11	0.012251	2.87	0.73
210.5	89.80	2.43	1.11	13.89	16.32	15.83	16.72	0.009895	2.84	0.64
178	89.80	2.63	1.82	13.36	15.99	15.40	16.41	0.009159	2.85	0.63
140.8	89.80	3.04	1.59	12.71	15.75	14.98	16.08	0.007249	2.56	0.54
101	89.80	2.60	1.04	12.27	14.87	14.66	15.61	0.017344	3.87	0.86
69	89.80	2.57	0.88	11.91	14.48	14.48	14.98	0.017680	3.22	0.87
32	89.80	2.58	0.53	11.42	14.00	14.00	14.31	0.011440	2.85	0.71
0	89.80	2.46	1.00	10.88	13.34	13.29	13.82	0.015007	3.35	0.80

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

Per maggiori dettagli circa i risultati delle simulazioni condotte, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV0I	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 (rif. IV0I00D09PZID0002005).

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) 2.0 m/s e tirante = 2.60 m per il Torrente Bottassano, nonché i valori $SF = 2$; sponde = 1/1 ($\theta = 45^\circ$), $\phi = 50^\circ$, $S_g = 2.6$ t/mc, si ha: $d_{50} = 0.28$ m per i rivestimenti spondali. Si adotta $d_{50} = 0.30$ m.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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 = 3.60 m/s in alveo ($Tr = 200 \text{ anni}$); $C = 0.86$; $S = 2.6 \text{ t/mc}$, si ha: $d_{50} = 0.57 \text{ m}$.
 Si adotta $d_{50} = 0.60 \text{ m}$

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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	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:

$$\tau_b = \gamma_w \cdot R_H \cdot i_f = 1000 \cdot 1.90 \cdot 0.015 = 29 \text{ kg/m}^2$$

con:

- $R_H = 1.90$ 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, 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 $d_{50} = 0.60$ m:

$$\tau_c = 0.05 \cdot (2600 - 1000) \cdot 0.60 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_b < \tau_c \quad 29 \text{ kg/m}^2 < 48 \text{ kg/m}^2$$

Con un coefficiente di sicurezza $\tau_c / \tau_b = 48 / 29 = 1.7$

Pertanto, la scelta dei massi in alveo ricade su $d_{50} = 0.60$ 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 Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5.6 VERIFICA DELLE FASI DI CANTIERE

Durante la costruzione delle opere di attraversamento fluviale, nel caso specifico del nuovo viadotto VI01 sul T. Bottassano, con spalle in prossimità delle sponde, cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione della portata di riferimento per il dimensionamento delle eventuali opere provvisionali del periodo transitorio, di costruzione.

Per quanto concerne le opere provvisionali, necessarie per la costruzione dei manufatti di attraversamento o delle sistemazioni dell'alveo, la Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po (deliberazione 11 maggio 1999) stabilisce al paragrafo 4-8.3 - Condizioni fisiche di riferimento - che per le "fasi significative" di costruzione dell'opera, tenendo conto delle opere provvisionali eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata [...] il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera. Tale definizione richiama il concetto di "rischio idraulico", cioè la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da tempo di ritorno assegnato, TR, si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N.

Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l'evento si manifesti all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^N$$

nella quale:

R = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;

TR = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);

N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

L'assunto della Direttiva sopraccitata viene inteso nella condizione per cui il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisionali nel periodo di installazione del cantiere

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

(periodo di costruzione dell'opera) deve essere uguale al rischio idraulico che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

TR = tempo di ritorno di progetto (anni);

V = durata dell'opera (anni);

c = durata di costruzione (anni);

T_{pr} = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisorie (anni);

il concetto precedentemente esposto si trasforma nella seguente eguaglianza:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T_{pr}}\right)^c = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^V$$

dalla quale si ricava quindi il tempo di ritorno di calcolo per le opere provvisorie, T_{pr} :

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{\frac{V}{c}}}$$

La relazione così ottenuta può essere graficata fissato il tempo di ritorno di calcolo dell'opera, nella fattispecie $TR = 200$ anni, e il tempo di cantierizzazione, mettendo in relazione il tempo di ritorno di calcolo delle opere provvisorie con la vita nominale dell'opera; si ottengono le curve di riferimento al variare della durata del cantiere che consentono di definire un tempo minimo di ritorno di verifica delle opere provvisorie in funzione della vita dell'opera.

La Figura 21 riporta l'elaborazione condotta con riferimento specifico alla vita nominale delle opere pari a 75 anni e per durate variabili della cantierizzazione che ad ogni modo viene preventivamente stimata in 6 mesi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

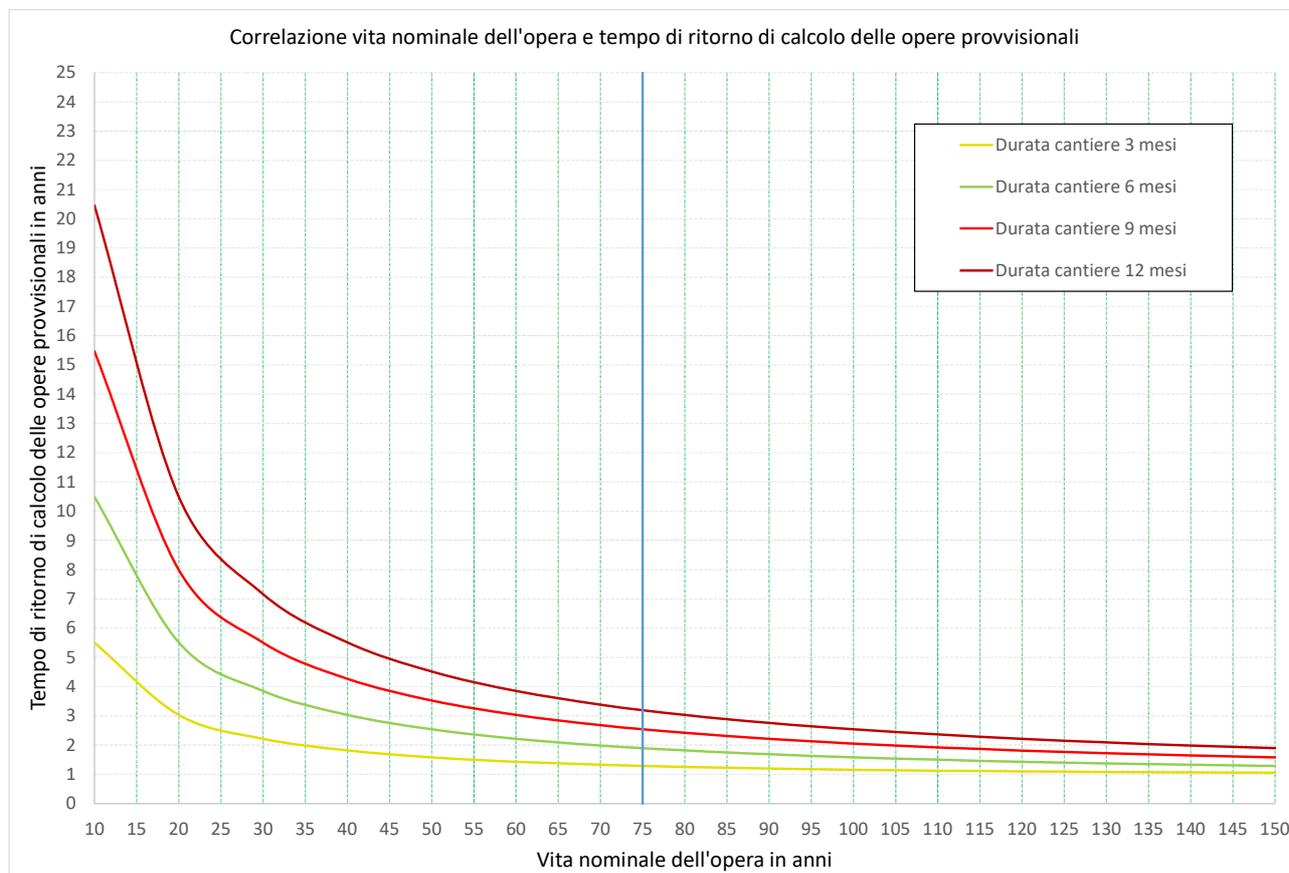


Figura 21: Correlazione tra tempo di ritorno di verifica delle opere provvisionali e vita nominale dell'opera in funzione della durata del cantiere, fissato un tempo di ritorno di riferimento pari a 200 anni

Con una vita nominale dell'opera pari a 75 anni e una durata del cantiere pari a 6 mesi, il tempo di ritorno per il calcolo delle opere provvisionali connesse alla realizzazione delle strutture di attraversamento è stimato in poco meno di 2 anni.

Tuttavia, vista la criticità idraulica del territorio ove si dovrà operare, nonché cambiamenti climatici che hanno interessato e influenzato il regime idrologico con particolare riferimento anche a recenti e frequenti episodi alluvionali che hanno colpito la zona ligure, nondimeno la possibile variabilità dei tempi di cantierizzazione in alveo, è auspicabile considerare eventi caratterizzati da tempi di ritorno più significativi e pari ad almeno 5 anni.

In effetti, con riferimento anche alle indicazioni riportate nel testo "Sistemazione dei corsi d'acqua a cura di Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin dell'Università di Padova – Dipartimento di Ingegneria idraulica, marittima, ambientale e geotecnica" e in mancanza di una specifica analisi di

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

rischio si ritiene opportuno considerare una probabilità di accadimento massima del 5-10%. Per la durata di 6 mesi, ammettendo una probabilità di accadimento del 10%, si perviene a $Tr = 5$ anni.

La portata di riferimento con $Tr = 5$ anni per la verifica delle fasi di realizzazione del nuovo viadotto VI01 sul T. Bottassano è stata calcolata con modello HEC HMS, ed è pari a $39.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

La verifica idraulica della fase transitoria di cantiere è stata eseguita facendo riferimento al modello monodimensionale 1D (in regime di moto permanente) già sviluppato, descritto in precedenza, adottando le medesime impostazioni riguardanti scabrezze, regime della corrente, condizioni al contorno.

Per la realizzazione delle spalle del nuovo viadotto VI01 si prevedono le seguenti due fasi:

FASE 1

- Realizzazione delle spalle B in destra idraulica previa posa in opera delle relative opere provvisionali
- I deflussi "di cantiere" sono garantiti dall'attuale sezione alveo, non interessato dalle lavorazioni
- Al termine delle lavorazioni si procederà alla rimozione delle opere provvisionali

FASE 2

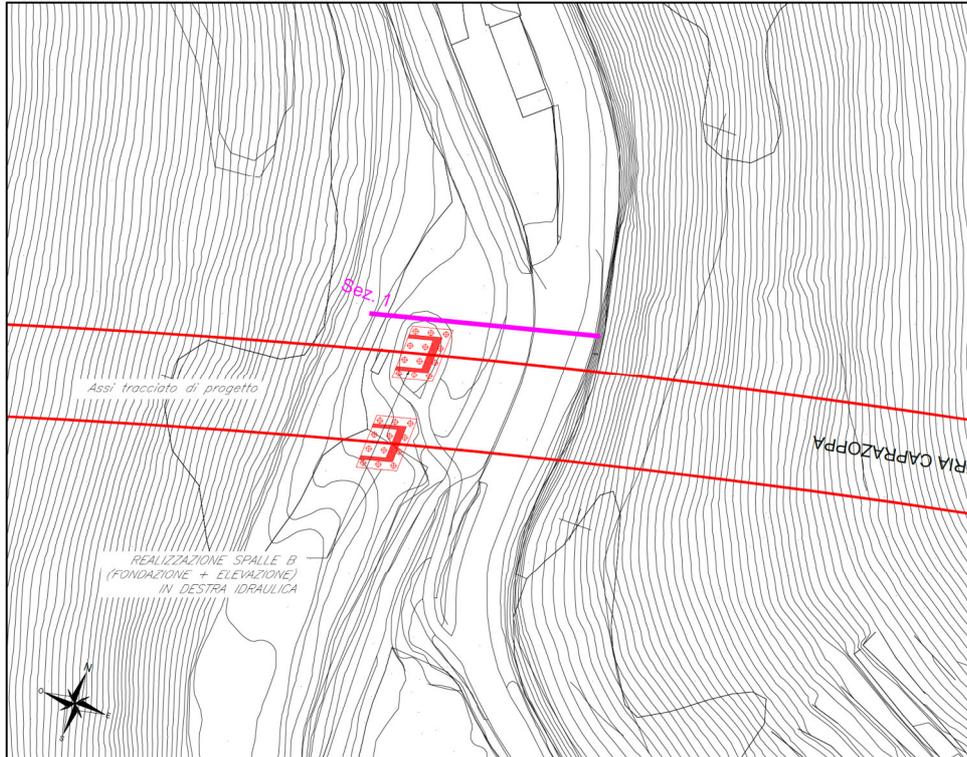
- Deviazione provvisoria del torrente in destra idraulica (tramite canale trapezoidale)
- Realizzazione delle spalle A in sinistra idraulica previa posa in opera delle relative opere provvisionali
- Rimozione delle opere provvisionali
- Sistemazione e riprofilatura della sezione d'alveo di progetto a partire dalla sezione di deflusso provvisoria, con posa in opera del relativo rivestimento (rif. IV0I00D09PZID0002005)

L'esecuzione delle attività lavorative dovrà avvenire durante il periodo estivo o comunque nei periodi di magra del Torrente Bottassano. Dovrà essere inoltre predisposto un sistema di allerta/allarme, sotto il coordinamento della Protezione Civile, per la necessaria interruzione preventiva delle lavorazioni, in caso di piena del corso d'acqua (rif. IV0I00D09PZID0002008).

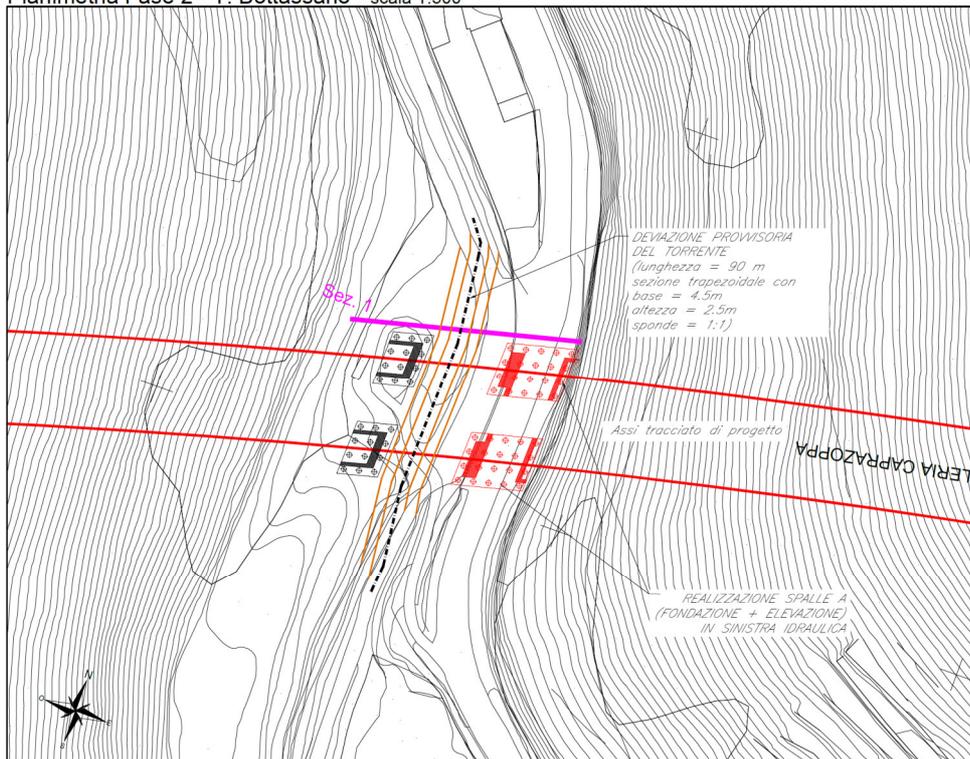
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

Di seguito, una schematizzazione grafica delle fasi sopra descritte.

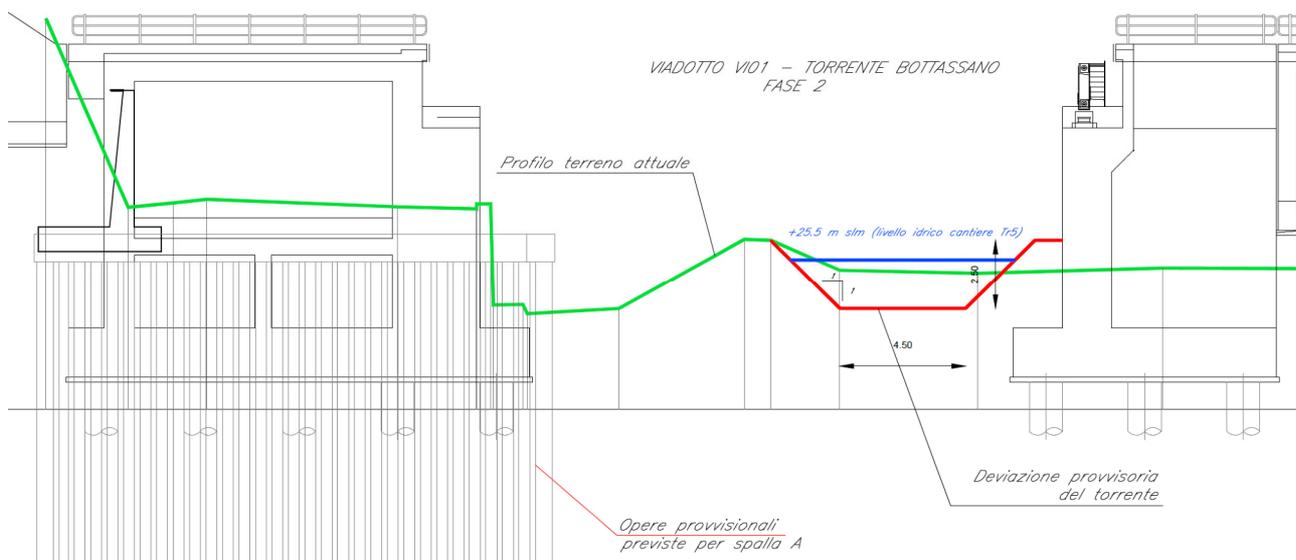
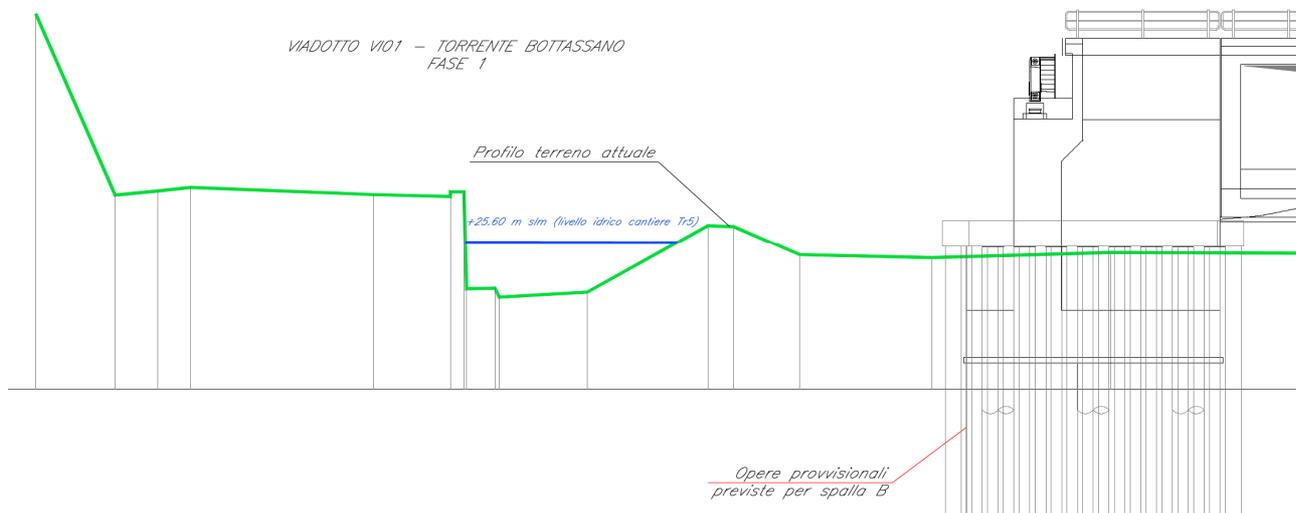
Planimetria Fase 1 - T. Bottassano - scala 1:500



Planimetria Fase 2 - T. Bottassano - scala 1:500



Nelle figure sottostanti invece, i risultati ottenuti (in termini di livelli) relativi alle due fasi.

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione idraulica Torrente Bottassano
COMMESSA
IV0I
LOTTO
00
CODIFICA
D 09 RI
DOCUMENTO
ID 0002 005
REV.
B
FOGLIO
57 di 61


Il livello massimo nella sezione di attraversamento in progetto durante la realizzazione delle opere si attesta a +25.60 m slm nella fase 1 e a +25.50 m slm nella fase 2 (rif. IV0I00D09PZID0002008A). I livelli idrici di cantiere risultano “contenuti” nell’attuale sezione d’alveo (fase 1) e nella sezione del canale trapezoidale provvisorio di deviazione (base 4.5 m, altezza 2.5 m, sponde 1/1).

 ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5.7 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. “*IV0100D09RIID0001001*”), 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 alla portata di progetto del T. Bottassano, ad oggi stimata per il $Tr = 200$ anni in 130.6 mc/s, si ottiene un valore della portata di progetto Tr_{200} proiettata nel periodo 2061-2090 pari a 148.0 mc/s circa, che è prossimo ma inferiore alla portata ad oggi stimata per il $Tr = 500$ anni (i.e. 163.1 mc/s).

Di seguito, si riportano inoltre i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario $Tr = 500$ anni (di riferimento al 2090), in corrispondenza del viadotto VI01 in progetto sul T. Bottassano, sopra analizzato.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena Tr 500 [m slm]	Franco sul livello idrico Tr 500 [m]
VI08	+30.70	+27.05	+3.65

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, anche con un franco superiore a quello minimo (1.5 m), previsto dalle NTC 2018.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

5.8 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

La modellazione numerica del T. Bottassano elaborata nell'ambito del presente studio ha permesso di fornire una valutazione dell'interferenza dell'opera di attraversamento in progetto con il corso d'acqua suddetto, interessato da nuove opere civili nell'ambito della progettazione definitiva del "Raddoppio della Linea ferroviaria Genova-Ventimiglia, Tratta Finale Ligure - Andora".

Le verifiche idrauliche sono state condotte sulla base dei risultati ottenuti dalla modellazione numerica del tratto fluviale interessato dagli interventi. Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo HEC-RAS e sono state condotte sulla base delle portate di riferimento relative ai tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

La configurazione di progetto è costituita dal nuovo viadotto ferroviario VI01 sul T. Bottassano nonché dalle opere di sistemazione/protezione idraulica in alveo, in corrispondenza del nuovo attraversamento.

Dai risultati della modellazione monodimensionale (dello stato "post operam") emerge come gli interventi in progetto non alterino le attuali condizioni di deflusso, né in termini di livelli idrici né di aree potenzialmente inondabili.

La verifica idraulica delle nuove opere di attraversamento ha evidenziato come la portata di piena di progetto, con tempo di ritorno pari a 200 anni, riesce a transitare in sicurezza al di sotto del ponte/viadotto in progetto, con franchi idraulici superiori ai valori minimi stabiliti nelle normative vigenti. Con riferimento alla pianificazione di bacino vigente, per il corso d'acqua in esame l'Autorità di Bacino prevede, nella zona di studio, la fascia di inondabilità denominata A (aree periferuali, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni). Nel testo integrato della normativa-tipo dei piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico ex all. 2 DGR 357/01 e ss.mm all'Art. 15 "Fasce di inondabilità" è riportato:

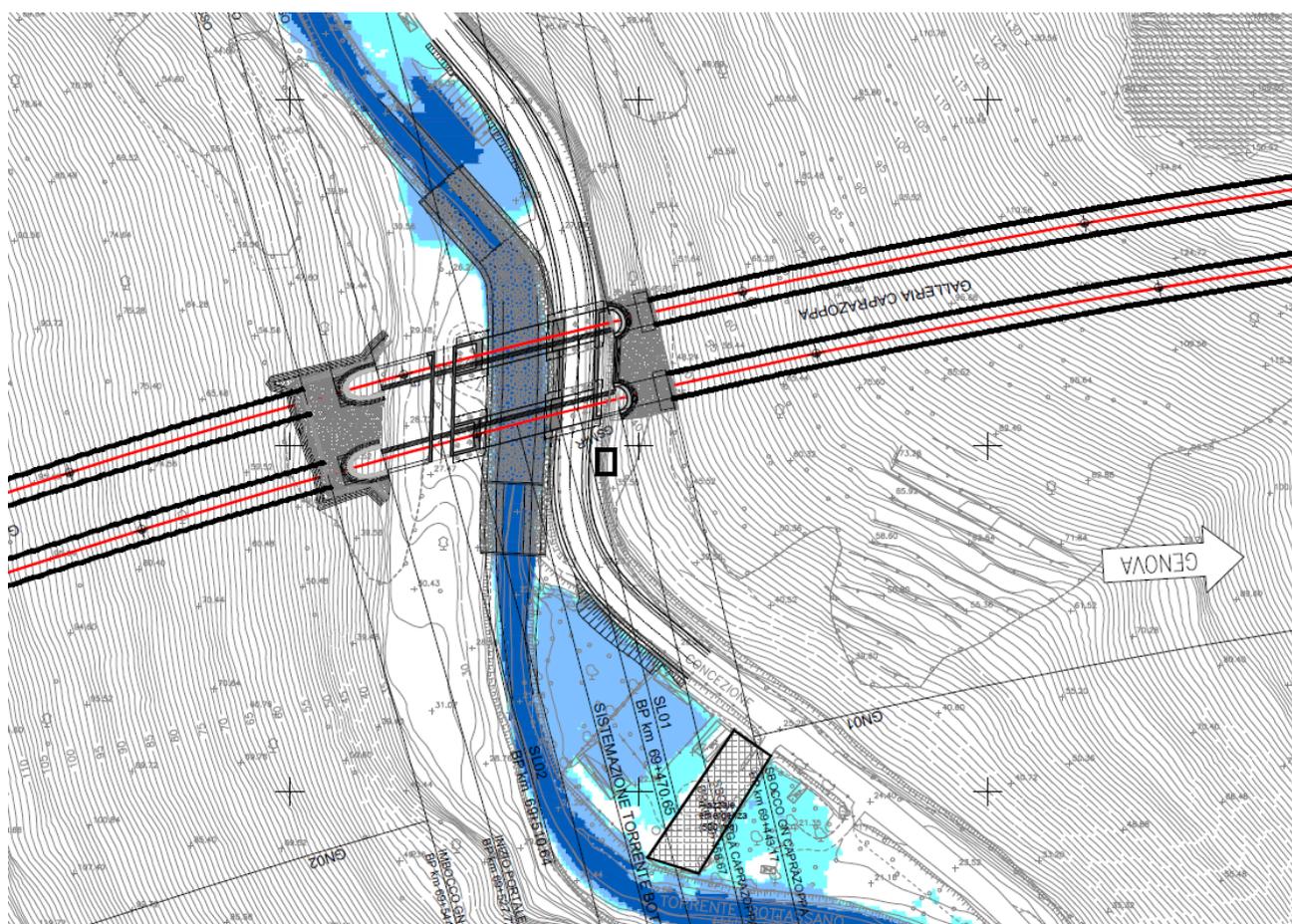
"Nella fascia A...omissis...sono consentiti:...omissis..."

c) la realizzazione di nuove infrastrutture non inquadrabili tra le opere di attraversamento, fatti salvi gli interventi necessari ai fini della tutela della pubblica incolumità e quelli relativi a nuove infrastrutture pubbliche connesse alla mobilità, previo parere favorevole della Provincia, purchè progettate sulla base di uno specifico studio di Compatibilità idraulica, non aumentino le condizioni di Rischio e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui al presente Piano e ai piani comunali di protezione civile ...omissis..." Dopo l'intervento sull'alveo previsto in questo progetto, la fascia di inondabilità per le nuove strutture progettate si riduce da fascia A a fascia C (aree periferuali esterne alle precedenti A e B, inondabili

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B

al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $Tr=500$ anni), per la quale al punto 4 del succitato Art. 15 è riportato: "Nella fascia C è consentito ogni tipo di intervento purchè realizzato con tipologie costruttive finalizzate alla riduzione della vulnerabilità delle opere e, quindi, del rischio per la pubblica incolumità...omissis..."

Per completezza, di seguito si riporta la sovrapposizione delle aree potenzialmente inondabili per $Tr = 200$ anni del T. Bottassano, ottenute dai risultati della modellazione monodimensionale (in particolare dall'intersezione dei livelli idrici con il Lidar-DTM di base), con la planimetria di progetto, a dimostrazione della compatibilità idraulica anche delle opere accessorie/annesse (i.e. piazzali di emergenza, viabilità, ...).



	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione idraulica Torrente Bottassano	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 0002 005	REV. B	FOGLIO 61 di 61

Riassumendo, gli interventi previsti:

- comprendono infrastrutture pubbliche a servizio della mobilità;
- non aumentano le condizioni di rischio, in quanto il nuovo attraversamento VI08 sul T. Merula e le altre opere connesse alla realizzazione della nuova stazione di Andora non alterano le attuali condizioni di deflusso;
- in corrispondenza del nuovo attraversamento in progetto i franchi idraulici risultano soddisfatti;
- non modificano le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio.

Pertanto, le opere previste in progetto si possono definire idraulicamente compatibili.