

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE  
ZONA INDUSTRIALE**

**2^ FASE - PRG CON MODULO 750 m DI UN BINARIO; ACC CON  
IMPLEMENTAZIONE IN APPARATO DI SEGNALAMENTO ALTO DA  
TRENO**

OPERE DI ATTRAVERSAMENTO  
IN00 – ELABORATI GENERALI  
Relazione idraulica Rio Lusso

SCALA:

-

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

I V O H 0 2 D 2 6 R I I N 0 0 0 A 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	C. Soave	Febbraio 2022	S. Scafa	Febbraio 2022	G. Fadda	Febbraio 2022	A. Perego Febbraio 2022



## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	4
3	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	5
4	INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME.....	6
4.1	Stato di fatto e analisi storica .....	7
5	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	12
5.1	MANUALE DI PROGETTAZIONE E NTC .....	12
5.2	PRESCRIZIONI NTA PIANO DI BACINO.....	13
6	ANALISI IDROLOGICA .....	16
7	MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE .....	18
7.1	Risultati delle simulazioni .....	25
7.2	Verifica del rivestimento di fondo e di sponda .....	30
8	CONCLUSIONI.....	34
	ALLEGATI.....	35
	Sezioni Hec-Ras stato di fatto.....	35
	Sezioni Hec-Ras stato di progetto .....	38

## 1 PREMESSA

L'impianto di Vado Ligure Zona Industriale, oggetto della presente relazione, è collegato alla stazione di Savona Parco Doria, che appartiene alla linea Genova – Ventimiglia.

Il progetto, in questa fase, prevede complessivamente la realizzazione di un nuovo ACC, in luogo dell'attuale Apparato Centrale Idrodinamico, con centralizzazione ed elettrificazione di tutti i 6 binari del piazzale, e la rivisitazione del PRG della stazione, con adeguamento di un binario a modulo 750 metri. All'interno del perimetro saranno compresi anche l'adeguamento per la gestione delle merci pericolose, la progettazione dell'indipendenza della radice dei raccordi Porto ed Esso/Infineum e l'adeguamento stradale di via Leopardi, necessario nell'ambito dei lavori di PRG a regime.

Scopo della presente relazione è la descrizione delle analisi idrologiche e idrauliche relative al Rio Lusso interferente con le opere di progetto, con riferimento al Progetto Definitivo: "ADEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE - ZONA INDUSTRIALE - 2<sup>A</sup> FASE.

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 Lusso per consentire l'allargamento della piattaforma disponibile.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- reperimento della cartografia di base;
- interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche di caratterizzazione del bacino di interesse;
- raccolta ed analisi dei dati meteorologici 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 Lusso 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 Lusso 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.

**PROGETTO DEFINITIVO**  
**Relazione idraulica Rio Lusso**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 RI	IN 00 0A 001	A	4 di 41

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

TITOLO DOCUMENTO	CODICE DOCUMENTO
<b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO</b>	
<b>IN00 - Elaborati Generali</b>	
Relazione idraulica Rio Lusso	IV0H02D26RIIN000A001A
<b>IN02 - Rio Lusso</b>	
Planimetria sistemazione idrauliche	IV0H02D26PZIN020A001A
Profilo longitudinale	IV0H02D26FZIN020A001A

### 3 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- 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 INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME

L'area di intervento è localizzata a Vado Ligure, comune della provincia di Savona, nella Regione Liguria.

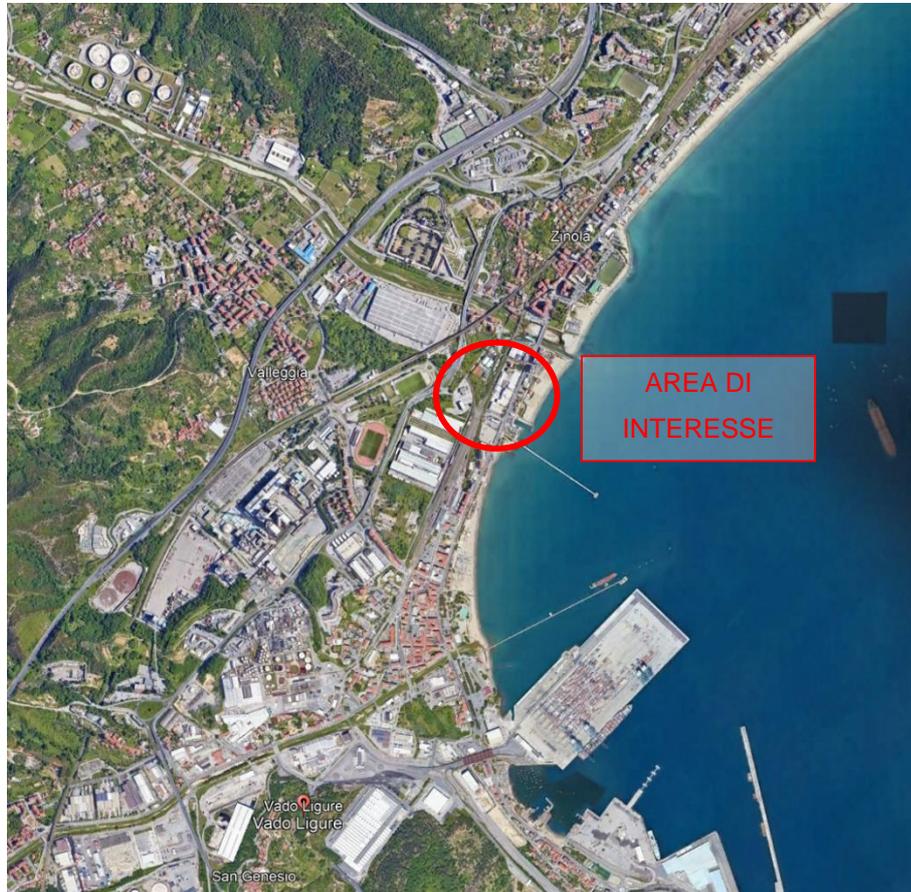


Figura 4.1 Inquadramento area di intervento



Figura 4.2 Dettaglio dell'area di intervento in corrispondenza del Rio Lusso nei pressi della SS 1

#### 4.1 Stato di fatto e analisi storica

Da un'analisi di documentazione relativa alla definizione dei reticoli idrografici della Regione Liguria è emerso che per il Rio Lusso è stata eseguita un'indagine per riclassificare il Rio da Idrografia principale a rete di drenaggio.

Tale relazione intitolata: "DGR 507/2019. OSSERVAZIONI ALLA CARTOGRAFIA DEL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE" - COMUNE DI VADO LIGURE (squadro 229100), DEL BACINO IDROGRAFICO DEL T.SEGNO E DEL RIO "EX" SOLCASSO O LUSSO OGGETTO DI OSSERVAZIONE riporta un'analisi storica del Rio Lusso che si riporta di seguito per descrivere lo stato di fatto di tale corso d'acqua:

*Il tracciato originario del Rio Solcasso, a partire dal territorio comunale di Quiliano ( fg. Catastale 53) si sviluppava in direzione Sud sino al confine comunale di Vado Ligure, per poi deviare in direzione levante assumendo la denominazione di Rio Lusso.*

*Tale configurazione è stata mantenuta in essere sino agli interventi di realizzazione del nuovo tracciato del Rio Solcasso, così come oggi rappresentato nella cartografia regionale, comprendendo il bacino idrografico del Rio Valleggia ( facente parte del Bacino del T. Quiliano) e deviando il suo corso d'acqua nella porzione terminale con l'immissione nella barra fociva in sponda destra del T. Quiliano.*

*Tale modifica ad oggi realizzata, a partire dalla sottoscrizione dell'accordo di Programma del Novembre 1997 e sottoscritta dai Comuni di Quiliano, Vado Ligure, Regione Liguria, ha modificato l'assetto originario del bacino del Rio Solcasso, di fatto inglobato per la quasi totalità delle sue aree drenate all'interno del bacino idrografico del T. Quiliano.*

*La restante porzione di areale, a valle della Strada a scorrimento veloce, è stata inquadrata come Bacino idrografico del Rio Lusso, come individuato al paragrafo precedente.*

2. Oggetto	<b>Realizzazione di interventi sul rio Solcasso</b>
Altri soggetti partecipanti	Comune Quiliano, Vado Ligure, Regione Liguria (Strutt. Pianif. E tutela paesistica e Strutt. Ass. e rischio idr. - Dip. Urban. E pianif. terr.) a solo supporto tecnico
Impegno di mezzi finanziari	Euro 206.582.73 Protocollo di intesa Provincia di Savona e Comuni di Quiliano e Vado Ligure - cure I.257.643.68 DM.LLPP 371/98 C.I.F.E.
Durata dell'accordo	Fino a termine attività
L'accordo è:	
in corso di definizione	X
già operativo	
Data di sottoscrizione	16.11.1997

FONTE: SETTORE DIPESA DEL SUOLO E TUTELA AMBIENTALE

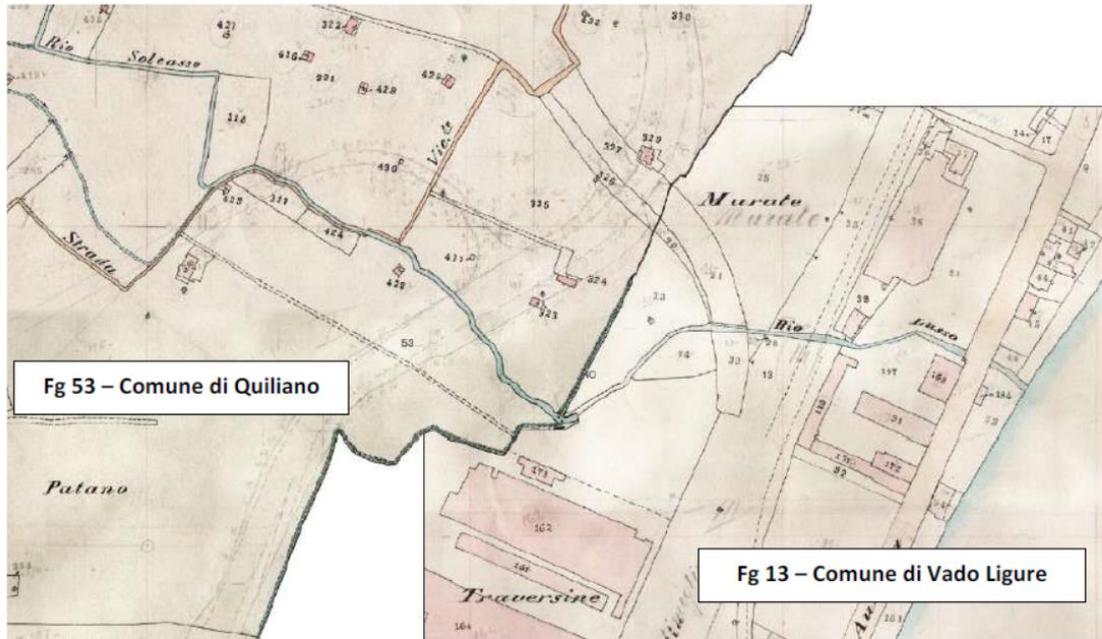


Figura 4.3 Mappa di impianto catastale -tracciato originario Rio Solcasso  
( rif. Catastali : fg. 53 Comune di Quiliano - fg. 13 Comune di Vado Ligure)

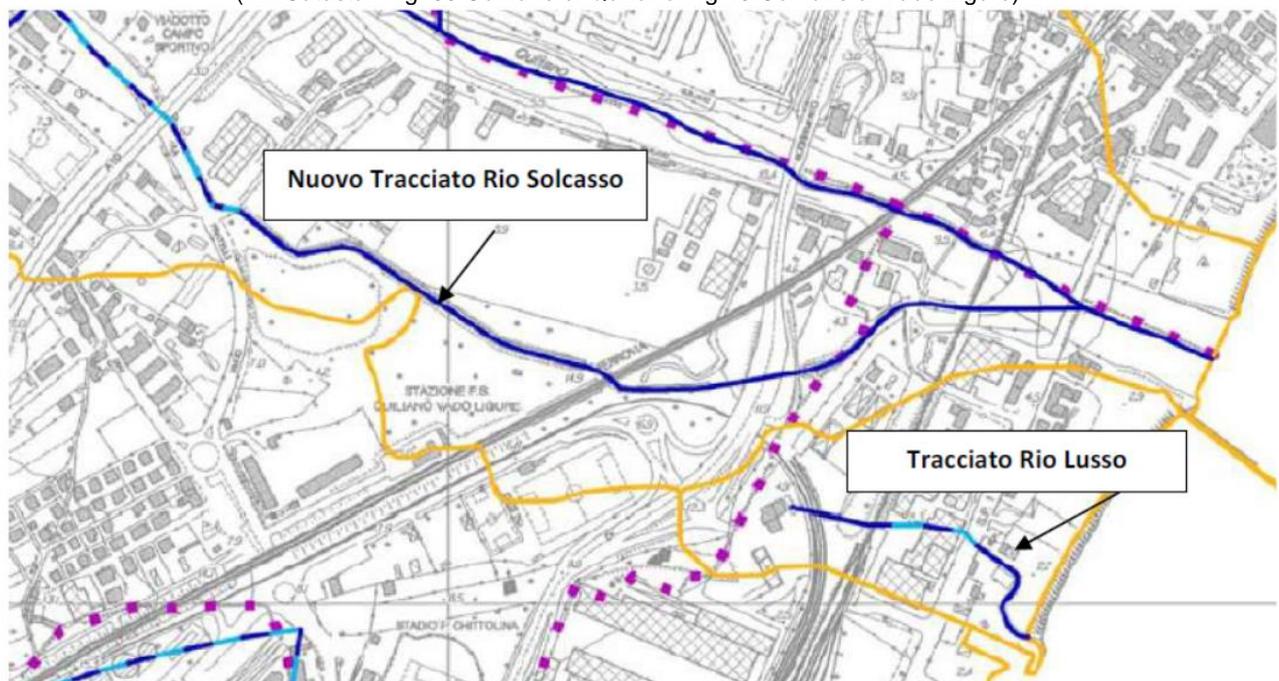


Figura 4.4 Estratto Reticolo Idrografico ( ex DGR 507/2019)  
( rif. Catastali : fg. 53 Comune di Quiliano - fg. 13 Comune di Vado Ligure)

La relazione continua con la valutazione per la riclassificazione del Rio Lusso in rete di drenaggio urbano;

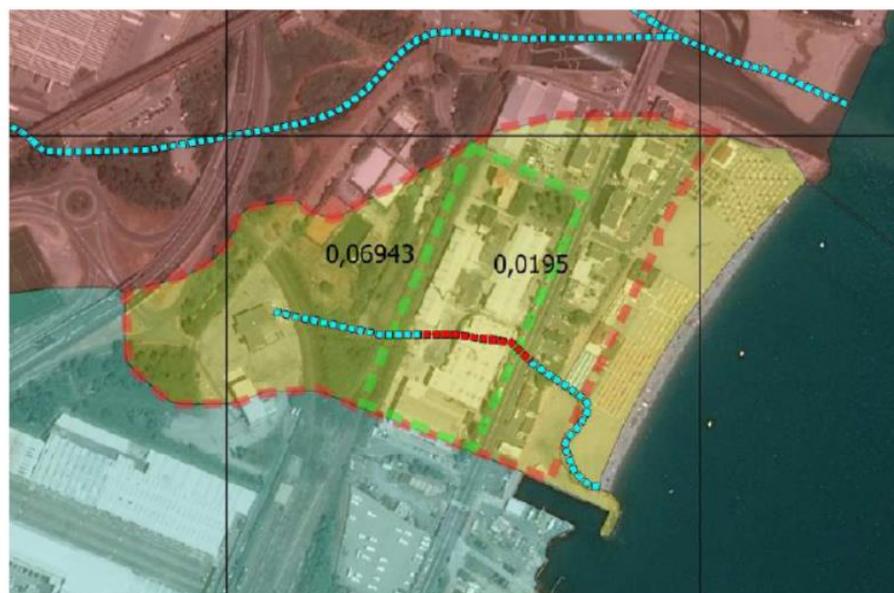
*Nello specifico le valutazioni esperite a seguire sono volte a dimostrare che la porzione terminale del Rio Lusso ad oggi ha perso la sua funzionalità idraulica, assolvendo ormai a mere funzioni di rete di drenaggio urbano, in assenza di una specifica area di versante a monte.*

*In corrispondenza di tale tratto si evidenziano, rispetto a quanto rappresentato nella cartografia regionale, le seguenti osservazioni:*

- L'area drenata del bacino tiene conto anche della porzione di arenile posta a valle della S.S.1 Aurelia; tale quota parte della superficie è da considerarsi esclusa dal calcolo dell'areale, valutata l'elevata capacità infiltrativa e di permeabilità del suolo sabbioso, che non determina un apporto significativo all'asta del corso d'acqua in oggetto; il tratto drenato viene quindi determinato in 0,069 Km<sup>2</sup>;*
- Allo stesso tempo, il tratto di Rio a cielo aperto posto a valle della S.S.1 Aurelia (area evidenziata in rosso) , defluisce per buona parte sulla porzione di arenile sino allo sbocco a mare (area evidenziata in arancione), perdendo di fatto nel suo tratto finale le caratteristiche originali di "corso d'acqua".*
- Nell'area di proprietà della Società Zincol Ossidi s.p.a (in precedenza Zinox s.p.a.) , di cui al Foglio 13 mapp 197 dell'NCT del Comune di Vado Ligure , è ad oggi attiva una concessione relativa all'utilizzo dell'area demaniale per il mantenimento di uno scarico di acque meteoriche in sponda sinistra del Canale Solcasso ( ex Rio Solcasso o Lusso) in Loc. Murate , costituito da un canale rettangolare di dimensioni (0,4 x 0,6 m) realizzato in adiacenza dei piazzali dello stabilimento. Tale rinnovo di concessione con sub-ingresso della nuova società Zincol Ossidi S.p.a risulta attivo a far data dal 06.06.2014 per anni 19 successivi e continui, e fa riferimento al mantenimento della precedente concessione rilasciata alla Zinox s.p.a. con Decreto 4187 del 06.06.2008 dalla Provincia di Savona. (c.f.r Decreto Dirigenziale di Rilascio Rinnovo concessione allegato alla presente);*
- La porzione di area drenata dallo scarico delle acque meteoriche oggetto della suddetta concessione, è pari a 0,019 Km<sup>2</sup>, come raffigurato a seguire (area tratteggiata in verde);*
- Nella definizione del tratto di Rio oggetto di analisi nel Decreto Dirigenziale allegato, la Provincia di Savona fa riferimento al Corso d'acqua con la denominazione "Canale Solcasso (ex Rio Solcasso o Lusso)" , di fatto declassificando già il Rio Lusso ad un canale di scolo.*



Figura 4.5 Tratto terminale Rio Lusso



Reticolo Idrografico

—••••• cielo aperto

--- tombinato

Bacini Idrografici

■ id 448 Rio Lusso: 0,0843Kmq

Aree drenate valutate

■ Area drenata reale complessiva : 0,069Kmq

■ Area drenata acque meteoriche rinn.concessione Atto Dir: 4187/2008 Zincol: 0,019Kmq

Figura 4.6 inquadramento Bacino Idrografico ai sensi del DGR 507/2019

- *In merito alla definizione delle aree di versante, si specifica che il tratto posto a monte del tratto di tombinatura esistente, ad oggi svolge una funzione esclusivamente di scolo delle acque meteoriche*

defluenti nella porzione di bacino (evidenziata in giallo a seguire) pari a 0,023 Km<sup>2</sup> e praticamente pianeggiante.

Tali aree sono occupate da un centro sportivo con campi da calcio e tennis nella porzione di sottobacino a est, mentre la porzione di bacino a nord riceve esclusivamente le acque meteoriche riferibili all'area di piazzale posta a monte del tratto di linea ferroviaria e alla regimazione delle acque , anche se parziale del tracciato stradale della superstrada Vado- Quiliano.

La porzione tombinata dell'ex Rio Solcasso ( che si sviluppa al di sotto del piazzale sopra riportato), ad oggi mantenuta ma interrotta immediatamente a monte a seguito della deviazione del tracciato del Rio Solcasso nel T.Quiliano, funge pertanto da semplice canale di regimazione delle acque meteoriche di prima pioggia dai suddetti sottobacini, senza che questo sia considerabile come impluvio.



Figura 4.7 identificazione sottobacino a monte del tratto tombinato ( zona Zincol Ossidi s.p.a)

- Come individuabile dalla documentazione fotografica allegata, la problematica principale del suddetto canale è da associare principalmente al re-flusso delle acque marine in concomitanza dei sempre più frequenti eventi meteo-marini; data la natura quasi pianeggiante del tratto, tale condizione determina la stagnazione dei flussi nella zona fociva e, in occasione dei fenomeni maggiormente intensi, anche allagamenti localizzati nella zona Zincol e immediatamente a monte del tratto di tombinatura del canale stesso.

## 5 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

### 5.1 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<sup>3</sup>/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  $\Delta$  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  $\Delta$  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).
- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.
- per sezioni di area maggiore a 1,5 m<sup>2</sup> è da garantire la praticabilità del manufatto;
- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;
- 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;
- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino.

Per il Manuale di Progettazione RFI, essendo in presenza di un attraversamento secondario, le prescrizioni sono le seguenti:

*Le tipologie ammesse sono:*

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m.*

*Sono ammessi fino a due tombini affiancati.*

*In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.*

*La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore a 0,002 e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.*

*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.*

*Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.*

## **5.2 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.

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 lisce 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

Figura 5.1 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 maggiore 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.

## 6 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 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 Lusso.

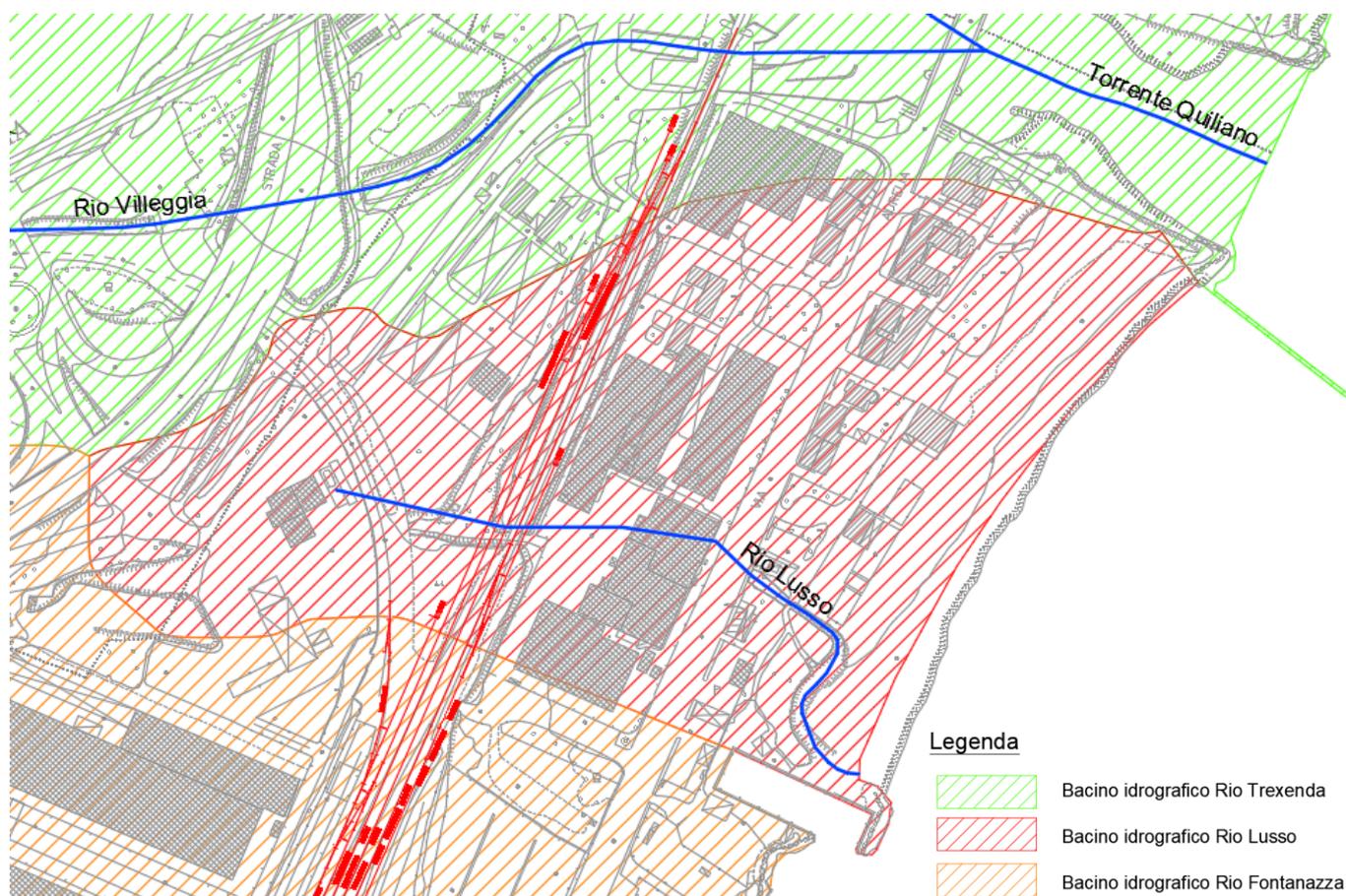


Figura 6.1 Estensione bacino idrografico Rio Lusso

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

- $S$  = superficie del bacino ( $\text{km}^2$ ) = 0,08  $\text{km}^2$
- $L$  = lunghezza dell'asta principale (km) = 0,03 km
- $i$  = pendenza del corso d'acqua (-) = 0,003 m/m
- $H_{\text{med}}$  = quota media del bacino (m) = 4,1 m

- $T_c$  = tempo di corrivazione calcolato come minimo valore tra la formulazione di Pasini, Pezzoli e Kirpich (minuti) = 0,279 ore

Pasini (ore)	Kirpich (ore)	Pezzoli (ore)
0.636	0.279	0.355

- $\varphi$  = coefficiente di deflusso = 0.80 per  $T_r = 200$  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<sup>2</sup>, 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  $\varphi = 0,8 \div 0,9$ ); tende a 1 per bacini caratterizzati da elevata pendenza); tende a 1 per bacini impermeabili (caso in esame). 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<sup>3</sup>/s) = 5,39

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

## 7 MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE

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

Tale modellazione verifica che la costruzione del tombino non possa provocare variazione alcuna rispetto alla configurazione attuale. Il nuovo intervento consiste nel realizzare un tombino scatolare con elementi in cemento armato precompresso di dimensioni 4,00x3,00 m. Il tratto iniziale del corso d'acqua sarà rivestito in sezione con massi non gelivi e si collegherà al tratto tombinato con una sezione scatolare ad U in calcestruzzo armato. A valle del tratto tombinato sarà eseguito un rivestimento di fondo sempre con massi non gelivi di adeguato spessore. A valle del tombino esistente, per il quale non verrà eseguito alcun intervento, la sezione del Rio Lusso verrà ripulita al fondo e in alcuni tratti risezionata.

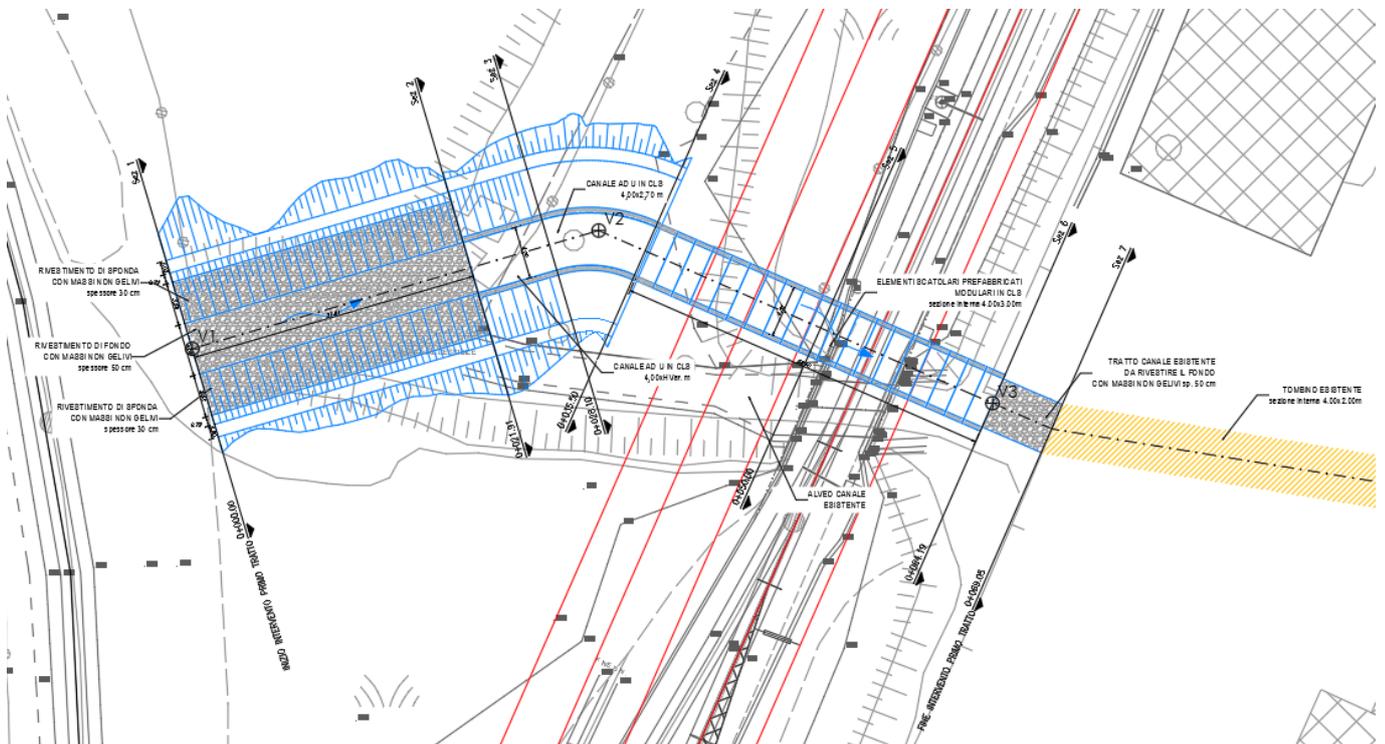


Figura 7.1 Primo tratto di intervento sul Rio Lusso

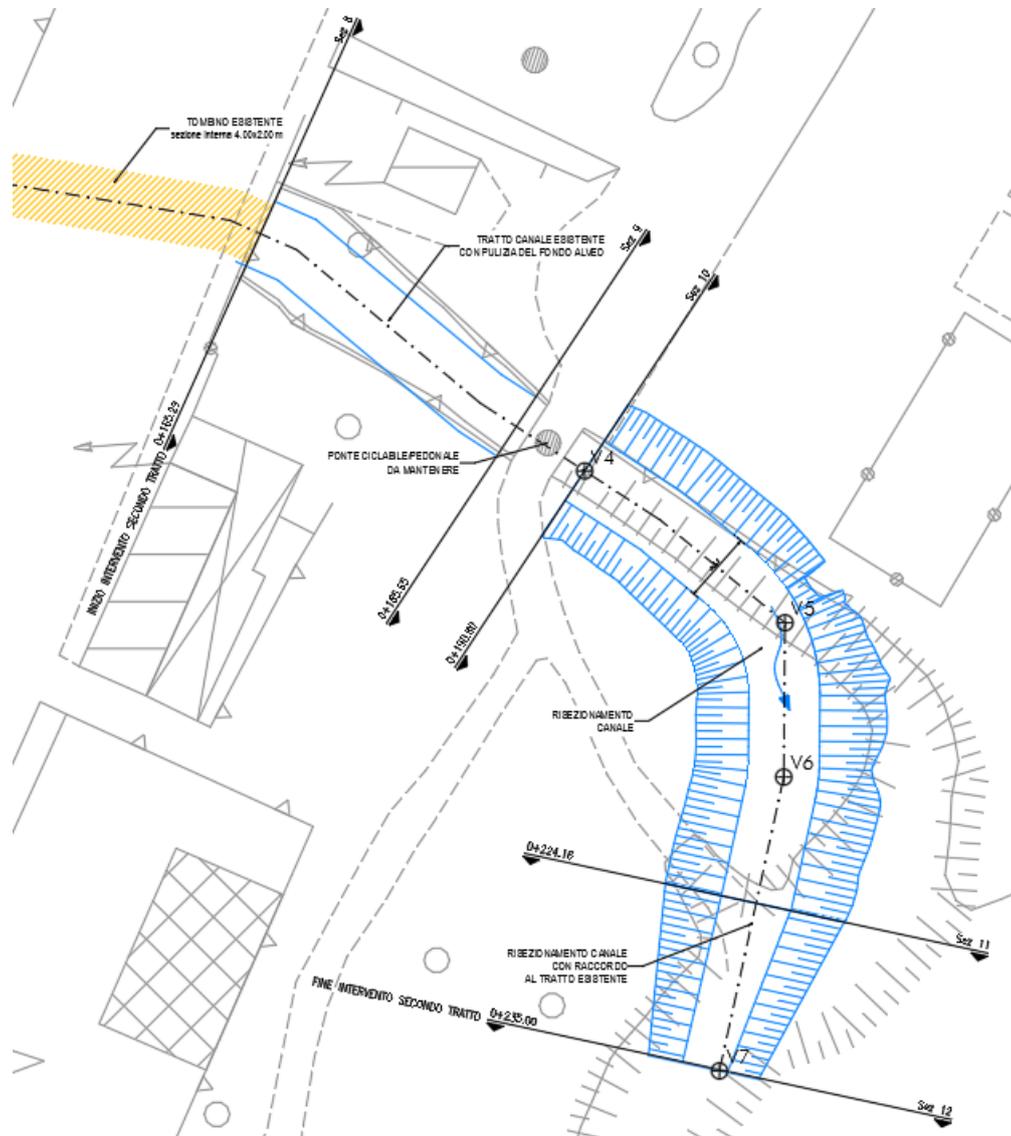


Figura 7.2 Secondo tratto di intervento su Rio Lusso

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 simulazioni 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 6.1 River Analysis System, versione 6.1 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 220 m dalla confluenza del rio Lusso a mare fino a monte in prossimità dalla zona industriale.

Come manufatti idraulici di maggiore evidenza presenti in alveo si individuano il ponte ferroviario (oggetto di rifacimento), il tombino di attraversamento sotto la proprietà della Società Zincol Ossidi S.p.A. e un attraversamento pedonale/ciclabile.

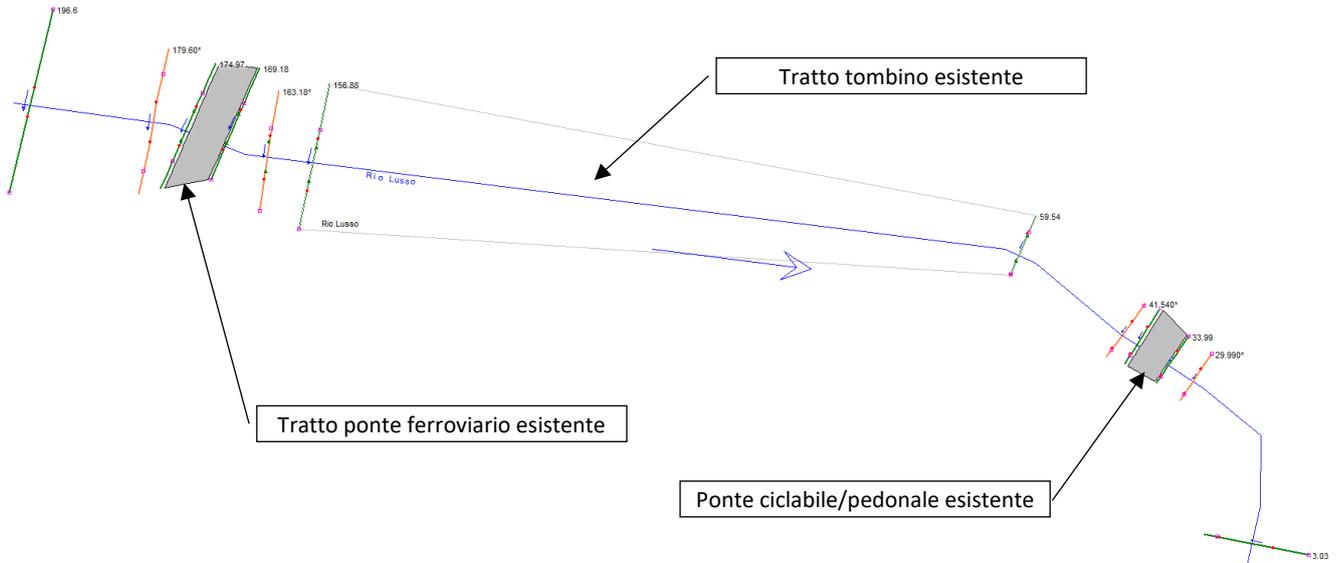


Figura 7.3 Planimetria della modellazione monodimensionale del rio Lusso ante-operam

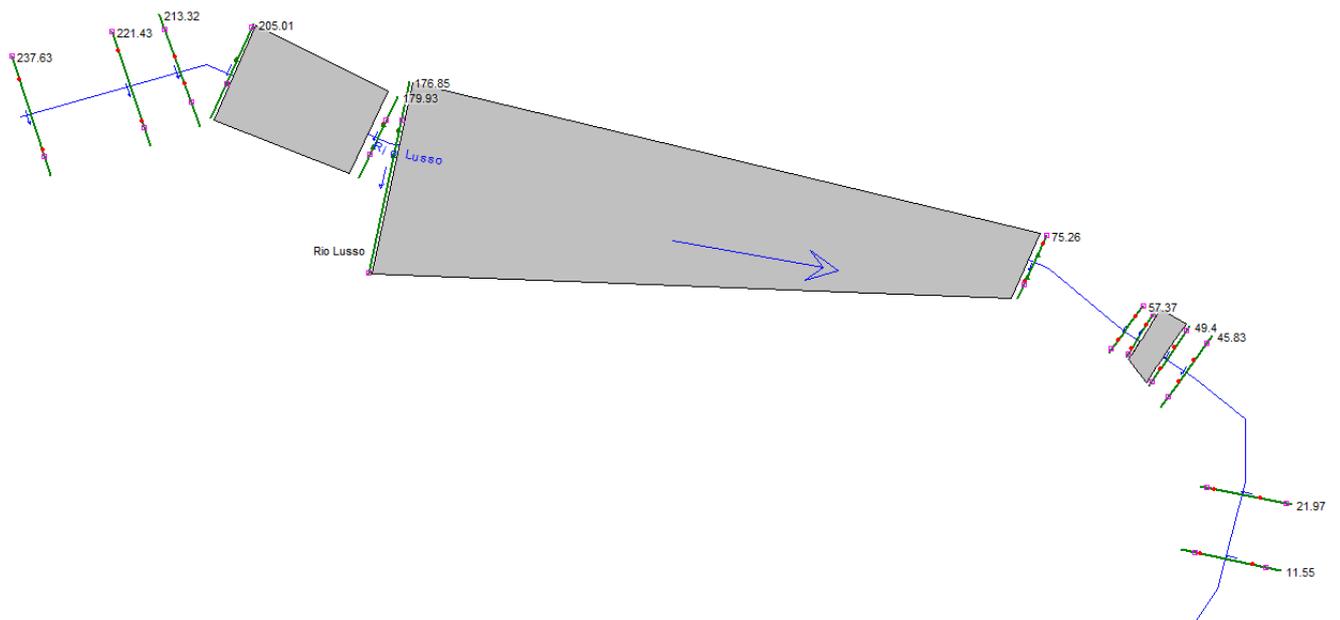


Figura 7.4 Planimetria della modellazione monodimensionale del rio Lusso post-operam

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 Q200 (portata caratterizzata da tempo di ritorno duecentennale) pari a: 5,39 m<sup>3</sup>/s

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 sospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

I valori di riferimento sono descritti in Tabella, 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.

<b>Coefficiente di Strickler</b>	<b>Coefficiente di Manning</b>
Ks = 40 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> in alveo vivo	n = 0.025 m <sup>-1/3</sup> s in alveo vivo
Ks = 33 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> in sponda	n = 0.03 m <sup>-1/3</sup> s in sponda
Ks = 65 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> in presenza del tombino in cls	n = 0.015 m <sup>-1/3</sup> s in presenza del tombino in cls

Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezione di monte, sia su quella di valle.

A monte, oltre ovviamente al valore di portata, è stata imposta, la condizione di moto uniforme.

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 dei livelli registrati a mare alla stazione mareografica più prossima al paraggio di Genova.

I dati di marea sono stati scaricati dal sito dell'ISPRA ([www.mareografico.it](http://www.mareografico.it)) e si riferiscono alla stazione R.M.N. di Genova. 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.

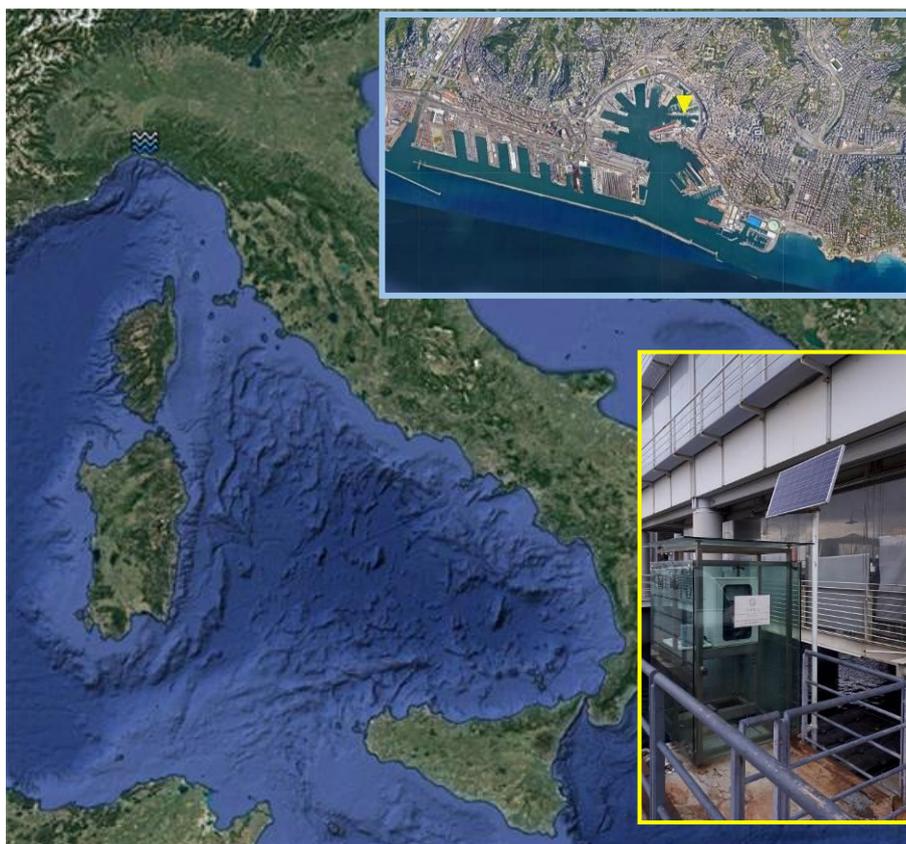


Figura 7.5 Stazione R.M.N. di Genova

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 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 si riportano graficamente i risultati dell'elaborazione statistica di Gumbel mentre in tabella si riporta per ciascun tempo di ritorno il corrispondente valore del livello di marea.

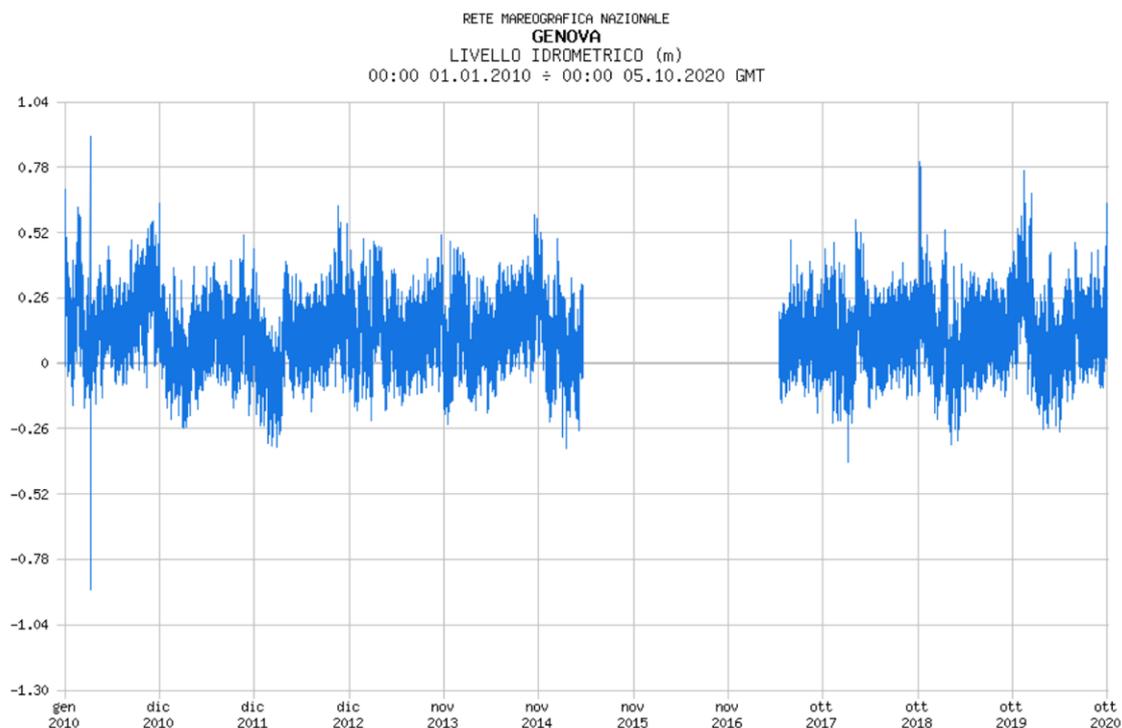


Figura 7.6 Andamento dei livelli di marea relativo al periodo da gennaio 2010 a ottobre 2020

Anno	Mese	Giorno	Ora	Livello (cm s.m.m.)	
				Valore registrato	Valore 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 7-1 Massimi annui registrati dalla stazione R.M.N. di Genova (analisi di rappresentatività)

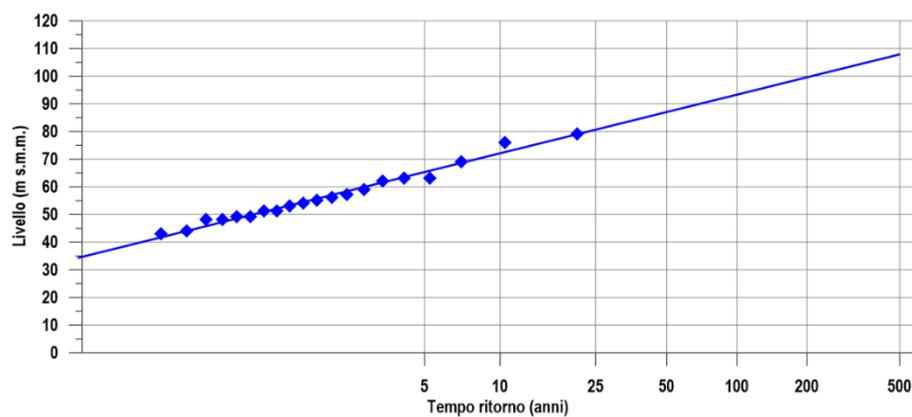


Figura 7.7 Retta analisi statistica dei livelli di marea (approccio di Gumbel)

<b>T<sub>R</sub></b> <b>(anni)</b>	<b>Livello</b> <b>(cm</b> <b>s.m.m.)</b>
<b>5</b>	<b>65</b>
<b>10</b>	<b>72</b>
<b>25</b>	<b>81</b>

<b>50</b>	<b>87</b>
<b>100</b>	<b>93</b>
<b>200</b>	<b>100</b>
<b>500</b>	<b>108</b>

Tabella 7-2 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 ( $H_s$ ) 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 le condizioni 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 Lusso e il livello massimo di marea con  $Tr = 200$  anni, eventi che in genere non sono propriamente correlati.

## 7.1 Risultati delle simulazioni

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.

I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di fatto e dello stato di progetto vengono proposte nei seguenti tabulati con la portata riferita al tempo di ritorno di 200 anni.

Le figure successive riportano i profili idraulici e le sezioni idrauliche più significative estratte dal modello Hec-Ras per le varie configurazioni considerate e per le diverse portate di riferimento adottate, in particolare per la Q200. Per le rimanenti sezioni si rimanda all'allegato della presente relazione.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rio Lusso	196.6	Tr200	5.39	0.91	2.48	1.58	2.49	0.000111	0.42	15.10	17.23	0.13
Rio Lusso	179.60*	Tr200	5.39	0.27	2.46	1.19	2.48	0.000213	0.63	8.60	5.11	0.15
Rio Lusso	174.97	Tr200	5.39	0.11	2.46	1.10	2.48	0.000122	0.64	8.47	5.31	0.15
Rio Lusso	170	Bridge										
Rio Lusso	169.18	Tr200	5.39	0.25	2.46	1.12	2.48	0.000137	0.67	7.99	5.35	0.16
Rio Lusso	163.18*	Tr200	5.39	0.25	2.46	1.04	2.48	0.000149	0.67	7.99	5.35	0.15
Rio Lusso	156.88	Tr200	5.39	0.25	2.45	0.83	2.48	0.000523	0.69	7.77		0.15
Rio Lusso	151.88*	Tr200	5.39	0.26	2.45	0.86	2.48	0.000598	0.73	7.38		0.16
Rio Lusso	146.88*	Tr200	5.39	0.27	2.44	0.89	2.47	0.000699	0.77	6.96		0.17
Rio Lusso	141.88*	Tr200	5.39	0.28	2.43	0.93	2.47	0.000828	0.82	6.55		0.18
Rio Lusso	136.88*	Tr200	5.39	0.30	2.42	0.96	2.46	0.000994	0.88	6.13		0.19
Rio Lusso	131.88*	Tr200	5.39	0.31	2.41	1.00	2.46	0.001205	0.94	5.74		0.21
Rio Lusso	126.88*	Tr200	5.39	0.32	2.40	1.04	2.45	0.001467	1.00	5.36		0.22
Rio Lusso	121.88*	Tr200	5.39	0.33	2.38	1.07	2.44	0.001770	1.07	5.02		0.24
Rio Lusso	116.88*	Tr200	5.39	0.34	2.36	1.13	2.43	0.002138	1.15	4.69		0.26
Rio Lusso	111.88*	Tr200	5.39	0.35	2.34	1.15	2.42	0.002577	1.23	4.39		0.28
Rio Lusso	106.88*	Tr200	5.39	0.36	2.32	1.18	2.40	0.003083	1.31	4.11		0.30
Rio Lusso	101.88*	Tr200	5.39	0.37	2.29	1.20	2.39	0.003663	1.40	3.86		0.32
Rio Lusso	96.88*	Tr200	5.39	0.39	2.25	1.22	2.36	0.004329	1.49	3.63		0.35
Rio Lusso	91.88*	Tr200	5.39	0.40	2.21	1.23	2.34	0.005064	1.58	3.42		0.37
Rio Lusso	86.88*	Tr200	5.39	0.41	2.17	1.23	2.31	0.005942	1.67	3.24		0.40
Rio Lusso	81.88*	Tr200	5.39	0.42	2.12	1.23	2.28	0.006858	1.75	3.08		0.43
Rio Lusso	76.88*	Tr200	5.39	0.43	2.07	1.29	2.24	0.007768	1.82	2.97		0.45
Rio Lusso	71.88*	Tr200	5.39	0.44	2.02	1.32	2.20	0.008380	1.86	2.90		0.47
Rio Lusso	66.88*	Tr200	5.39	0.45	1.98	1.32	2.15	0.009066	1.86	2.90		0.48
Rio Lusso	61.88*	Tr200	5.39	0.47	1.94	1.33	2.11	0.008028	1.81	2.97		0.48
Rio Lusso	59.54	Tr200	5.39	0.47	1.93	1.32	2.09	0.008527	1.78	3.02		0.47
Rio Lusso	41.540*	Tr200	5.39	0.61	1.96	1.36	2.02	0.000989	1.10	4.92	4.61	0.34
Rio Lusso	39.14	Tr200	5.39	0.63	1.95	1.36	2.02	0.001075	1.14	4.75	4.42	0.35
Rio Lusso	35	Bridge										
Rio Lusso	33.99	Tr200	5.39	0.65	1.94	1.38	2.01	0.001402	1.20	4.50	3.99	0.36
Rio Lusso	29.990*	Tr200	5.39	0.61	1.93	1.34	2.00	0.001275	1.16	4.65	3.99	0.34
Rio Lusso	3.03	Tr200	5.39	0.90	1.70	1.67	1.92	0.007361	2.07	2.60	5.17	0.93

Tabella 7-3 Rio Lusso: risultati della simulazione numerica ante-operam

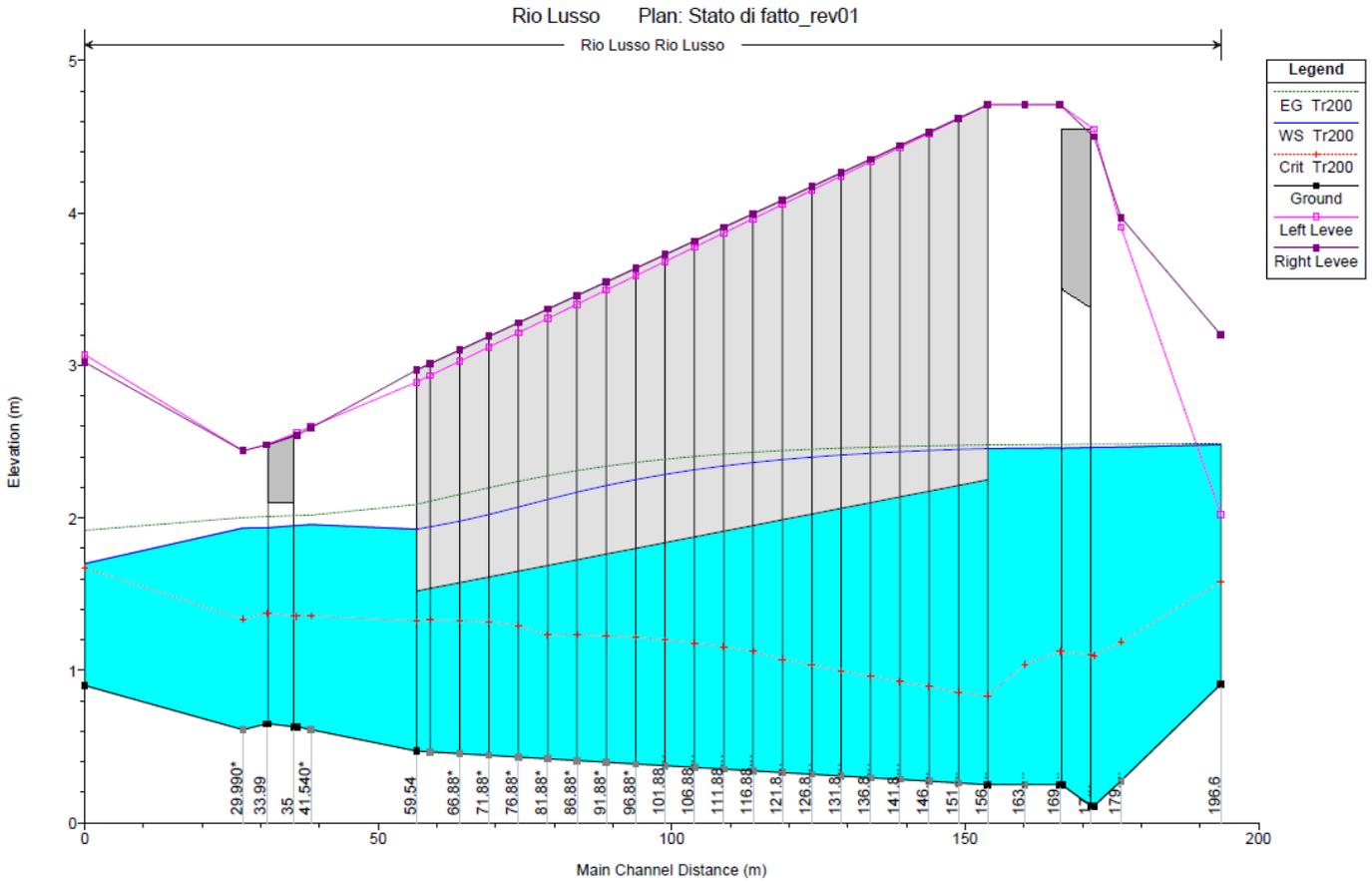


Figura 7.8 Profilo idraulico longitudinale nella configurazione ante operam

Rio Lusso Plan: Stato di fatto\_rev01  
RS = 170 BR

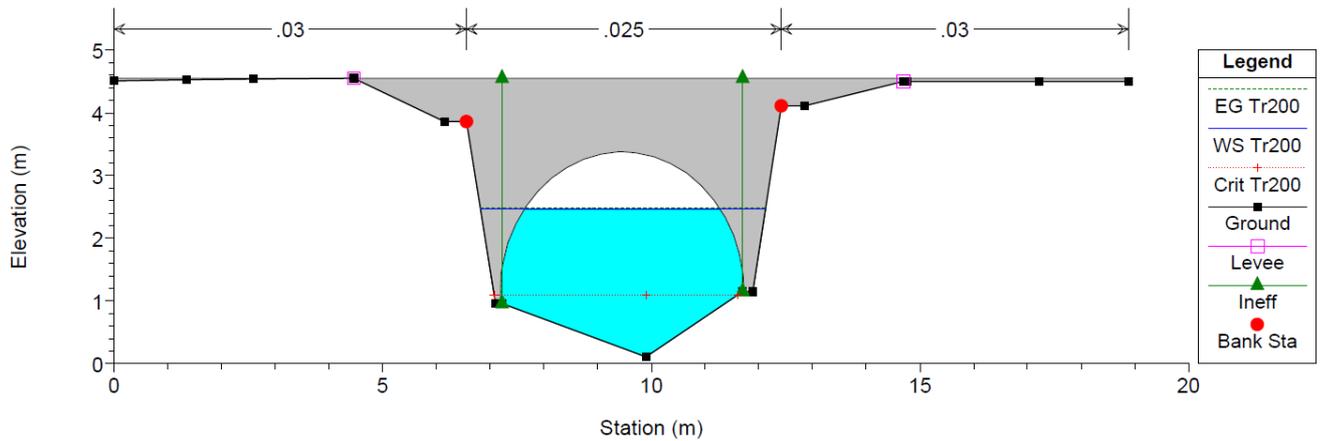


Figura 7.9 Sezione ponte ferrovia ante-operam

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rio Lusso	237.63	Tr200	5.39	0.51	1.89	1.05	1.91	0.000337	0.64	8.40	8.37	0.20
Rio Lusso	221.43	Tr200	5.39	0.46	1.89	0.99	1.91	0.000292	0.61	8.79	8.42	0.19
Rio Lusso	213.32	Tr200	5.39	0.43	1.86	0.99	1.90	0.000614	0.90	6.02	4.27	0.24
Rio Lusso	205.01	Tr200	5.39	0.41	1.86	0.98	1.90	0.000119	0.93	5.79	4.03	0.25
Rio Lusso	200	Culvert										
Rio Lusso	179.93	Tr200	5.39	0.27	1.84	0.84	1.87	0.000092	0.86	6.26	4.11	0.22
Rio Lusso	176.85	Tr200	5.39	0.26	1.84	0.83	1.87	0.000249	0.86	6.30	8.07	0.22
Rio Lusso	90	Culvert										
Rio Lusso	75.26	Tr200	5.39	0.49	1.77	1.06	1.83	0.000497	1.05	5.12	4.99	0.30
Rio Lusso	57.37	Tr200	5.39	0.66	1.69	1.35	1.81	0.002111	1.52	3.61	4.24	0.52
Rio Lusso	54.98	Tr200	5.39	0.66	1.70	1.31	1.80	0.001678	1.39	3.95	4.53	0.47
Rio Lusso	52.29	Bridge										
Rio Lusso	49.4	Tr200	5.39	0.63	1.73	1.16	1.77	0.000526	0.98	6.77	7.84	0.30
Rio Lusso	45.83	Tr200	5.39	0.62	1.73	1.11	1.77	0.000496	0.95	6.86	7.89	0.29
Rio Lusso	21.97	Tr200	5.39	0.54	1.73	1.04	1.76	0.000422	0.75	7.50	8.13	0.24
Rio Lusso	11.55	Tr200	5.39	0.60	1.70	1.21	1.75	0.001032	0.97	5.56	7.12	0.35

Tabella 7-4 Rio Lusso: risultati della simulazione numerica post-operam

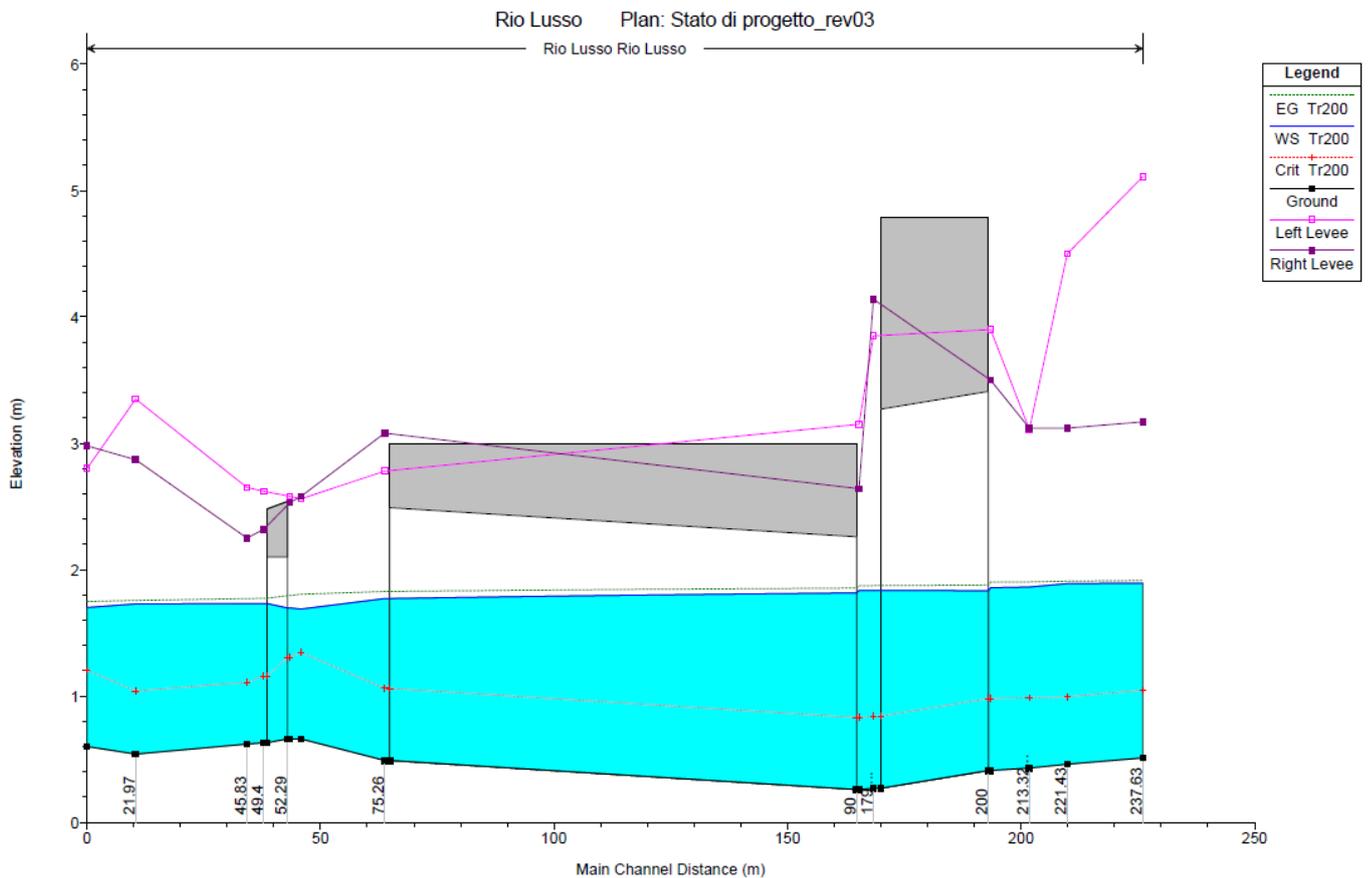


Figura 7.10 Profilo idraulico longitudinale nella configurazione post operam

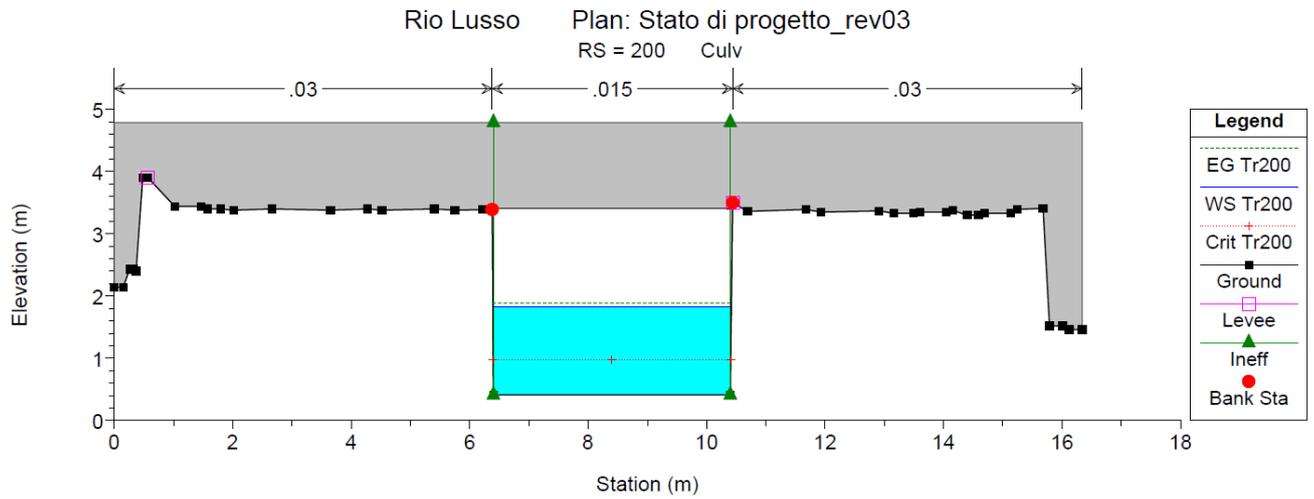


Figura 7.11 Sezione nuovo intervento tombino ferrovia post-operam

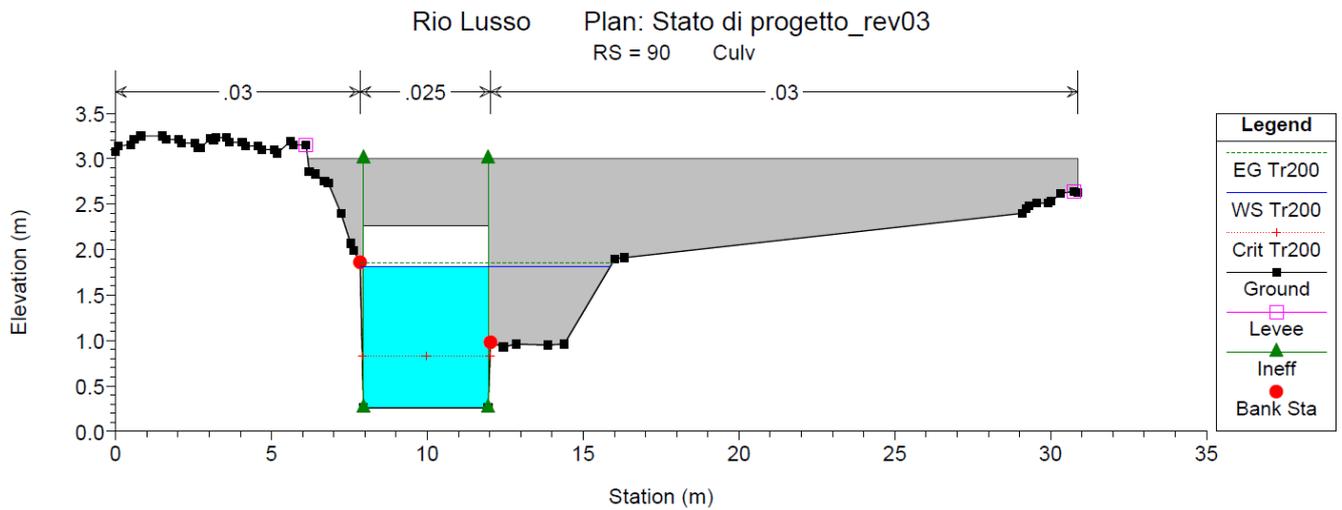


Figura 7.12 Sezione ponte esistente ferrovia post-operam

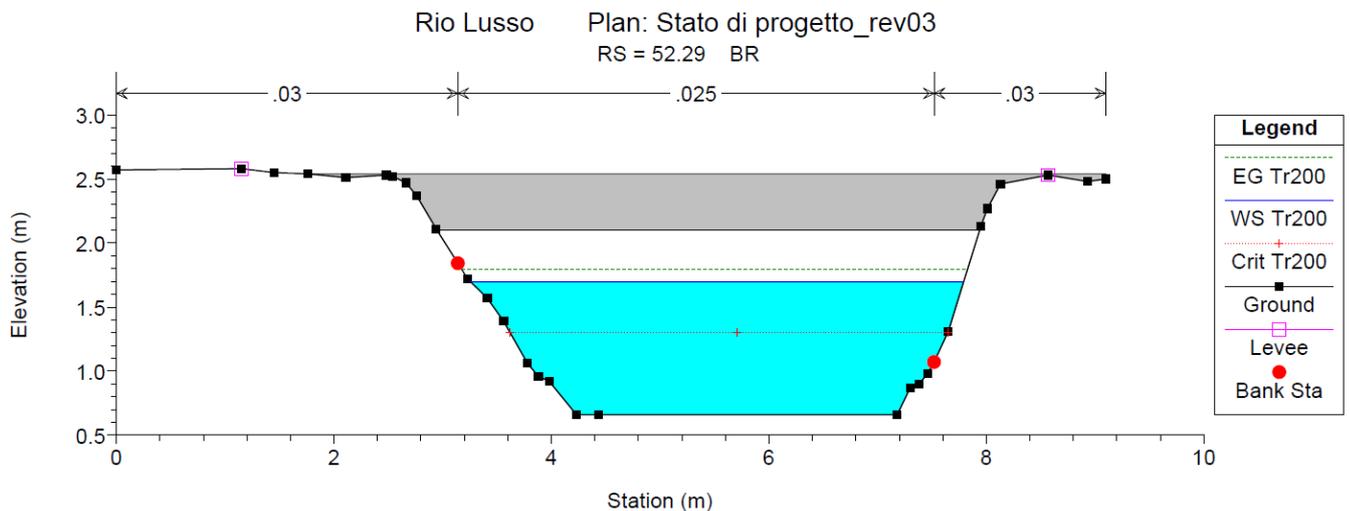


Figura 7.13 Sezione prolungamento valle ponte ferrovia post-operam

Dalle risultanze delle simulazioni si osserva che la nuova opere di progetto è conforme alla normativa con un franco minimo in prossimità dello sbocco del tombino pari a 1,43 m.

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 tombino di attraversamento sotto la proprietà della Società Zincol Ossidi S.p.A. Dalla simulazione è possibile verificare che tutto il sistema è comandato dalle condizioni di valle con possibili fenomeni di rigurgito verso monte. Per tale motivo è stata eseguita una riprofilatura e risezionamento del Rio Lusso anche in prossimità della foce.

## 7.2 Verifica del rivestimento di fondo e di sponda

L'intervento proposto in fase di progettazione prevede un'opera di difesa di fondo e di sponda per alcuni tratti interessati dalla sistemazione, per una protezione contro i fenomeni di scavo che si possono verificare in corrispondenza di eventi di piena. Tale intervento è composto da una sistemazione con massi sciolti non gelivi come rivestimento del fondo alveo e delle sponde.

Il rivestimento realizzato svolgerà una funzione di rivestimento antiersivo nei confronti dell'azione delle correnti.

In letteratura sono disponibili varie formule per la stima della stabilità dei materiali di assegnata granulometria sottoposti all'azione di trascinamento della corrente. Questi metodi si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilità del fondo risulta quando  $\tau_{cr} \geq \tau_0$ , ovvero quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

La tensione tangenziale sul fondo dell'alveo è data dalla formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

che, per alvei con base molto maggiore del tirante idrico ed in condizioni di moto permanente può scriversi:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot J$$

dove:

$\gamma$  [kg/m<sup>3</sup>] è il peso specifico dell'acqua;

$R_H$  [m] è il raggio idraulico della sezione;

$h$  [m] è il tirante idrico;

$i$  [m/m] è la pendenza del fondo;

$J$  [m/m] è la cadente.

Nella figura, sotto riportata, sono illustrati l'andamento degli sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde, nel caso di una particolare sezione trapezia.

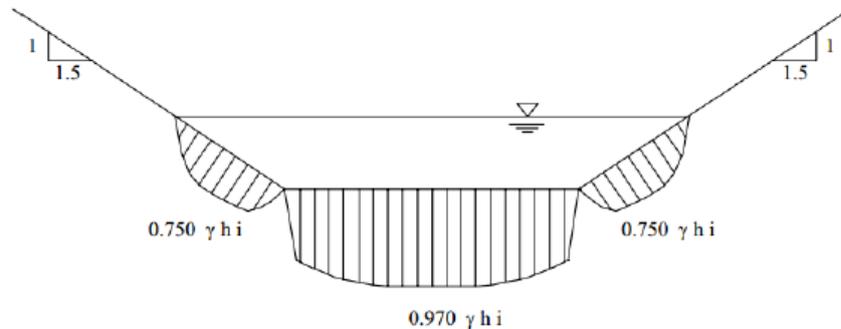


Figura 7-14 Andamento tensioni tangenziali

La tensione tangenziale massima esercitata dalla corrente è espressa dalla relazione:

$$\tau_0 = \zeta \cdot \gamma_w \cdot R_H \cdot i$$

con  $\zeta$  coefficiente che tiene conto della distribuzione delle tensioni tangenziali; è assunto pari a 1 per il fondo alveo e 0.75 in corrispondenza delle sponde; dove:

$\gamma_w$  [kg/m<sup>3</sup>] è il peso specifico dell'acqua;

$R_H$  [m] è il raggio idraulico della sezione;

$i$  [m/m] è la pendenza del fondo;

I valori della  $\tau_0$  devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde.

Il valore critico  $\tau_{cr}$  che mobilita un masso di diametro  $d$  con peso specifico  $\gamma_s$  in assenza di coesione ed in regime turbolento ha la seguente espressione, riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936) attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma_w)d} = \theta(Re^*)$$

dove:

$\tau_{cr}$  = tensione tangenziale critica [kg/m<sup>2</sup>]

$\gamma_s$  = peso specifico materiale d'alveo [kg/m<sup>3</sup>]

$\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua [kg/m<sup>3</sup>]

$d$  = diametro del granulo [m]

$\theta$  = parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds di grano ( $Re^*$ ) relativo alla velocità di attrito  $u^*$ :

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_{cr}}{\rho}}$$

La suddetta condizione di equilibrio è stata tradotta in termini empirici da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo.

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

$\theta = 0,047$  nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;

$\theta = 0,058 \div 0,060$  nella espressione originale di Shields per  $Re^* > 400$ ;

$\theta = 0,116$  nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle (utilizzabile per i materassi Reno).

Per le verifiche di stabilità delle sponde, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza della sponda ( $\alpha$ ) rispetto all'orizzontale.

Per tali verifiche viene normalmente utilizzata la seguente espressione (Lane 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[ \cos \alpha \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} \right]$$

dove  $\tau_{cr}$  è la tensione critica sul fondo,  $\alpha$  la pendenza delle sponde e  $\varphi$  l'angolo di attrito interno del materiale. La stabilità del sistema di protezione può essere giudicata sulla base di un confronto fra la tensione tangenziale ottenuta dal calcolo a quella massima ammissibile caratteristica dell'opera.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti la scogliera, si è fatto riferimento all'espressione di Shields nella formulazione di Armanini. Per tenere conto dell'inclinazione del paramento si è utilizzata l'espressione di Lane (1953) su riportata.

I risultati delle verifiche sono riportati di seguito e fanno riferimento alla river station nr. 221.43 del modello HEC RAS post operam del Rio Lusso:

Verifica protezione di sponda		
$\gamma_s$	25000	N/m <sup>3</sup>
$\gamma_w$	9810	N/m <sup>3</sup>
$R_H$	0,85	m
$i$	0,003	m/m
$V$	0,61	m/s
$\theta$	0,047	-
$\alpha$	36	grad
$\varphi$	33.333	grad
$d$	0,1	m
$\tau_0$	18,76	N/m <sup>2</sup>
$\tau_{cr}$	25,36	N/m <sup>2</sup>

Essendo che  $\tau_{cr}$  risulta maggiore a  $\tau_0$  la verifica risulta soddisfatta e il materiale con diametro maggiore o pari a 0,1 m è appropriato per la sponda con uno spessore totale del rivestimento pari a 0,3 m.

Verifica protezione al fondo		
$\gamma_s$	25000	N/m <sup>3</sup>
$\gamma_w$	9810	N/m <sup>3</sup>
$R_H$	0,85	m
$i$	0,003	m/m
$V$	0,61	m/s
$\theta$	0,047	-
$d$	0,2	m
$\tau_0$	25,02	N/m <sup>2</sup>
$\tau_{cr}$	142,790	N/m <sup>2</sup>

Essendo che  $\tau_{cr}$  risulta maggiore a  $\tau_0$  la verifica risulta soddisfatta e il materiale con diametro maggiore o pari a 0,2 m è appropriato per il fondo con uno spessore totale del rivestimento pari a 0,5 m.

## 8 CONCLUSIONI

Il nuovo intervento consiste nel realizzare un tombino scatolare con elementi in cemento armato precompresso di dimensioni 4,00x3,00 m. Il tratto iniziale del corso d'acqua sarà risezionato per un tratto di lunghezza pari a 22 m, la sezione sarà trapezia 4,00x3,00 m rivestita con massi non gelivi e si collegherà al tratto tombinato con una sezione scatolare ad U in calcestruzzo armato per una lunghezza pari a 13,6 m. A valle del tratto tombinato sarà eseguito un rivestimento di fondo sempre con massi non gelivi di adeguato spessore in modo da limitare i fenomeni di erosione. A valle del tombino esistente, per il quale non verrà eseguito alcun intervento, la sezione del Rio Lusso verrà ripulita al fondo per un tratto pari a 20 m e nel tratto finale di collegamento all'esistente la sezione verrà risezionata.

La modellazione numerica del rio Lusso elaborata nell'ambito del presente studio permette di fornire una valutazione dell'interferenza eventualmente prodotta dal nuovo tombino di attraversamento della ferrovia in oggetto.

Come si è potuto constatare dalle risultanze dell'analisi condotta l'intervento di progetto risulta verificato.

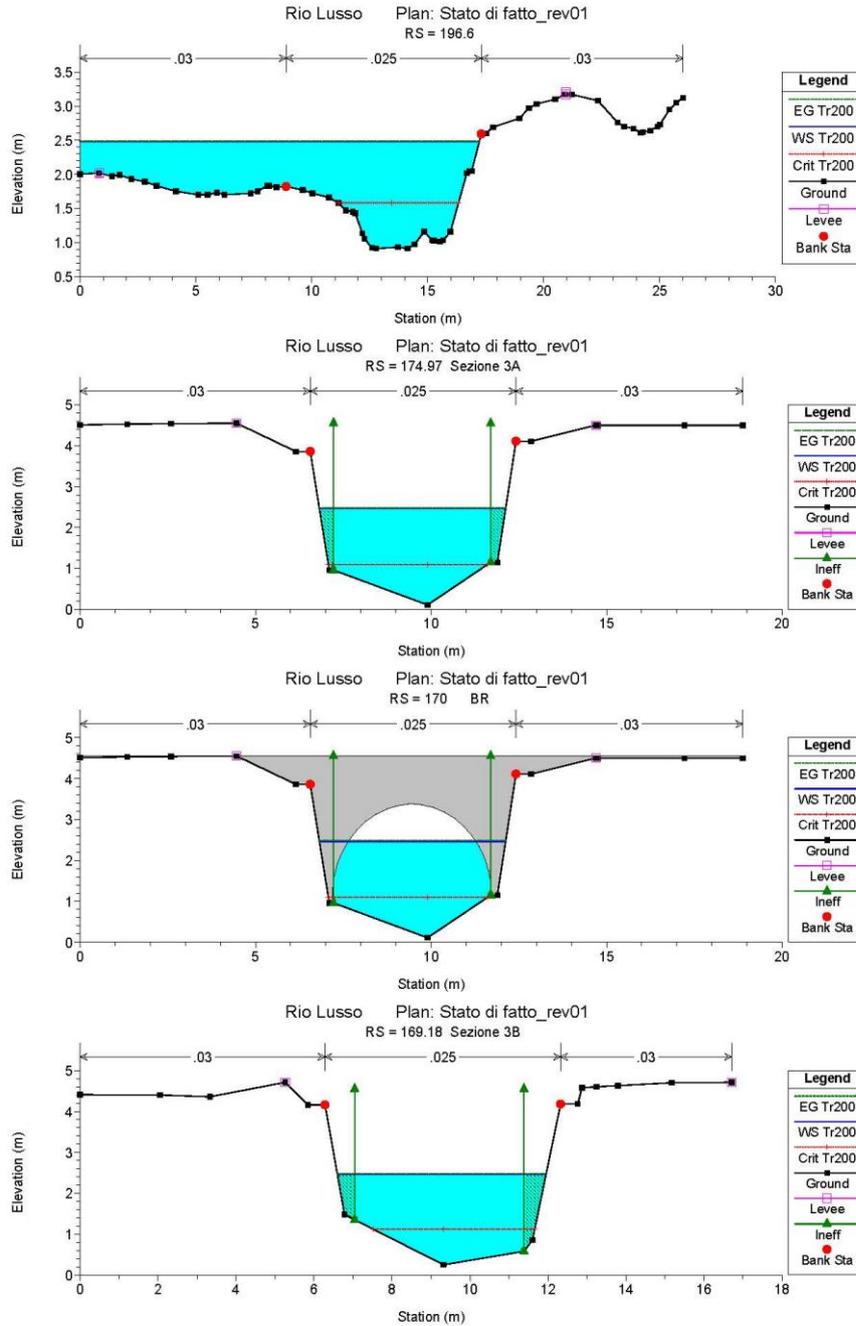
Per quanto riguarda il franco si riporta una tabella riassuntiva delle prescrizioni dettate dal Manuale di Progettazione RFI, dalle Norme tecniche delle Costruzioni e dal NTA Piano di Bacino.

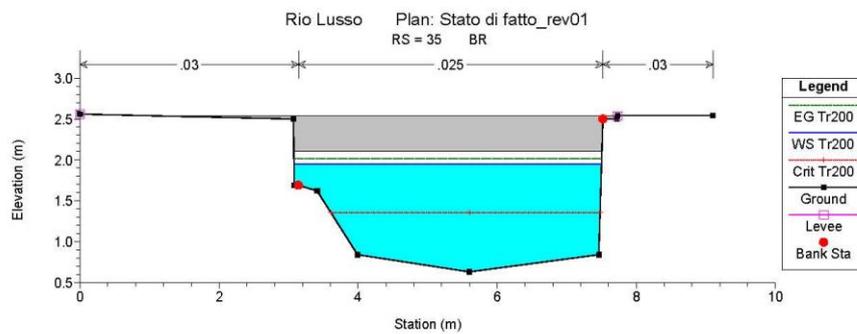
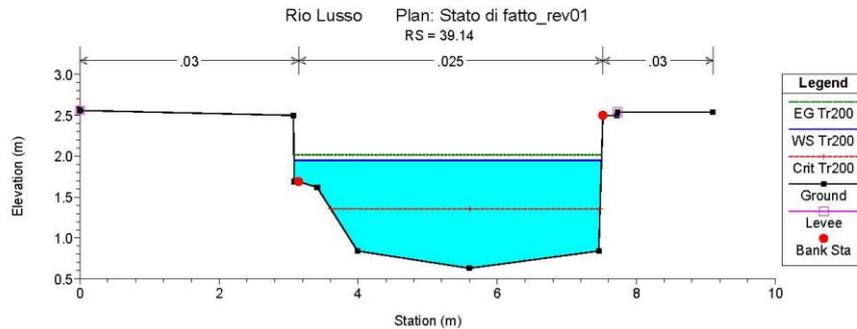
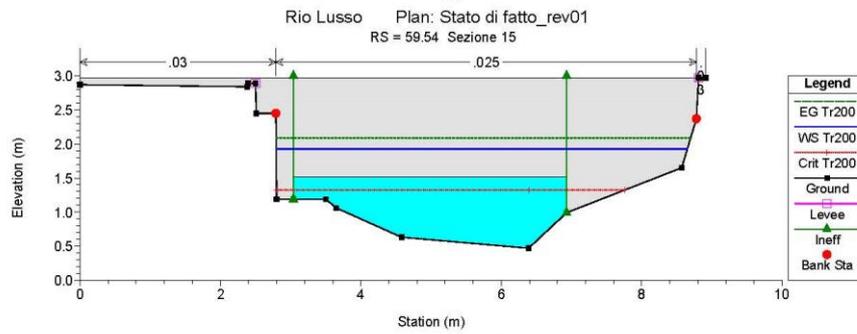
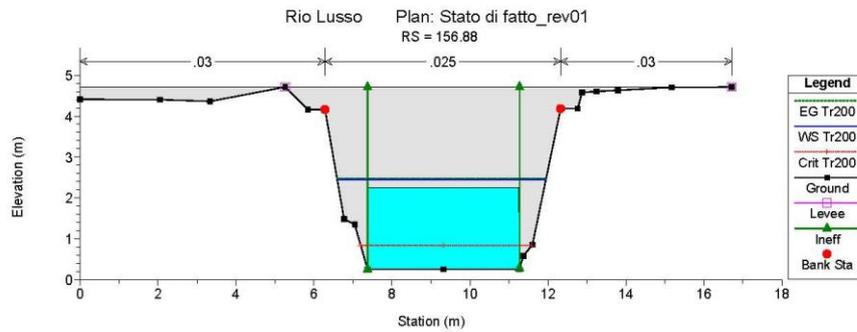
Parametro	NTC 2018	MdP RFI	NTA Piano di Bacino	Progetto
<b>Opera</b>	<b>Manufatto 4,00x3,00</b>	<b>Manufatto 4,00x3,00</b>	<b>Manufatto 4,00x3,00</b>	<b>Manufatto 4,00x3,00</b>
Minimo franco idraulico [m] per tombinamenti	1	0.9	1	<b>1,43</b>

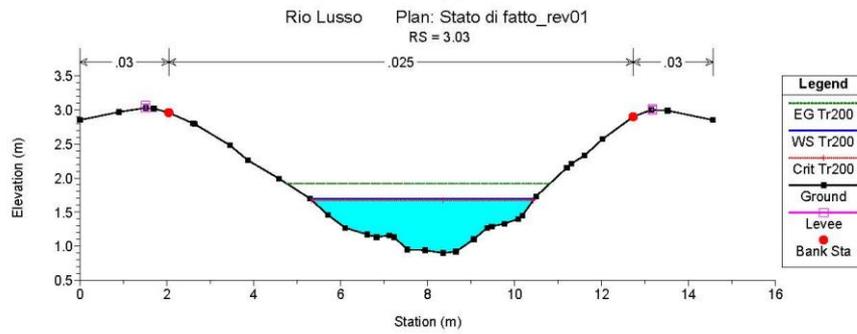
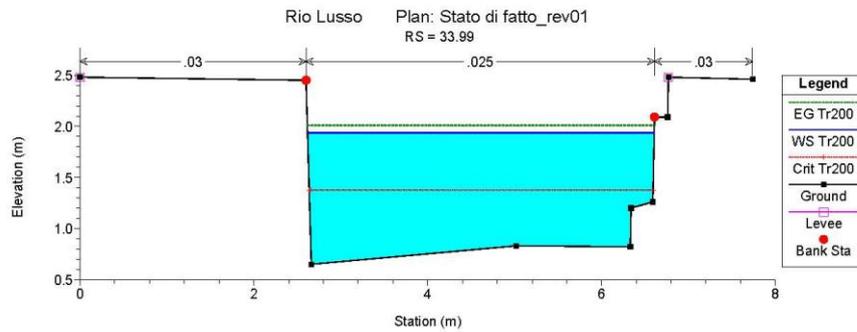
Come si vede dalla tabella per ciò che riguarda l'opera in progetto, i franchi vengono adeguatamente garantiti, avendosi circa 1,43 m di franco idraulico relativamente all'evento duecentennale in corrispondenza del tratto finale del tombino di progetto.

## ALLEGATI

### Sezioni Hec-Ras stato di fatto







## Sezioni Hec-Ras stato di progetto

