COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

CUP: **J94H17000420001**

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

UPGRADING PRESTAZIONALE CORRIDOIO RENO ALPI - TORINO

Adeguamento a modulo 750 metri della linea Savona - Genova

STAZIONE DI COGOLETO

Relazione idraulica Rio Beuca

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NT1N	00	D	26	RH	ID0002	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	C. Soave	Dicembre 2020	S. Santopietro	Dicembre 2020	F. Perrone	Dicembre 2020	A. Perego Dicembre 2020

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO
DOTT. ING. PEREGO ANDREA
Sez. A / B Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione
n°. A32428

File: NT1N00D26RHID0002001A		n. Elab.:

INDICE

1 PREMESSA 3

2 SCOPO DEL DOCUMENTO 6

3 RIFERIMENTI NORMATIVI 7

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 8

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 9

6 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL BACINO DEL RIO BEUCA 11

7 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA 12

8 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA 14

8.1 MANUALE DI PROGETTAZIONE E NTC 14

8.2 PRESCRIZIONI NTA PIANO DI BACINO 15

9 OPERE DI PROGETTO 18

9.1 ALLUNGAMENTO DEL TOMBINO SUL RIO BEUCA 18

10 ANALISI IDROLOGICA 19

11 MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE 20

11.1 PORTATA DI PROGETTO 21

11.2 TARATURA DEL MODELLO 22

11.3 CONDIZIONI AL CONTORNO 23

12 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE 28

12.1 SIMULAZIONI ANTE OPERAM E POST OPERAM 28

13 CONCLUSIONI 42

1 PREMESSA

La presente relazione si pone l'obbiettivo di approfondire dal punto di vista tecnico-idraulico, la progettazione definitiva inserita nell'ambito del progetto di Upgrading prestazionale corridoio Reno Alpi e riguarda la tratta Genova Voltri - Savona per la quale i Posti di Movimento sono stati previsti per entrambe le direzioni nella località di Cogoleto sui binari I e IV.

A Cogoleto, oggetto di questo progetto, è previsto l'allungamento della precedenza già presente sul binario I modificandone la radice lato Ventimiglia al fine di ottenere il modulo da 750 m e, per lo stesso motivo, una minima modifica in estensione del binario IV (lato Ventimiglia).

A seguito degli interventi verrà prevista la modifica dell'attuale ACEI e sarà necessario il prolungamento della tombinatura del rio Beuca; con l'occasione si dovrà prevedere il riposizionamento delle precedenze ad interassi standard.

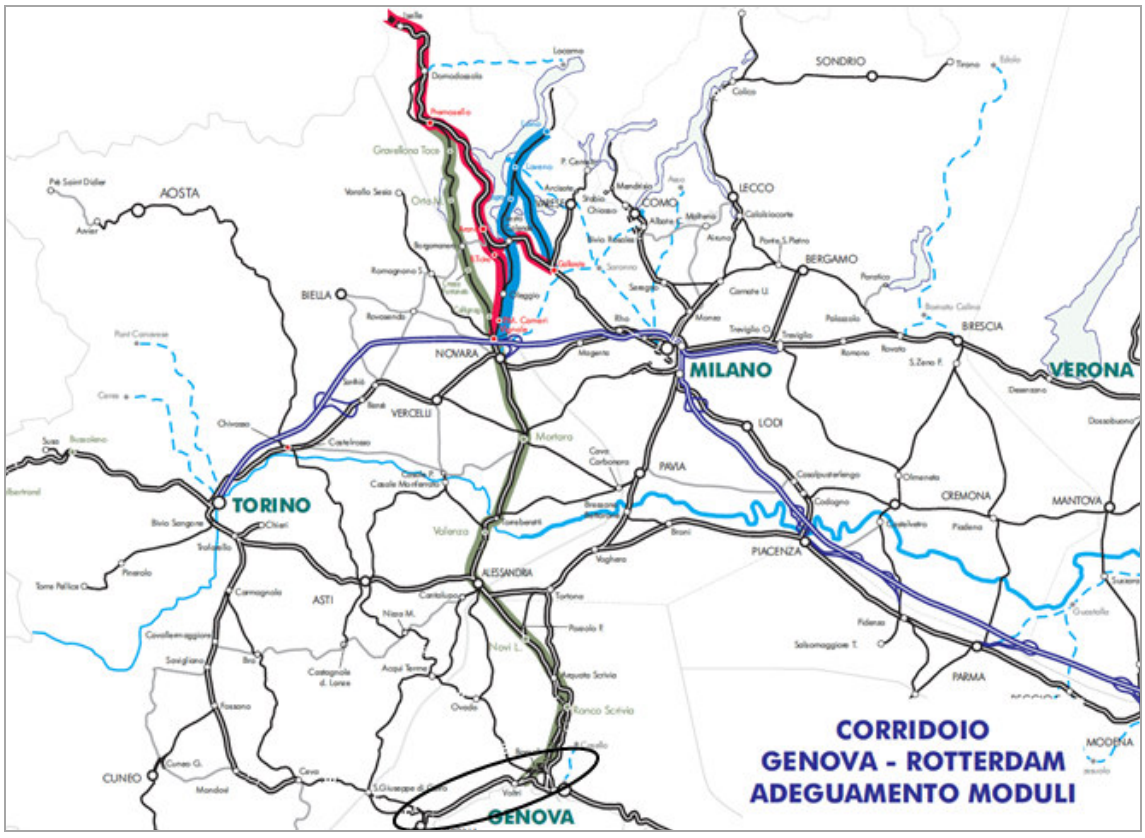


Figura 1.1 – Linea Savona – Genova interessata da interventi di adeguamento moduli 750

All'interno delle attività si inserisce la progettazione di una serie di opere idrauliche, nello specifico di questo intervento è previsto l'allungamento del tombino esistente sotto il corpo ferroviario che sovrappassa il Rio Beuca per consentire l'allargamento della piattaforma disponibile.
In corrispondenza della stazione di Cogoleto sono previste le seguenti opere:

- lato nord, demolizione del muro esistente e realizzazione di un nuovo muro di recinzione, che dovrà prevedere un varco nella soletta di fondazione per consentire l'attraversamento del Rio Beuca;
- lato sud, demolizione del muro esistente e costruzione di un nuovo muro su micropali per consentire la realizzazione del nuovo binario, previa esecuzione di una paratia provvisionale per il sostegno del binario esistente, nonché costruzione di un nuovo ponticello sul Rio Beuca per realizzare la copertura necessaria per il passaggio del nuovo binario, previa esecuzione di una paratia provvisionale per il sostegno del binario esistente.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- reperimento della cartografia di base;
- interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche di caratterizzzazione del bacino di interesse;
- raccolta ed analisi dei dati meteoclimatici con determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative proposte nella relazione idrologica che accompagna la presente;
- calcolo delle portate di riferimento per la verifica idraulica del Rio Beuca interessato dall'intervento nella configurazione ante e post operam;
- verifica idraulica a cavallo delle opere previste dall'intervento, nella configurazione attuale e in quella finale di progetto.

Lo studio idraulico è finalizzato alla valutazione e verifica idraulica del comportamento del Rio Beuca a cavallo della zona di intervento, in relazione a fissati eventi di portata per diverse probabilità di accadimento; la scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI, dalle Norme tecniche delle costruzioni e dalle normative regionali vigenti.



Figura 1.2 – Inquadramento territoriale dell'area di intervento – Cogoleto (GE)

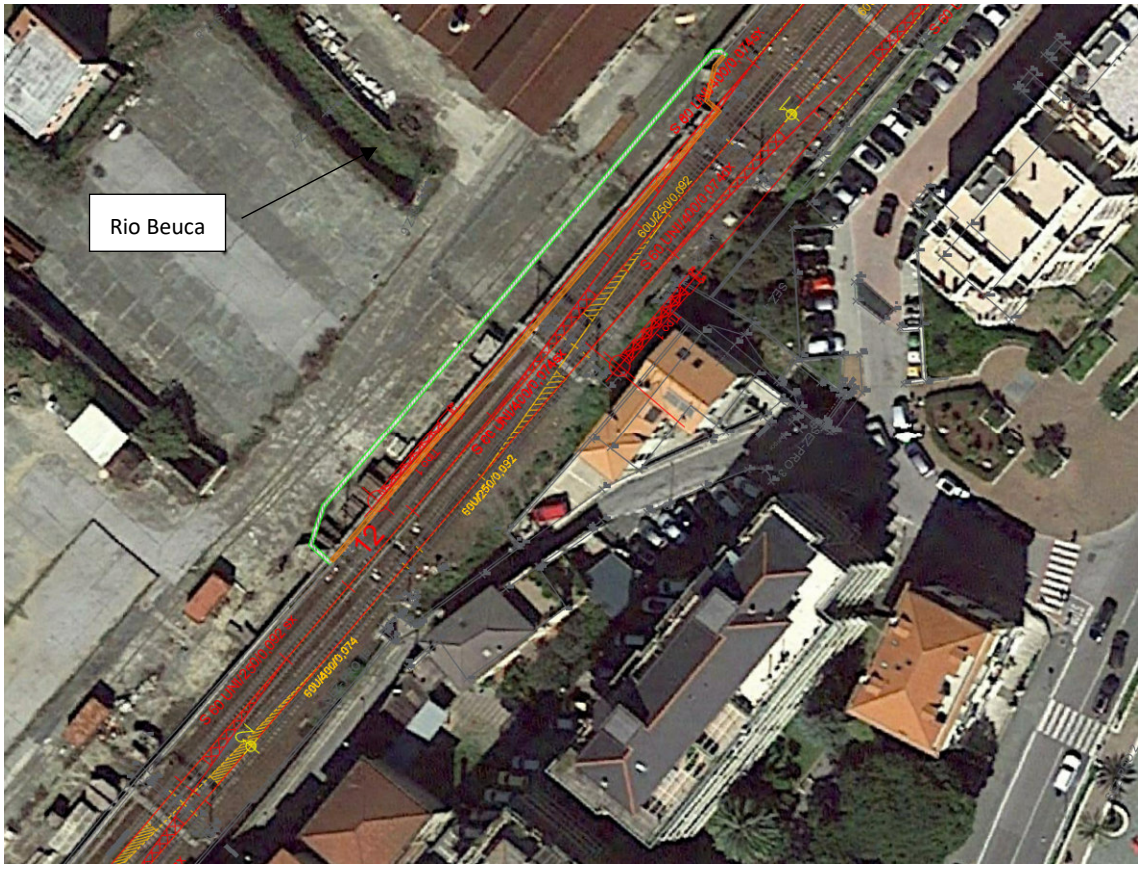


Figura 3 – Localizzazione del tratto di intervento

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di descrivere e verificare, dal punto di vista idraulico, la sistemazione dell'ultimo tratto del rio Rio Beuca, in corrispondenza dell'attraversamento della linea ferroviaria laddove è previsto l'allargamento del corpo ferroviario e il conseguente allungamento del tombino.

Le caratteristiche progettuali delle opere sono state estrapolate dalla progettazione definitiva approvata e dettagliata per la definizione dei particolari esecutivi.

Le opere in progetto nell'intono dell'attraversamento del Rio Beuca consistono nella realizzazione di muri di sostegno su micropali sui quali poggerà una soletta in calcestruzzo armato a creare l'allungamento del tombino esistente sul corpo idrico, sotanzialmete allungandolo di fatto di circa 5 m.

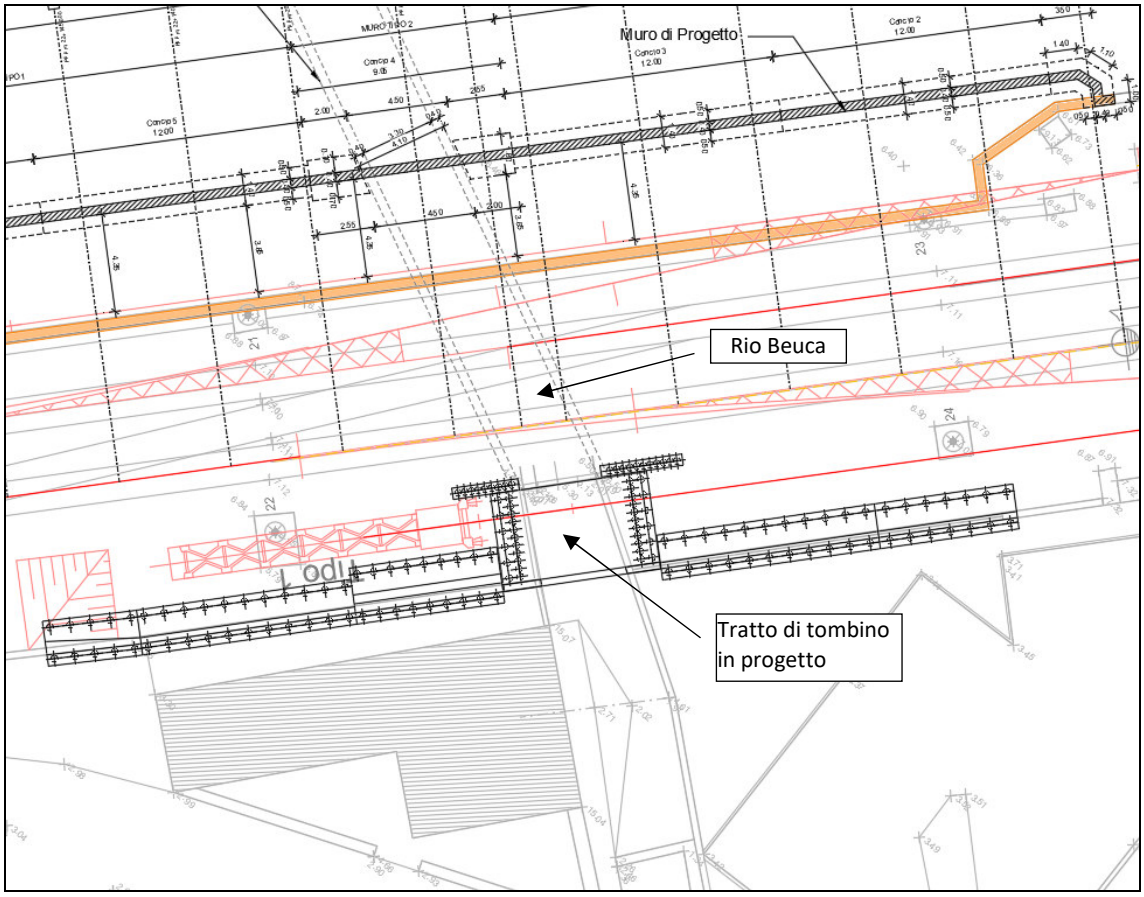


Figura 2.1 – Planimetria di progetto nell'intorno del tratto di tombino in prolungamento

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- 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); Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni", Ministero delle Infrastrutture e relative circolari esplicative.
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- DM Ambiente 16 Giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n.18 del 03/05/2017 – parte II).
- Piani di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (ai sensi dell'art. 1, comma1, del D.L. 180/1998 convertito in L. 267/1998) AMBITI REGIONALI DI BACINO 12 e 13 Piano degli interventi di mitigazione del rischio;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4 - "Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua";
- Regolamento Regionale 14 luglio 2011, n. 3. Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua;
- Piano di gestione del rischio di alluvione (PGRA) Regione Liguria.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito gli elaborati di riferimento per il presente progetto:

Idrologia e idraulica di Cogoleto	
Relazione idrologica - PRG Cogoleto	NT1N00D26RHID0001001A
Carta delle fasce fluviali - Cogoleto	NT1N00D26N5ID0001001A
Carta di pericolosità idraulica - PGRA - Cogoleto	NT1N00D26N5ID0001002A
Relazione idraulica Rio Beuca	NT100D26RHID0002002A
Rio Beuca - Profilo	NT1N00D26F8ID0002001A
Rio Beuca - Sezioni	NT1N00D26WAD0002001A

5 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il rio Beuca viene riportato nelle carte degli elaborati allegati al Piano di Bacino Stralcio per la Difesa Idraulica ed idrogeologica dell'ambito di bacino n.12 e 13.
Come risulta chiaro dall'ultima variante approvata del piano con DDG n. 4620 del 02/08/2019, la zona di interesse risulta perimetrata da alcune fasce di inondabilità, nonché rischio idraulico.

Si riportano nelle figure seguenti uno stralcio delle cartografie estratte dal portale della Regione Liguria sulle quali sono sovrapposte le informazioni sulle fasce fluviali e sul rischio idraulico prodotte nell'ambito dello sviluppo dei Piani di Bacino di rilievo regionale.

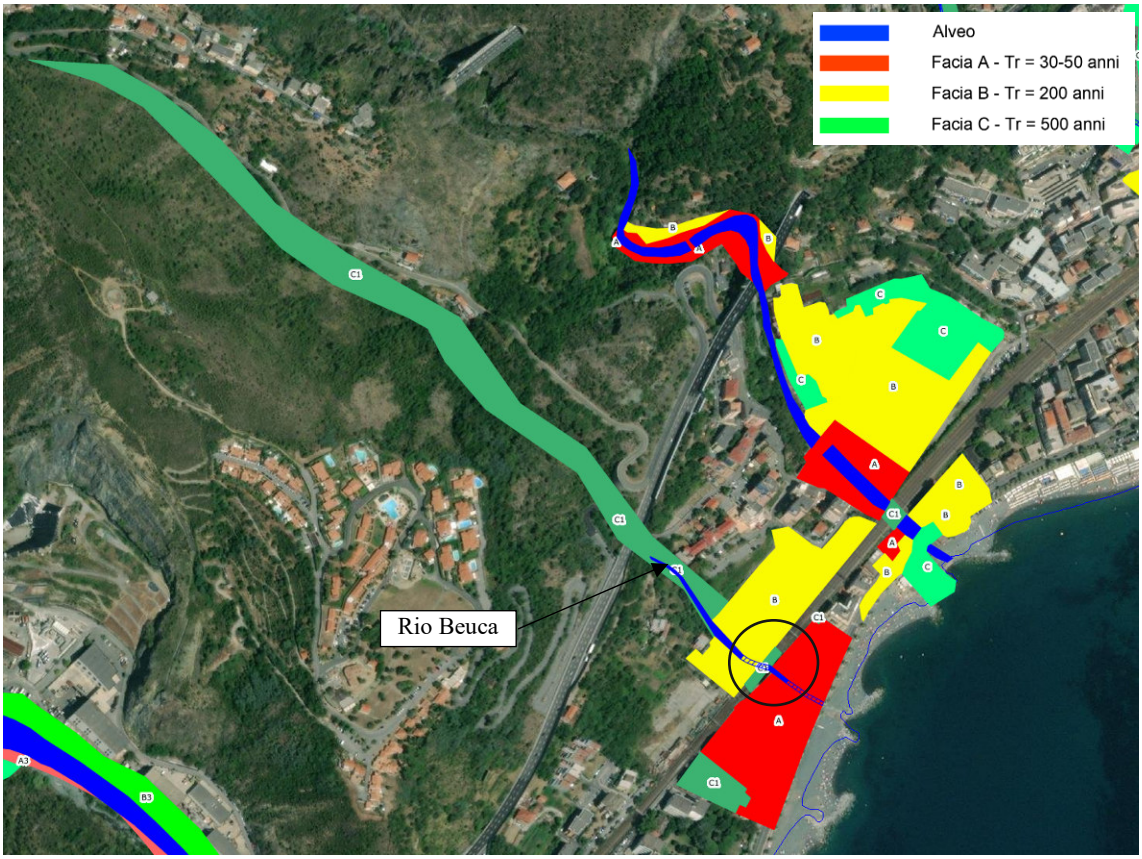


Figura 5.1 - Individuazione dell'area oggetto di intervento all'interno delle mappe delle fasce fluviali

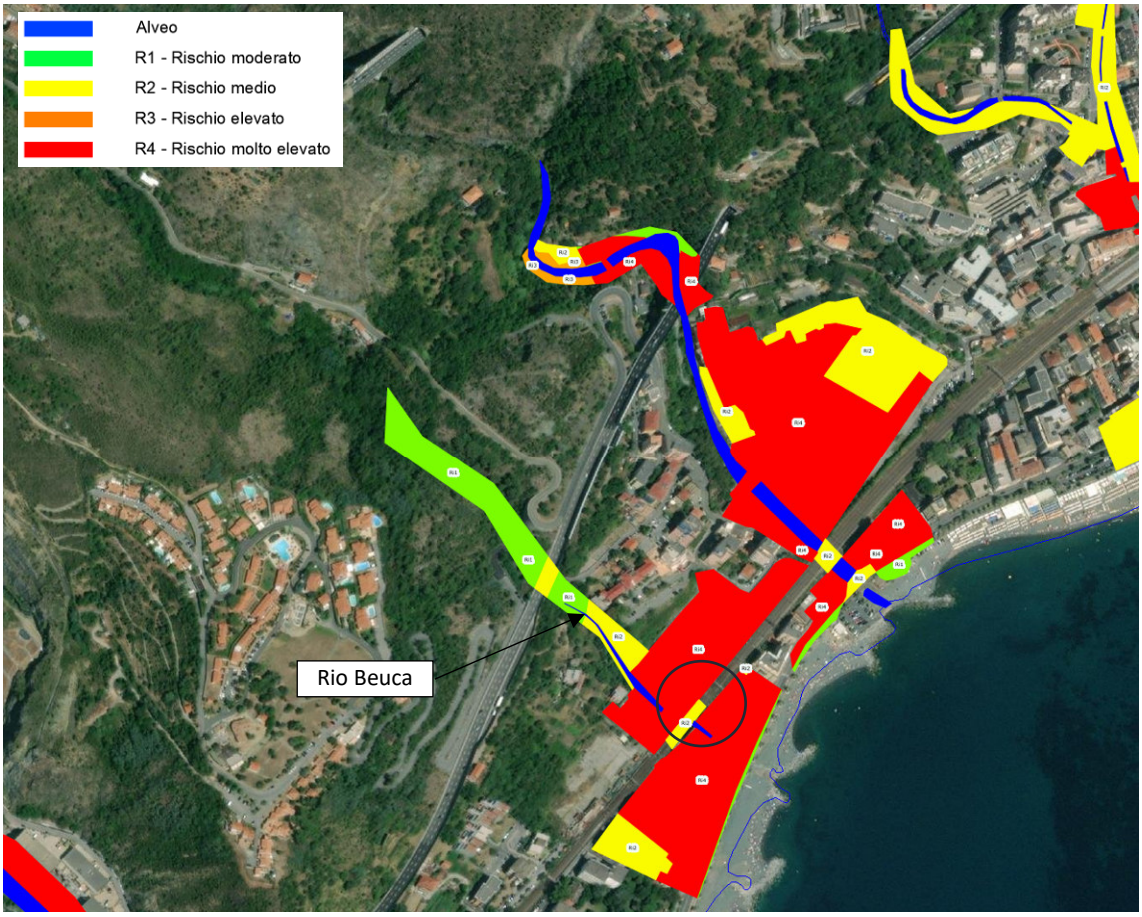


Figura 5.2 - Individuazione dell'area oggetto di intervento all'interno delle mappe di rischio idraulico

Come si evince dalle mappe riportate sopra, l'intervento ricade all'interno di un ambito perimetrato nelle fasce A, B e C, mentre dal punto di vista del rischio idraulico l'area appare coinvolta tra rischio medio e molto elevato.

6 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL BACINO DEL RIO BEUCA

Tra i bacini dei Torrenti Arrestra e Rumaro, si incontra una piccola area scolante occupata dal Rio Beuca. Il rio Beuca drena una superficie complessiva pari a 0.35 kmq alla foce. Esso ha origine alle spalle dell'abitato di Cogoleto, in località Sciarborasca, a quota 145 m s.l.m. circa e, dopo un percorso di circa 1.2 km in direzione NO-SE, defluisce in mare, perpendicolarmente alla linea di costa, in Comune di Cogoleto. Il bacino del rio Beuca è delimitato a levante e a settentrione dallo spartiacque con il bacino del torrente Rumaro, a occidente dallo spartiacque con il bacino del torrente Arrestra. A valle del tracciato autostradale il bacino del rio Beuca è caratterizzato da una forte urbanizzazione, pendenze dei versanti modeste, mentre a monte i versanti presentano acclività maggiori. La pendenza media dell'asta è pari a circa il 14% nel tratto a monte del tracciato autostradale e del 6% circa nel tratto a valle, fino allo sbocco a mare. La pendenza media dei versanti è pari al 25% circa, con una pendenza maggiore nella parte centrale del bacino, caratterizzata da valori intorno al 30-35%, e una pendenza minore nella parte alta del bacino e in quella terminale, caratterizzate da pendenze medie dell'ordine del 10%. A partire dalla ferrovia sino allo sbocco a mare il corso d'acqua si presenta tombinato per lunghi tratti. Nel tratto prossimo alla foce la tombinatura presenta una sezione di larghezza pari a 4 m e altezza pari a circa 2 m.

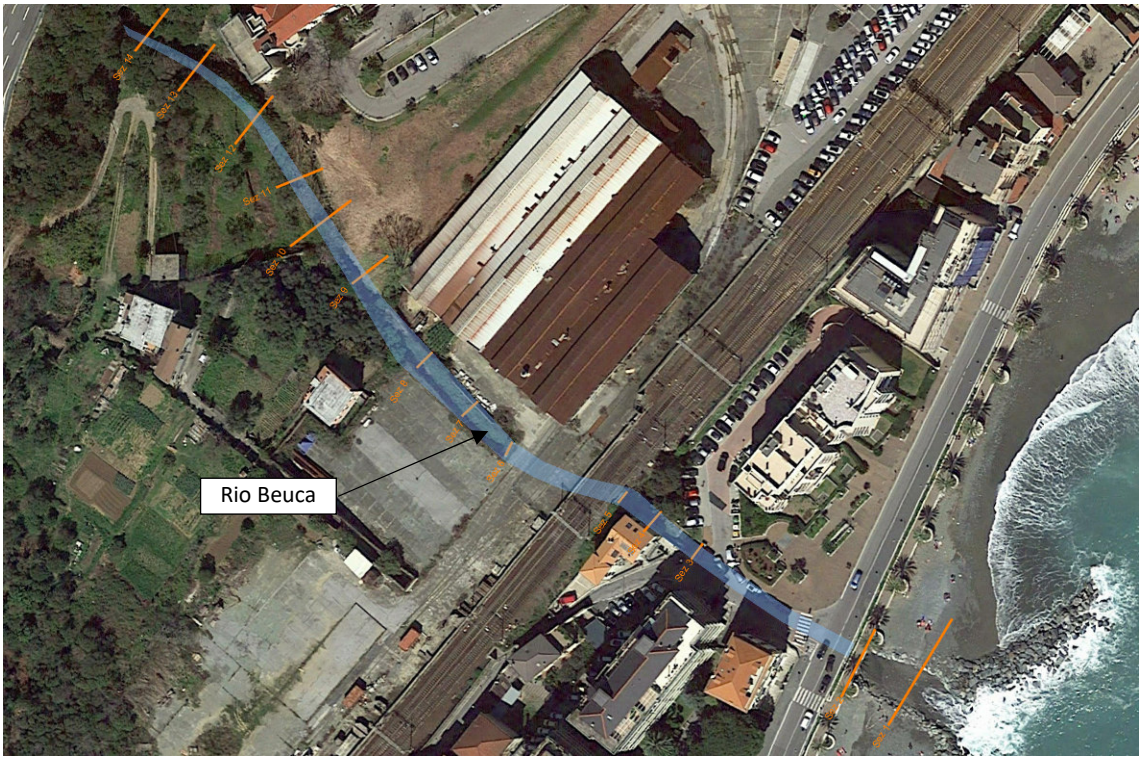


Figura 6.1 – Tratto del Rio Beuca oggetto di analisi e verifica idraulica con traccia delle sezioni di rilievo

7 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

Di seguito si riporta una breve documentazione fotografica dei tratti d'alveo di rio Beuca interessati dal presente studio, in particolare nelle prossimità dell'attraversamento ferroviario.



Foto 1 – Attraversamento esistente: Tombino sulla linea ferroviaria visto da valle



Foto 2 – Tratto del rio Beuca tra l'attraversamento ferroviario e la SS1 Aurelia



Foto 3 – Attraversamento esistente sulla SS 1 Aurelia - vista da monte



Foto 4 – Attraversamento esistente sulla SS 1 Aurelia - vista da valle in prossimità dello scarico a mare

8 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

8.1 MANUALE DI PROGETTAZIONE E NTC

Di seguito viene analizzata la compatibilità idraulica dell'opera di attraversamento in progetto con il territorio circostante in termini di funzionalità e sicurezza.
Le nuove infrastrutture che interferiscono con il reticolo idraulico devono soddisfare le prescrizioni previste dalle diverse normative vigenti; in particolare gli strumenti normativi a cui si fa riferimento sono:

- Manuale di Progettazione Ferroviaria 2020 (MdP).
- Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 (NTC).

In accordo al Manuale di Progettazione RFI ed alle NTC 2018 ogni manufatto idraulico di attraversamento (ponti e tombini) viene verificato utilizzando un tempo di ritorno pari a Tr = 200 anni.
I criteri di verifica hanno fatto riferimento alla classificazione normativa riguardante i ponti e non i tombini (rif. CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018).

Il Punto 5.1.2.3 della suddetta norma è quello specifico delle compatibilità idraulica dei ponti, restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m^3/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno pari a Tr = 200 anni.

Pertanto, le verifiche idrauliche sono state svolte con riferimento alla portata calcolata con tempo di ritorno duecentennale e ai seguenti criteri:

- Un franco idraulico Δ di almeno 1.50 m sul livello idrico immediatamente a monte dell'attraversamento associato alla piena di progetto e 0.5 m sopra la quota del carico idraulico totale, secondo quanto previsto dal manuale di progettazione ferroviaria (nello specifico della presente analisi il franco sarà valutato immediatamente a monte del nuovo tratto di tombino in allungamento);
- Un franco idraulico Δ di almeno 1.50 m sul livello idrico associato alla piena di progetto secondo le NTC 2018 (valutato sempre in riferimento al nuovo tratto di tombino in allungamento).

8.2 PRESCRIZIONI NTA PIANO DI BACINO

Il Piano di Bacino per la tutela dal rischio idrogeologico nei Bacini dell'ambito n° 12 e 13, redatto ai sensi del comma 1 dell'art. 1 del D.L. 11 Giugno 1998 n. 180, convertito con modificazioni in Legge 3 agosto 1998 n. 267:

- costituisce piano stralcio di bacino ai sensi del comma 6 ter, dell'art.17 della l. n. 18 Giugno 1989 n.183 relativo ai settori funzionali individuati dal comma 3 dello stesso art.17;
- ha valore di piano territoriale di settore;
- è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso relative alle aree suscettibili di dissesto idrogeologico finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio.

All'interno dell'allegato n° 3 ("Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici") alle norme di attuazione del Piano di Bacino, sono presenti le indicazioni relative alla conformità del progetto dal punto di vista degli studi idraulici.

Vengono nel seguito richiamati degli estratti delle principali indicazioni:

- Gli studi idraulici devono contenere il censimento e il rilievo delle opere e del profilo dell'alveo, per tratti significativi, sul quale basare le verifiche idrauliche per le diverse portate e determinare i livelli idrici attesi in corrispondenza alle portate di piena da esaminare.
- Lo studio va condotto per tratti idraulicamente significativi del corso d'acqua, delimitati cioè da sezioni in cui sia possibile assegnare il valore del livello idrico della corrente (ad es. attraversamento della profondità critica per brusco restringimento o allargamento, presenza di soglie, ponti, traverse, deflusso in un ricettore con livello noto, etc). Sulla base di tale principio vanno individuati tratti di corso d'acqua idraulicamente "sconnessi" l'uno dall'altro, tali da poter assumere che il comportamento idraulico di un tratto non sia influenzato e non sia influenzabile da tratti a monte e a valle.
- Di norma, ed in particolare nel caso della progettazione e della verifica di opere, può essere impiegato lo schema di corrente monodimensionale in condizioni di moto permanente, salvi i casi in cui sia necessario determinare valori locali della velocità della corrente o modificazioni della capacità di laminazione, o diverse specifiche problematiche da approfondire.
- Negli studi connessi alla progettazione di opere i calcoli idraulici per la definizione della condizione di deflusso vanno condotti con riferimento alle condizioni antecedenti e successive alla

realizzazione dell'opera nella configurazione definitiva, e nelle eventuali condizioni di deflusso relative alle fasi intermedi di realizzazione dell'opera qualora significative.

- I parametri di scabrezza da utilizzare nel calcolo idraulico devono tenere conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua, anche prevedibili per le condizioni di futuro esercizio. esercizio.

Tali valori di parametro di scabrezza devono essere desunti da quelli individuati dalla tabella seguente (per semplicità riportati solo in termini di scabrezza di Gauckler-Strickler), tenendo conto che gli stessi dovrebbero essere considerati valori massimi non superabili.

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza secondo Gauckler-Strickler K_s [$m^{1/3}/s$]
tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45
tombinature perfettamente lisciate e dotate a monte di dispositivi atti ad assicurare la trattenuta di trasporto solido di fondo e in sospensione (briglie selettive, vasche di sedimentazioni, ecc.)	45-55

Tabella 8.1 – Valori di scabrezza delle norme di attuazione del Piano di bacino dell'ambito n° 12 e 13

- 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. Alla loro valutazione devono concorrere considerazioni sia relative alla tipologia di opera e alla sua rilevanza determinata anche in funzione della vulnerabilità delle zone limitrofe, sia relative alle caratteristiche cinetiche della corrente, con la fondamentale distinzione dei casi di correnti lente e di correnti veloci.

  I franchi idraulici non devono essere inferiori ai valori indicati nella tabella seguente, assumendo come riferimento il valore Giugnore tra quelli contrassegnati con le lettere (a) e con (b).

Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b)			
		Reticolo principale e secondario	Reticolo minore
(a)		$U^2/2g$,	$0,5\ U^2/2g$,
(b)	I) argini e difese spondali	cm. 50/100	cm 50
	II) ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150	cm 75
	III) coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12	cm. 150/200	cm 100

dove:

- il termine $U^2/2g$ rappresenta il carico cinetico della corrente con U velocità media della corrente (m/s) e g accelerazione di gravità (m/s^2);
- - i due valori estremi per il reticolo principale e secondario 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 le opere di cui al punto III, nel caso di modesta rilevanza dell'opera stessa e di bacini ben sistemati, il valore minimo del franco come sopra indicato può essere derogato dall'amministrazione competente fino a 100 cm, sulla base di adeguate valutazioni condivise con gli organi di competenza verifica e controllo.

9 OPERE DI PROGETTO

9.1 ALLUNGAMENTO DEL TOMBINO SUL RIO BEUCA

Nel tratto oggetto di adeguamento del raccordo ferroviario di Cogoleto è previsto l'alrgamendo del compo ferroviario che coinvolge direttamente l'alveo del Rio Beuca; ivi sarà realizzato un allungamento del tombino esistente di circa 5 m, con intradosso al di sopra del colmo massimo della struttura ad arco presente e realizzando una serie di muri in micropali sui quali insisterà una solettta in calcestruxzzo armato. I muri laterali del tombino avranno una distanza di circa 5 m, contro la larghezza del tombino esistente di 4 m. Nello specifico si prevede la realizzazione di due distinti tipi di paratia di micropali necessarie per la realizzazione delle opere a sud dei binari, allo sbocco del Rio Beuca rispetto al tombino esistente.

- Una paratia tirantata lungo il muro di sostegno su micropali denominata paratia tipo 1 - L'opera provvisoria è costituita da micropali di diametro D=300mm, interasse 35cm, e lunghezza di 9m, armati con tubolari in acciaio DE193.7mm e spessore 10mm. A 1m di profondità dalla sommità della paratia di micropali sono presenti dei tiranti a due trefoli di lunghezza totale L=15m (lunghezza libera pari a 4m e lunghezza del bulbo di 11m), diametro di perforazione di 145mm ed interasse di 210cm inclinati di 30° sull'orizzontale.

- Una paratia di micropali posizionata tra il binario esistente e la soletta di progetto introdotta sopra il canale Rio Beuca denominata paratia tipo 2 - L'opera provvisoria è costituita da micropali di diametro D=300mm, interasse 35cm, e lunghezza di 5m, armati con tubolari in acciaio DE193.7mm e spessore 10mm.

Alla luce delle dimensioni dell'opera in progetto sul Rio Beuca, non riducendosi la sezione idraulica del tratto di valle del tombino, ne in altezza tantomeno in larghezza, si prevede che dal punto di vista idraulico nulla cambi in termini di capacità di deflusso, di altezze idriche e velocità della corrente in concomitanza di eventi di riferimento. Il tombino in prolungamento risulta, in effetti, più largo e più alto della luce esistente e pertanto, trovandosi pure a valle dell'attraversamento, si colloca in una zona d'ombra rispetto alle linee di corrente obbligate da monte; appare quindi evidente che **dal punto di vista idraulico la presenza del tratto in prolungamento si rivelerà assolutamente insignificante**.

Al fine di analizzare e asseverare le ipotesi idrauliche sostenute è stato realizzato un modello di calcolo con codice HEC-RAS sulla scorta delle sezioni detotte da rilievo topografico condotto allo scopo.

10 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è stata finalizzata alla caratterizzazione dei parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per per la valutazione della portata e degli effettivi tiranti idrici risultanti all'interno del corso d'acqua.

Nell'ambito dello studio idrologico sono stati stimati i parametri della legge di possibilità pluviometrica per i differenti tempi di ritorno al fine di calcolare, mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi, le portate di progetto che interessano i manufatti idraulici.

Nell'ambito del presente studio si è stimata la portata defluente applicando le formulazioni per il calcolo delle massime portate di piena, così come presentate nel Piano di Bacino, utilizzando come tempo di corrivazione il risultato delle formulazioni di Pasini Kirpich e Pezzoli, che meglio si adattano a piccoli bacini dalla forma allungata come nel caso del Rio Beuca.

Si riportano di seguito i dati principali del bacino ed il calcolo della relativa portata:

- S = superficie del bacino (km^2) = 0,35 km^2
- L = lunghezza dell'asta principale (km) = 1,2 km
- i = pendenza del corso d'acqua (-) = 0,12 m/m
- ΔH = altitudine max dell'asta principale riferita alla sezione di chiusura (m) = 130 m
- Hmed = quota media del bacino (m) = 65 m
- Tc = tempo di corrivazione calcolato come media tra le formulazione di Pasini Pezzoli e Kirpich (minuti) = 12
- φ = coefficiente di deflusso = 0.5 per Tr = 50 anni, 0.55 per Tr = 200 anni e 0.6 per tr = 500 anni. Il coefficiente di deflusso può assumere, a giudizio del progettista, valori tanto più vicini all'unità quanto maggiore risulti l'effetto dei seguenti fattori: tende a 1 per bacini di piccola estensione (inferiore a 50 km^2 , come nel caso in esame); tende a 1 per eventi eccezionali (ovvero per tempi di ritorno elevati: già per valori di T superiori ai 200-500 anni sarebbe consigliabile assumere φ = 0,8 ÷ 0,9); tende a 1 per bacini caratterizzati da elevata pendenza (caso in esame); tende a 1 per bacini impermeabili (non è il caso in esame). Stanti queste indicazioni a scopo cautelativo si è scelto di imporre sempre un valore del coefficiente di deflusso cresscente da 0.50 a 0.60 per tempi di ritorno crescenti. Con questi valori si ottengono portate in linea con i valori desunti all'interno del Piano di Bacino Stralcio dell'Ambito 12 e 13.
- Q (200) = portata di dimensionamento a tempo di ritorno 200 anni (m^3/s) = **14**

Per una visione dettagliata degli aspetti di carattere idrologico valutati nel presente studio si rimanda alla relazione idrologica, NT1N00D26RHID0001001A.

11 MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE

Le modifiche prodotte dal progetto in essere insistono su un attraversamento di un corpo idrico oggetto di intervento di allungamento del tombino esistente pertanto vengono eseguite le verifiche del caso in ossequio alle Nuove Norme Tecniche per le costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018).

In particolare, si è già riferito come il prolungamento del tombino non possa provocare variazione alcuna rispetto alla configurazione attuale in quanto di tratta di un mero allungamento di circa 5 m con muri distanti circa 5 m, 1 metro in più rispetto all'esistente, con una soletta in calcestruzzo armato con intradosso pari al top dell'arco presente all'uscita del tombino presente; tale "protusione", tra l'altro, viene realizzata a valle del manufatto esistente e pertando in una zona d'ombra dal punto di vista idraulico, non potendo certamente modificare la capacità idraulica del tratto tantomeno l'officiosità idraulica dell'attraversamento.

L'analisi idraulica è stata condotta con l'intento di valutare il regime idrometrico del corso d'acqua facendo riferimento alla portata di piena, in particolare a quella duecentennale, al fine di valutare la massima quota raggiungibile dalla corrente nel punto in cui si prevede la realizzazione del manufatto.

Infatti, per quanto riguarda il franco di sicurezza, si sono verificate le situazioni più cautelative tra il Manuale di Progettazione RFI, le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e il Piano di Bacino dell'ambito n° 12 e 13.

Le simulazione numeriche, con riferimento allo stato di fatto e di progetto, sono state condotte utilizzando il codice di calcolo numerico monodimensionale a moto permanente HEC-RAS 5.0.7 River Analysis System, versione 5.0.7 del Marzo 2019 sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, il quale fornisce una adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo.

Il modello matematico è stato implementato ricostruendo la geometria dell'alveo attraverso i rilievi topografici eseguiti nel tratto di interesse.

Complessivamente il rilievo ha compreso un tratto di torrente avente un'estensione di circa 270 m dalla confluenza del rio Beuuca a mare fino a monte in prossimità dell'uscita dal viadotto sull'autostrada A10 Genova-Ventimiglia.

Lungo tale tratto, sono state realizzate 14 sezioni di lavoro numerate da valle verso monte, ad interasse medio di circa 15 m, in modo da rendere la modellazione più possibile aderente alla situazione esistente che si caratterizza per la presenza di un discreto numero di manufatti spondali in alveo ed in adiacenza all'alveo.

Come manufatti idraulici di maggiore evidenza presenti in alveo si individuano vari tratti di muri in cls e recinzioni di protezione dei lotti privati, un salto di fondo alle sezioni idrauliche n° 3 e 4, due attraversamenti quello in oggetto di analisi sul corpo ferroviario e quello piu a valle sulla strada SS1 Aurelia.

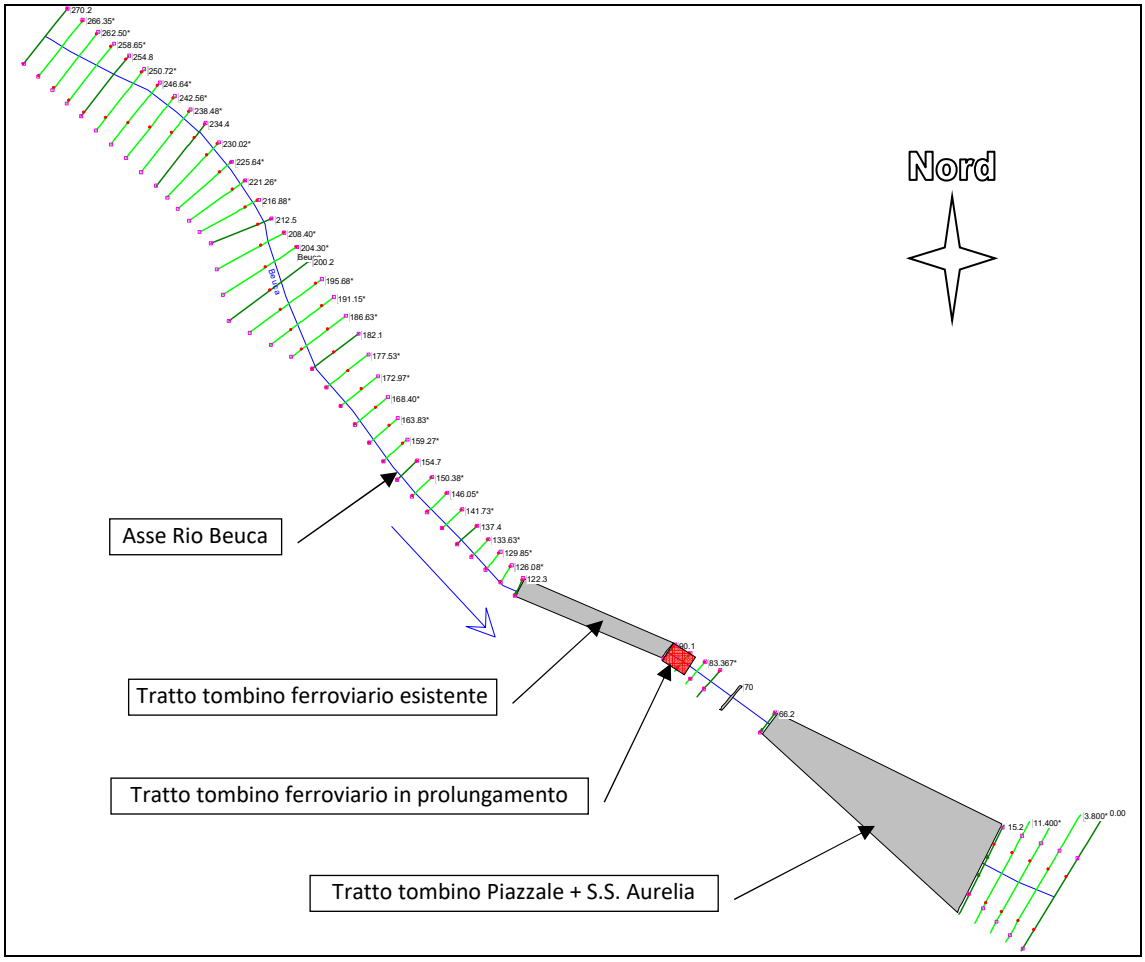


Figura 11.1 – Planimetria della modellazione monodimensionale del rio Beuca

11.1 PORTATA DI PROGETTO

Come già riportato al Par. 10, la portata di progetto utilizzata per la valutazione della compatibilità idraulica delle opere che interagiscono con il corso idrico, impiegata delle simulazioni idrauliche è la Q_{200} (portata caratterizzata da tempo di ritorno duecentennale) pari a :

Tempo di ritorno [anni]	200
Portata Q [m^3/s]	14

Tabella 11.1 – Portata di progetto

11.2 TARATURA DEL MODELLO

Come per ogni modello matematico, anche nel caso del modello monodimensionale HEC-RAS la taratura ricopre un aspetto particolarmente delicato.
In questo caso la taratura del modello numerico consiste nella valutazione dei coefficienti di scabrezza da adottare nelle differenti sezioni.
Tale operazione è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

Per quanto riguarda la scabrezza, secondo quanto indicato al Par.6 (punto 2 dell'allegato 2 delle Norme di attuazione) "parametri di scabrezza da utilizzare nel calcolo idraulico, ai fini sia delle verifiche idrauliche sia della determinazione delle aree inondabili", devono tenere conto delle reali e documentabili condizioni di manutenzione del corso d'acqua.
Tali valori di parametro di scabrezza devono essere desunti da quelli individuati dalla tabella seguente (riportati in termini di scabrezza di Gauckler-Strickler), tenendo conto che gli stessi dovrebbero essere considerati valori massimi non superabili".
Occorre tener presente che questi valori sono comunque suscettibili di modificazioni per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

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

I valori di riferimento sono descritti in Tabella 8.1, tuttavia si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino a favore di sicurezza; date le condizioni di manutezione riscontrabili anche dalle foto di sopralluogo si possono notare situazioni di forte degrado in alveo, con evidenti cumuli di materiale grossolano e di vario genere, presenze di vegetazione e ramaglie, elementi antropici che possono fortemente condizionare il libero deflusso delle acque in piena. Data la situazione morfologica e lo stato manutentivo dell'aveo si sono adottati parametri di scabrezza necessariamente cautelativi.

Coefficiente di Strickler	Coefficiente di Manning
Ks = 17 $m^{1/3}s^{-1}$ in alveo vivo	n = 0.06 $m^{-1/3}s$ in alveo vivo
Ks = 10 $m^{1/3}s^{-1}$ in sponda	n = 0.1 $m^{-1/3}s$ in sponda
Ks ~ 20 $m^{1/3}s^{-1}$ tratto a valle del tombino ferroviario	n = 0.052 $m^{-1/3}s$ tratto a valle del tombino ferroviario

Tabella 11.2 – Coefficienti di scabrezza ante e post operam

11.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

Il tratto di corso d'acqua studiato è a carattere prettamente torrentizio presentando pendenze discrete.
Per tener conto di queste condizioni le simulazioni numeriche sono state condotte in condizione di "mixed flow", ovvero si lascia la possibilità al modello di valutare in quali tratti è possibile che si instauri un regime di moto subcritico e supercritico.
Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezioni di monte, sia su quella di valle.

A monte, oltre ovviamente al valore di portata, è stata imposta, data la forte pendenza del tratto iniziale delle sezioni, la condizione di moto critico.

La condizione al contorno nella sezione di valle è stata assunta sulla base dei livelli idrici a mare dedotti sulla scorta di una indagine statistica del livelli registrati a mare alla stazione mareografica piu prossima al paraggio di Genova.
I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'ISPRA (www.mareografico.it) e si riferiscono alla stazione R.M.N. di Genova (cfr.Figura 11.2). Il mareografo, appartenente alla Rete Mareografica Nazionale, si trova presso l'acquario di Genova, in corrispondenza del punto di coordinate (Latitudine: 44° 24' 36.46'' – Longitudine: 8° 55' 31.86'').
La stazione mareografica è dotata di caposaldi altimetrici; ogni caposaldo è riferito al livello medio del mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson. I caposaldi sono contrassegni metallici che determinano la quota altimetrica mediante livellazione di alta precisione condotta a partire dalle linee principali stabilite dall'IGM. Dalla data del 16/12/09 il valore che compare con la denominazione "livello idrometrico" viene misurato con un nuovo sensore radar denominato SIAP+MICROS TLR con precisione millimetrica. ISPRA garantisce l'uniformità della misura con la serie di dati precedenti a tale data prodotti con il sensore SIAP+MICROS ID0710 basato su un trasduttore ad ultrasuoni avendone verificato il preciso allineamento.



Figura 11.2 – Stazione R.M.N. di Genova

Il periodo per il quale sono disponibili le registrazioni di marea va dall'11 dicembre 1998 ad oggi. I dati storici, misurati con il sensore ad ultrasuoni, sono stati archiviati da ISPRA e si riferiscono al decennio da dicembre 1998 a dicembre 2009. I dati più recenti, misurati con il sensore radar, coprono invece il periodo da gennaio 2010 a ottobre 2020; a titolo di esempio nella successiva Figura 11.3 si riporta l'andamento temporale della serie storica dei dati misurati relativo all'ultimo decennio.

Osservando il grafico si osservano alcuni picchi anomali registrati nel 2010 (valori cerchiati in rosso; si tratta di valori isolati privi di continuità temporale) e un periodo piuttosto lungo durante il quale non sono stati misurati dati di livello (circa 2 anni da maggio 2015 a maggio 2017).

Prima di procedere con l'analisi statistica dei livelli estremi di marea i dati registrati sono stati quindi opportunamente analizzati, eliminando i valori anomali e gli anni non rappresentativi, ovvero gli anni con copertura di dati insufficiente e/o misure significativamente più basse rispetto al trend dei livelli massimi registrati.

Per ciascun anno di misurazione è stato quindi individuato il massimo valore del livello registrato dalla stazione; i valori dei massimi annuali sono stati elaborati con l'approccio statistico di Gumbel.
Nella successiva Tabella 11.3 sono riportati i dati considerati nell'analisi; sono stati eliminati tre anni (1998, 1999 e 2016) in quanto non rappresentativi per carenza/assenza di dati e sostituiti due valori anomali, registrati nel 2001 e nel 2010, con valori "massimi" attendibili.
In Figura 11.3 si riportano graficamente i risultati dell'elaborazione statistica di Gumbel mentre in Tabella 11.4 si riporta per ciascun tempo di ritorno il corrispondente valore del livello di marea.

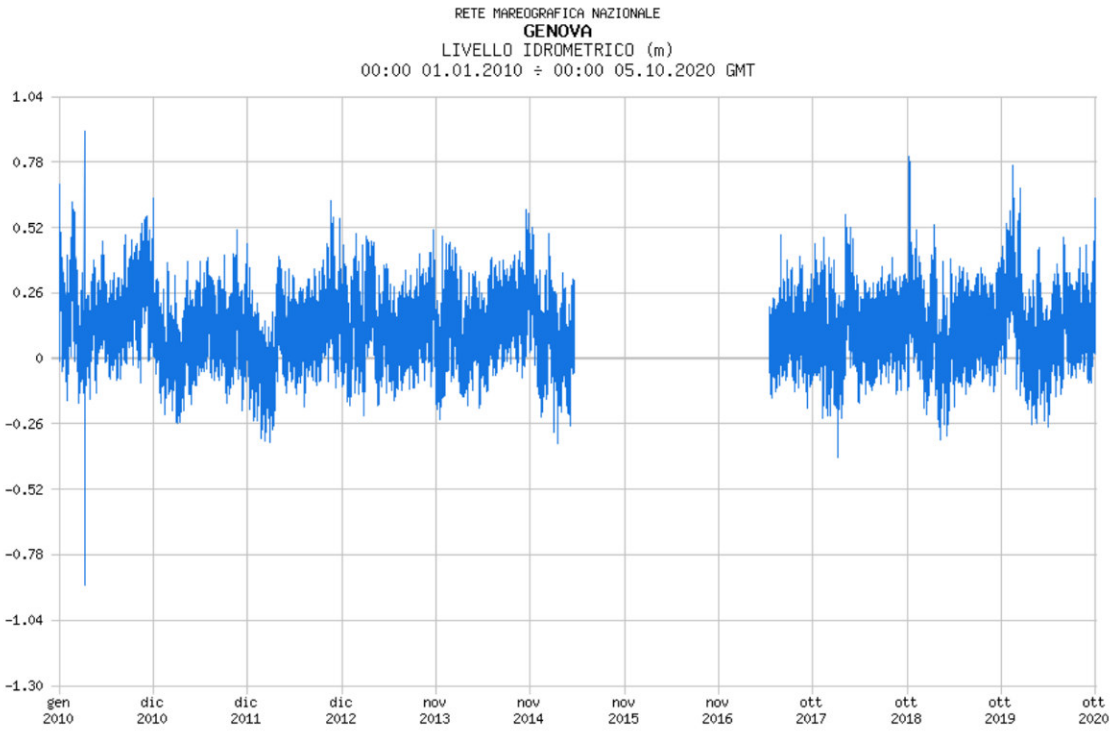


Figura 11.3 – Andamento dei livelli di marea relativo al periodo da gennaio 2010 a ottobre 2020

				Livello (cm s.m.m.)	
Anno	Mese	Giorno	Ora	Valore max registrato	Valore max considerato
1998	12	21	08:40	*28*	-(*)
1999	12	26	11:00	*40*	-(*)
2000	12	27	07:40	54	54
2001	12	30	07:50	*118*	43(**)
2002	11	16	05:20	57	57
2003	11	1	15:20	55	55
2004	5	6	08:10	53	53
2005	12	3	08:10	48	48
2006	12	9	11:10	49	49
2007	11	23	06:00	44	44
2008	11	30	09:00	56	56
2009	2	7	05:00	63	63
2010	1	1	08:00	*90*	69(**)
2011	11	5	17:20	48	48
2012	10	27	18:10	79	79
2013	11	21	09:40	76	76
2014	11	4	18:00	63	63
2015	1	30	06:10	48	48
2016	-	-	-	-	-(***)
2017	12	11	13:50	48	48
2018	10	29	15:30	79	79
2019	11	23	18:10	76	76
2020	10	3	07:00	63	63

(*) valore eliminato dall'analisi: anno con copertura limitata di registrazioni e valore massimo significativamente più basso rispetto al trend generale

(**) valore anomalo sostituito con valore "massimo" realistico

(***) anno non considerato in quanto privo di registrazioni

Tabella 11.3 – Massimi annui registrati dalla stazione R.M.N. di Genova (analisi di rappresentatività)

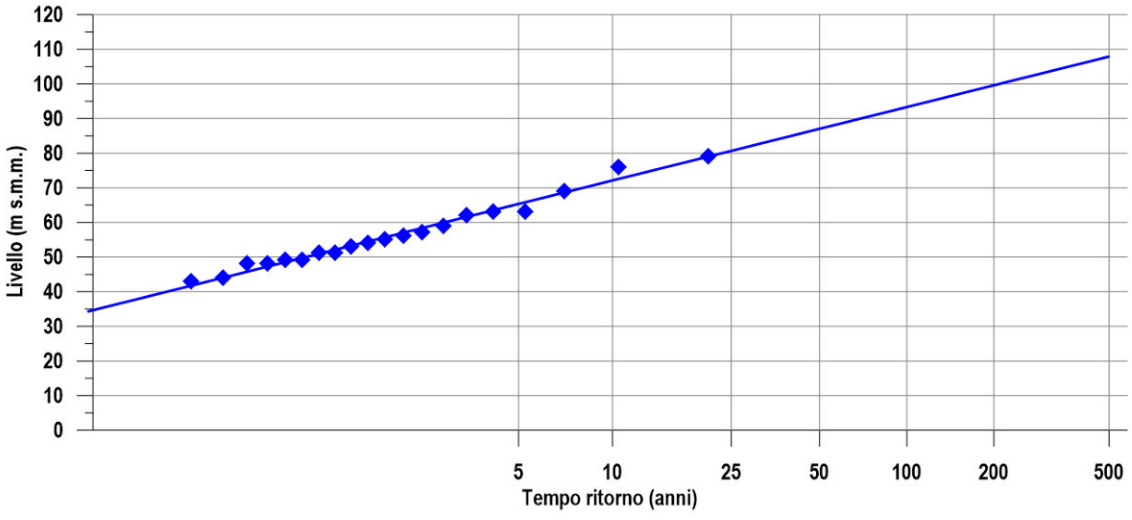


Fig. 11.1 – Retta analisi statistica dei livelli di marea (approccio di Gumbel)

T_R (anni)	Livello (cm s.m.m.)
5	65
10	72
25	81
50	87
100	93
200	**100**
500	108

Tabella 11.4 – Risultati statistica dei livelli estremi di marea (approccio di Gumbel)

Al valore di marea così calcolato è stato poi aggiunto l'eventuale altezza d'onda di un evento caratterizzato da dato tempo di ritorno; la massima altezza d'onda significativa (Hs) che caratterizza un attacco ondoso dove i frangenti iniziano a manifestarsi, risulta compresa tra 0.5 d e 0.7 d (d = tirante d'acqua). Essendo la sezione ultima del modello posta allo scarico a mare per tirante d'acqua si è preso il livello di marea corrispondente e pertanto, pertanto le consdizioni di valle per la verifica idraulica con Tr = 200 anni risultano:

$$H = 100 + 0.7 \cdot 100 = 170 \text{ cm}$$

Si evidenzia che questa valutazione della condizione al contorno di valle è ampiamente cautelativa avendo supposto la contemporanea concomitanza del transito del picco di piena sul Rio Beuca e il livello massimo di marea con Tr = 200 anni, eventi che in genere non sono propriamente correlati.

12 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Le principali caratteristiche geometriche ed idrodinamiche della corrente sono riassunte nelle tabelle finali per tutte sezioni trasversali, nel seguente ordine:

- progressiva sezione di riferimento (River station - m);
- Profilo idrico riferito alla portata di calcolo (Profile);
- portata (Q Total - m^3/s);
- quota assoluta del punto più depresso dalla sezione (Min Ch El - m s.m.m.);
- quota assoluta del pelo libero (W.S. Elev - m s.m.m.);
- quota assoluta del livello critico (Crit W. S. - m s.m.m.);
- quota assoluta del livello energetico (E. G. Elev - m s.m.m.);
- cadente energetica (E. G. Slope- m/m);
- velocità media nel canale (Vel Chnl - m/s);
- area della sezione fluida (Flow Area - m^2);
- larghezza del pelo libero (Top Width - m);
- numero di Froude (Froude Channel).

Nel seguito vengono rappresentati i risultati delle simulazioni Ante Operam e Post Operam relativi a:

- Profili longitudinali.
- Sezioni con livelli idrometrici.
- Tabulati dei risultati.

12.1 SIMULAZIONI ANTE OPERAM E POST OPERAM

l risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di fatto e dello stato di progetto vengono proposte in unico tabulato con la portata riferita al tempo di ritorno di 200 anni sono riportati in Tabella 12.1. Come anticipato la modifica al tombino esistente non comporta modifiche alla capacità di deflusso del corso d'acqua, confermando le impressioni iniziali di ininfluenza del prolungamento del tombino sul regime idraulico del tratto.

Le figure successive riportano i profili idraulici e le sezioni idrauliche estratte dal modello Hec-Ras per le varie configurazioni considerate e per le diverse portate di riferimento adottate, in particolare per la Q_{200}.

Sezione	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude Chl
n.	(m)		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
14	270.20	Q500	17.00	12.79	14.25	14.25	14.75	0.043	3.12	5.46	5.50	1.00
14	270.20	Q200	14.00	12.79	14.11	14.11	14.56	0.044	2.97	4.72	5.26	1.00
14	270.20	Q50	10.00	12.79	13.91	13.91	14.29	0.048	2.71	3.69	4.92	1.00
13	254.80	Q500	17.00	9.09	10.54	10.54	11.03	0.043	3.11	5.47	5.56	1.00
13	254.80	Q200	14.00	9.09	10.41	10.41	10.85	0.043	2.95	4.74	5.32	1.00
13	254.80	Q50	10.00	9.09	10.20	10.20	10.58	0.048	2.71	3.70	4.97	1.00
12	234.40	Q500	17.00	7.84	9.34	9.34	9.88	0.047	3.41	5.71	5.36	0.94
12	234.40	Q200	14.00	7.84	9.20	9.20	9.68	0.046	3.19	4.98	5.28	0.92
12	234.40	Q50	10.00	7.84	8.99	8.99	9.38	0.048	2.86	3.87	5.16	0.91
11	212.50	Q500	17.00	6.78	8.17	7.86	8.28	0.015	1.93	12.47	12.89	0.54
11	212.50	Q200	14.00	6.78	8.04	7.75	8.15	0.016	1.89	10.75	12.83	0.56
11	212.50	Q50	10.00	6.78	7.84	7.61	7.94	0.019	1.82	8.25	12.74	0.59
10	200.20	Q500	17.00	6.43	8.11	7.53	8.17	0.004	1.19	18.90	17.48	0.35
10	200.20	Q200	14.00	6.43	7.97	7.45	8.02	0.004	1.14	16.48	17.11	0.34
10	200.20	Q50	10.00	6.43	7.75	7.34	7.80	0.005	1.06	12.79	16.53	0.34
9	182.10	Q500	17.00	5.85	7.24	7.18	7.64	0.034	2.83	6.42	7.78	0.87
9	182.10	Q200	14.00	5.85	7.06	7.05	7.46	0.041	2.82	5.14	6.87	0.94
9	182.10	Q50	10.00	5.85	6.88	6.86	7.21	0.045	2.53	3.97	5.92	0.94
8	154.70	Q500	17.00	4.82	6.00	5.89	6.43	0.039	2.90	5.87	5.06	0.86
8	154.70	Q200	14.00	4.82	5.85	5.76	6.23	0.039	2.74	5.11	5.06	0.87
8	154.70	Q50	10.00	4.82	5.65	5.58	5.96	0.041	2.43	4.11	5.06	0.86
7	137.40	Q500	17.00	3.95	5.36	5.04	5.67	0.024	2.48	6.86	5.03	0.68
7	137.40	Q200	14.00	3.95	5.11	4.92	5.43	0.029	2.49	5.63	5.03	0.75
7	137.40	Q50	10.00	3.95	4.85	4.73	5.12	0.035	2.32	4.31	5.02	0.80
6	122.30	Q500	17.00	2.92	4.86	4.50	5.30	0.028	2.94	5.79	3.85	0.71
6	122.30	Q200	14.00	2.92	4.54	4.34	4.99	0.035	2.97	4.72	3.85	0.80
6	122.30	Q50	10.00	2.92	4.24	4.09	4.61	0.038	2.67	3.74	3.85	0.81
5	90.10	Q500	17.00	2.00	4.34	3.41	4.59	0.013	2.23	7.61	3.27	0.47
5	90.10	Q200	14.00	2.00	3.84	3.24	4.12	0.017	2.33	6.00	3.27	0.55
5	90.10	Q50	10.00	2.00	3.49	2.99	3.71	0.016	2.06	4.85	3.27	0.54
4	80.00	Q500	17.00	1.92	4.29	3.43	4.46	0.008	1.86	9.14	4.66	0.42
4	80.00	Q200	14.00	1.92	3.72	3.30	3.96	0.014	2.15	6.51	4.66	0.58
4	80.00	Q50	10.00	1.92	3.10	3.10	3.49	0.044	2.77	3.62	4.65	1.00
3	66.20	Q500	17.00	1.11	4.35	2.41	4.44	0.001	1.31	12.95	4.94	0.24
3	66.20	Q200	14.00	1.11	3.84	2.26	3.93	0.001	1.29	10.87	4.48	0.25
3	66.20	Q50	10.00	1.11	3.20	2.05	3.27	0.002	1.22	8.22	4.47	0.28
2	15.20	Q500	17.00	0.95	2.21	2.21	2.82	0.023	3.47	4.90	9.78	1.00
2	15.20	Q200	14.00	0.95	2.06	2.06	2.60	0.024	3.25	4.30	9.42	1.00
2	15.20	Q50	10.00	0.95	1.85	1.85	2.27	0.028	2.90	3.45	8.90	1.00
1	0.00	Q500	17.00	0.36	1.90	1.22	1.97	0.004	1.20	14.14	12.49	0.35
1	0.00	Q200	14.00	0.36	1.70	1.13	1.77	0.004	1.19	11.81	11.28	0.37
1	0.00	Q50	10.00	0.36	1.50	1.01	1.56	0.004	1.04	9.61	10.78	0.35

Tabella 12.1 – Rio Beuca: risultati della simulazione numerica

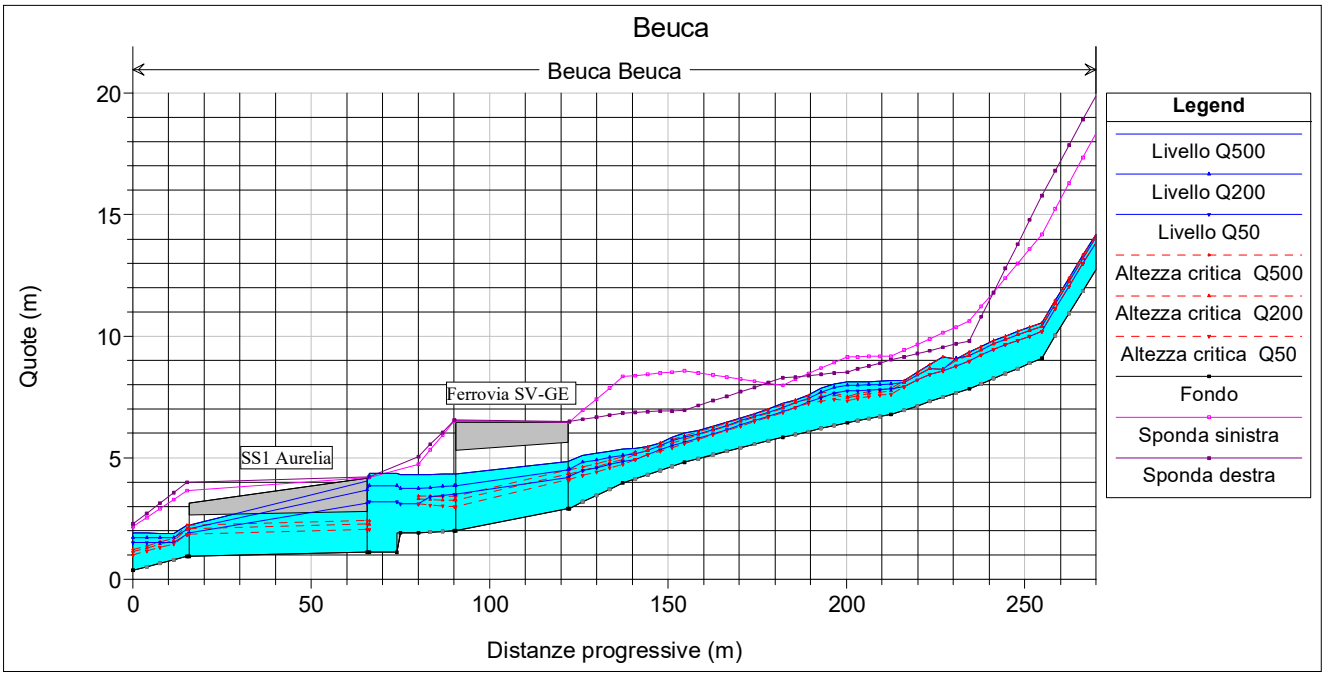


Figura 12.1 – Profilo idraulico longitudinale nella configurazione ante operam

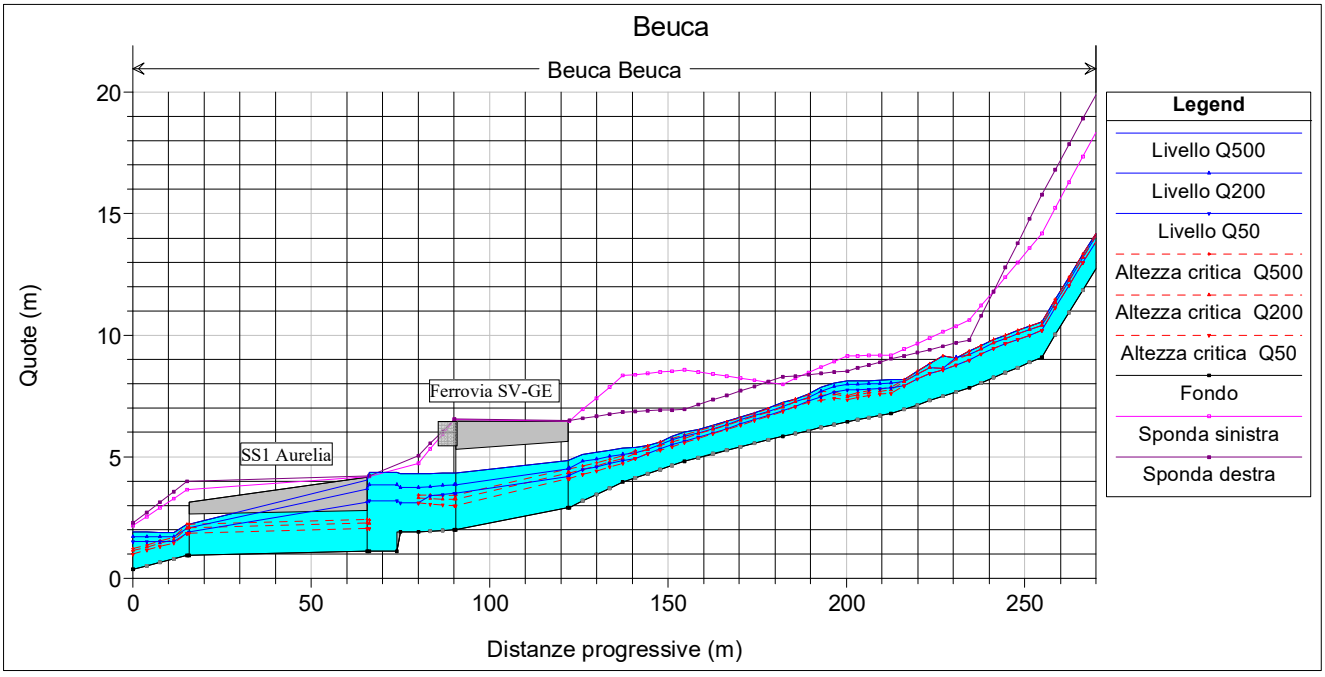


Figura 12.2 – Profilo idraulico longitudinale nella configurazione post operam

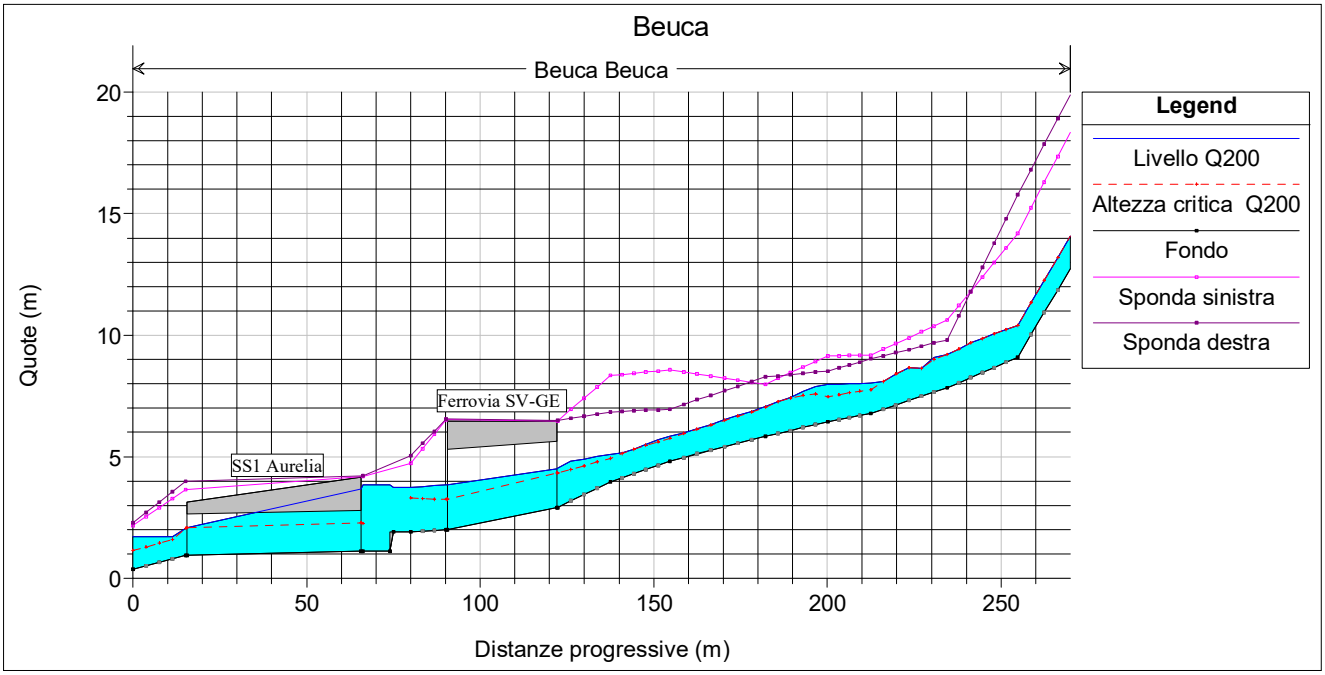


Figura 12.3 – Profilo idraulico longitudinale nella configurazione ante operam (Tr = 200 anni)

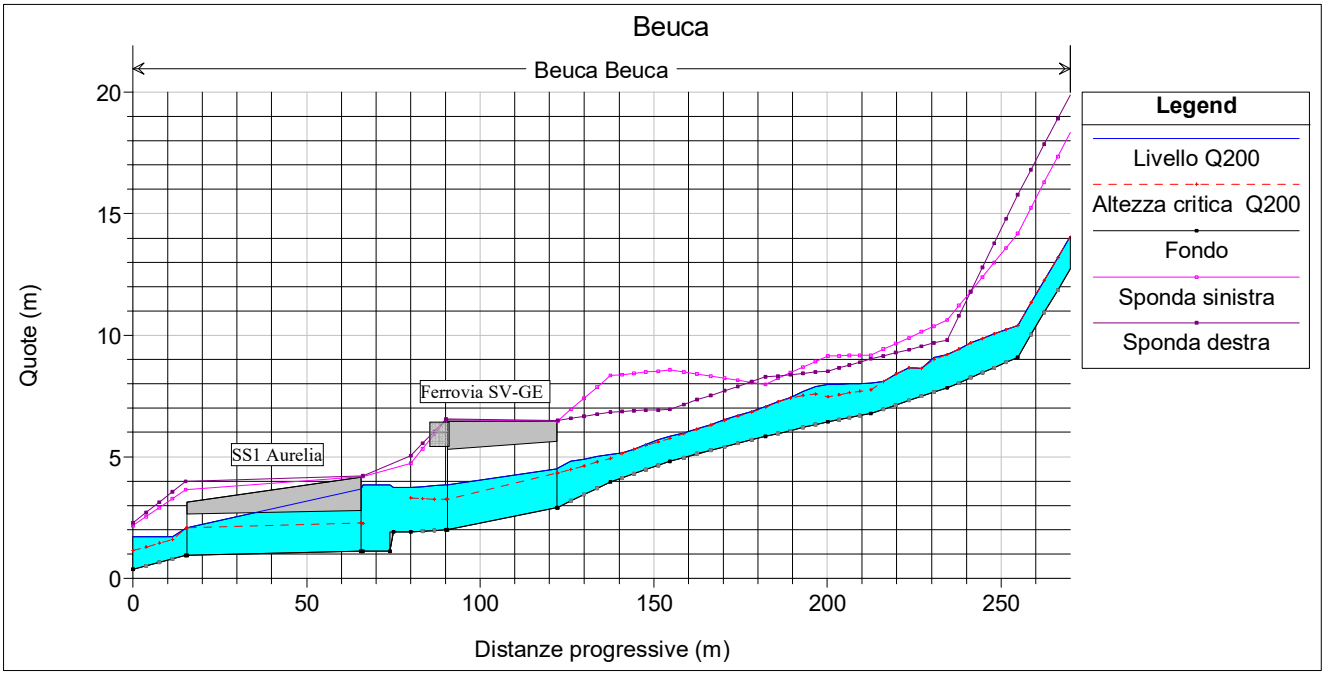


Figura 12.4 – Profilo idraulico longitudinale nella configurazione post operam (Tr = 200 anni)

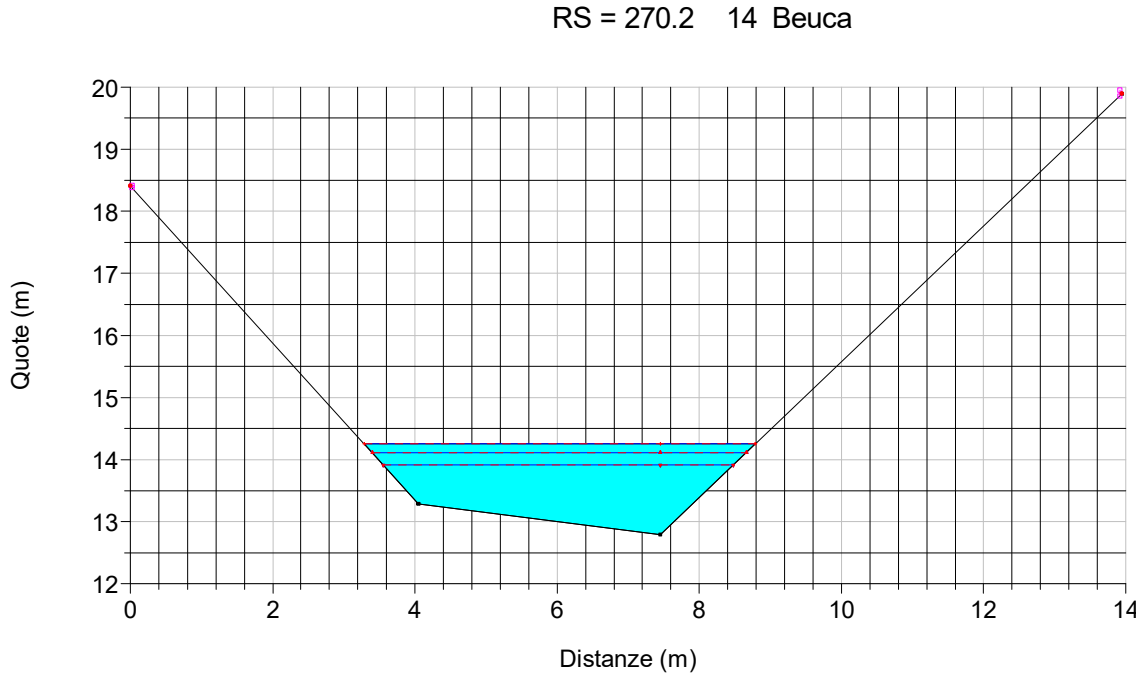


Figura 12.5 – Sezione idraulica 14 Rio Beuca

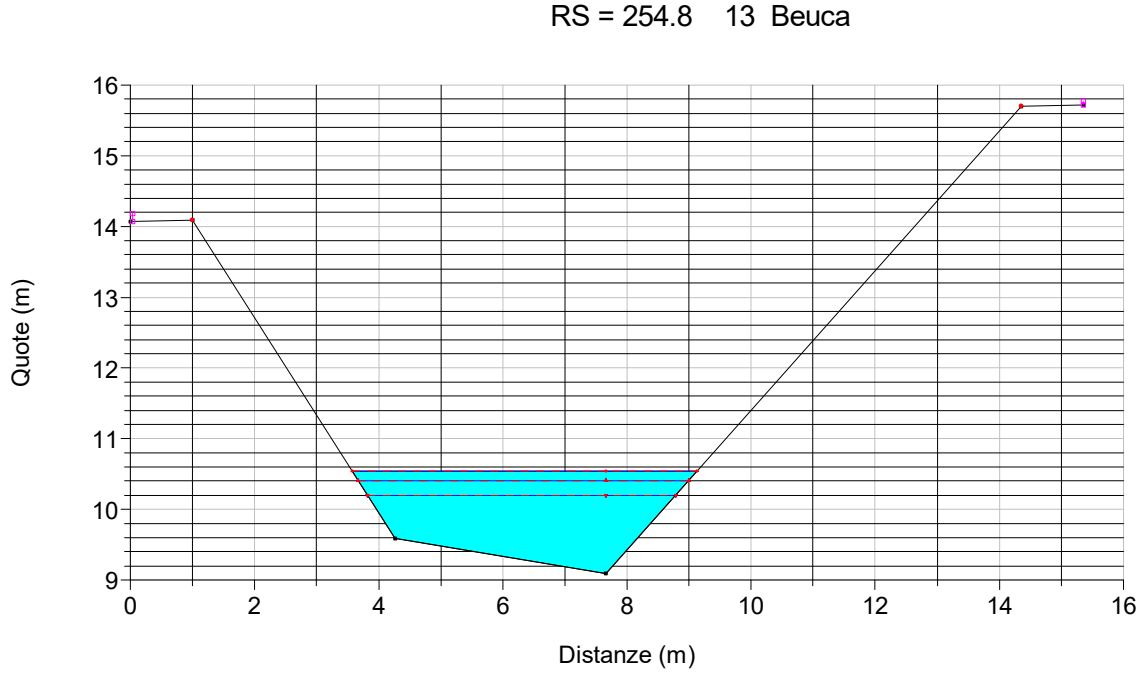


Figura 12.6 – Sezione idraulica 13 Rio Beuca

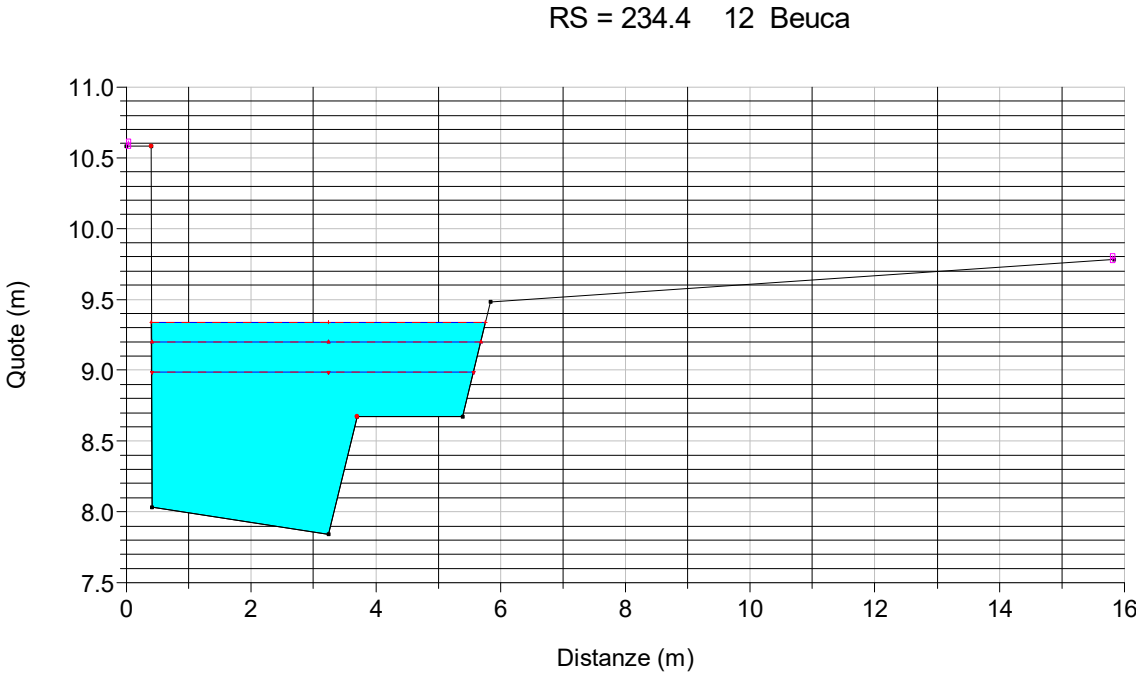


Figura 12.7 – Sezione idraulica 12 Rio Beuca

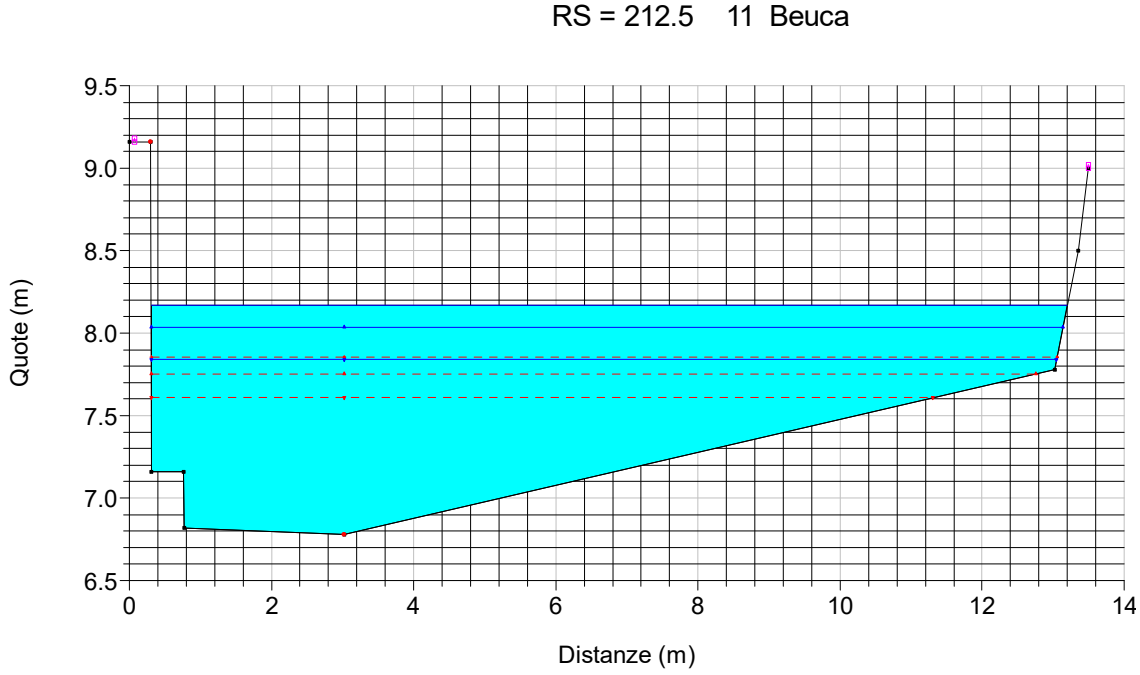


Figura 12.8 – Sezione idraulica 11 Rio Beuca

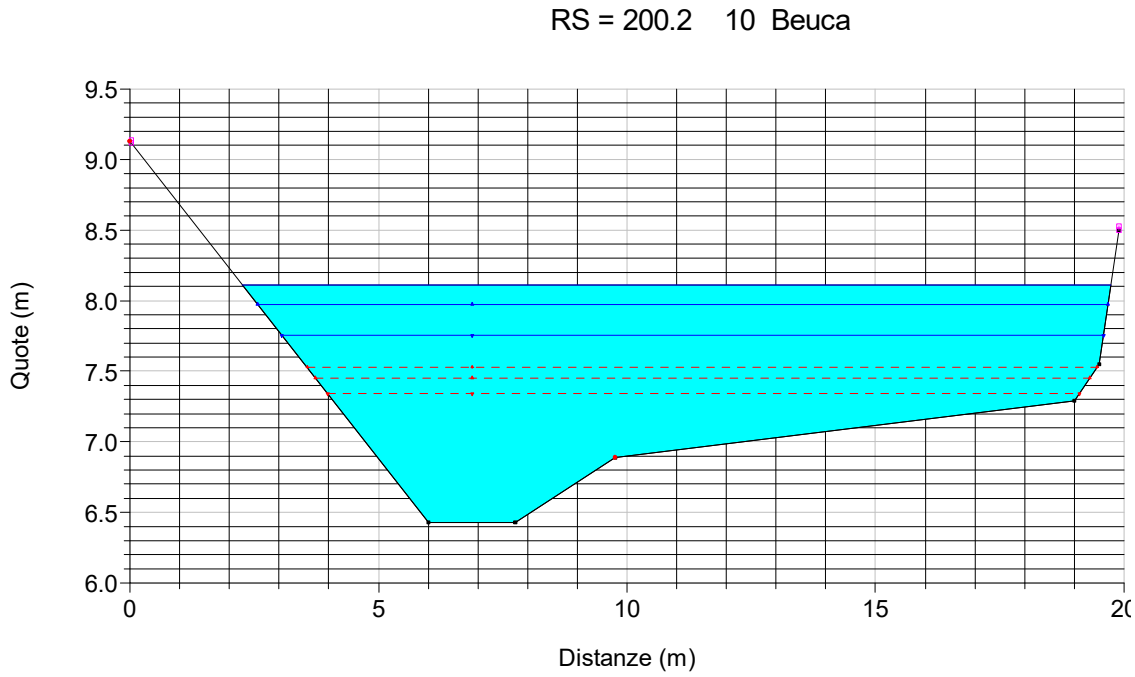


Figura 12.9 – Sezione idraulica 10 Rio Beuca

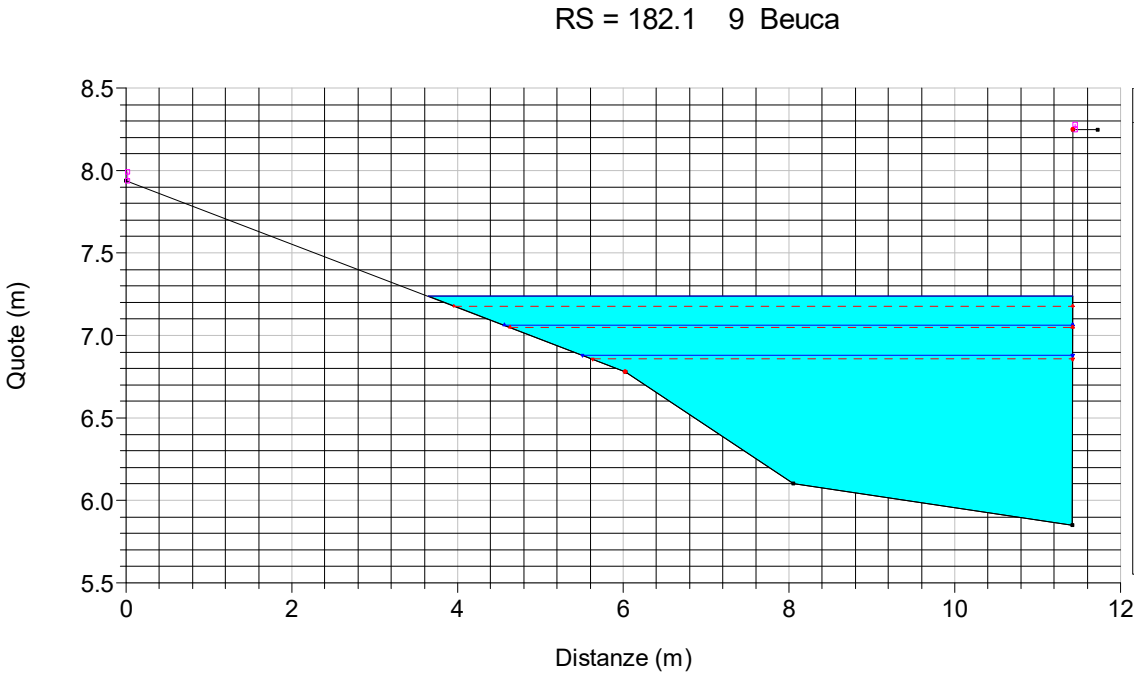


Figura 12.10 – Sezione idraulica 9 Rio Beuca

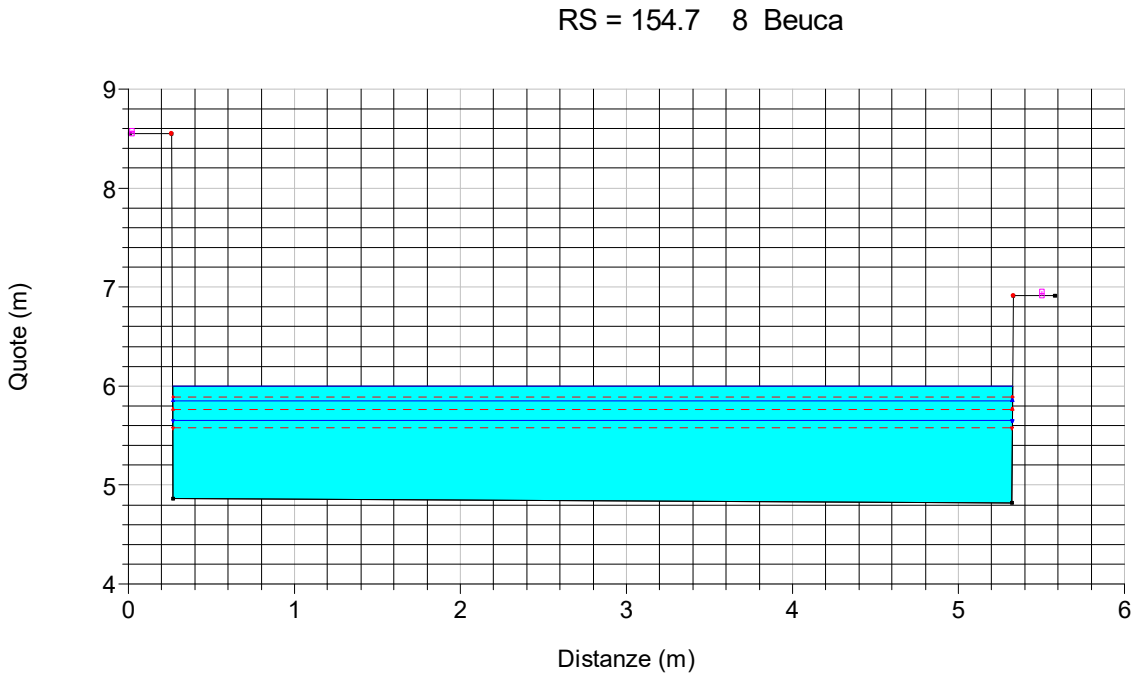


Figura 12.11 – Sezione idraulica 8 Rio Beuca

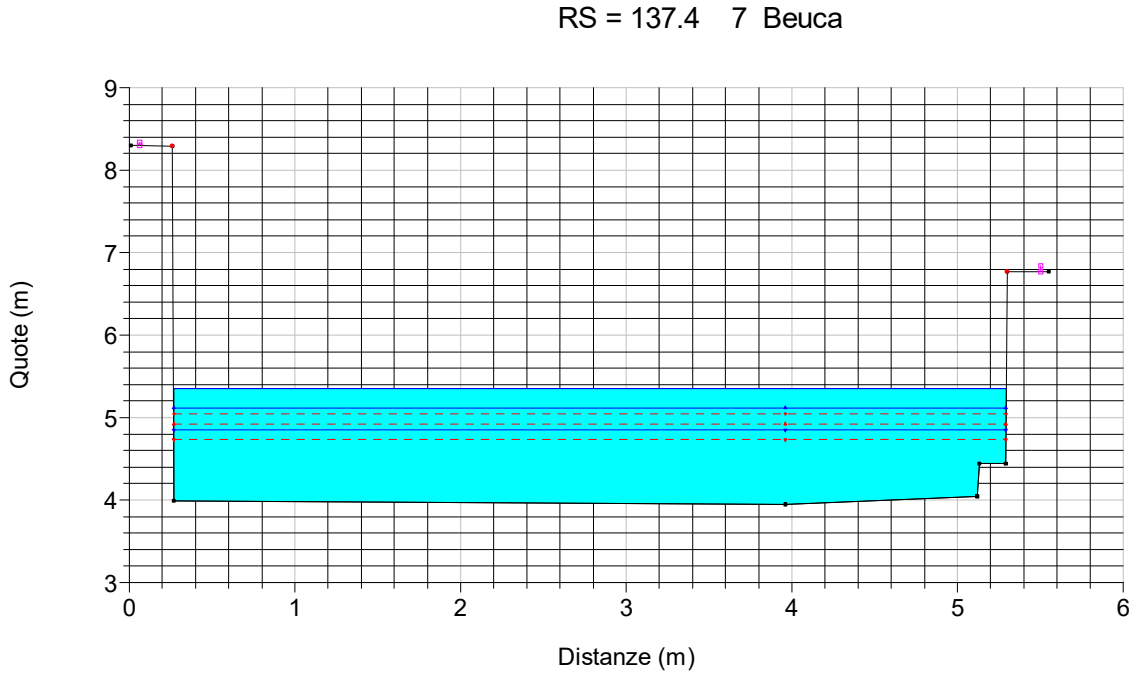


Figura 12.12 – Sezione idraulica 7 Rio Beuca

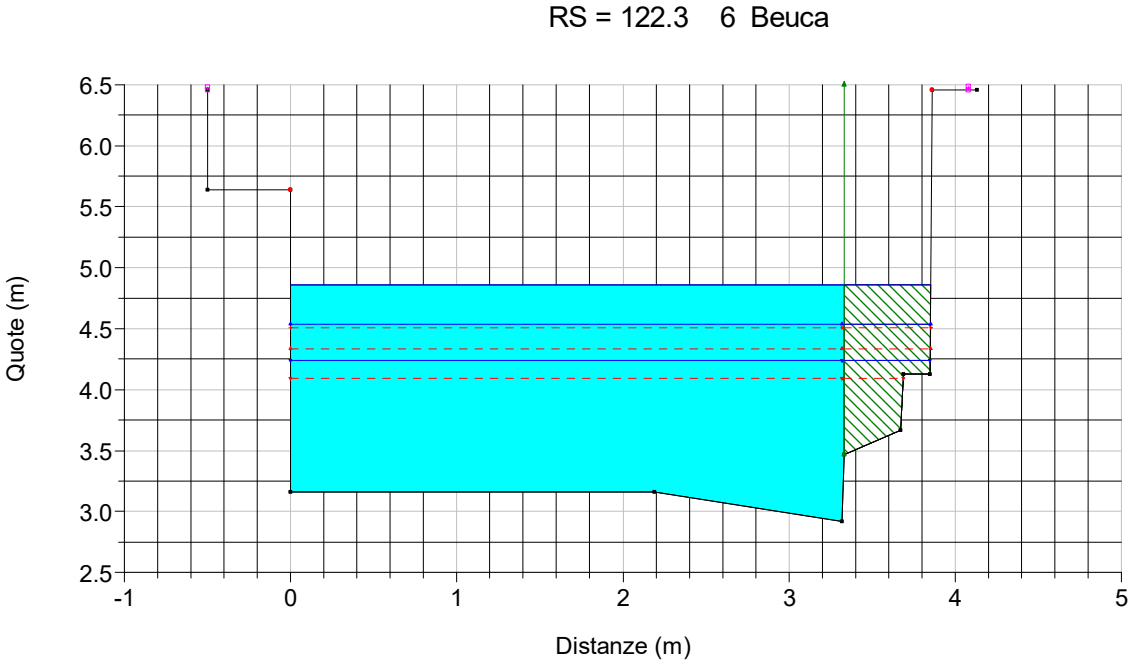


Figura 12.13 – Sezione idraulica 6 Rio Beuca

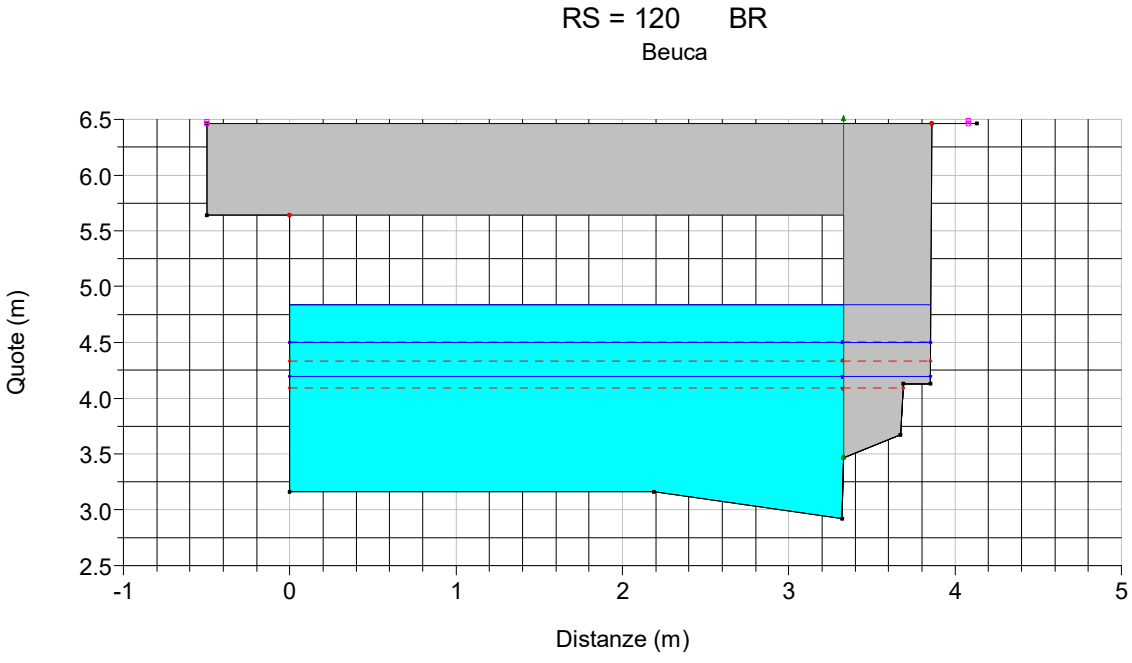


Figura 12.14 – Sezione idraulica monte tombino corpo ferroviario linea Savona-Genova

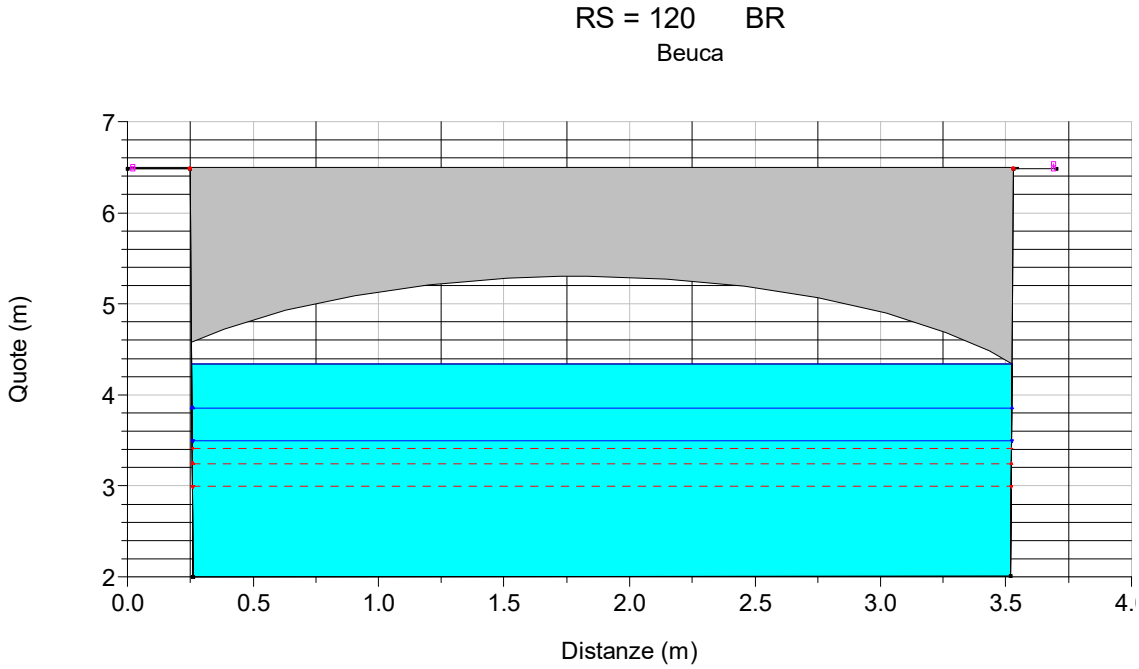


Figura 12.15 – Sezione idraulica valle tombino corpo ferroviario linea Savona-Genova

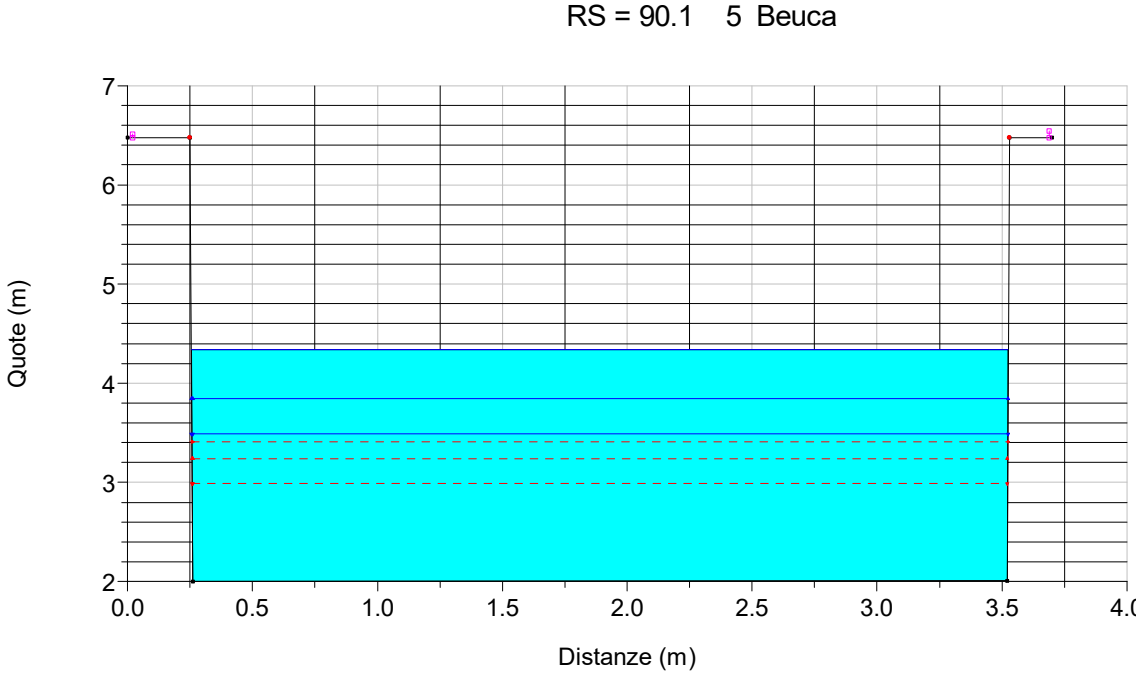


Figura 12.16 – Sezione idraulica 5 Rio Beuca

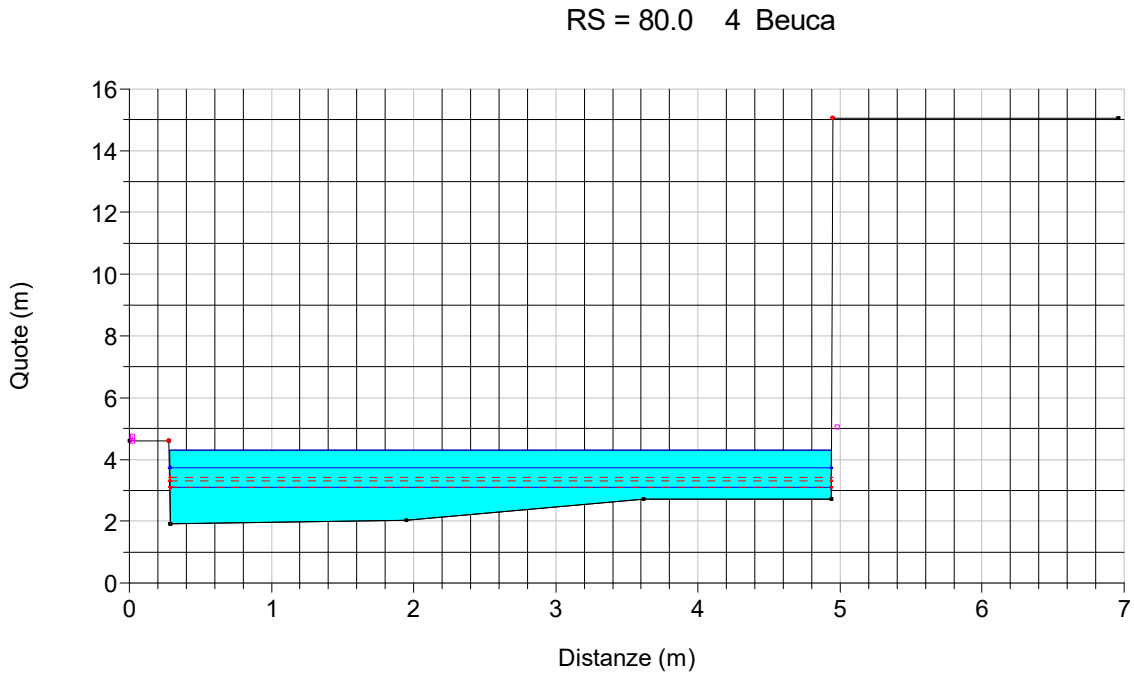


Figura 12.17 – Sezione idraulica 4 Rio Beuca

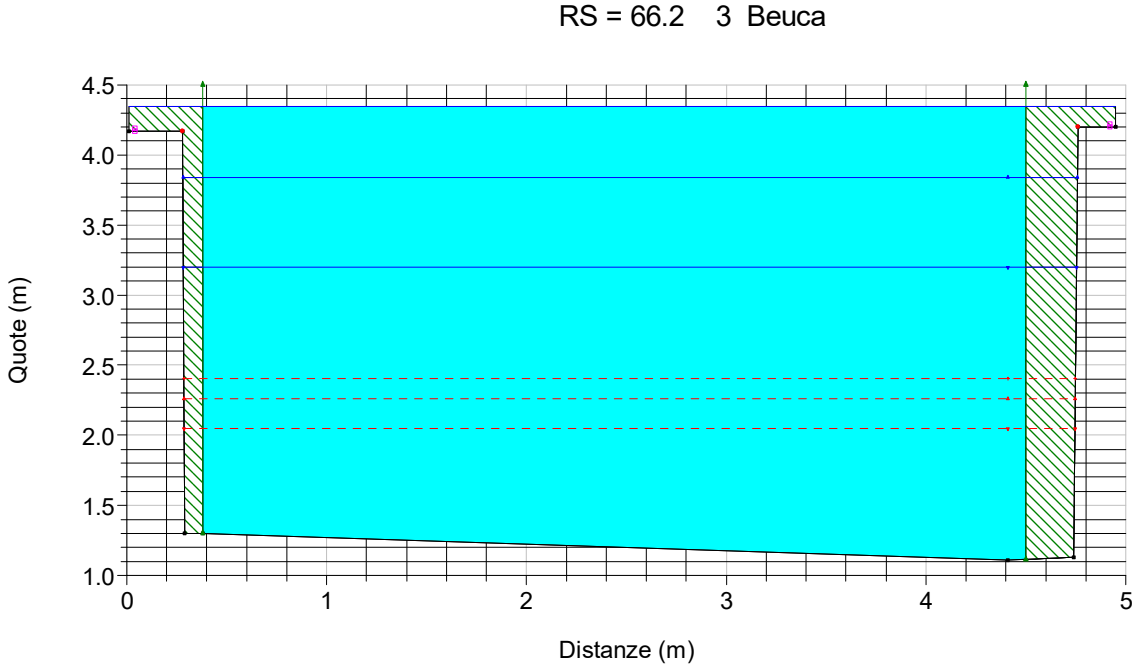


Figura 12.18 – Sezione idraulica 3 Rio Beuca

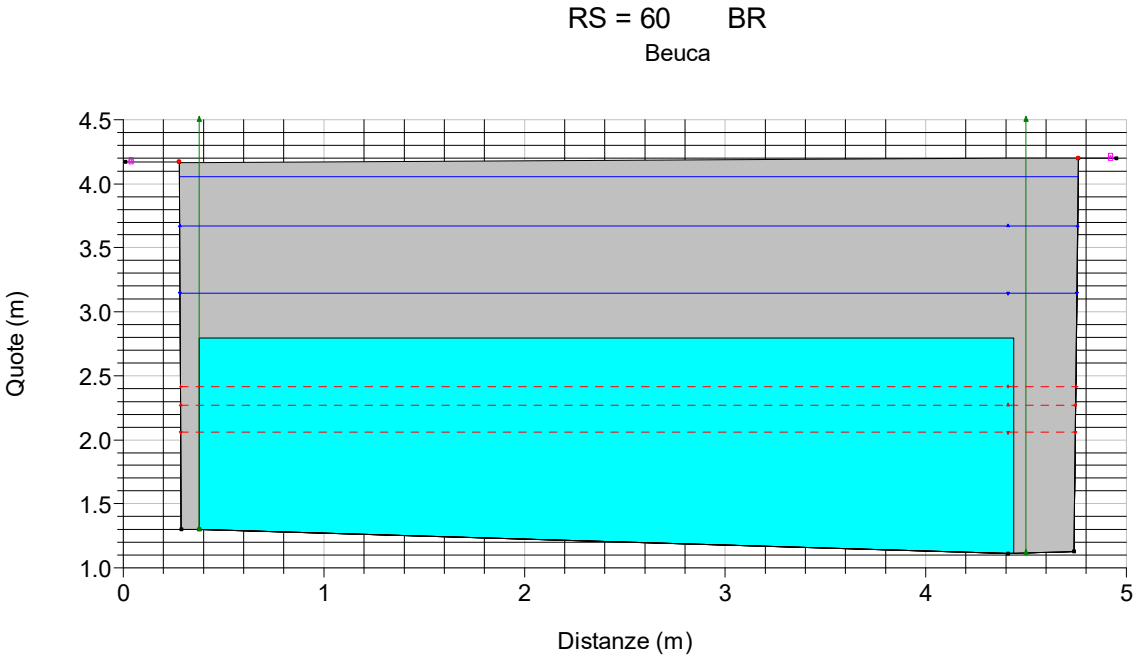


Figura 12.19 – Sezione idraulica monte tombino SS1 Aurelia

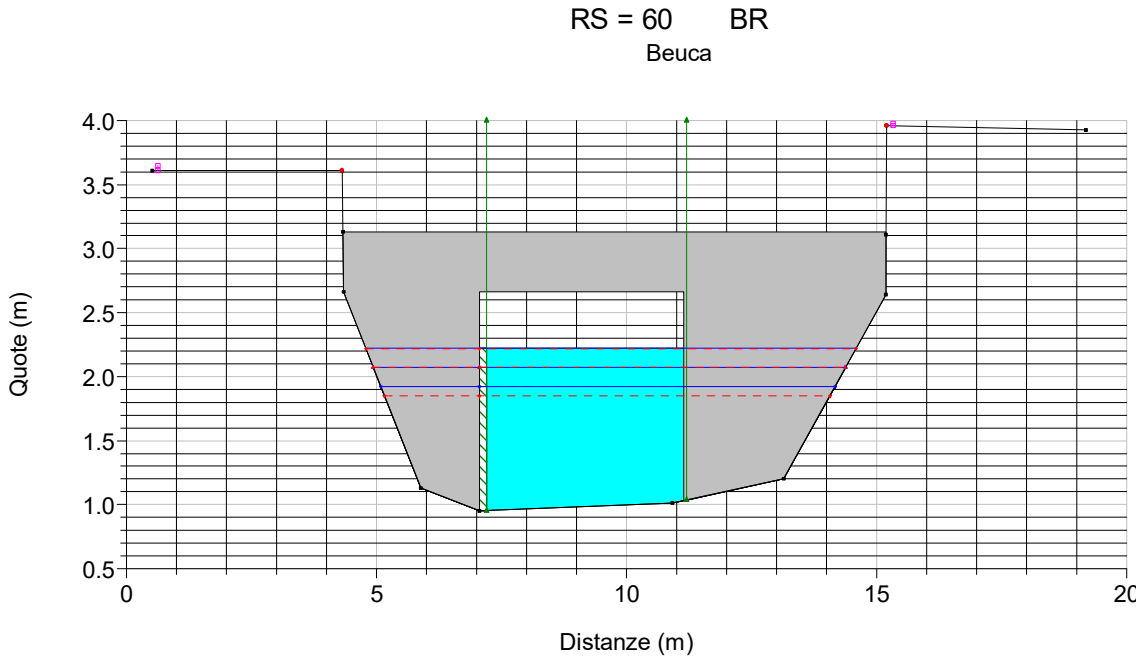


Figura 12.20 – Sezione idraulica valle tombino SS1 Aurelia

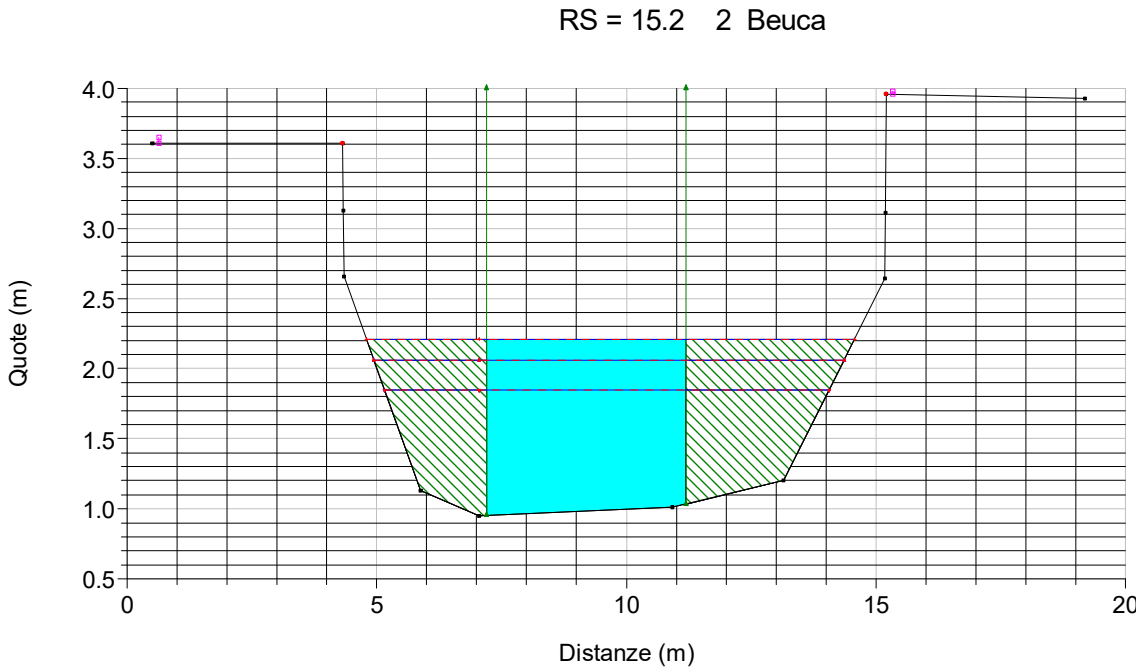


Figura 12.21 – Sezione idraulica 2 Rio Beuca

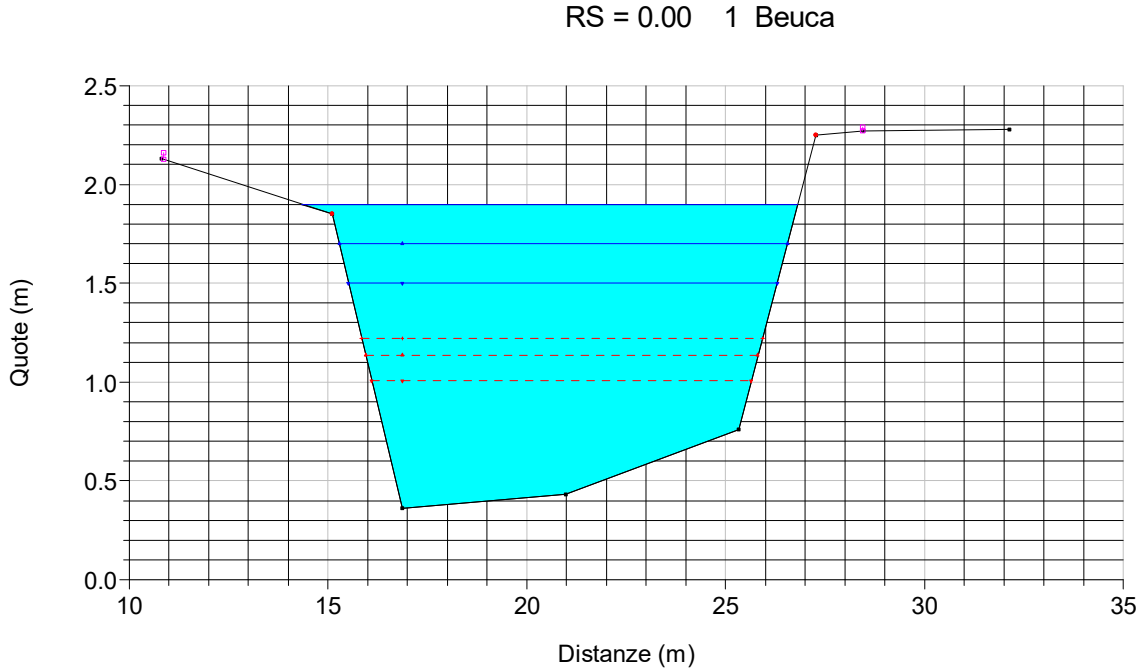


Figura 12.22 – Sezione idraulica 1 Rio Beuca – confluenza a mare

Dalle risultanze delle simulazioni si osserva innazitutto che le modifiche strutturali indotte dall'intervento in progetto sul tratto del Rio Beuca dal punto di vista idraulico sono assolutamente irrilevanti, il prolungamneto del tombino esistente avvenendo nella parte di valle, con una luce superiore all'esistente sia in termmini di tirante d'aria sia in termini di larghezza, trovandosi in una "zona d'ombra" non poteva in alcun modo modificare velocità e tiranti della corrente.

L'alveo nella porzione indagata del Rio Beuca tra la sezione 3 e la sezione 2 , a monte e a valle della SS Aurelia, presenta una sezione di larghezza insufficiente, la dissipazione di energia concentrata costringe il passaggio allo stato di moto subcritico, con localizzazione del risalto idraulico a monte del ponte, e l'innalzamento del livello idrometrico oltre la quota spondale.
Si ha inoltre la sommersione del ponte stesso con profilo di rigurgito che fa sentire i suoi effetti verso monte fino al tratto che interessa nello specifico il tombino del corpo ferroviario.
Tale resringimento determina quindi potenziali esondazioni del Rio Beuca con allagamento anche della strada e delle aree ad esso adiacenti (le tavole delle fasce fluviali e del rischio idrologico confermano questa analisi).
Appare chiaro che la situazione di criticità idraulica che interessa il corso d'acqua in prossimità del corpo ferroviario è da imputarsi anche alla presenza del ponte di attraversamento sulla S.S.1 Aurelia. Nel contempo si vuol sottolineare il fatto che, dato lo stato manutentivo dell'alveo del rio, appare indispensabile intervenire con un programma di pulizia e ripristino della riprofilatura originaria in quanto, come già riferito, vi sono tratti coperti da notevole presenza di vegetazione arbustiva e arborea, nondimeno cumuli di materiale sciolto di diversa natura e provenienza che possono ridurre notevolmente la capacità di deflusso delle rio.

Nell'ottica di un intervento omogeneo di pulizia e sistemazione dell'alveo, certamente si potrebbero mitigare, non poco, le problematiche di deflusso difficoltoso, rendendo maggiormente officiosi, dal punto di vista idraulico, i tombini che passano sotto il corpo ferroviario e sotto la S.S.1 Aurelia.

13 CONCLUSIONI

La modellazione numerica del rio Beuca elaborata nell'ambito del presente studio permette di fornire una valutazione dell'interferenza eventualmente prodotta dal prolungamento del tombino esistente sul rio.

Come si è potuto constatare dalle risultanze dell'analisi condotta l'intervento di progetto non porta alcuna modifica al comportamento idrauilico del tratto indagato, tuttavia si segnala come allo stato di fatto non siano garantiti i franchi idraulici secondo la normativa di riferimento.

Per quanto riguarda il franco si riporta una tabella riassuntiva delle prescrizioni dettate dal Manuale di Progettazione RFI, dalle Norme tecniche delle Costruzioni e dal Piano di Bacino.

<table>
<tr><th>Parametro</th><th>NTC 2018</th><th>MdP RFI</th><th>NTA Piano di Bacino</th><th>Progetto</th></tr>
<tr><td>Minimo franco idraulico [m]</td><td>1.0</td><td>1.5</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3">Franco idraulico: valore maggiore tra (a) e (b)</th></tr>
<tr><th colspan="2"></th><th>Reticolo principale e secondario</th><th>Reticolo minore</th></tr>
<tr><td colspan="2">(a)</td><td>$U^2/2g$,</td><td>0,5 $U^2/2g$,</td></tr>
<tr><td rowspan="3">(b)</td><td>I) argini e difese spondali</td><td>cm. 50/100</td><td>cm 50</td></tr>
<tr><td>II) ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12</td><td>cm. 100/150</td><td>cm 75</td></tr>
<tr><td>III) coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento di estensione oltre m. 12</td><td>cm. 150/200</td><td>cm 100</td></tr>
</table>
</td><td>1.70</td></tr>
<tr><td>Minimo franco carico idraulico totale [m]</td><td>-</td><td>0.5</td><td>-</td><td></td></tr>
</table>

Tabella 13.1 – Valori dei franchi acquisiti da modellazione e da garantire secondo NTC 2018, MdP RFI e le NTA del Piano di Bacino

Come si vede dalla Tabella 13.1 per ciò che riguarda l'opera in progetto, i franchi vengono adeguatamente garantiti, avendosi circa 1.70 m di tirante d'aria tra l'intradosso della soletta di progetto e il pelo dell'acqua relativamente all'evento duecentennale in corrispondenza del tratto iniziale del tombino in allungamento.

Le simulazioni numeriche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo monodimensionale in moto permanente denominato HEC - RAS 5.0.7 River Analysis System del marzo 2019 sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Le simulazioni numeriche sono state condotte sulla base della portata di progetto relativa al tempo di ritorno di 200 anni come prescritto dalla normativa cogente e dalla pianificazione di bacino.

La modellazione idraulica ante e post operam ha evidenziato come il rio Beuca presenti un comportamento torrentizio caratterizzato da apprezzabili velocità della corrente; il rio è inoltre oggetto di un piano di manutenzione che prevede la pulizia e rimozione dei sedimenti.